

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและปัญหาที่นำไปสู่การค้นคว้าและวิจัย

อุโมงค์ลม เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมการไหลของอากาศ โดยให้อากาศที่ทราบ อุณหภูมิ ความดัน และ ความเร็ว เคลื่อนที่ผ่านแบบจำลอง และบังคับการไหลมีความราบเรียบมากที่สุดและเกิดการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด ผลที่ได้จากอุโมงค์ลม เป็นการให้แบบจำลองอยู่กับที่แล้วให้อากาศวิ่งผ่าน ก็จะมีลักษณะเหมือนกับการให้แบบจำลองวิ่งผ่านอากาศ ซึ่งมีประโยชน์ต่องาน การค้นคว้าวิจัย ตัวอย่างเช่น

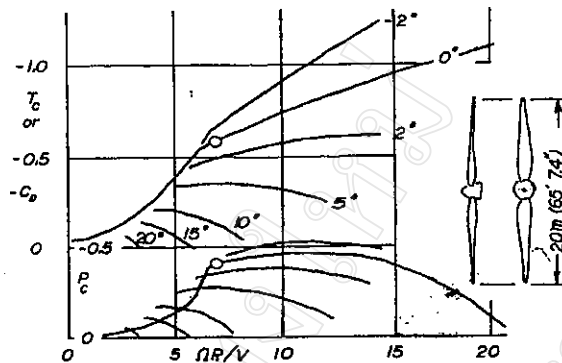
- 1.1.1 ระบบเผาไหม้ เช่น การศึกษาการเคลื่อนที่ผสมกันของของไหลในระบบเผาไหม้ เพื่อหาประสิทธิภาพการเผาไหม้
- 1.1.2 ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ เช่น การศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศในการกระจายลม
- 1.1.3 ระบบอากาศยาน เช่น การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ ผ่านอากาศ เพื่อศึกษาแรงต้าน แรงยก เป็นต้น

ในประเทศไทยได้มีการออกแบบสร้างและพัฒนาอุโมงค์ลมโดยการใช้วัสดุที่หาได้ภายในประเทศส่วนมากเป็นอุโมงค์ความเร็วลมต่ำและใช้กันภายในห้องทดลองของมหาวิทยาลัย เช่น สัมพันธ์ ไซยเทพ, 2527 ได้ออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ แบบเปิด ขนาด 90x120 ตารางเซนติเมตร ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ Pimpin and Bunyajitradulya, 1999 ได้ออกแบบและสร้างอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ แบบเป่า ขนาด 60x18 ตารางเซนติเมตรเพื่อใช้ในห้องทดลองของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยที่จะดำเนินการครั้งนี้เป็นการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมต่อจาก สัมพันธ์ ไซยเทพ โดยการออกแบบกลีบใบพัดใหม่มีภาคตัดเป็นรูปแพนอากาศซึ่งคอर्डและภาคตัดปีกคงที่ตลอดความยาวใบพัด ไม่มีการบิด และสามารถปรับมุมพิทช์ได้ตั้งแต่ 0-25 องศา รวมถึงศึกษาความสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นภายในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลมซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

สัมพันธ์ ไชยเทพ [2527] รายงานการวิจัยถึงการออกแบบสร้าง ปรับปรุงและประเมินประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ แบบเปิด โดยอุโมงค์ลมที่สร้างมีขนาดพื้นที่หน้าตัดในส่วนช่วงทำงานเท่ากับ 90×120 ตารางเซนติเมตร เป็นอุโมงค์ลมแบบดูด ใช้ใบพัด 6 กليب แบบปรับพิทช์ไม่ได้ การขับเคลื่อนใบพัดกระทำโดยใช้มอเตอร์แบบปรับความเร็วรอบได้ขนาดกำลังมอเตอร์ 2.2 กิโลวัตต์ ได้มีการทดลองตรวจสอบผลของอิทธิพลของการทำงานของพัดลมว่าเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดการควงของอากาศในช่วงทำงาน จึงได้ปรับปรุงโดยติดตั้งครีบกั้นควงด้านหลังช่วงทำงานจนทำให้การควงของอากาศหมดไป ซึ่งการควงของอากาศในช่วงทำงานนี้ ไม่เป็นที่ต้องการในการใช้งานจริง จากนั้นเป็นการทดลองที่ความเร็วลมต่างๆ เพื่อหาการแจกแจงความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานพบว่ามีความเร็วที่สม่ำเสมอตลอด แต่การหาการแจกแจงความเร็วในช่วงชั้นขีดผิวมิได้กระทำเนื่องจากเครื่องมือวัดไม่ละเอียดพอ ความเร็วลมสูงสุดที่กระทำได้ 8.1 เมตร/วินาที ที่ความเร็วรอบของใบพัด 717 รอบต่อนาทีซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของใบพัดที่การทำงานสูงสุดนี้เป็น 16.13 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมที่สร้างนี้ ยังได้เสนอแนะว่าจะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มกำลังขับ หรือออกแบบใบพัดใหม่

Larrabee and French [1983] ได้รายงานการวิจัยการออกแบบโรเตอร์เพื่อให้มีค่าความสูญเสียน้อยที่สุดโดยใช้ภาษาฟอร์แทรนในการวิเคราะห์ บนระบบปฏิบัติการแบบ RS-11 เรียกว่า HELICE ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้ สภาวะการแยกการไหลวิเคราะห์โดยวิธีของ Betz การหมุนวนของอากาศรอบใบพัดวิเคราะห์โดยวิธีของ Prandtl การหาความเร็วและลักษณะรูปร่างของโรเตอร์จะใช้วิธีอินทิกรัล มุมปะทะมีค่าอยู่ระหว่าง -90 ถึง 90 องศา และการประมาณความเร็วเหนี่ยวนำที่ใช้เป็นแรงยกโรเตอร์วิเคราะห์โดยวิธีของ Prandtl จากการออกแบบโรเตอร์แบบ HELICE ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เมตร สองใบพัด มีหน้าตัดรูปแพนอากาศแบบ NACA 4415 ซึ่งได้กราฟแสดงสมรรถนะของโรเตอร์ ดังรูป 1.1 กำลังงานที่ได้ 77,932 วัตต์ ความเร็ว 66.7 รอบต่อนาที ที่โรเตอร์และสัมประสิทธิ์กำลัง 40.28 เปอร์เซ็นต์ และสัมประสิทธิ์แรงต้านของโรเตอร์ -0.575 ที่มุมใบพัด 0 องศา ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ในการออกแบบ



รูป 1.1 กราฟแสดงสมรรถนะการออกแบบโรเตอร์แบบ HELICE
ที่มา : Larrabee and French, 1983

วิทยา มูลเมือง และ อิศรัฏ เวียงอำพล [2538] ได้ออกแบบสร้างและทดสอบกลไกควบคุมการปรับมุมได้ของใบพัด โดยเป็นชนิด 2 ใบพัดแบบสมมาตร โดยอาศัยหลักการทำงานของเพลาชะร้องและสลักเลื่อนตามร่องที่หมุนตามกันและสามารถเลื่อนได้ตามแนวแกนเพลาโดยการควบคุมผ่านก้านโยกส่งแรงผ่านก้านส่งแรงเพื่อควบคุมชุดเลื่อนที่ประกอบด้วยสลักเลื่อนตามร่องและตลับลูกปืน โดยที่สลักเลื่อนตามร่องจะติดอยู่กับลูกหมากทองเหลืองสองตัว โดยแต่ละตัวจะมีสกรูยึดติดกับลูกหมากทองเหลืองที่ติดอยู่กับแกนปรับมุมปะทะของใบพัดแต่ละข้าง ใบพัดทำจากอลูมิเนียมแผ่นนำมาพับขึ้นรูป และใช้หมุดยึดตามแนวรัศมี และตลับลูกปืนมีคกลมกันรับแรงในแนวแกนอย่างละหนึ่งตัว ที่มุมใบพัดออกแบบให้ระนาบของใบพัดตั้งฉากกับเพลาชะร้องทันทีที่ระนาบของใบพัดเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของชุดใบพัดในกรณีนำไปติดตั้งบนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ จากการทดสอบพบว่า กลไกทำงานได้อย่างราบรื่น และได้ประสิทธิภาพใบพัดสูงสุดคือ 75.4 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที และมุมปะทะ 20 องศา

Pimpin and Bunyajitradulya [1999] รายงานถึงการออกแบบพัฒนาอุโมงค์ลมแบบเป่า ขนาด 60x18 ตารางเซนติเมตร มุมกว้าง และติดตั้งตะแกรงลวดที่ตีฟิวเซอร์ (Diffuser) โดยใช้อุปกรณ์ภายในประเทศและตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถภาพของอุโมงค์ลม โดยประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลมดังตาราง 1.1 และเขียนค่าความสัมพันธ์ของความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในอุโมงค์ลมในรูปแบบความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน (V_T) โดยค่าความสูญเสียจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ตะแกรงลวดประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดที่

ใหญ่กว่าช่วงทำงาน 1.12 เท่า และมีความเร็วในการไหลสูง ซึ่งสามารถลดการสูญเสียโดยการติดตั้งตะแกรงลวดให้มีพื้นที่เท่ากับพื้นที่ในช่วงทำงาน

ตาราง 1.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียแต่ละส่วนภายในอุโมงค์

Component	Loss Coefficient (K_i)	% Loss
Filter (screens)	4.1	70
Flexible duct	0.26	5
Settling duct	0.3	5
Screened diffuser	0.14	2
Settling chamber	0.06	1
Contraction	0.01	0
Test section (not installed)	-	-
Free jet	1	17
Total	5.9	100

ที่มา : Pimpin and Bunyajitradulya, 1999

Sathapornnanon, *et al.* [1999] รายงานวิจัยเกี่ยวกับการติดตั้งตะแกรงลวดภายในคิฟฟิวเซอร์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งภายในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ แบบเป่า ขนาด 60x18 ตารางเซนติเมตร โดยคิฟฟิวเซอร์มีขนาดทางเข้า 45x45 ตารางเซนติเมตร ทางออก 100x100 ตารางเซนติเมตร ความยาวตามแนวแกน 120 เซนติเมตร และมีมุมของคิฟฟิวเซอร์ $2\theta = 26$ องศา, $AR = 5$ ในงานวิจัยจะทำการติดตั้งตะแกรงลวดจำนวน 5 ชุดมีขนาดช่องตาข่ายเบอร์ 8 เส้นลวดขนาด 0.5 มิลลิเมตร $\beta = 0.71$ และ $K' = 0.58$ โดยแต่ละตะแกรงลวดหลังจากติดตั้งจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดของคิฟฟิวเซอร์ ประมาณ 2.5 เซนติเมตร พบว่าในกรณีติดตั้งตะแกรงลวดตั้งแต่ 3 ชุด ถึง 5 ชุด สามารถป้องกันการแยกการไหลอยู่ภายในช่วง ± 6 เพอร์เซ็นต์และสามารถป้องกันการไหลแบบไม่สม่ำเสมอมากกว่า 90 เพอร์เซ็นต์ จากทางเข้าถึงทางออก และจากการศึกษาของ Mehta [1977] แนะนำว่าการติดตั้งตะแกรงลวดแบบบางส่วน คือไม่เต็มพื้นที่หน้าตัดสามารถลดสัมประสิทธิ์ของความสูญเสียประมาณ 50 เพอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับแบบเต็ม

Sakulyanontvittaya, *et al.* [1999] ได้รายงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนา ช่วงจัดรูปแบบการไหล และช่วงเร่งความเร็วภายในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำ แบบเป่าขนาด 60x18 ตารางเซนติเมตร โดยช่วงจัดรูปแบบการไหลมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 100 x 100 ตารางเซนติเมตร ความยาว 134 เซนติเมตร ส่วนภายในจะติดตั้งตะแกรงลวดเบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร $\beta = 0.82$ และ $K' = 0.27$ และ ชุดรีฟิ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ความยาว 125 มิลลิเมตร ซึ่งมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.3 และสูงประมาณ 60 เซลต่อความกว้างของช่วงจัดรูปแบบการไหล ส่วนช่วงเร่งความเร็วจะออกแบบสร้างตามสมการโพลีโนเมียลดีกรี 4 และจากการทดสอบพบว่าความเร็วสูงสุดของอุโมงค์ลมโดยวัดที่ทางออกของช่วงเร่งความเร็ว มีความเร็วสูงสุด 13.95 เมตร/วินาที ความไม่สม่ำเสมอ 0.2 เมตร ต่อวินาที และความไม่สม่ำเสมอน้อยกว่า ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ความหนาขอบน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร และที่ความเร็ว 7.79 เมตรต่อวินาที ความไม่สม่ำเสมอน้อยกว่า ± 2.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ความหนาขอบน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร

Habali and Saleh [2000] ได้รายงานเกี่ยวกับการออกแบบทดสอบและผลิตใบพัดกังหันลมที่พื้นที่หน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมแบบผสมด้วยวัสดุพลาสติกเสริมเส้นใยแก้ว โรเตอร์จะถูกออกแบบที่อัตรากำลังขนาด 20 กิโลวัตต์ และเมื่อหากค่าความสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ส่งกำลังงานได้กำลังงานที่โรเตอร์เท่ากับ 15 กิโลวัตต์ ความเร็ว 9.5 เมตรต่อวินาที และสัมประสิทธิ์กำลัง 40 เปอร์เซ็นต์ ออกแบบได้โรเตอร์ที่มีพื้นที่หน้าตัด 93.3 ตารางเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10.4 เมตร จำนวนใบพัด 3 ใบ ความหนา 20 มิลลิเมตร ซึ่งลักษณะของใบพัดจะเป็นหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยมแบบผสมคือด้านโคนของใบพัดจะเป็นหน้าตัดแบบ NACA 63-621 ส่วนด้านปลายของใบพัดเป็นหน้าตัดแบบ FX66-5-19-6 ในการวิเคราะห์ภาระที่กระทำ ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นบนใบพัดจะใช้วิธีการของไฟไนต์อีลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม ARISE ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่ด้านโคนรับแรงแนวตั้งของใบพัดติดกับหน้าแปลนขนาด 9.348 เมกกะปาสกาล เมื่อเปรียบเทียบกับความเค้นของวัสดุพลาสติกเสริมเส้นใยแก้ว พบว่ามีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 6.7 ความเครียดสูงสุดมีขนาด 0.15 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ของ Jansen คือ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และค่าการโก่งตัวที่ปลายใบพัดเท่ากับ 104.3 มิลลิเมตร ขณะที่มีการกระทำ สรุปได้ว่ามีความปลอดภัยสามารถใช้งานได้ ส่วนการทดสอบจะทำการทดสอบ 2 วิธีคือ การทดสอบภาระที่กระทำแบบสถิตย์ และการทดสอบสมรรถนะของโรเตอร์ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าใบพัดสามารถรับภาระที่เกิดได้ 10 เท่าของช่วงทำงานปกติ และมีสัมประสิทธิ์กำลัง 41.2 เปอร์เซ็นต์

Wittner and Moller [2000] รายงานการวิจัยเกี่ยวกับสมรรถนะของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด ที่ให้เกี่ยวกับการจำลองการไหลของลมธรรมชาติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโครงสร้าง การวิจัยจะทำการประเมินสมรรถภาพของอุโมงค์ลม โดยจะทำการวัดความเร็วเฉลี่ยและการแกว่งตัวของความเร็วด้วยเครื่องมือวัดความเร็วแบบ Hot wire anemometer และการทดลองจะถูกแสดงในรูปของการกระจายความเร็วและความหนาแน่นของการไหลวน ซึ่งเงื่อนไขที่ขอบของการทดลองจะใช้วิธีของ Counihan [Cook, 1978] และ Standag [Cook, 1978] ในการจำลองลมธรรมชาติของบรรยากาศ พบว่าการกระจายความเร็วเฉลี่ยสม่ำเสมอ โดย Counihan ที่ 27 เมตร ต่อวินาที และ Standag ที่ 25 เมตรต่อวินาที และความหนาแน่นของการไหลวนทั้งสองวิธีได้ค่าต่ำกว่าค่าของสมการ Harris & Davenport [Blessmann, 1995] โดยแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นที่บริเวณ ผนังด้านล่าง

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพในการทำงานของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด โดยการเปลี่ยนใบพัดของพัดลมชนิดไหลตามแนวแกนเพลลาจากแบบแผ่น (Flat plate) เป็นแบบหน้าตัดรูปแพนอากาศ

1.3.2 เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ความดันสูญเสียเทียบกับสัมประสิทธิ์ความสูญเสียและความเร็วช่วงทำงานของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด

1.3.3 ออกแบบและสร้างพัดลมชนิดไหลตามแนวแกนเพลลาที่มีภาคตัดขวางใบพัดแบบรูปแพนอากาศ และสามารถปรับมุมพิทช์ ที่ใช้งานกับอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดโดยให้ได้ความเร็วและประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ต้นกำลังชุดขับแบบเดิม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและประยุกต์

1.4.1 เป็นแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด

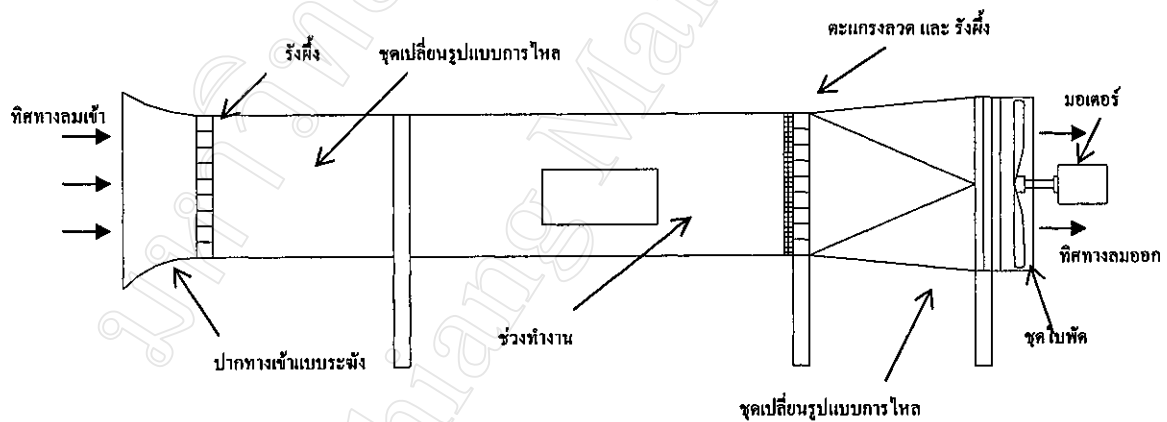
1.4.2 สามารถนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด

1.4.3 ใช้เป็นอุปกรณ์ทดสอบและงานวิจัยเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ไปในอากาศของเทวดูต่างๆ เช่น การศึกษาทดลองประสิทธิภาพของกังหันลมจำลองชนิดต่างๆ เป็นต้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบเปิด ความเร็วต่ำ ชนิดดูดอากาศ ใช้กำลังขับเคลื่อนมอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 3.7 กิโลวัตต์ 1,450 รอบต่อนาที ที่ 50 เฮิร์ต สามารถปรับความเร็วรอบได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ โดยมีโครงสร้างของอุโมงค์ลมที่มีอยู่แล้วนี้ดังรูป 1.2 และรายละเอียดดังนี้

- 1.5.1.1 ปากทางเข้าแบบระฆัง ขนาดหน้าตัดทางเข้า 121x180 ตารางเซนติเมตร ขนาดหน้าตัดทางออก 90x120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 72 เซนติเมตร
- 1.5.1.2 ช่วงจัดรูปแบบการไหล ขนาดหน้าตัด 90x120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 120 เซนติเมตร
- 1.5.1.3 ช่วงทำงาน ขนาดหน้าตัด 90x120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 240 เซนติเมตร
- 1.5.1.4 ช่วงเปลี่ยนหน้าตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางออก 90 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัดทางเข้า 102x120 ตารางเซนติเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร
- 1.5.1.5 ใบพัดของพัดลมตามแนวแกนก่อนการเปลี่ยนแปลง เป็นแบบแผ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร 6 ใบ และไม่สามารถปรับมุมพิทช์ได้



รูป 1.2 แสดงส่วนประกอบต่างๆภายในอุโมงค์ลม

ที่มา : สัมพันธ์ : ไซยเทพ, 2527

1.5.2 พิจารณาการออกแบบพัดลมตามแนวแกนในทางอุดมคติ กล่าวคือ จำนวนใบพัดเป็นอนันต์ และไม่คิดแรงเสียดทานที่ผิวของใบพัด

1.5.3 สมมติฐานการออกแบบใบพัด คือ หน้าตัดแบบรูปเพนอากาศ คอร์ดและภาคตัดปีกคงที่ตลอดความยาวใบพัด ไม่มีการบิด และสามารถปรับมุมพิทช์ ตั้งแต่ 0-25 องศา ตัวอย่างตามภาคผนวก ข.

1.5.4 ในการคำนวณหามวลอากาศที่เคลื่อนผ่านช่วงทำงาน จะสมมติการไหลที่เกิดขึ้นในช่วงทำงานของอุโมงค์ลมแบบความเร็วต่ำ เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอตลอดทั้งภาคตัด และไม่ขึ้นกับเวลา

1.5.5 ความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในอุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิด จะแสดงอยู่ในรูปฟังก์ชัน $f(V_T)$ โดย V_T คือ ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน

1.5.6 ความหนาแน่นและอุณหภูมิสำหรับการคำนวณเป็นความหนาแน่นและอุณหภูมิเฉลี่ยของสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ

1.5.7 สมมติให้อากาศมีคุณสมบัติเป็นก๊าซอุดมคติตลอดการวิจัย