

การพัฒนาระบบปัดน้ำฝนแบบไร้ใบปัดที่อาศัยหลักการ
ลมหมุนไซโคลน
DEVELOPMENT OF A CYCLONE - BASED WIPERLESS
WINDSHIELD SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบปิดที่อาศัยหลักการ
ลมหมุนไซโคลน
DEVELOPMENT OF A CYCLONE - BASED WIPERLESS
WINDSHIELD SYSTEM



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149511
วันเดือนปี 8 ส.ค. 2561

b. 1258 4248
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในปีการศึกษา 2559 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A CYCLONE - BASED WIPERLESS WINDSHIELD SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS , FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2559** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบปิดที่อาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน
Development of A Cyclone - Based Wiperless Windshield System

ชื่อนักศึกษา นางสาวนันทวดี มัยสิน รหัสนักศึกษา 56051157

นางสาวพัชรพร บุญประกอบ รหัสนักศึกษา 56051177

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก ประธานกรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ	
รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบปิดที่อาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนันทิตี มัยสิน	รหัสนักศึกษา	56051157
	นางสาวพัชรพร บุญประกอบ	รหัสนักศึกษา	56051177
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อนุพงษ์ สรวงประภา		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบสร้างและทดลองเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบปิดน้ำฝน
กระจกรถยนต์แบบไม่มีการบดบังทัศนวิสัยของผู้ขับขี่ โดยอาศัยหลักการเวนทูลี ฟันม่านอากาศ
ความเร็วสูงเหนี่ยวนำให้เกิดลมในลักษณะของพัดลมไร้ใบผลักดันมิให้เม็ดฝนเข้ามาปะทะ การเพิ่ม
ชิ้นส่วนครีบอกัง ทำให้เกิดอากาศหมุนวนเกิดสภาวะไซโคลนช่วยยกระดับการทำงานของระบบให้มี
ประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างมาก

คำสำคัญ : ปิดน้ำฝน เวนทูลี พัดลมไร้ใบ ไซโคลน

Title	Development of A Cyclone - Based Wiperless Windshield System		
Students	Miss Nantawadee Maisin	Student ID 56051157	
	Miss Patcharaporn Bunprakob	Student ID 56051177	
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)		
Department	Physics		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Assoc.Prof.Anupong Songprapa		

Abstract

The purpose of this project is to design construct and test for developing a prototype of wiperless windshield system that does not obscure the vision of the driver. The wind induced by air jet curtain based on Venturi's effect was used to repel the raindrops, that come to hit the windshield, Additional curved fin parts that caused cyclone-type air flow enhance the efficiency of the system drastically.

Keywords : Windshield wiper , Venturi , Bladeless fan , Cyclone

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกท่าน ขอขอบพระคุณ รศ.อนุพงศ์ สรวงประภา ผู้ที่คอยถ่ายทอดความรู้ ให้คำสั่งสอน คำปรึกษา ดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ความช่วยเหลือแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษ และขอขอบพระคุณ กรรมการสอบโครงการพิเศษทั้ง 3 ท่าน คือ ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ และ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.วิชิต ศิริโชติ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องพิมพ์สามมิติ ที่ทำให้โครงการพิเศษนี้มีต้นแบบมาทำการทดลองและเก็บผลทดลองเพื่อนำไปพัฒนาสู่ต้นแบบตัวจริง

ขอขอบพระคุณ ดร.กวางปัญญา สุวรรณสุขุโข ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะออกแบบการทำช่องลมในต้นแบบพัฒนาไว้ใบพัดให้เป็นโซโคลนได้และคอยเป็นห่วงเป็นใยให้กำลังใจกันตลอด

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อาคารพระจอมเกล้าคณะวิทยาศาสตร์ที่อำนวยความสะดวก และให้ความช่วยเหลือในการใช้อาคารในยามวิกาลเพื่อทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณนายพศวีร์ รุ่งฟ้า ที่คอยช่วยเหลือในการเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติและคอยให้คำแนะนำสอนใช้เครื่องพิมพ์สามมิติให้ใช้ได้จนทำให้ได้ต้นแบบออกมาได้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงพี่ๆเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการ MEDICAL & ENVIRONMENTAL EQUIPMENT RESEARCH LABORATORY (MERL) และ บุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นันทวี มัยสิน

พัชรพร บุญประกอบ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ระบบที่ปิดน้ำฝน	3
2.2 พลศาสตร์ของไหล	4
2.2.1 คุณสมบัติของของไหลในอุดมคติ	4
2.2.2 สมการความต่อเนื่อง	4
2.2.3 สมการของเบอร์นูลลี	5
2.3 เวนทูรี	6
2.3.1 หลักการทำงานของเวนทูรี	6
2.3.2 ท่อเวนทูรี	6
2.4 แรงอากาศพลศาสตร์	7
2.5 ไซโคลน (Cyclone)	9
2.6 พัดลมไร้ใบ	11
2.6.1 พัดลมไร้ใบ	11
2.7 การวัดความเร็วและทิศทางของลม	12
2.7.1 เครื่องวัดความเร็วลม	12
2.8 ประเภทและหลักการทำงานของพัดลมหรือเครื่องเป่าลม	13
2.8.1 ประเภทของเครื่องเป่าลม	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 การออกแบบสร้างต้นแบบของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัด	16
3.1.1 รูปแบบที่ 1 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม	16
3.1.2 รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน (Manual)	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.3	รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (3D)	19
3.1.4	รูปแบบที่ 4 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (Cyclone3D)	20
3.2	ทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile	22
3.2.1	ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile เพื่อแสดงที่มาอ้างอิงของลมที่ได้จากเครื่องเป่าลม	22
3.2.2	ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile แบบจุด	23
3.2.3	ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile ตามแนวเครื่องเป่าลม	25
3.2.4	ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile ตามแนวแกน X	27
3.3	การทดสอบสมบัติของที่ปัดน้ำฝนไร้ใบพัตโดยอาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน	27
3.3.1	ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร กับ 27 เซนติเมตร ตามลำดับและทดสอบโดยกระดาษ	27
3.3.2	ทดสอบสมบัติของลมของพัตลมไร้ใบพัตแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนทางเข้าลม 2 ทาง และพัตลมไร้ใบที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตรกับ 27 เซนติเมตร ตามลำดับ ทดสอบโดยน้ำ	28
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล		29
4.1	การออกแบบสร้างต้นแบบของที่ปัดน้ำฝนไร้ใบพัต	30
4.1.1	รูปแบบที่ 1 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตแบบท่อ 8 เหลี่ยม	30
4.1.2	รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน	30
4.1.3	รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	31
4.1.4	รูปแบบที่ 4 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	31
4.2	การทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile	32
4.2.1	ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile เพื่อแสดงที่มาอ้างอิงของลมที่ได้จากเครื่องเป่าลม	33
4.2.2	การทดสอบและวิเคราะห์ของอัตราเร็วลมในแต่ละจุดที่กำหนดของต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัตลมไร้ใบพัตแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3	การทดสอบและวิเคราะห์ Profile ของการกระจายตัวของลมตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นโซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน	42
4.2.4	การทดสอบและวิเคราะห์ Profile ของการกระจายตัวของลมตามแนวแกน X ของเครื่องเป่าลม ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ของทางเข้าลม 1 ทางและ 2 ทางและต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นโซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm	48
4.3	การทดสอบสมบัติของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัดโดยอาศัยหลักการลมหมุนโซโคลน	56
4.3.1.	ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นโซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ ทดสอบโดยกระดาษ	56
4.3.2.	ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ของทางเข้าลม 2 ทางกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นโซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องมือสามมิติรูปร่างแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ ทดสอบโดยน้ำ	58
4.3.3.	วัดการกระจายตัวของลมโดยการเปรียบเทียบจาก Profile ของเครื่องเป่าลม ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นโซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ		64
5.1	สรุปผลการวิจัย	64
5.2	ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารอ้างอิง		66
ภาคผนวก ก		68
ภาคผนวก ข		113

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

4.1 แสดงการหาประสิทธิภาพจากการกระจายตัวของลม

63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ที่ปิดน้ำฝนรถยนต์	3
2.2 ระบบปิดน้ำฝน	3
2.3 อธิบายสมการความต่อเนื่อง	4
2.4 อธิบายสมการเบอร์นูลลี	5
2.5 หลักการของ Venturi	6
2.6 หลักการ Venturi	7
2.7 โครงสร้างท่อ venture	7
2.8 การกระจายความดันและความเค้นเฉือน	8
2.9 แรงลัพท์และองค์ประกอบของแรงลัพท์บนแผนอากาศ	8
2.10 ลักษณะการหมุนของไซโคลน	10
2.11 ทิศทางของกระแสลม	11
2.12 การไหลของลมแบบเบอร์นูลลี	11
2.13 เครื่องวัดทิศทางและความเร็วของลมแบบใบพัด	12
2.14 เครื่องวัดความเร็วแบบใบพัด	13
2.15 ประเภทของพัดลม	14
2.16 เครื่องเป่าลม	14
2.17 รูปแบบใบพัดของเครื่องเป่าลมลม	15
3.1 แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย	16
3.2 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม	17
3.3 ขนาดของท่อพีวีซี	17
3.4 ลักษณะของช่องท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว (ท่อใน)	18
3.5 ลักษณะของช่องท่อพีวีซีขนาด 2.5 นิ้ว (ท่อนอก)	18
3.6 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน	19
3.7 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นรูปวงแหวน (ตัวชิ้นงาน)	19
3.8 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติ เป็นรูปวงแหวน (ฝาครอบชิ้นงาน)	20
3.9 เครื่องมือสามมิติ (3D)	20
3.10 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ตัวชิ้นงาน)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การออกแบบต้นแบบพัลลัมไร้ใบที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (ฝาครอบตัวชิ้นงาน)	21
3.12 การวัด Profile ลมต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม	22
3.13 การวัด Profile เครื่องเป่าลม	23
3.14 การวัด Profile แบบจุดของพัลลัมไร้ใบพัดต้นแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน	23
3.15 การวัด Profile แบบจุดของพัลลัมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	24
3.16 การวัด Profile แบบระยะทางของพัลลัมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	24
3.17 การวัด Profile แบบระยะทางของพัลลัมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	25
3.18 การวัด Profile ตามแนวแกน X ของเครื่องเป่าลม	25
3.19 การวัด Profile ตามแนวแกน X ของต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนทางเข้าลม 1 ทาง	26
3.20 การวัด Profile ตามแนวแกน X ของต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนทางเข้าลม 2 ทาง	26
3.21 การวัด Profile ตามแนวแกน X ต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 และ 27 เซนติเมตร	27
3.22 การทำการทดลองเป่ากระดาษ	27
3.23 การทำการทดลองทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไฮโคลน	28
3.24 การทำการทดลองทิศทางของน้ำขนานกับไฮโคลน	28
4.1 ต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม	30
4.2 ต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน	31
4.3 ต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ทางเข้าลม 2 ทาง)	31
4.4 (ก) ต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm)	32
(ข) ต้นแบบพัลลัมไร้ใบที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm)	32
4.5 การหาอัตราเร็วลมของต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม	32
4.6 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัลลัมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยมระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลมกับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด	33
4.7 การทำ Profile เครื่องเป่าลม	34
4.8 ความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง $100\ cm$ ที่สภาวะห้องปิด	36
4.10 การหาอัตราเร็วลมแบบจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน	37
4.11 การหาอัตราเร็วลมแบบจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ	37
4.12 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน	38
4.13 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง $20\ cm$ ที่สภาวะห้องเปิด	38
4.14 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	39
4.15 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง $20\ cm$ ที่สภาวะห้องเปิด	39
4.16 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือรูปวงแหวน	40
4.17 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง $20\ cm$ ที่สภาวะห้องปิด	40
4.18 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	41
4.19 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปวงแหวนระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง $20\ cm$ ที่สภาวะห้องปิด	41
4.20 การทำ Profile ตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	43
4.21 การทำ Profile ตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด	44
4.23 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด	45
4.24 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องปิด	46
4.25 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องปิด	47
4.26 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของเครื่องเป่าลม	48
4.27 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 1 ทาง	49
4.28 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง	49
4.29 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน	50
4.30 ความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm	51
4.31 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ของทางเข้าลม 1 ทาง	52
4.32 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่ทางเข้าลม 2 ทาง	53
4.33 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ของทางเข้าลม 2 ทาง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ของทางเข้าลม 2 ทาง	55
4.35 การทดสอบสมบัติของไฮโคลนโดยใช้กระดาษ	56
4.36 การหมุนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm	57
4.37 การหมุนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm	57
4.38 เพื่อทดสอบสมบัติของไฮโคลนโดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไฮโคลน	58
4.39 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะไม่เป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน โดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไฮโคลน	59
4.40 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไฮโคลน	59
4.41 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไฮโคลน	60
4.42 เพื่อทดสอบสมบัติของไฮโคลนโดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไฮโคลน	60
4.43 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน โดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไฮโคลน	61
4.44 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไฮโคลน	61
4.45 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัคลมไร้ใบพัดที่เป็นแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไฮโคลน	62

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
พัสดมไร้ใบพัดแบบ A	ต้นแบบพัสดมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม
พัสดมไร้ใบพัดแบบ B	ต้นแบบพัสดมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน (Manual)
พัสดมไร้ใบพัดแบบ C	ต้นแบบพัสดมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นรูปวงแหวน (3D)
พัสดมไร้ใบพัดแบบ D	ต้นแบบพัสดมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (3D Cyclone) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm
พัสดมไร้ใบพัดแบบ E	ต้นแบบพัสดมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (3D Cyclone) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีใบปิดน้ำฝนมีมาอย่างยาวนานแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันก็ยังพบปัญหาเดิม ๆ เช่น ไม่สามารถปิดน้ำฝนหรือทำความสะอาดได้หมดทั่วกระจกทั้งบานและการปิดนั้นก้านปิดน้ำฝนอาจบดบังหรือรบกวนทัศนวิสัยการมองเห็น ก่อให้เกิดความรำคาญแก่ผู้ขับขี่และส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ ทางแก้ไขที่ดีที่สุดคือการปิดน้ำฝนออกจากกระจกโดยไม่มีสิ่งใดมาบดบังสายตา ถึงแม้ว่าการใช้ยางปิดน้ำฝนนั้นมีความสามารถในการไล่น้ำได้ดีแต่การใช้ยางมาเสียดสีกับกระจกโดยตรงมีโอกาสเกิดรอยขีดข่วนผิวกระจกได้เนื่องจากที่มีฝุ่นผงมาเกาะเป็นจำนวนมากแล้วมาขูดกระจกไปพร้อมกับยาง นอกจากนี้ในภาวะที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำและมีการเสียดสีบ่อย ๆ มีโอกาสที่อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง ทั้งยังมีปัญหาบางประการที่นวัตกรรมแบบเดิม ๆ ไม่สามารถแก้ไขได้ คือเมื่อเจอกับโคลนสกปรกใส่กระจกกว่าที่เราจะเปิดระบบและก้านปิดน้ำฝนเริ่มทำงานถึงแม้ทำงานแล้วโคลนก็ยังออกไม่หมดในคราวเดียวซึ่งความจริงในเวลาเพียงเสี้ยววินาทีที่เรากำลังเปิดที่ปิดน้ำฝนและมองไม่เห็นทางข้างหน้า เราอาจหมดโอกาสที่จะมองเห็นอีกต่อไป

จึงเป็นที่มาของการออกแบบระบบปิดน้ำฝนแบบใหม่โดยไม่ให้มีวัสดุใด ๆ มาบดบังสายตาและไม่มีการสัมผัสกับผิวกระจกตรง ๆ ช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ให้นานยิ่งขึ้น จึงได้นำนวัตกรรมของพัดลมไร้ใบพัด Dyson มาศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการทำงานของพัดลม Dyson ที่ดูดลมจากฐานของพัดลมขึ้นมากระจายตามแนวโค้งของพัดลมและใช้หลักการความกดอากาศที่ไม่เท่ากันเพื่อดึงอากาศบริเวณรอบๆ กรอบวงกลมให้มาเป่าผู้ใช้งานได้ [1] ซึ่งหัวใจสำคัญของระบบปิดน้ำฝนแบบใหม่อยู่ที่เทคนิคการอัดฉีดลมให้สามารถไล่น้ำฝนออกจากผิวกระจกได้ แต่ปัญหาคือในขณะที่ฉีดอากาศ อากาศที่ฉีดออกไปในบรรยากาศจะถูกโมเลกุลของอากาศรอบๆ ทำให้แตกตัวจนหมดไม่สามารถไล่น้ำออกจากกระจกได้ ดังนั้นจึงนำแนวคิดของพายุไซโคลนมาปรับใช้ให้เพิ่มจุดปล่อยลมเข้าสู่ระบบและให้ลมเหล่านั้นหมุนเสริมกันและกัน เพื่อเป็นการคงรูปของลำอากาศให้ได้ยาวนานที่สุด นอกจากนี้ยังอาจจะต้องเปลี่ยนแนวคิดของฝากระโปรงรถและกระจกใหม่ให้ไล่อากาศออกจากผิวกระจกไม่ให้ไปรบกวนลำอากาศ ตำแหน่งฉีดอากาศเราจะฉีดลำอากาศพร้อม ๆ กันหลายตำแหน่งเพื่อให้กระจกชัดพร้อม ๆ กันทั้งบาน และยังกันโคลนและเศษวัสดุต่าง ๆ ที่จะเข้ามาใหม่ให้ออกจากกระจกได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหลักการของพัดลมไร้ใบพัดและสร้างพัดลมไร้ใบพัดขึ้นมา
- 2) เพื่อศึกษาอุปกรณ์ปิดน้ำฝนในรูปแบบต่าง ๆ และนำมาพัฒนาให้ดีขึ้น
- 3) เพื่อพัฒนาที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัดโดยอาศัยหลักการลมหมุนไซโคลนโดยทำเป็นตัวต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการทำงานของพัดลมไร้ใบพัดและหลักการการบังคับทิศทางลม
- 2) ศึกษาและพัฒนาพัดลมไร้ใบพัดจากพัดลมไร้ใบของ Dyson
- 3) ศึกษาและพัฒนาพัดลมไร้ใบพัดให้เป็นที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัดโดยอาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน
- 4) ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัดโดยอาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้นวัตกรรมใหม่ที่เพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนนของผู้ขับขี่
- 2) สามารถพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้
- 3) สามารถเป็นแนวคิดไอเดียใหม่ ๆ มาปรับเปลี่ยนรูปแบบของรถยนต์ที่ฝากระโปรงรถหรือส่วนอื่น ๆ ได้ เพื่อที่ไม่ต้องยึดติดรูปแบบเดิม ๆ ของรถยนต์
- 4) ที่ปิดน้ำฝนแบบใช้ใบไม่สามารถปิดโคลนออกจากกระจกได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งนวัตกรรมนี้ช่วยลดเวลาในการปิดโคลนได้เร็วขึ้นและยังช่วยปกป้องชีวิตผู้ขับขี่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

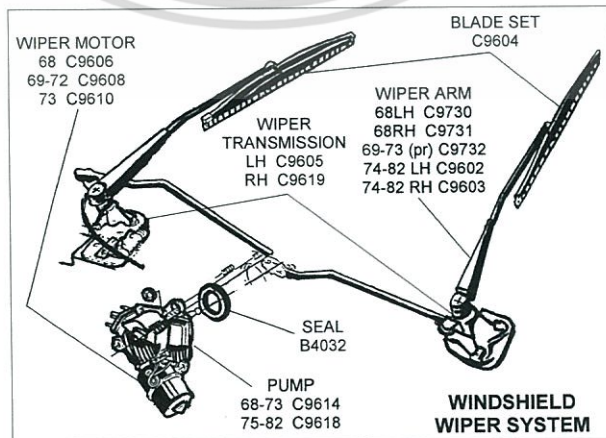
ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงเนื้อหาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษเรื่องที่ปัดน้ำฝนไร้ใบโดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

2.1 ระบบที่ปัดน้ำฝน

ต้นแบบที่ปัดน้ำฝนถูกสร้างขึ้นมาโดย Mary Anderson คิดค้นขึ้นในปี 1903 เนื่องจากเธอรู้สึกว่าการขับรถจะปลอดภัยมากกว่า หากมีที่ปัดน้ำฝนคอยช่วยปัดน้ำฝนบนกระจกรถยนต์ [2] ซึ่งในอดีตจนถึงปัจจุบันระบบที่ปัดน้ำฝนยังคงไม่ได้มีการพัฒนามากนักยังคงเป็นที่ปัดน้ำฝนในแบบเดิม ดังรูปที่ 2.1 โดยส่วนประกอบหลักของระบบปัดน้ำฝนประกอบด้วย มอเตอร์ปัดน้ำฝน (Wiper Motor) ก้านต่อปัดน้ำฝน (Wiper Link) แขนปัดน้ำฝน (Wiper Arm) และใบปัดน้ำฝน (Wiper Blade) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ที่ปัดน้ำฝนรถยนต์



รูปที่ 2.2 ระบบปัดน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics)

พลศาสตร์ของไหล เป็นสาขาวิชาการย่อยของกลศาสตร์ของไหล ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งหมายรวมถึงของเหลวและแก๊ส โดยพลศาสตร์ของไหลยังแบ่งแยกย่อยออกเป็นหลายสาขาวิชา เช่น อากาศพลศาสตร์ ที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศ และพลศาสตร์ของเหลวที่ศึกษาการเคลื่อนที่ของของเหลว เราใช้พลศาสตร์ของไหลในหลายวิธี เช่น ในการคำนวณแรงและโมเมนต์บนอากาศยาน ในการหาอัตราการไหลของมวลของปิโตรเลียมผ่านท่อ คาคะเนแบบรูปของสภาพอากาศ ทำความเข้าใจเนบิวลาและสสารระหว่างดาว ตลอดจนงานคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ [3]

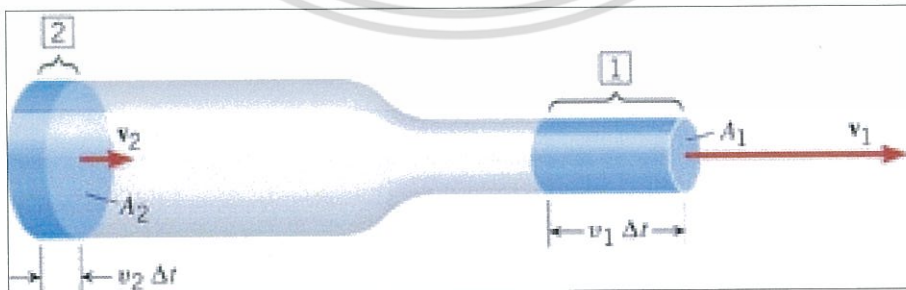
2.2.1. คุณสมบัติของของไหลในอุดมคติ

1. มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady Flow) หมายถึง ความเร็วของทุกอนุภาค ณ ตำแหน่งบนพื้นที่หน้าตัดเดียวกันในของไหลมีค่าคงตัว
2. เป็นการไหลโดยไม่หมุน (Irrotational flow) คือ ในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของไหลซึ่งไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้น ๆ เลย
3. เป็นการไหลที่ไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (Nonviscous flow) ไม่มีแรงต้านใด ๆ ภายในเนื้อของไหลมากระทำต่ออนุภาคของไหล
4. ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible flow) ในทุก ๆ ส่วนของของไหลมีความหนาแน่นคงตัว [4]

2.2.2. สมการความต่อเนื่อง (The equation of continuity)

การเคลื่อนที่ของของไหลด้วยวิธีการเขียนเวกเตอร์ความเร็วของของไหลที่แต่ละจุด มีความยาวของเวกเตอร์แทนอัตราเร็วของการไหลและทิศทางของเวกเตอร์แทนทิศทางการไหล หรืออีกวิธีหนึ่งคือการเขียนที่เราเรียกว่า สายกระแส ซึ่งคือเส้นสัมผัสกับทิศทางของความเร็ว ระยะช่องไฟระหว่างแต่ละเส้นในสายกระแสเป็นตัวระบุความหนาแน่นของอัตราของการไหล ถ้าช่องไฟแคบแสดงว่าอัตราเร็วของการไหลมีค่าสูง และช่องไฟระหว่างเส้นห่างกันมากแสดงว่ามีอัตราการไหลต่ำ สำหรับการไหลแบบสม่ำเสมอ เส้นในสายกระแสจะไม่เปลี่ยนแปลง [3]

สมการต่อเนื่องนี้เป็นผลสืบเนื่องของอนุรักษ์มวล สำหรับการไหลที่มีค่าความหนาแน่นคงที่ และไม่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความดัน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อธิบายสมการความต่อเนื่อง
(ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากของไหลไม่สามารถไหลผ่านผนังท่อและไม่มีการสร้างหรือทำลายของไหลในท่อ ดังนั้นมวลของของไหลที่ผ่านแต่ละส่วนของท่อการไหลในเวลา Δt เดียวกันจึงมีค่าเท่ากัน

$$\text{คือ} \quad \Delta m_1 = \Delta m_2 \quad \text{.....(2.1)}$$

$$pA_1v_1\Delta t = pA_2v_2\Delta t \quad \text{.....(2.2)}$$

เนื่องจากของไหลอุดมคติไม่สามารถอัดได้ ดังนั้น ความหนาแน่นจึงคงตัว

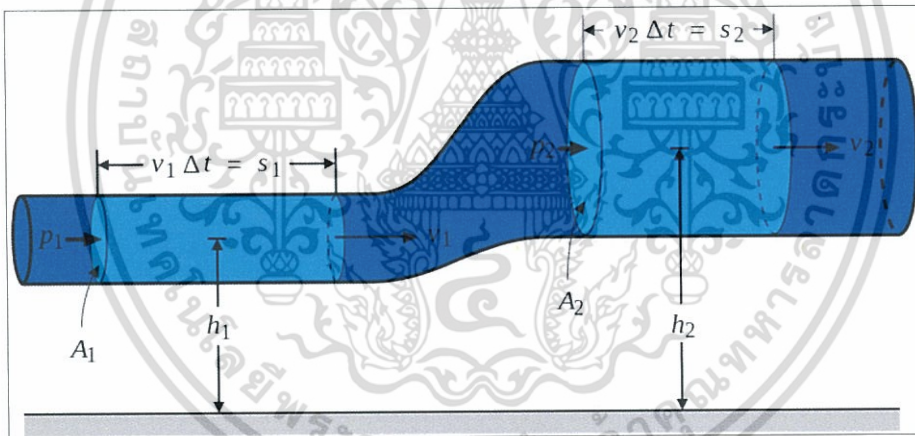
$$\text{แสดงว่า} \quad \rho_1 = \rho_2 \quad \text{.....(2.3)}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad A_1v_1 = A_2v_2 \quad \text{.....(2.4)}$$

สมการดังกล่าวเรียกว่า สมการความต่อเนื่อง (The equation of continuity) สรุปได้ว่า ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของไหลอุดมคติ ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อ การไหลจะมีค่าคงตัว [5]

2.2.3. สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

การใช้หลักการของกรอนุรักษ์มวลวิเคราะห์การไหลของของไหลในท่อทำให้เราเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วและพื้นที่หน้าตัด และเราได้ความสัมพันธ์ที่เรียกว่าสมการต่อเนื่อง ใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานวิเคราะห์การไหลของของไหล [4] ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 อธิบายสมการเบอร์นูลลี

(ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com>)

จากกฎอนุรักษ์พลังงาน

$$\text{พลังงานที่ 1} = \text{พลังงานที่ 2}$$

$$E_{p1} + E_{k1} + W_1 = E_{p2} + E_{k2} + W_2 \quad \text{.....(2.5)}$$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + P_1V = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + P_2V \quad \text{.....(2.6)}$$

$$\rho Vgh_1 + \frac{1}{2}\rho Vv_1^2 + P_1V = \rho Vgh_2 + \frac{1}{2}\rho Vv_2^2 + P_2V \quad \text{.....(2.7)}$$

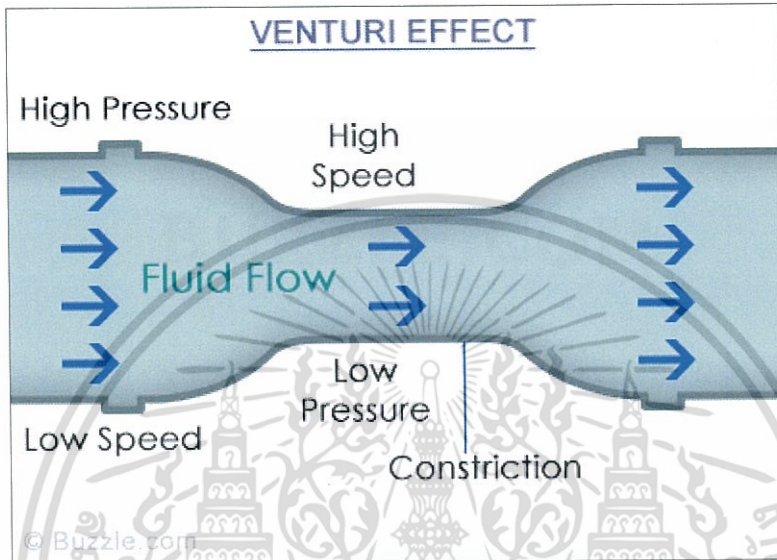
$$\rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho Vv_1^2 + P_1 = \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2 \quad \text{.....(2.8)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เวนทูรี (Venturi effect)

2.3.1. หลักการทำงานของเวนทูรี

เมื่อของไหลเคลื่อนที่ผ่านท่อที่มีขนาดเล็กลง ความเร็วของการไหลจะเพิ่มขึ้น ความดันจะลดลง ตามหลักการของ เบนาร์นูลลี ความเร็วในการไหลของของไหลจะแปรผกผันตามสัดส่วนของแรงดันสถิต ซึ่งหมายความว่าเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นความดันจะลดลง [5] ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หลักการของ Venturi

(ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7249/venturi-tube>)

2.3.2 ท่อเวนทูรี (venturi tube)

ท่อเวนทูรี เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (flow measurement) ที่วัดได้ทั้งของเหลวและก๊าซ ทำงานโดยอาศัยทฤษฎีของเบนาร์นูลลี (Bernoulli's theorem) หรือหลักการวัดความดันแตกต่าง (differential pressure) เช่นเดียวกับแผ่นออริฟิส (orifice plate) โดยออกแบบท่อเวนทูรีให้มีค่าความดันสูญเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด มีลักษณะรูปร่างเหมือนกรวย รูปที่ 2.6 ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทางด้านขาเข้ามีลักษณะเป็นกรวยแบบลู่เข้า (converging conical) ส่วนที่ 2 บริเวณช่วงกลางที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดคงที่ (cylindrical throat) และส่วนที่ 3 บริเวณทางด้านขาออก ท่อมีลักษณะเป็นกรวยที่ขยายออก (diverging conical) ลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่หน้าตัดของท่อเวนทูรีเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของของไหลจึงเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ส่งผลให้ค่าความดันสูญเสียมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผ่นออริฟิสหรือนอสเชิล (nozzle) [6]

การวัดอัตราการไหลด้วยท่อเวนทูรีอาศัยหลักการวัดความดันแตกต่าง (ΔP) ระหว่างจุด 2 จุดที่ของไหลไหลผ่าน และคำนวณหาอัตราการไหลโดยใช้ทฤษฎีของเบนาร์นูลลี เช่นเดียวกับการวัดการไหลด้วยแผ่นออริฟิส ดังสมการ 2.13 โดยตำแหน่งในการติดตั้งจุดวัดความดันพิจารณาจุด 2 จุดที่มีค่าความดันแตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ จุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเวนทูรีใหญ่ที่สุด (D) และจุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเวนทูรีเล็กที่สุด (d) [6] รูปที่ 2.7

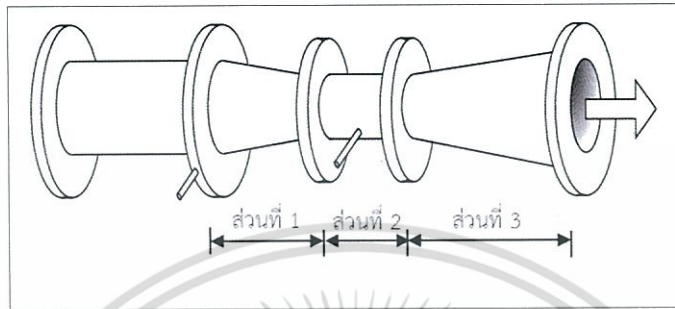
เอกสารนี้เป็นของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอเชิญแจ้งข้อผิดพลาดมาแจ้งใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

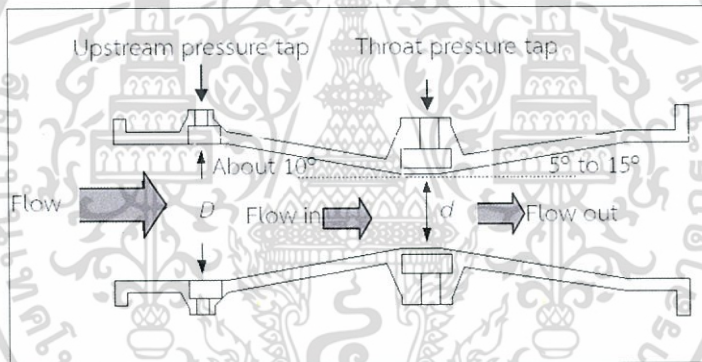
$$Q = K\sqrt{\Delta P} \quad \dots\dots(2.9)$$

โดย K คือ ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล ($m^3 / s / psi$)

ΔP คือ ค่าความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดที่ของไหลไหลผ่าน (psi)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างท่อ venturi

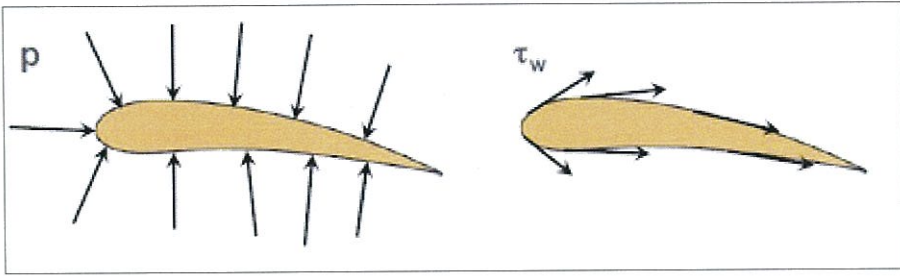


รูปที่ 2.7 ลักษณะท่อ venturi

2.4 แรงอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics forces) ทาง

แรงทางอากาศพลศาสตร์ ที่เกิดขึ้นบนแพนอากาศ การที่แพนอากาศเคลื่อนที่ผ่านสนามการไหลของของไหลหรือการที่ของไหล (Flow) เคลื่อนที่ผ่านแพนอากาศทำให้มีแรงและโมเมนต์ทางอากาศพลศาสตร์เกิดกับแพนอากาศอันเป็นผลมาจากแรงเนื่องจากการกระจายความดัน (Pressure distribution) และแรงเนื่องจากการแจกแจงความเค้นเฉือน (Shear stress distribution) รอบแพนอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ความดันจะมีทิศตั้งฉากกับผิววัตถุเสมอ ความดันที่มีค่าบวกแสดงด้วยเวกเตอร์ที่พุ่งเข้าหาผิววัตถุ ส่วนความดันที่มีค่าเป็นลบ (ค่าน้อยกว่าศูนย์) แทนด้วยที่พุ่งออกจากผิววัตถุ ส่วนความเค้นเฉือนมีทิศสัมผัสกับผิววัตถุ [7]

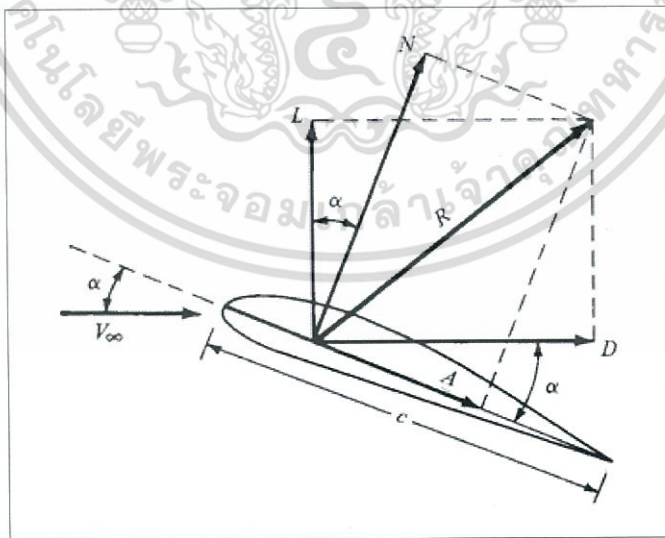
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การกระจายความดันและความเค้นเฉือน
(ที่มา : <http://aerodynamicsthai.blogspot.com>)

เมื่ออินทิเกรตแรงเนื่องจากความดันและความเค้นเฉือนรอบแพนอากาศจะได้แรงลัพธ์ R และ โมเมนต์สุทธิ M บนแพนอากาศดังแสดงในรูปที่ 2.12 สามารถแตกองค์ประกอบของแรงลัพธ์ R ได้ เป็น 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 2 ให้ V เป็นความเร็วลมสัมพัทธ์ในที่นี้ประมาณให้มีค่าเท่ากับความเร็วลมใน ระยะไกลจากแพนอากาศ หรือที่เรียกว่า ความเร็วกระแสอิสระ (freestream velocity) ส่วนมุมปะทะ (angle of attack) เป็นมุมระหว่างความเร็วสัมพัทธ์กับแนวเส้นคอร์ดของแพนอากาศ เราจะ นิยามให้

- L = แรงยก (Lift) คือ องค์ประกอบของแรงลัพธ์ในทิศตั้งฉากกับความเร็วลมสัมพัทธ์
- D = แรงต้าน (Drag) คือ องค์ประกอบของแรงลัพธ์ในทิศขนานกับความเร็วลมสัมพัทธ์
- N = แรงตั้งฉาก (Normal force) คือ องค์ประกอบของแรงลัพธ์ในทิศตั้งฉากกับคอร์ด
- A = แรงแนวแกน (Axial force) คือ องค์ประกอบของแรงลัพธ์ในทิศขนานกับคอร์ด



รูปที่ 2.9 แรงลัพธ์และองค์ประกอบของแรงลัพธ์บนแพนอากาศ
(ที่มา : <http://aerodynamicsthai.blogspot.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของแรงและโมเมนต์ทางอากาศพลศาสตร์

ปริมาณที่สำคัญทางอากาศพลศาสตร์อีกอย่างหนึ่งคือ สัมประสิทธิ์ของแรงและโมเมนต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงยก (Lift coefficient)} \quad C_L \equiv \frac{L}{q_\infty S} \quad \text{.....(2.10)}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag coefficient)} \quad C_D \equiv \frac{D}{q_\infty S} \quad \text{.....(2.11)}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงตั้งฉาก (Normal force coefficient)} \quad C_N \equiv \frac{N}{q_\infty S} \quad \text{.....(2.12)}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงแนวแกน (Axial force coefficient)} \quad C_A \equiv \frac{A}{q_\infty S} \quad \text{.....(2.13)}$$

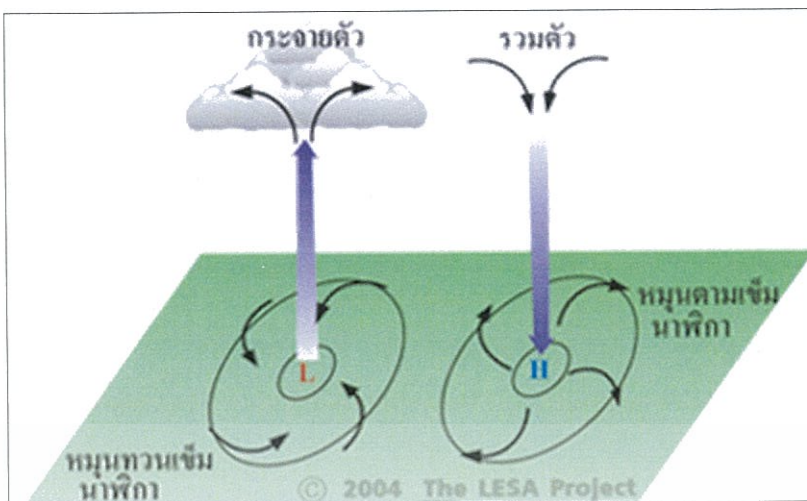
$$\text{สัมประสิทธิ์โมเมนต์ (Moment coefficient)} \quad C_M \equiv \frac{M}{q_\infty S l} \quad \text{.....(2.14)}$$

เมื่อ $q_\infty = \frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^2$ ซึ่งเป็นนิยามของความดันพลวัต (dynamic pressure) ส่วน S เป็นพื้นที่อ้างอิง และ l เป็นความยาวอ้างอิง [7]

2.5 ไซโคลน

ไซโคลน คือ บริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่าบริเวณใกล้เคียงที่อยู่รอบๆ ในแผนที่อากาศผิวพื้นแสดงด้วยเส้นความกดอากาศเท่าๆ เป็นวงกลม หรือเป็นวงรีรูปไข่ล้อมรอบบริเวณที่มีความกดอากาศสูงนั้นคือบริเวณความกดอากาศสูง หรือแอนติไซโคลนจะเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศสูงขึ้นจากขอบนอกเข้าสู่ศูนย์กลางบริเวณความกดอากาศสูง หรือแอนติไซโคลนนี้จะมีกระแสลมพัดออกจากศูนย์กลางในทิศทางตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ และในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกใต้ การเคลื่อนไหวของอากาศรอบศูนย์กลางบริเวณความกดอากาศสูงหรือแอนติไซโคลนเช่นนี้ เรียกว่า Anticyclonic Circulation [8]

ไซโคลน (Cyclone) หมุนตัวทวนเข็มนาฬิกาเข้าสู่ศูนย์กลางและมวลอากาศรอบห่อ้ม ความกดอากาศสูง (H) “แอนติไซโคลน” (Anticyclone) หมุนตัวตามเข็มนาฬิกาออกจากศูนย์กลางในบริเวณซีกโลกใต้ และ “แอนติไซโคลน” จะหมุนตัวทวน เข็มนาฬิกาตรงกันข้ามกับซีกโลกเหนือ ซึ่งมีความเร็วสูงที่สุด อยู่ที่ประมาณ 120 – 200 กม / ชม. [8] ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.10 ลักษณะการหมุนของไซโคลน

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/praw3659/xutuniymwithya-khux/phayu-sikholn-khux-xari>)

ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นพัฒนาเครื่องมือโดยการนำหลักการของไซโคลนมาใช้ไม่ว่าจะเป็นพัดลมไร้ใบหรือเครื่องดูดฝุ่นพลังไซโคลน ซึ่งไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคออกจากอากาศโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสอากาศหมุนวน (vortex) จึงสามารถแยกอนุภาคออกจากอากาศได้ การเกิดกระแสวน ทำได้โดยการให้อากาศไหลเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัส หรือแนวแกนโดยผ่าน vanes [9]

การคำนวณสมการไซโคลน [17]

ความเร็วรอบของพายุไซโคลน

ความเร็วตามแนวรัศมี
$$v_{radial} = \frac{(\rho_{particle} - \rho_{air})rw^2d^2}{18\mu} \dots\dots(2.15)$$

ระยะทางรัศมี

$$r = \frac{18v_{radial}\mu}{(\rho_{particle} - \rho_{air})w^2d^2} \dots\dots(2.16)$$

ความเร็วในการหมุน

$$w = \sqrt{\frac{18v_{radial}\mu}{(\rho_{particle} - \rho_{air})rd^2}} \dots\dots(2.17)$$

เมื่อ ความหนาแน่นของอนุภาค ($\rho_{particle}$) หน่วยคือ kg / m^3

ความหนาแน่นอากาศ (ρ_{air}) หน่วยคือ kg / m^3

ระยะทางรัศมี (r) หน่วยคือ m

ความเร็วในการหมุน (w) หน่วยคือ rad / s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (d) หน่วยคือ m

ความหนืดของอากาศ (μ) หน่วยคือ kg / ms

2.6 พัดลมไร้ใบ

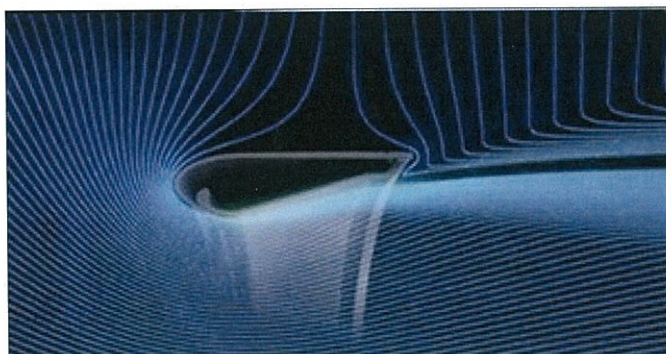
2.6.1 พัดลมไร้ใบ

พัดลมไร้ใบพัดได้ถูกสร้างขึ้นโดย James Dyson ผู้ที่ออกแบบ คิดค้น และประดิษฐ์เครื่องใช้ไฟฟ้าสุดไฮเทค ล้ำสมัยให้ใช้ได้ใช้กันในปัจจุบันจนได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศอังกฤษ James Dyson สนใจงานด้านวิศวกรรมควบคู่ไปกับการออกแบบ ตำนานการเกิดแบรนด์ Dyson เกิดจากปัญหาในชีวิตประจำวัน เมื่อ James พบว่าเครื่องดูดฝุ่นที่ใช้งานอยู่มีปัญหาฝุ่นติดในถุงดักฝุ่น (dust bag) จนอุดตันและทำให้เครื่องดูดฝุ่นมีปัญหาในการใช้งาน เขาจึงพัฒนาเครื่องดูดฝุ่นที่ดีกว่า ปัจจุบันจนสำเร็จและได้นำไปจดสิทธิบัตรการออกแบบ หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเครื่องดูดฝุ่น พัดลม เครื่องเป่าลมให้มือแห้ง ซึ่งพัดลมไร้ใบที่ได้มาศึกษาวิจัยก็ได้ไอเดียมาจาก James Dyson นั่นเอง [10]

Air Multiplier ระบบการทำงานจะเริ่มจากอากาศถูกดูดเร่งผ่านช่องวงแหวนภายในหัวจ่ายลม กลายเป็นกระแสลมพุ่งออกจากหัวจ่ายลมที่สามารถกำหนดทิศทางลมได้ มากไปกว่านั้นอากาศที่อยู่รอบๆ จะถูกดึงให้เข้ามาในกระแสลมนี้ด้วย [10] ดังรูป 2.11 เมื่อพิจารณาภาพตัดขวางของพัดลมไร้ใบพัดของ dyson มี Profile ของกระแสลมดังรูป 2.12



รูปที่ 2.11 ทิศทางของกระแสลม



รูปที่ 2.12 การไหลของลมแบบเบอร์นูลลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การวัดความเร็วและทิศทางของลม

ลมคือการเคลื่อนที่ของอากาศ ถ้าลมแรงก็หมายถึงว่ามวลของอากาศเคลื่อนตัวไปมากและเร็วในอุตุนิยมวิทยา การวัดลมจำต้องวัดทั้งทิศของลมและอัตราหรือความเร็วของลม สำหรับการวัดทิศของลมนั้นเราใช้ศรลม (wind vane) ส่วนการวัดความเร็วของลมใช้เครื่องมือที่เรียกว่า อะนิมอมิเตอร์ (anemometer) ซึ่งมีหลายชนิด แต่ส่วนมากใช้แบบใบพัด หรือกังหัน หรือใช้แบบถ้วยกลมสามใบ และมีก้านสามก้านต่อมารวมกันที่แกนกลาง จากแกนกลางจะมีแกนต่อลงมายังเบื้องล่าง เมื่อกังหันหมุนจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เข็มที่หน้าปัดชี้แสดงความเร็วของลมคล้าย ๆ กับหน้าปัดที่บอกความเร็วของรถยนต์ [11] ดังรูป 2.13

การวัดความเร็ว และทิศของลม อาจทำได้โดยใช้เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งเรียกว่าใบพัดลม ซึ่งสามารถวัดความเร็วและทิศได้พร้อมกัน ในการวัดความเร็วของลมมีหน่วยที่ใช้กันอยู่หลายหน่วยแล้วแต่ว่าผู้ใช้จะนิยมและสะดวกที่จะใช้หน่วยใด เช่น นอต หรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไมล์ (บก) ต่อชั่วโมง [11]



รูปที่ 2.13 เครื่องวัดทิศทางและความเร็วของลมแบบใบพัด
(ที่มา : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=2&chap=4&page=t2-4-infodetail03.html>)

นอกจากเครื่องวัดลมชนิดดังกล่าวแล้ว ยังมีเครื่องบันทึกความเร็วและทิศของลมอยู่ตลอดเวลาด้วย เครื่องบันทึกลมนี่เรียกว่า อะนิมोगราฟ (anemograph) ซึ่งสามารถบันทึกความเร็วและทิศของลมได้ตามที่เราต้องการ [11]

2.7.1 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

เครื่องวัดความเร็วลมเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความเร็วลม ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้งานวัดสภาพอากาศ งานด้านอุตุนิยมวิทย อากาศพลศาสตร์ และนอกจากนี้ยังสามารถวัดปริมาณลมได้อีกด้วย เครื่องวัดความเร็วลม ไม่ได้ถูกนำมาใช้เพียงแค่งานเกี่ยวกับสภาพอากาศและการพยากรณ์อากาศ เท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบระบบต่างๆ เช่น ระบบระบายอากาศในอุโมงค์ ระบบทดสอบการบินและการนำทางอากาศ ระบบปรับอากาศ [12]

หน่วยการวัดความเร็วลม ของเครื่องวัดความเร็วลม มีดังนี้

- เมตรต่อวินาที (m/s)
- กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km/hr)
- ฟุตต่อนาที (ft/min)
- ไมล์ต่อชั่วโมง (mph)
- นอต ($knots$)

สำหรับหน่วยการวัดปริมาตรลม มีดังนี้

- คิวบิกฟุตต่อนาที (CFM)
- คิวบิกเมตรต่อนาที (CMM)

โครงการพัฒนาาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบที่อาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน ใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบพกพา (Portable Anemometer) ประเภท เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด (Vane Anemometer) ดังรูปที่ 2.14 เป็นเครื่องวัดความเร็วลมที่มีลักษณะเป็นใบพัดหมุนไปตามทิศทางลม เครื่องวัดประเภทนี้ต้องหันใบพัดเข้าหาลม มีทั้งแบบใบพัดขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เหมาะกับการวัดความเร็วลมทั่วไป ลมธรรมชาติ สามารถวัดความเร็วลมได้ต่ำถึง 0.2 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 2.14 เครื่องวัดความเร็วแบบใบพัด








2.8 ประเภทและหลักการทำงานของพัดลมหรือเครื่องเป่าลม

2.8.1 ประเภทของเครื่องเป่าลม

มาตรฐาน JIS กำหนดไว้ว่า พัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า 1,000 (มิลลิเมตร-น้ำ) เรียกว่า พัดลม (fan) ส่วนพัดลมที่มีแรงดันลมตั้งแต่ 1,000 (มิลลิเมตร-น้ำ) ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 10 (เมตร-น้ำ) (0.1 MPa) เรียกว่า เครื่องเป่าลม (blower) ทั้งสองชนิดเรียกรวมๆ กันว่า พัดลม

พัดลมมีหลายชนิด ตามขนาดอัตราไหลและความดันของของไหลที่ลำเลียง และตามวัตถุประสงค์การใช้งานดังตาราง แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้เป็นแบบ centrifugal ซึ่งทำงานด้วยการให้แรงหนีศูนย์กลางให้เกิดกระแสในทิศทางตั้งฉากกับแกนไม่วากณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ axial flow ซึ่งสร้างกระแสของไหล (อากาศ) ในทิศทางเดียวกับเพลลา แบบ cross flow ซึ่งมีคุณสมบัติอยู่ระหว่างทั้งสองแบบข้างต้น และแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เพื่อสามารถติดตั้งและเชื่อมต่อกับท่อต่างๆ ได้สะดวก พัดลมแบบ centrifugal บางครั้งดูภายนอกแล้วจะมีลักษณะเหมือนกับแบบ axial flow โดยทั่วไปพัดลมแบบ axial flow จะเหมาะสมกับความดันต่ำ-อัตราไหลสูง ส่วนแบบ centrifugal จะเหมาะสมกับความดันสูง [13] ดังรูป 2.15

แบบ	ประเภท	รูปร่างใบพัดและตัวถัง	ขนาด (capacity) (บน) อัตราไหล [m ³ /min] (ล่าง) ความดันสถิตย์	การใช้งาน
พัดลม centrifugal	พัดลม multiblade (sirocco)		0.5 - 20,000 0.5 - 7.5 [kPa]	การปรับอากาศ ระบายอากาศ งานอุตสาหกรรม
	พัดลม backward curved wheel (turbo)		fan ~ 40,000 ~ 15 [kPa] blower ~ 5,000 ~ 0.1 [kPa]	ท่อลมความเร็วสูง งานอุตสาหกรรม
	พัดลม airfoil		~ 40,000 ~ 10 [kPa]	ท่อลมความเร็วสูง การปรับอากาศขนาดกลาง ใหญ่ งานอุตสาหกรรม
พัดลม axial flow	พัดลม propeller		~ 500 ~ 0.1 [kPa]	พัดลมระบายอากาศ unit heater, unit cooler หอทำน้ำเย็น งานอุตสาหกรรม
	พัดลม tube		~ 40,000 ~ 10 [kPa]	ระบายอากาศเฉพาะที่ หอทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ งานอุตสาหกรรม
	พัดลมมี vane		~ 60,000 ~ 0.1 [kPa]	การปรับอากาศ ระบายอากาศ งานอุตสาหกรรม
พัดลม cross flow		~ 500 ~ 1 [kPa]	fan coil unit งานอุตสาหกรรม	

รูปที่ 2.15 ประเภทของพัดลม

(ที่มา : <http://ienergyguru.com/2015/09/fan>)

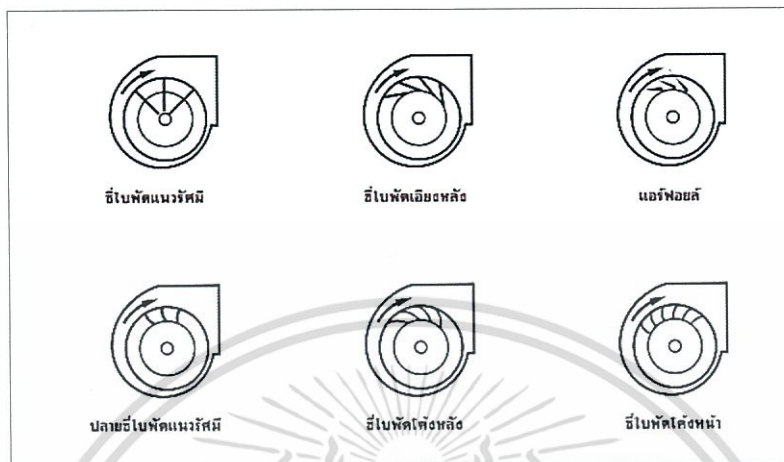
โครงการพัฒนาาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบที่อาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน จะใช้เครื่องเป่าลมชนิด พัดลมหลายใบพัดหรือพัดลม Sirocco มี เครื่องเป่าลม กำลัง 800 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 16,000 รอบ/นาที แรงดันลม 5.2 นิวตัน ปริมาณลม 4.5 ลูกบาศก์เมตร/นาที ดังรูป 2.16



รูปที่ 2.16 เครื่องเป่าลม

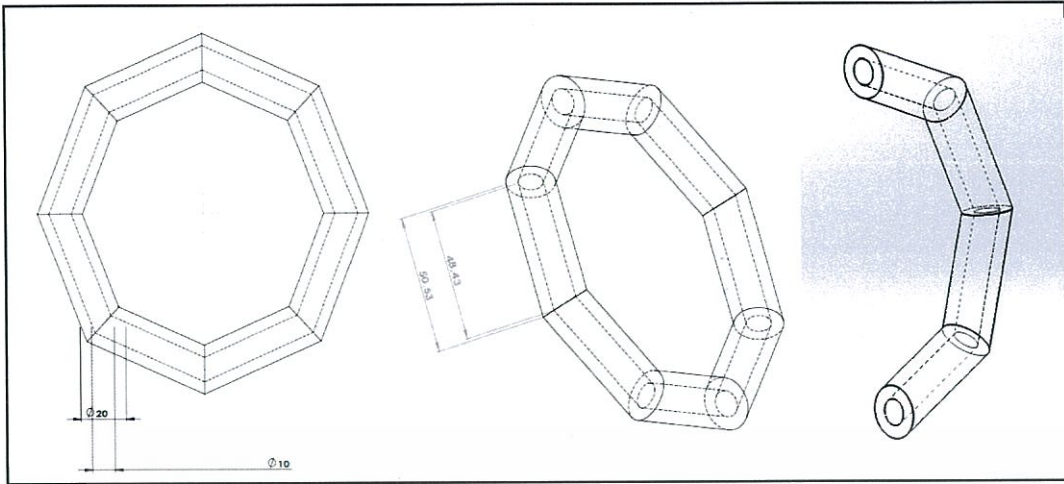
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัดลมหลายใบพัดหรือพัดลม Sirocco จะมีใบพัดสั้น 32 - 64 ใบ โค้งไปทางด้านหน้า มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำคือประมาณ 70% เป็นพัดลมที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในอาคาร ทั้งนี้ เพราะมีขนาดเล็ก ราคาไม่แพงและน้ำหนักเบา [14] ดังรูป 2.17



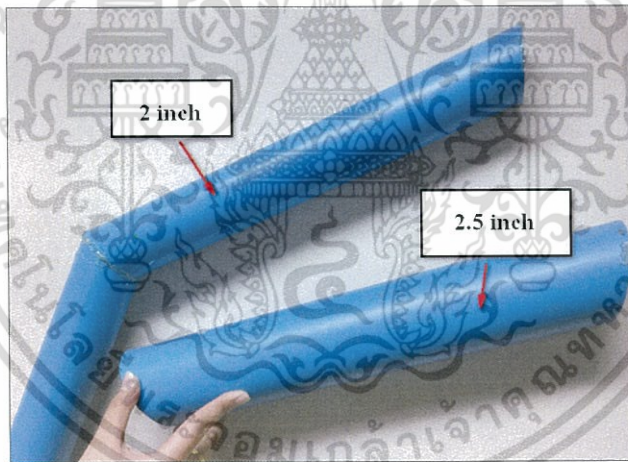
รูปที่ 2.17 รูปแบบใบพัดของเครื่องเป่าลม
(ที่มา : www2.dede.go.th/bhrd/old)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม

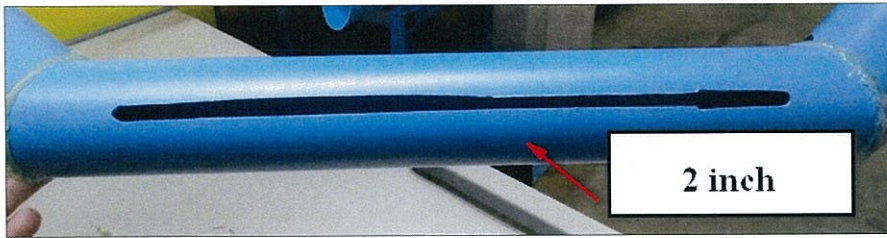
1. นำท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว และ 2.5 นิ้ว มาตัดให้มีมีความยาว 43 เซนติเมตร และ 43.5 เซนติเมตรตามลำดับ จากนั้นตัดทำมุม 45 องศา ของปลายท่อพีวีซีทั้งสองข้าง จำนวน 8 ชิ้น ทั้งสองขนาด ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ขนาดของท่อพีวีซี

2. นำท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว ที่ได้มา กัดพื้นผิวของท่อพีวีซี โดยใช้ดอกสว่านขนาด 7 มิลลิเมตร ให้ช่องมีขนาด 1.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นทางออกของลมดังรูป 3.4 และเจาะรูกลมขนาด 1 นิ้ว ที่บริเวณปลายท่อพีวีซีข้างใดข้างหนึ่ง หนึ่งข้าง เป็นจำนวน 2 ชิ้น เพื่อเป็นทางเข้าของเครื่องเป่าลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะของช่องท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว (ท่อใน)

3. นำท่อพีวีซีขนาด 2.5 นิ้วที่ได้มาตัดพื้นผิวของท่อพีวีซี โดยใช้ดอกสว่านขนาด 7 มิลลิเมตร ให้ช่องมีขนาด 1.5 เซนติเมตร และปาดเฉียง 45 องศา ระยะ 0.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นการบังคับทิศทางออกของลมดังแสดงในรูปที่ 3.5 และเจาะรูกลมขนาด 1 นิ้ว ที่บริเวณปลายท่อพีวีซีข้างใดข้างหนึ่ง หนึ่งข้าง เป็นจำนวน 2 ชั้น เพื่อเป็นทางเข้าของเครื่องเป่าลม



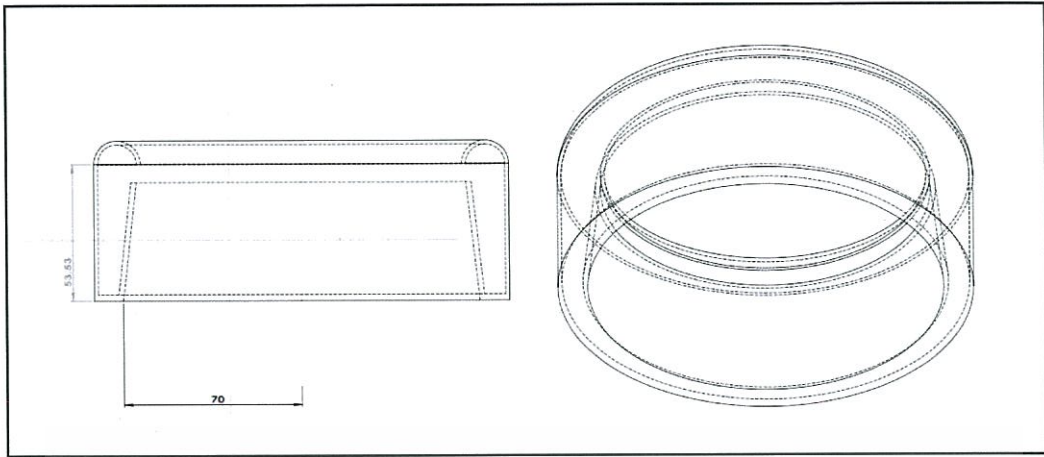
รูปที่ 3.5 ลักษณะของช่องท่อพีวีซีขนาด 2.5 นิ้ว (ท่อนอก)

4. นำท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว มาเชื่อมติดกันจำนวน 8 ชั้น โดยใช้ปืนกาวเป็นตัวเชื่อมเพื่อไม่ให้มีรอยร้าวระหว่างข้อต่อของท่อพีวีซี ใช้เทปกาวติดระหว่างข้อต่ออีกชั้นเพื่อเป็นการป้องกันหากเกิดรอยร้าว

5. นำท่อพีวีซีขนาด 2.5 นิ้ว ทำการผ่ากลางท่อพีวีซีทุกชั้น โดยใช้การกีดหน้าท่อพีวีซีให้แยกออกจากกันแล้วนำไปครอบกับท่อขนาด 2 นิ้ว ให้ครบทุกอันแล้วติดเข้าด้วยกันด้วยปืนกาว ติดเทปกาวบริเวณรอยต่ออีกหนึ่งชั้นเพื่อป้องกันรอยร้าวและไม่ให้อากาศไหลออกมา

3.1.2 รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปร่างแหวน (Manual)

เมื่อสร้างต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยมเรียบร้อยแล้วจึงได้มีการพัฒนาออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปร่างแหวน ซึ่งเป็นการศึกษาจากพัดลมไร้ใบพัดของ James Dyson ที่มีหลักการการไหลของลมแบบเวนทูลรี่เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังรูป 3.6



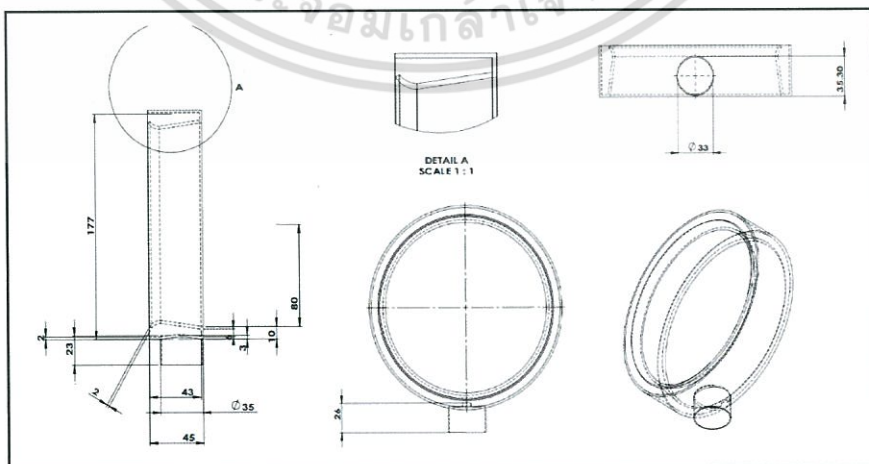
รูปที่ 3.6 การออกแบบต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน

1. ออกแบบพัตลมไร้ใบพัดต้นแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน โดยตัดงออะคริลิกให้เป็นทรงกลมโดยใช้เครื่องเป่าลมร้อน
2. ตัดส่วนขอบของถังน้ำเพื่อนำมาติดกับอะคริลิกให้เป็นรูปทรงวงแหวน
3. เจาะรูบริเวณส่วนล่างของชิ้นงาน เพื่อเป็นทางเข้าของลมใต้ชิ้นงาน

3.1.3 รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (3D)

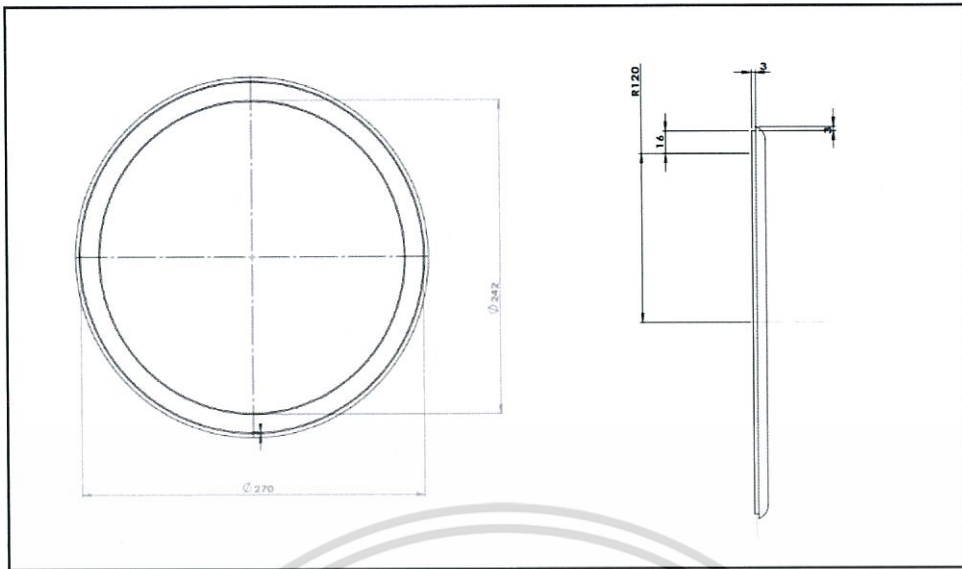
จากการสร้างต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน พบว่ายังมีความไม่สมมาตรกันของชิ้นงานจึงทำการออกแบบสร้างชิ้นงานพัตลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks และสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

1. ออกแบบชิ้นงานพัตลมไร้ใบพัด โดยใช้โปรแกรม SolidWorks แบ่งเป็นสองกรณีคือ มีทางเข้าลม 1 ทาง และมีทางเข้าลม 2 ทาง โดยแบ่งทั้งสองกรณีเป็นสองส่วนคือส่วนตัวชิ้นงาน ดังรูป 3.7 และตัวฝาชิ้นงาน ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.7 การออกแบบต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอ (ตัวชิ้นงาน) ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปร่างแหวน (ฝาคกรอบชิ้นงาน)

2. นำชิ้นงานที่ออกแบบไปพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติยี่ห้อ XYZ Printing รุ่น da Vinci 1.0 ดังรูป 3.9 เมื่อเสร็จแล้วทั้งสองส่วนนำชิ้นงานมาประกอบเข้าด้วยกันได้ชิ้นงาน ดังรูป 3.12

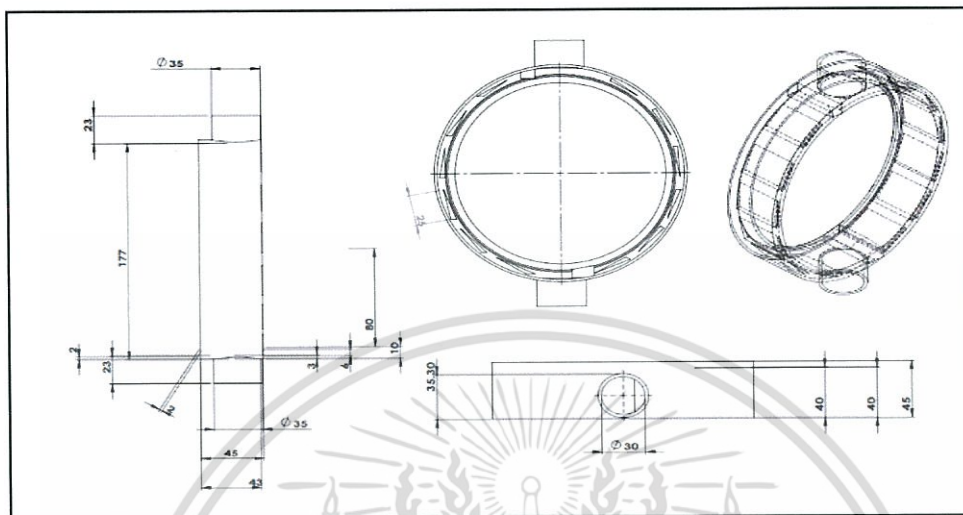


รูปที่ 3.9 เครื่องมือสามมิติ (3D)

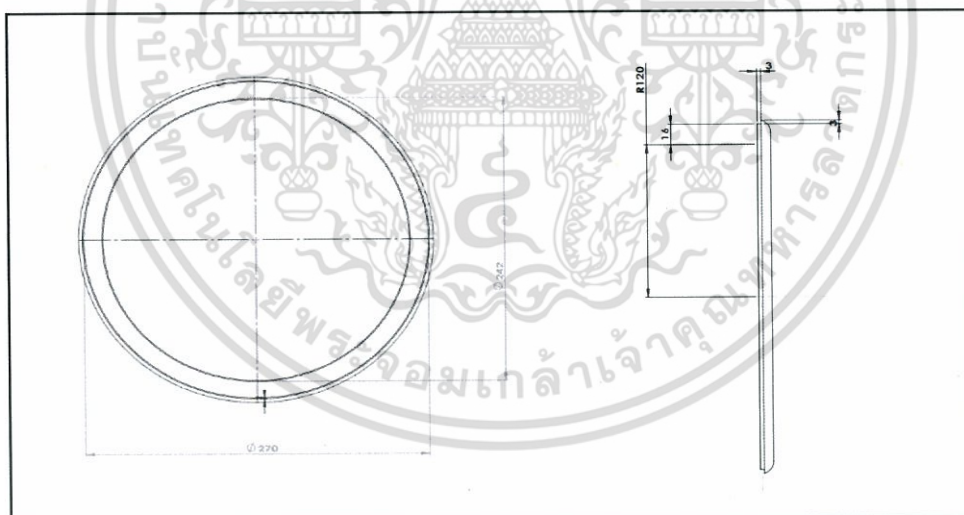
3.1.4 รูปแบบที่ 4 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน (3D Cyclone)

เมื่อศึกษาต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปร่างแหวน แล้วจึงพัฒนามาเป็นต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปร่างแหวน โดยการสร้าง Fin เป็นการบังคับทิศทางการไหลให้เป็นรูปไซโคลนและภายในมีช่องปิดลมแบ่งกันลมให้เป็นสองฝั่ง แบ่งเป็นสองขนาดคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 เซนติเมตร สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ออกแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยออกแบบจากโปรแกรม SolidWorks โดยแบ่งทั้งสองกรณีเป็นสองส่วนคือส่วนตัวชิ้นงาน ดังรูป 3.10 และตัวฝาชิ้นงาน ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.10 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ตัวชิ้นงาน)



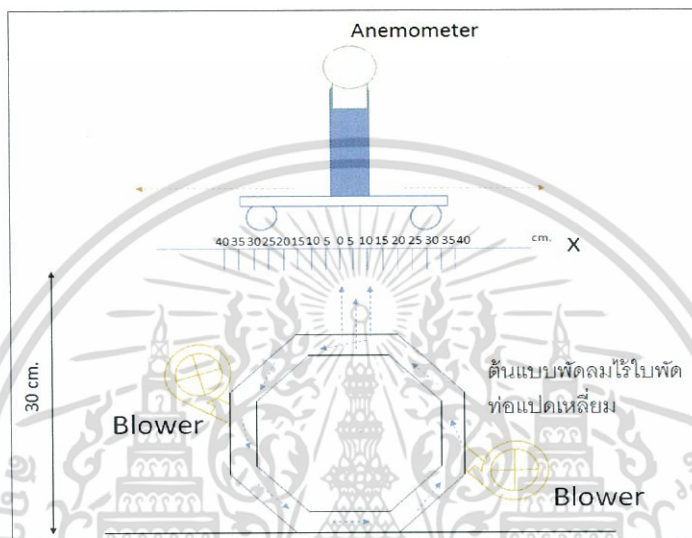
รูปที่ 3.11 การออกแบบต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (ฝาครอบตัวชิ้นงาน)

2. นำชิ้นงานที่ออกแบบไปพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เมื่อเสร็จแล้วทั้งสองส่วนนำชิ้นงานมาประกอบเข้าด้วยกันได้ชิ้นงานทั้งสองขนาด

3.2 การทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile

ศึกษากำลังของเครื่องเป่าลม โดยการเปรียบเทียบอัตราเร็วลมในแต่ละจุด แต่ละระยะตามแนวแกนที่กำหนด

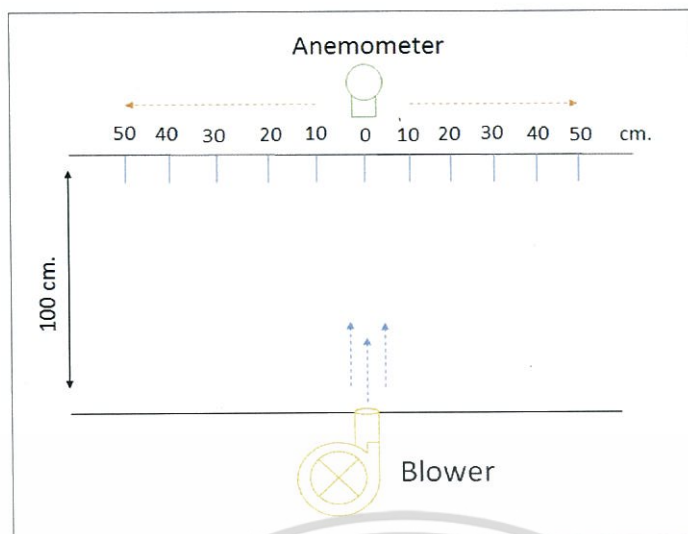
ทดสอบวัดอัตราเร็วลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบ 8 เหลี่ยม โดยมีเงื่อนไขที่ใช้เครื่องเป่าลม 2 ตัว ตัวละ 800 วัตต์ ระยะห่างจากต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบ 8 เหลี่ยมกับ Anemometer 30 เซนติเมตร จัดอุปกรณ์ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 การวัด Profile ลมต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม

3.2.1. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile เพื่อแสดงที่มาอ้างอิงของลมที่ได้จากเครื่องเป่าลม

1. เครื่องเป่าลม DEWALT ถูกนำมาทดสอบโดยปรับที่ระดับต่ำสุดจนถึงสูงสุดสังเกตลักษณะกำลังลมและการไหลของลมโดยใช้ Anemometer
2. ภายใต้เงื่อนไข เครื่องเป่าลม กำลัง 800 วัตต์มีระยะห่างแหล่งกำเนิด Anemometer 100 เซนติเมตรและกำหนดระยะทาง ดังรูป 3.13



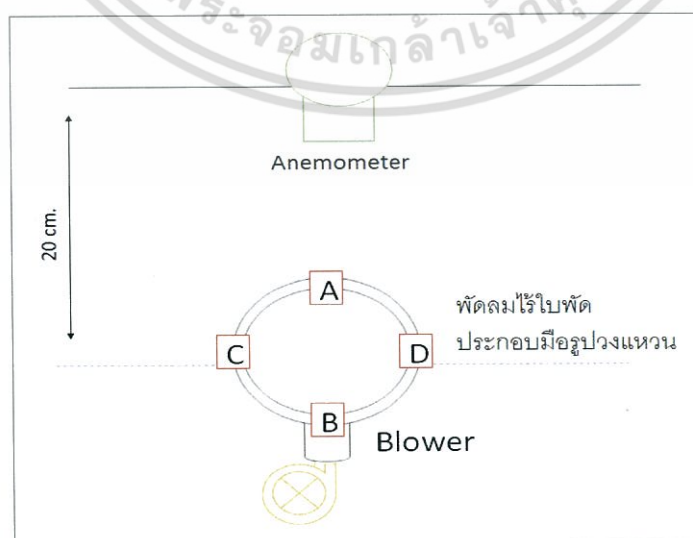
รูปที่ 3.13 การวัด Profile เครื่องเป่าลม

3.2.2. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile แบบจุด

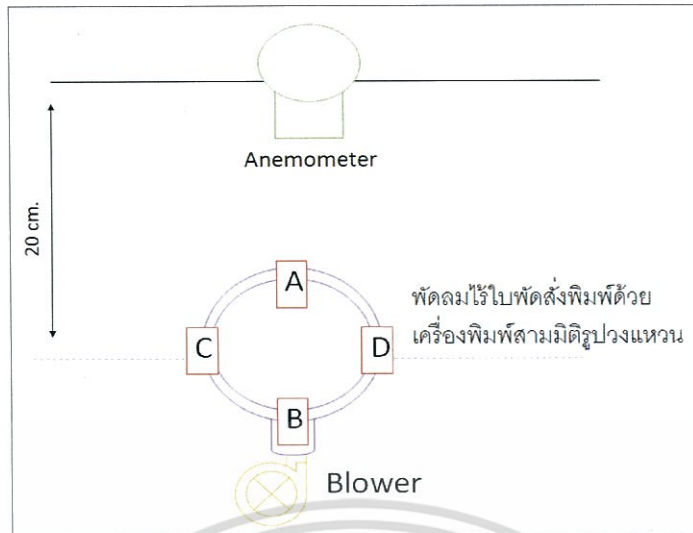
การทดลองแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ที่สภาวะแบบห้องเปิดและสภาวะแบบห้อง ซึ่งใช้เครื่องเป่าลมขนาด 800 วัตต์ 1 เครื่อง วัดอัตราความเร็วลมโดยใช้เครื่อง Anemometer วัดในจุดที่กำหนด คือ A B C และ D ซึ่งวัดจากปากกระบอกของเครื่องเป่าลมจนถึงจุดที่กำหนดในระยะห่าง 20 เซนติเมตร

1. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile แบบจุดของพัดลมไร้ใบพัดต้นแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนและพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

2. ภายใต้เงื่อนไข เครื่องเป่าลม กำลัง 800 วัตต์, ระยะห่างแหล่งกำเนิด Anemometer 20 เซนติเมตร และกำหนดจุด A B C และ D จัดวางอุปกรณ์ดังรูป 3.14 และ 3.15



เอกสารรูปที่ 3.14 การวัด Profile แบบจุดของพัดลมไร้ใบพัดต้นแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



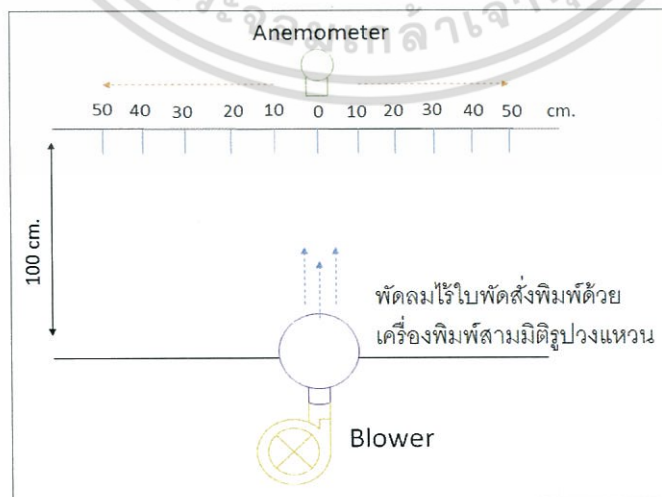
รูปที่ 3.15 การวัด Profile แบบจุดของพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

3.2.3. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile แบบตามแนวเครื่องเป่าลม

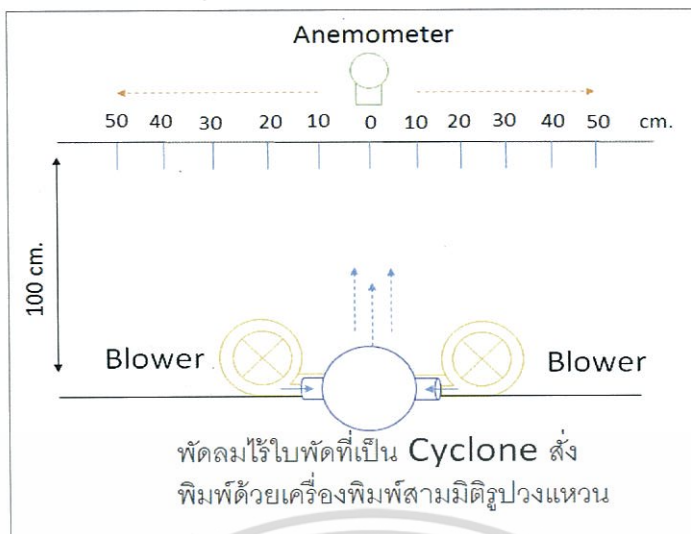
จากการทดลองแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ที่สภาวะแบบห้องเปิดและสภาวะแบบห้องปิด

1. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile แบบระยะทางของพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนและพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบส่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

2. ภายใต้งี้ออนไซ เครื่องเป่าลม กำลัง 800 วัตต์มีระยะห่างแหล่งกำเนิด Anemometer 100 เซนติเมตร และกำหนดระยะทางแกน X ด้านบวกและแกน X ด้านลบตั้งแต่ 0 10 20 30 40 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ จัดอุปกรณ์ดังรูป 3.16 และ 3.17



รูปที่ 3.16 การวัด Profile แบบระยะทางของพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารวงแหวน สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



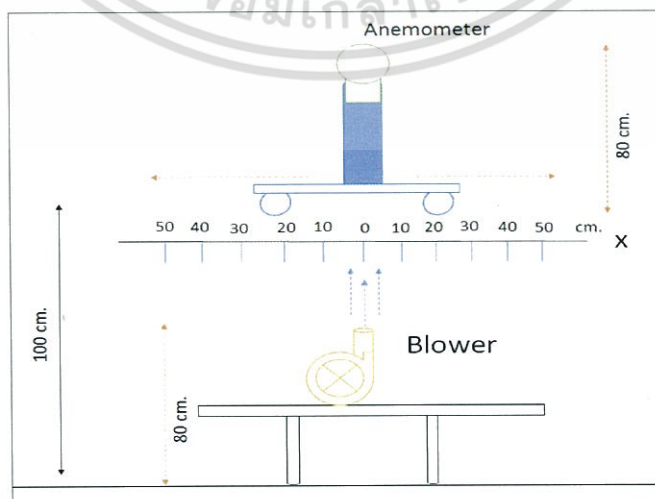
รูปที่ 3.17 การวัด Profile แบบระยะทางของพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

3.2.4. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile ตามแนวแกน X

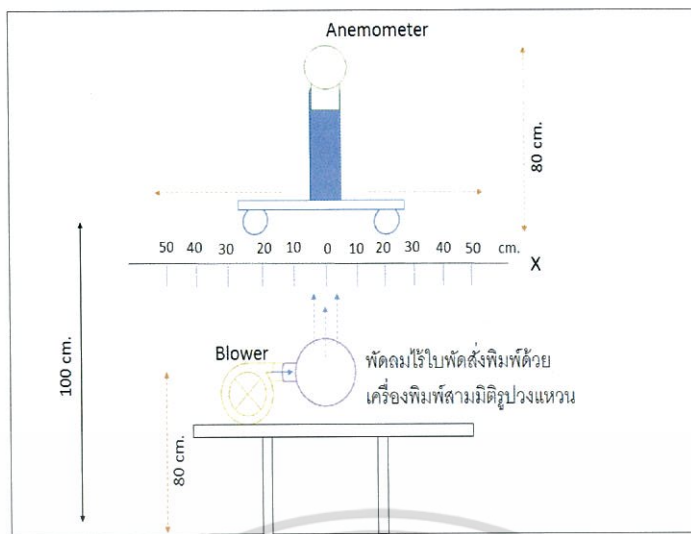
การวัด Profile ในครั้งนี้จะมีการวางปากของกระบอกเครื่องเป่าลมตามแนวแกน X วางในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 กรณี และวัดในพื้นที่โล่งเพื่อทดสอบว่าการกระจายตัวของลม

1. ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile ตามแนวแกน X ของเครื่องเป่าลมต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนทั้งทางเข้าลม 1 ทาง และ 2 ทาง และต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนทั้งที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 และ 27 เซนติเมตร

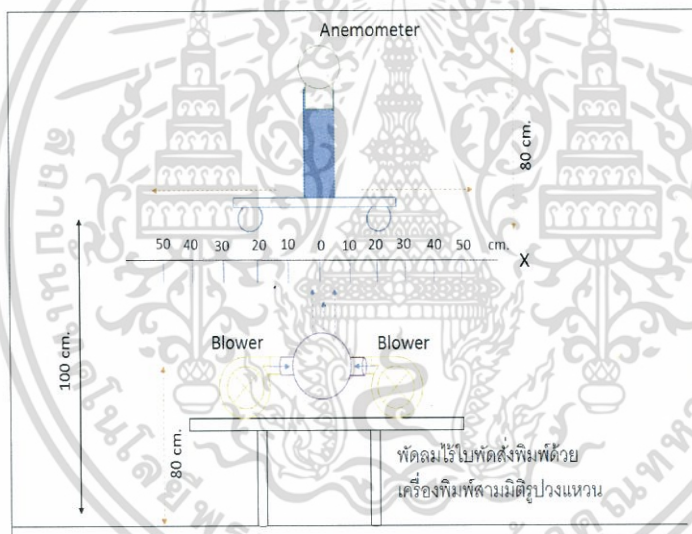
2. ภายใต้เงื่อนไข เครื่องเป่าลม กำลัง 800 วัตต์มีระยะห่างแหล่งกำเนิด Anemometer 100 เซนติเมตร ความสูงจากพื้น 80 เซนติเมตรและกำหนดระยะทางตามรูปที่ 3.18 3.19 3.20 และ 3.21



รูปที่ 3.18 การวัด Profile ตามแนวแกน X ของเครื่องเป่าลม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขโดยไม่แจ้งล่วงหน้า

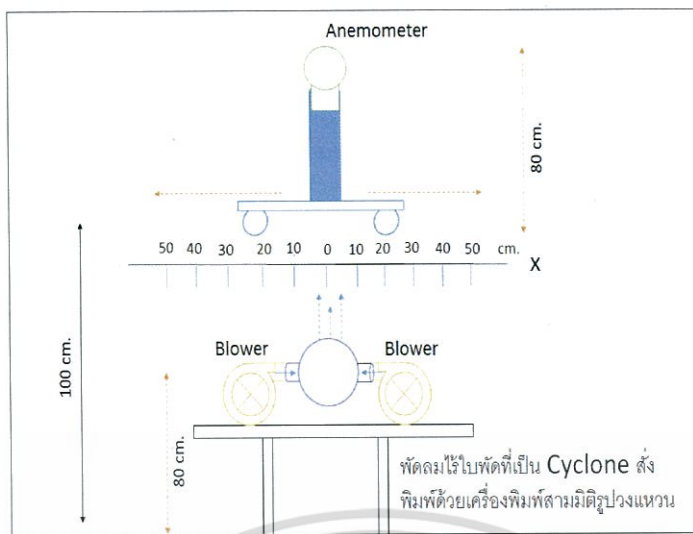


รูปที่ 3.19 การวัด Profile ตามแนวแกน X ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งพื้พืดด้วยเครื่องพื้พืดสามมิติเป็นรูปวงแหวนทางเข้าลม 1 ทาง



รูปที่ 3.20 การวัด Profile ตามแนวแกน X ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งพื้พืดด้วยเครื่องพื้พืดสามมิติเป็นรูปวงแหวนทางเข้าลม 2 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



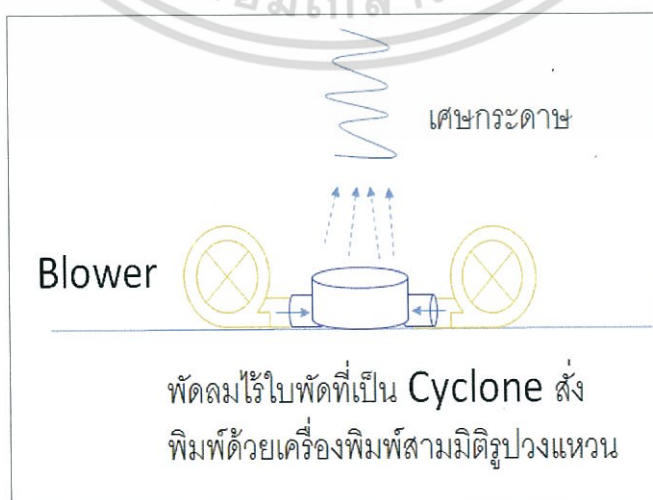
รูปที่ 3.21 การวัด Profile ตามแนวแกน X ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 และ 27 เซนติเมตร

3.3 ทดสอบสมบัติของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัดโดยอาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน

ศึกษากำลังแรงของลมที่ออกมาจากต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนโดยการเปรียบเทียบการกระจายตัวของลม

3.3.1. ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตรกับ 27 เซนติเมตร ตามลำดับและทดสอบโดยกระดาษ

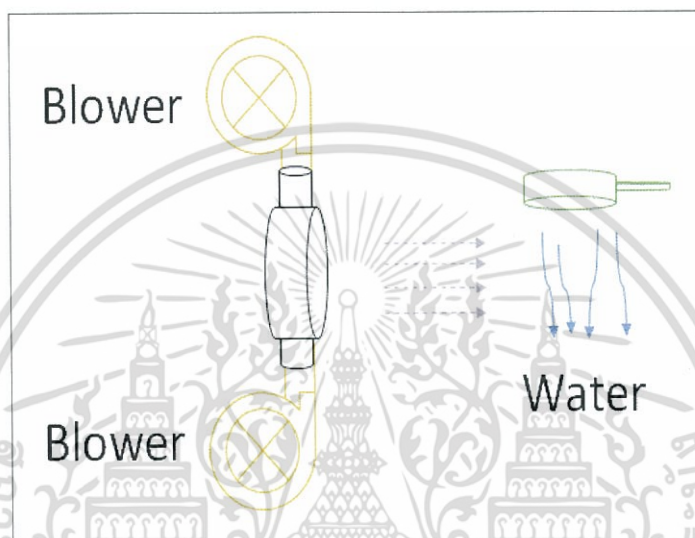
ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนโดยนำเศษกระดาษชิ้นเล็กๆมาใส่ไว้บริเวณกึ่งกลางของพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปวงแหวนแล้วสังเกตทิศทางลมของลมว่าเป็นในลักษณะของไซโคลนสังเกตได้จากกระดาษรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5x5 มิลลิเมตร 80 แกรม จัดอุปกรณ์ ดังรูป 3.22



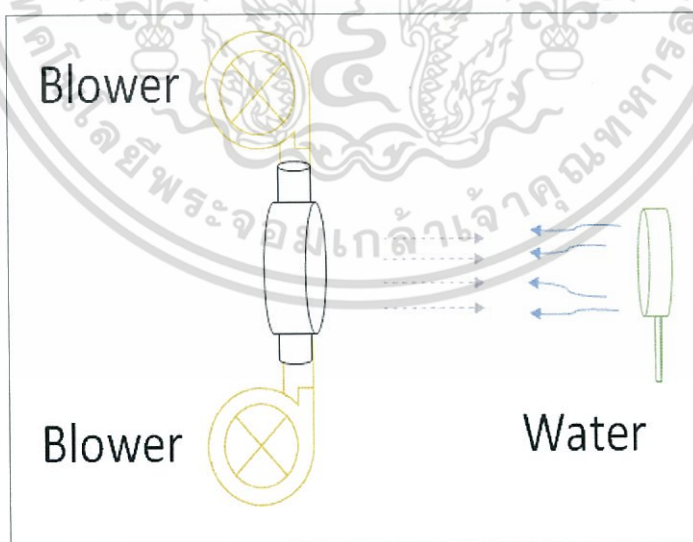
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.22 การทำการทดลองเป่ากระดาษให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ทดสอบสมบัติของลมของพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพลมสามมิติเป็นรูปวงแหวนทางเข้าลม 2 ทาง และพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพลมสามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตรกับ 27 เซนติเมตร ตามลำดับ ทดสอบโดยน้ำ

ทดสอบโดยการหยดน้ำให้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลน ดังรูป 3.23 และทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลน ดังรูป 3.24 ในระยะที่กำหนดแล้วสังเกตการกระจายตัวของหยดน้ำว่าเป็นในลักษณะของไซโคลน



รูปที่ 3.23 การทำการทดลองทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลน



รูปที่ 3.24 การทำการทดลองทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองของโครงการพัฒนาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบปิดที่อาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน แบ่งการทดลอง 3 ตอน ดังนี้

4.1 การออกแบบสร้างต้นแบบของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบปิด

- 4.1.1 รูปแบบที่ 1 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม
- 4.1.2 รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน
- 4.1.3 รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน
- 4.1.4 รูปแบบที่ 4 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปวงแหวน

4.2 การทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile

- 4.2.1 ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile เพื่อแสดงที่มาจากเครื่องเป่าลม
- 4.2.2 การทดสอบและวิเคราะห์ของอัตราเร็วลมในแต่ละจุดที่กำหนดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน
- 4.2.3 การทดสอบและวิเคราะห์ Profile ของการกระจายตัวของลมตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน
- 4.2.4 การทดสอบและวิเคราะห์ Profile ของการกระจายตัวของลมตามแนวแกน X ของเครื่องเป่าลม ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนของทางเข้าลม 1 ทางและ 2 ทาง และต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ

4.3 การทดสอบสมบัติของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบปิดโดยอาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน

- 4.3.1 ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ทดสอบโดยภัณฑารักษ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.3.2 ทดสอบสมบัติของลมของพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง และพัดลมไร้ใบที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับทดสอบโดยน้ำ
- 4.3.3 วัดการกระจายตัวของลมโดยการเปรียบเทียบจาก Profile ของเครื่องเป่าลม ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

4.1 การออกแบบสร้างต้นแบบของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัด

4.1.1 รูปแบบที่ 1 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม

จากการออกแบบในรูปแบบที่ 1 ต้องสร้างต้นกำเนิดลมให้มีทิศทางลมออกมาเป็นวงกลมให้มากที่สุดจึงออกแบบรูปร่างเป็น 8 เหลี่ยม ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม

4.1.2 รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน

จากการออกแบบในรูปแบบที่ 2 ได้มีการออกแบบพัฒนาพัดลมไร้ใบพัดของ James Dyson โดยใช้หลักการการไหลของลมแบบเวนทูลูรี ซึ่งในการออกแบบได้ลงมือสร้างต้นแบบขึ้นมาเอง ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน

4.1.3 รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

จากการออกแบบในรูปแบบที่ 3 พบว่าการสร้างรูปแบบที่ 2 ยังมีความไม่สมมาตรกันจึงทำการออกแบบในรูปแบบที่ 3 โดยใช้โปรแกรม SolidWorks และสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ทางเข้าลม 2 ทาง)

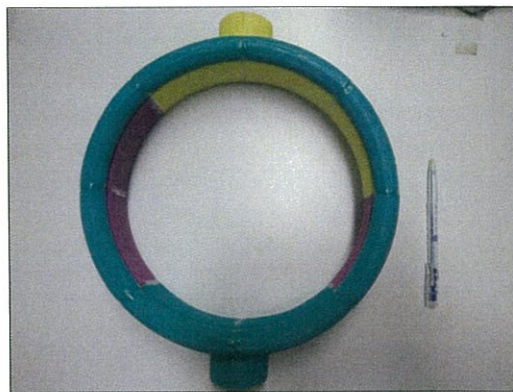
4.1.4 รูปแบบที่ 4 ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

จากการออกแบบในรูปแบบที่ 4 ได้มีการออกแบบพัฒนาพัตลมไร้ใบพัดโดยสร้าง Fin เป็นการบังคับทิศทางลมให้เป็นรูปไซโคลน ซึ่งได้สร้างต้นแบบ 2 ขนาด คือ 18 cm และ 27 cm ดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



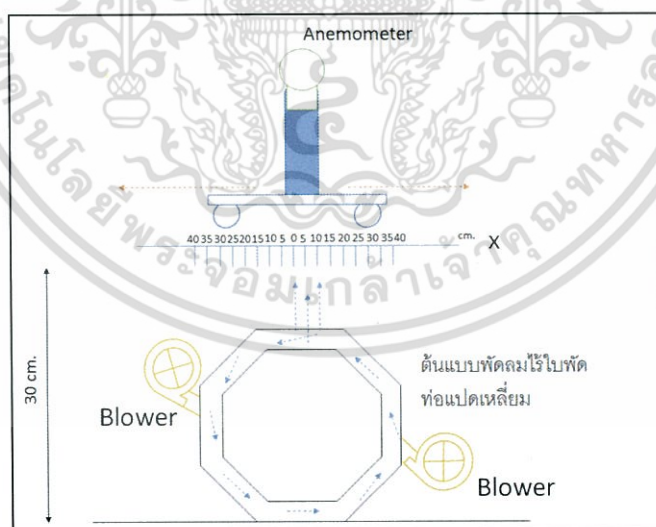
(ข)

รูปที่ 4.4 (ก) ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm)

(ข) ต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm)

4.2 การทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile

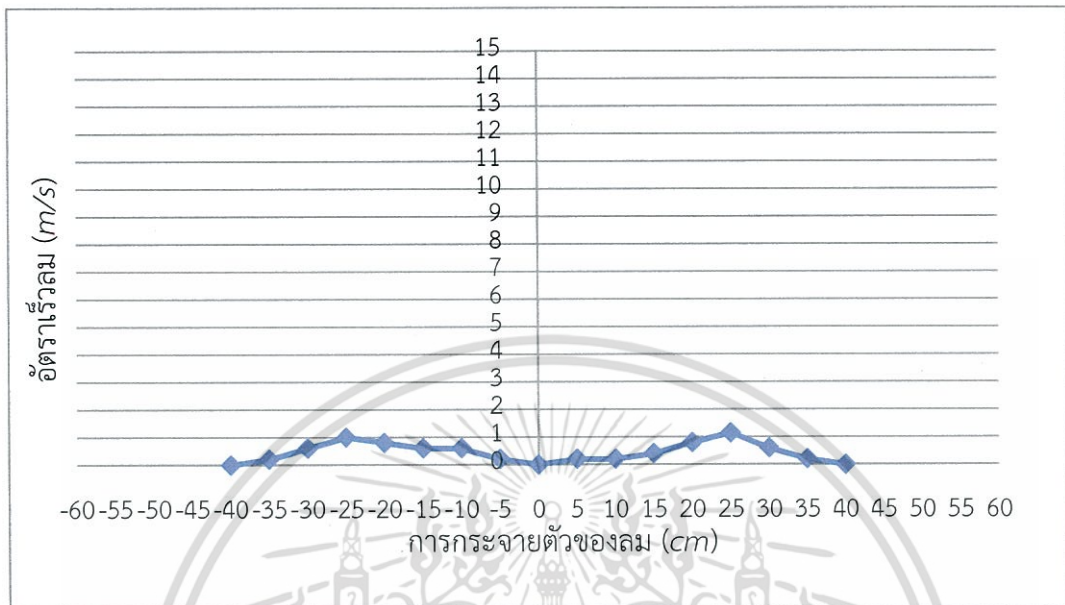
ทดสอบวัดอัตราเร็วลมของต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม ซึ่งทดสอบจากการวัด Profile ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การหาอัตราเร็วลมของต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม

รูปที่ 4.5 การทดลองในสภาวะแบบห้องเปิดเพื่อทดสอบการหาอัตราเร็วลมแบบ Profile ของต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม ซึ่งพบว่าบริเวณศูนย์กลางของต้นแบบพัตลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม มีอัตราเร็วลมเป็นศูนย์แต่บริเวณด้านข้างมีลมที่กระจายตัวออกไปได้ถึง 40 cm ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วลมที่มีค่ามากที่สุดคือ 1.15 m/s และอยู่ที่ระยะการกระจายตัวของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม ที่ 25 cm ดังรูปที่ 4.6



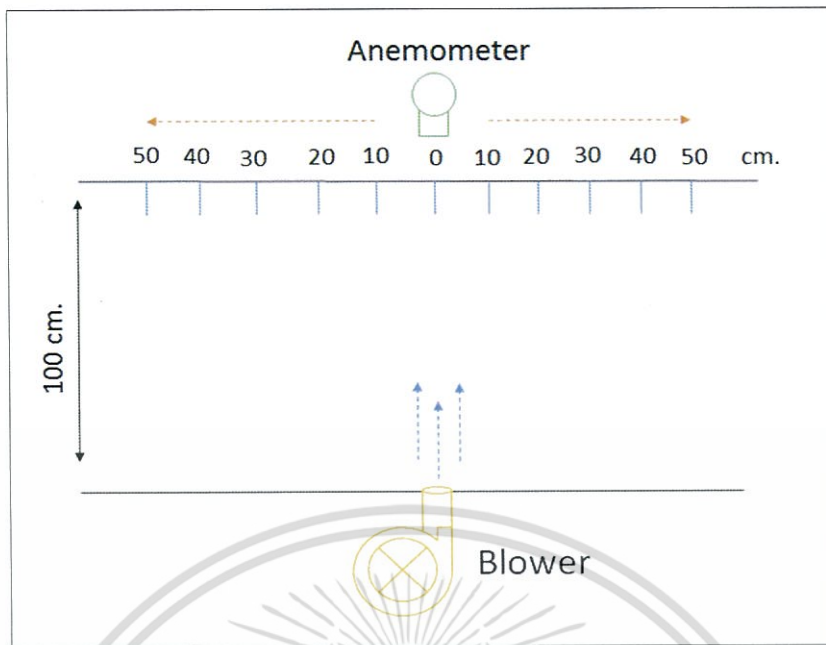
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยมระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 30 cm

จากการทดสอบพบว่าอัตราเร็วลมที่ออกมาจากต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม ยังไม่สามารถใช้เป็นที่ปิดน้ำฝนไร้ใบปิดได้ จึงต้องมีการพัฒนารูปแบบของพัดลมไร้ใบพัดใหม่โดยมีขนาดของต้นแบบที่เล็กลงเพื่อเพิ่มอัตราเร็วลมได้มากขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่มีเครื่องเป่าลม 2 เครื่อง โดยรูปแบบใหม่ที่ออกแบบมา คือ ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนและต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ซึ่งทั้ง 3 รูปแบบจะมีวิธีการทดสอบหา Profile เพื่อนำผลการทดลองที่ได้หาสมบัติของพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลน

4.2.1 ทดสอบสมบัติของลมโดยการวัด Profile เพื่อแสดงที่มาอ้างอิงของลมที่ได้จากเครื่องเป่าลม

นำเครื่องเป่าลม DEWALT 800 วัตต์ 1 เครื่อง มาทดสอบโดยปรับที่ระดับต่ำสุดจนถึงสูงสุดเพื่อสังเกตลักษณะการไหลของลมและอัตราเร็วลมซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดคือ Anemometer ภายใต้เงื่อนไข 2 กรณีคือสภาวะห้องเปิดและสภาวะห้องปิด โดยวัดจากปากกระบอกของเครื่องเป่าลมจนถึง Anemometer ในระยะห่าง 100 cm ดังรูปที่ 4.7

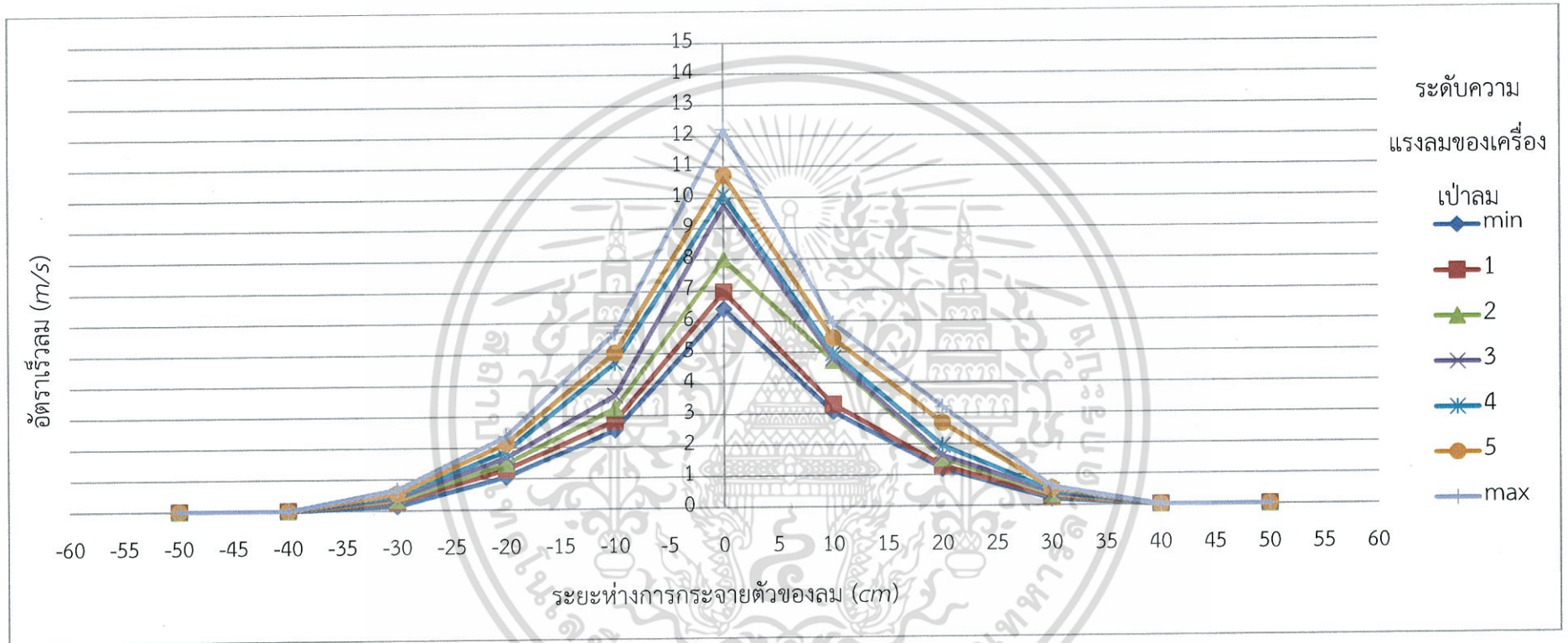
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การทำ Profile เครื่องเป่าลม

จากรูปที่ 4.7 ทดลองในสภาวะแบบเปิดและแบบปิดเพื่อทดสอบ Profile ของเครื่องเป่าลม ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 แบบห้องเปิดกับรูปที่ 4.9 แบบห้องปิด

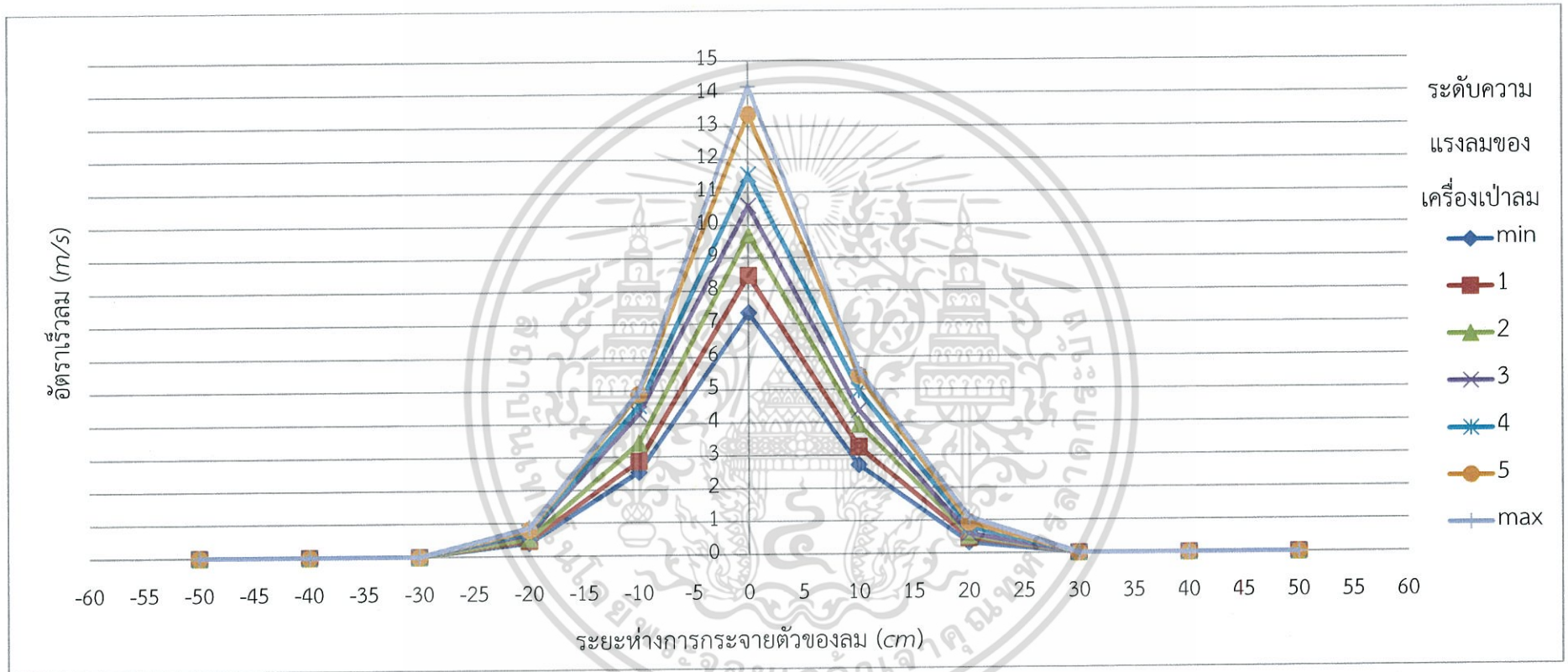
กรณีศึกษาที่ 1 สภาพแวดล้อมแบบเปิดของเครื่องเป่าลม วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ระหว่างระยะทางการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด

จากรูปที่ 4.8 พบว่าในสภาวะห้องเปิด เครื่องเป่าลมมีอัตราเร็วลมสูงสุดบริเวณกึ่งกลางแล้วจึงค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอทั้งสองข้างจนถึงระยะทางการกระจายตัวของลมที่ 40 cm อัตราเร็วลมจึงมีค่าเป็นศูนย์

กรณี 2 สภาวะห้องแบบปิดของเครื่องเป่าลม วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องปิด

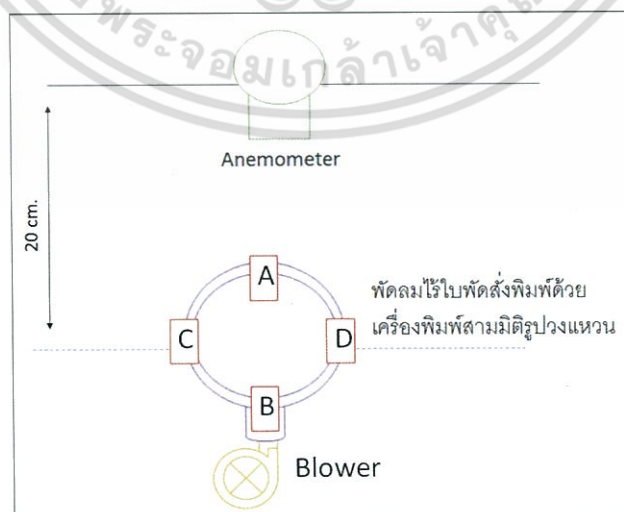
จากรูปที่ 4.9 พบว่าในสภาวะห้องปิด เครื่องเป่าลมมีอัตราเร็วลมสูงสุดบริเวณกึ่งกลางแล้วอัตราเร็วจึงค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอทั้งสองข้างจนถึงระยะห่างการกระจายตัวของลมที่ 30 cm อัตราเร็วลมจึงมีค่าเป็นศูนย์

4.2.2 การทดสอบและวิเคราะห์ของอัตราเร็วลมในแต่ละจุดที่กำหนดของต้นแบบพัดใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

จากการทดลองแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ที่สภาวะแบบห้องเปิดและสภาวะแบบห้องปิด โดย ออกแบบแบบจำลองต้นแบบพัดลมไร้ใบพัด 2 แบบ คือ ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติรูปวงแหวน ซึ่งใช้เครื่องเป่าลม ขนาด 800 วัตต์ 1 เครื่อง วัดอัตราเร็วลมโดยใช้เครื่อง Anemometer วัดในจุดที่กำหนด คือ A B C และ D ดังรูปที่ 4.12 กับ 4.14 ตามลำดับ ซึ่งในสภาวะห้องเปิดและห้องปิดมีการวัดจากปากกระบอกของเครื่องเป่าลมจนถึงจุดที่กำหนดในระยะห่าง 20 cm ดังรูปที่ 4.10 กับ 4.11 ตามลำดับ

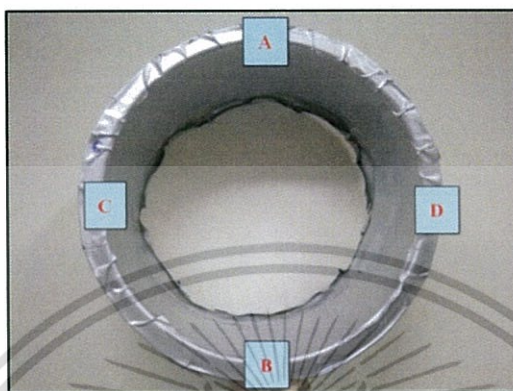


รูปที่ 4.10 การหาอัตราเร็วลมแบบจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน



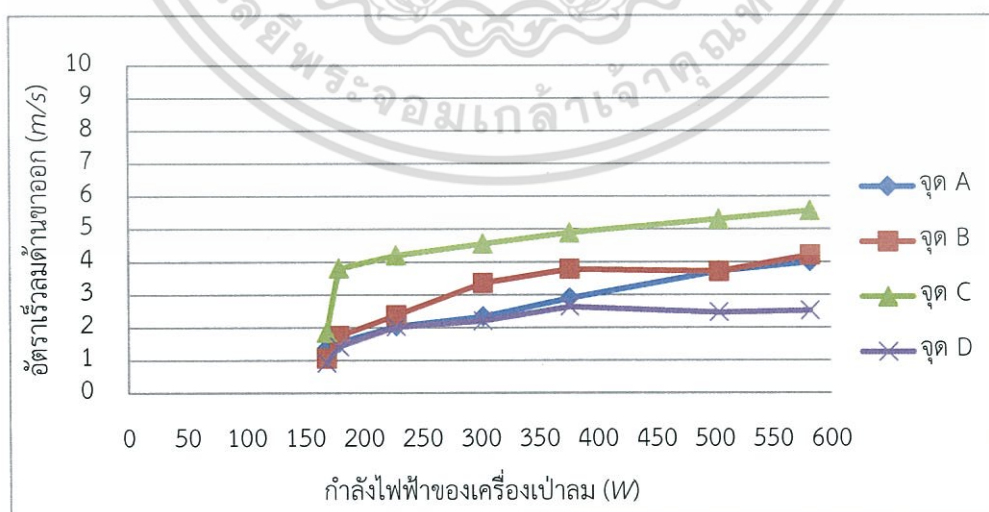
รูปที่ 4.11 การหาอัตราเร็วลมแบบจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ เอกสารนี้เป็นเอกสารเป็นรูปวงแหวน หนึ่งฉบับสำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 กับ 4.11 นี้ทดลองในสภาวะแบบห้องเปิดและแบบห้องปิดเพื่อทดสอบหาอัตราเร็วลมแบบจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้
กรณีที่ 1 สภาวะห้องแบบเปิดต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน



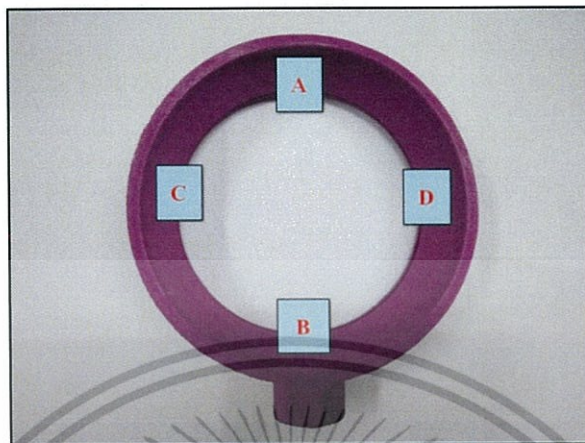
รูปที่ 4.12 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน

จากรูปที่ 4.12 ตำแหน่ง A B C และ D เพื่อวัดอัตราเร็วลมแต่ละจุด พบว่าจุด A B C และ D ใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมที่เท่ากันแต่อัตราเร็วลมแต่ละจุดมีปริมาณลมที่ไม่เท่ากัน ซึ่งบริเวณจุด C มีอัตราเร็วลมมากกว่าบริเวณจุดอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.13 สาเหตุที่อัตราเร็วลมมีปริมาณลมที่ไม่เท่ากันเนื่องจากต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนไม่มีความสมมาตรกันจึงทำให้ปริมาณลมที่ออกแต่ละจุดไม่เท่ากัน



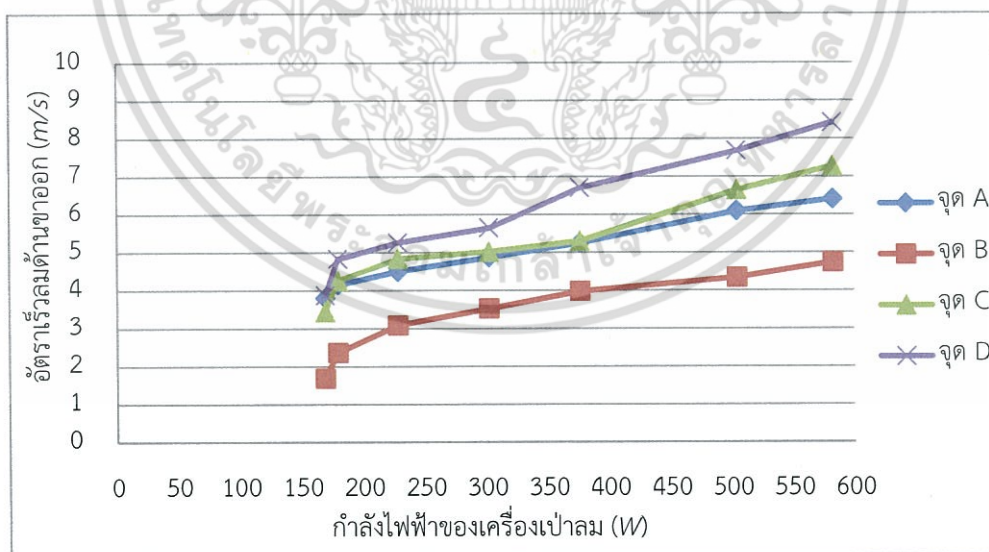
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง 20 cm เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าที่สภาวะห้องเปิด
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ 1 สภาวะห้องแบบเปิดต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

จากรูปที่ 4.14 ตำแหน่ง A B C และ D เพื่อวัดอัตราเร็วลมแต่ละจุด พบว่าจุด A B C และ D ใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมที่เท่ากันแต่อัตราเร็วลมแต่ละจุดมีปริมาณลมที่ไม่เท่ากัน ซึ่งบริเวณจุด D มีอัตราเร็วลมมากกว่าบริเวณจุดอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.15

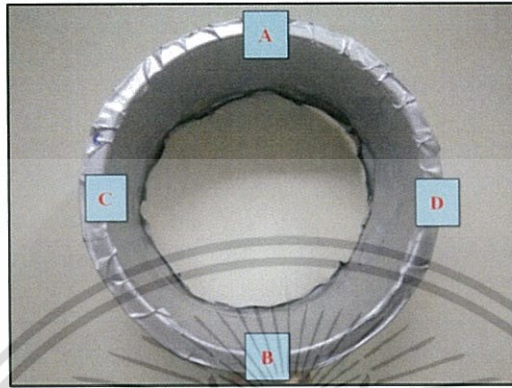


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง 20 cm ที่สภาวะห้องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

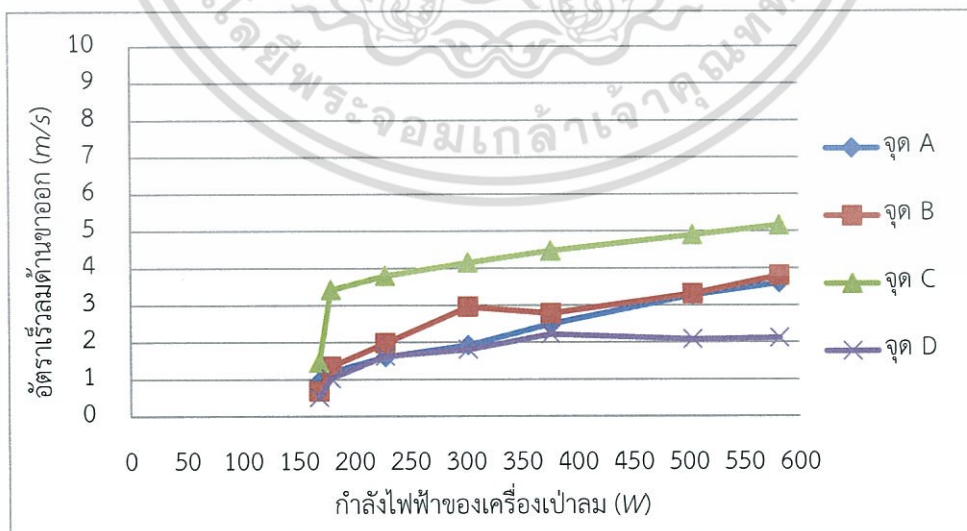
จากกรณีที่ 1 ในสภาวะห้องแบบเปิดพบว่าอัตราเร็วลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบ
 สี่เหลี่ยมด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน มีอัตราเร็วลมที่มากกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัด
 ประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน (Manual)

กรณีที่ 2 สภาวะห้องแบบปิดต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือรูปวงแหวน



รูปที่ 4.16 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือ
 รูปวงแหวน

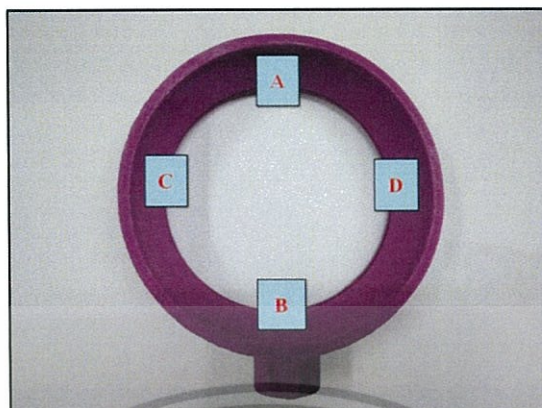
จากรูปที่ 4.16 ตำแหน่ง A B C และ D เพื่อวัดอัตราเร็วลมแต่ละจุด พบว่าจุด A B C
 และ D ใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมที่เท่ากัน แต่อัตราเร็วลมแต่ละจุดมีปริมาณลมที่ไม่เท่ากัน ซึ่ง
 บริเวณจุด C มีอัตราเร็วลมมากกว่าบริเวณจุดอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.17 สาเหตุที่อัตราเร็วลมมีปริมาณลมที่
 ไม่เท่ากันเนื่องจากต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวนไม่มีความสมมาตรกันจึงทำ
 ให้ปริมาณลมที่ออกมาแต่ละจุดไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟ
 ฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง 20 cm ที่

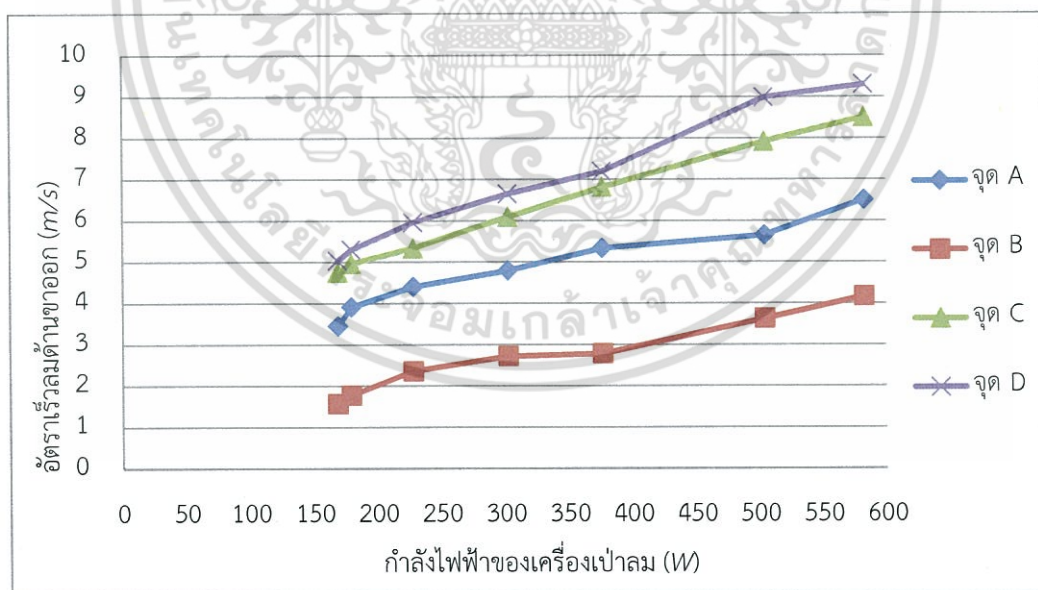
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สภาวะห้องปิด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 สภาวะห้องแบบปิดต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน



รูปที่ 4.18 ตำแหน่งการวัดอัตราเร็วลมในแต่ละจุดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

จากรูปที่ 4.18 ตำแหน่ง A B C และ D เพื่อวัดอัตราเร็วลมแต่ละจุด พบว่าจุด A B C และ D ใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลมที่เท่ากันแต่อัตราเร็วลมแต่ละจุดมีปริมาณลมที่ไม่เท่ากัน ซึ่งบริเวณจุด D มีอัตราเร็วลมมากกว่าบริเวณจุดอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม (W) กับอัตราเร็วลมด้านขาออก (m/s) ในระยะห่าง 20 cm ที่สภาวะห้องปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกรณีที่ 2 ในสภาวะห้องแบบปิดพบว่าอัตราเร็วลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน มีอัตราเร็วลมที่มากกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปร่างแหวน

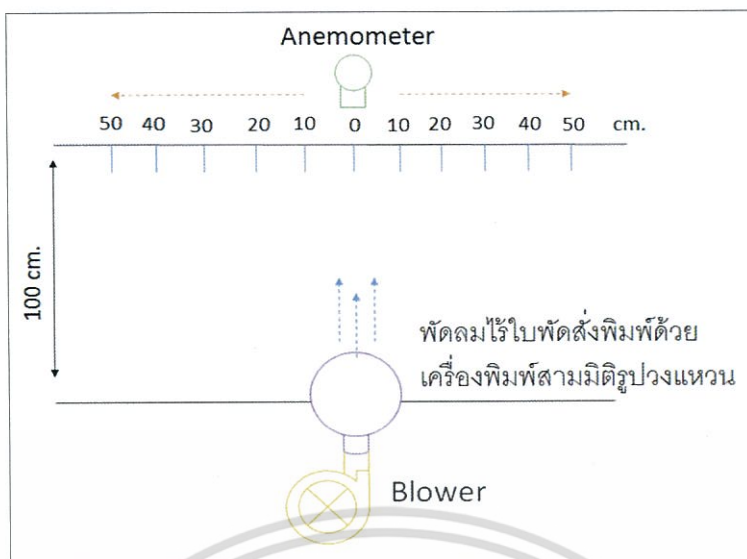
จึงเป็นข้อสรุปได้ว่าทั้งในสภาวะห้องแบบเปิดและแบบปิดอัตราเร็วลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน มีอัตราเร็วลมที่มากกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปร่างแหวน เนื่องจากต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน มีความสมมาตรมากกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดประกอบด้วยมือเป็นรูปร่างแหวน

4.2.3 การทดสอบและวิเคราะห์ Profile ของการกระจายตัวของลมตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน

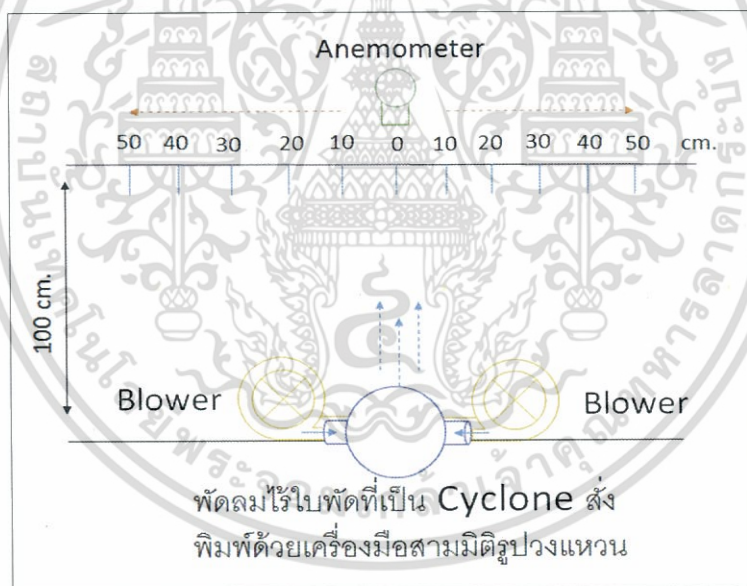
จากการทดลองแบ่งเป็น 2 กรณี คือ ที่สภาวะแบบห้องเปิดและสภาวะแบบห้องปิดซึ่งมีเงื่อนไขการวัด Profile อยู่ 2 แบบคือ

- วัด Profile ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน โดยใช้เครื่องเป่าลมขนาด 800 วัตต์ 1 เครื่อง
- วัด Profile ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวนโดยใช้เครื่องเป่าลมขนาด 800 วัตต์ 2 เครื่อง

วัดอัตราเร็วลมโดยใช้เครื่อง Anemometer โดยทำการวัดการกระจายลมของแกน X ด้านบวกและแกน X ด้านลบตั้งแต่ 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ซึ่งในสภาวะห้องเปิดและห้องปิดมีการวัดจากปากกระบอกของเครื่องเป่าลมและจากทางออกลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน จนถึงจุดกึ่งกลางของเครื่อง Anemometer ที่กำหนดในระยะห่าง 100 cm ดังรูปที่ , 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 การทำ Profile ตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังข์พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

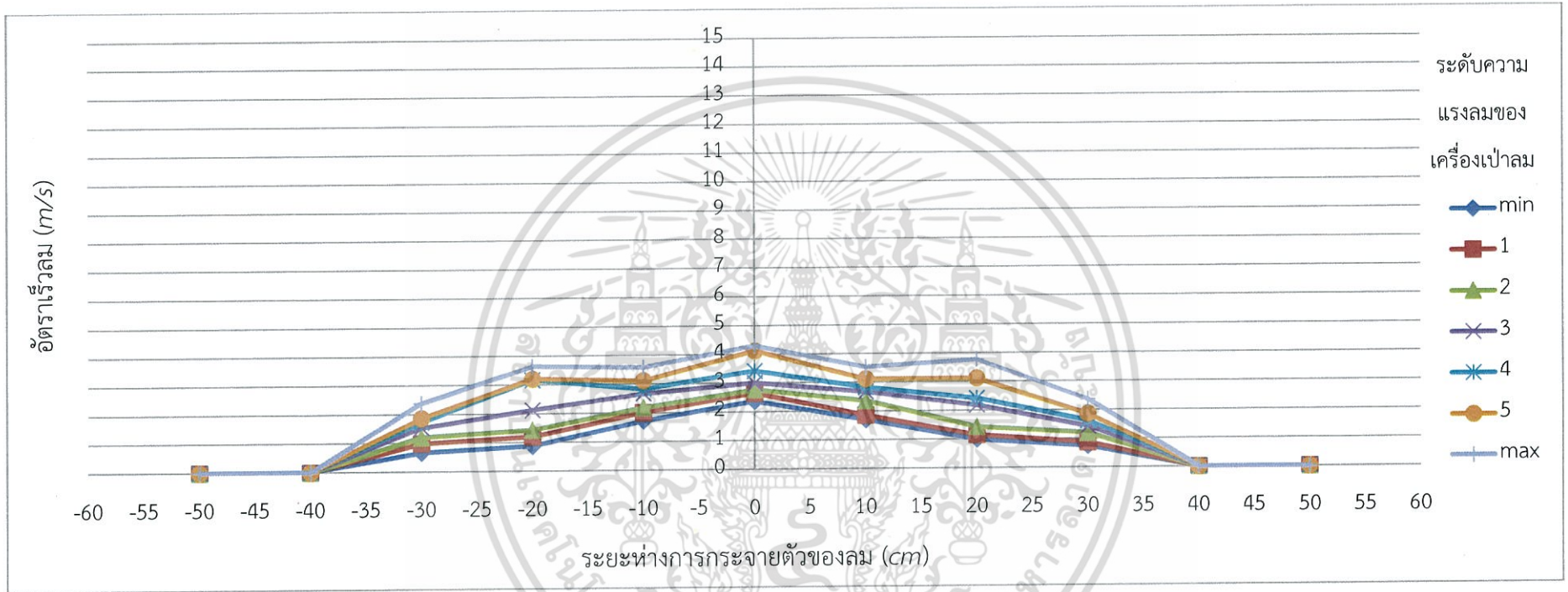


รูปที่ 4.21 การทำ Profile ตามแนวเครื่องเป่าลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังข์พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

รูปที่ 4.20 กับ 4.21 นี้ทดลองในสภาวะแบบเปิดและแบบปิดเพื่อทดสอบ Profile ของพัดลมไร้ใบพัดแบบสังข์พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.22 แบบห้องเปิดกับรูปที่ 4.24 แบบห้องปิด และทดสอบ Profile ของพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังข์พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.23 แบบห้องเปิดกับรูปที่ 4.25 แบบห้องปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 สภาวะห้องแบบเปิดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.22

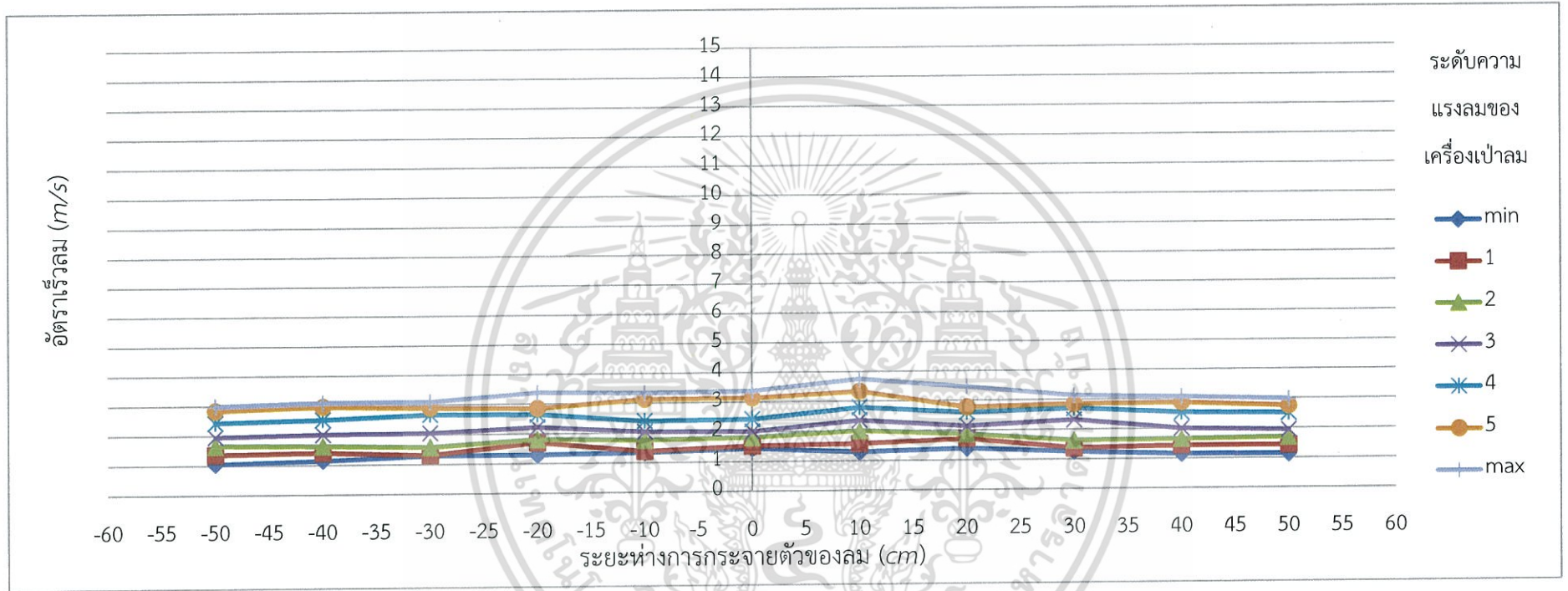


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด

จากรูปที่ 4.22 พบว่าในสภาวะห้องเปิด ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน มีอัตราเร็วลมสูงสุดบริเวณตรงกลางแล้ว จึง ค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอทั้งสองข้างจนถึงระยะห่างการกระจายตัวของลมที่ 40 cm อัตราเร็วลมจึงมีค่าเป็นศูนย์ นั้นแสดงว่าตรงบริเวณ 0 ถึง 30 cm ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน มีการพัดของลมในช่วงนี้ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากอัตราเร็วลมมีค่าใกล้เคียงกัน

กรณีที่ 1

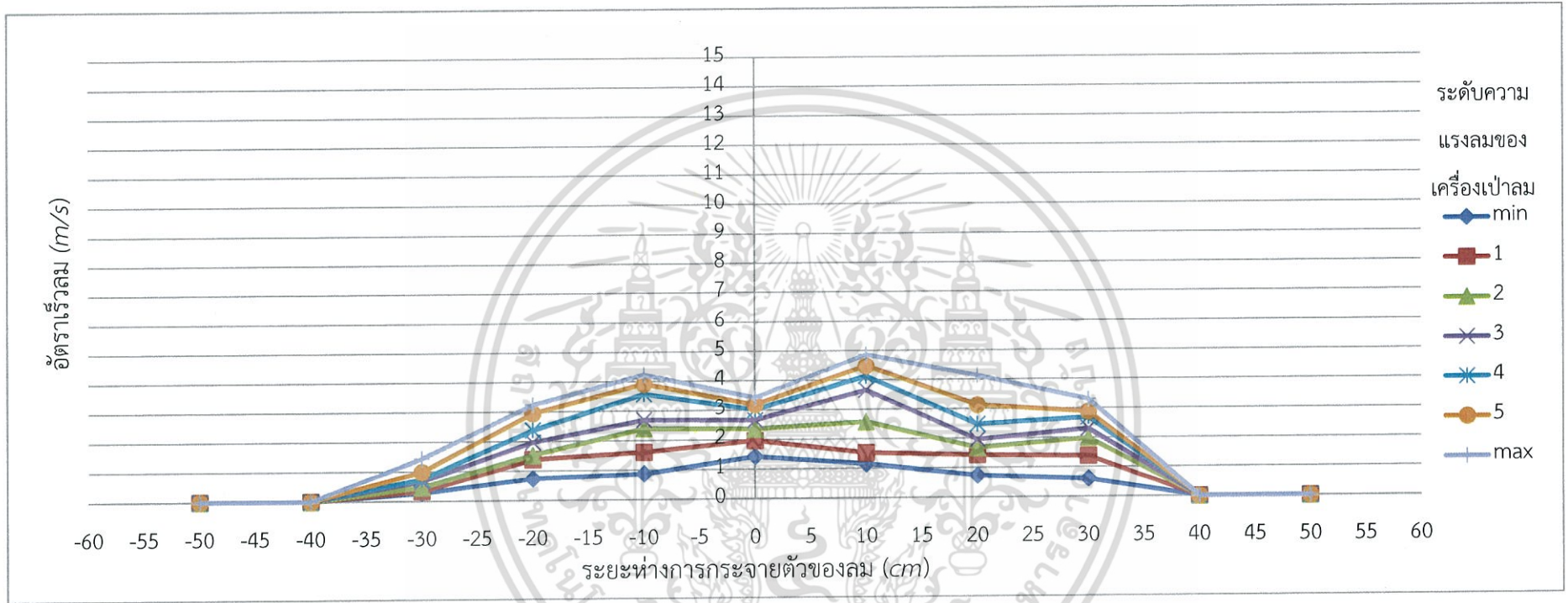
สภาวะห้องแบบเปิดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพัดด้วยเครื่องพัมป์สามมิติเป็นรูปวงแหวน วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพัดด้วยเครื่องพัมป์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องเปิด

จากรูปที่ 4.23 พบว่าในสภาวะห้องเปิด ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพัดด้วยเครื่องมือสามมิติรูปวงแหวน มีการกระจายลมได้อัตราเร็วลมที่สม่ำเสมอกันตั้งแต่ระยะห่าง 0 ถึง 50 cm นั้นแสดงว่าเมื่อนำพัดลมไร้ใบพัดมาพัฒนาให้เป็นไซโคลนจะสามารถกระจายลมได้ดีกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีพัดด้วยเครื่องพัมป์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

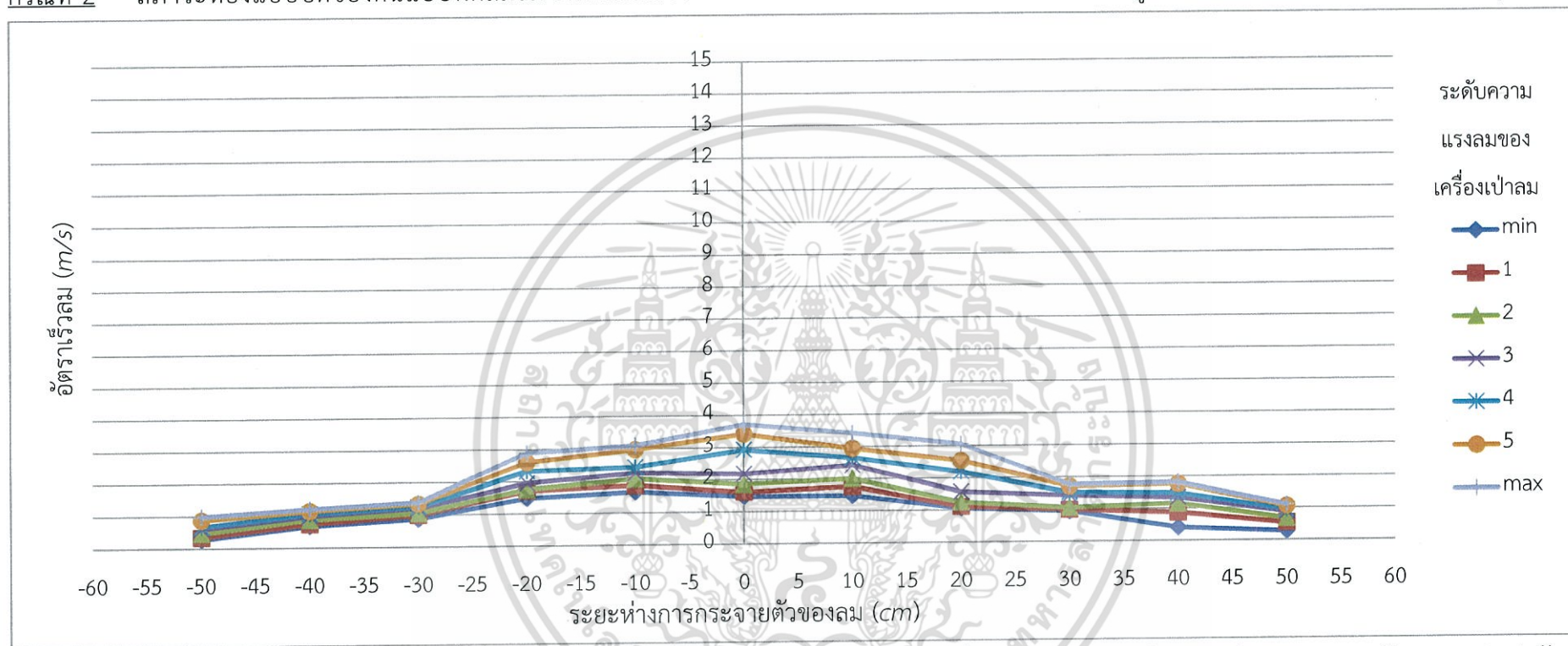
กรณีที่ 2 สภาวะห้องแบบปิดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องปิด

จากรูปที่ 4.24 พบว่าในสภาวะห้องปิด ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน บริเวณกึ่งกลางมีอัตราเร็วลมที่ลดลงแต่ด้านข้างของการกระจายตัวลมจะอยู่บริเวณช่วงระยะ 10 ถึง 30 cm แล้วอัตราเร็วลมจึงค่อย ๆ ลดลงมาทั้งสองข้างจนถึงระยะห่างการกระจายตัวของลมที่ 40 cm อัตราเร็วลมจึงมีค่าเป็นศูนย์

กรณีที่ 2 สภาวะห้องแบบปิดของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่สภาวะห้องปิด

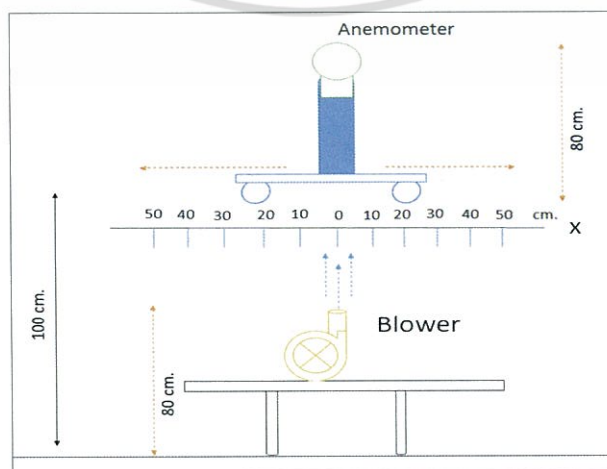
จากรูปที่ 4.25 พบว่าในสภาวะห้องปิดต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน มีการกระจายลมในระยะห่างช่วง 0 ถึง 20 cm ซึ่งอัตราเร็วลมในช่วงนี้จะค่อนข้างใกล้เคียงกันหลังจากนั้นอัตราเร็วลมค่อย ๆ ลดลงมาถึงศูนย์ การกระจายลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน จึงสามารถพัดกระจายลมได้ดีในช่วงระยะห่าง 0 ถึง 20 cm

4.2.4 การทดสอบและวิเคราะห์ Profile ของการกระจายตัวของลมตามแนวแกน X ของเครื่องเป่าลม ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 1 ทางและ 2 ทาง และต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ

จากการทดลองมีเงื่อนไขการวัด Profile อยู่ 3 แบบ คือ

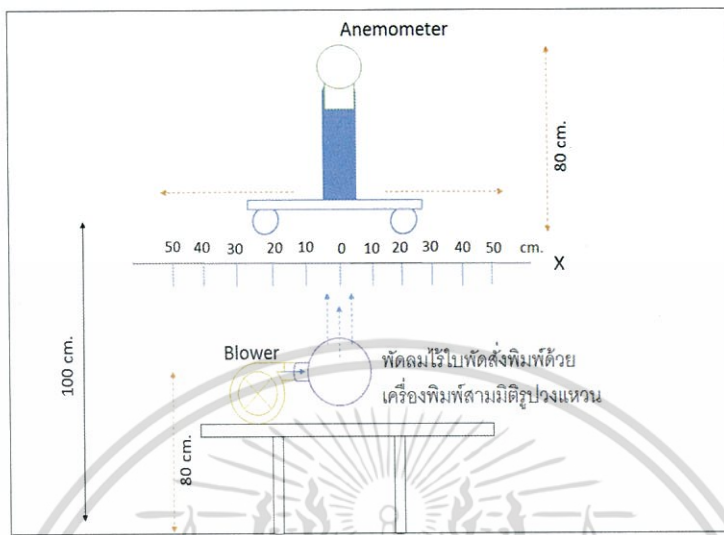
- รูปแบบที่ 1 วัด Profile ของเครื่องเป่าลม โดยใช้เครื่องเป่าลมขนาด 800 วัตต์ 1 เครื่อง
- รูปแบบที่ 2 วัด Profile ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน โดยทางเข้าลม 1 ทางจะใช้เครื่องเป่าลมขนาด 800 วัตต์ 1 เครื่อง ส่วนทางเข้าลม 2 ทางจะใช้เครื่องเป่าลมขนาด 800 วัตต์ 2 เครื่อง
- รูปแบบที่ 3 วัด Profile ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ โดยใช้เครื่องเป่าลม ขนาด 800 วัตต์ 2 เครื่อง

การวัด Profile ในครั้งนี้มีการวางปากของกระบอกเครื่องเป่าลมตามแนวแกน X วางในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 กรณี และวัดในพื้นที่โล่งเพื่อทดสอบว่าการกระจายตัวของลมของหัวข้อ 4.2.3 กับ 4.2.4 มีความแตกต่างกันหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลงการวางตำแหน่งของเครื่องเป่าลม วัดอัตราเร็วลมโดยใช้เครื่อง Anemometer โดยทำการวัดการกระจายลมของแกน X ด้านบวกและแกน X ด้านลบตั้งแต่ 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ซึ่งวัดจากปากกระบอกของเครื่องเป่าลม และจากทางออกลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน และต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน จนถึงจุดกึ่งกลางของเครื่อง Anemometer ที่กำหนด ในระยะห่าง 100 cm ดังรูปที่ 4.26 4.27 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ

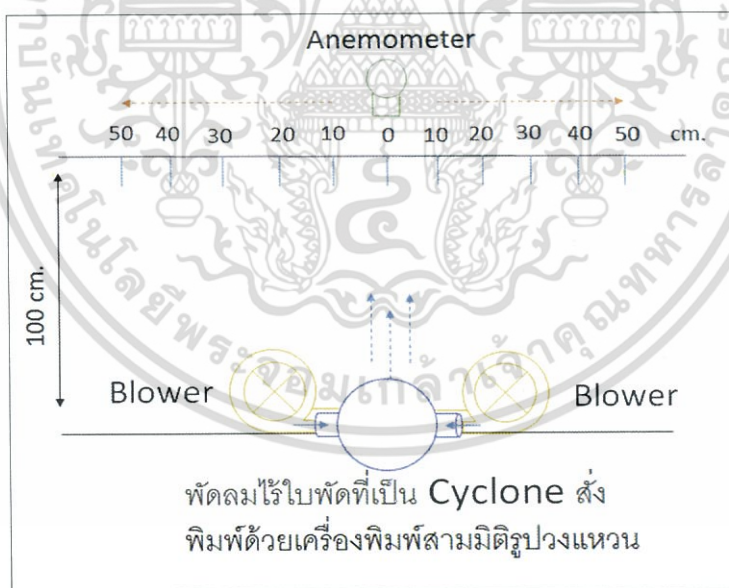


รูปที่ 4.26 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของเครื่องเป่าลม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 เป็นการทดลอง Profile ตามแนวแกน x ของเครื่องเป่าลมซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.30



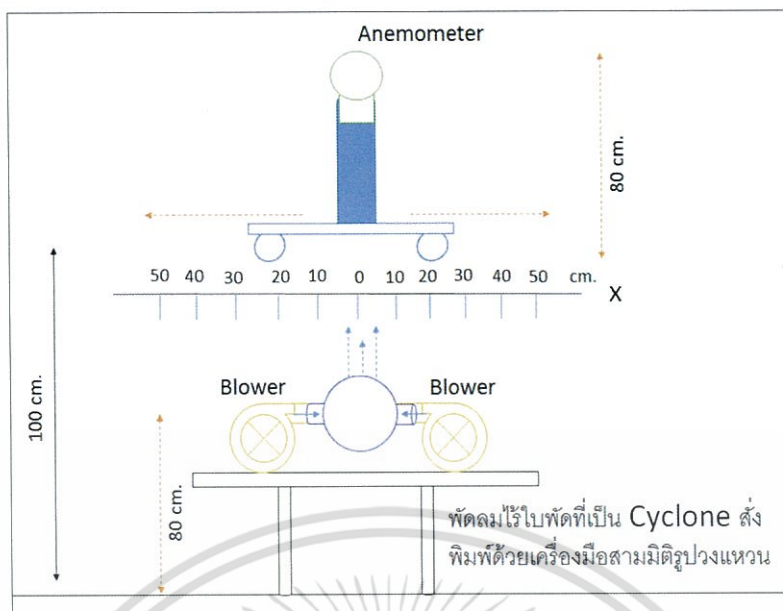
รูปที่ 4.27 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งลมด้วยเครื่องฟิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 1 ทาง



รูปที่ 4.28 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งลมด้วยเครื่องฟิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง

รูปที่ 4.27 กับ 4.28 นี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบ Profile ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบส่งลมด้วยเครื่องฟิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.31 ของทางเข้าลม 1 ทาง และรูปที่ 4.32 ของทางเข้าลม 2 ทาง

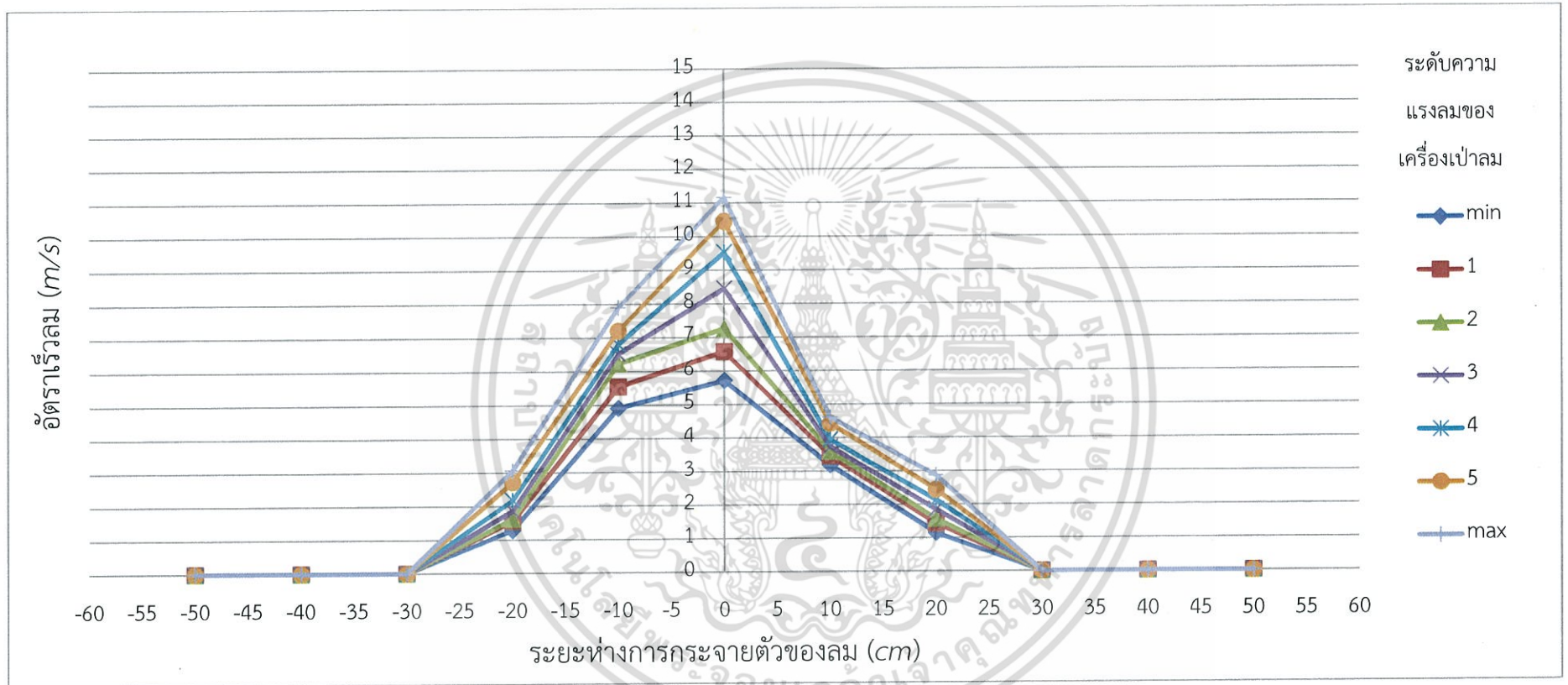
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 การทำ Profile ตามแนวแกน x ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน

รูปที่ 4.29 เป็นการทดลองเพื่อทดสอบ Profile ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm ซึ่งได้ผลการทดลองรูปที่ 4.33 กับเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm ได้กราฟรูปที่ 4.34

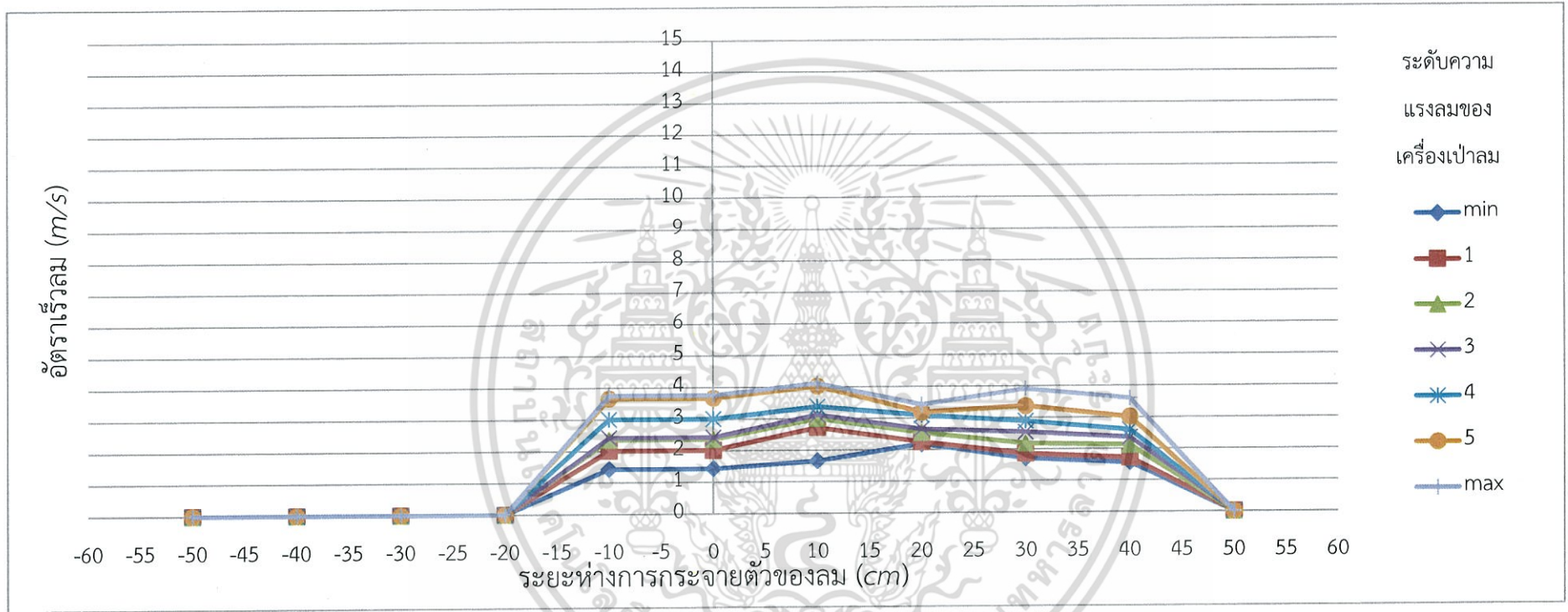
รูปแบบที่ 1 เครื่องเป่าลม วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ของเครื่องเป่าลม ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm

จากรูปที่ 4.30 พบว่าอัตราเร็วลมบริเวณกึ่งกลางนั้นมีค่าสูงสุดแต่บริเวณด้านข้างทั้งสองมีอัตราเร็วลมที่ลดลงแบบไม่สมมาตรทั้งสองข้าง โดยมีระยะการกระจายตัวของลมอยู่ที่ 30 cm

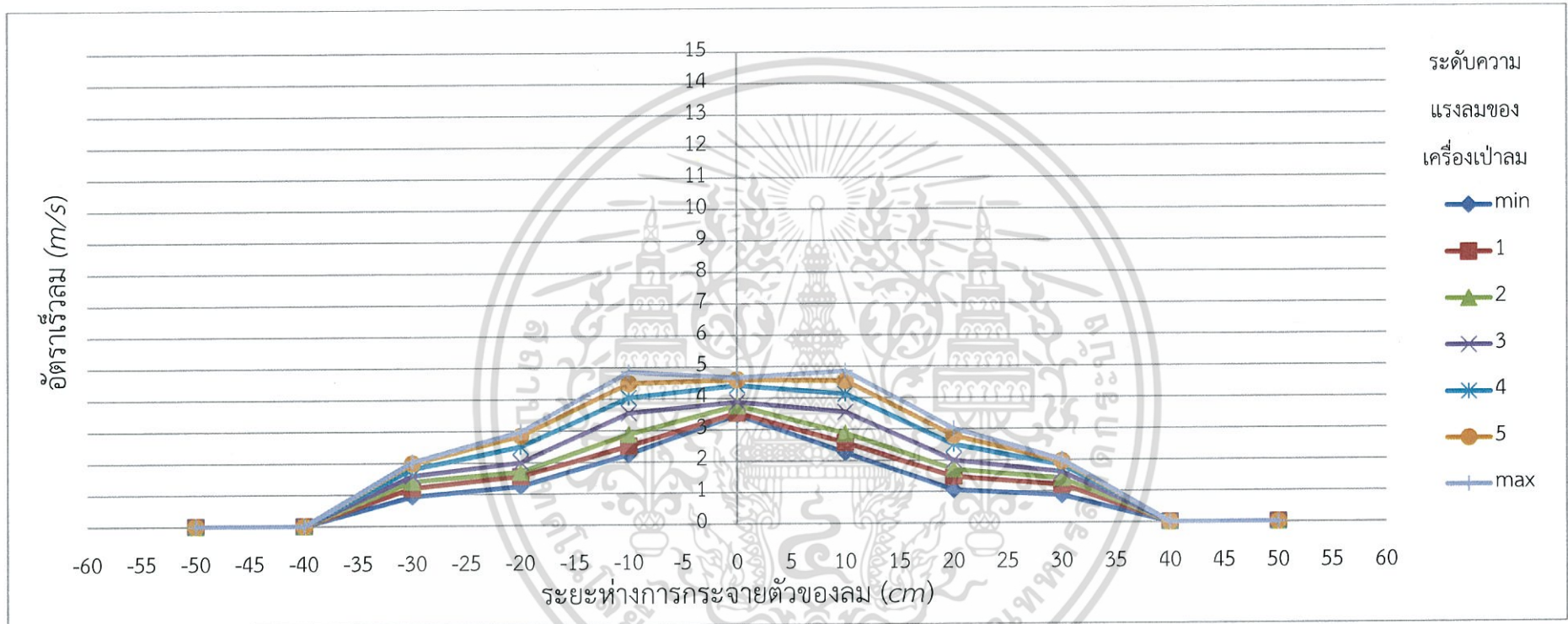
รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 1 ทาง วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ของทางเข้าลม 1 ทาง

จากรูปที่ 4.31 พบว่าอัตราเร็วลมมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในช่วง 0 ถึง 40 cm ทางด้านขวา แล้วอัตราเร็วลมจึงค่อย ๆ ลดลงมาถึงระยะห่างการกระจายตัวของลมที่ 50 cm อัตราเร็วลมจึงมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนทางด้านซ้ายมีการกระจายตัวของลมเพียง 10 cm เนื่องจากเป็นทางเข้าของลม ลมจึงวิ่งหนีทางออกไปยังอีกฝั่งหนึ่ง

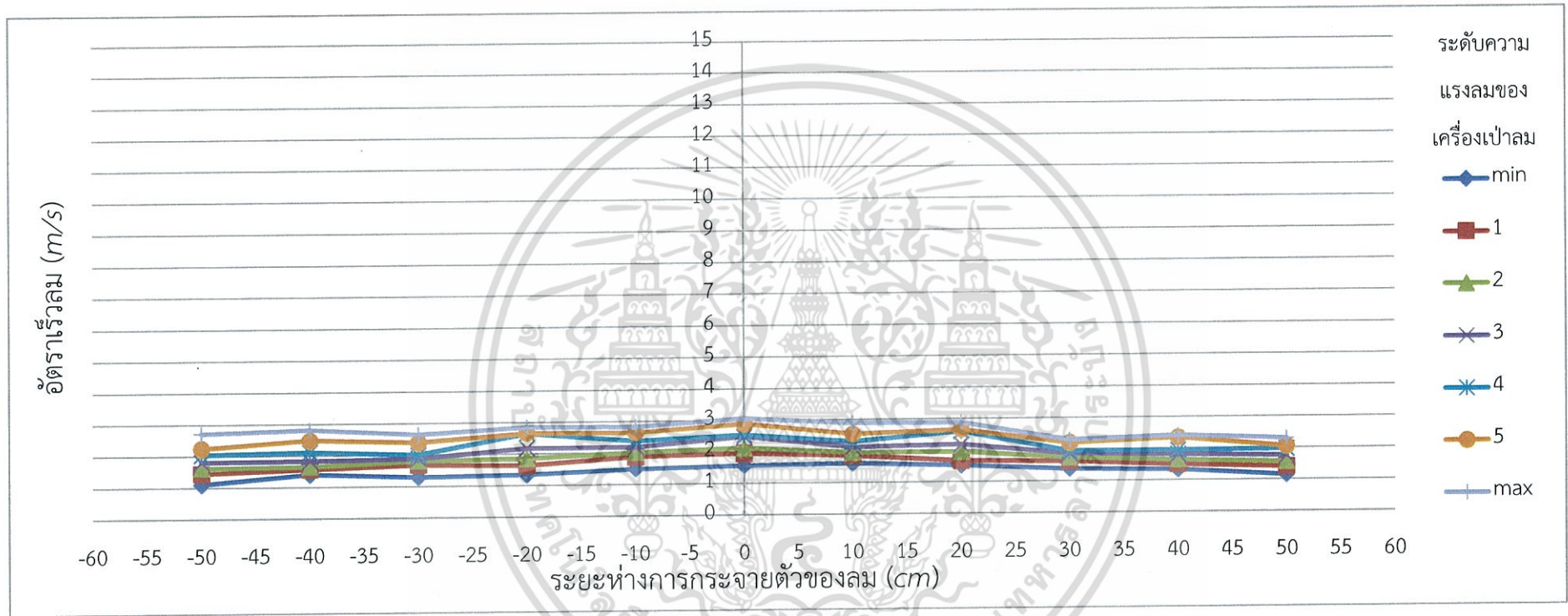
รูปแบบที่ 2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ที่ทางเข้าลม 2 ทาง

จากรูปที่ 4.32 พบว่าการกระจายตัวของลมในช่วง 0 ถึง 10 cm มีอัตราเร็วลมที่สม่ำเสมอและค่อย ๆ ลดลงทั้งสองข้างจนถึงระยะห่างการกระจายตัวของลมที่ 40 cm อัตราเร็วลมจึงมีค่าเป็นศูนย์

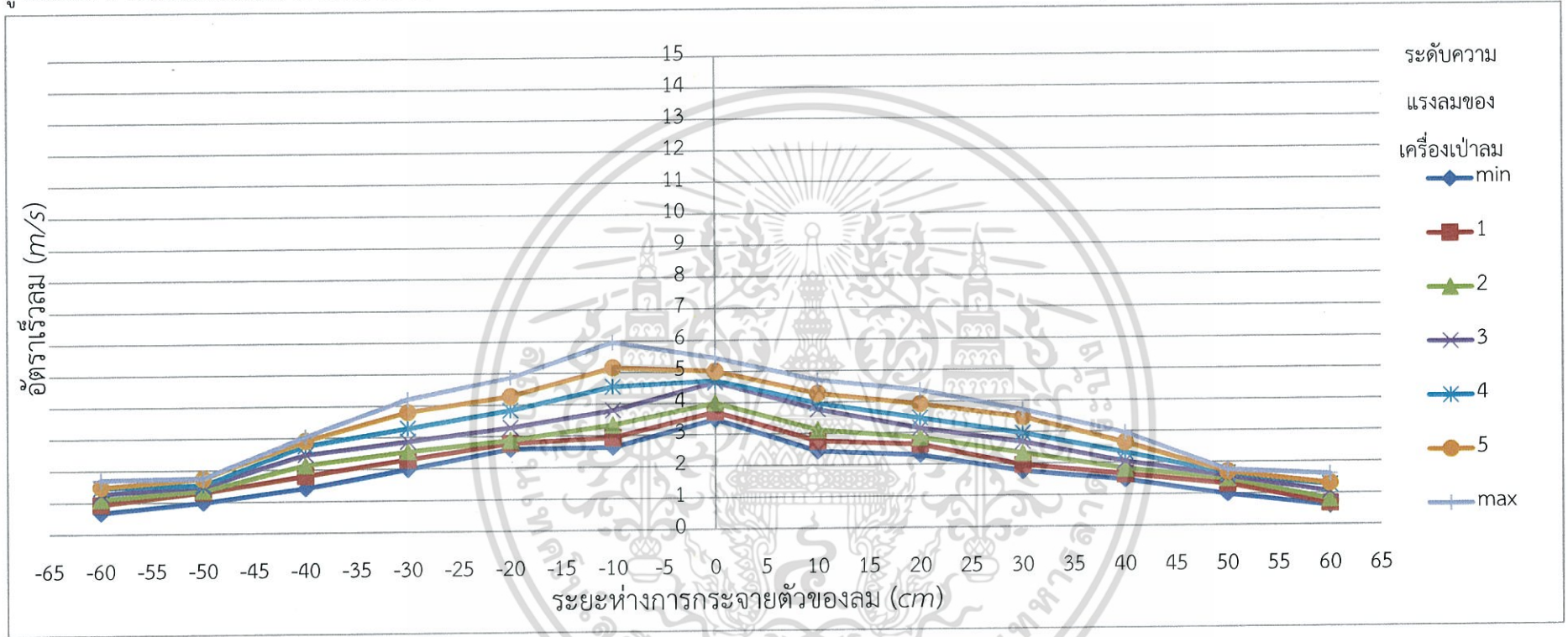
รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ของทางเข้าลม 2 ทาง

จากรูปที่ 4.33 พบว่าในช่วง 0 ถึง 50 cm มีอัตราเร็วลมที่สม่ำเสมอ สามารถกระจายตัวได้กว้างมากกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

รูปแบบที่ 3 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm วัด Profile ได้ดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm ระหว่างระยะห่างการกระจายตัวของลม (cm) กับอัตราเร็วลม (m/s) ในระยะห่าง 100 cm ของทางเข้าลม 2 ทาง

จากรูปที่ 4.34 พบว่ามีการกระจายตัวถึง 60 cm โดยมีอัตราเร็วลมที่สูงสุดในช่วง 10 cm ทางด้านซ้ายและทั้งสองด้านมีอัตราเร็วลมลดลงอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน เป็นรูปแบบที่มีการกระจายตัวของลมได้กว้างที่สุด

4.3 การทดสอบสมบัติของที่ปิดน้ำฝนไร้ใบพัดโดยอาศัยหลักการหมุนไซโคลน

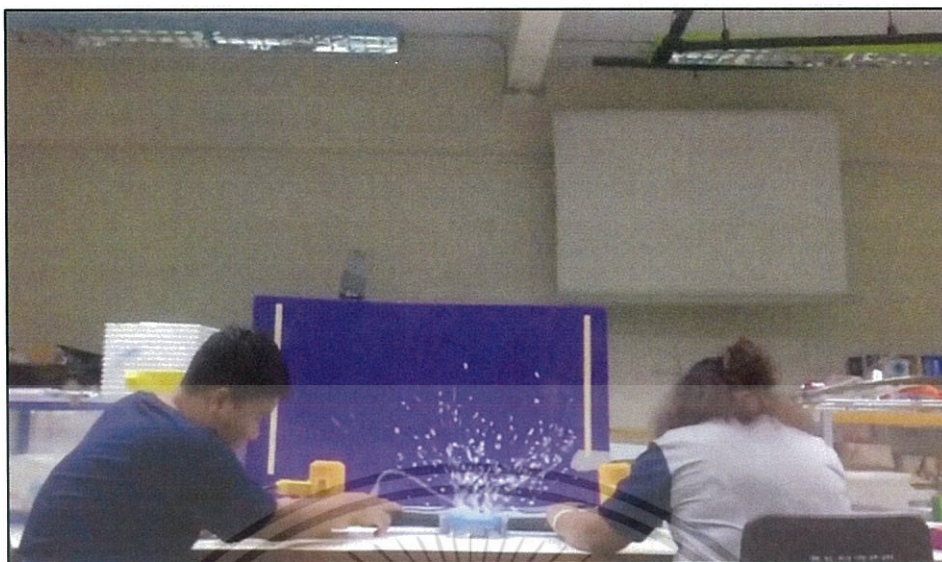
ศึกษากำลังแรงของลมที่ออกมาจากพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน โดยการเปรียบเทียบการกระจายตัวของลม

- 4.3.1 ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ ทดสอบโดยกระดาษ



รูปที่ 4.35 การทดสอบสมบัติของไซโคลนโดยใช้กระดาษ

จากรูปที่ 4.35 ทดสอบสมบัติของไซโคลนโดยใช้กระดาษแล้วสังเกตทิศทางการหมุนของไซโคลน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.36 พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm มีลักษณะการหมุนที่เป็นไซโคลนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และรูปที่ 4.37 พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm มีลักษณะการหมุนที่เป็นไซโคลนแบบเห็นได้ชัดเจนและระยะเวลาที่นานกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm



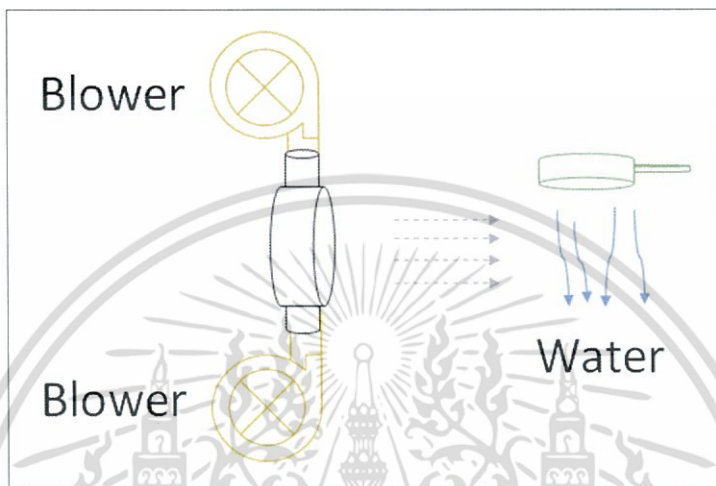
รูปที่ 4.36 การหมุนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm



รูปที่ 4.37 การหมุนของกระดาษที่มีลักษณะเป็นไฮโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไฮโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ทดสอบสมบัติของลมของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทางกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องมือสามมิติรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm กับ 27 cm ตามลำดับ ทดสอบโดยน้ำ



รูปที่ 4.38 เพื่อทดสอบสมบัติของไซโคลนโดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลน

จากรูปที่ 4.38 ทดสอบสมบัติของไซโคลนโดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลนแล้วสังเกตทิศทางการหมุนของไซโคลน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.39 พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ไม่มีลักษณะการหมุนของลมในรูปแบบไซโคลนและน้ำสามารถเข้ามาภายในของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนได้ ส่วนรูปที่ 4.40 และ 4.41 พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm และ 27 cm มีลักษณะการหมุนของลมในรูปแบบไซโคลนและสามารถเป่าน้ำที่เข้ามาภายในต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนได้ แต่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm สามารถเป่าน้ำได้ดีกว่าที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm เนื่องจากมีกำลังลมและขนาดของต้นแบบที่เป็นไปภายใต้เงื่อนไขของเครื่องเป่าลม 2 เครื่อง



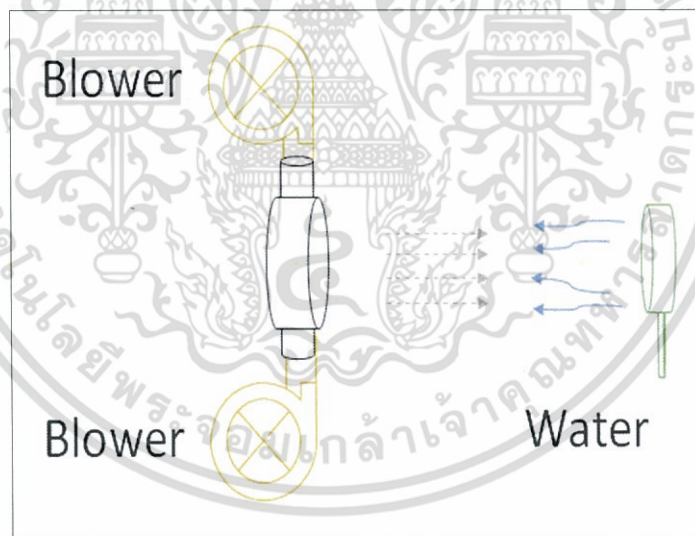
รูปที่ 4.39 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะไม่เป็นไซโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน โดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลน



รูปที่ 4.40 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไซโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลน



รูปที่ 4.41 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไซโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับไซโคลน



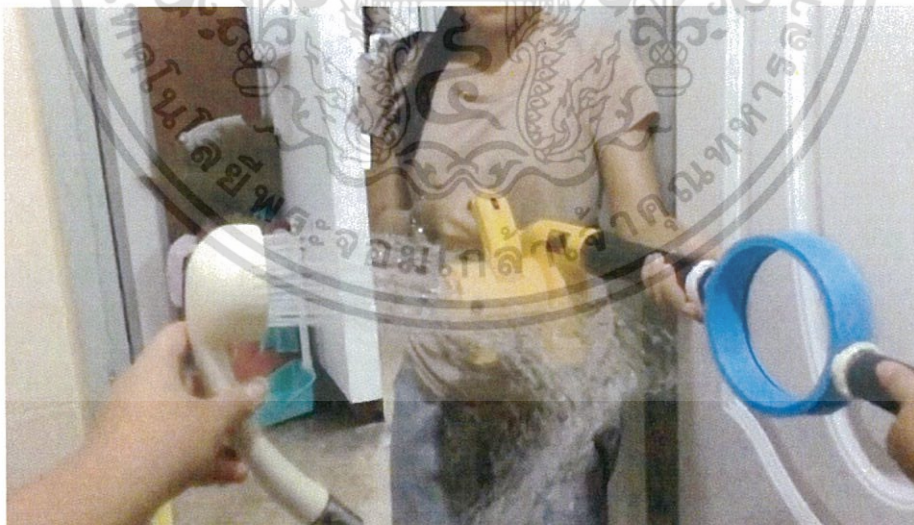
รูปที่ 4.42 เพื่อทดสอบสมบัติของไซโคลนโดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลน

จากรูปที่ 4.42 ทดสอบสมบัติของไซโคลนโดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลนแล้ว สังเกตทิศทางของการหมุนของไซโคลน ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.43 พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ไม่มีลักษณะการหมุนของลมในรูปแบบไซโคลนและน้ำสามารถเข้ามาภายในของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวนได้ ส่วนรูปที่ 4.44 และ 4.45 พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปร่างแหวน ของทางเข้าลม 2 ทาง ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm และ 27 cm มีลักษณะการหมุนของลมในรูปแบบไซโคลนและสามารถเป่าน้ำที่เข้า

มาภายในของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนได้ แต่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm สามารถเป่าน้ำได้ดีกว่าที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm เนื่องจากมีกำลังลมและขนาดของต้นแบบที่เป็นไปภายใต้เงื่อนไขของเครื่องเป่าลม 2 เครื่อง



รูปที่ 4.43 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไซโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน โดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลน



รูปที่ 4.44 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไซโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 การหมุนของน้ำที่มีลักษณะเป็นไซโคลนของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm โดยใช้ทิศทางของน้ำขนานกับไซโคลน

4.3.3 วัดการกระจายตัวของลมโดยการเปรียบเทียบจาก Profile ของเครื่องเป่าลมต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวนกับต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน

โดยมีการเปรียบเทียบการกระจายตัวของลมระหว่าง เครื่องเป่าลม ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน และต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm มีการกระจายตัวของลมได้กว้างถึงระยะ 60 cm ที่อัตราเร็ว 1.66 m/s ซึ่งแตกต่างจาก 2 รูปแบบที่มีการกระจายตัวของลมได้น้อยกว่าดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile ที่ระดับแรงลมสูงสุด

ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm	การกระจายตัวของลมแต่ละรูปแบบ				
	เครื่องเป่าลม	พัดลมไร้ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ทางเข้าลม 1 ทาง	พัดลมไร้ใบพัดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ทางเข้าลม 2 ทาง	พัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm ทางเข้าลม 2 ทาง	พัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm ทางเข้าลม 2 ทาง
0	11.16	3.75	4.66	3.06	5.43
10	6.25	2.06	4.86	2.86	5.33
20	2.97	1.71	3	2.87	4.61
30	0	1.96	2.03	2.47	3.96
40	0	1.8	0	2.62	3
50	0	0	0	2.51	1.76
60	0	0	0	0	1.66

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การทดสอบ Profile อัตราเร็วลม

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบปิดน้ำฝนแบบไร้ใบปิดที่อาศัยหลักการลมหมุนไซโคลน ทดสอบสมบัติของลมโดยวิธีการวัด Profile ภายใต้เงื่อนไขอ้างอิงที่วาง Anemometer ตั้งฉากกับ ต้นแบบ ที่ระยะห่าง 100 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องเป่าลมกำลัง 800 วัตต์ สรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1.1.1 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม ภายใต้เงื่อนไขอ้างอิงค่า Profile ไม่สามารถวัดได้จึงต้องวาง Anemometer ตั้งฉากกับต้นแบบ ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร วัดบริเวณ กึ่งกลางมีอัตราเร็วลมต่ำ 0.20 เมตรต่อวินาที ในขณะที่บริเวณขอบมีอัตราเร็วลมสูง

5.1.1.2 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน เป่าลมเข้า ด้านข้างในเงื่อนไขอ้างอิงได้ อัตราเร็วลมที่ได้มี Profile ไม่สมมาตรและไม่เป็นระเบียบ โดยมีอัตราเร็ว บริเวณกึ่งกลางวงเป็น 4.1 เมตรต่อวินาที

5.1.1.3 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติทางเข้าลม 1 ทาง บริเวณกึ่งกลางมีค่าอัตราเร็วลมต่ำ บริเวณที่มีอัตราเร็วลมสูงจึงเป็นทิศทางตรงข้ามกับทางเข้าของลม

5.1.1.4 เครื่องเป่าลมมีการวัด Profile มีความสมมาตร ซึ่งมีค่า FWHM 30 เซนติเมตร ภายใต้เงื่อนไขอ้างอิงและมีค่าอัตราเร็วลมที่จุดกึ่งกลาง 11.16 เมตรต่อวินาที

5.1.1.5 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติทางเข้าลม 2 ทาง มีการวัด Profile มีความสมมาตร ซึ่งมีค่า FWHM 52.5 เซนติเมตร ภายใต้เงื่อนไขอ้างอิงและมีค่า อัตราเร็วลมที่จุดกึ่งกลาง 4.65 เมตรต่อวินาที

5.1.1.6 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติที่เส้น ผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร ทางเข้าลม 2 ทาง มีการวัด Profile มีความสมมาตร ซึ่งมีค่า FWHM 100 เซนติเมตร ภายใต้เงื่อนไขอ้างอิงและมีค่าอัตราเร็วลมที่จุดกึ่งกลาง 3.06 เมตรต่อวินาที

5.1.1.7 ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติที่เส้น ผ่านศูนย์กลาง 27 เซนติเมตร ทางเข้าลม 2 ทาง มีการวัด Profile มีความสมมาตร ซึ่งมีค่า FWHM 82.5 เซนติเมตร ภายใต้เงื่อนไขอ้างอิงและมีค่าอัตราเร็วลมที่จุดกึ่งกลาง 5.95 เมตรต่อวินาที

5.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพการผลักต้นเม็ต้นน้ำจากฝักบัว

จากการทดสอบประสิทธิภาพการผลักต้นเม็ต้นน้ำจากฝักบัว โดยโครงสร้างที่ เหมือนกันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตรเท่ากันและมีทางเข้าลม 2 ทางเหมือนกัน ที่เงื่อนไข ทิศทางของน้ำตั้งฉากกับลมและทิศทางของน้ำขนานกับลม พบว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลน แบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติสามารถผลักต้นเม็ต้นน้ำจากฝักบัวได้ดีกว่าต้นแบบพัดลมไร้ใบพัด แบบสังกะสีด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบในเรื่องการวัด Profile พบว่าต้นแบบพัคลมไร้ใบพัคแบบท่อ 8 เหลี่ยม มีโครงสร้างที่ใหญ่ลมจึงไม่สามารถมาถึงกึ่งกลางได้ ต้นแบบพัคลมไร้ใบพัคแบบประกอบด้วยมือเป็นรูปวงแหวน โครงสร้างไม่เป็นเรขาคณิตลมที่ได้จึงไม่มีความสม่ำเสมอและต้นแบบพัคลมไร้ใบพัคแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติทางเข้าลม 1 ทาง โครงสร้างเป็นเรขาคณิตแต่ทางเข้าลมไม่สมมาตรจึงทำให้ Profile ที่ได้ไม่สมมาตรตามไปด้วย

จากการทดสอบประสิทธิภาพการผลักดันเม็ดน้ำจากฝักบัวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของต้นแบบที่เล็ก หากต้องการพัฒนาให้ต้นแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถนำไปใช้ได้จริง ควรทำการเพิ่มขนาดพื้นที่เป่าลมของต้นแบบพร้อมทั้งต้องมีพลังงานที่มากเพียงพอให้ระบบทำการปิดน้ำฝนได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เซ็นทรัลเทรดดิ้ง จำกัด. 2015. พัฒลมไร้ใบพัดของ Dyson. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.dyson.co.th/th-TH/community/about-dyson.aspx>
- [2] Wikipedia, the free encyclopedia. 2017. Mary Anderson (inventor). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://en.wikipedia.org/wiki/Mary_Anderson_\(inventor\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mary_Anderson_(inventor))
- [3] วิקיพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. พลศาสตร์ของไหล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/พลศาสตร์ของไหล>
- [4] ฟิสิกส์ราชมงคล. 2543. พลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.atom.rmutphysics.com>
- [5] ScienceStruck. 2017. Venturi Effect. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.buzzle.com/articles/explanation>
- [6] ผศ.ดร.นวกัษรา หนูนาค. 2555. ท่อเวนทูรี (venturi tube). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7249/venturi-tube>
- [7] ประสาน สร้อยรุห์ร่า. 2555. แรงทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics forces). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://aerodynamicsthai.blogspot.com>
- [8] วิקיพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. ไชโคลน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/praw3659>
- [9] พลชัย สหวัฒน์พงศ์,สุโกศล ไตรสันติกุล และอดิเทพ สุขวัฒน์กุล. 2554. การศึกษาผลกระทบจากกองขาของใบพัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไชโคลน. เข้าถึงได้จาก : วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [10] Whansangjan. 2014. การวัดความเร็วและทิศทางของลม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book>
- [11] บริษัท เลกะ คอร์ปอเรชั่น จำกัด. 2016. Anemometer เครื่องวัดความเร็วลม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://legatool.com/wp/285>
- [12] MOVE ENGINEERING COMPANY LIMITED. 2017. ประเภทและหลักการทำงานของพัดลมหรือเครื่องเป่าลม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.moveengineer.com/km_type_of_blower
- [13] iEnergyGuru. 2015. พัดลม (Fan). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://ienergyguru.com/2015/09/fan>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
2015. ประเภทของพัดลมและโบลเวอร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<http://www2.dede.go.th/bhrd>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 5 10 15 20 25 30 35 และ 40 cm ตามลำดับ ของต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดแบบท่อ 8 เหลี่ยม ที่ระดับความแรงลมสูงสุด

TEST	ตำแหน่ง	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 30 cm								
		0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm
ต้นแบบ พัดลม ไร้ใบพัด แบบท่อ 8 เหลี่ยม	ขวา	0	0.20	0.20	0.40	0.80	1.15	0.60	0.20	0
	ซ้าย	0	0.20	0.60	0.60	0.80	1.00	0.60	0.20	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่าอัตราเร็วลมของตำแหน่ง A B C และ D ที่สภาวะห้องเปิด ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัด แบบ (B)

TEST	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้า ของระดับ ความ แรงลมของ blower	เฉลี่ย (W)	อัตราเร็วลม (m/s)					เฉลี่ย (m/s)
				จำนวนครั้ง					
				1	2	3	4	5	
ต้นแบบ พัดลมไร้ ใบพัด แบบ ประกอบ ด้วยมือ เป็นรูปวง แหวน	A	min	168.90	1.20	1.40	1.45	1.60	1.20	1.37
		1	179.60	1.45	1.69	1.45	1.69	1.45	1.55
		2	228.20	2.12	1.97	2.12	2.07	1.93	2.04
		3	302.50	2.26	2.16	2.40	2.58	2.26	2.33
		4	376.60	3.11	2.94	2.76	2.94	2.76	2.90
		5	504.30	3.82	3.66	3.68	3.64	3.82	3.72
		max	582.50	4.04	3.82	4.26	4.04	3.82	3.99
	B	min	168.90	1.12	1.00	1.40	1.00	0.80	1.06
		1	179.60	1.69	1.55	1.69	1.83	1.97	1.75
		2	228.20	2.58	2.40	2.26	2.40	2.26	2.38
		3	302.50	3.29	3.46	3.29	3.46	3.29	3.36
		4	376.60	3.94	4.11	3.46	4.29	3.11	3.78
		5	504.30	3.82	3.99	3.64	3.46	3.64	3.71
		max	582.50	4.34	4.17	3.99	4.34	4.17	4.20
	C	min	168.90	1.83	1.69	1.97	1.83	1.97	1.86
		1	179.60	3.82	3.92	3.82	3.82	3.64	3.80
		2	228.20	3.99	4.17	4.34	4.17	4.34	4.20
		3	302.50	4.34	4.52	4.70	4.52	4.70	4.56
		4	376.60	4.87	5.15	4.87	4.70	4.87	4.89
		5	504.30	5.22	5.50	5.22	5.50	5.08	5.30
		max	582.50	5.40	5.60	5.43	5.60	5.77	5.56
	D	min	168.90	0.80	1.00	1.00	0.80	1.00	0.92
		1	179.60	1.20	1.40	1.55	1.40	1.55	1.42
		2	228.20	1.97	2.12	1.97	2.12	1.92	2.02
		3	302.50	2.26	2.12	2.26	2.12	2.26	2.20
		4	376.60	2.40	2.58	2.76	2.58	2.86	2.64
		5	504.30	2.06	2.40	2.58	2.86	2.40	2.46
		max	582.50	2.58	2.76	2.40	2.58	2.26	2.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าอัตราเร็วลมของตำแหน่ง A B C และ D ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัด (C)

TEST	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้า ของระดับ ความแรงลม ของblower	เฉลี่ย (W)	อัตราเร็วลม (m/s)					เฉลี่ย (m/s)
				จำนวนครั้ง					
				1	2	3	4	5	
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสั่ง พิมพ์ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติ เป็นรูปวง แหวน	A	min	168.90	3.59	3.77	3.94	3.77	3.94	3.80
		1	179.60	4.30	4.12	4.12	3.94	4.30	4.16
		2	228.20	4.30	4.47	4.65	4.47	4.65	4.51
		3	302.50	4.86	5.03	4.68	5.00	4.82	4.88
		4	376.60	5.37	5.03	5.37	5.20	5.30	5.25
		5	504.30	6.58	6.06	5.89	6.06	5.89	6.10
		max	582.50	6.40	6.75	6.23	6.58	6.06	6.40
	B	min	168.90	1.57	1.72	1.86	1.72	1.57	1.69
		1	179.60	2.18	2.54	2.36	2.18	2.57	2.37
		2	228.20	3.06	3.24	2.89	3.36	2.89	3.09
		3	302.50	3.59	3.42	3.59	3.42	3.59	3.52
		4	376.60	3.77	3.94	4.12	3.94	4.12	3.98
		5	504.30	4.17	4.34	4.42	4.34	4.42	4.34
		max	582.50	4.57	4.74	4.82	4.74	4.82	4.74
	C	min	168.90	3.59	3.42	3.24	3.42	3.55	3.44
		1	179.60	4.12	4.30	4.47	4.30	4.12	4.26
		2	228.20	4.86	4.68	4.82	5.00	4.86	4.84
		3	302.50	5.03	5.20	4.86	5.03	5.00	5.02
		4	376.60	5.54	5.37	5.03	5.54	5.03	5.30
		5	504.30	6.40	6.58	6.75	6.92	6.58	6.65
		max	582.50	7.44	7.26	7.26	6.95	7.42	7.27
	D	min	168.90	3.77	3.94	3.77	3.94	3.94	3.87
		1	179.60	4.86	4.68	4.82	5.00	4.82	4.84
		2	228.20	5.37	5.54	5.00	5.03	5.37	5.26
		3	302.50	5.89	5.72	5.37	5.54	5.72	5.65
		4	376.60	6.58	6.52	7.09	6.75	6.58	6.70
		5	504.30	7.78	7.61	7.26	7.78	7.95	7.68
		max	582.50	8.47	8.12	8.30	8.77	8.42	8.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่าอัตราเร็วลมของตำแหน่ง A B C และ D ที่สภาวะห้องปิด พัดลมไร้ใบพัด (B)

TEST	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้า ของระดับ ความแรงลม ของblower	เฉลี่ย (W)	อัตราเร็วลม (m/s)					เฉลี่ย (m/s)
				จำนวนครั้ง					
				1	2	3	4	5	
ต้นแบบ พัดลมไร้ ใบพัด แบบ ประกอบ ด้วยมือ เป็นรูปวง แหวน	A	min	168.90	0.80	1.00	1.15	1.00	0.80	0.95
		1	179.60	1.15	1.29	1.15	1.29	1.15	1.21
		2	228.20	1.72	1.57	1.72	1.57	1.43	1.60
		3	302.50	1.86	1.72	2.00	2.18	1.86	1.92
		4	376.60	2.71	2.54	2.36	2.54	2.36	2.50
		5	504.30	3.42	3.24	3.06	3.24	3.42	3.28
		max	582.50	3.64	3.42	3.86	3.64	3.42	3.60
	B	min	168.90	0.80	0.60	1.00	0.60	0.40	0.68
		1	179.60	1.29	1.15	1.29	1.43	1.57	1.35
		2	228.20	2.18	2.00	1.86	2.00	1.86	1.98
		3	302.50	2.89	3.06	2.89	3.06	2.89	2.96
		4	376.60	2.54	2.71	3.06	2.89	2.71	2.78
		5	504.30	3.42	3.59	3.24	3.06	3.24	3.31
		max	582.50	3.94	3.77	3.59	3.94	3.77	3.80
	C	min	168.90	1.43	1.29	1.57	1.43	1.57	1.46
		1	179.60	3.42	3.59	3.42	3.42	3.24	3.42
		2	228.20	3.59	3.77	3.94	3.77	3.94	3.80
		3	302.50	3.94	4.12	4.30	4.12	4.30	4.16
		4	376.60	4.47	4.65	4.47	4.30	4.47	4.47
		5	504.30	4.82	5.10	4.82	5.10	4.68	4.90
		max	582.50	5.00	5.20	5.03	5.20	5.37	5.16
	D	min	168.90	0.40	0.60	0.60	0.40	0.60	0.52
		1	179.60	0.80	1.00	1.15	1.00	1.15	1.02
		2	228.20	1.57	1.72	1.57	1.72	1.57	1.63
		3	302.50	1.86	1.72	1.86	1.72	1.86	1.80
		4	376.60	2.00	2.18	2.36	2.18	2.36	2.22
		5	504.30	1.86	2.00	2.18	2.36	2.00	2.08
		max	582.50	2.18	2.36	2.00	2.18	1.86	2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 แสดงค่าอัตราเร็วลมของตำแหน่ง A B C และ D ที่สภาวะห้องปิด พัดลมไร้ใบพัด (C)

TEST	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้า ของระดับ ความ แรงลมของ blower	เฉลี่ย (W)	อัตราเร็วลม (m/s)					เฉลี่ย (m/s)
				จำนวนครั้ง					
				1	2	3	4	5	
ต้นแบบ พัดลมไร้ ใบพัด แบบสั่ง พิมพ์ด้วย เครื่อง พิมพ์สาม มิติเป็น รูปร่าง แหวน	A	min	168.90	3.77	3.59	3.42	3.06	3.42	3.45
		1	179.60	3.77	3.94	4.12	3.77	3.94	3.91
		2	228.20	4.30	4.12	4.47	4.65	4.47	4.40
		3	302.50	4.82	4.65	4.82	4.68	5.00	4.79
		4	376.60	5.20	5.37	5.54	5.20	5.37	5.34
		5	504.30	5.37	5.54	5.72	5.89	5.72	5.65
		max	582.50	6.06	6.40	6.58	6.89	6.58	6.50
	B	min	168.90	1.57	1.72	1.57	1.57	1.43	1.57
		1	179.60	1.72	1.86	1.72	1.72	1.86	1.78
		2	228.20	2.00	2.36	2.54	2.54	2.36	2.36
		3	302.50	2.43	2.72	2.86	2.72	2.86	2.72
		4	376.60	2.71	2.89	2.71	2.89	2.71	2.78
		5	504.30	3.42	3.77	3.59	3.59	3.77	3.63
		max	582.50	4.12	4.30	3.98	4.12	4.30	4.16
	C	min	168.90	4.68	4.86	4.68	4.86	4.68	4.75
		1	179.60	5.03	4.86	5.03	4.86	5.03	4.96
		2	228.20	5.37	5.20	5.37	5.20	5.54	5.34
		3	302.50	6.06	6.23	6.06	6.23	5.89	6.09
		4	376.60	6.75	6.92	6.75	6.92	6.75	6.82
		5	504.30	7.95	8.12	7.78	7.95	7.78	7.92
		max	582.50	8.47	8.30	8.64	8.64	8.47	8.50
	D	min	168.90	5.03	5.20	5.03	4.86	5.03	5.03
		1	179.60	5.37	5.20	5.20	5.37	5.37	5.30
		2	228.20	5.89	6.06	5.89	6.06	5.89	5.96
		3	302.50	6.58	6.75	6.58	6.75	6.58	6.65
		4	376.60	7.09	6.92	7.44	7.26	7.26	7.19
		5	504.30	8.98	8.81	9.16	8.98	8.98	8.98
		max	582.50	9.33	9.50	9.16	9.33	9.16	9.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังบุคคลภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด

TEST	ระดับความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
เครื่องเป่า ลม	min	ด้านขวา	6.24	6.40	6.58	6.41	2.89	3.06	3.24	3.06	1.15	1.29	1.15	1.19
	1		6.92	7.06	6.92	6.97	3.24	3.42	3.24	3.30	1.29	1.43	1.15	1.29
	2		7.95	8.10	7.95	8.00	4.65	4.86	4.65	4.72	1.43	1.57	1.57	1.52
	3		9.58	9.78	9.89	9.75	4.86	4.65	4.86	4.79	1.72	1.57	1.57	1.62
	4		9.89	10.46	9.89	10.08	4.82	5.03	5.03	4.96	1.86	2.00	2.00	1.95
	5		10.46	11.29	10.46	10.74	5.37	5.54	5.42	5.44	2.54	2.61	2.89	2.68
	max		12.17	12.26	12.17	12.20	5.82	5.89	6.06	5.92	3.06	3.24	3.32	3.21

ตารางที่ 6 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด

TEST	ระดับความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
เครื่องเป่า ลม	min	ด้านซ้าย	6.24	6.40	6.58	6.41	2.71	2.54	2.36	2.54	1.00	1.15	1.00	1.05
	1		6.92	7.06	6.92	6.97	2.89	2.71	2.89	2.83	1.15	1.43	1.29	1.29
	2		7.95	8.10	7.95	8.00	3.06	3.24	3.42	3.24	1.43	1.57	1.43	1.48
	3		9.58	9.78	9.89	9.75	3.59	3.77	3.59	3.65	1.72	1.57	1.72	1.67
	4		9.89	10.46	9.89	10.08	4.65	4.82	4.65	4.71	1.72	1.86	2.06	1.88
	5		10.46	11.29	10.46	10.74	5.03	4.86	5.20	5.03	2.18	2.00	2.24	2.14
	max		12.17	12.26	12.17	12.20	5.54	5.72	5.77	5.68	2.19	2.36	2.54	2.36

ตารางที่ 7 แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัด (C)

TEST	ระดับความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	2.36	2.54	2.18	2.36	1.57	1.72	1.82	1.70	0.80	1.00	1.15	0.98
	1		2.71	2.54	2.71	2.65	1.72	1.86	2.00	1.86	1.00	1.15	1.29	1.15
	2		2.71	2.89	2.71	2.77	2.54	2.36	2.18	2.36	1.29	1.43	1.57	1.43
	3		3.06	2.89	3.06	3.00	2.71	2.54	2.78	2.68	2.00	2.36	2.18	2.18
	4		3.42	3.59	3.24	3.42	2.71	2.89	2.89	2.83	2.36	2.54	2.36	2.42
	5		3.94	4.12	4.30	4.12	3.06	3.24	3.06	3.12	3.06	3.24	3.06	3.12
	max		4.47	4.30	4.12	4.30	3.59	3.24	3.77	3.53	3.59	3.77	3.94	3.77

ตารางที่ 7 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัด (C)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด	min	ด้านซ้าย	2.36	2.54	2.18	2.36	1.57	1.72	1.86	1.72	0.8	1.00	0.8	0.87
ลมไร้ใบพัด	1		2.71	2.54	2.71	2.65	1.86	2.00	2.18	2.01	1.15	1.29	1.15	1.20
แบบสั่งพิมพ์	2		2.71	2.89	2.71	2.77	2.18	2.00	2.36	2.18	1.57	1.43	1.29	1.43
ด้วย	3		3.06	2.89	3.06	3.00	2.54	2.71	2.76	2.67	2.18	2.00	2.18	2.12
เครื่องพิมพ์	4		3.42	3.59	3.24	3.42	2.89	2.71	2.89	2.83	3.06	3.18	3.24	3.16
สามมิติเป็น	5		3.94	4.12	4.30	4.12	3.06	3.24	3.06	3.12	3.06	3.18	3.24	3.16
รูปวงแหวน	max		4.47	4.30	4.12	4.30	3.36	3.59	3.77	3.57	3.54	3.59	3.77	3.63

ตารางที่ 8 แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไฮโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปแหวน	min	ด้านขวา	1.29	1.57	1.43	1.43	1.43	1.15	1.29	1.29	1.57	1.29	1.29	1.38
	1		1.43	1.57	1.57	1.52	1.57	1.43	1.72	1.57	1.73	1.68	1.73	1.71
	2		1.72	1.86	1.84	1.81	1.86	2.16	2.00	2.01	1.73	1.89	1.98	1.87
	3		2.00	2.18	1.86	2.01	2.18	2.54	2.36	2.36	2.01	2.23	2.18	2.14
	4		2.36	2.54	2.36	2.42	2.71	2.76	2.89	2.79	2.54	2.71	2.54	2.60
	5		3.06	3.24	3.12	3.14	3.24	3.54	3.24	3.34	2.68	2.86	2.79	2.78
	max		3.21	3.46	3.46	3.38	3.77	3.88	3.59	3.75	3.42	3.6	3.36	3.46

ตารางที่ 8 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปร่างแหวน	min	ด้านขวา	1.15	1.29	1.30	1.25	1.15	1.29	1.00	1.15	1.00	1.15	1.25	1.13
	1		1.25	1.29	1.57	1.37	1.29	1.57	1.43	1.43	1.29	1.57	1.43	1.43
	2		1.57	1.73	1.57	1.62	1.64	1.57	1.73	1.65	1.68	1.7	1.68	1.69
	3		2.13	2.25	2.57	2.32	1.98	2.03	2.00	2.00	2.01	1.89	1.90	1.93
	4		2.57	2.89	2.64	2.70	2.43	2.57	2.6	2.53	2.5	2.47	2.53	2.50
	5		2.89	3.00	2.67	2.85	2.89	2.74	3.00	2.88	2.86	2.70	2.68	2.75
	max		3.24	3.06	3.12	3.14	3.06	3.00	3.14	3.07	2.86	3.00	3.06	2.97

ตารางที่ 8 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.29	1.57	1.43	1.43	1.43	1.29	1.29	1.34	1.29	1.15	1.43	1.29
	1		1.43	1.57	1.57	1.52	1.43	1.43	1.29	1.38	1.68	1.73	1.68	1.70
	2		1.72	1.86	1.84	1.81	1.86	1.72	1.68	1.75	1.89	1.73	1.8	1.81
	3		2.00	2.18	1.86	2.01	2.01	2.13	1.98	2.04	2.12	2.3	2.24	2.22
	4		2.36	2.54	2.36	2.42	2.35	2.48	2.35	2.39	2.57	2.68	2.68	2.64
	5		3.06	3.24	3.12	3.14	3.12	3.25	3.03	3.13	2.89	2.79	2.89	2.86
	max		3.21	3.46	3.46	3.38	3.36	3.42	3.24	3.34	3.36	3.43	3.36	3.38

ตารางที่ 8 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องเปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.29	1.15	1.43	1.29	1.00	1.15	1.29	1.15	1.00	1.15	1.00	1.05
	1		1.25	1.25	1.43	1.31	1.30	1.43	1.53	1.42	1.25	1.43	1.43	1.37
	2		1.43	1.57	1.73	1.58	1.57	1.73	1.62	1.64	1.57	1.68	1.73	1.66
	3		2.02	1.89	2.23	2.05	1.89	2.18	2.01	2.03	1.89	2.00	1.98	1.96
	4		2.43	2.89	2.68	2.67	2.57	2.43	2.57	2.52	2.57	2.3	2.43	2.43
	5		2.89	2.9	2.89	2.89	2.98	2.89	3.01	2.96	2.68	2.89	2.98	2.85
	max		3.2	3.06	3.03	3.10	3.06	3.00	3.21	3.09	3.01	2.97	3.00	2.99

ตารางที่ 9 แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
เครื่องเป่าลม	min	ด้านขวา	7.14	7.26	7.61	7.34	2.89	2.71	2.54	2.71	0.40	0.60	0.40	0.47
	1		8.47	8.64	8.3	8.47	3.06	3.12	3.59	3.26	0.40	0.6	0.60	0.53
	2		9.70	9.50	9.89	9.70	4.12	3.93	3.77	3.94	0.40	0.6	0.40	0.47
	3		10.65	10.27	10.84	10.59	4.3	4.68	4.12	4.37	0.40	0.6	0.40	0.47
	4		11.98	11.41	11.22	11.54	5	4.86	5.03	4.96	0.60	0.8	1.00	0.80
	5		13.12	13.31	13.69	13.37	5.37	5.2	5.68	5.42	1.00	0.8	1.00	0.93
	max		14.26	14.07	14.31	14.21	5.54	5.89	5.37	5.60	1.00	1.15	1.15	1.10

หมายเหตุ : ด้านขวาที่ 30 40 และ 50 cm วัดแล้วได้ค่า 0 จึงไม่นำมาใส่ในตาราง

ตารางที่ 9 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
เครื่องเป่าลม	min	ด้านซ้าย	7.14	7.26	7.61	7.34	2.71	2.54	2.36	2.54	0.20	0.60	0.40	0.40
	1		8.47	8.64	8.30	8.47	2.89	3.00	2.71	2.87	0.40	0.40	0.60	0.47
	2		9.70	9.50	9.89	9.70	3.42	3.24	3.59	3.42	0.40	0.60	0.60	0.53
	3		10.65	10.27	10.84	10.59	4.12	4.30	4.47	4.30	0.60	0.80	0.60	0.67
	4		11.98	11.41	11.22	11.54	4.30	4.68	4.65	4.54	0.60	0.80	0.80	0.73
	5		13.12	13.31	13.69	13.37	4.86	5.00	4.82	4.89	0.60	0.80	0.80	0.73
	max		14.26	14.07	14.31	14.21	5.03	4.87	5.03	4.98	0.80	1.00	0.80	0.87

หมายเหตุ : ด้านซ้ายที่ 30 40 และ 50 cm วัดแล้วได้ค่า 0 จึงไม่นำมาใส่ในตาราง

ตารางที่ 10 แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (C)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	1.29	1.54	1.43	1.42	1.15	1.29	1.00	1.15	0.60	0.8	0.8	0.73
	1		1.72	2.00	2.18	1.97	1.43	1.72	1.43	1.53	1.57	1.43	1.29	1.43
	2		2.18	2.36	2.54	2.36	2.43	2.72	2.57	2.57	1.43	1.72	1.86	1.67
	3		2.71	2.54	2.71	2.65	3.59	3.77	3.59	3.65	2.00	1.86	2	1.95
	4		3.06	2.89	3.06	3.00	3.94	4.12	4.30	4.12	2.18	2.54	2.67	2.46
	5		3.24	3.06	3.24	3.18	4.30	4.65	4.47	4.47	2.89	3.42	3.06	3.12
	max		3.42	3.59	3.24	3.42	4.68	4.86	5.03	4.86	3.94	4.3	4.12	4.12

ตารางที่ 10 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด พัดลมโรโบพัดแบบ (C)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมโรโบพัด แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.29	1.54	1.43	1.42	0.80	1.00	0.80	0.87	0.80	0.60	0.80	0.73
	1		1.72	2.00	2.18	1.97	1.72	1.64	1.43	1.60	1.43	1.29	1.43	1.38
	2		2.18	2.36	2.54	2.36	2.43	2.54	2.24	2.40	1.57	1.43	1.57	1.52
	3		2.71	2.54	2.71	2.65	2.89	2.398	2.77	2.69	2.00	2.03	1.86	1.96
	4		3.06	2.89	3.06	3.00	3.54	3.62	3.54	3.57	2.28	2.54	2.28	2.40
	5		3.24	3.06	3.24	3.18	3.89	3.96	3.89	3.91	2.98	2.86	2.98	2.94
	max		3.42	3.59	3.24	3.42	4.32	4.02	4.32	4.22	3.42	3.03	3.24	3.23

ตารางที่ 11 แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปร่างวงแหวน	min	ด้านขวา	1.43	1.57	1.43	1.48	1.43	1.57	1.43	1.48	1.00	1.15	1.00	1.05
	1		1.57	1.72	1.57	1.62	1.72	1.72	1.86	1.77	1.15	1.00	1.15	1.10
	2		2.00	1.86	1.72	1.86	2.00	2.16	1.86	2.01	1.29	1.15	1.29	1.24
	3		2.18	2.36	2.00	2.18	2.36	2.54	2.36	2.42	1.43	1.57	1.72	1.57
	4		2.71	3.00	3.06	2.92	2.71	2.54	2.71	2.65	2.18	2.06	2.32	2.19
	5		3.42	3.59	3.24	3.42	2.89	3.06	2.89	2.95	2.32	2.54	2.76	2.54
	max		3.77	3.59	3.77	3.71	3.24	3.59	3.42	3.42	2.86	3.06	3.24	3.05

ตารางที่ 11 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3		1	2	3		1	2	3	
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสี่เหลี่ยม ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	0.80	1.00	1.00	0.93	0.20	0.40	0.60	0.40	0.20	0.40	0.20	0.27
	1		0.80	1.15	1.00	0.98	0.80	1.00	0.8	0.87	0.60	0.40	0.60	0.53
	2		1.15	1.00	1.00	1.05	1.00	1.15	1.29	1.15	0.60	0.80	0.60	0.67
	3		1.29	1.43	1.57	1.43	1.29	1.43	1.29	1.34	0.80	0.80	1.00	0.87
	4		1.57	1.43	1.57	1.52	1.43	1.57	1.43	1.48	0.80	1.00	1.00	0.93
	5		1.57	1.72	1.86	1.72	1.72	1.86	1.72	1.77	1.00	1.15	1.00	1.05
	max		1.72	1.86	1.72	1.77	1.86	1.72	1.86	1.81	1.15	1.15	1.00	1.10

ตารางที่ 11 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด พัดลมโรโบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมโรโบพัดที่ เป็นไฮโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.43	1.57	1.43	1.48	1.53	1.72	1.72	1.66	1.43	1.57	1.43	1.48
	1		1.57	1.72	1.57	1.62	1.86	1.72	2.00	1.86	1.57	1.86	1.72	1.72
	2		2.00	1.86	1.72	1.86	2.00	2.18	2.00	2.06	1.72	1.86	1.72	1.77
	3		2.18	2.36	2.00	2.18	2.18	2.36	2.18	2.24	1.86	1.94	2.06	1.95
	4		2.71	3.00	3.06	2.92	2.36	2.54	2.36	2.42	2.06	2.34	2.56	2.32
	5		3.42	3.59	3.24	3.42	2.89	2.96	3.06	2.97	2.34	2.56	2.89	2.60
	max		3.77	3.59	3.77	3.71	2.98	3.06	3.24	3.10	2.89	2.71	3.06	2.89

ตารางที่ 11 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ที่สภาวะห้องปิด พัดลมโรโบพัดแบบ (D)

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมโรโบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.00	0.80	0.80	0.87	0.60	0.80	0.60	0.67	0.20	0.40	0.20	0.27
	1		0.80	1.00	1.15	0.98	0.80	0.60	0.80	0.73	0.40	0.20	0.40	0.33
	2		1.00	1.15	1.00	1.05	0.80	1.00	0.80	0.87	0.40	0.40	0.60	0.47
	3		1.15	1.29	1.15	1.20	1.00	0.80	1.15	0.98	0.40	0.60	0.80	0.60
	4		1.15	1.29	1.29	1.24	1.00	1.15	1.00	1.05	0.60	0.80	0.60	0.67
	5		1.29	1.43	1.29	1.34	1.15	1.26	1.00	1.14	0.80	1.00	0.80	0.87
	max		1.43	1.29	1.43	1.38	1.00	1.15	1.43	1.19	1.00	1.15	0.80	0.98

ตารางที่ 12 แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ของเครื่องเป่าลม

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
เครื่องเป่าลม	min	ด้านขวา	5.54	5.89	5.72	5.72	2.89	3.24	3.42	3.18	1.15	1.00	1.29	1.15
	1		6.40	6.58	6.75	6.58	3.24	3.36	3.78	3.46	1.43	1.57	1.29	1.43
	2		7.44	7.09	7.26	7.26	3.42	3.59	3.77	3.59	1.68	1.43	1.57	1.56
	3		8.30	8.42	8.64	8.45	3.94	3.89	3.37	3.73	1.71	1.86	1.98	1.85
	4		9.57	9.50	9.50	9.52	4.12	3.94	3.77	3.94	2.00	2.15	2.25	2.13
	5		10.27	10.66	10.46	10.46	4.30	4.42	4.56	4.43	2.43	2.36	2.54	2.44
	max		11.41	11.22	10.84	11.157	4.12	4.94	4.77	4.61	2.89	3.00	2.71	2.87

หมายเหตุ : ด้านขวาที่ 30 40 และ 50 cm วัดแล้วได้ค่า 0 จึงไม่นำมาใส่ในตาราง

ตารางที่ 12 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ ของเครื่องเป่าลม

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
เครื่องเป่าลม	min	ด้านซ้าย	5.54	5.89	5.72	5.72	4.86	5	4.86	4.91	1.29	1.15	1.43	1.29
	1		6.4	6.58	6.75	6.58	5.72	5.54	5.37	5.54	1.68	1.57	1.43	1.56
	2		7.44	7.09	7.26	7.26	6.06	6.4	6.23	6.23	1.57	1.43	1.86	1.62
	3		8.30	8.42	8.64	8.45	6.58	6.23	6.75	6.52	1.86	1.72	2.00	1.86
	4		9.57	9.50	9.50	9.52	6.75	6.92	6.75	6.81	2.36	2.00	2.18	2.18
	5		10.27	10.66	10.46	10.46	7.09	7.44	7.09	7.21	2.71	2.89	2.54	2.71
	max		11.41	11.22	10.84	11.16	8.12	7.61	7.95	7.89	3.06	3.24	2.89	3.06

หมายเหตุ : ด้านซ้ายที่ 30 40 และ 50 cm วัดแล้วได้ค่า 0 จึงไม่นำมาใส่ในตาราง

ตารางที่ 13 แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (C) ทางเข้าลม 1 ทาง

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	1.57	1.43	1.29	1.43	1.43	1.57	2.00	1.67	2.18	2.36	2.00	2.18
	1		1.86	2.00	2.18	2.01	2.71	2.89	2.54	2.71	2.36	2.18	2.18	2.24
	2		2.36	2.18	2.54	2.36	3.06	2.89	3.06	3.00	2.71	2.36	2.54	2.54
	3		2.54	2.36	2.36	2.42	3.06	3.24	3.06	3.12	2.71	2.54	2.71	2.65
	4		2.82	3.19	3.02	3.01	3.12	3.59	3.42	3.38	3.06	2.98	3.24	3.09
	5		3.60	3.82	3.54	3.65	4.00	4.12	3.94	4.02	3.06	3.24	3.24	3.18
	max		3.54	3.82	3.90	3.75	3.94	4.12	4.30	4.12	3.42	3.24	3.59	3.42

ตารางที่ 13 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (C) ทางเข้าลม 1 ทาง

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด	min	ด้านขวา	1.86	1.72	1.57	1.72	1.71	1.57	1.43	1.57	0	0	0	0
ลมไร้ใบพัด	1		1.86	2.00	1.72	1.86	1.86	1.72	1.57	1.72	0	0	0	0
แบบสังพิมพ์	2		2.00	2.18	2.36	2.18	2.18	2.00	2.18	2.12	0	0	0	0
ด้วย	3		2.54	2.71	2.36	2.54	2.36	2.18	2.54	2.36	0	0	0	0
เครื่องพิมพ์	4		2.71	3.06	2.89	2.89	2.36	2.54	2.89	2.60	0	0	0	0
สามมิติเป็น	5		3.06	3.42	3.59	3.36	3.06	2.89	3.06	3.00	0	0	0	0
รูปวงแหวน	max		3.54	3.89	4.30	3.91	3.42	3.77	3.59	3.59	0	0	0	0

ตารางที่ 13 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับพัดลมไร้ใบพัดแบบ (C) ทางเข้าลม 1 ทาง

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.57	1.43	1.29	1.43	0	0	0	0	0	0	0	0
	1		1.86	2.00	2.18	2.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	2		2.36	2.18	2.54	2.36	0	0	0	0	0	0	0	0
	3		2.54	2.36	2.36	2.42	0	0	0	0	0	0	0	0
	4		2.82	3.19	3.02	3.01	0	0	0	0	0	0	0	0
	5		3.60	3.82	3.54	3.65	0	0	0	0	0	0	0	0
	max		3.54	3.82	3.90	3.75	0	0	0	0	0	0	0	0

หมายเหตุ : ด้านซ้ายที่ 10 20 30 40 และ 50 cm วัดแล้วได้ค่า 0 จึงไม่นำมาใส่ในตาราง

ตารางที่ 14 แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (C) ทางเข้าลม 2 ทาง

TEST	ระดับ ความ แรงลม ของเครื่อง เป่าลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	3.42	3.59	3.42	3.48	2.16	2.36	2.24	2.25	1.00	1.15	1.00	1.05
	1		3.59	3.42	3.59	3.53	2.54	2.64	2.54	2.57	1.43	1.57	1.43	1.48
	2		3.77	3.59	3.94	3.77	2.87	2.98	2.77	2.87	1.68	1.77	1.68	1.71
	3		3.94	3.77	3.94	3.88	3.54	3.43	3.68	3.55	1.98	2.03	1.98	1.99
	4		4.12	4.47	4.65	4.41	4.12	4.03	4.24	4.13	2.54	2.43	2.52	2.50
	5		4.65	4.47	4.65	4.59	4.54	4.46	4.63	4.54	2.77	2.68	2.89	2.78
	max		4.67	4.77	4.53	4.67	4.86	5.03	4.68	4.86	2.98	3.06	2.98	3.01

ตารางที่ 14 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (C) ทางเข้าลม 2 ทาง

TEST	ระดับ ความ แรงลม ของเครื่อง เป่าลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัด แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	3.42	3.59	3.42	3.48	2.18	2.36	2.18	2.24	1.29	1.15	1.29	1.24
	1		3.59	3.42	3.59	3.53	2.54	2.43	2.54	2.50	1.43	1.68	1.57	1.56
	2		3.77	3.59	3.94	3.77	2.77	2.98	2.89	2.88	1.77	1.68	1.64	1.70
	3		3.94	3.77	3.94	3.88	3.68	3.43	3.54	3.55	2.03	1.98	2.00	2.00
	4		4.12	4.47	4.65	4.41	4.03	3.98	4.12	4.04	2.54	2.43	2.54	2.50
	5		4.65	4.47	4.65	4.59	4.52	4.43	4.52	4.49	2.77	2.98	2.77	2.84
	max		4.67	4.77	4.53	4.66	4.68	4.86	5.03	4.87	3.06	2.98	2.89	2.98

ตารางที่ 15 แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมโรโบพัดแบบ (D) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมโรโบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสี่เหลี่ยม ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	1.72	1.43	1.57	1.57	1.57	1.72	1.57	1.62	1.57	1.43	1.57	1.52
	1		1.86	2.00	2.00	1.95	1.72	1.86	2.00	1.86	1.72	1.57	1.72	1.67
	2		2.00	2.18	2.18	2.12	2.00	1.86	2.00	1.95	1.86	2.00	2.00	1.95
	3		2.36	2.54	2.54	2.48	2.18	2.00	2.18	2.12	2.18	2.00	2.36	2.18
	4		2.36	2.71	2.54	2.54	2.36	2.18	2.36	2.3	2.54	2.71	2.54	2.60
	5		2.89	2.71	3.06	2.89	2.54	2.71	2.36	2.54	2.54	2.71	2.71	2.65
	max		3.06	3.24	2.89	3.06	3.06	2.89	2.71	2.89	2.71	2.86	3.06	2.88

ตารางที่ 15 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	1.43	1.29	1.43	1.38	1.29	1.43	1.29	1.34	1.00	1.29	1.15	1.15
	1		1.54	1.71	1.63	1.63	1.54	1.43	1.54	1.50	1.43	1.36	1.43	1.41
	2		1.71	1.82	1.71	1.75	1.68	1.71	1.56	1.65	1.54	1.62	1.54	1.57
	3		1.82	1.96	1.82	1.87	1.86	1.72	1.86	1.81	1.72	1.68	1.86	1.75
	4		1.98	2.00	1.86	1.95	2.01	1.89	1.92	1.94	1.92	2.00	1.98	1.97
	5		2.25	2.36	2.00	2.20	2.25	2.43	2.36	2.35	2.15	2.00	1.98	2.04
	max		2.54	2.36	2.00	2.30	2.54	2.36	2.36	2.42	2.36	2.18	2.36	2.30

ตารางที่ 15 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3		1	2	3		1	2	3	
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.72	1.43	1.57	1.57	1.43	1.59	1.47	1.497	1.57	1.29	1.15	1.34
	1		1.86	2.00	2.00	1.95	1.86	1.92	1.87	1.88	1.65	1.54	1.72	1.64
	2		2.00	2.18	2.18	2.12	2.20	1.86	1.98	2.01	1.71	1.86	2.00	1.86
	3		2.36	2.54	2.54	2.48	2.36	2.20	2.00	2.19	2.15	2.02	2.36	2.18
	4		2.36	2.71	2.54	2.54	2.54	2.24	2.36	2.38	2.54	2.68	2.71	2.64
	5		2.89	2.71	3.06	2.89	2.68	2.71	2.54	2.64	2.71	2.54	2.71	2.65
	max		3.06	3.24	2.89	3.06	2.89	2.89	2.71	2.83	2.71	2.98	2.86	2.85

ตารางที่ 15 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (D) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 18 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.29	1.15	1.43	1.29	1.29	1.47	1.43	1.40	1.15	1.00	1.15	1.10
	1		1.54	1.71	1.80	1.68	1.54	1.43	1.71	1.56	1.36	1.54	1.43	1.44
	2		1.71	1.86	1.86	1.81	1.56	1.72	1.68	1.65	1.62	1.54	1.71	1.62
	3		1.86	1.98	1.82	1.89	1.89	1.72	1.90	1.84	1.86	1.72	1.86	1.81
	4		2.00	1.98	2.02	2.00	2.20	2.15	1.98	2.11	1.98	2.00	2.15	2.04
	5		2.36	2.43	2.36	2.38	2.54	2.36	2.54	2.48	2.15	2.36	2.20	2.24
	max		2.71	2.54	2.68	2.64	2.78	2.89	2.78	2.82	2.71	2.54	2.89	2.71

ตารางที่ 16 แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (E) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสังกะสี ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	3.42	3.59	3.42	3.48	2.43	2.36	2.54	2.44	2.24	2.43	2.24	2.30
	1		3.77	3.59	3.77	3.71	2.73	2.89	2.68	2.77	2.56	2.62	2.73	2.64
	2		3.94	4.12	3.94	4.00	3.03	3.15	3.17	3.12	2.77	2.98	2.81	2.85
	3		4.47	4.82	4.65	4.65	3.77	3.89	3.64	3.77	3.06	3.13	3.24	3.14
	4		4.82	4.65	4.65	4.71	4.01	3.98	3.89	3.96	3.48	3.36	3.57	3.47
	5		4.86	5.30	4.86	5.01	4.15	4.23	4.42	4.27	3.98	3.77	3.98	3.91
	max		5.54	5.37	5.37	5.43	4.77	4.65	4.68	4.70	4.43	4.37	4.25	4.35

ตารางที่ 16 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (E) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลม ของเครื่อง เป่าลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไฮโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านขวา	1.78	1.86	1.63	1.76	1.43	1.57	1.43	1.48	1.15	0.8	1	0.98
	1		1.98	1.87	2.01	1.95	1.67	1.53	1.72	1.64	1.24	1.43	1.27	1.31
	2		2.23	2.43	2.36	2.34	1.73	1.86	1.84	1.81	1.43	1.58	1.43	1.48
	3		2.56	2.77	2.73	2.69	1.99	2.14	2.01	2.05	1.57	1.6	1.49	1.55
	4		3.01	2.98	2.89	2.96	2.24	2.43	2.34	2.34	1.59	1.64	1.67	1.63
	5		3.39	3.43	3.57	3.46	2.54	2.67	2.73	2.65	1.68	1.77	1.6	1.68
	max		3.68	3.78	3.67	3.71	2.98	2.87	3.01	2.95	1.78	1.86	1.62	1.75

ตารางที่ 16 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (E) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	0 cm			เฉลี่ย (m/s)	10 cm			เฉลี่ย (m/s)	20 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสั่งพิมพ์ ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	3.42	3.59	3.42	3.48	2.56	2.77	2.56	2.63	2.56	2.68	2.56	2.60
	1		3.77	3.59	3.77	3.71	2.96	2.87	2.96	2.93	2.77	2.79	2.77	2.78
	2		3.94	4.12	3.94	4.00	3.36	3.27	3.36	3.33	2.98	2.87	2.77	2.87
	3		4.47	4.82	4.65	4.65	3.76	3.67	3.96	3.80	3.15	3.42	3.25	3.27
	4		4.82	4.65	4.65	4.71	4.53	4.43	4.69	4.55	3.65	4.06	3.77	3.83
	5		4.86	5.30	4.86	5.01	5.13	5.23	5.09	5.15	4.05	4.46	4.27	4.26
	max		5.54	5.37	5.37	5.43	5.93	6.03	5.89	5.95	4.65	5.06	4.87	4.86

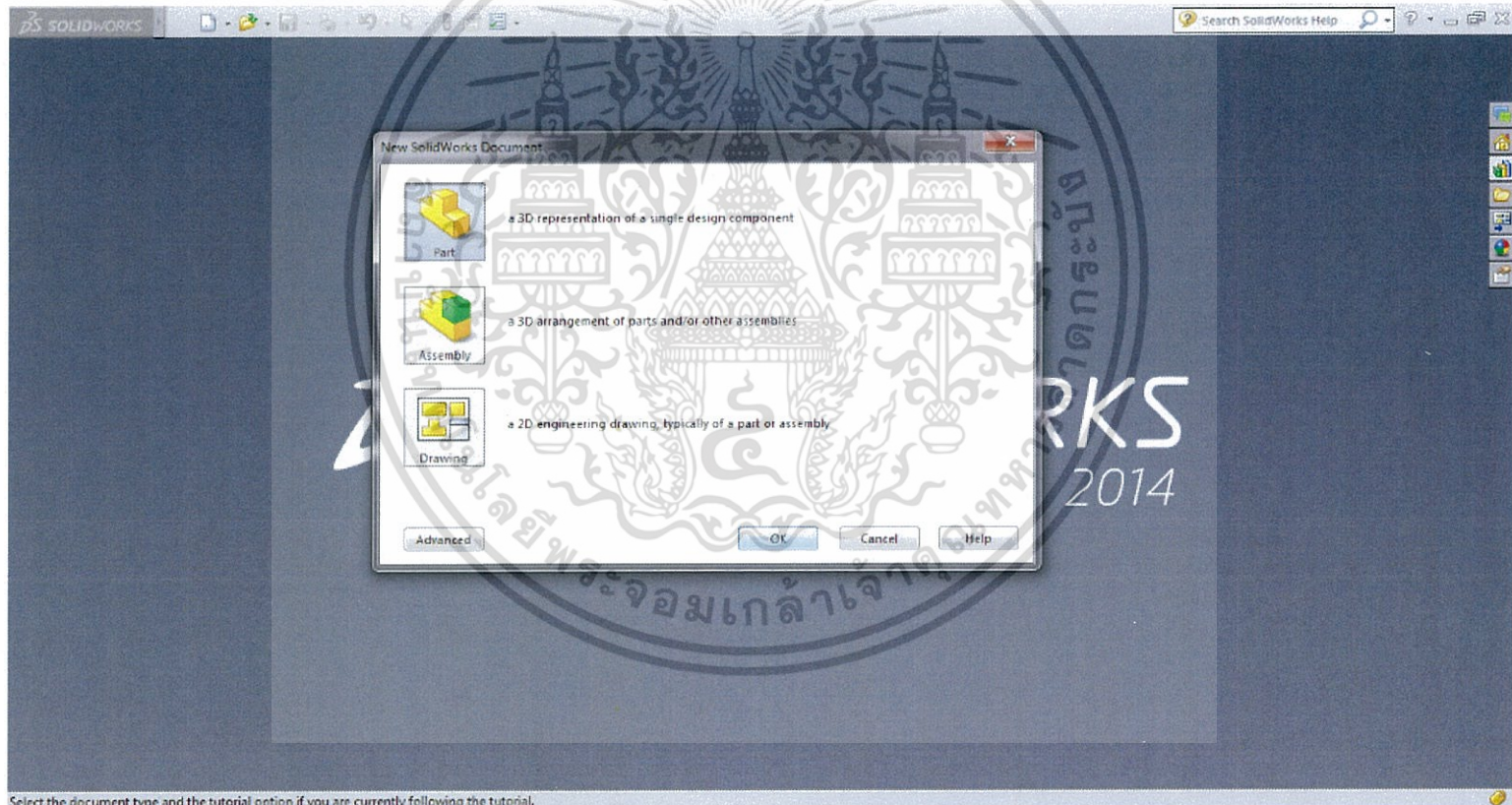
ตารางที่ 16 (ต่อ) แสดงค่าการกระจายลมตามแนวแกน X ของตำแหน่ง 0 10 20 30 40 และ 50 cm ตามลำดับ พัดลมไร้ใบพัดแบบ (E) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 27 cm

TEST	ระดับ ความ แรงลมของ เครื่องเป่า ลม	ระยะห่างจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลาย 100 cm												
		ตำแหน่ง	30 cm			เฉลี่ย (m/s)	40 cm			เฉลี่ย (m/s)	50 cm			เฉลี่ย (m/s)
			จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง				จำนวนครั้ง			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ต้นแบบพัด ลมไร้ใบพัดที่ เป็นไซโคลน แบบสี่เหลี่ยม ด้วย เครื่องพิมพ์ สามมิติเป็น รูปวงแหวน	min	ด้านซ้าย	1.77	2.18	2.00	1.98	1.43	1.25	1.57	1.42	1	0.8	1.15	0.98
	1		2.25	2.34	2.28	2.29	1.86	1.73	1.82	1.80	1.25	1.43	1.25	1.31
	2		2.56	2.48	2.62	2.5	2.01	2.23	2.18	2.14	1.43	1.31	1.37	1.37
	3		2.98	2.77	2.86	2.87	2.43	2.56	2.43	2.47	1.58	1.47	1.43	1.49
	4		3.18	3.24	3.42	3.28	2.68	2.86	2.73	2.76	1.68	1.43	1.53	1.545
	5		3.58	3.86	3.93	3.79	2.98	2.77	2.98	2.91	1.77	1.68	1.77	1.74
	max		3.94	4.42	4.25	4.20	3.04	2.94	3.13	3.04	1.86	1.57	1.86	1.76

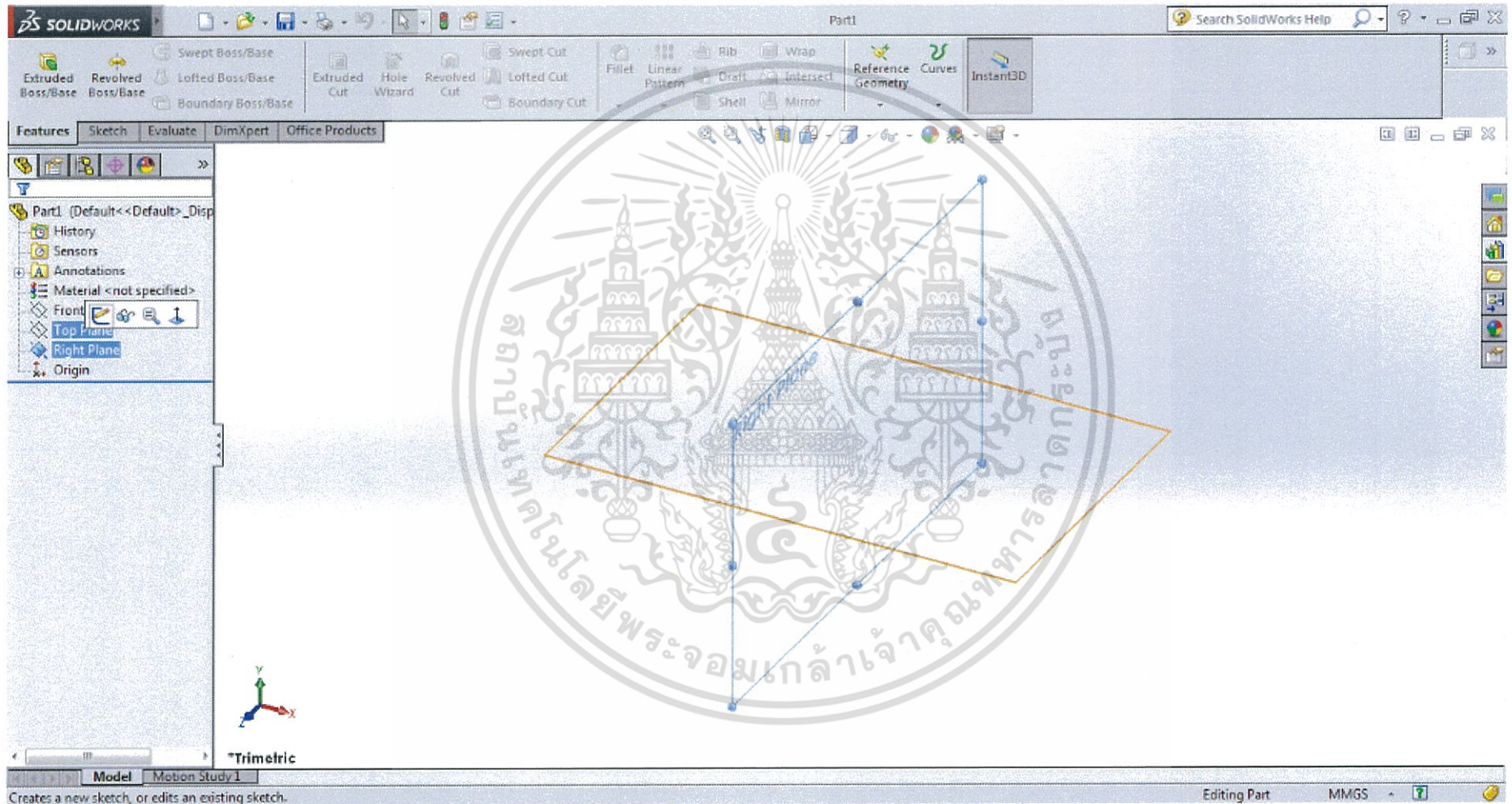
ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการออกแบบ ต้นแบบพัดลมไร้ใบพัดที่เป็นไซโคลนแบบสั่งพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติเป็นรูปวงแหวน(Cyclone3D)

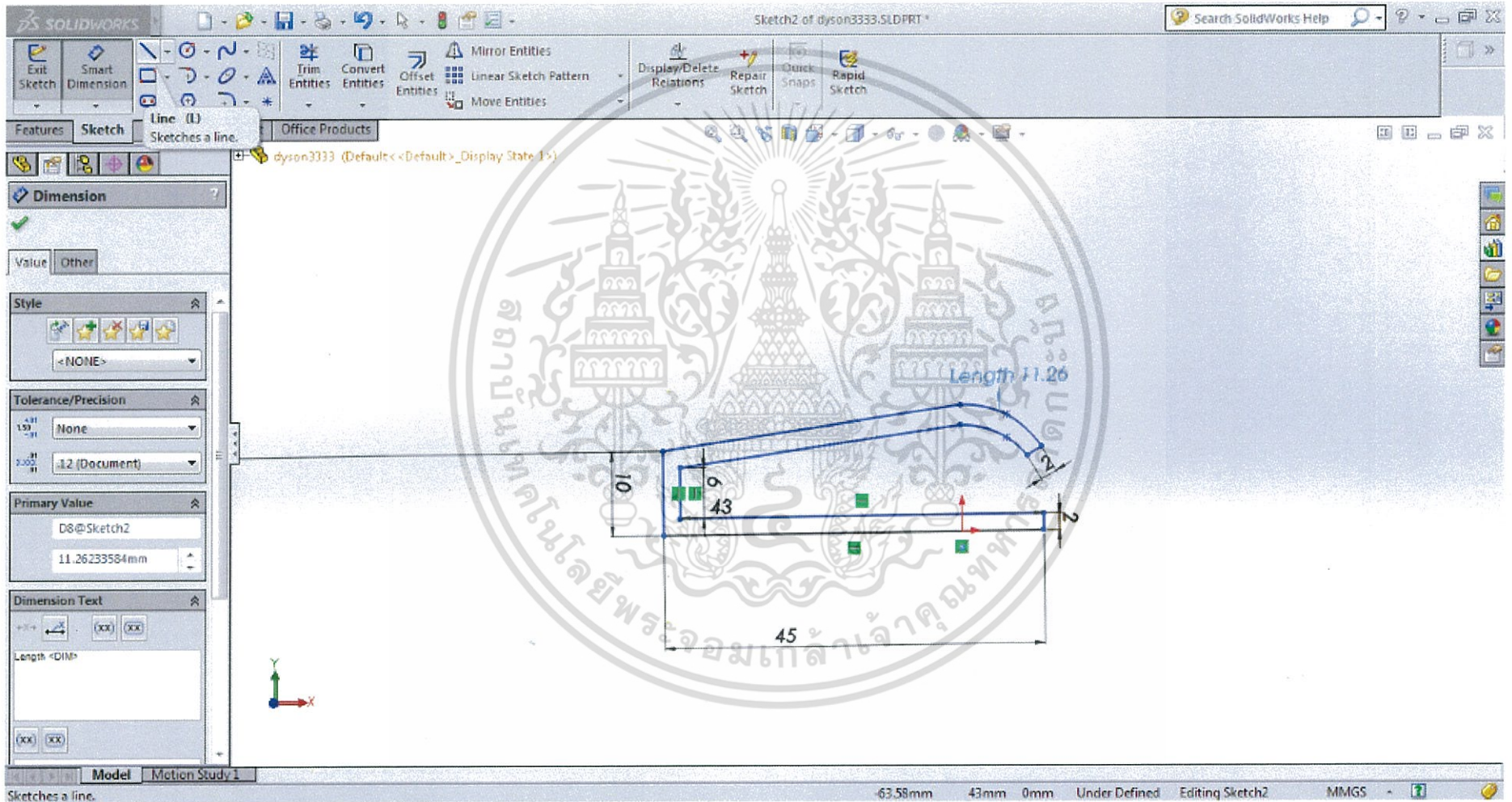
1. เปิดโปรแกรม SolidWorks เลือก New Part



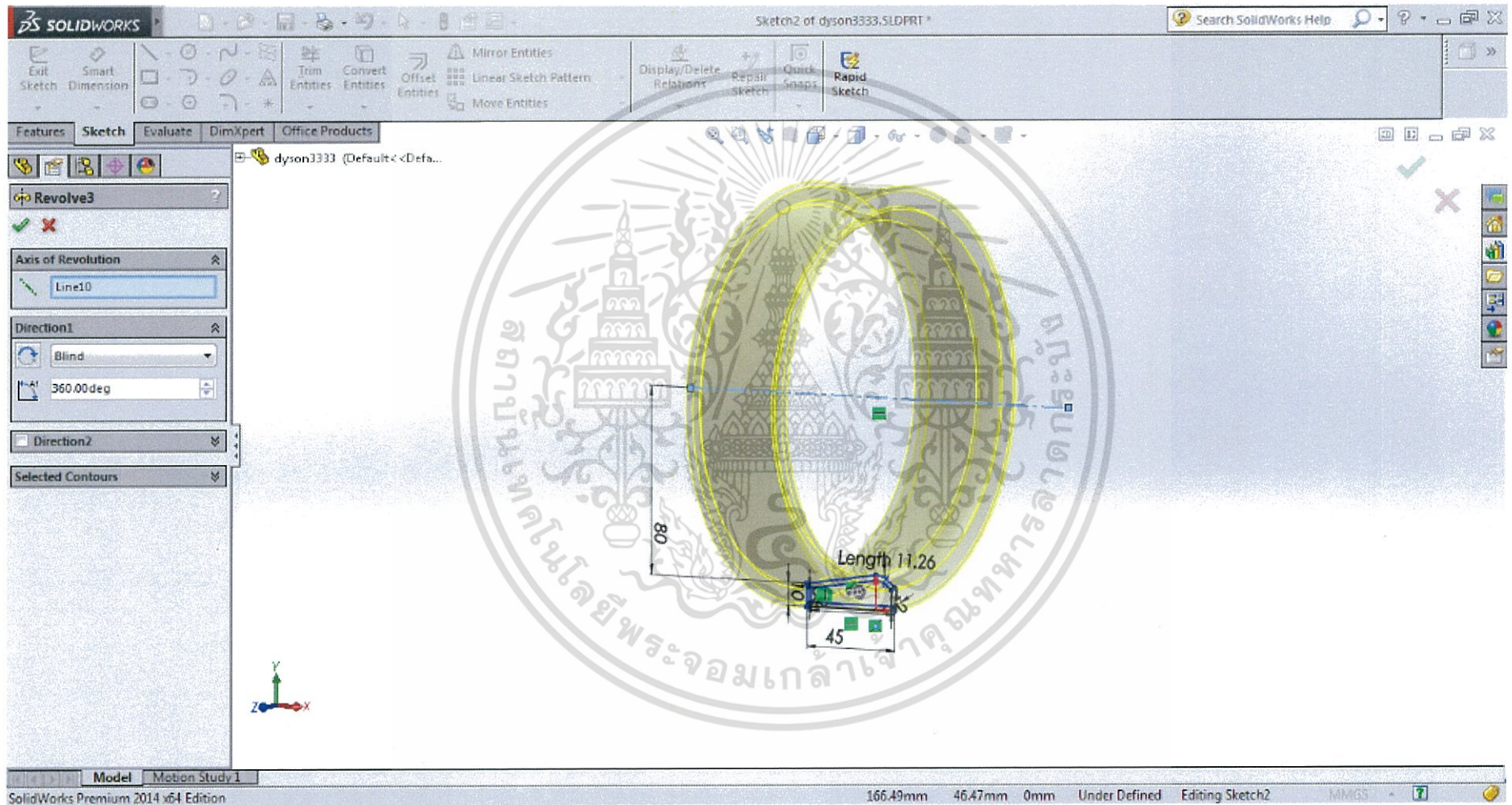
2. เลือก Right Plane



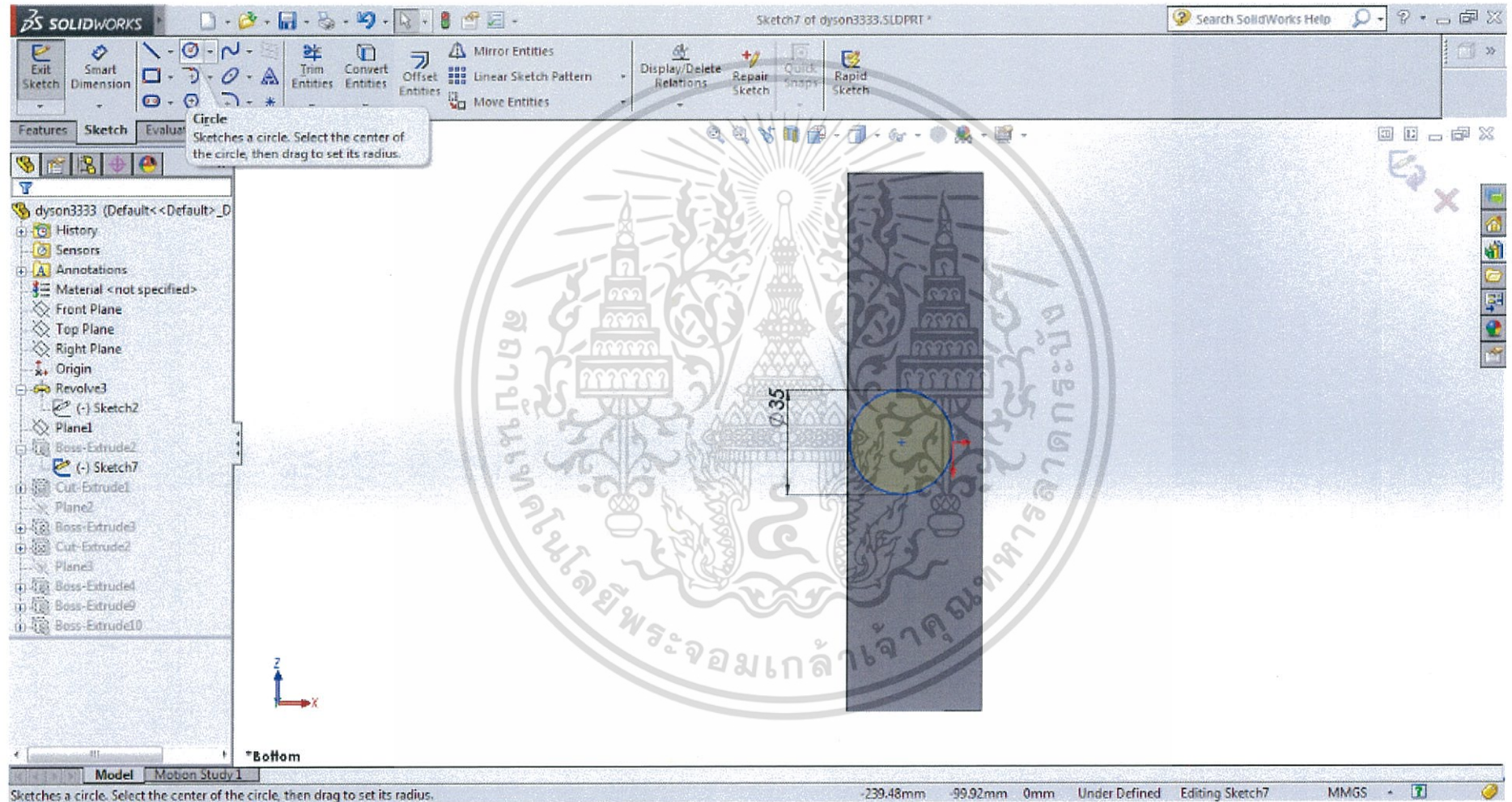
3. เลือกเครื่องมือ Line และ Tangent Arc วาดรูปร่างดังรูป



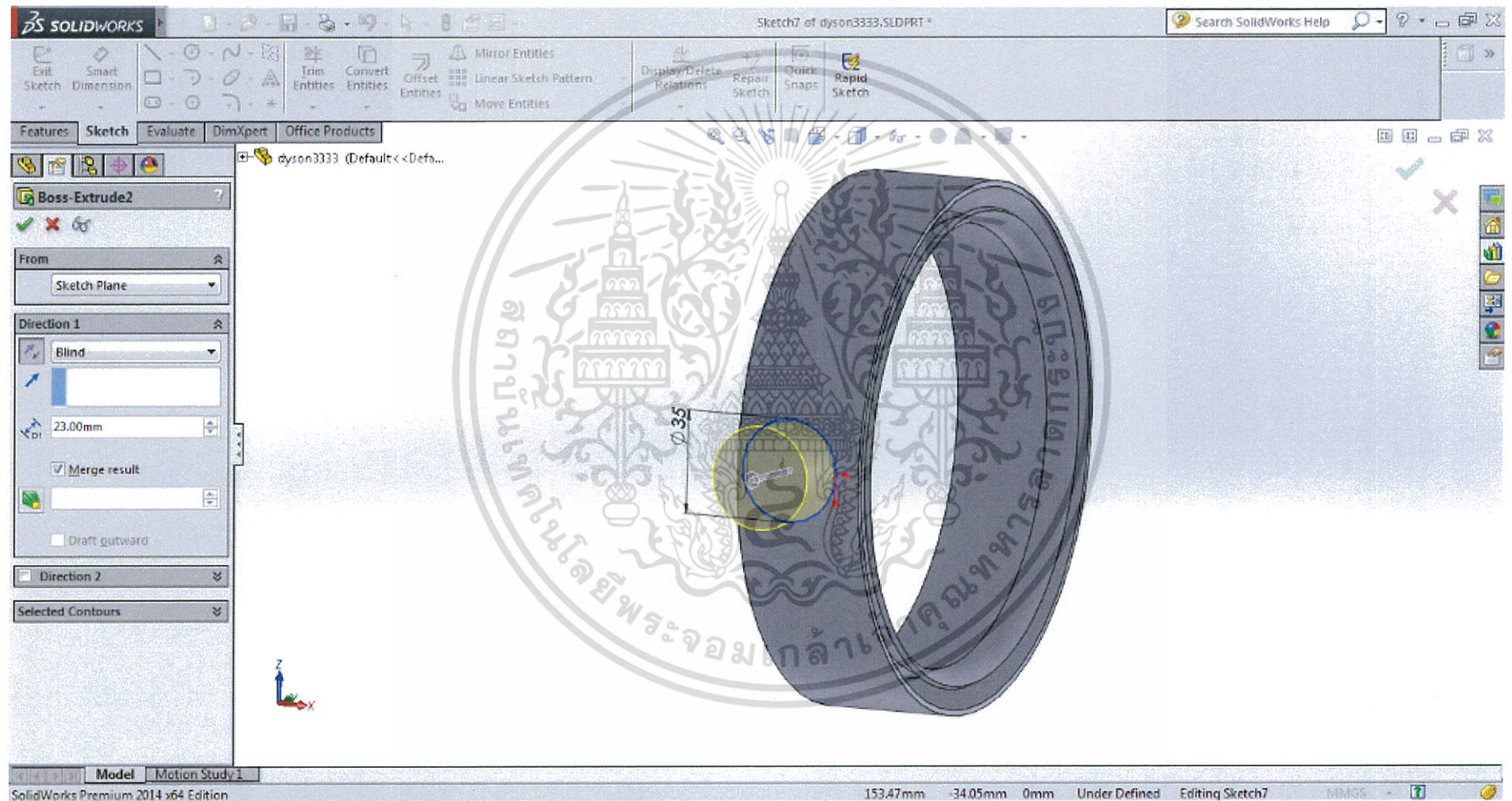
4. เลือกเครื่องมือ Revolve กำหนดขนาด



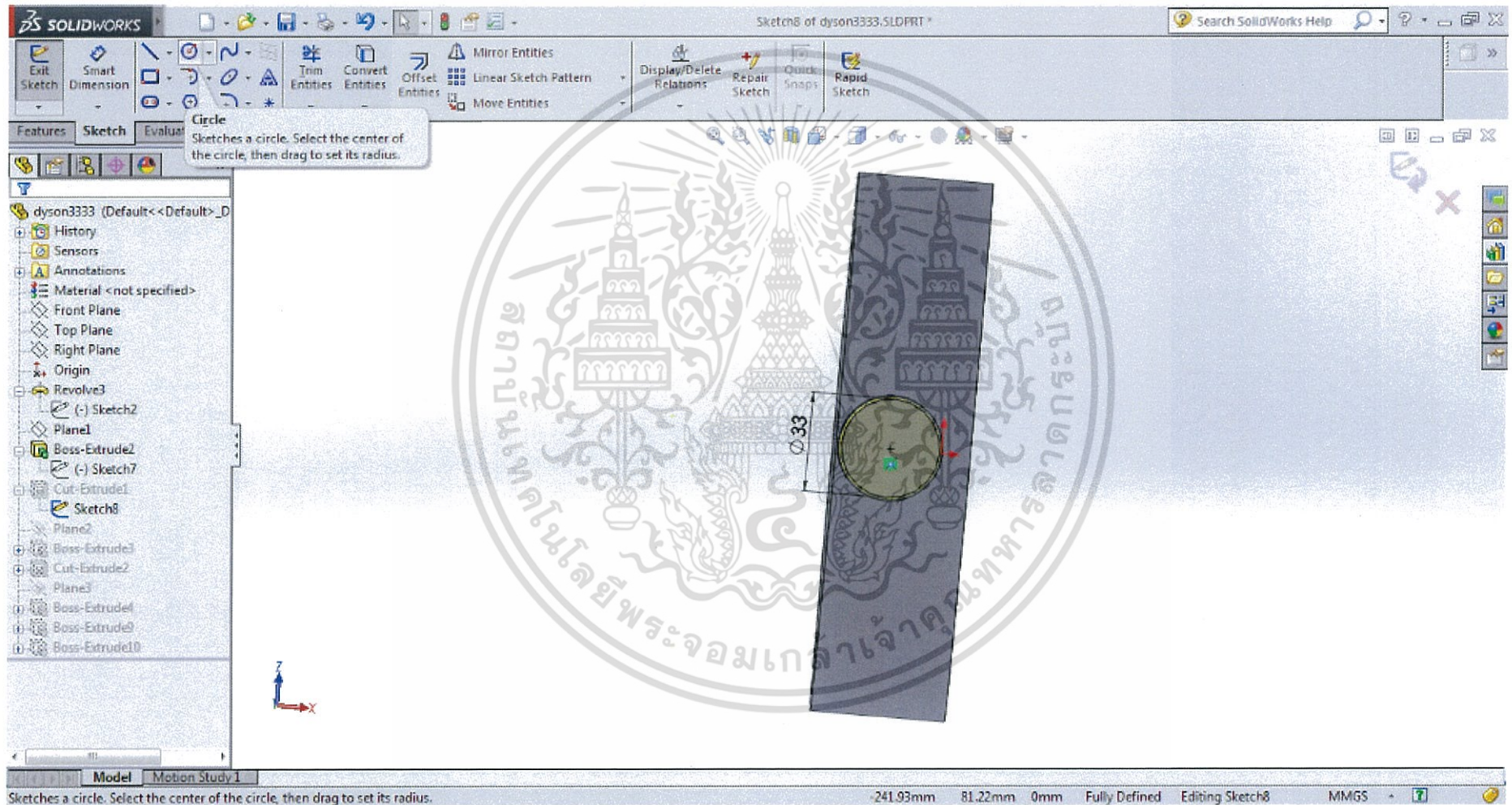
5. เลือกเครื่องมือ Circle วาดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm. ข้างซ้ายและขวาของชิ้นงาน



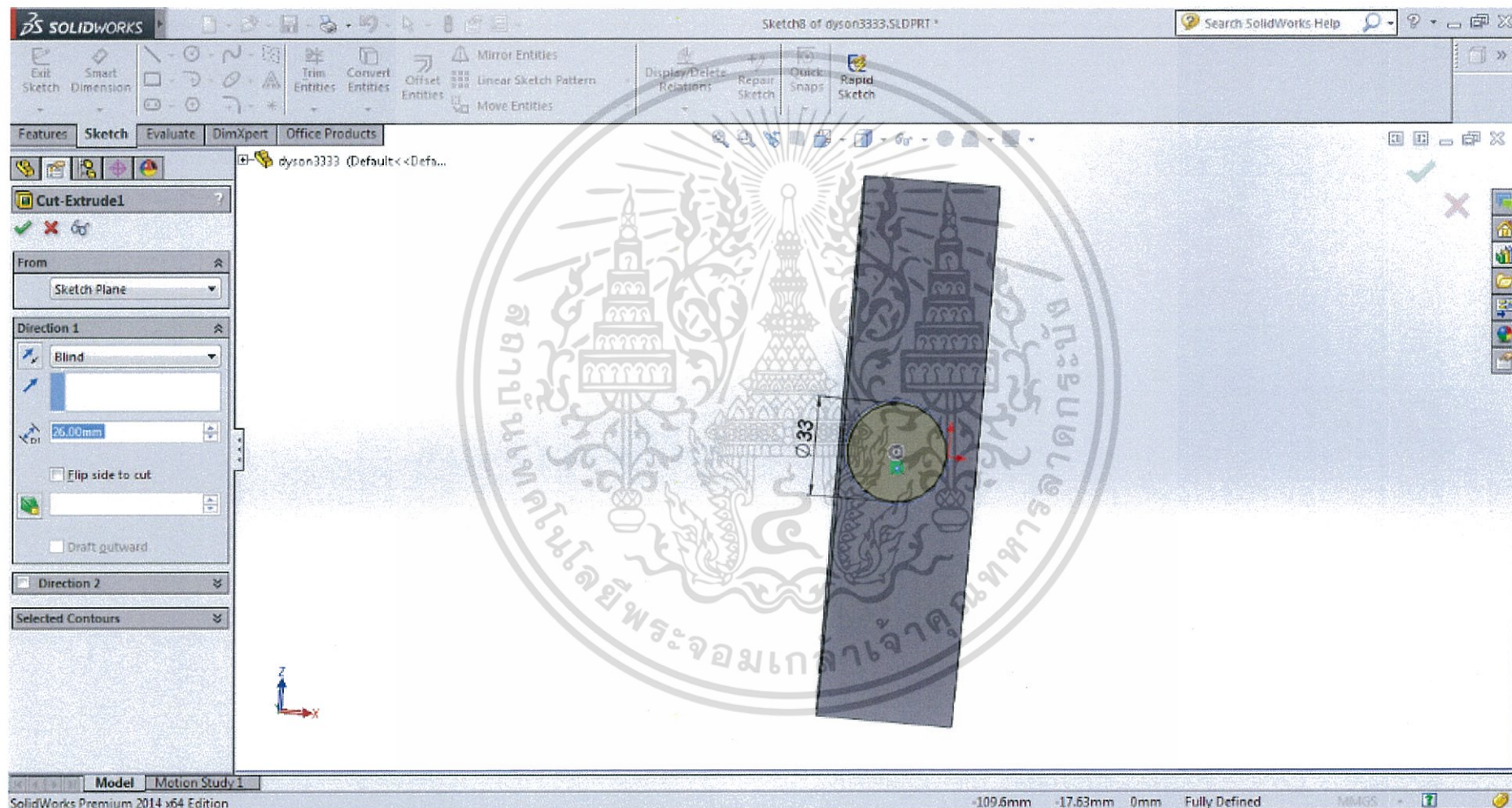
6. เลือกเครื่องมือ Boss-Extrude กำหนดขนาดทั้งสองด้านของชิ้นงาน



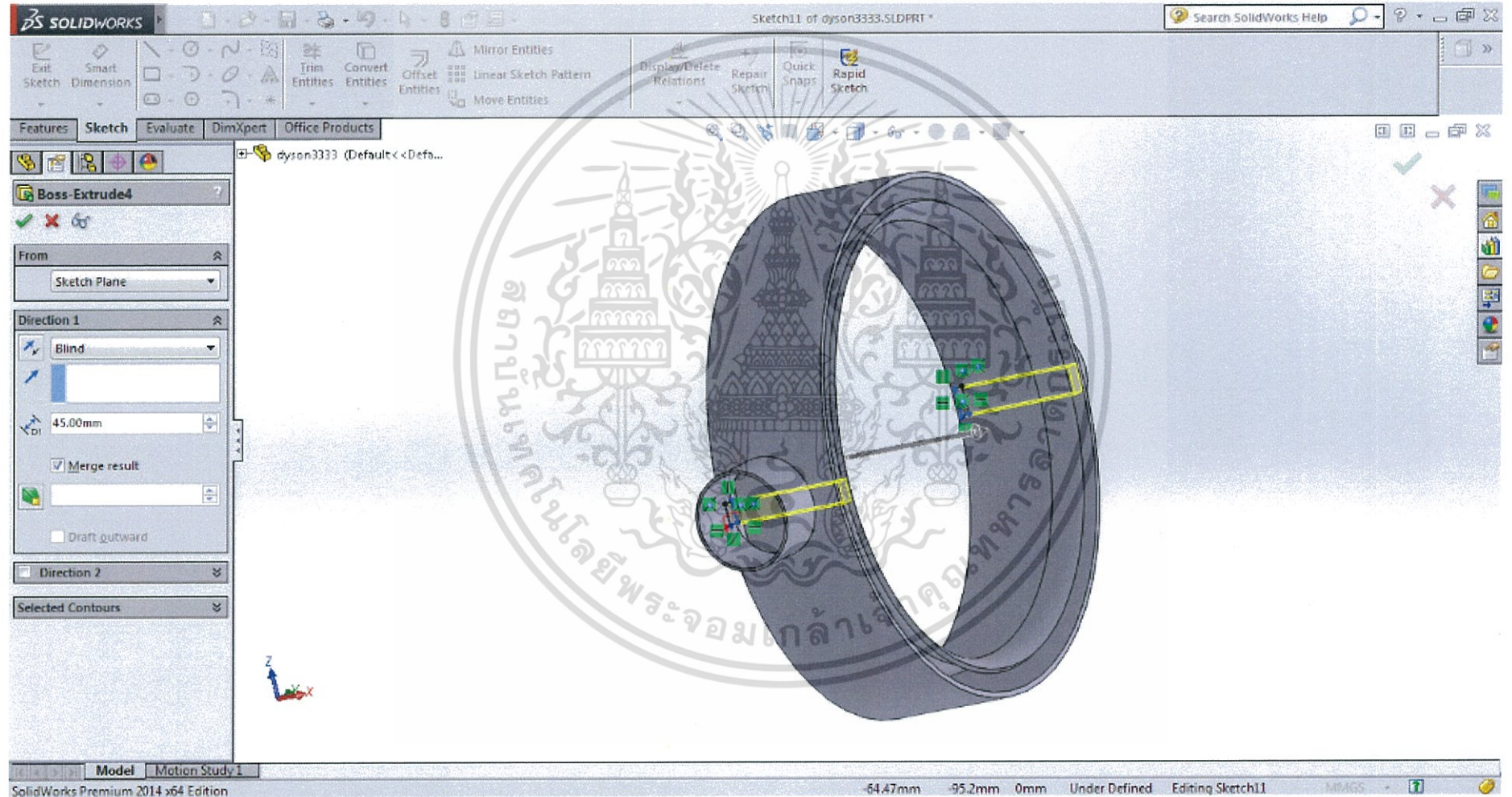
7. เลือกเครื่องมือ Circle วาดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 mm. ลงบนชิ้นงานที่ Boss-Extrude ข้างซ้ายและขวา



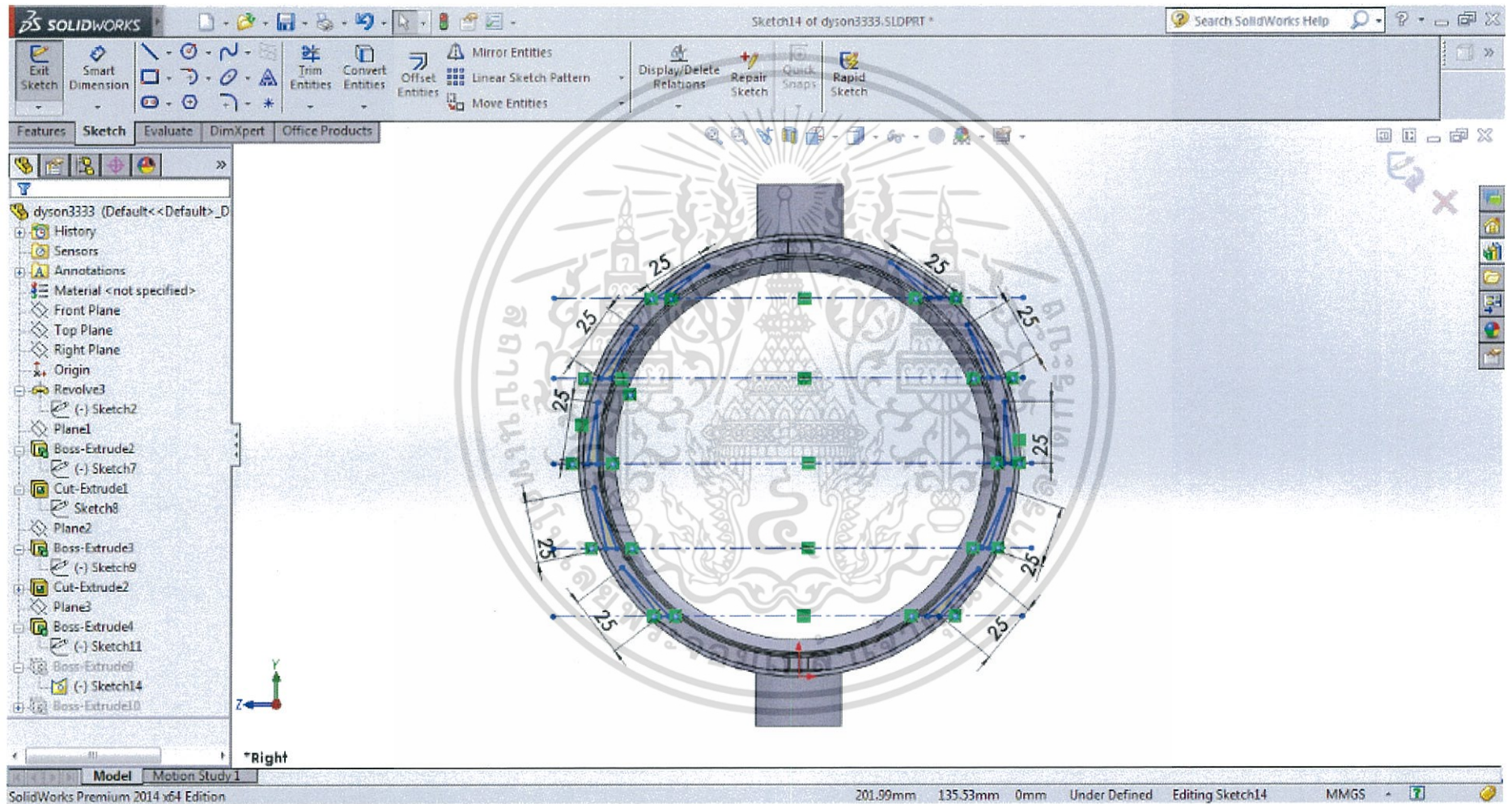
8. เลือกเครื่องมือ Cut-Extrude กำหนดขนาดทั้งสองด้านของชิ้นงาน



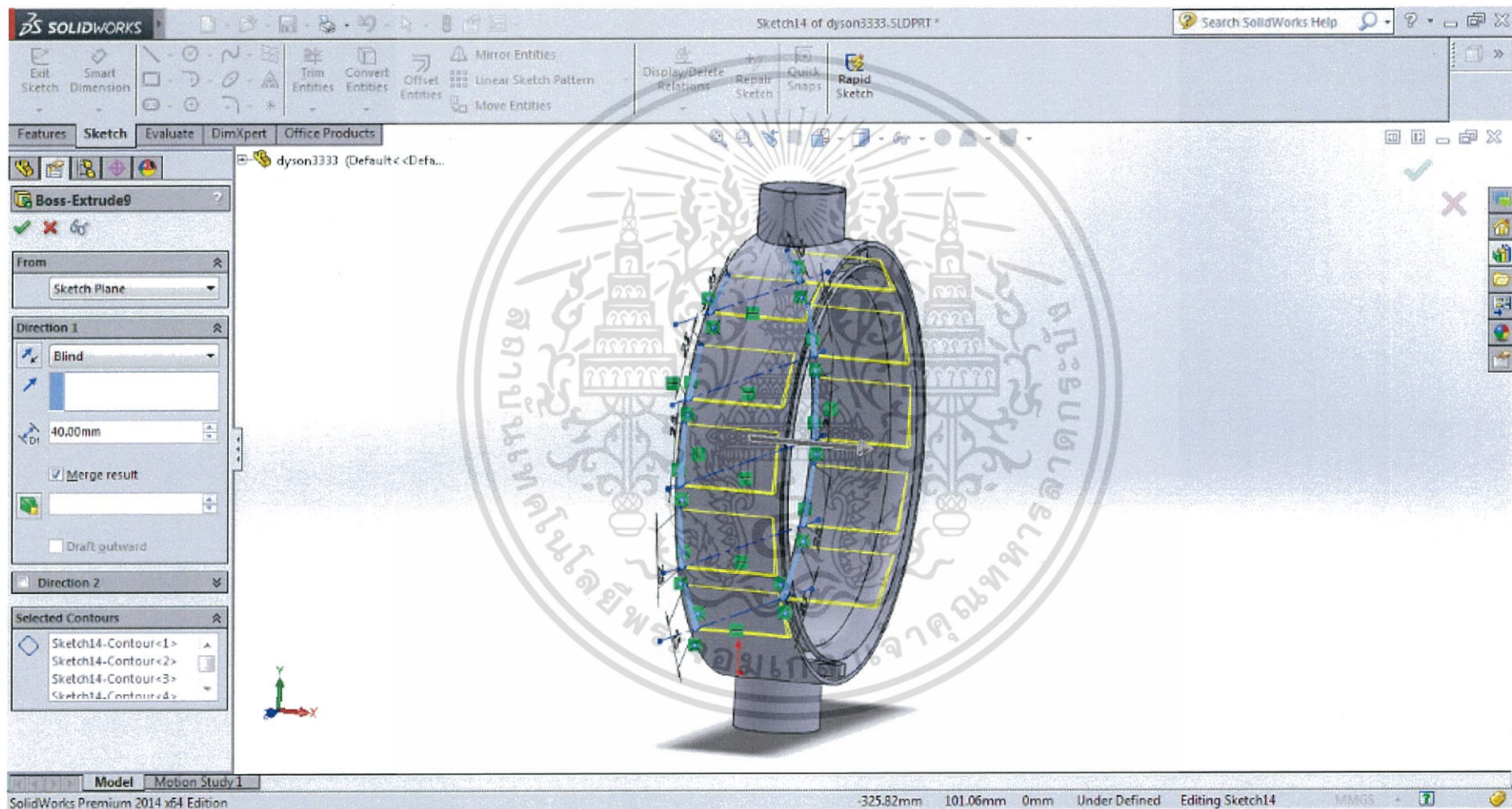
9. วาดรูปสี่เหลี่ยมลงบนบริเวณกึ่งกลางของของปากทางเข้า เลือกเครื่องมือ Boss-Extrude กำหนดขนาด



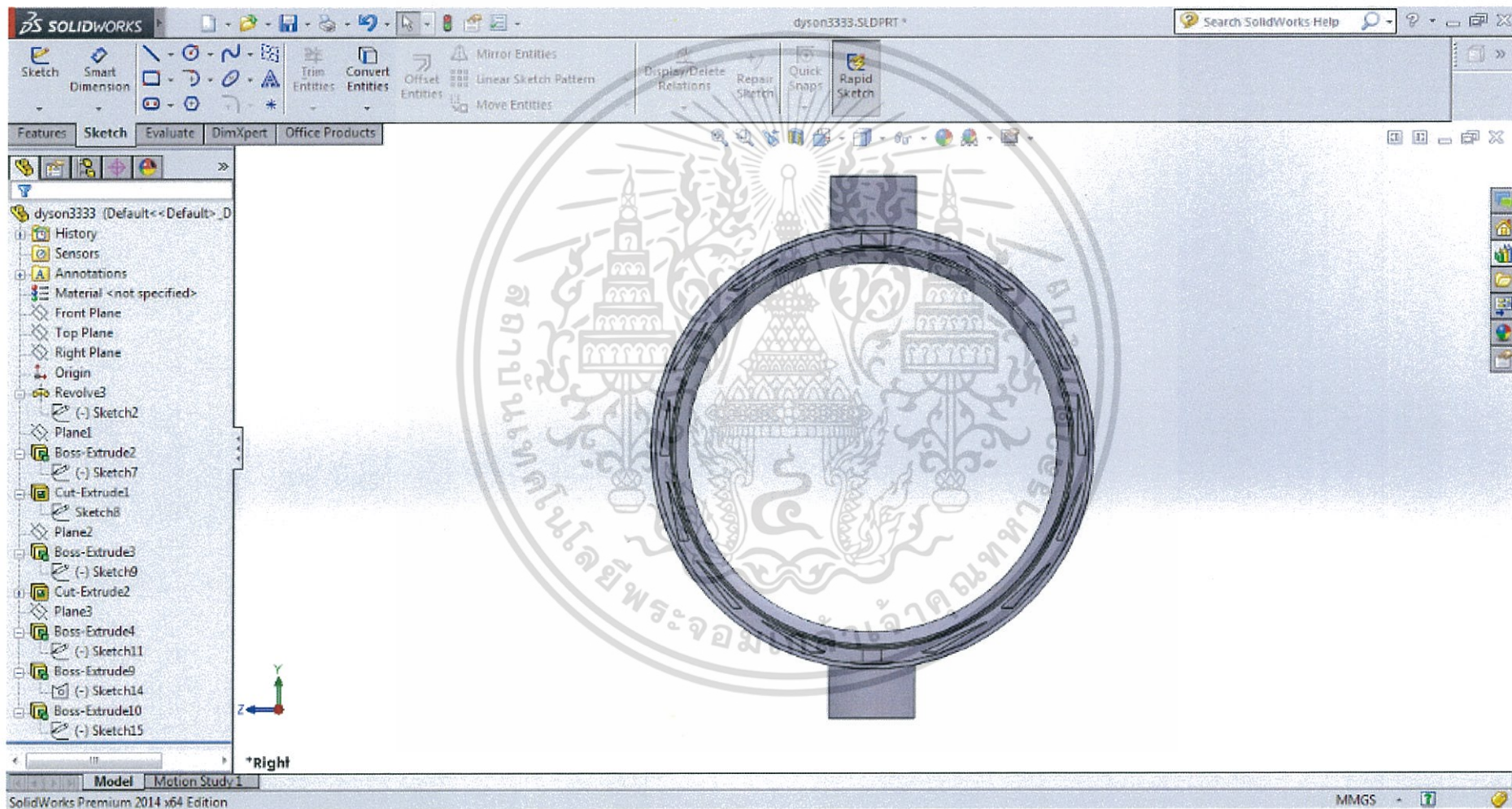
10. วาดรูปสามเหลี่ยมลงบนบริเวณให้เป็นรูป Fin



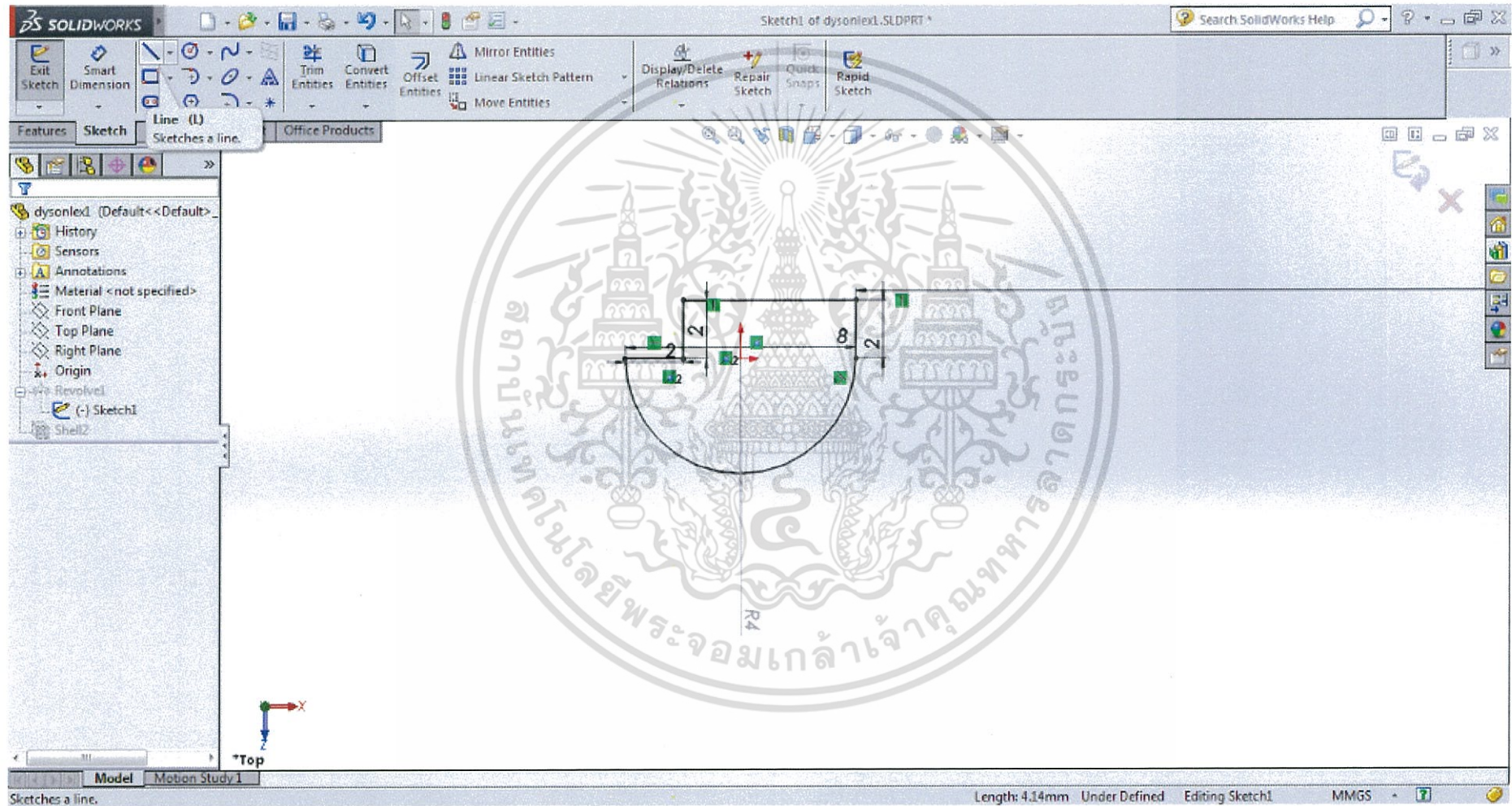
11. เลือกเครื่องมือ Boss-Extrude กำหนดขนาด



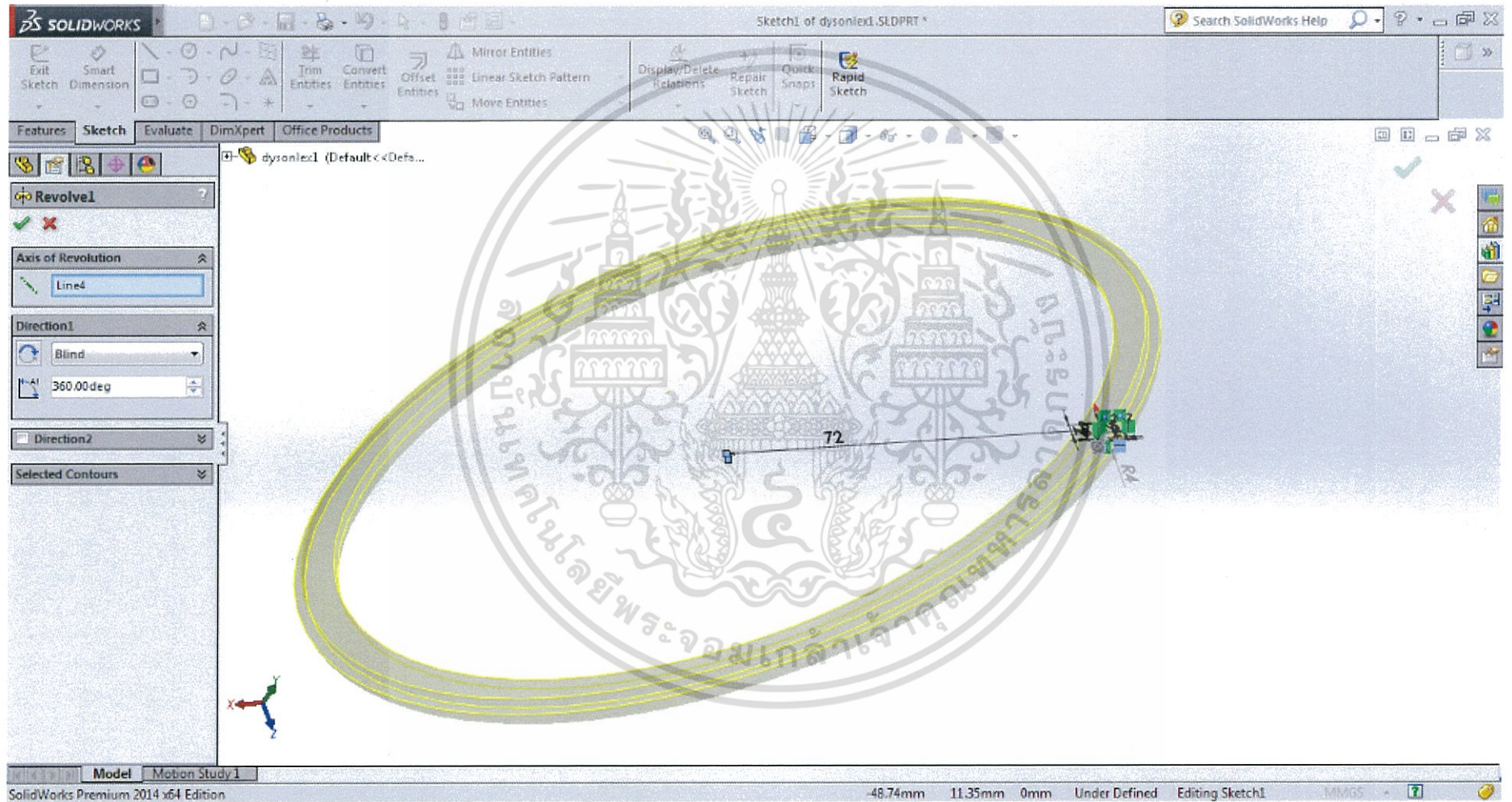
12. ได้ตัวชิ้นงานดังรูป



13. เปิดไฟล์ New Part วาดฝาชิ้นงาน



14. เลือกเครื่องมือ Revolve กำหนดขนาด



15. ได้ฝาชิ้นงานดังรูป

