



รายงานการวิจัย

การออกแบบและการวัดข้อมูลระบบลมหมุนวนเพื่อนำไปสู่ การสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกประสิทธิภาพสูง (Design and Data Measurement of Swirling Flow System towards a High Efficiency Rice Dryer)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ทวิช จิตรสมบูรณ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นักวิจัยผู้ช่วย

นางสาวจุฑาทิพย์ ทองเคชาสามารถ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2545

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2547

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี งบประมาณ
พ.ศ. 2545

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและผลิกระบบการกำเนิดลมหมุนวนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก และเพื่อวัดความเร็วลมทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุมที่เกิดขึ้นจากระบบหมุนวนลมที่ได้ผลิตขึ้น โดยจะทำการออกแบบเชิงแนวคิด เขียนแบบโดยคอมพิวเตอร์ สร้างฐานข้อมูลการออกแบบ และดำเนินการผลิต โดยระบบอัตโนมัติทั้งหมด จากนั้นจะทำการประกอบชิ้นส่วนและติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจำลองที่มีอยู่แล้ว จากนั้นทำการทดสอบ โดยทำการวัดความเร็วลมทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุม เพื่อพิสูจน์ว่าได้ความเร็วลมตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ และเพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการทดลองการอบแห้งด้วยกรรมวิธีนี้ อุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนสร้างขึ้นมาโดยใช้หลักการออกแบบโครงสร้างเป็นแบบมุมคงที่ ซึ่งมีข้อดีตรงที่ออกแบบและผลิตง่าย จากการทดลองวัดค่าความเร็วลมทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุม พบว่า ค่าความเร็วลมในแนวเชิงแกนเฉลี่ยทั้งหน้าตัดมีค่าเกือบจะคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างที่ด้านล่างและด้านบนของเครื่องกำเนิดลมหมุนวน ซึ่งสอดคล้องกับกฎการอนุรักษ์มวล และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนจะพบว่า ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัดคู่อากาศเท่ากัน ค่าความเร็วลมในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนจะมีค่ามากกว่ากรณีติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนเสมอ ส่วนความเร็วเชิงมุมหรือความเร็วของการไหลวนเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่ด้านล่างมีค่าสูงกว่าด้านบนของเครื่องหมุนวนลม การที่ความเร็วหมุนวนของลมลดลงที่ด้านบนอุปกรณ์นั้น เป็นเพราะการสูญเสียโมเมนตัมการไหลอันเนื่องมาจากความฝืดที่เกิดขึ้นจากการหมุนวน

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

This research was aimed to design and manufacture swirl generators for a paddy drying machine, as well as to measure the resulting air speeds, both in the axial and the circumferential directions. After the conceptual design was complete, all the design, drawing and manufacturing processes were done in a computerized and fully automated system. A swirler was then installed to the dryer and the air speeds measured to validate the design and manufacturing processes, as well as to provide important information for the experiment in paddy drying using this technique. The swirler design was based on the constant angle blade design philosophy which has the advantage of easiness in design and manufacturing. The results from the airspeed measurements indicated that axial velocities at the lower and upper part of the drying tube were almost constant which is consistent with the principle of conservation of mass. At the same blower speed, the axial velocity for the case of with-swirler always was lower than the case of no-swirler. For the case of circumferential velocity, it was found that the velocity at the lower part of the tube was always higher than that at the top of the tube. This is because the loss of angular momentum due to friction as the air flowed from the lower part to the upper part of the drying tube.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 การออกแบบปีกหมุนลม	
2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน	3
2.1.1 การออกแบบประเภทไหลวนแบบอิสระ (Free Vortex Flow)	3
2.1.2 การออกแบบประเภทการไหลวนแบบให้มุมปีกมีค่าคงที่ (constant blade angle design)	4
2.2 แนวทางการเลือกรูปหน้าตัดของปีกหมุนลม	4
2.2.1 การเลือกอัตราส่วนระหว่างระยะ pitch และระยะ chord ที่เหมาะสม (s/c)	5
2.2.2 การเลือกอัตราส่วนระหว่างความสูงของปีกหมุนลม และระยะ chord ที่เหมาะสม (h/c)	5
2.2.3 รูปหน้าตัดของปีกหมุนลม	6
2.3 การเขียนแบบปีกหมุนลมโดยใช้โปรแกรม Pro/ENGINEER	7
2.5 การผลิตปีกหมุนลม โดยเครื่อง CNC	9
บทที่ 3 การตรวจสอบการออกแบบปีกหมุนลม	
3.1 การเปรียบเทียบค่ามุมบิดของปีกหมุนลมทั้งสองอัน	11
3.2 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมของปีกหมุนลมทั้งสองอัน	11
บทที่ 4 การทดลองวัดลมหมุนวน	

4.1 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์ กำเนิดลมหมุนวนวัดโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe และแบบ hot wire probe	15
4.2 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์ กำเนิดลมหมุนวนทั้งที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบนสำหรับการ วัดครั้งเก่าและครั้งใหม่	17
4.3 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีติดอุปกรณ์กำเนิดลม หมุนวนทั้งที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบนสำหรับการวัดครั้งใหม่	20
4.4 การเปรียบเทียบค่าความเร็วของการไหลวนกรณีติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุน วนทั้งที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบนสำหรับการวัดครั้งใหม่	22
บทที่ 5 บทสรุป	24
บรรณานุกรม	26
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลจากการคำนวณ base profile	28
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการวัดความเร็วลม	49
ประวัตินักวิจัย	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คำมูมบิคของปีกหมุนลมแต่ละใบ	11
ก.1 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1	29
ก.2 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1	30
ก.3 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1	31
ก.4 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1	32
ก.5 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2	33
ก.6 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2	34
ก.7 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2	35
ก.8 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2	36
ก.9 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3	37
ก.10 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3	38
ก.11 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3	39
ก.12 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3	40
ก.13 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4	41
ก.14 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4	42
ก.15 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4	43
ก.16 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4	44
ก.17 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5	45
ก.18 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5	46
ก.19 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5	47
ก.20 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5	48
ข.1 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM	50
ข.2 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM	50
ข.3 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ ด้านล่าง โดย vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.30 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM	64
ข.31 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM	65
ข.32 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM	66
ข.33 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM	67
ข.34 ข้อมูลของความเร็วตามแนวแกนต่อและความเร็วของการไหลวนที่ด้านล่างสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1	68
ข.35 ข้อมูลของความเร็วตามแนวแกนต่อและความเร็วของการไหลวนที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1	68
ข.36 ข้อมูลของความเร็วตามแนวแกนต่อและความเร็วของการไหลวนที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2	68

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 'Optimum' pitch/chord ratio	5
2.2 blade design และ base profile	6
2.3 blade ที่ได้ออกแบบไว้เสร็จแล้ว	8
2.4 อุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนที่จะนำไปติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก	9
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนต่อกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1	12
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลวนกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1	13
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนต่อกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2	13
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลวนกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2	14
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัดโดย vane probe	16
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัดโดย hot wire probe	17
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัดครั้งเก่า	18
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัดครั้งเก่า	19
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่	19
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่	20
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนต่อกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนต่อกับความยาวจาก จุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่	22
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลวนกับความยาวจาก จุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่	23
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลวนกับความยาวจาก จุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่	23

บทที่ 1

บทนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของการปฏิบัติงาน โครงการวิจัยเรื่อง “การออกแบบและการวัดข้อมูลระบบลมหมุนวนเพื่อนำไปสู่การสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกประสิทธิภาพสูง” ซึ่งเป็นโครงการที่ใช้เวลาดำเนินการทั้งสิ้น 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2545

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวเปลือกนั้นมีความสำคัญสูงต่อระบบเศรษฐกิจที่มุ่งการพึ่งพาตนเอง ทั้งนี้เพราะข้าวเปลือกเป็นผลิตภัณฑ์หลักในการบริโภคภายในและการส่งออกขายต่างประเทศ การอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเก็บรักษาก่อนนำไปสีเป็นข้าวสารเป็นกระบวนการย่อยอันสำคัญยิ่งต่อกระบวนการผลิตข้าวสารซึ่งเป็นสินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย หากไม่มีการอบแห้งจะทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาได้ เพราะความชื้นที่สูงจะทำให้ข้าวเสื่อมสภาพ และหากนำไปขัดสีก็จะแตกหักมากและได้คุณภาพข้าวสารที่ไม่ดี เช่น สีไม่ขาว ผิวไม่เรียบ [1] เป็นต้น การอบแห้งที่คั้นจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มปริมาณและคุณภาพผลผลิตไปพร้อมกัน ปัจจุบันนี้มีการวิจัยเรื่องการอบแห้งข้าวเปลือกโดยนักวิชาการไทยน้อยมาก ทั้งที่เป็นประเทศเกษตรกรรม งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นของ ศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และคณะ ซึ่งได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้มาอย่างต่อเนื่อง [2, 3, 4, 5] แต่ก็ยังมีประเด็นหรือแนวทางที่สามารถวิจัยและพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกมาก เช่น การทำการทดลองอย่างเป็นระบบโดยการใช้ตัวแปรไร้มิติ [6] เป็นต้น

งานวิจัยนี้เป็นการเริ่มต้นที่จะหาแนวทางในการอบแห้งข้าวเปลือกให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยจะใช้แนวทางของการอบแห้งแบบลมพุง โดยจะมีความแปลกใหม่ตรงที่จะมีการหมุนวนลมด้วยจากการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีทางวิศวกรรมศาสตร์ของผู้เสนอโครงการพบว่า จะสามารถทำให้เกิดการอบแห้งได้อย่างรวดเร็วกว่าปกติ ดังนั้นจึงสร้างเครื่องมือทดลองขึ้นมาในรูปแบบของเครื่องอบแห้งจำลองเพื่อพิสูจน์ว่าเป็นไปได้จริงดังที่ทฤษฎีได้ทำนายไว้ ซึ่งหากเป็นจริงก็จะทำให้สามารถนำไปสร้างเครื่องจำลองต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้สนับสนุนทุนสร้างเครื่องมือทดลองในขั้นเริ่มต้นไว้แล้ว ซึ่งได้ทำการออกแบบและก่อสร้างเสร็จแล้ว แต่ยังขาดอุปกรณ์ในการกำเนิดลมหมุนวนซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการทำงานของเครื่องอบแห้งนี้ จึงต้องทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำให้เกิดลม

หมุนวน และสุดท้ายต้องทำการวัดความเร็วลมในระบบ ทั้งความเร็วลมในแนวเชิงเส้นและความเร็วลมในแนวเชิงมุมว่าได้ค่าเท่าใด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองการอบแห้งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบระบบการกำเนิดลมหมุนวนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

1.2.2 เพื่อวัดความเร็วลมทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

จะทำการออกแบบเชิงแนวคิด เขียนแบบโดยคอมพิวเตอร์ สร้างฐานข้อมูลการออกแบบ และดำเนินการผลิตโดยระบบอัตโนมัติทั้งหมด ซึ่งจะเป็นการพัฒนาทางด้านวิศวกรรม การผลิตชิ้นส่วนไปด้วยโดยปริยาย จากนั้นจะประกอบชิ้นส่วน และทำการวัดความเร็วลมทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุม เพื่อพิสูจน์ว่าได้ความเร็วลมตามประสงค์หรือไม่

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการวิจัย

1.4.1 ได้อุปกรณ์และข้อมูลพื้นฐานในการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกแบบใหม่ ซึ่งหากเป็นผลสำเร็จจะนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ข้าวเปลือก

1.4.2 สร้างฐานวิชาการการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

1.4.3 สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่

บทที่ 2

การออกแบบปีกหมุนลม

แนวทางการทำงานของปีกหมุนลมคือ เป็นปีกนิ่งอยู่กับที่ (ไม่มีการหมุนตัว) โดยที่มุมของปีกบิดไปตามแนวการไหลในท่อ ดังนั้นเมื่อของไหลไหลออกทางด้านท้ายของปีก ของไหลจะมีการบิดตัวไปด้วยพร้อมกับการไหลในแนวแกน เปรียบได้กับการหมุนควงของสกรูที่มีเกลียวนั่นเอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบปีกหมุนลม โดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการไหลวน แนวทางการเลือกรูปหน้าตัดของปีกหมุนลม การออกแบบปีกหมุนลม การเขียนแบบปีกหมุนลม โดยใช้โปรแกรม Pro/Engineer และสุดท้ายจะเป็นการผลิตปีกหมุนลม โดยเครื่อง CNC

2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

ในหัวข้อนี้จะให้ข้อมูลพื้นฐานในเชิงทฤษฎีของการไหลวน และจะกล่าวถึงการออกแบบการไหลวนแบบอิสระ (Free Vortex Design) และการออกแบบการไหลวนแบบให้มุมปีกมีค่าคงที่ (Constant Blade Angle Design) เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบการกำเนิดลมหมุนวนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก โดยการศึกษานี้จะอาศัยสมมุติฐานที่ว่า การไหลเป็นการไหลแบบไม่มีการอัดตัวและปราศจากความหนืด (Inviscid Incompressible Flow)

2.1.1 การออกแบบประเภทการไหลวนแบบอิสระ (Free Vortex Flow)

การไหลวนแบบนี้เป็นการไหลวนที่ไม่เกิดการหมุนตัวของการไหล ซึ่งดูเหมือนว่าเป็นการขัดแย้งในตัวเอง การไหลวนนี้มีคุณสมบัติคือ ไม่มีความเร็วในแนวรัศมี (Radial Component Velocity, $V_r = 0$) โดยเส้นทางการไหลอยู่ในแนวเส้นรอบรูปวงกลมเท่านั้น แท้จริงแล้วการไหลวนแบบนี้เป็นการไหลวนในเชิงทฤษฎีที่ไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นจริงได้ในทางปฏิบัติ แต่สามารถทำให้ใกล้เคียงทฤษฎีได้ สมการควบคุมการไหลวนคือ

$$d(rV_\theta) = 0 \quad (1)$$

เมื่อทำการอินทิเกรต จะได้ว่า

$$rV_\theta = \text{constant} \quad (2)$$

จากสมการที่ได้เป็นการนิยามความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วและรัศมีของการไหลแบบ free vortex ซึ่งจะพบว่า ความเร็วจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าใกล้จุดศูนย์กลางการหมุนของ vortex และจะมีค่าเป็น infinity เมื่อรัศมีเป็นศูนย์ หรือในทางปฏิบัติที่ใกล้เคียงทฤษฎี อาจกล่าวได้ว่า ที่จุดศูนย์กลางจะมีค่าความเร็วมากที่สุดและจะมีค่าลดลงเมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น

ในทางปฏิบัติจะกระทำได้ยากเพราะความเร็วของการไหลจะเข้าสู่ความเร็วเสียง ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการเกิดคลื่นกระแทก (shock wave) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนเอนโทรปีของการไหล ทำให้ไม่สามารถสร้างการไหลแบบอุดมคติได้ เนื่องจากสมการควบคุมของการไหลในระบบนี้สร้างขึ้นมาจากสมมติฐานทางทฤษฎีที่ว่าไม่มีการสูญเสีย (หรือไม่มีการเพิ่มขึ้นของเอนโทรปีนั่นเอง)

การออกแบบปีกหมุนโดยใช้ทฤษฎีนี้มีข้อดีคือ การสูญเสียในการไหลมีค่าน้อยมาก แต่มีข้อเสียตรงที่ปีกหมุนจะต้องมีการบิดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในแนวรัศมีของปีก ทำให้ยุ่งยากต่อการผลิตปีกหมุน ในการไหลอย่างง่ายนั้นผลได้อาจไม่คุ้มผลเสีย แต่ในระบบการไหลขั้นสูง เช่น การไหลในเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์นั้นผลได้อาจคุ้มต่อผลเสีย

2.1.2 การออกแบบประเภทการไหลวนแบบให้มุมปีกมีค่าคงที่

(Constant Blade Angle Design)

การออกแบบในประเภทนี้ก็เพื่อต้องการให้มุมของปีกมีค่าคงที่ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการผลิตปีกหมุนที่มีมุมตรงทางออกที่หลากหลาย เป็นการลดต้นทุนและเวลาในการออกแบบและการผลิต ข้อดีของระบบนี้คือ ความง่ายในการออกแบบและการผลิต ส่วนข้อเสียคืออาจมีการเสียดสีในการไหลสูง ทำให้เกิดการสูญเสียในการไหลมากกว่าการออกแบบประเภทการไหลวนแบบอิสระ

ในการวิจัยนี้จะเลือกแนวทางการออกแบบประเภทมุมปีกมีค่าคงที่ ด้วยเหตุผลคือ การไหลนี้เป็นการไหลที่ความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียงมาก การสูญเสียในการไหลอันเนื่องจากการเสียดสีของการไหลจึงมีค่าน้อยมาก ความง่ายของการออกแบบและการผลิตจึงมีความสำคัญมากกว่าการสูญเสียอันเนื่องจากการไหล

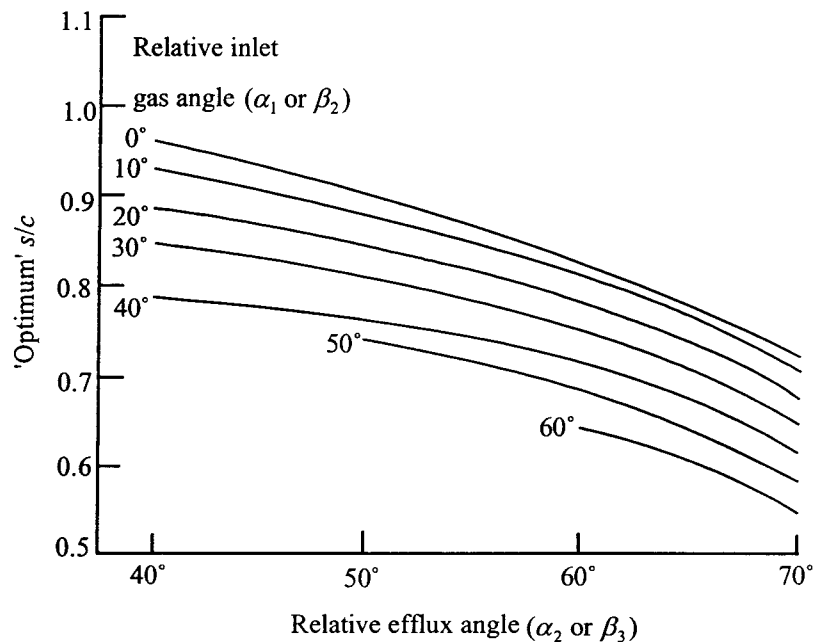
2.2 แนวทางการเลือกรูปหน้าตัดของปีกหมุนลม

เมื่อได้กำหนดว่าจะใช้การออกแบบในประเภทมุมปีกมีค่าคงที่แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การกำหนดรูปทรงหน้าตัดของปีกหมุนลม ซึ่งกรรมวิธีที่ง่ายที่สุดคือ กำหนดให้หน้าตัดเป็นรูปแบนเท่ากันหมดตลอดแนวรัศมี ข้อดีของหน้าตัดนี้คือความง่ายในการออกแบบและการผลิต แต่มีข้อเสียคือมีอัตราการสูญเสียสูง ในการวิจัยนี้ได้เลือกแนวทางให้หน้าตัดของปีกเป็นรูปแอร์ฟอยล์ (Airfoil) ทั้งนี้

เพื่อลดการสูญเสีย นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างปีกต่อยังมีนัยสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการไหล หัวข้อนี้จะกล่าวถึง ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อการออกแบบ ในการเลือกรูปร่างของ blade จำเป็นต้องมีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับก๊าซที่ไหลผ่านและมุมหักเหที่จะทำให้เกิดการสูญเสียจากการไหลน้อยที่สุด ซึ่งค่าการสูญเสียส่วนใหญ่มาจากการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน (friction loss)

2.2.1 การเลือกอัตราส่วนระหว่างระยะ pitch และระยะ chord ที่เหมาะสม (s/c)

ในการออกแบบ รูปที่ 2.1 มีประโยชน์มากทำให้สามารถเลือกระยะ pitch (ระยะห่างระหว่างปีกข้างเคียง) และระยะ chord (ความยาวตามแนวการไหลของปีก) ที่เหมาะสม เป็นผลให้เกิดความสูญเสียเนื่องจากรูปร่างของ blade น้อยที่สุด



รูปที่ 2.1 'optimum' pitch/chord ratio ⁽¹⁾

2.2.2 การเลือกอัตราส่วนระหว่างความสูงของปีกหมุนลม

และระยะ chord ที่เหมาะสม (h/c)

ค่า aspect ratio (h/c) เป็นค่าที่ได้มาจากการเลือกตามความเหมาะสม ซึ่งไม่ควรเลือกค่าต่ำเกินไปเพราะจะทำให้เกิดปัญหา secondary loss (การรั่วที่ปลายปีก) และถ้าเลือกค่าที่สูงเกินไป

2.3 การเขียนแบบปีกหมุนลมโดยใช้โปรแกรม Pro/ENGINEER

ในการออกแบบปีกหมุนลมแบบให้มุมปีกคงที่นั้น จะนำ base profile ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองขององค์การการบินและอวกาศของสหรัฐอเมริกา (NASA) โดยเลือกใช้ blade profile ของ NASA 0015 มาเป็นต้นแบบในการผลิต ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

1. ทำการสร้าง Datum Plane เพื่อใช้เป็นแนวแกนอ้างอิง โดยมีขั้นตอนดังนี้

Feature>Create>Datum>Plane>Default

2. ใช้คำสั่ง Pattern ในการออกแบบ blade ให้มีโครงสร้างที่เหมือนกันทุกใบ โดยในการทำ Pattern Datum นั้น Datum ต้องเป็น Internal Datum Plane ซึ่งได้มาจากการใช้คำสั่ง Make Datum ให้ Through ผ่านแกนอ้างอิงที่ทำการสร้างไว้ก่อนแล้ว โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 2.1 สร้างแกนอ้างอิงภายนอกหรือทำการสร้างจุดต่อเชื่อม ซึ่งการต่อเชื่อมนั้นหากเป็นทรงกระบอกก็สามารถใช้จุดนั้นเป็นจุดทำการอ้างอิงได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

Feature>Create>Datum>Axis>Two Planes>Pick

ซึ่งจะได้แกนอ้างอิงภายนอกออกมา โดยแกน A_1 ที่ได้สร้างขึ้นใหม่จะเป็นแนวทางการไหล

- 2.2 สร้างรูป blade โดยอาศัยข้อมูลที่ทำการคำนวณมาแล้วซึ่งจะทำการออกแบบแบบให้มุมปีกมีค่าคงที่ (Constant Blade Design) โดยมีขั้นตอนการสร้างรูปทรงดังนี้

Feature>Create>Protrusion>Extrude>Solid>Done>One Side>Done>

Make Datum>Through>Angle

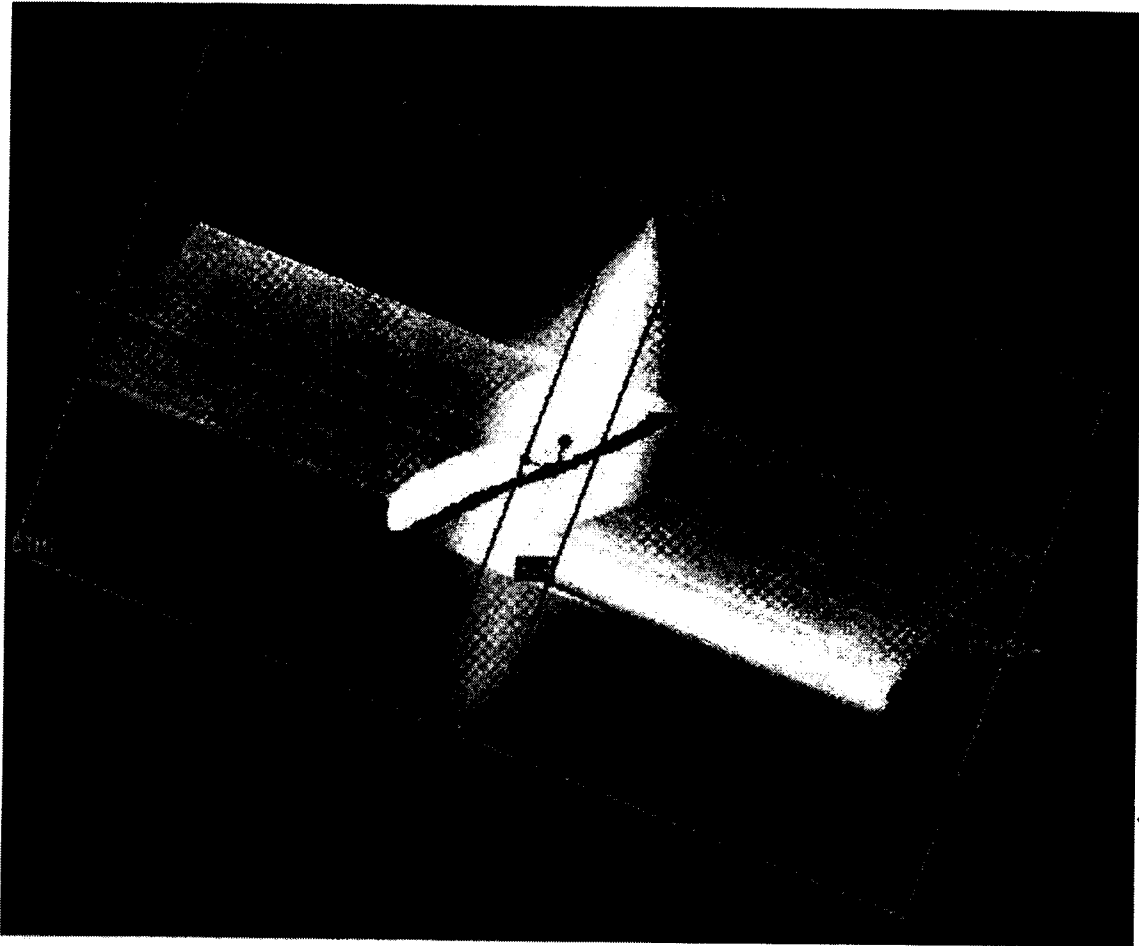
ในการใช้คำสั่ง Through ให้เลือกแกน A_1 ที่ได้สร้างขึ้น และคำสั่ง Angle ให้เลือก Datum ที่ต้องการให้ทำมุม จากนั้นก็ใส่ค่ามุมเริ่มต้น >Top View>Pick

ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดจุดบน Sketching Plane ที่สร้างขึ้นใหม่ โดยทำการกำหนดจุดอ้างอิงที่ได้มาก่อน ขั้นตอนมีดังนี้

Sketch>Point>Dimension>Regenerate>Sketch>Adv Geometry>Spline>

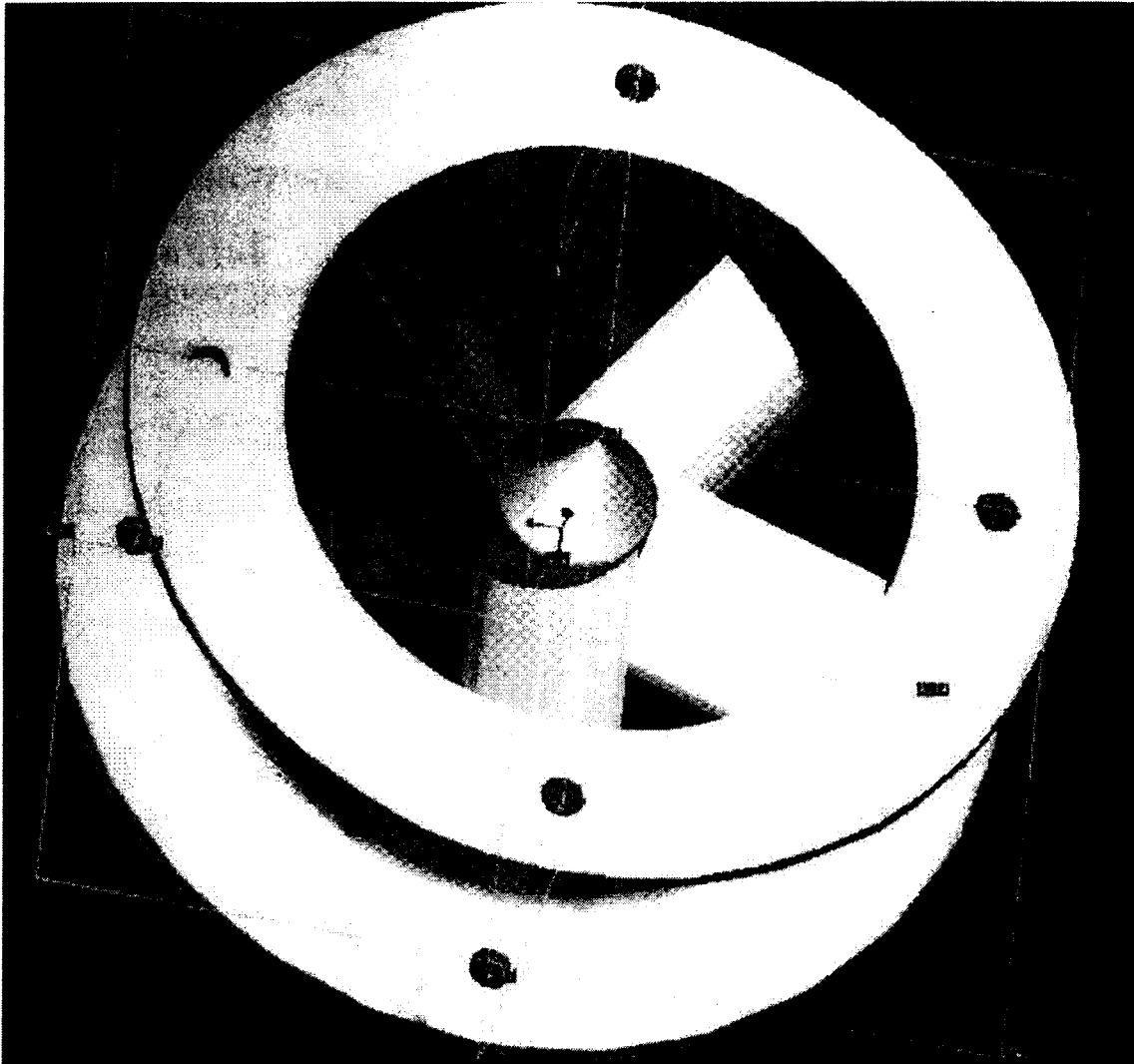
Select Points>Approx Chain>Pick

- 2.3 ทำการกำหนดความยาวของใบโดยใช้คำสั่ง Blind>Done ก็จะได้ blade จำนวน 1 ใบตามที่ต้องการ จากนั้นทำการ Pattern โดยเปลี่ยนค่ามุมตามที่ต้องการก็จะได้ blade ซึ่งมีจำนวนหลายใบตามที่ได้ออกแบบไว้ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 blade ที่ได้ออกแบบไว้เสร็จแล้ว

2.4 ทำการสร้างองค์ประกอบอื่น ๆ ตามที่ต้องการ โดยขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้กับงานประเภทใด ส่วนในการวิจัยนี้จะนำไปใช้กับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก ซึ่งห้องอบแห้งเป็นทรงกระบอก จึงต้องสร้างทรงกระบอกขึ้นมาเพื่อประกอบเข้ากับ blade ที่ได้สร้างไว้แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนที่จะนำไปติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

2.4 การผลิตปีกหมุนลมโดยเครื่อง CNC

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการผลิตอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ทำการตัดแบ่งชิ้นงานให้พอเหมาะกะกับแท่นวางชิ้นงาน โดยขนาดชิ้นงานใหญ่ที่สุดไม่ควรเกิน 15×30 เซนติเมตร
2. นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการเก็บผิวชิ้นงานให้มีความเรียบและขนาดความสูงตามต้องการ ถ้าชิ้นงานที่ถูกส่งเข้าเครื่องมีขนาดความสูงมากเกินไป จะทำให้สูญเสียเวลาในการตัดชิ้นงาน

3. ทำการเจาะรูให้ทะลุและปากรูต้องเรียบ เพราะเครื่อง CNC จะทำการหาจุดศูนย์กลางของรู โดยการวิ่งชน หากปากรูไม่เรียบจะทำให้เครื่องคำนวณระยะทางผิดพลาดได้

4. เมื่อได้ชิ้นงานที่มีขนาดตามความต้องการแล้ว ให้ทำการตัดชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ บนเครื่อง CNC ก่อนทำการตัดต้องเขียน โปรแกรมจับชิ้นงาน และหาพิกัดเริ่มต้น จากนั้นจึงทำการตัดชิ้นงาน

5. เมื่อได้ชิ้นงานตามที่ต้องการแล้วให้ทำการเปรียบเทียบหาความละเอียดของผิว วิธีที่ง่ายที่สุดในการหาค่าความละเอียดของผิว คือ ทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างความละเอียดของผิวที่มากับเครื่อง CNC หากต้องการให้มีความถูกต้องสูงสามารถทำการวัดบนเครื่อง CMM ได้โดยตรง

6. หลังจากนั้นให้นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการวัดเปรียบเทียบขนาด โดยทำการวัดบนเครื่อง CMM ใช้ฟังก์ชันในส่วนของ ScanPAC โดยเครื่อง CMM ในส่วนของ ScanPAC จะทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยการเก็บพิกัดทำได้โดยให้หัววัดของเครื่องชนกับชิ้นงาน ซึ่งจำนวนจุดที่ทำการวัดจะขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานและความละเอียดในการเก็บข้อมูล โดยค่าที่ได้จากการวัดจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงและแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ โดยค่าที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงหาได้จากสมการที่ fitting จากการออกแบบ

7. สุดท้ายจะเป็นขั้นตอนการประกอบ โดยการนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการเชื่อมบนแท่นยึดแม่เหล็ก จากนั้นทำการพ่นสี

บทที่ 3

การตรวจสอบการออกแบบปีกหมุนลม

ได้ทำการออกแบบและผลิตปีกหมุนลมขึ้นมา 2 ชุด โดยที่ปีกหมุนลมแต่ละชุดได้ออกแบบให้ใช้ความเร็วลมเชิงแกนและความเร็วของการไหลวนที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะออกแบบไว้หลายกรณีศึกษาก็ตาม แต่ด้วยข้อจำกัดของเวลาจึงทำให้สามารถผลิตปีกหมุนลมขึ้นมาได้เพียง 2 อันเท่านั้น โดยในชุดที่ 1 ได้ออกแบบให้เกิดความเร็วหมุนวนเป็นจำนวน 30% ของการไหลในแนวแกน และในชุดที่ 2 ออกแบบให้เกิดความเร็วหมุนวนเป็นจำนวน 20% ของการไหลในแนวแกน

3.1 การเปรียบเทียบค่ามุมบิดของปีกหมุนลมทั้งสองชุด

เนื่องจากในการออกแบบปีกหมุนลมใช้วิธีการออกแบบแบบให้มุมของปีกมีค่าคงที่ ซึ่งหมายความว่ามุมตรงทางออกของทุกปีกทุกใบต้องมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อลองวัดค่ามุมปรากฏว่าแต่ละปีกใบมีมุมไม่เท่ากัน ดังที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่ามุมบิดของปีกหมุนลมแต่ละใบ

ปีกหมุนลมชุด ที่	มุมบิด (degree, °) ของปีกหมุนลมใบที่					
	1	2	3	4	5	mean
1	57.8	50.28	57.8	53.87	53.87	54.724
2	56.44	56.44	52.34	48.59	52.34	53.23

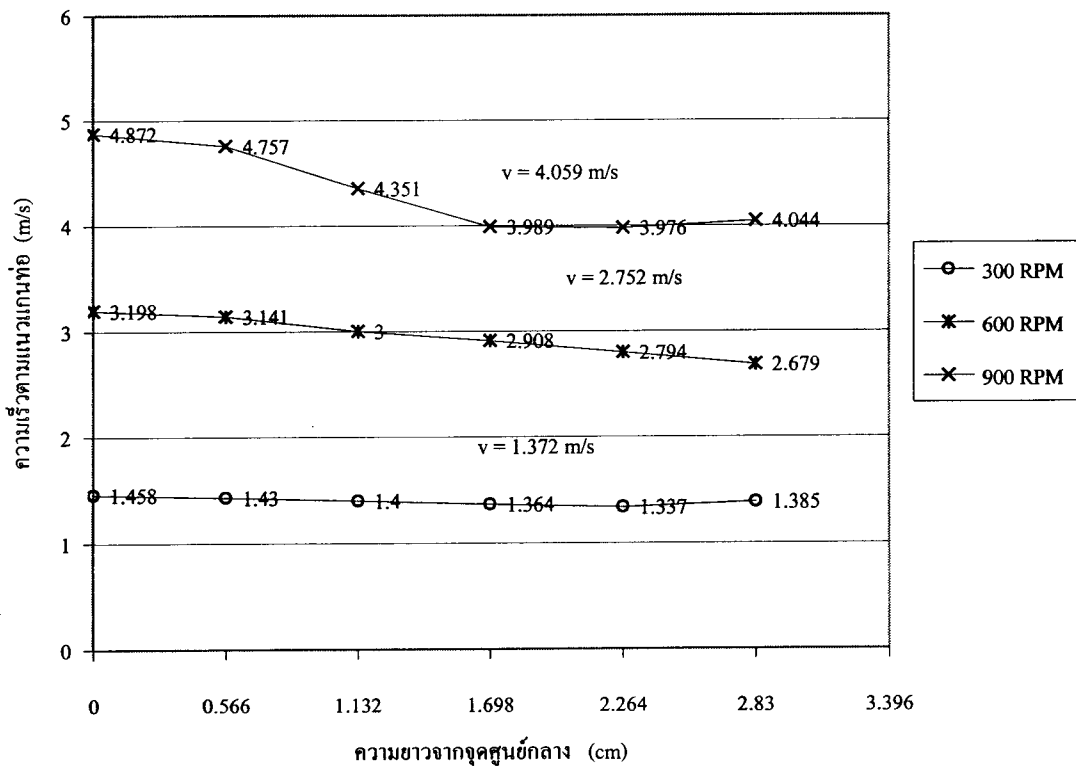
ปีกหมุนลมชุดที่จะเลือกใช้ในการทดลอง คือปีกหมุนลมชุดที่ 1 เพราะค่ามุมบิดของแต่ละใบมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าปีกหมุนลมชุดที่ 2 สาเหตุของความผิดพลาดของค่ามุมบิดนี้อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการผลิตอันเนื่องจากการสั่นสะเทือนของใบมีคตัดชิ้นงาน หรือจากการป้อนค่าที่ผิดพลาดของบุคลากร

3.2 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมของปีกหมุนลมทั้งสองชุด

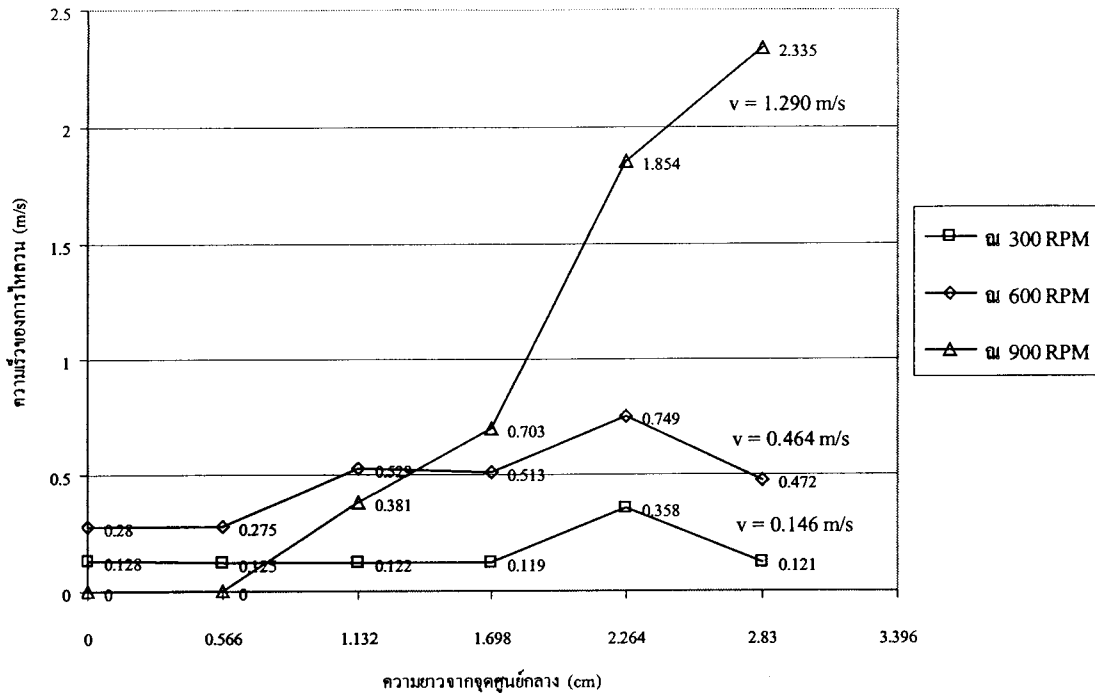
เมื่อนำปีกหมุนลมทั้งสองชุดไปติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจำลองเพื่อวัดค่าความเร็วลม พบว่าค่าความเร็วของการไหลวนเฉลี่ยทั้งหมดคิดเป็น 10.64-31.78% ของค่าความเร็วลมเชิงแกนเฉลี่ยทั้งหมดสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 1 และ 9.04-17.99% ของค่าความเร็วลมเชิงแกน

เฉลี่ยทั้งหน้าตัดสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.4 (RPM คือ อัตราการหมุนต่อนาทีของเครื่องเป่าอากาศเข้าท่ออบแห้ง)

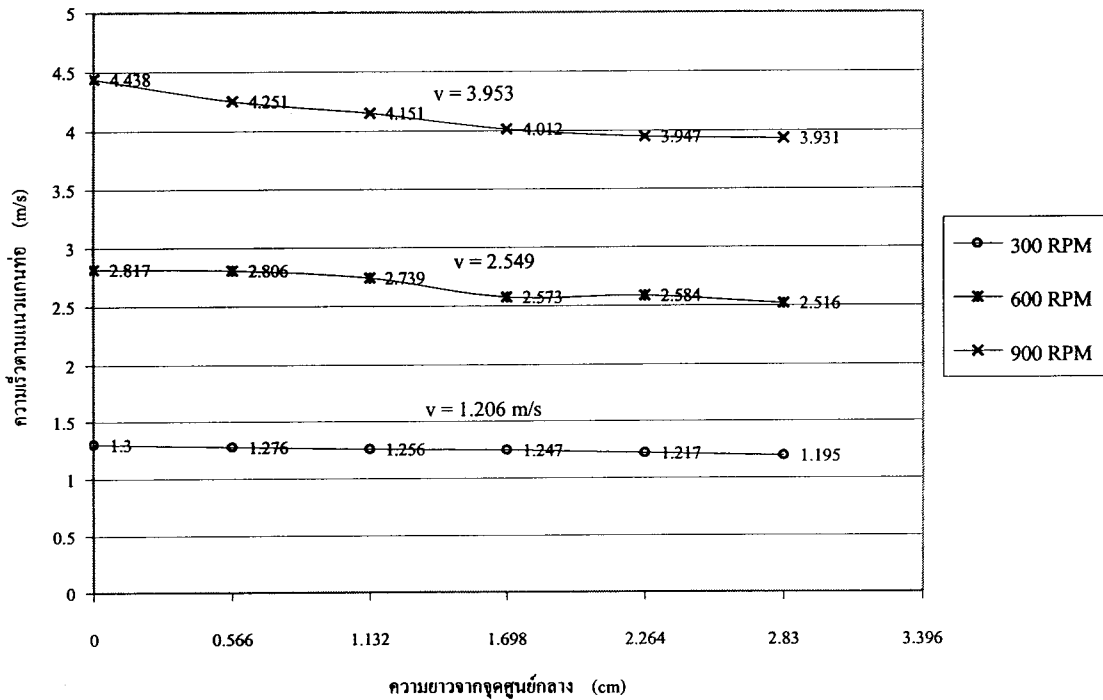
เมื่อพิจารณากราฟทั้งสี่รูปพบว่า ทั้งค่าความเร็วลมเชิงแกนและค่าความเร็วของการไหลวนสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 1 จะมีค่ามากกว่าเสมอเมื่อเทียบกับปีกหมุนลมชุดที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบกำหนดให้ค่าความเร็วของการไหลวนของปีกหมุนลมชุดที่ 1 มีค่ามากกว่าของปีกหมุนลมชุดที่ 2 จึงทำให้ค่าความเร็วของการไหลวนที่วัดได้ของปีกหมุนลมชุดที่ 1 มีค่ามากกว่าของปีกหมุนลมชุดที่ 2 ในการวิจัยนี้เลือกใช้ปีกหมุนลมชุดที่ 1 เพียงชุดเดียวเพื่อนำไปติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจำลอง



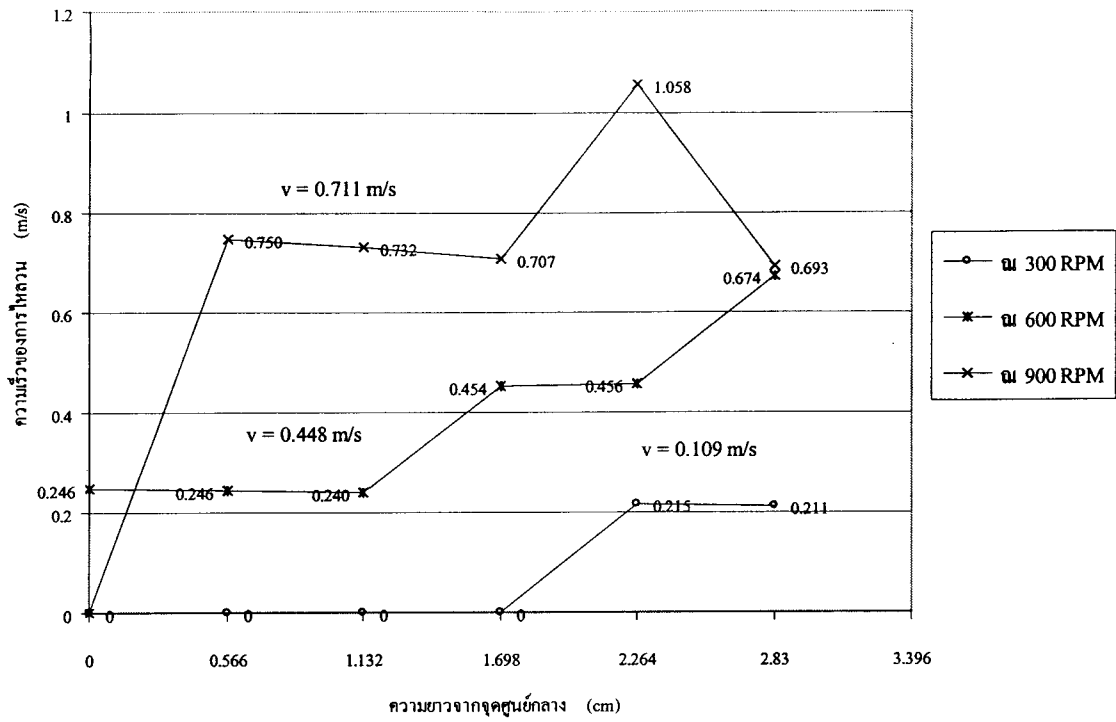
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนท่อกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 1



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลวนกับ ความยาวจากจุดศูนย์กลางที่คำนวณสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 1



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนท่อกับ ความยาวจากจุดศูนย์กลางที่คำนวณสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 2



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลวนกับ ความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมชุดที่ 2

บทที่ 4

การทดลองวัดลมหมุนวน

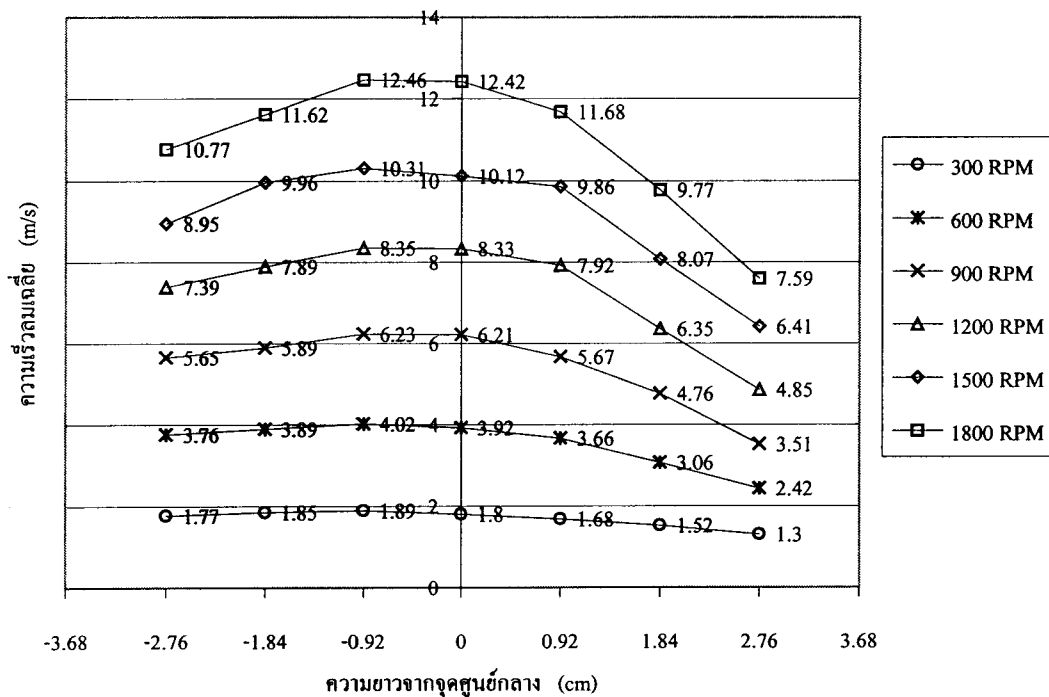
ปีกหมุนลมที่ออกแบบและผลิตขึ้นนี้ถูกนำไปติดตั้งไว้ในท่ออบแห้งของเครื่องอบแห้งจำลองที่ได้สร้างขึ้น โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยนำไปติดตั้งไว้ทางด้านล่างของท่อ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. และมีความสูงของท่อ 2 เมตร โดยลมที่ใช้ในการอบแห้งจะเข้าทางด้านล่างของท่อ ไหลผ่านปีกหมุนลม และไปออกทางด้านบนของท่อ ขั้วเปลือกซึ่งจะตกลงมาในทิศทางที่สวนกับแนวการไหลของลม ทำให้เกิดการดูดซับความชื้นด้วยอากาศภายในท่อ ความเร็วในแนวแกนและแนวรัศมีของลมในท่อจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์การอบแห้งโดยวิธีนี้

เครื่องวัดความเร็วลมที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe ซึ่งช่วงการวัดอยู่ที่ 0.4-60 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง ± 0.2 เมตรต่อวินาที และแบบ hot wire probe ซึ่งช่วงการวัดอยู่ที่ 0-20 เมตรต่อวินาที ส่วนค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง ± 0.3 เมตรต่อวินาที โดยจะทำการวัดค่าใน 2 กรณี คือ กรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนและกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวน ในการวัดค่าจะต้องวัดค่าทั้งที่ด้านล่างและด้านบนของเครื่องอบแห้งขั้วเปลือกจำลอง

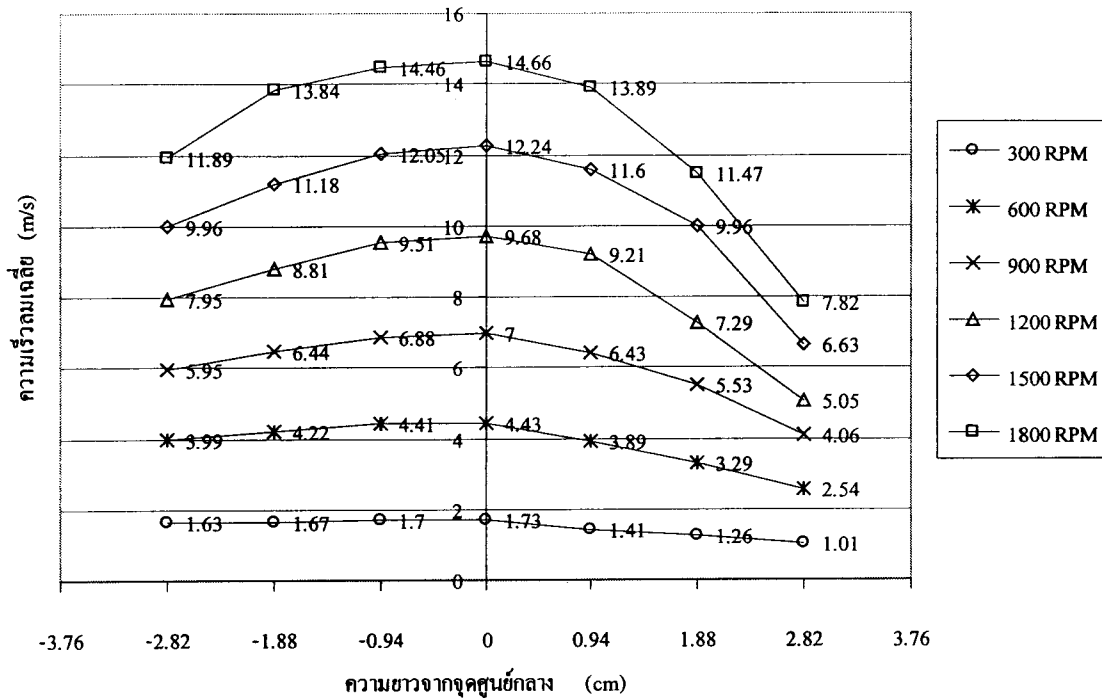
4.1 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe และแบบ hot wire probe

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งแสดงความเร็วลมในแนวเชิงเส้นที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe และแบบ hot wire probe พบว่าความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe จะมีค่าสูงสุดที่จุดก่อนจุดศูนย์กลางและจะลดลงเรื่อย ๆ ส่วนความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe จะมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์กลางและจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อยิ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง ซึ่งตามทฤษฎีแล้วในการไหลภายในท่อทรงกระบอก ค่าความเร็วที่ได้จะต้องมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์กลางท่อและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe ตรงกับทฤษฎีมากกว่า การเบี่ยงเบนของค่าการวัดด้วย vane probe นั้นอาจเนื่องมาจากเครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe มีขนาดใหญ่กว่าเครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe ทำให้ไปกีดขวางทางการไหลของลม และเมื่อเทียบกับขนาดของท่อซึ่งไม่ใหญ่มากนัก จึงเหมาะที่จะใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe ดังนั้นความเร็วลมที่จะกล่าวถึงต่อจากนี้ไปจะเป็นความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe เท่านั้น

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าที่ระยะจากจุดศูนย์กลางเดียวกัน ค่าความเร็วลมทางด้านลบและด้านบวกจะมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ค่าความเร็วลมทางด้านลบจะมีค่าสูงกว่าความเร็วลมทางด้านบวกเสมอ เนื่องจากเกิดการแทนที่ของก้าน probe ของเครื่องมือวัด กล่าวคือ เมื่อทำการวัดค่าความเร็วลมทางด้านลบ ก้าน probe ของเครื่องมือวัดจะเข้าไปแทนที่ทางให้ลมไหลออกมากกว่าทางด้านบวก ทำให้พื้นที่ที่ให้ลมไหลออกน้อยกว่า จึงทำให้ความเร็วลมทางด้านลบมีค่าสูงกว่าความเร็วลมทางด้านบวก ซึ่งคล้ายกับหลักการของการไหลผ่าน nozzle กล่าวคือ เมื่อของไหลไหลผ่านท่อซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน โดยเริ่มแรกท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ ต่อมาท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ทำให้เมื่อของไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่แล้วไหลผ่านเข้าท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ของไหลจะต้องไหลด้วยความเร็วที่สูงขึ้นกว่าเดิมเมื่อไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง เป็นผลให้เกิดการเบี่ยงของข้อมูล



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ไม่มีปีกหมุนลม วัด โดย vane probe



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับ ความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณีไม่มีปีกหมุนลม วัด โดย hot wire probe

4.2 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนทั้งที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบนบนเครื่องอบแห้งสำหรับการวัดครั้งเก่าและครั้งใหม่

เนื่องจากในขณะที่ทดลองอบแห้งข้าวเปลือก ตัวใบพัดของพัดลมเกิดชำรุดจนไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีก จึงต้องทำใบพัดชิ้นใหม่อีกชุดหนึ่ง ทำให้ต้องมีผลการวัดความเร็วลม 2 ครั้ง คือ ครั้งเก่าและครั้งใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 – 4.6

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 และ 4.5 ซึ่งเป็นการวัดที่ด้านล่างของท่ออบ จะพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดของครั้งใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 17.41 – 52.70% เมื่อเทียบกับความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดของครั้งเก่า

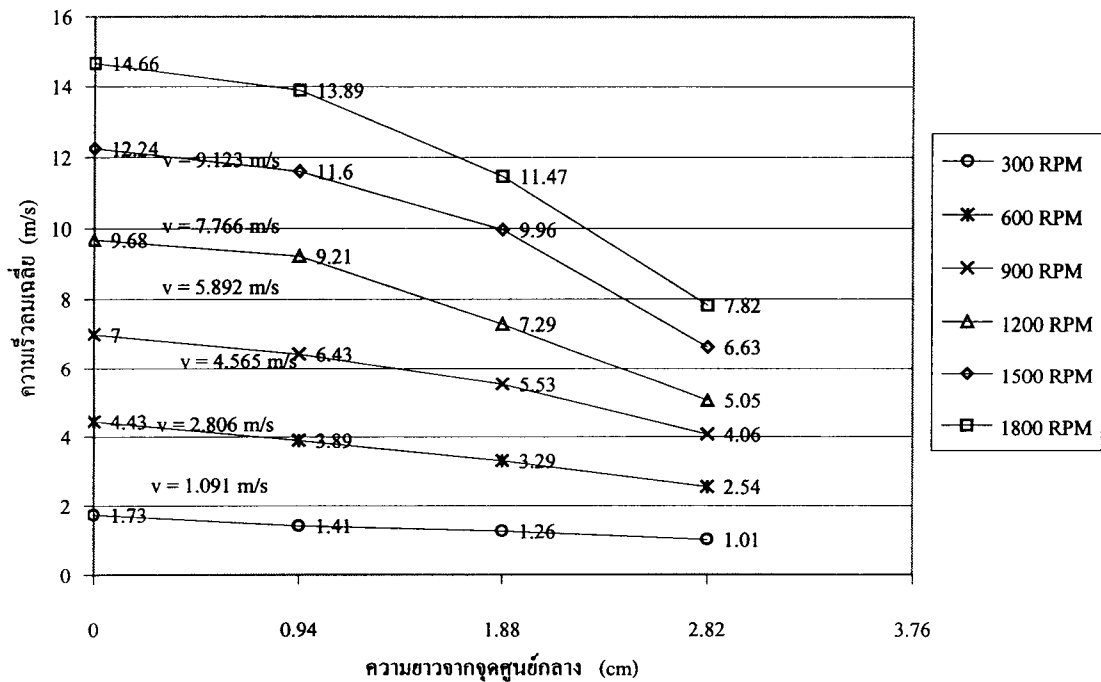
และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.4 และ 4.6 ซึ่งเป็นการวัดที่ปลายท่อด้านบน จะพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดของครั้งใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 18.09 – 30.76% เมื่อเทียบกับความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดของครั้งเก่า

สาเหตุที่ความเร็วลมครั้งใหม่มีค่าต่างกับความเร็วลมครั้งเก่าเพราะ ได้ทำฐานที่ใช้ยึดใบพัดขึ้นมาใหม่เนื่องจากฐานเดิมเกิดการคด โดยฐานที่สร้างขึ้นใหม่มีความหนามากกว่าฐานเดิมและได้จากการกลึงเหล็กที่มีขนาดหนามาก ส่วนใบพัดได้เลือกเหล็กที่มีความหนาเท่า ๆ กันมาทำเพราะใบพัดเดิม

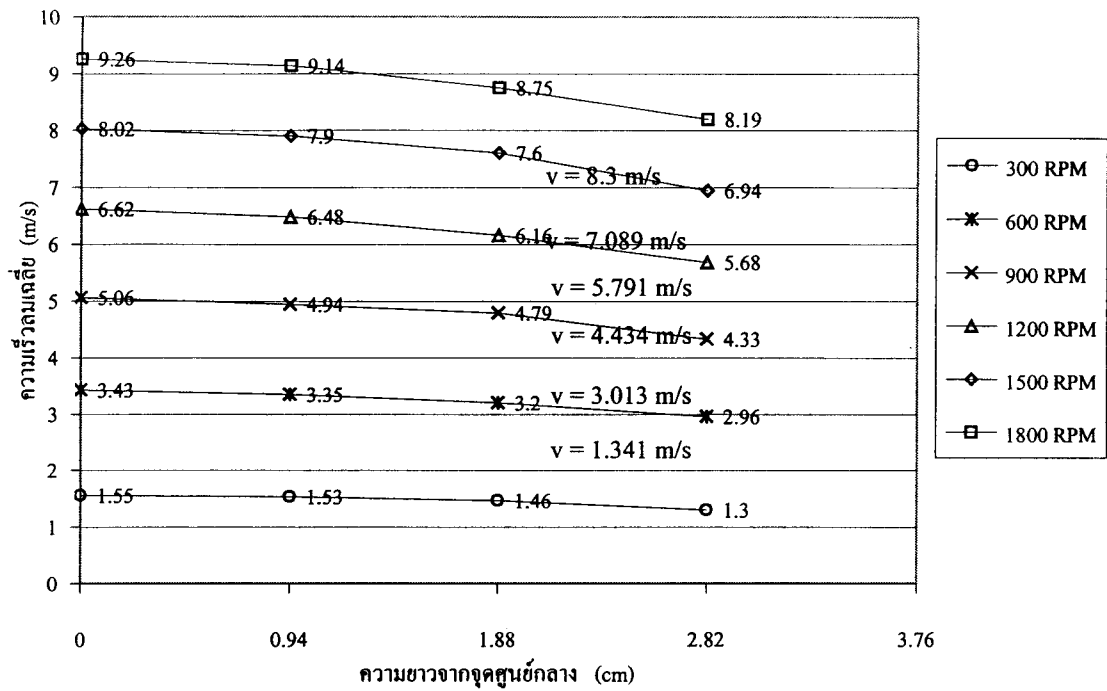
เหล็กมีความหนาไม่เท่ากันจะมีอยู่ 2 – 3 ใบที่เหล็กบางกว่าใบอื่น ๆ เวลาใช้คใบพัดกับฐานจะใช้เนื้อช่วยยึด ถ้าเป็นแบบเก่าจะใช้ตัวรีเวทิงซึ่งมีข้อเสียดตรงที่เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ตัวรีเวทิงจะเสื่อมสภาพจากฐานเดิมที่คดทำให้ใบพัดหมุนไม่ได้ศูนย์ จึงทำให้ค่าความเร็วลมที่วัดได้มีค่าไม่ค่อยสม่ำเสมอ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าความเร็วลมที่วัดที่ด้านล่างกับที่วัดที่ด้านบนทั้งกรณีครั้งเก่าและครั้งใหม่ จะพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่วัดที่ด้านล่างกับที่วัดที่ด้านบนแตกต่างกัน 1.71–22.91% สำหรับครั้งเก่า และ 0.49 – 2.95% สำหรับครั้งใหม่ ซึ่งจะเห็นว่าครั้งใหม่นี้ลมมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เป็นผลจากใบพัดที่สร้างขึ้นใหม่ได้ศูนย์กว่าเดิม ทำให้ความแตกต่างของความเร็วลมที่วัดที่ด้านล่างที่ขอบและที่ปลายท่อด้านบนกรณีครั้งใหม่มีค่าน้อยกว่า ซึ่งความเป็นจริงไม่น่าจะมีความแตกต่างเลย แต่ความแตกต่างประมาณ 3% ถือว่าพอยอมรับได้ว่าเกิดจากความผิดพลาดในการคำนวณค่าความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งหน้าตัด ซึ่งคำนวณโดยใช้วิธี finite difference

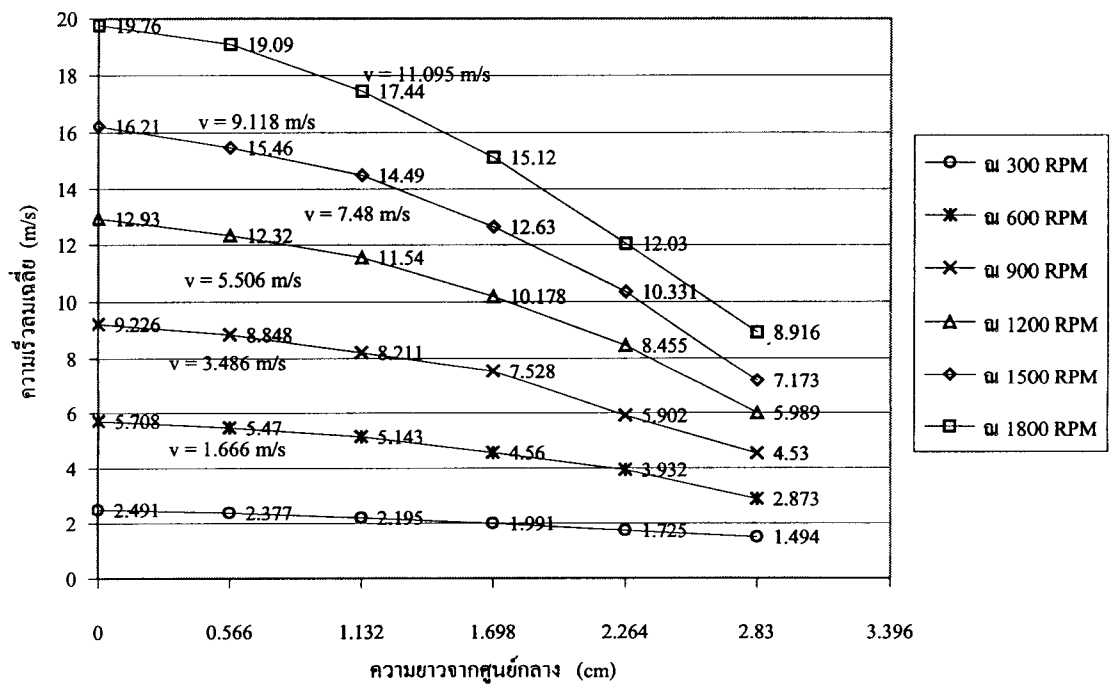
ถ้าพิจารณาจากกฎการอนุรักษ์มวลที่ว่า $\dot{m} = \rho AV$ ซึ่งที่ทางเข้าและทางออกจะต้องเท่ากัน เมื่อค่า ρ และ A ที่ทางเข้าและทางออกเท่ากัน ทำให้ได้ว่า ค่าความเร็วลมในแนวแกนที่ทางเข้าและทางออกต้องมีค่าเท่ากัน หรือกล่าวได้ว่า ค่าความเร็วลมที่ด้านล่างและด้านบนต้องเท่ากันเพื่อให้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวล ถ้าพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าความเร็วลมที่วัดที่ด้านล่างกับที่วัดที่ด้านบนกรณีครั้งใหม่จะพบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้



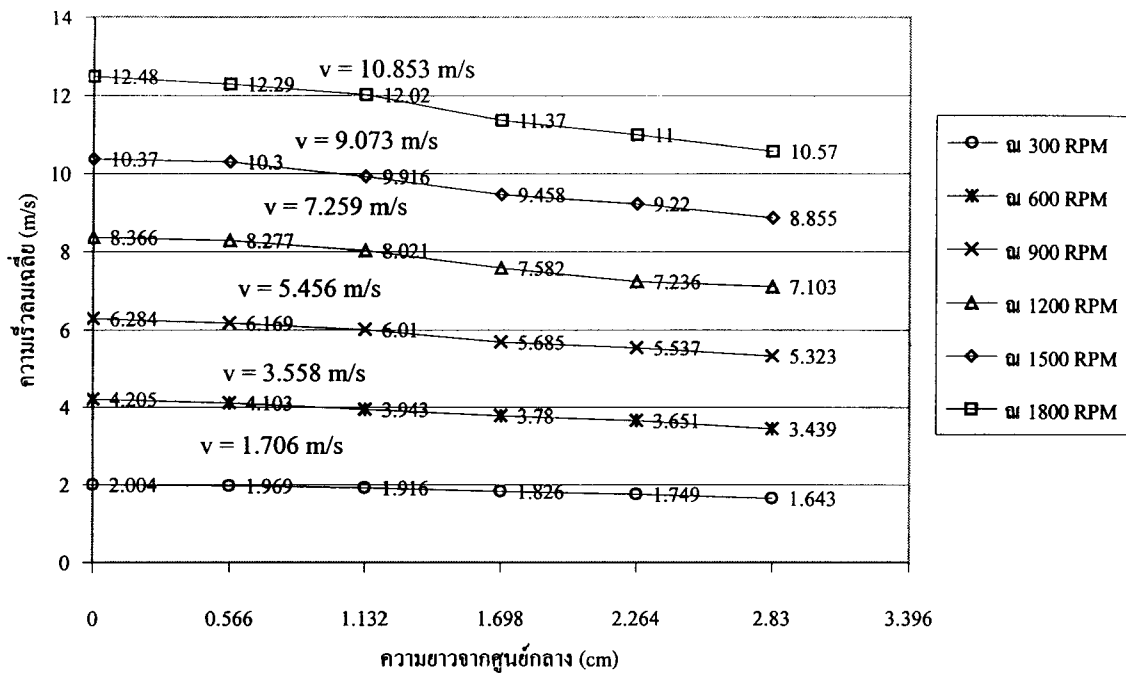
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณีไม่มีปีกหมุนลม วัดครั้งเก่า



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณีไม่มีปีกหมุนลม วัคครั้งเก่า



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณีไม่มีปีกหมุนลม วัคครั้งใหม่



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเฉลี่ยกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณีไม่มีปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่

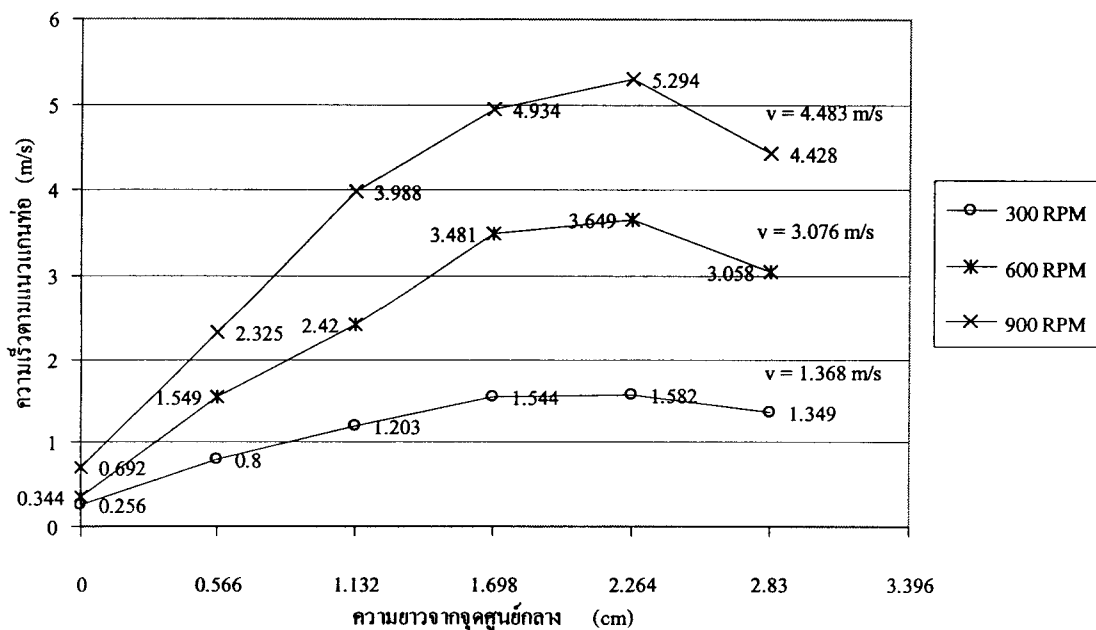
4.3 การเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนทั้งที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบนสำหรับการวัดครั้งใหม่

เช่นเดียวกันกับกรณีติดปีกหมุนลม ค่าความเร็วลมเชิงแกนที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบนของเครื่องอบแห้งจะต้องเท่ากันเพื่อให้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวล ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วลมเชิงแกนกับระยะจากจุดศูนย์กลางกรณีติดปีกหมุนลมวัดครั้งใหม่ทั้งที่ด้านล่างท่ออบและที่ปลายท่อด้านบน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.29 - 10.53% การที่เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีค่าสูงถึง 10% กว่า ๆ อาจเป็นเพราะความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ ตัวผู้วัด เครื่องวัดความเร็วลม และการคำนวณหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งหน้าตัดโดยใช้วิธีผลต่างสืบเนื่อง (finite difference) ซึ่งปกติเครื่องวัดความเร็วลมใช้วัดแค่ความเร็วในแนวแกน x, y แต่ในที่นี้จะต้องวัดความเร็วทั้ง 3 แนวแกน แต่เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดความเร็วที่สามารถวัดได้ทั้ง 3 แนวแกน จึงได้ลองใช้เครื่องวัดความเร็วแบบ hot wire probe โดยหมุนด้ามเครื่องมือวัดทีละ 5 องศา เมื่อได้ลองทำดูพบว่า วิธีการนี้สามารถวัดความเร็วใน 3 แนวแกนได้ กล่าวคือ เมื่อหมุนด้ามเครื่องมือวัดทีละ 5 องศา จะได้ค่าความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไป

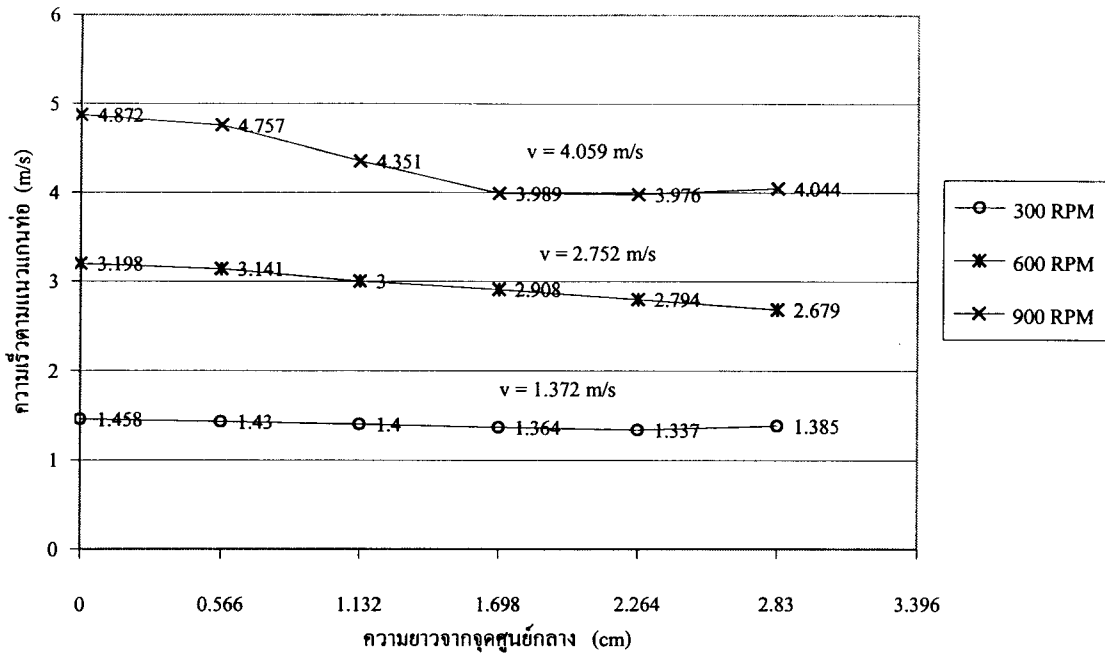
เมื่อลองนำไปวัดค่าความเร็วลมกรณีที่ไม่ได้ติดปีกหมุนลม พบว่า ค่าความเร็วลมจะมีค่าสูงสุดเมื่อหมุนด้ามเครื่องมือวัดเป็น 0 องศา ซึ่งตรงกับความเป็นจริง จึงสามารถนำหลักการนี้มาใช้ในการวัดค่าความเร็วลมกรณีติดปีกหมุนลมได้ เพราะหากหมุนไปจนได้ความเร็วสูงสุดแล้วย่อมแสดงว่าลมมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของ probe

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงค่าความเร็วลมเชิงแกนกับระยะจากจุดศูนย์กลางกรณีติดปีกหมุนลมวัดครั้งใหม่ที่ด้านล่างท่ออบ พบว่าที่จุดศูนย์กลางท่อความเร็วลมเชิงแกนจะมีค่าต่ำสุดเสมอ ซึ่งอาจดูไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง กล่าวคือ เมื่อมีการไหลภายในท่อทรงกระบอก ค่าความเร็วลมเชิงแกนที่ได้จะต้องมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์กลางท่อและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากจุดที่วัดด้านล่างท่ออบจะอยู่ใกล้กับรูปหยดน้ำซึ่งเป็นแกนกลางของปีกหมุนลม และมีระยะห่างในแนวท่อจากตำแหน่งที่วัดเพียง 2.5 cm เป็นผลให้อากาศที่ไหลผ่านแกนกลางของปีกหมุนลมที่เป็นรูปหยดน้ำเกิดปรากฏการณ์ wake ขึ้น จึงทำให้ความเร็วลมเชิงแกนที่จุดศูนย์กลางท่อมียค่าต่ำสุดเสมอ

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงค่าความเร็วลมเชิงแกนกับระยะจากจุดศูนย์กลางกรณีติดปีกหมุนลมวัดครั้งใหม่ที่ปลายท่อด้านบน พบว่าที่จุดศูนย์กลางท่อความเร็วลมเชิงแกนจะกลับไปมีค่าสูงสุดตามที่คาดหวังและจะมีค่าลดลงเมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากตำแหน่งในแนวท่อที่วัดที่ปลายท่อด้านบนอยู่ไกลจากรูปหยดน้ำที่เป็นแกนกลางถึง 2 เมตร การไหลจากด้านล่างสู่ด้านบนสามารถปรับตัวให้เข้าสู่สภาพตามธรรมชาติได้แล้ว



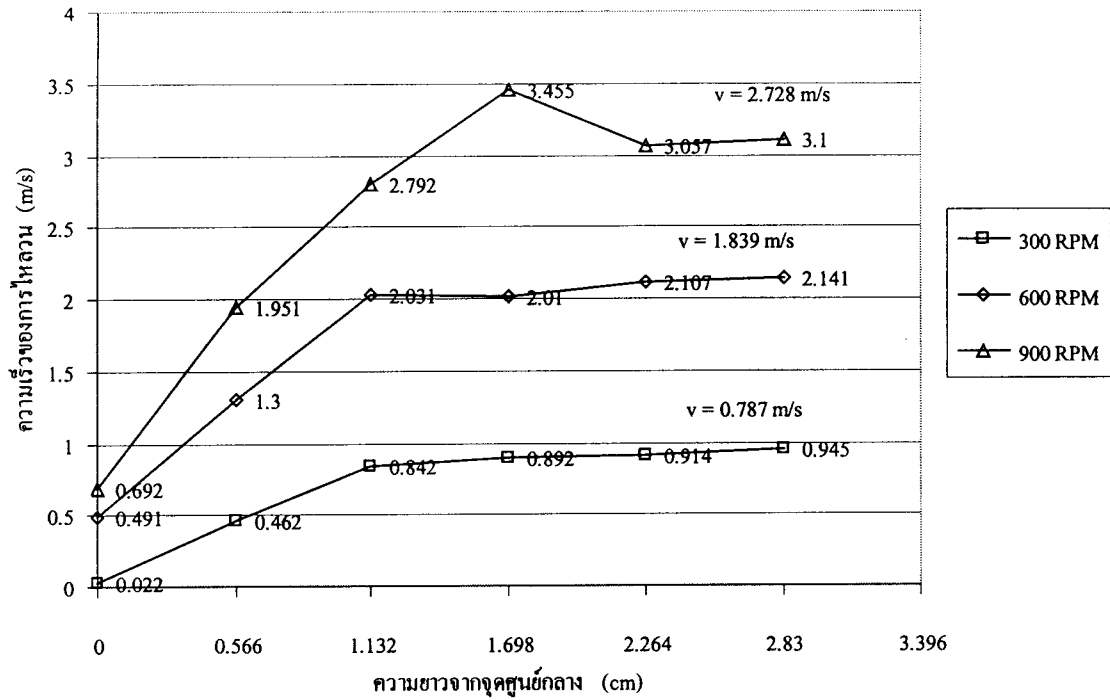
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนท่อกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่



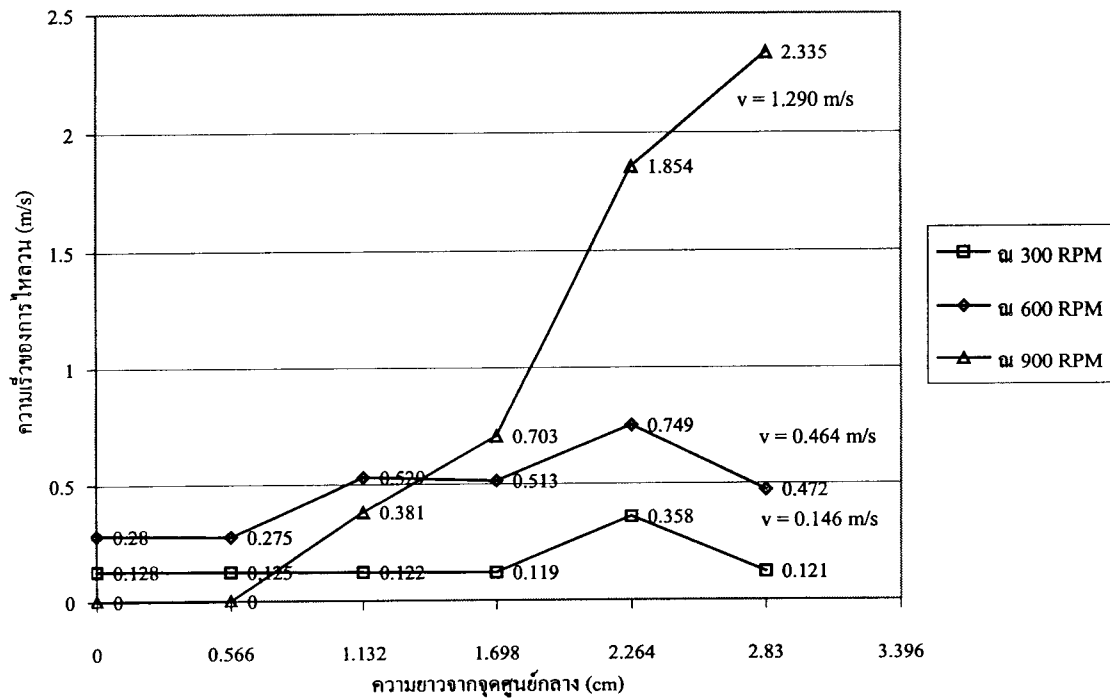
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วตามแนวแกนต่อกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่

4.4 การเปรียบเทียบค่าความเร็วของการไหลวนกรณีติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนทั้งที่ด้านล่างท่ออบ และที่ปลายท่อด้านบนสำหรับการวัดครั้งใหม่

เมื่อพิจารณากราฟที่แสดงถึงค่าความเร็วของการไหลวนกับระยะจากจุดศูนย์กลางดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า ค่าความเร็วของการไหลวนเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่ด้านล่างและด้านบนมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากที่ด้านบน ไกลจากตัวหมุนวนจึงทำให้ค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่าด้านล่างซึ่งอยู่ใกล้ตัวหมุนวน นั่นคือเกิดการสูญเสียพลังงานจนในการหมุนเนื่องจากความฝืด ทำให้สรุปได้ว่า ค่าความเร็วของการไหลวนขึ้นอยู่กับระยะห่างจากปีกหมุนวน ยิ่งระยะห่างมาก ค่าความเร็วของการไหลวนยิ่งน้อย เพราะเกิดการสูญเสียพลังงานในการหมุนจากแรงเสียดทาน เมื่อพิจารณาเทียบกับกราฟรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า ค่าความเร็วของการไหลวนเฉลี่ยทั้งหน้าตัดคิดเป็น 57.5 - 60.85% ของค่าความเร็วลมตามแนวแกนต่อเฉลี่ยทั้งหน้าตัดสำหรับด้านล่าง และ 10.64 - 31.78% ของค่าความเร็วลมตามแนวแกนต่อเฉลี่ยทั้งหน้าตัดสำหรับด้านบน



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านล่างกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วของการไหลกับความยาวจากจุดศูนย์กลางที่ด้านบนกรณี ปีกหมุนลม วัดครั้งใหม่

บทที่ 5

บทสรุป

จากการออกแบบและผลิตอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวน รวมทั้งการติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกจำลองและการทดลองวัดค่าความเร็วลมทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุม สามารถทำการสรุปผลการดำเนินงานได้เป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ในการออกแบบ โครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนจะใช้การออกแบบ โครงสร้างเป็นแบบมุมคงที่ (constant blade angle design) ซึ่งมีหลักการสำคัญคือ ความเร็วเชิงมุมมีค่าคงที่ตลอดแนวรัศมี ส่วนข้อดีของการออกแบบแบบมุมคงที่คือ ง่ายต่อการออกแบบและการผลิต สามารถควบคุมความถูกต้องของการผลิตได้สะดวกกว่าการออกแบบแบบการไหลวนอิสระ

2. จากการทดลองวัดค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนพบว่า ความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ vane probe จะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางศูนย์กลางและจะลดลงเรื่อย ๆ ส่วนความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe จะมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์กลางและจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อยิ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง ดังนั้นความเร็วลมที่วัด โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire probe มีความสอดคล้องกับทฤษฎีการไหลในท่อทรงกระบอกมากกว่า ทั้งนี้เชื่อว่าเป็นเพราะขนาดที่เล็กกว่าของ hot wire ทำให้รบกวนการไหลในท่อน้อยกว่า

3. ค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นเฉลี่ยทั้งหน้าตัดกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 17.41 - 52.70% และ 18.09 - 30.76% เมื่อเทียบกับความเร็วลมในแนวเชิงเส้นเฉลี่ยทั้งหน้าตัดวัดครั้งเก่าที่ด้านล่างและด้านบน ตามลำดับ

4. ค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่างกับวัดที่ด้านบนแตกต่างกัน 1.71 - 22.91% สำหรับครั้งเก่า และ 0.49 - 2.95% สำหรับครั้งใหม่ ซึ่งค่าความเร็วลมเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่วัดที่ด้านล่างกับที่วัดที่ด้านบนสำหรับครั้งใหม่เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวล เห็นได้ชัดว่าความเร็วลมที่วัดใหม่ (ด้วยปีกตัวใหม่) มีคุณภาพสูงกว่าความเร็วเก่า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า

5. ค่าความเร็วลมในแนวเชิงเส้นเฉลี่ยทั้งหน้าตัดกรณีติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนมีค่าเกือบจะคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างที่ด้านล่างและด้านบน โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง 0.29-10.53% และเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวล

6. ค่าความเร็วในแนวเชิงมุมหรือความเร็วของการไหลวนเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่ด้านล่างและด้านบนมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับความเร็วในแนวเชิงเส้นเฉลี่ยทั้งหน้าตัดจะพบว่า ความเร็วของการไหลวนเฉลี่ยทั้งหน้าตัดคิดเป็น 57.5 - 60.85% และ 10.64 - 31.78% ของความเร็วในแนวเชิง

เส้นเฉลี่ยทั้งหน้าตัดที่ด้านล่างและด้านบน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงเพราะความเร็วในการหมุนวนย่อมลดลงตามแนวการไหลเนื่องจากแรงเสียดทานของความฝืด

หลังจากได้ทำการออกแบบ สร้าง และติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนเข้ากับเครื่องอบแห้งจำลอง รวมทั้งได้ทำการทดสอบอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวน โดยการวัดค่าความเร็วลมทั้งในแนวเชิงเส้นและเชิงมุมเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็สามารถทำงานในขั้นตอนต่อไปได้ คือ ขั้นตอนการทดลองอบแห้งจริง เพื่อพิสูจน์ว่าเมื่อติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนเข้าไปแล้วจะทำให้เกิดการอบแห้งได้อย่างรวดเร็วกว่าปกติจริงหรือไม่ ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องอบแห้ง และ โรงสีข้าว ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. (2537). การอบแห้งเมล็ดพืช. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพมหานคร.
- [2] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ และ เพชร ปรีชากุล. (2533). การทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกแบบในถังเก็บและแบบเป็นงวด: คุณภาพผลิตภัณฑ์. วิทยาศาสตร์เกษตร. เล่มที่ 24. หน้า 367-377.
- [3] Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S. (1994). Optimum strategy for fluidized bed paddy drying. *Drying Technology* 12(7): 1667-1668.
- [4] Soponronnarit, S., Sripawatrakul, O. and Prachayawarakorn, S. (1996). Development of cross-flow fluidized bed paddy dryer. *Drying Technology* 14 (10): 2397-2410.
- [5] Soponronnarit, S., Yapha, M. and Prachayawarakorn, S. (1995). Cross-flow fluidized bed paddy dryer: prototype and commercialization. *Drying Technology* 13 (8&9): 2207-2216.
- [6] ทวีช จิตรสมบูรณ์ และ รุ่ง แก้วกล้า. (1998). ตัวแปรไร้มิติในการอบแห้ง. *Proceedings of the 12th national Mechanical Engineering Conference*. Vol. 1. pp. 172-178.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลจากการคำนวณ base profile

ตารางที่ ก.1 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกทวนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

Chord (c) = 10.47 mm $Y_{camber} = -0.0194X^3 + 0.2785X^2$

Base Profile (X _i /chord)%	Base Profile (mm)		Camber Line Coordinate (mm)		Camber Angle (rad)	Upper Surface (mm)		Lower Surface (mm)	
	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos α	Y _{camber} = Y _i sin α		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.2478249	0.0925426	0.002369736	0.051003523	0.079908136	0.249872365	0.105177064	-0.245132893
2.5	3.268	0.3421596	0.1850852	0.009417441	0.100756382	0.150668738	0.349841733	0.219501662	-0.331006852
5	4.443	0.4651821	0.3701704	0.037177749	0.195673808	0.279726194	0.493482726	0.460614606	-0.419127227
7.5	5.25	0.549675	0.5552556	0.082542906	0.28348731	0.401508501	0.6102781	0.709002698	-0.445192288
10	5.853	0.6128091	0.7403408	0.144774891	0.363557767	0.522424842	0.717529314	0.958256757	-0.427979531
15	6.682	0.6996054	1.1105112	0.318887267	0.500368031	0.77487657	0.930725284	1.446145829	-0.29695075
20	7.172	0.7509094	1.4806816	0.547610717	0.608804543	1.0512467	1.16360511	1.9101165	-0.068383676
25	7.427	0.7776089	1.850852	0.831041083	0.693685811	1.353669184	1.428938849	2.348034815	0.233143316
30	7.502	0.7854594	2.2210224	1.161274205	0.759769241	1.680033967	1.730728316	2.762010832	0.591820094
40	7.254	0.7594938	2.9613632	1.938532084	0.850327292	2.390606364	2.439598414	3.532120035	1.437465754
50	6.617	0.6927999	3.701704	2.832151081	0.901619124	3.158318628	3.26192316	4.245089371	2.402379002
60	5.704	0.5972088	4.442044799	3.794897924	0.924584408	3.965250866	4.154517022	4.918838733	3.435278826
70	4.58	0.479526	5.182385599	4.779539342	0.923740032	4.799790104	5.068816964	5.564981095	4.490461719
80	3.279	0.3433113	5.922726399	5.738842062	0.898924644	5.654031062	5.952536854	6.191421736	5.525147269
90	1.81	0.189507	6.663067199	6.625572812	0.845235899	6.52129177	6.751321095	6.804842628	6.499824529
95	1.008	0.1055376	7.033237599	7.026693301	0.804314613	6.957213016	7.10016472	7.109262182	6.953761881
100	0	10.47	7.403407999	7.39249832	0.751141051	7.403407999	7.39249832	7.403407999	7.39249832

ตารางที่ ก.2 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

Chord (c) = 26.18 mm

$Y_{camber} = -0.0047X^3 + 0.1417X^2$

Base Profile NACA 0015 (X_i /chord)%	(Y_i /chord) %	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad)	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
		X_i	Y_i	$X_{camber} = X_i \cos \theta_{camber}$	$Y_{camber} = Y_i \sin \theta_{camber}$		X_a	Y_a	X_b	Y_b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.32725	0.6196806	0.231400694	0.007529272	0.064733383	0.191314683	0.625911967	0.271486706	-0.610853423
2.5	3.268	0.6545	0.8555624	0.462801388	0.029884144	0.12744342	0.354060507	0.878507995	0.571542269	-0.818739707
5	4.443	1.309	1.1631774	0.925602777	0.117673022	0.245200567	0.643240419	1.246058224	1.207965134	-1.010712179
7.5	5.25	1.9635	1.37445	1.388404165	0.260571305	0.351115943	0.91566775	1.551165388	1.861140579	-1.030022777
10	5.853	2.618	1.5323154	1.851205553	0.455783663	0.44451785	1.192275245	1.83918575	2.510135862	-0.927618423
15	6.682	3.927	1.7493476	2.77680833	0.991969284	0.595963344	1.794888525	2.439743618	3.758728134	-0.453805051
20	7.172	5.236	1.8776296	3.702411106	1.703867245	0.707957064	2.481420259	3.130287332	4.923401954	0.277447158
25	7.427	6.545	1.9443886	4.628013883	2.569114907	0.790164356	3.246586168	3.937436688	6.009441598	1.200793126
30	7.502	7.854	1.9640236	5.553616659	3.565349632	0.850296428	4.07700041	4.86113466	7.029533278	2.269564604
40	7.254	10.472	1.8990972	7.404822213	5.861329712	0.924429755	5.888815761	7.005136782	8.920828664	4.717522642
50	6.617	13.09	1.7323306	9.256027766	8.412906373	0.955630013	7.841272378	9.412624583	10.67078315	7.413188162
60	5.704	15.708	1.4933072	11.10723332	11.0411785	0.953327859	9.889670137	11.90576296	12.3247965	10.17659404
70	4.58	18.326	1.199044	12.95843887	13.56724498	0.916856359	12.00676579	14.29664533	13.9101195	12.83784464
80	3.279	20.944	0.8584422	14.80964443	15.81220471	0.835041165	14.1732605	16.38834576	15.44602835	15.23606366
90	1.81	23.562	0.473858	16.66084998	17.59715657	0.679449678	16.36309419	17.96577954	16.95860577	17.2285336
95	1.008	24.871	0.2638944	17.58645275	18.26122295	0.5572361	17.4468942	18.48519541	17.72601131	18.03725049
100	0	26.18	0	18.51205553	18.74319944	0.392772959	18.51205553	18.74319944	18.51205553	18.74319944

ตารางที่ ก.3 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกทฤษฎีสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

Chord(c)= 52.36 mm

$$Y_{\text{camber}} = -0.0013X^3 + 0.0759X^2$$

Base Profile NACA 0015		Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad)	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
(X/chord)%	(Y/chord) %	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45	θ_{camber}	X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.6545	1.2393612	0.462801388	0.016127788	0.069306745	0.376974047	1.25251359	0.54862873	-1.22025801
2.5	3.268	1.309	1.7111248	0.925602777	0.063995702	0.136314573	0.693073225	1.759247332	1.158132328	-1.63125593
5	4.443	2.618	2.3263548	1.851205553	0.251859201	0.261518211	1.249732477	2.499114593	2.45267863	-1.99539619
7.5	5.25	3.927	2.7489	2.7680833	0.557405087	0.373112217	1.774792273	3.117173637	3.778824386	-2.00236346
10	5.853	5.236	3.0646308	3.702411106	0.974447948	0.470476425	2.313180256	3.70611403	5.091641957	-1.75721813
15	6.682	7.854	3.4988952	5.553616659	2.118282953	0.625835545	3.504175322	4.95388841	7.603057997	-0.7173225
20	7.172	10.472	3.7552592	7.404822213	3.633880931	0.738427206	4.877061039	6.411000861	9.932583386	0.856761
25	7.427	13.09	3.888772	9.256027766	5.471758594	0.81963799	6.413725135	8.125793986	12.0983304	2.817723201
30	7.502	15.708	3.9280472	11.10723332	7.582432656	0.878074694	8.084558811	10.09101664	14.12990783	5.073848669
40	7.254	20.944	3.7981944	14.80964443	12.42423683	0.948063756	11.72437352	14.63949848	17.89491533	10.20897518
50	6.617	26.18	3.4646612	18.51205553	17.76342717	0.974575316	15.64517487	19.70890204	21.3789362	15.8179523
60	5.704	31.416	2.9866144	22.21446664	23.20413737	0.966264213	19.75717551	24.90166083	24.67175776	21.506661391
70	4.58	36.652	2.398088	25.91687774	28.35050116	0.920494635	24.00823667	29.8023673	27.82551882	26.89863501
80	3.279	41.888	1.7168844	29.61928885	32.80665222	0.821401366	28.3623558	33.97618689	30.8762219	31.63711755
90	1.81	47.124	0.947716	33.32169996	36.17672428	0.629222691	32.76395346	36.94293865	33.87944645	35.41050991
95	1.008	49.742	0.5277886	35.17290551	37.33077246	0.475122686	34.93146982	37.80010158	35.4143412	36.86144334
100	0	52.36	0	37.02411106	38.06485104	0.267621691	37.02411106	38.06485104	37.02411106	38.06485104

ตารางที่ ก.4 ก่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมวมตามสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1
Axial velocity is 80% of maximum velocity in pipe.

Tangential velocity is 30% of axial velocity

Root				Mean				Tip			
Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface	
X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b
-3.701704	-3.701704	-3.701704	-3.701704	-9.2560278	-9.2560278	-9.2560278	-9.2560278	-18.512056	-18.512056	-18.512056	-18.512056
-3.6217959	-3.4518316	-3.5965269	-3.9468369	-9.0647131	-8.6301158	-8.9845411	-9.8668812	-18.135081	-17.259542	-17.963427	-19.732314
-3.5510353	-3.3518623	-3.4822023	-4.0327109	-8.9019673	-8.3775198	-8.6844855	-10.074767	-17.818982	-16.752808	-17.353923	-20.143311
-3.4219778	-3.2082213	-3.2410894	-4.1208312	-8.6127873	-8.0099695	-8.0480626	-10.26674	-17.262323	-16.012941	-16.059377	-20.507452
-3.3001955	-3.0914259	-2.9927013	-4.1468963	-8.34036	-7.7048624	-7.3948872	-10.286051	-16.737263	-15.394882	-14.733231	-20.514410
-3.1792792	-2.9841747	-2.7434472	-4.1296835	-8.0637525	-7.416842	-6.7458919	-10.183646	-16.198875	-14.805942	-13.420414	-20.269274
-2.9268274	-2.7709787	-2.2555582	-3.9986547	-7.4611392	-6.8162841	-5.4972996	-9.7118328	-15.00788	-13.558167	-10.908998	-19.229378
-2.6504573	-2.5380989	-1.7915875	-3.7700877	-6.7746075	-6.1257404	-4.3326258	-8.9785806	-13.634994	-12.101055	-8.5794721	-17.655295
-2.3480348	-2.2727652	-1.3536692	-3.4685607	-6.0094416	-5.3185911	-3.2465862	-8.0552346	-12.09833	-10.386262	-6.4137251	-15.694332
-2.02167	-1.9709757	-0.9396932	-3.1098839	-5.1783277	-4.3948931	-2.2264945	-6.9864632	-10.427497	-8.4210389	-4.3821477	-13.438207
-1.3110976	-1.2621056	-0.169584	-2.2642382	-3.367212	-2.250891	-0.3351991	-4.5385051	-6.787682	-3.872557	-0.6171402	-8.3030803
-0.5433854	-0.4397808	0.5433854	-1.299325	-1.4147554	0.1565968	1.4147554	-1.8428396	-2.8668807	1.1968465	2.8668807	-2.6941032
0.2635469	0.452813	1.2171347	-0.2664252	0.6336424	2.6497352	3.0687687	0.9205663	1.24512	6.3896053	6.1597022	2.9945584
1.0980861	1.366913	1.8632771	0.7887577	2.750738	5.0406176	4.6540842	3.5818169	5.4961811	11.290312	9.3134633	8.3865795
1.9523271	2.2508329	2.4897177	1.8234433	4.9172327	7.132318	6.1900006	5.9800359	9.8503003	15.464131	12.364166	13.125062
2.8195878	3.0496171	3.1031386	2.7981205	7.1070664	8.7097518	7.702578	7.9725058	14.251898	18.430883	15.367391	16.898454
3.255509	3.3984607	3.4075582	3.2520579	8.1908664	9.2291676	8.4699835	8.7812227	16.419414	19.288046	16.902286	18.349388
3.701704	3.6907943	3.701704	3.6907943	9.2560278	9.4871717	9.2560278	9.4871717	18.512056	19.552796	18.512056	19.552796

ตารางที่ ก.5 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดพื้นฐานของปีกหมอลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2
 $Y_{camber} = -0.013X_c^3 + 0.2363X_c^2$

Chord (c) = 10.47 mm

Base Profile NACA 0015		Base Profile (mm)		Camber Line Coordinate (mm)		Camber Angle (rad)	Upper Surface (mm)		Lower Surface (mm)	
(X _i /chord)%	(Y _i /chord)%	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos 45°	Y _{camber} = Y _i sin 45°	θ_{center}	X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.130875	0.2478249	0.0925426	0.002013401	0.04337441	0.081796711	0.249605217	0.103288489	-0.2455784
2.5	3.268	0.26175	0.3421596	0.1850852	0.008012393	0.085923183	0.15572192	0.348909723	0.21444848	-0.3328849
5	4.443	0.5235	0.4651821	0.3701704	0.031719874	0.16799921	0.292386946	0.490352756	0.447953854	-0.426913
7.5	5.25	0.78525	0.549675	0.5552556	0.070627893	0.245345457	0.421744242	0.603842036	0.688766958	-0.4625863
10	5.853	1.047	0.6128091	0.7403408	0.1242419	0.317402377	0.549083236	0.706440781	0.931598364	-0.457957
15	6.682	1.5705	0.6996054	1.1105112	0.273609682	0.444860074	0.809448904	0.90512311	1.411573495	-0.3579037
20	7.172	2.094	0.7509084	1.4806816	0.475866825	0.550843092	1.087651788	1.115703516	1.873711411	-0.1639699
25	7.427	2.6175	0.7776069	1.850852	0.727056933	0.637788597	1.387849124	1.351797542	2.313854876	0.1023163
30	7.502	3.141	0.7854594	2.2210224	1.023223613	0.708699854	1.709808318	1.619551234	2.732236482	0.426896
40	7.254	4.188	0.7594938	2.9613632	1.734661102	0.813348305	2.409521262	2.256486081	3.513205137	1.2128361
50	6.617	5.235	0.6927999	3.701704	2.578528132	0.882169956	3.166779581	3.018786656	4.236628418	2.1382696
60	5.704	6.282	0.5972088	4.4204799	3.523173541	0.926010818	3.964738386	3.882112169	4.919351213	3.1642349
70	4.58	7.329	0.479526	5.182385599	4.536946165	0.95114355	4.792012998	4.815432102	5.5727582	4.2584602
80	3.279	8.376	0.3433113	5.922726999	5.588194845	0.960871937	5.641317103	5.784845441	6.204135695	5.3915442
90	1.81	9.423	0.189507	6.663067199	6.645268419	0.956411546	6.508215676	6.75451085	6.817918722	6.536026
95	1.008	9.9465	0.1055376	7.033237599	7.166098552	0.948757668	6.947468011	7.227594591	7.119007187	7.1016025
100	0	10.47	0	7.403407999	7.676515724	0.937209575	7.403407999	7.676515724	7.403407999	7.6765157

ตารางที่ ก.6 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุดลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

Chord (c) = 26.18 mm Ycamber = -0.00478X³ + 0.135X²

Base Profile NACA 0015 (X/chord) %	Base Profile (mm)		Camber Line Coordinate (mm)		Camber Angle (rad) θ_{camber}	Upper Surface (mm)		Lower Surface (mm)	
	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	0.32725	0.6196806	0.231400694	0.007169521	0.061632178	0.193232604	0.6256673557	0.26956878	-0.6113345
2.5	0.6545	0.8555624	0.462801388	0.028441174	0.121286712	0.359287265	0.877718423	0.56631551	-0.8203361
5	1.309	1.1631774	0.925602777	0.111869421	0.233300102	0.656688404	1.243534886	1.19451715	-1.019796
7.5	1.9635	1.37445	1.388404165	0.247441832	0.334201766	0.937563667	1.545846872	1.83924466	-1.0509632
10	2.618	1.5323154	1.851205553	0.432315497	0.423421651	1.221604228	1.829309648	2.48080688	-0.9646787
15	3.927	1.7493476	2.77680833	0.938594949	0.568722247	1.834686916	2.4125774	3.71892974	-0.5353875
20	5.236	1.8776296	3.702411106	1.607964496	0.67661645	2.526717422	3.07194444	4.87810479	0.1439846
25	6.545	1.9443886	4.628013883	2.41768086	0.755764614	3.294464071	3.832704508	5.96156369	1.0026572
30	7.854	1.9640236	5.553616659	3.345000759	0.813192376	4.126783724	4.694643851	6.98044959	1.9953577
40	10.472	1.8990972	7.404822213	5.461478049	0.881360049	5.939469844	6.669498169	8.87017458	4.2534579
50	13.09	1.7323306	9.256027766	7.775450127	0.903999582	7.89476057	8.846848141	10.617305	6.7040521
60	15.708	1.4933072	11.10723332	10.10497076	0.888101395	9.948613083	11.04707773	12.2658536	9.1628638
70	18.326	1.199044	12.95843887	12.2680937	0.828794393	12.07460292	13.07836557	13.8422748	11.457822
80	20.944	0.8584422	14.80964443	14.08287271	0.706508227	14.25235939	14.73583244	15.3669295	13.429913
90	23.562	0.473858	16.66084998	15.36736156	0.477845966	16.44293809	15.78814157	16.8787619	14.916182
95	24.871	0.2638944	17.58645275	15.75388898	0.303540156	17.50757462	16.00571927	17.6653309	15.502059
100	26.18	0	18.51205553	15.93961401	0.083794809	18.51205553	15.93961401	18.5120555	15.939614

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณการออกเบรชของปีกหมุดสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

$Y_{\text{camber}} = -0.00128X^2 + 0.0742X$

Base Profile NACA 0015 (X/chord)%	(Y/chord) %	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad) θ_{camber}	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
		X_c	Y_c	$X_{\text{camber}} = X_c \cos 45$	$Y_{\text{camber}} = Y_c \sin 45$		X_a	Y_a	X_b	Y_b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.6545	1.2393612	0.462801388	0.015765656	0.06775339	0.378894696	1.252283287	0.546708081	-1.220751975
2.5	3.268	1.309	1.7111248	0.925602777	0.062555103	0.133274838	0.698227408	1.758505728	1.152978145	-1.633395522
5	4.443	2.618	2.3263548	1.851205553	0.246160246	0.255828134	1.262529201	2.496801668	2.439881905	-2.004481175
7.5	5.25	3.927	2.7489	2.77680833	0.544725178	0.365303055	1.794812272	3.112240505	3.758804388	-2.022790149
10	5.853	5.236	3.0646308	3.702411106	0.952159648	0.46109407	2.338897931	3.696753199	5.065924282	-1.792433903
15	6.682	7.854	3.4986952	5.536166659	2.069276201	0.614555188	3.53628596	4.927815155	7.570947359	-0.789262754
20	7.172	10.472	3.7552592	7.404822213	3.548787898	0.726326174	4.910851308	6.356292268	9.898793117	0.741283528
25	7.427	13.09	3.888772	9.256027766	5.341972736	0.807211212	6.446924853	8.031122962	12.06513068	2.652822511
30	7.502	15.708	3.9280472	11.10723332	7.40010871	0.865504399	8.116330428	9.946489417	14.09813621	4.853728003
40	7.254	20.944	3.7981944	14.80964443	12.11634604	0.935205508	11.75315727	14.37115578	17.86613158	9.861536306
50	6.617	26.18	3.4646612	18.51205553	17.30772385	0.960945415	15.67195697	19.29209211	21.35215409	15.32335559
60	5.704	31.416	2.9866144	22.21446664	22.5844661	0.951105168	19.78318969	24.31904328	24.64574358	20.84988892
70	4.58	36.652	2.398088	25.9168774	27.55679674	0.902556555	24.03458603	29.04266483	27.79916946	26.07092866
80	3.279	41.888	1.716884	29.61928885	31.83493975	0.798522901	28.38940363	33.03288565	30.84917407	30.63699385
90	1.81	47.124	0.947716	33.32169996	35.02911906	0.598031762	32.78811981	35.81235456	33.8552801	34.24568357
95	1.008	49.742	0.5277888	35.17290551	36.09791732	0.43859673	34.94876974	36.57575011	35.39704128	35.62008454
100	0	52.36	0	37.02411106	36.74955865	0.226604412	37.02411106	36.74955865	37.02411106	36.74955865

ตารางที่ ก.8 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมอลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

Axial velocity is 80% of maximum velocity in pipe.

Tangential velocity is 40% of axial velocity

กรณีศึกษาที่ 2

Root			Mean						Tip		
Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface	
X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b
3.701704	-3.595637982	-3.595637982	-3.595637982	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553
-3.619907288	-3.346032766	-3.492349494	-3.841216396	-8.630354209	-8.630354209	-8.986458981	-8.667362281	-17.25977224	-17.25977224	-17.96534745	-19.73280751
-3.54598208	-3.246728259	-3.381189502	-3.928522919	-8.896740501	-8.378309343	-8.689712254	-10.07686384	-17.81382812	-16.7535498	-17.35907739	-20.14545105
-3.409317054	-3.105285226	-3.147684128	-4.02255099	-8.599339361	-8.01249288	-8.061510617	-10.27582381	-17.24952633	-16.01525386	-16.07217363	-20.51653671
-3.279959758	-2.991795946	-2.906871024	-4.058224233	-8.318464099	-7.710180894	-7.416783103	-10.30699097	-16.71724326	-15.39981503	-14.75325114	-20.53484568
-3.152620764	-2.889197202	-2.664039618	-4.053594964	-8.034423538	-7.426718118	-6.775220887	-10.22070642	-16.1731576	-14.81530233	-13.44613125	-20.30448943
-2.892255095	-2.690514873	-2.184064487	-3.953541729	-7.42134085	-6.843450365	-5.537098023	-9.791415269	-14.97576957	-13.58424038	-10.94110817	-19.30131829
-2.614052211	-2.479934466	-1.721926571	-3.75960785	-6.729310344	-6.184083326	-4.377922975	-9.112043213	-13.60120422	-12.15576326	-8.613262415	-17.770772
-2.313854876	-2.243840441	-1.281783106	-3.493321657	-5.961563695	-5.423323257	-3.294464071	-8.253370555	-12.06513088	-10.48093257	-6.446924853	-15.85923302
-1.991895682	-1.976086749	-0.863401501	-3.168741991	-5.129244042	-4.561383914	-2.275578171	-7.260670098	-10.3957251	-8.565566115	-4.413919322	-13.65832753
-1.292182738	-1.339151901	-0.082432845	-2.382801858	-3.316557922	-2.586529596	-0.385853185	-5.002569837	-6.758898266	-4.140899755	-0.645923947	-8.650519226
-0.534924419	-0.576851326	0.640990436	-1.457368374	-1.361277196	-0.409179625	1.361277196	-2.551975653	-2.840098562	0.78003658	2.840098562	-3.18869994
0.263034387	0.286474186	1.32371323	-0.43140307	0.692585318	1.79104996	3.009825789	-0.093163981	1.271134163	5.80698775	6.13368805	2.337833387
1.090308999	1.21979412	1.977120218	0.662822246	2.81857515	3.822337808	4.586247063	2.201794052	5.5225305	10.5306093	9.287113925	7.558873129
1.939613104	2.189207459	2.608497713	1.795906267	4.996331628	5.479804673	6.110901691	4.173885219	9.877348095	14.52083011	12.33711854	12.12493831
2.806511677	3.158872868	3.22228074	2.940388005	7.186910324	6.532113803	7.622734101	5.690553792	14.27606428	17.30029903	15.34322457	15.73382803
3.245764012	3.631956609	3.523369205	3.508964531	8.251546851	6.749691501	8.409303128	6.246030926	16.43671421	18.06369458	16.88498575	17.10802901
3.701704	4.080877741	3.807770017	4.080877741	9.256027766	6.683586249	9.256027766	6.683586249	18.51205553	18.23750312	18.51205553	18.23750312

ตารางที่ ก.9 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดพื้นฐานของปีกเครื่องบินการศึกษาที่ 3

$$Y_{\text{camber}} = -0.00798X^3 + 0.1941X^2$$

Chord (c) = 10.47 mm

Base Profile (X _i /chord)%	NACA 0015 (Y _i /chord) %	Base Profile (mm)		Camber Line Coordinate (mm)		Camber Angle (rad) θ_{center}	Upper Surface (mm)		Lower Surface (mm)	
		X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.130875	0.2478249	0.0925426	0.001655974	0.035704832	0.083695934	0.249322923	0.101389266	-0.246010975
2.5	3.268	0.26175	0.3421596	0.1850852	0.006598597	0.070910879	0.160942691	0.347898307	0.209327709	-0.334701114
5	4.443	0.5235	0.4651821	0.3701704	0.026192001	0.139507593	0.305484267	0.486854666	0.434856533	-0.434470663
7.5	5.25	0.78525	0.549675	0.5552556	0.058476637	0.205238185	0.443231641	0.596615316	0.667279558	-0.479662043
10	5.853	1.047	0.6128091	0.7403408	0.103148926	0.267695479	0.578246849	0.69413162	0.902434751	-0.487833767
15	6.682	1.5705	0.6996054	1.1105112	0.228442157	0.381864947	0.849802035	0.877655871	1.371220365	-0.420771557
20	7.172	2.094	0.7509084	1.4806816	0.399643075	0.481339126	1.133036121	1.065230069	1.828327078	-0.265943919
25	7.427	2.6175	0.7776069	1.850852	0.614323064	0.566819588	1.433314628	1.270322327	2.268389372	-0.0416762
30	7.502	3.141	0.7854594	2.2210224	0.870053504	0.639718458	1.752127021	1.500199195	2.689917779	0.239907812
40	7.254	4.188	0.7594938	2.9613632	1.494951267	0.754297123	2.441279607	2.048434681	3.481446793	0.941467854
50	6.617	5.235	0.6927999	3.701704	2.254907423	0.837017968	3.187196558	2.71886194	4.216211441	1.790952906
60	5.704	6.282	0.5972088	4.442044799	3.130493025	0.896844229	3.975408923	3.503198418	4.908680676	2.757787633
70	4.58	7.329	0.479526	5.182385599	4.102279132	0.939863667	4.795179055	4.385150616	5.569592144	3.819407648
80	3.279	8.376	0.3433113	5.922726399	5.150836798	0.970069488	5.639520327	5.344890836	6.205932471	4.956782761
90	1.81	9.423	0.189507	6.663067199	6.256737081	0.990022454	6.504632089	6.360714093	6.821502309	6.152760069
95	1.008	9.9465	0.1055376	7.033237599	6.825119158	0.99667499	6.944620861	6.882436335	7.121854337	6.767801982
100	0	10.47	0	7.403407999	7.400551036	1.001291532	7.403407999	7.400551036	7.403407999	7.400551036

ตารางที่ ก.10 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุดลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

Ycamber=-0.004X^3+0.1283X^2

Chord (c)= 26.18 mm

Base Profile NACA 0015		Base Profile (mm)		Camber Line Coordinate (mm)		Camber Angle (rad)	Upper Surface (mm)		Lower Surface (mm)	
(X/chord)%	(Y/chord) %	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45 (X _{camber})	θ (rad)	X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.32725	0.6196806	0.231400694	0.006820425	0.058667461	0.1950866458	0.625434901	0.26773493	-0.61179405
2.5	3.268	0.6545	0.8555624	0.462801388	0.027083451	0.115666022	0.364082399	0.876929103	0.561540378	-0.8227622101
5	4.443	1.309	1.1631774	0.925602777	0.106747801	0.223434818	0.66786551	1.24101107	1.183340043	-1.027515469
7.5	5.25	1.9635	1.37445	1.388404165	0.236614045	0.321569807	0.954000598	1.540610343	1.822807731	-1.067382252
10	5.853	2.618	1.5323154	1.851205553	0.41430318	0.409381278	1.24127996	1.819999184	2.461131147	-0.991392824
15	6.682	3.927	1.7493476	2.77680833	0.903634106	0.554996481	1.855006564	2.390408645	3.698610095	-0.583140434
20	7.172	5.236	1.8776296	3.702411106	1.555708544	0.665864259	2.54252607	3.032244902	4.862296142	0.079172185
25	7.427	6.545	1.9443886	4.628013883	2.351494461	0.749426717	3.303459069	3.774941535	5.952568697	0.928047387
30	7.502	7.854	1.9640236	5.553616659	3.271959824	0.812130275	4.128217986	4.623117595	6.979015333	1.920802053
40	7.254	10.472	1.8990972	7.404822213	5.410800756	0.892960807	5.925554811	6.601740775	8.884089615	4.219860737
50	6.617	13.09	1.7323306	9.256027766	7.819975073	0.932186001	7.865096409	8.852583066	10.64695912	6.787367079
60	5.704	15.708	1.4933072	11.10723332	10.34722651	0.940150937	9.901168071	11.22777918	12.31329857	9.466673834
70	4.58	18.326	1.199044	12.95843887	12.8402988	0.918830377	12.0053278	13.5678191	13.91154995	12.1127785
80	3.279	20.944	0.8584422	14.80964443	15.14693567	0.862839249	14.15749281	15.70516616	15.46179604	14.58870519
90	1.81	23.562	0.473858	16.66094998	17.11489087	0.756687864	16.33553845	17.45942958	16.90616151	16.77033216
95	1.008	24.871	0.2638944	17.58645275	17.924264	0.675523337	17.42143805	18.13020187	17.75146745	17.71832614
100	0	26.18	0	18.51205553	18.59187812	0.567778663	18.51205553	18.59187812	18.51205553	18.59187812

ตารางที่ ก.11 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกหมุดสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

Chord (c) = 52.36 mm

$$Y_{\text{camber}} = -0.00123X^3 + 0.0725X^2$$

Base Profile (c) (X _i /chord)%	Base Profile NACA 0015 (Y _i /chord) %	Base Profile (mm)		Camber Line Coordinate (mm)		Camber Angle (rad) θ_{camber}	Upper Surface (mm)		Lower Surface (mm)	
		X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos 45	Y _{camber} = Y _i sin 45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.6545	1.2393612	0.462801388	0.015408498	0.066218899	0.380792219	1.252051426	0.544810558	-1.221238431
2.5	3.268	1.309	1.7111248	0.925602777	0.061138295	0.130308428	0.703259286	1.757755945	1.147946268	-1.635479346
5	4.443	2.618	2.3263548	1.851205553	0.240651611	0.250410579	1.274730755	2.494449176	2.427680351	-2.013145953
7.5	5.25	3.927	2.7489	2.77680833	0.5326876	0.358055832	1.813445253	3.107252183	3.740171407	-2.041870993
10	5.853	5.236	3.0646308	3.702411106	0.931393911	0.452601501	2.362227911	3.687454676	5.042594302	-1.824666855
15	6.682	7.854	3.4986952	5.553616659	2.025408097	0.604974784	3.563764077	4.903142415	7.543469241	-0.852326221
20	7.172	10.472	3.7552592	7.404822213	3.475875367	0.716771155	4.937790506	6.307081156	9.87185392	0.644669579
25	7.427	13.09	3.888772	9.256027766	5.235976921	0.798224188	6.47205424	7.950263685	12.04085011	2.521690157
30	7.502	15.708	3.9280472	11.10723332	7.258893955	0.857333581	8.137236049	9.829627513	14.07723059	4.688160397
40	7.254	20.944	3.7981944	14.80964443	11.90889926	0.929002675	11.76720218	14.17962438	17.85208667	9.632174141
50	6.617	26.18	3.4646612	18.51205553	17.04234087	0.957140404	15.67952805	19.03750134	21.34458301	15.04718039
60	5.704	31.416	2.9866144	22.21446664	22.29366836	0.950596545	19.78407225	24.02948192	24.64486102	20.5578548
70	4.58	36.652	2.398088	25.91687774	27.28533133	0.907377710	24.02744432	28.76210734	27.80631117	25.80865531
80	3.279	41.888	1.7168844	29.61928885	31.64277935	0.813361739	28.37179894	32.82238139	30.86677876	30.46317731
90	1.81	47.124	0.947716	33.32169996	34.99146202	0.633512153	32.76067195	35.75527692	33.88272796	34.22764713
95	1.008	49.742	0.5277888	35.17290551	36.17046935	0.491292481	34.92391276	36.63583332	35.42189826	35.70510538
100	0	52.36	0	37.02411106	36.95682893	0.30087952	37.02411106	36.95682893	37.02411106	36.95682893

ตารางที่ ก.12 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่3 Axial velocity is 80% of maximum velocity in pipe.

Tangential velocity is 50% of axial velocity

Root				Mean				Tip			
Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface		Upper Surface		Lower Surface	
X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b
-3.618	-3.3463	-3.4942	-3.8416	-9.256	-9.256	-9.256	-9.256	-18.512	-18.51206	-18.51206	-18.512056
-3.5409	-3.2477	-3.3863	-3.9303	-9.061	-8.6306	-8.9883	-9.8678	-18.131	-17.26	-17.96724	-19.733294
-3.3962	-3.1088	-3.1608	-4.0301	-8.892	-8.3791	-8.6945	-10.079	-17.809	-16.7543	-17.36411	-20.147535
-3.2585	-2.999	-2.9284	-4.0753	-8.5882	-8.015	-8.0727	-10.284	-17.237	-16.01761	-16.08438	-20.525201
-3.1235	-2.9015	-2.6932	-4.0835	-8.302	-7.7154	-7.4332	-10.323	-16.699	-15.4048	-14.77188	-20.553933
-2.8519	-2.718	-2.2244	-4.0164	-8.0147	-7.436	-6.7949	-10.247	-16.15	-14.8246	-13.46946	-20.336722
-2.5687	-2.5304	-1.7673	-3.8616	-7.401	-6.8656	-5.5574	-9.8392	-14.948	-13.60891	-10.96859	-19.364382
-2.2684	-2.3253	-1.3272	-3.6373	-6.7135	-6.2238	-4.3937	-9.1769	-13.574	-12.20497	-8.640202	-17.867386
-1.9496	-2.0954	-0.9057	-3.3557	-5.9526	-5.4811	-3.3035	-8.328	-12.041	-10.56179	-6.471205	-15.990365
-1.2604	-1.5472	-0.1142	-2.6542	-5.1278	-4.6329	-2.277	-7.3352	-10.375	-8.682428	-4.434825	-13.823895
-0.5145	-0.8768	0.6206	-1.8047	-3.3305	-2.6543	-0.3719	-5.0362	-6.7449	-4.332431	-0.659969	-8.8798814
0.2737	-0.0924	1.313	-0.8379	-1.3909	-0.4034	1.3909	-2.4687	-2.8325	0.525446	2.832527	-3.4648751
1.0935	0.7895	1.974	0.2238	0.6451	1.9718	3.0573	0.2106	1.272	5.517426	6.132805	2.0457993
1.9378	1.7493	2.6103	1.3611	2.7493	4.3118	4.6555	2.8568	5.5154	10.25005	9.294256	7.2964998
2.8029	2.7651	3.2259	2.5571	4.9015	6.4491	6.2058	5.3327	9.8597	14.31033	12.35472	11.951122
3.2429	3.2868	3.5262	3.1722	7.0795	8.2034	7.7301	7.5143	14.249	17.24322	15.37067	15.715592
3.7017	3.8049	3.8078	3.8049	8.1654	8.8742	8.4954	8.4623	16.412	18.12378	16.90984	17.19305
-3.7017	-3.5956	-3.5956	-3.5956	9.256	9.3359	9.256	9.3359	18.512	18.44477	18.51206	18.444773

ตารางที่ ก.13 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4

Chord(c)= 10.47 mm

$$Y_{camber} = -0.013X^3 + 0.2363X^2$$

Base Profile NACA 0015 (X _i /chord)%	(Y _i /chord) %	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad) θ_{center}	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
		X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.130875	0.2478249	0.0925426	0.002013401	0.04337441	0.081796711	0.249605217	0.103288489	-0.24557414
2.5	3.268	0.26175	0.3421596	0.1850852	0.008012393	0.085923183	0.15572192	0.348909723	0.21444848	-0.332884937
5	4.443	0.5235	0.4651821	0.3701704	0.031719874	0.167999921	0.292386946	0.490352756	0.447953854	-0.426913008
7.5	5.25	0.78525	0.549675	0.5552556	0.070627893	0.245345457	0.421744242	0.603842036	0.688766958	-0.462586251
10	5.853	1.047	0.6128091	0.7403408	0.1242419	0.317402377	0.549083236	0.706440781	0.931598364	-0.457956981
15	6.682	1.5705	0.6996054	1.1105112	0.273609682	0.444860074	0.809448904	0.90512311	1.411573495	-0.357903747
20	7.172	2.094	0.7509084	1.4806816	0.475866825	0.550843092	1.087651788	1.115703516	1.873711411	-0.163969867
25	7.427	2.6175	0.7776069	1.850852	0.727056933	0.637788597	1.387849124	1.351797542	2.313854876	0.102316325
30	7.502	3.141	0.7854594	2.2210224	1.023223613	0.708699854	1.709808318	1.619551234	2.732236482	0.426895992
40	7.254	4.188	0.7594938	2.9613632	1.734661102	0.813348305	2.409521262	2.256486081	3.513205137	1.212836124
50	6.617	5.235	0.6927999	3.701704	2.578528132	0.882169956	3.166779581	3.018786656	4.236628418	2.138269608
60	5.704	6.282	0.5972088	4.442044799	3.523173541	0.926010818	3.964738386	3.882112169	4.919351213	3.164234912
70	4.58	7.329	0.479526	5.182385599	4.536946165	0.95114355	4.792012998	4.815432102	5.5727582	4.258460228
80	3.279	8.376	0.3433113	5.922726399	5.588194845	0.960871937	5.641317103	5.784845441	6.204135695	5.39154125
90	1.81	9.423	0.189507	6.663067199	6.645268419	0.956411546	6.508215676	6.75451085	6.817918722	6.536025987
95	1.008	9.9465	0.1055376	7.033237599	7.166098552	0.948757668	6.947468011	7.227594591	7.119007187	7.104602513
100	0	10.47	0	7.403407999	7.676515724	0.937209575	7.403407999	7.676515724	7.403407999	7.676515724

ตารางที่ ก.14 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4

$Y_{camber} = -0.0043X^3 + 0.135X^2$

26.18 mm

Chord(c)=

Base Profile NACA 0015 (Y/chord) %	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad) $\theta_{c/l}/r$	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
	X _i	Y _i	X _{camber} = X cos 45	Y _{camber} = Y cos 45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	0.32725	0.6198806	0.231400694	0.007175468	0.061708992	0.193185094	0.625676571	0.269616294	-0.611329634
2.5	0.6545	0.8555624	0.462801388	0.028488754	0.121590612	0.359029174	0.877734506	0.566573603	-0.820759999
5	1.309	1.1631774	0.925602777	0.112250062	0.234467544	0.655367434	1.243600813	1.195838119	-1.019100669
7.5	1.9635	1.37445	1.388404165	0.248726494	0.336676807	0.934351445	1.54601171	1.842456885	-1.048558721
10	2.618	1.5323154	1.851205553	0.435360622	0.427515767	1.215890065	1.829765411	2.486521041	-0.959044167
15	3.927	1.7493476	2.77680833	0.948872247	0.576565548	1.823155225	2.41542016	3.730461434	-0.517675667
20	5.236	1.8776296	3.702411106	1.632325499	0.688501376	2.509401572	3.082229346	4.895420641	0.182421652
25	6.545	1.9443886	4.628013883	2.465260943	0.771850349	3.271875882	3.858651323	5.984151883	1.071870563
30	7.854	1.9640236	5.553616659	3.427219143	0.833707478	4.099397846	4.747308664	7.007835473	2.107129622
40	10.472	1.8990972	7.404822213	5.656366069	0.912106588	5.903025839	6.81876782	8.906618586	4.493964319
50	13.09	1.7323306	9.256027766	8.156090792	0.948491029	7.848445341	9.165883357	10.66361019	7.146298226
60	15.708	1.4933072	11.10723332	10.76271782	0.953062218	9.88989849	11.62762569	12.32456679	9.897809958
70	18.326	1.199044	12.95843887	13.31257168	0.927029617	11.99339479	14.03225283	13.91748296	12.59289053
80	20.944	0.8584422	14.80964443	15.64197688	0.86328566	14.15724367	16.19991618	15.46204518	15.08403757
90	23.562	0.473858	16.66084998	17.58725792	0.742425219	16.34047601	17.93640248	16.98122395	17.23811336
95	24.871	0.2638944	17.58645275	18.3647033	0.648974435	17.42696299	18.57494903	17.74594252	18.15445757
100	26.18	0	18.51205553	18.98473934	0.523691579	18.51205553	18.98473934	18.51205553	18.98473934

ตารางที่ ก.15 ผลคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกทวนลมสำหรับการศึกษาที่ 4

$$Y_{\text{camber}} = -0.00128X^3 + 0.0742X^2$$

52.36 mm

Airfoil Profile (%chord)%	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad) θ_{camber}	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
	X_i	Y_i	$X_{\text{camber}} = X_i \cos 45$	$Y_{\text{camber}} = Y_i \sin 45$		X_a	Y_a	X_b	Y_b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	0.6345	1.2301012	0.462801308	0.015765656	0.06775339	0.378094696	1.252283287	0.546708081	-1.220751975
2.5	1.309	1.711248	0.925602777	0.062555103	0.133274838	0.698227408	1.758505728	1.152978145	-1.6333395522
5	2.618	2.3263548	1.851205553	0.246160246	0.255828134	1.262529201	2.496801668	2.439881905	-2.004481175
7.5	3.927	2.7489	2.77680833	0.544725178	0.365303055	1.794812272	3.112240505	3.758804388	-2.022790149
10	5.236	3.0646308	3.702411106	0.952159848	0.46108407	2.338897931	3.696753199	5.065924282	-1.792433903
15	7.854	3.4986952	5.553616659	2.069276201	0.614555188	3.53628596	4.927815155	7.570947359	-0.789262754
20	10.472	3.7552592	7.404822213	3.548787898	0.726326174	4.910851308	6.356292268	9.898793117	0.741283528
25	13.09	3.888772	9.256027766	5.341972736	0.807211212	6.446924853	8.031122962	12.06513068	2.652822511
30	15.708	3.9280472	11.10723332	7.40010871	0.865504399	8.116330428	9.946489417	14.09813621	4.853728003
40	20.944	3.7981944	14.80964443	12.11634604	0.935205508	11.75315727	14.37115578	17.86613158	9.861536306
50	26.18	3.4646612	18.51205553	17.30772385	0.960945415	15.67195697	19.29209211	21.35215409	15.32335550
60	31.416	2.9866144	22.21446664	22.5844661	0.951105168	19.78318969	24.31904328	24.64574358	20.84988992
70	36.652	2.398088	25.9168774	27.55679674	0.902556555	24.03458603	29.04266483	27.79916946	26.07092866
80	41.888	1.7168844	29.61928885	31.83493975	0.798552901	28.38940363	33.03288565	30.84917407	30.63699385
90	47.124	0.947716	33.32169996	35.02911906	0.598031762	32.78811981	35.81235456	33.8552801	34.24588357
95	49.742	0.5277888	35.17290551	36.09791732	0.43859673	34.94876974	36.57575011	35.39704128	35.62008454
100	52.36	0	37.02411106	36.74955865	0.226604412	37.02411106	36.74955865	37.02411106	36.74955865

ตารางที่ ก.16 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดรวมของปีกหมุมลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 4

กรณีศึกษาที่ 4 Axial velocity is 60% of maximum velocity in pipe.

Tangential velocity is 30% of axial velocity

Root						Mean						Tip					
Upper Surface			Lower Surface			Upper Surface			Lower Surface			Upper Surface			Lower Surface		
X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b
-3.701704	-3.595637982	-3.701704	-3.595637982	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553
-3.019907288	-3.346032766	-3.598415511	-3.841216300	-0.062842672	-0.062842672	-0.062842672	-0.062842672	-0.062842672	-0.062842672	-18.13316084	-18.13316084	-17.25977224	-17.25977224	-17.25977224	-17.25977224	-17.25977224	-17.25977224
-3.54598208	-3.246728259	-3.487255519	-3.928522919	-8.896998592	-8.37829326	-8.896998592	-8.37829326	-8.896998592	-8.37829326	-16.7535498	-16.7535498	-17.35907739	-17.35907739	-17.35907739	-17.35907739	-17.35907739	-17.35907739
-3.409317054	-3.105285226	-3.253750145	-4.02255099	-8.60660332	-8.012426952	-8.60660332	-8.012426952	-8.60660332	-8.012426952	-16.01525386	-16.01525386	-16.07217363	-16.07217363	-16.07217363	-16.07217363	-16.07217363	-16.07217363
-3.279959758	-2.991795946	-3.012937041	-4.058224233	-8.321676321	-7.710016056	-8.321676321	-7.710016056	-8.321676321	-7.710016056	-14.75325114	-14.75325114	-14.75325114	-14.75325114	-14.75325114	-14.75325114	-14.75325114	-14.75325114
-3.142620764	-2.889197202	-2.770105635	-4.053594964	-8.040137701	-7.426262354	-8.040137701	-7.426262354	-8.040137701	-7.426262354	-13.44613125	-13.44613125	-13.44613125	-13.44613125	-13.44613125	-13.44613125	-13.44613125	-13.44613125
-2.892255095	-2.690514873	-2.290130504	-3.953541729	-7.43287254	-6.840607606	-7.43287254	-6.840607606	-7.43287254	-6.840607606	-10.94110817	-10.94110817	-10.94110817	-10.94110817	-10.94110817	-10.94110817	-10.94110817	-10.94110817
-2.614052211	-2.478934466	-1.827992588	-3.75960785	-6.746626194	-6.17379842	-6.746626194	-6.17379842	-6.746626194	-6.17379842	-8.613262415	-8.613262415	-8.613262415	-8.613262415	-8.613262415	-8.613262415	-8.613262415	-8.613262415
-2.313854876	-2.243840441	-1.387849124	-3.493321657	-5.984151883	-5.397376443	-5.984151883	-5.397376443	-5.984151883	-5.397376443	-6.446924853	-6.446924853	-6.446924853	-6.446924853	-6.446924853	-6.446924853	-6.446924853	-6.446924853
-1.991895682	-1.976086749	-0.969467518	-3.168741991	-5.15662992	-4.508719102	-5.15662992	-4.508719102	-5.15662992	-4.508719102	-4.413919322	-4.413919322	-4.413919322	-4.413919322	-4.413919322	-4.413919322	-4.413919322	-4.413919322
-1.292182738	-1.339151901	-0.188498862	-2.382801858	-3.353001926	-2.437259946	-3.353001926	-2.437259946	-3.353001926	-2.437259946	-0.645923947	-0.645923947	-0.645923947	-0.645923947	-0.645923947	-0.645923947	-0.645923947	-0.645923947
-0.534924419	-0.576851326	0.534924419	-1.457368374	-1.407582425	-0.090144408	-1.407582425	-0.090144408	-1.407582425	-0.090144408	2.840098562	2.840098562	2.840098562	2.840098562	2.840098562	2.840098562	2.840098562	2.840098562
0.263034387	0.286474186	1.217647213	-0.43140307	0.633872084	2.371597925	0.633872084	2.371597925	0.633872084	2.371597925	6.13368805	6.13368805	6.13368805	6.13368805	6.13368805	6.13368805	6.13368805	6.13368805
1.090308999	1.21979412	1.871054201	0.662822246	2.74336702	4.776225063	2.74336702	4.776225063	2.74336702	4.776225063	9.287113925	9.287113925	9.287113925	9.287113925	9.287113925	9.287113925	9.287113925	9.287113925
1.939613104	2.189207459	2.502431696	1.795906267	4.901215906	6.943888414	4.901215906	6.943888414	4.901215906	6.943888414	12.33711854	12.33711854	12.33711854	12.33711854	12.33711854	12.33711854	12.33711854	12.33711854
2.806511677	3.158872868	3.116214723	2.940388005	7.084448245	8.680374718	7.084448245	8.680374718	7.084448245	8.680374718	15.34322457	15.34322457	15.34322457	15.34322457	15.34322457	15.34322457	15.34322457	15.34322457
3.245764012	3.631950609	3.417303187	3.508964631	8.170935222	9.318921269	8.170935222	9.318921269	8.170935222	9.318921269	16.88498575	16.88498575	16.88498575	16.88498575	16.88498575	16.88498575	16.88498575	16.88498575
3.701704	4.080877741	3.701704	4.080877741	9.256027766	9.256027766	9.256027766	9.256027766	9.256027766	9.256027766	18.23750312	18.23750312	18.23750312	18.23750312	18.23750312	18.23750312	18.23750312	18.23750312

ตารางที่ ก.17 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ฐานของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5

$$Y_{camber} = -0.006X^3 + 0.18X^2$$

Chord(c) = 10.47 mm

Base Profile (c)	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad)	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	0.130875	0.2478249	0.0925426	0.001536789	0.033149034	0.084328948	0.249225539	0.100750252	-0.2416151965
2.5	0.26175	0.3421596	0.1850852	0.006128133	0.065918411	0.162546913	0.34754462	0.207623487	-0.335288354
5	0.5235	0.4651821	0.3701704	0.024360364	0.130056588	0.309840816	0.485613795	0.430499984	-0.436893066
7.5	0.78525	0.549675	0.5552556	0.05446844	0.191949744	0.450392346	0.594048187	0.660118854	-0.485111308
10	1.047	0.6128091	0.7403408	0.096224105	0.251234014	0.587996812	0.689794912	0.892684788	-0.497346701
15	1.5705	0.6996054	1.1105112	0.213765194	0.361035743	0.863380215	0.868268053	1.357642185	-0.440737665
20	2.094	0.7509084	1.4806816	0.375157602	0.45849992	1.148326945	1.048510265	1.813036254	-0.298195061
25	2.6175	0.7776069	1.850852	0.578575301	0.543827917	1.448506172	1.244000222	2.253197827	-0.086849621
30	3.141	0.7854594	2.2210224	0.822192262	0.617921051	1.765972863	1.462408154	2.676071937	0.18197637
40	4.188	0.7594938	2.9613632	1.422719856	0.737347148	2.450735396	1.984938745	3.471991003	0.860500968
50	5.235	0.6927999	3.701704	2.162132157	0.826586648	3.19206412	2.631428327	4.211343879	1.692835987
60	6.282	0.5972088	4.442044799	3.025820935	0.893693082	3.976585687	3.399994913	4.907503912	2.651646953
70	7.329	0.479526	5.182385599	3.999177963	0.944492874	4.793873738	4.280253963	5.570897461	3.718101963
80	8.376	0.3433113	5.922726399	5.067595011	0.983029062	5.637029322	5.257962626	6.208423476	4.877227396
90	9.423	0.189507	6.663067199	6.216463852	1.012075592	6.502377781	6.316921872	6.823756617	6.116005831
95	9.9465	0.1055376	7.032323799	6.816502623	1.023659254	6.943106648	6.871407966	7.12336855	6.76159728
100	10.47	0	7.403407999	7.431176256	1.033529254	7.403407999	7.431176256	7.403407999	7.431176256

ตารางที่ ก.18 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่แนวเฉลี่ยของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5

$$Y_{\text{camber}} = -0.00389X^3 + 0.126X^2$$

26.18 mm

Chord (c) =

Use Profile NACA 0015 (X/chord)%	(Y/chord) %	Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad) θ_{camber}	Upper Surface(mm)		Lower Surface(mm)	
		X _i	Y _i	X _{camber} =X _i cos45	Y _{camber} =Y _i sin45		X _a	Y _a	X _b	Y _b
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	2.367	0.32725	0.6196806	0.231400694	0.006698632	0.057624224	0.195711839	0.625350676	0.267089549	-0.611953412
2.5	3.268	0.6545	0.8555624	0.462801388	0.026601729	0.113634753	0.365788866	0.876646193	0.559813911	-0.823412735
5	4.443	1.309	1.1631774	0.925602777	0.104864528	0.219651705	0.672158391	1.240094728	1.179047162	-1.030365672
7.5	5.25	1.9635	1.37445	1.388404165	0.232474815	0.316384813	0.960767621	1.538705954	1.816040709	-1.073756324
10	5.863	2.618	1.5323154	1.851205553	0.407119009	0.403149911	1.250051152	1.816588367	2.452359954	-1.002350349
15	6.682	3.927	1.7493476	2.77680833	0.888254791	0.547574006	1.866067401	2.381830363	3.687549258	-0.60532078
20	7.172	5.236	1.8776296	3.702411106	1.529763223	0.658082514	2.554051103	3.015280714	4.85077111	0.044245732
25	7.427	6.545	1.9443866	4.628013883	2.313135651	0.741750953	3.314424025	3.746707663	5.941603741	0.879566364
30	7.502	7.854	1.9640236	5.553616659	3.219863424	0.804800521	4.138159842	4.581432628	6.969073477	1.858294219
40	7.254	10.472	1.8990972	7.404822213	5.329350392	0.886631939	5.933121688	6.529628585	8.876522737	4.1290722
50	6.617	13.09	1.7323306	9.256027766	7.71015491	0.927068169	7.870399315	8.749867902	10.64165622	6.670411918
60	5.704	15.708	1.4933072	11.10723332	10.21420776	0.936523494	9.904370154	11.09912956	12.31009648	9.329285954
70	4.58	18.326	1.199044	12.95843887	12.69343972	0.917282933	12.00645473	13.42243403	13.91042301	11.9644454
80	3.279	20.944	0.8584422	14.80964443	14.99978157	0.864633965	14.15649199	15.56684073	15.46279686	14.44272241
90	1.81	23.562	0.473858	16.66084998	16.9851641	0.764539797	16.33284313	17.32714788	16.98885683	16.64318031
95	1.008	24.871	0.2638944	17.58645275	17.81122398	0.688280699	17.41882433	18.01503999	17.75408118	17.60740797
100	0	26.18	0	18.51205553	18.50151808	0.567383892	18.51205553	18.50151808	18.51205553	18.50151808

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจากการวัดความเร็วลม

ตารางที่ ก.19 ผลการคำนวณการออกแบบรูปหน้าตัดที่ปลายของปีกหมุดลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5

$Y_{camber} = -0.001215X^3 + 0.072X^2$

52.36 mm

Chord(c) =

Base Profile NACA 0015		Base Profile(mm)		Camber Line Coordinate(mm)		Camber Angle(rad)	Upper Surface(mm)			Lower Surface(mm)	
(X/chord)%	(Y/chord)%	X _i	Y _i	X _{camber} = X _i cos45	Y _{camber} = Y _i sin45	θ_{camber}	X _a	Y _a	X _b	Y _b	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.25	2.367	0.6545	1.2393612	0.462801388	0.015300892	0.065767707	0.381350192	1.251982697	0.544252585	-1.221380913	
2.5	3.268	1.309	1.7111248	0.925602777	0.060721819	0.129436256	0.704739112	1.757532747	1.146466441	-1.636089108	
5	4.443	2.618	2.3263548	1.851205553	0.239033291	0.248817144	1.278322765	2.493746569	2.424088341	-2.015679988	
7.5	5.25	3.927	2.7489	2.77680833	0.529153434	0.355922732	1.818939243	3.105767107	3.734677416	-2.04746024	
10	5.853	5.236	3.0646308	3.702411106	0.925301268	0.45010299	2.369118137	3.684701891	5.035704076	-1.834099355	
15	6.682	7.854	3.4986952	5.553616659	2.012556092	0.602151056	3.571897938	4.895697732	7.535335381	-0.870785548	
20	7.172	10.472	3.7552592	7.404822213	3.454549922	0.713957801	4.945765443	6.292685131	9.863878982	0.616414713	
25	7.427	13.09	3.888772	9.256027766	5.205034916	0.795585987	6.478375943	7.926659149	12.03367959	2.483410664	
30	7.502	15.708	3.9280472	11.10723332	7.217763235	0.854947512	8.143378445	9.795576085	14.07108819	4.639950385	
40	7.254	20.944	3.7981944	14.80964443	11.84495848	0.927228169	11.77124171	14.12407885	17.84804714	9.565838112	
50	6.617	26.18	3.4646612	18.51205553	16.96615293	0.95611398	15.68157743	18.96421973	21.34253364	14.96800613	
60	5.704	31.416	2.9866144	22.21446684	22.21136386	0.950593926	19.7840768	23.94718379	24.64485647	20.47554394	
70	4.58	36.652	2.398088	25.9168774	27.21060855	0.909008368	24.02503873	28.6843016	27.80871676	25.7369155	
80	3.279	41.888	1.7168844	29.61928885	31.59390426	0.81799301	28.36634928	32.76771621	30.87222842	30.42009231	
90	1.81	47.124	0.947716	33.32169996	34.99126827	0.644237477	32.75251222	35.74902214	33.8908877	34.2335144	
95	1.008	49.742	0.5277888	35.17290551	36.20460629	0.50709241	34.91659142	36.66597827	35.4292196	35.7432343	
100	0	52.36	0	37.02411106	37.03271786	0.323215095	37.02411106	37.03271786	37.02411106	37.03271786	

ตารางที่ ก.20 ค่าที่ใช้ในการเขียนแบบรูปหน้าตัดความเร็วของปีกหมุนลมสำหรับกรณีศึกษาที่ 5

Axial velocity is 60% of maximum velocity in pipe.

Tangential velocity is 40% of axial velocity

Upper Surface			Lower Surface			Mean						Tip							
Root			Lower Surface			Upper Surface			Lower Surface			Upper Surface			Lower Surface				
X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b	X _a	Y _a	X _b	Y _b
3.701704	-3.595637982	-3.701704	-3.595637982	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-9.256027766	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553	-18.51205553
-3.617375051	-3.346412443	-3.600947748	-3.841789944	-9.060315926	-8.63067709	-8.988938217	-9.867981178	-18.13070534	-18.13070534	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283	-17.26007283
-3.539157086	-3.248093362	-3.494080513	-3.930926336	-8.8902389	-8.379381573	-8.696213855	-10.0794705	-17.80731642	-17.80731642	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278	-16.75452278
-3.391863184	-3.110024187	-3.271204015	-4.032531049	-8.583869375	-8.015933038	-8.076980603	-10.28639344	-17.23373277	-17.23373277	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896	-16.01830896
-3.251311654	-3.001589796	-3.041585145	-4.08074929	-8.295260145	-7.717321812	-7.439987057	-10.32978409	-16.69311629	-16.69311629	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842	-15.40628842
3.113707188	-2.905843071	-2.809019212	-4.092984684	-8.005976613	-7.439439399	-6.803667812	-10.25837811	-16.14293739	-16.14293739	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364	-14.82735364
-2.836323785	-2.72736993	-2.344061814	-4.036375647	-7.399960364	-6.874197403	-5.568478508	-9.861348546	-14.94015759	-14.94015759	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578	-13.6161578
-2.553377054	-2.547127717	-1.888667745	-3.893833043	-6.701976663	-6.240747051	-4.405256656	-9.211782034	-13.56629009	-13.56629009	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704	-12.2193704
-2.253197827	-2.35163776	-1.448506172	-3.682487603	-5.941603741	-5.509320103	-3.314424025	-8.376464126	-12.03367959	-12.03367959	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638	-10.58539638
-1.935731137	-2.133229829	-1.025632063	-3.413661612	-5.117867924	-4.674595137	-2.286954289	-7.397733546	-10.36867709	-10.36867709	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447	-8.716479447
-1.250968603	-1.610699237	-0.229712997	-2.735137015	-3.322906078	-2.726399181	-0.379505028	-5.126955566	-6.74081382	-6.74081382	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683	-4.387976683
-0.509639879	-0.964209655	0.509639879	-1.902801995	-1.38562845	-0.506159864	1.38562845	-2.585585848	-2.830478105	-2.830478105	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198	0.452164198
0.274881688	-0.195643069	1.205799912	-0.943991025	2.750426987	4.166406268	4.654395245	2.708417636	5.512983199	5.512983199	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606	10.17224606
1.032169738	0.684615981	1.869193462	0.12246398	4.900464226	6.300812966	6.206769093	5.186694643	9.854293754	9.854293754	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068
-1.935325323	1.662324644	2.506719477	1.281589414	4.900464226	6.300812966	6.206769093	5.186694643	9.854293754	9.854293754	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068	14.25566068
2.800673781	2.72128389	3.122052618	2.520367849	7.076815363	8.071120119	7.732829062	7.387152545	14.24045669	14.24045669	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661	17.23696661
3.211102648	3.275769983	3.421664551	3.165959298	8.162796565	8.759012227	8.498053414	8.351380208	16.40453589	16.40453589	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274	18.15392274
3.701704	3.835538274	3.701704	3.835538274	9.256027766	9.256027766	9.256027766	9.256027766	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553	18.51205553

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจากการวัดความเร็วลม

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลของความเร็วมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย
vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.76	1.79	1.77	1.77	1.8	1.74	1.78	1.76	1.78	1.75	1.74	1.8	1.74	1.77
-1.84	1.83	1.83	1.85	1.88	1.88	1.84	1.84	1.87	1.84	1.86	1.88	1.83	1.85
-0.92	1.88	1.86	1.89	1.9	1.91	1.93	1.9	1.88	1.85	1.88	1.93	1.85	1.89
0	1.79	1.83	1.76	1.8	1.78	1.78	1.8	1.83	1.8	1.82	1.83	1.76	1.8
0.92	1.73	1.71	1.71	1.65	1.68	1.66	1.66	1.68	1.68	1.66	1.73	1.65	1.68
1.84	1.52	1.51	1.54	1.51	1.51	1.53	1.53	1.54	1.53	1.51	1.54	1.51	1.52
2.76	1.26	1.3	1.31	1.27	1.28	1.31	1.31	1.28	1.32	1.31	1.32	1.26	1.3

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลของความเร็วมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย
vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.76	3.78	3.76	3.79	3.79	3.78	3.76	3.7	3.71	3.72	3.8	3.8	3.7	3.76
-1.84	3.91	3.94	3.87	3.85	3.86	3.85	3.92	3.88	3.93	3.91	3.94	3.85	3.89
-0.92	3.93	4.07	4.02	4.1	3.92	4.04	4.05	4.05	4.03	3.98	4.1	3.92	4.02
0	4.01	3.98	3.93	3.99	3.88	3.88	3.9	3.87	3.88	3.92	4.01	3.87	3.92
0.92	3.62	3.57	3.69	3.55	3.73	3.69	3.78	3.57	3.76	3.66	3.78	3.55	3.66
1.84	3.03	3.04	3.02	3.06	3.04	3.11	3.05	3.05	3.12	3.08	3.12	3.02	3.06
2.76	2.41	2.46	2.44	2.38	2.46	2.46	2.4	2.32	2.43	2.42	2.46	2.32	2.42

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย
vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.76	5.59	5.72	5.62	5.61	5.7	5.7	5.67	5.66	5.58	5.64	5.72	5.58	5.65
-1.84	5.87	5.92	5.77	5.98	5.97	5.84	5.89	5.9	5.91	5.8	5.98	5.77	5.89
-0.92	6.2	6.32	6.24	6.25	6.24	6.22	6.39	6.17	6.13	6.15	6.39	6.13	6.23
0	6.25	6.11	6.17	6.16	6.2	6.26	6.28	6.12	6.22	6.3	6.3	6.11	6.21
0.92	5.73	5.7	5.56	5.73	5.67	5.76	5.63	5.47	5.78	5.69	5.78	5.47	5.67
1.84	4.81	4.77	4.7	4.98	4.76	4.64	4.72	4.64	4.8	4.79	4.98	4.64	4.76
2.76	3.44	3.5	3.58	3.63	3.54	3.56	3.44	3.55	3.39	3.46	3.63	3.39	3.51

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย
vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1200 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.76	7.36	7.37	7.38	7.29	7.31	7.51	7.46	7.38	7.37	7.42	7.51	7.29	7.39
-1.84	7.95	8.09	7.94	7.82	7.73	7.84	7.9	7.96	7.77	7.86	8.09	7.73	7.89
-0.92	8.43	8.21	8.38	8.34	8.36	8.32	8.34	8.47	8.27	8.37	8.47	8.21	8.35
0	8.46	8.3	8.51	8.29	8.33	8.18	8.26	8.32	8.23	8.37	8.51	8.18	8.33
0.92	7.89	7.96	7.89	8.03	7.99	7.69	8.05	7.91	7.83	7.95	8.05	7.69	7.92
1.84	6.16	6.38	6.23	6.33	6.36	6.3	6.71	6.39	6.28	6.35	6.71	6.16	6.35
2.76	4.83	4.8	4.85	4.82	4.57	4.78	5.1	4.83	5.06	4.86	5.1	4.57	4.85

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1500 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.76	9.05	9.07	9.03	9.02	8.91	9	8.88	8.87	8.82	8.82	9.07	8.82	8.95
-1.84	9.8	11.72	9.79	9.87	9.87	9.82	9.77	9.68	9.56	9.73	11.72	9.56	9.96
-0.92	10.37	10.37	10.24	10.31	10.3	10.28	10.35	10.36	10.3	10.19	10.37	10.19	10.31
0	10.35	10.31	10.23	10.16	10.07	10.14	9.93	10.03	9.93	10.07	10.35	9.93	10.12
0.92	9.9	9.86	10.15	9.73	9.6	9.89	9.85	9.8	10.02	9.8	10.15	9.6	9.86
1.84	8.09	8.27	8	8.02	7.91	7.86	8.21	8.05	8.19	8.13	8.27	7.86	8.07
2.76	6.1	6.06	6.65	6.82	6.43	6.66	6.29	6.48	6.18	6.39	6.82	6.06	6.41

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย vane probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1800 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.76	10.85	10.76	10.67	10.69	10.93	10.76	10.87	10.73	10.78	10.61	10.93	10.61	10.77
-1.84	11.81	11.5	11.53	11.51	11.69	11.7	11.61	11.59	11.6	11.63	11.81	11.5	11.62
-0.92	12.46	12.5	12.43	12.42	12.44	12.4	12.5	12.46	12.51	12.44	12.51	12.4	12.46
0	12.64	12.5	12.51	12.43	12.65	12.36	12.28	12.18	12.18	12.5	12.65	12.18	12.42
0.92	11.52	11.61	11.57	11.66	11.81	11.69	11.61	11.49	11.89	11.98	11.98	11.49	11.68
1.84	9.87	10.07	9.69	9.67	9.74	9.56	9.74	9.8	9.95	9.64	10.07	9.56	9.77
2.76	7.61	7.4	7.35	7.74	7.53	7.42	7.5	7.75	7.73	7.82	7.82	7.35	7.59

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.82	1.68	1.57	1.58	1.68	1.61	1.64	1.69	1.59	1.65	1.59	1.69	1.57	1.63
-1.88	1.7	1.64	1.64	1.67	1.69	1.6	1.67	1.66	1.69	1.7	1.7	1.6	1.67
-0.94	1.69	1.66	1.73	1.65	1.74	1.67	1.69	1.74	1.76	1.71	1.76	1.65	1.7
0	1.74	1.72	1.73	1.77	1.72	1.77	1.73	1.7	1.72	1.71	1.77	1.7	1.73
0.94	1.38	1.41	1.39	1.4	1.48	1.35	1.3	1.57	1.41	1.43	1.57	1.3	1.41
1.88	1.29	1.2	1.26	1.24	1.21	1.28	1.34	1.21	1.29	1.28	1.34	1.2	1.26
2.82	0.99	0.99	0.98	1.01	0.89	1.01	1.07	1.07	1.02	1.11	1.11	0.89	1.01

ตารางที่ ข.8 แสดงข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง . โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.82	3.92	3.96	4.06	4.17	3.97	4.03	4	3.93	3.87	3.98	4.17	3.87	3.99
-1.88	4.25	4.28	4.18	4.06	4.2	4.16	4.32	4.21	4.28	4.25	4.32	4.06	4.22
-0.94	4.42	4.35	4.41	4.41	4.39	4.57	4.44	4.33	4.29	4.45	4.57	4.29	4.41
0	4.4	4.42	4.43	4.41	4.41	4.39	4.4	4.55	4.4	4.48	4.55	4.39	4.43
0.94	4.01	3.8	3.91	3.96	3.92	3.96	3.69	3.9	3.84	3.86	4.01	3.69	3.89
1.88	3.32	3.26	3.19	3.23	3.24	3.38	3.39	3.29	3.4	3.21	3.4	3.19	3.29
2.82	2.79	2.4	2.7	2.35	2.54	2.42	2.65	2.75	2.32	2.44	2.79	2.32	2.54

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.82	6.04	6.07	6.06	5.92	5.53	5.86	5.89	5.9	6.33	5.93	6.33	5.53	5.95
-1.88	6.59	6.32	6.91	6.37	6.29	6.47	6.46	6.42	6.41	6.14	6.91	6.14	6.44
-0.94	6.76	6.59	7.15	6.96	6.98	7.03	6.83	6.62	6.98	6.87	7.15	6.59	6.88
0	6.9	7.04	6.82	7.01	7.01	6.77	7.13	7.18	7.13	6.98	7.18	6.77	7
0.94	6.26	6.66	5.96	6.73	6.36	6.38	6.37	6.52	6.46	6.64	6.73	5.96	6.43
1.88	5.65	5.88	5.3	5.55	5.65	5.55	5.46	5.1	5.38	5.79	5.88	5.1	5.53
2.82	4.13	4.25	4.14	4.19	4.2	3.7	4.21	4.02	4.46	3.28	4.46	3.28	4.06

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1200 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.82	7.72	8.33	8.24	7.86	8.12	8.19	7.82	7.56	7.87	7.78	8.33	7.56	7.95
-1.88	8.78	8.46	8.22	8.77	8.81	9.04	9.09	8.92	9.19	8.8	9.19	8.22	8.81
-0.94	9.4	9.23	9.51	9.76	9.41	9.53	9.34	9.51	9.69	9.71	9.76	9.23	9.51
0	9.66	9.96	9.52	9.54	9.83	9.48	9.88	9.53	9.58	9.79	9.96	9.48	9.68
0.94	9.09	9.34	9.03	9.21	8.99	9.34	9.39	9.49	9.04	9.15	9.49	8.99	9.21
1.88	7.17	6.8	7.17	7.61	6.82	7.6	7.64	7.99	7.21	6.88	7.99	6.8	7.29
2.82	5.25	4.92	4.84	5.01	5.21	5.09	5.38	4.36	5.2	5.28	5.38	4.36	5.05

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1500 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.82	9.5	10.3	9.39	10.5	10.3	9.72	9.68	10.1	10	10.1	10.5	9.39	9.96
-1.88	11	11	11.2	10.9	11.3	11.4	11.1	11.3	11.1	11.5	11.5	10.9	11.18
-0.94	12.3	11.9	11.8	11.9	12	11.9	12.1	12.2	12	12.4	12.4	11.8	12.05
0	12.1	12.3	12.4	12.3	12	12.2	12.2	12.5	12.4	12	12.5	12	12.24
0.94	11.4	11.3	11	12	11.5	11.5	11.9	12	11.5	11.9	12	11	11.6
1.88	9.7	10.1	9.96	10	10.2	9.82	9.83	10.1	9.8	10.1	10.2	9.7	9.96
2.82	6.59	6.3	6.56	6.89	6.24	7.11	6.47	7.02	7.01	6.09	7.11	6.09	6.63

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดที่ด้านล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1800 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
-2.82	11.9	11.7	12.5	11.5	11.5	12	11.8	11.7	12.5	11.8	12.5	11.5	11.89
-1.88	13.7	14.1	14.1	13.7	13.6	13.9	13.8	14.3	13.4	13.8	14.3	13.4	13.84
-0.94	14.5	14.4	14.4	14.8	14.2	14	14.3	14.6	14.8	14.6	14.8	14	14.46
0	14.3	14.8	14.4	14.9	14.6	14.7	14.7	14.6	14.8	14.8	14.9	14.3	14.66
0.94	13.6	14.1	14.1	13.8	13.7	14.2	13.3	13.8	14.3	14	14.3	13.3	13.89
1.88	12	11.3	10.8	11.4	11.8	11.6	11.6	12.2	11.4	10.6	12.2	10.6	11.47
2.82	7.97	9.05	6.67	7.99	7.94	6.91	6.96	8.38	8.21	8.1	9.05	6.67	7.82

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน

ล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
0	2.62	2.5	2.48	2.61	2.5	2.45	2.51	2.57	2.2	2.47	2.62	2.2	2.491
0.566	2.37	2.47	2.46	2.34	2.35	2.48	2.33	2.28	2.3	2.39	2.48	2.28	2.377
1.132	2.07	2.27	2.04	2.22	2.14	2.08	2.34	2.24	2.29	2.26	2.34	2.04	2.195
1.698	1.82	1.96	1.99	2.18	2.01	1.98	2.01	1.9	1.96	2.1	2.18	1.82	1.991
2.264	1.68	1.77	1.92	1.46	1.64	1.58	1.71	1.98	1.75	1.76	1.98	1.46	1.725
2.83	1.27	1.58	1.34	1.78	1.59	1.49	1.34	1.22	1.56	1.77	1.78	1.22	1.494

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน

ล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
0	5.72	5.68	5.71	5.74	5.63	5.78	5.59	5.71	5.8	5.72	5.8	5.59	5.708
0.566	5.48	5.48	5.5	5.29	5.39	5.49	5.54	5.33	5.58	5.62	5.62	5.29	5.47
1.132	5.2	5.02	4.86	5.31	5.17	5.24	5.15	5.16	5.14	5.18	5.31	4.86	5.143
1.698	4.35	4.35	4.75	4.59	4.72	4.94	4.63	4.58	4.35	4.34	4.94	4.34	4.56
2.264	4.07	3.56	4.14	4.36	3.71	4.25	4.1	4.34	3.67	3.12	4.36	3.12	3.932
2.83	2.68	2.32	3.35	3.25	2.57	3.45	2.49	3.17	2.67	2.78	3.45	2.32	2.873

ตารางที่ ข.15 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน

ล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
0	9.17	9.23	9.09	9.47	9.34	9.06	9.41	8.86	9.12	9.51	9.51	8.86	9.226
0.566	8.48	8.89	8.88	9.07	8.79	9.06	8.66	8.87	8.9	8.88	9.07	8.48	8.848
1.132	8.33	8.43	8.35	7.61	7.95	8.31	8.42	8.21	8.4	8.1	8.43	7.61	8.211
1.698	7.58	7.04	7.62	7.96	7.3	7.31	7.26	7.37	7.9	7.94	7.96	7.04	7.528
2.264	6.23	5.86	6.28	5.82	5.61	6.03	5.52	5.13	6.62	5.92	6.62	5.13	5.902
2.83	5.02	3.87	3.79	5.1	3.7	4.87	4.68	4.63	4.63	5.01	5.1	3.7	4.53

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน

ล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1200 RPM

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
0	13.1	12.9	13.2	13	12.7	13	12.7	12.9	12.9	12.9	13.2	12.7	12.93
0.566	12.2	12.2	12.1	12.5	12.4	12.4	12.4	12.2	12.7	12.1	12.7	12.1	12.32
1.132	11.7	11.6	11.6	11.5	11.3	11	11.8	11.6	11.9	11.4	11.9	11	11.54
1.698	10.3	10	10.7	9.59	10.5	10.3	9.91	10.2	9.98	10.3	10.7	9.59	10.18
2.264	8.1	8.91	8.71	8.52	8.53	9.1	8.96	8.82	7.16	7.74	9.1	7.16	8.455
2.83	6.38	6.13	6.76	4.77	6.3	6.05	5.53	6.26	5.72	5.99	6.76	4.77	5.989

ตารางที่ ข.17 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
ล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1500 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
0	15.9	16.1	16	16	16.3	16.3	16.2	16.7	16.4	16.2	16.7	15.9	16.21
0.566	15.5	15.5	15.6	14.9	15.4	15.4	15.6	15.5	15.5	15.7	15.7	14.9	15.46
1.132	14.5	13.9	14.6	14.1	14.3	14.3	14.6	15	15.2	14.4	15.2	13.9	14.49
1.698	13.3	13.1	12.4	11.8	13.3	12	12.7	12	12.8	12.9	13.3	11.8	12.63
2.264	10.6	10.3	10.1	10.7	10.6	10.1	9.4	9.91	10.9	10.7	10.9	9.4	10.33
2.83	7.8	6.55	7.42	7.74	7.46	6.67	7.3	6.67	7.02	7.1	7.8	6.55	7.173

ตารางที่ ข.18 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
ล่าง โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1800 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Min.	Mean
0	19.8	20	19.8	19.9	19.9	19.7	19.7	19.4	19.5	19.9	20	19.4	19.76
0.566	18.8	19.2	19.2	19.3	19.3	19.2	18.6	19.1	19.1	19.1	19.3	18.6	19.09
1.132	17.9	17.5	16.9	18	16.7	17.4	17.9	17.8	17	17.3	18	16.7	17.44
1.698	15.8	14.8	15.3	14.8	15.1	15.7	14.2	14.3	15.5	15.7	15.8	14.2	15.12
2.264	12.6	12.5	11.4	12.6	12.3	11.9	11.1	11.3	11.8	12.8	12.8	11.1	12.03
2.83	9.99	8.11	8.25	9.63	7.72	8.36	9.92	8.86	8.48	9.84	9.99	7.72	8.916

ตารางที่ ข.19 ข้อมูลของความเร็วมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
บน โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วม (m/s) วัดครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Mean
0	2.01	1.99	2.03	1.98	2.02	1.97	2.02	1.99	2.04	1.99	2.04	2.004
0.566	2.01	1.98	1.96	1.99	1.96	1.98	1.94	1.99	1.97	1.91	2.01	1.969
1.132	1.96	1.86	1.86	1.9	1.93	1.92	1.91	1.97	1.92	1.93	1.97	1.916
1.698	1.85	1.77	1.8	1.84	1.76	1.8	1.84	1.88	1.83	1.89	1.89	1.826
2.264	1.86	1.74	1.7	1.65	1.79	1.8	1.71	1.77	1.72	1.75	1.86	1.749
2.83	1.63	1.68	1.67	1.62	1.68	1.77	1.6	1.63	1.59	1.56	1.77	1.643

ตารางที่ ข.20 ข้อมูลของความเร็วมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
บน โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วม (m/s) วัดครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Mean
0	4.12	4.19	4.27	4.22	4.2	4.16	4.23	4.22	4.2	4.24	4.27	4.205
0.566	4.1	3.99	4.11	4.16	4.17	4.15	4.04	4.17	4.13	4.01	4.17	4.103
1.132	3.92	4.05	4	3.89	3.98	3.97	3.89	3.94	3.96	3.83	4.05	3.943
1.698	3.6	3.86	3.7	3.81	3.89	3.72	3.85	3.77	3.89	3.71	3.89	3.78
2.264	3.55	3.66	3.65	3.68	3.64	3.65	3.76	3.66	3.65	3.61	3.76	3.651
2.83	3.43	3.42	3.56	3.23	3.46	3.42	3.5	3.49	3.45	3.43	3.56	3.439

ตารางที่ ข.21 ข้อมูลของความเร็วมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
บน โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วม (m/s) วัดครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Mean
0	6.24	6.21	6.32	6.24	6.25	6.27	6.31	6.38	6.33	6.29	6.38	6.284
0.566	6.12	6.24	6.21	6.19	6.17	6.07	6.17	6.24	6.08	6.2	6.24	6.169
1.132	6	6.08	5.89	5.91	6.01	6.1	6.02	5.96	6.18	5.95	6.18	6.01
1.698	5.72	5.67	5.68	5.62	5.76	5.72	5.7	5.66	5.58	5.74	5.76	5.685
2.264	5.56	5.63	5.6	5.54	5.59	5.67	5.49	5.37	5.52	5.4	5.67	5.537
2.83	5.32	5.44	5.43	5.32	5.12	5.24	5.43	5.41	5.17	5.35	5.44	5.323

ตารางที่ ข.22 แสดงข้อมูลของความเร็วมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่
ที่ด้านบน โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1200 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วม (m/s) วัดครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Mean
0	8.31	8.4	8.42	8.36	8.24	8.37	8.34	8.41	8.44	8.37	8.44	8.366
0.566	8.27	8.29	8.25	8.28	8.32	8.26	8.31	8.26	8.26	8.27	8.32	8.277
1.132	8.16	7.99	8	8.1	8.16	8.03	7.93	7.88	7.97	7.99	8.16	8.021
1.698	7.52	7.43	7.55	7.47	7.67	7.59	7.7	7.68	7.6	7.61	7.7	7.582
2.264	7.47	7.19	7.07	7.41	7.18	7.13	7.41	7.16	7.24	7.1	7.47	7.236
2.83	7.18	7.19	7.3	6.94	6.99	6.93	7.05	7.07	7.14	7.24	7.3	7.103

ตารางที่ ข.23 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
บน โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1500 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Mean
0	10.4	10.4	10.3	10.3	10.4	10.5	10.4	10.4	10.4	10.2	10.5	10.37
0.566	10.2	10.3	10.4	10.2	10.4	10.4	10.1	10.3	10.4	10.3	10.4	10.3
1.132	9.99	9.95	10.1	9.92	9.78	9.78	9.77	9.97	9.93	9.97	10.1	9.916
1.698	9.28	9.44	9.39	9.61	9.45	9.52	9.46	9.4	9.5	9.53	9.61	9.458
2.264	9.3	9.37	9.13	9.12	9.02	9.23	9.35	9.2	9.49	8.99	9.49	9.22
2.83	8.96	8.67	8.9	9.02	8.84	8.79	8.75	8.84	8.61	9.17	9.17	8.855

ตารางที่ ข.24 ข้อมูลของความเร็วลมเชิงเส้นกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดลมหมุนวนวัดครั้งใหม่ที่ด้าน
บน โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 1800 RPM

ความยาวจากจุด ศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วลม (m/s) วัดครั้งที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max.	Mean
0	12.6	12.5	12.4	12.5	12.5	12.3	12.4	12.5	12.6	12.5	12.6	12.48
0.566	12.3	12.3	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.3	12.3	12.3	12.4	12.29
1.132	11.9	12.1	12.1	12.1	11.9	12.2	12	11.9	12	12	12.2	12.02
1.698	11.3	11.3	11.3	11.3	11.5	11.5	11.5	11.4	11.3	11.3	11.5	11.37
2.264	11.1	11.1	11	11	10.7	11	11.2	11	11.1	10.8	11.2	11
2.83	10.8	10.5	10.8	10.2	10.7	10.7	10.7	10.2	10.5	10.6	10.8	10.57

ตารางที่ ข.25 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านล่างสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	0.246	0.291	0.372	0.446	0.404	0.285
5	0.257	0.34	0.485	0.639	0.608	0.354
10	0.251	0.405	0.626	0.865	0.812	0.48
15	0.235	0.5	0.874	1.267	1.208	0.771
20	0.247	0.676	1.064	1.563	1.614	1.156
25	0.236	0.75	1.252	1.719	1.754	1.466
30	0.21	0.924	1.425	1.783	1.827	1.599
35	0.188	0.904	1.468	1.724	1.769	1.647
40	0.218	0.917	1.352	1.616	1.641	1.645

ตารางที่ ข.26 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านล่างสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	0.493	0.627	0.693	0.789	0.76	0.583
5	0.495	0.653	0.796	1.173	1.118	0.715
10	0.51	0.742	1.133	1.723	1.72	1.166
15	0.515	0.869	1.53	2.431	2.789	1.829
20	0.496	1.076	2.055	3.283	3.818	2.635
25	0.552	1.317	2.678	3.729	3.962	3.186
30	0.5	1.594	2.922	4.019	4.214	3.598
35	0.532	1.905	3.028	4.006	4.1	3.733
40	0.563	2.022	3.159	3.847	3.974	3.619
45	0.547	1.97	2.938	3.357	3.532	3.547
50	0.56	1.858	2.536	2.639	-	3.165
55	0.599	1.544	-	-	-	-
60	0.512	-	-	-	-	-

ตารางที่ ข.27 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านล่างสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe
ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	0.798	0.882	1.028	1.285	1.454	1.128
5	0.817	0.972	1.309	1.795	2.261	1.705
10	0.818	1.141	1.772	2.94	3.284	2.495
15	0.806	1.424	2.576	4.152	4.665	3.762
20	0.861	1.725	3.186	5.103	5.637	4.622
25	0.822	2.292	3.824	5.786	6.078	5.286
30	0.952	2.702	4.354	5.959	6.113	5.319
35	0.951	2.836	4.868	6.023	6.069	5.405
40	0.916	3.035	4.68	5.609	5.796	5.37
45	0.979	3.02	4.394	4.896	5.027	4.946
50	0.958	2.776	3.677	-	3.875	4.288

ตารางที่ ข.28 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe
ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	1.458	1.423	1.383	1.33	1.305	1.301
5	1.464	1.435	1.405	1.369	1.378	1.39
10	1.413	1.419	1.401	1.361	1.373	1.384
15	1.213	1.382	1.391	1.355	1.384	1.382
20	0.875	1.132	1.28	1.346	1.353	1.363
25	0.506	0.836	1.073	1.14	1.231	1.274
30	0.315	0.428	0.604	0.799	0.959	0.983

ตารางที่ ข.29 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	3.201	3.103	2.979	2.775	2.547	2.233
5	3.21	3.153	3.015	2.869	2.736	2.501
10	3.123	3.094	3.046	2.953	2.812	2.72
15	2.901	2.966	3.001	2.919	2.893	2.7
20	1.813	2.594	2.857	2.929	2.839	2.709
25	0.841	2.074	2.399	2.714	2.825	2.597
30	0.447	1.043	1.635	2.026	2.133	2.309
35	0.35	0.494	0.684	1.012	1.135	1.335
40	0.285	0.365	0.434	0.554	0.646	0.827
45	0.234	0.279	0.329	0.364	0.35	0.423

ตารางที่ ข.30 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 1 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	4.872	4.757	4.348	2.72	1.668	0.787
5	4.663	4.562	4.368	3.595	2.046	1.075
10	3.755	3.439	4.169	4.051	2.718	2.107
15	1.908	2.738	3.448	3.577	3.658	2.987
20	0.711	1.7	3.078	4.016	4.069	3.445
25	0.553	0.885	2.024	3.13	4.387	4.581
30	0.457	0.547	1.275	3.135	4.068	4.67
35	0.404	0.468	0.778	1.992	4.37	4.506
40	0.376	0.432	0.571	1.259	3.475	4.488
45	0.391	0.377	0.378	0.763	2.346	3.458

ตารางที่ ข.31 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 300 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	1.3	1.276	1.256	1.247	1.229	1.192
5	1.205	1.196	1.219	1.225	1.232	1.164
10	0.849	0.927	1.105	1.189	1.236	1.213
15	0.471	0.6	0.737	1.093	1.181	1.174
20	0.246	0.296	0.486	0.72	0.968	1.103
25	0.147	0.189	0.249	0.453	0.669	0.937
30	0.109	0.128	0.166	0.262	0.391	0.585
35	0.085	0.088	0.118	0.162	0.212	0.343
40	0.064	0.07	0.071	0.121	0.152	0.17
45	0.059	0.067	0.075	0.08	0.127	0.129
50	0.04	0.053	0.065	0.06	0.078	0.132
55	0.031	0.038	0.044	0.048	0.057	0.09
60	0.033	0.038	0.032	0.039	0.045	0.061
65	0.037	0.033	0.023	0.033	0.036	0.047
70	0.031	0.032	0.022	0.026	0.033	0.033
75	0.035	0.034	0.022	0.032	0.036	0.033
80	0.057	0.049	0.028	0.028	0.034	0.04
85	0.032	0.035	0.036	0.039	0.039	0.042
90	0.038	0.034	0.032	0.045	0.056	0.063

ตารางที่ ข.32 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2 โดย hot wire probe
ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	2.822	2.811	2.748	2.546	2.528	2.473
5	2.828	2.817	2.749	2.579	2.608	2.582
10	2.786	2.797	2.712	2.613	2.624	2.567
15	2.565	2.699	2.686	2.59	2.614	2.605
20	1.664	2.11	2.45	2.53	2.597	2.57
25	0.679	1.108	1.668	2.268	2.361	2.434
30	0.278	0.585	0.763	1.453	1.665	1.848
35	0.219	0.237	0.283	0.685	0.765	0.845
40	0.207	0.206	0.199	0.237	0.365	0.416
45	0.203	0.187	0.182	0.186	0.209	0.248
50	0.124	0.19	0.216	0.093	0.23	0.162
55	0.091	0.11	0.129	0.081	0.16	0.192
60	0.095	0.107	0.09	0.062	0.115	0.175
65	0.067	0.069	0.067	0.072	0.088	0.112
70	0.095	0.077	0.052	0.081	0.076	0.136
75	0.084	0.075	0.05	0.063	0.097	0.145
80	0.081	0.071	0.044	0.064	0.104	0.159
85	0.135	0.063	0.061	0.075	0.116	0.152
90	0.157	0.126	0.079	0.1	0.11	0.156

ตารางที่ ข.33 ข้อมูลของความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่ด้านบนสำหรับปีกหมุนลมอันที่ 2 โดย hot wire probe ณ ที่ความเร็วรอบของใบพัด 900 RPM

มุมเครื่องมือวัด (องศา)	ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) ณ ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)					
	0	0.566	1.132	1.698	2.264	2.83
0	4.327	4.301	4.08	4.071	3.933	3.668
5	4.352	4.312	4.118	4.07	3.943	3.872
10	4.42	4.317	4.215	4.074	3.999	3.992
15	4.391	4.197	4.115	4.041	4.086	3.967
20	4.347	3.647	4.024	3.889	3.775	3.942
25	4.105	1.759	3.496	2.525	2.297	3.616
30	2.969	0.637	2.108	1.078	0.768	2.431
35	1.167	0.36	0.605	0.486	0.347	1.027
40	0.499	0.3	0.363	0.354	0.317	0.532
45	0.313	0.315	0.304	0.327	0.315	0.277
50	0.29	0.244	0.3	0.289	0.28	0.247
55	0.209	0.182	0.235	0.229	0.23	0.289
60	0.177	0.134	0.177	0.17	0.19	0.25
65	0.133	0.152	0.141	0.135	0.175	0.219
70	0.136	0.219	0.118	0.101	0.14	0.178
75	0.17	0.178	0.103	0.087	0.143	0.189
80	0.157	0.184	0.102	0.085	0.146	0.151
85	0.159	0.208	0.101	0.096	0.162	0.171
90	0.219	0.205	0.14	0.124	0.192	0.195

ตารางที่ ข.34 ข้อมูลของความเร็วตามแนวแกนที่ 0 และความเร็วของการไหลวนที่ด้านล่างสำหรับปีก
 หมุนลมอันที่ 1

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วของการไหลวน (m/s)			ความเร็วตามแนวแกนที่ 0 (m/s)		
	300 RPM	600 RPM	900 RPM	300 RPM	600 RPM	900 RPM
0	0.022	0.491	0.692	0.256	0.344	0.692
0.566	0.462	1.3	1.951	0.8	1.549	2.325
1.132	0.842	2.031	2.792	1.203	2.42	3.988
1.698	0.892	2.01	3.455	1.544	3.481	4.934
2.264	0.914	2.107	3.057	1.582	3.649	5.294
2.83	0.945	2.141	3.1	1.349	3.058	4.428

ตารางที่ ข.35 ข้อมูลของความเร็วตามแนวแกนที่ 0 และความเร็วของการไหลวนที่ด้านบนสำหรับปีก
 หมุนลมอันที่ 1

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วของการไหลวน (m/s)			ความเร็วตามแนวแกนที่ 0 (m/s)		
	300 RPM	600 RPM	900 RPM	300 RPM	600 RPM	900 RPM
0	0.128	0.28	0	1.458	3.198	4.872
0.566	0.125	0.275	0	1.43	3.141	4.757
1.132	0.122	0.529	0.381	1.4	3	4.351
1.698	0.119	0.513	0.703	1.364	2.908	3.989
2.264	0.358	0.749	1.854	1.337	2.794	3.976
2.83	0.121	0.472	2.335	1.385	2.679	4.044

ตารางที่ ข.36 ข้อมูลของความเร็วตามแนวแกนที่ 0 และความเร็วของการไหลวนที่ด้านบนสำหรับปีก
 หมุนลมอันที่ 2

ความยาวจากจุดศูนย์กลาง (cm)	ความเร็วของการไหลวน (m/s)			ความเร็วตามแนวแกนที่ 0 (m/s)		
	300 RPM	600 RPM	900 RPM	300 RPM	600 RPM	900 RPM
0	0	0.246	0.768	1.3	2.817	4.353
0.566	0	0.246	0.75	1.276	2.806	4.251
1.132	0	0.24	0.732	1.256	2.739	4.151
1.698	0	0.454	0.707	1.247	2.573	4.012
2.264	0.215	0.456	1.058	1.217	2.584	3.947
2.83	0.211	0.674	0.693	1.195	2.516	3.931

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นาย ทวิช จิตรสมบูรณ์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Tawit Chitsomboon
2. ตำแหน่งปัจจุบัน
รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-224410, 224411
โทรสาร 044-224411
4. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาเอก, พ.ศ. 2529, วิศวกรรมเครื่องกล, Old Dominion University, Norfolk, Virginia 23529, USA.
 - ปริญญาโท, พ.ศ. 2522, วิศวกรรมเครื่องกล, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.
 - ปริญญาตรี, พ.ศ. 2520, วิศวกรรมเครื่องกลเรือ, ร.ร.นายเรือ, สมุทรปราการ (สอบไล่ได้เป็นที่ 1 ของรุ่นด้วยเกรดเฉลี่ย 3.62)
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
กลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics)