

การออกแบบระบบลดแรงต้านขั้นสูงสำหรับรถแข่งนักศึกษา

ADVANCED DRAG REDUCTION SYSTEM FOR FORMULA STUDENT VEHICLE



ณัฐดนัย เซะวิเศษ

พลิษฐ์ชัย เบญจพงศ์

สุพิชญา แหลมผึ้ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบระบบลดแรงต้านขั้นสูงสำหรับรถแข่งนักศึกษา

ADVANCED DRAG REDUCTION SYSTEM FOR FORMULA STUDENT VEHICLE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADVANCED DRAG REDUCTION SYSTEM FOR FORMULA STUDENT VEHICLE



NADDANAI SEVISET
PASITCHAI BENJAPHONG
SUPHITCHAYA LAMPUNG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY

LADKRABANG 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ADVANCED DRAG REDUCTION SYSTEM FOR FORMULA STUDENT VEHICLE

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐดนัย เซะวิเศษ รหัสประจำตัว 62010268
2. นายพลิชฐ์ชัย เบญจพงศ์ รหัสประจำตัว 62010608
3. นางสาวสุพิชญา แหลมผึ้ง รหัสประจำตัว 62010971



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบระบบลดแรงต้านขั้นสูงสำหรับรถแข่งนักศึกษา

นายณัฐดนัย	เซเวียเศษ	รหัสประจำตัว 62010268
นายพลิชฐ์ชัย	เบญจพงศ์	รหัสประจำตัว 62010608
นางสาวสุพิชญา	แหลมผึ้ง	รหัสประจำตัว 62010971
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2565		

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์ระบบลดแรงต้าน (Drag Reduction System) ที่สามารถปรับองศาของ Rear wing เพื่อช่วยการลดแรงต้านของกระแสลมที่ปะทะและส่งผลให้มีการเกิดดาวฟอร์ชน้อยลง เราจึงออกแบบให้ DRS (Drag Reduction System) ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดด้วยการออกแบบ วิเคราะห์ และเลือกวัสดุที่เหมาะสม โดยในโครงการนี้ทำการออกแบบระบบลดแรงต้าน (Drag Reduction System) ของรถแข่งนักศึกษาภายใต้เงื่อนไขของกฎการแข่งขัน Formula student โดยมีการออกแบบลักษณะขนาดรูปร่างจากสูตร ทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ แล้วนำมาสร้างแบบจำลอง 3D เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ภาพรวมทั้งหมดเพื่อดูความเหมาะสม จากนั้นทำการติดตั้ง Actuator เพื่อทำให้แผ่น Flap Rear wing มีการขยับได้ ตามความต้องการของนักแข่ง จากการทดลองพบว่าต้องเพิ่มความดันในถังลมอย่างน้อย 2200 psi จึงจะเพียงพอต่อการแข่งขันแบบ endurance ที่มีการวิ่งทั้งหมด 22 รอบ ตามกฎแล้วในการวิ่งแต่ละรอบสามารถใช้งานระบบ DRS ได้ทั้งหมด 2 ครั้ง ซึ่งในการใช้งานแต่ละรอบใช้ความดัน 0.3 MPa ดังนั้นถึงลมที่ความดัน 2200 psi สามารถใช้งานได้ทั้งหมด 50 ครั้ง

คำสำคัญ : ระบบลดแรงต้านอากาศ, รถแข่งนักศึกษา

ADVANCED DRAG REDUCTION SYSTEM FOR FORMULA STUDENT VEHICLE

NADDANAI SEVISET 62010268

PHASITCHAI BENJAPHONG 62010608

SUPHITCHAYA LAMPUNG 62010971

Asst. Prof. Dr. Chinda Charoenphonphanich Advisor

Year 2022

ABSTRACT

The aim of this thesis is to create a drag reduction system (DRS) that can adjust the degree of the rear wing to reduce the drag system of the opposing wind current, resulting in a lower occurrence of downforce. Thus, we created the drag reduction system with the highest efficiency concerning design, analysis, and appropriate material selection. In this project, the design of the drag reduction system of student competition cars is under the formula student competition rules. Furthermore, the design of the body, size, and shape is considered from formulas, theories, and research studies and then brought about by making a 3D model so that we can have information to analyze overall to assess appropriateness. Next, Actuator are installed to allow the rear wing flap to be moved as required by racer. Experiments have shown that a compressed air tank must be filled to at least 2200 psi to be sufficient for an endurance race of 22 laps. Each operation uses a pressure of 0.3 MPa, so a 2200 psi compressed air cylinder can be used a total of 50 times.

Key word: Drag reduction system (DRS), Formula student

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2.....	3
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.3.1 ดาวน์ฟอร์ซ (Downforce).....	4
2.3.2 แรงต้านอากาศ.....	6
2.3.3 แรงยก.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน (CL),(CD)	7
2.3.5 องศาการปะทะ (Angle of attack) ทฤษฎีปีก (wings Theory)	8
2.3.6 อัตราการไหลของอากาศ	11
2.4 ปีกหลัง	11
2.4.1 Actuators	14
2.4.2 ชนิดของ Actuators	15
2.4.3 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve).....	18
2.4.4 Aluminum Compressed Air Tank.....	21
2.4.5 ตัวปรับแรงดันลม (Air Regulator)	22
2.4.6 ตัวกรองลมดักน้ำ (Filter).....	23
บทที่3.....	23
ขั้นตอนการดำเนินงาน	23
3.1 บทนำ	23
3.2 ศึกษาส่วนประกอบของ Rear wing	23
3.3 ศึกษาประเภทของ Air foil.....	25
3.4 การออกแบบระบบ DRS	26
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ DRS (Drag Reduction System)	30
3.6 การออกแบบ Wing	33
3.7 ขั้นตอนการขึ้นชิ้นงาน Air foil.....	36
3.8 ขั้นตอนการติดตั้งระบบ DRS.....	42
บทที่ 4	44
ผลการทดลองและอภิปรายผล	44
4.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	44

4.2 ผลการทดลองระบบ DRS.....	50
บทที่ 5	52
สรุปผลการทดลอง.....	52
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	52
5.2 ปัจจัยอื่นๆที่พบในช่วงดำเนินการวิจัยและทดลอง.....	52
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	54



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของอากาศ	4
รูปที่ 2.2 รถแข่งใช้ปีกเครื่องบินกลับด้านเพื่อสร้างแรงกดแทนแรงยก	5
รูปที่ 2.3 ภาพประกอบพื้นฐานของความแตกต่างระหว่างแอร์ฟอยล์รถแข่งกับแอร์ฟอยล์บนเครื่องบิน	5
รูปที่ 2.4 แรงแอโรไดนามิกในรถ formula	6
รูปที่ 2.5 ลักษณะของ air foil พื้นฐาน	9
รูปที่ 2.6 วิธีการทำงานของ airfoil ที่เคลื่อนไหว	10
รูปที่ 2.7 แสดงพฤติกรรมของกระแสลมรอบๆ Air foil ในมุมต่างๆ ของการโจมตี	11
รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การยกด้วยจำนวนองค์ประกอบ	13
รูปที่ 2.9 แสดงแผ่นปิดปีกหลังช่วยลดแรงต้านและปรับปรุงประสิทธิภาพแอโรไดนามิกได้อย่างไร	14
รูปที่ 2.10 a) push-up type, b) pod-rocker type and, c) pod-pull type	15
รูปที่ 2.11 แอคชูเอเตอร์เชิงเส้นเชิงกลหรือเชิงกลไฟฟ้า	15
รูปที่ 2.12 แอคชูเอเตอร์เชิงเส้นไฮดรอลิก	16
รูปที่ 2.13 นิวเมติกลิเนียร์แอคชูเอเตอร์	17
รูปที่ 2.14 แอคชูเอเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก	18
รูปที่ 2.15 โซลินอยด์วาล์วลม	19
รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบระบบเปิดปิดโดยตรง	19
รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบระบบเปิดปิดทางอ้อม	20
รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบระบบลูกผสม	21
รูปที่ 2.19 แสดงถังลมที่ใช้อัดอากาศ	22
รูปที่ 2.20 ตัวปรับแรงดันลม (Air Regulator)	22
รูปที่ 2.21 แสดงตัวกรองลมดักน้ำ	23
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของ rear wing	24
รูปที่ 3.2 แสดง Air foil EPPLER 423	25
รูปที่ 3.3 แสดง Air foil S1223	25
รูปที่ 3.4 แสดง กราฟการทำงานของ Solenoid valve	26

รูปที่ 3.5 แสดง Push button switch	30
รูปที่ 3.6 แสดง Compressed Air Tank และข้อมูลของอุปกรณ์	30
รูปที่ 3.7 แสดง Regulator และข้อมูลของอุปกรณ์	31
รูปที่ 3.8 แสดง แบตเตอรี่แบบแห้ง 12 V	31
รูปที่ 3.9 แสดง โซลินอยซ์วาล์ว Model : 4V210-08	32
รูปที่ 3.10 แสดงข้อมูลของโซลินอยซ์ Model : 4v210-08	32
รูปที่ 3.11 แสดง MAL 25x50 และข้อมูลของอุปกรณ์	33
รูปที่ 3.12 ขนาดของ End plate	34
รูปที่ 3.13 Air foil ในขณะที่ทำการเปิดและปิดระบบ DRS	35
รูปที่ 3.14 Air foil ในขณะที่ปิด-เปิดระบบ DRS	35
รูปที่ 3.15 โฟมที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการ CNC	36
รูปที่ 3.16 พันธะทางเคมีของสาร	37
รูปที่ 3.17 Epoxy Resin	37
รูปที่ 3.18 การผสม Epoxy Resin	38
รูปที่ 3.19 การทำ epoxy resin ลงบนโฟมขาว	38
รูปที่ 3.20 โฟมขาวที่แข็งตัวแล้วทำการขัดผิวให้เงาและพ่นสีเคลือบ	39
รูปที่ 3.21 เกร็ดที่ใช้เคลือบผิวโฟมขาว	39
รูปที่ 3.22 การแปะผ้าไฟเบอร์กลาส	40
รูปที่ 3.23-3.24-3.25 ตัดผ้าคาร์บอนให้ได้ขนาดโดยเผื่อขนาดตอนหุ้มโมลไว้ด้วย	40
รูปที่ 3.26 แสดงการหุ้มผ้าคาร์บอน	41
รูปที่ 3.27 Rear wing	41
รูปที่ 3.28 แสดงชุดระบบ DRS (Drag Reduction System)และ pneumatic diagram	42
รูปที่ 3.29 แสดงหลังการติด DRS (Drag Reduction System)	43
รูปที่ 3.30 แสดงการทำงานของ DRS ขณะเปิดและปิด	43
รูปที่ 4.1 แสดงค่า Reynolds's number ที่คำนวณได้	46
รูปที่ 4.2-4.3-4.4 ค่า CD CL ของ Airfoil E423 ที่ Re=500,000	47
รูปที่ 4.5 การทดลองระบบ DRS	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1 แสดงค่าต่างๆของ Air foil	25
ตารางที่ 3.2 ความเร็วลม เวลาและแรงของกระบอกลมที่แต่ละความดันต่าง	27
ตารางที่ 3.3 จำนวนครั้งของระบบ DRS ที่ใช้ได้ในแต่ละความดันของถัง	29
ตารางที่ 4-1 ค่าต่างๆของ Airfoil	46
ตารางที่ 4-2 แสดงผลคำนวณเมื่อกำหนดช่วงองศาการปะทะที่ 0 ถึง 12 เฟอร์เซ็นต์และความเร็วที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	48
ตารางที่ 4-3 แสดงผลคำนวณเมื่อกำหนดให้องศาการปะทะอยู่ที่ 12 องศา ในขณะปิดระบบ DRS	49
ตารางที่ 4-4 แสดงผลคำนวณเมื่อกำหนดให้องศาการปะทะอยู่ที่ 0 องศา ในขณะเปิดระบบ DRS	49
ตารางที่ 4-5 ความดันถังที่เลือกใช้และผลคำนวณ	51
ตารางที่ 4-6 แสดงความดันถังที่เลือกและจำนวนครั้งของระบบ DRS	51

บทที่ 1

บทนำ

ระบบ Drag Reduction System ถูกเริ่มนำมาใช้ในการแข่งขัน Formula 1 ในปี 2011 ซึ่ง DRS คือการปรับองศาของปีกหลัง (Rear wing) องค์ประกอบของปีกหลังประกอบด้วย end plate และ flaps plate ซึ่ง DRS ช่วยให้แผ่น flaps ยกขึ้นได้ ช่วยลดแรงต้าน (การลาก) ของกระแสลมที่ปะทะกับปีกและส่งผลให้มีดาวน์ฟอร์ซน้อยลง ในกรณีที่ไม่มีแรงกระทำด้านข้าง (เส้นตรง) ดาวน์ฟอร์ซที่น้อยลงช่วยให้เร่งความเร็วได้เร็วขึ้นและมีความเร็วสูงสุดที่เป็นไปได้

ในการออกแบบ Rear wing เราจะออกแบบให้มีขนาดและความกว้างตามกฎของการแข่งขัน Formula student รวมถึงใช้วัสดุที่เหมาะสม สำหรับการวิเคราะห์และตรวจสอบความแข็งแรงเพื่อทนต่อแรงกดที่ลมกระทำต่อแผ่น Rear wing รวมถึงเพิ่มระบบ DRS (Drag Reduction System) ในปรีญญา นีพจน์นี้จะแยกระบบ DRS (Drag Reduction System) เป็นสองฝั่งของ Rear wing หรือเรียกว่า Active Drag Reduction System โดยใช้ Paddle Shift ในการเปิดปิดระบบเพื่อช่วยเพิ่มความเร็วในทางตรง และช่วยสร้างแรงกดในการเข้าโค้งซึ่งการควบคุมระบบจะขึ้นอยู่กับตัวคนขับเองทั้งหมด

อากาศพลศาสตร์ของรถ Formula Student

อากาศพลศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการออกแบบ Formula Student การเคลื่อนที่ของอากาศเกี่ยวกับรถที่กำลังเคลื่อนที่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบทั้งหมดไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง เช่นมีผลกระทบต่อปีกหน้าและปีกหลังของรถ, การไหลของความเย็น, การระบายอากาศภายในรถ, การระบายความร้อนของยางและเบรก และการไหลเวียนภายนอกโดยรวมทั้งหมดตกอยู่ภายใต้แอโรไดนามิกของรถยนต์ ดังนั้นวิศวกรจึงคิดวิเคราะห์ระบบการทำงานเพื่อให้รถมีความคล่องตัวมากขึ้นเพื่อให้สามารถผ่านอากาศได้อย่างราบรื่นด้วยความต้านทานน้อยที่สุด ด้วยวิธีการติดตั้งปีกทั้งด้านหน้าและด้านหลังบนรถเพื่อเพิ่มความเร็วในการเข้าโค้งโดยการเพิ่มแรงกดและปรับปรุงการยึดเกาะของยาง

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบ Rear wing เพื่อเป็นชิ้นส่วนสำหรับรถ Formula student
2. เพื่อศึกษาระบบ Active Drag Reduction System ที่ใช้กับ Rear wing

3. เพื่อศึกษา สร้างแบบจำลองและวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ แรงกด และการไหลของอากาศ

1.2 ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบ Rear wing และติดตั้งระบบ Active Drag Reduction เพื่อเป็นชิ้นส่วนรวมเข้ากับรถ Formula student
2. เพื่อทำการศึกษา สร้างแบบจำลอง วิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ แรงกด และการไหลของอากาศ และออกแบบชิ้นงานที่นำไปใช้จริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อออกแบบระบบ Active Drag Reduction System ที่ใช้กับ Rear wing ของรถ Formula Student
2. เพื่อนำ Rear wing ที่ติดตั้งระบบ Active Drag Reduction System ไปศึกษาและพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการออกแบบและวิเคราะห์ Rear wing และระบบ DRS (Drag Reduction System) มีความจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานในเรื่องความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับประวัติของการแข่งขัน Formula Student กฎต่างๆที่ใช้ในการแข่งขันในระดับสากล ส่วนประกอบและชนิดของ wings ทั้งหน้าและหลัง การสร้างแบบจำลอง การวิเคราะห์แรงต้านอากาศพลศาสตร์ การวิเคราะห์การไหลของอากาศ หาค่าแรงต้านอากาศพลศาสตร์ ค่าสัมประสิทธิ์อากาศพลศาสตร์ที่เหมาะสม การเลือกใช้ Actuator ที่เหมาะสมการวางตำแหน่งและ ส่วนประกอบที่ใช้ยก Rear wing

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Louçã, R.; Duarte, G.O.; Mendes, M.J.G.C. การศึกษาระบบลดแรงต้านและระบบสั่งงานสำหรับรถแข่งฟอร์มูล่านักเรียนโดยนำเสนอกการวิเคราะห์ไดนามิกของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ของการลดแรงต้านระบบ DRS (Drag Reduction System) ที่ใช้ในรถแข่งฟอร์มูล่านักเรียนโดยเน้นการทำงานร่วมกันระหว่างองประกอบปีกสามชิ้นรวมถึงแอคชูเอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวไปที่ Rear wing
- S. Wordley, D. McArthur, L. Phersson, D. Tudball Smith and D. Burton. การพัฒนาระบบลดแรงต้าน (DRS) สำหรับปีกรถแข่งหลายองค์ประกอบ อธิบายการออกแบบและพัฒนาระบบลดแรงต้าน (DRS) สำหรับปีกหลายองค์ประกอบในการใช้งานรถแข่งและให้โอกาสในการเรียกใช้ระดับดาว์นฟอร์ซที่เพิ่มขึ้นสำหรับการเข้าโค้งและการเบรก ในขณะที่ลดแรงต้านระหว่างการเร่งความเร็วเป็นเส้นตรงให้น้อยที่สุด การเปลี่ยนจากแรงกดสูงเป็นโมเมนต์การลากต่ำทำได้โดยการหมุนแผ่นปิดขอบด้านหลังแต่ละอัน อากาศพลศาสตร์นี้แยกการกำหนดค่าหลายองค์ประกอบและแปลงเป็นชุดประกอบหลายระนาบที่เอียงลดการลากที่เกิดจากการยกที่เกิดจากปีก
- Gavin Dias, Nisha R. Tiwari, Joju John Varghese, Graham Koyeerath ศึกษาข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างของไหลที่อากาศและรถยนต์ขณะขับเคลื่อนไปข้างหน้าโดยใช้

โปรแกรม CFD ในการวิเคราะห์โดยปรับเปลี่ยนให้มีแรงต้านลดลง ลักษณะของ Wake region ด้านหลังรถมีความสำคัญจากมุมมองด้านแอโรไดนามิก เนื่องจากแสดงถึงโอกาสในการลดการลาก

Wake Region - แสดงถึงการรบกวนของอากาศที่เกิดขึ้นด้านหลังตัวรถขณะที่อากาศไหลผ่าน โดยทั่วไปเรียกอีกอย่างว่า โครงสร้าง Wake region สำหรับรถยนต์คือบริเวณที่มีการหมุนเวียนของกระแสลมที่อยู่ด้านหลังรถในขณะที่รถมีการเคลื่อนที่ ซึ่งเกิดจากความหนืด การแยกตัวของกระแสลมของอากาศ และความแปรปรวน โดยทั่วไป Wake region ของรถประกอบด้วยกระแสลมวนหลัก กระแสที่หมุนสวนทางกันในทิศทาง ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของแรงดันระหว่างการไหลรอบๆ ด้านข้าง (เช่น การไหลเหนือเสา A ไปยังเสา C) และการไหลไปทางด้านหลัง ปลายหลังคาไปจนถึงท้ายรถ ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลแยกของอากาศที่เกิดขึ้นทางท้ายรถ ส่วน Wake region ยังประกอบด้วยกระแสลมวนของกระแสลมด้านหลังลำตัวดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของอากาศ

(ที่มา : <http://www.speedhunters.com/2013/06/a-brilliant-view-into-aerodynamics-2/>)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ดาวน์ฟอร์ซ (Downforce)

ทุกวัตถุที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศจะก่อให้เกิดทั้งสถานการณ์ที่มีแรงยกหรือแรงกด ปีกสามารถทำให้เครื่องบินบินขึ้นได้ แต่ถ้าคว่ำลงก็สามารถทำให้รถที่มีความเร็วสูงสามารถวิ่งอยู่กับพื้นได้เช่นกัน ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับที่ทำให้เครื่องบินสามารถลอยขึ้นจากพื้นได้ โดยการสร้างแรงยกจากปีก ในทางกลับกันทำให้รถเกาะกับสนามแข่งด้วยความเร็วที่สูงได้โดยการสร้างแรงกด โดยทั่วไปแล้วคำว่า "การยก"

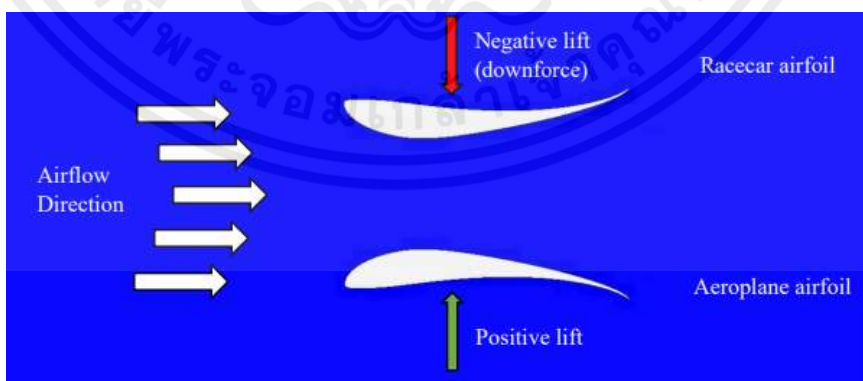
คือชนิดของแรงเหนี่ยวนำทางอากาศพลศาสตร์ที่กระทำต่อพื้นผิว ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า"การยกตัวในเชิงบวก" (ขึ้น) หรือ"การยกในเชิงลบ" (ลง) ตามทิศทางของมัน เนื่องจากส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ตามหลักอากาศพลศาสตร์ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อเครื่องบินและถูกออกแบบมาเพื่อให้เครื่องบินลอยขึ้น



รูปที่ 2.2 รถแข่งใช้ปีกเครื่องบินกลับด้านเพื่อสร้างแรงกดแทนแรงยก

(ที่มา: <https://www.researchgate.net/figure/>)

รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างรูปทรงของแอร์ฟอยล์และความแตกต่างที่สำคัญระหว่างแอร์ฟอยล์รถแข่งกับแอร์ฟอยล์เครื่องบินในรูปที่ 2.2 เป็นภาพสะท้อนของกันและกัน จุดประสงค์คือรูปนี้เป็นเพียงการแสดงให้เห็นความแตกต่างเท่านั้นแรงยกที่เป็นบวกจะถูกสร้างขึ้นเมื่อความดันข้างใต้ Air Foil มากกว่าข้างบน แรงยกที่เป็นลบจะถูกสร้างขึ้นเมื่อความดันข้างบน Air Foil มากกว่าความดันข้างล่างในทางทฤษฎีโดยพลิก Air foil จากด้านล่างเป็นด้านบนจะสามารถใช้เป็นปีกหลังของรถแข่งเพื่อสร้างดาวน์ฟอร์ซ

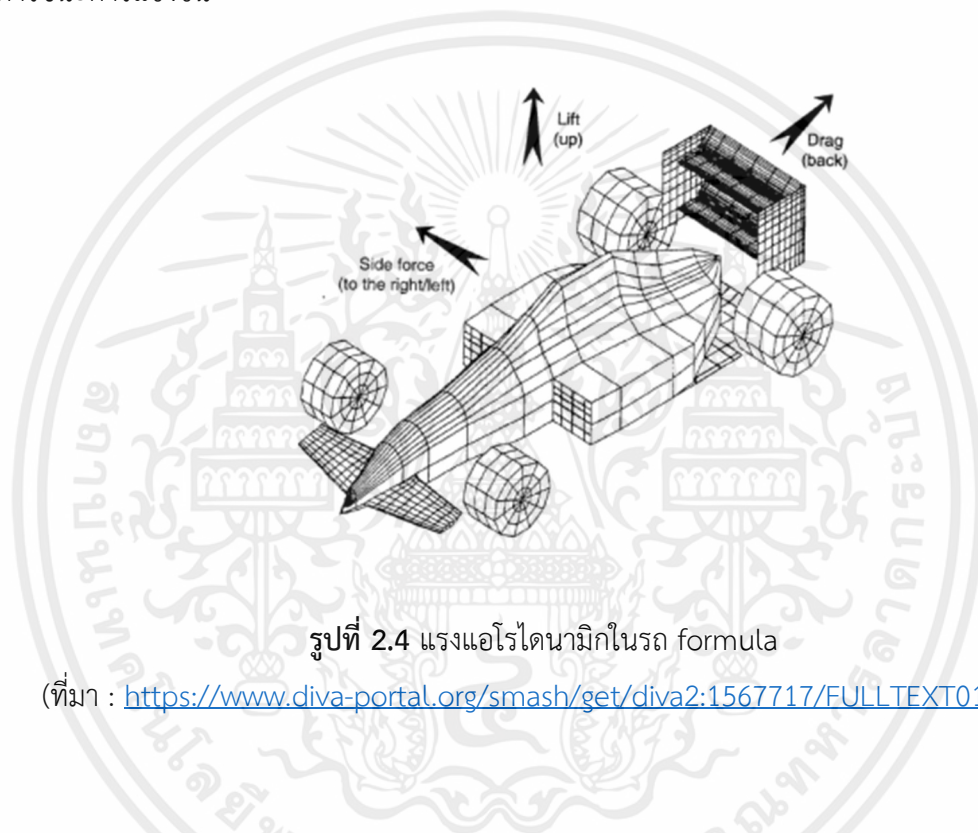


รูปที่ 2.3 ภาพประกอบพื้นฐานของความแตกต่างระหว่างแอร์ฟอยล์รถแข่งกับแอร์ฟอยล์บนเครื่องบิน

(ที่มา : <https://doi.org/10.3390/fluids7090309>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญของดาวนฟอร์ชอากาศพลศาสตร์เป็นกุญแจสำคัญในการชนะการแข่งขัน อากาศพลศาสตร์สามารถใช้ได้กับรถ Formula student ที่ประสบกับแรงสามแรงหลักระหว่างการแข่งรถ ได้แก่ แรงยกเชิงลบหรือแรงกดแรงลากและแรงด้านข้าง ดังรูปที่ 1.1 เมื่อรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นก็จะเกิดแรงยกเชิงลบที่สูงขึ้น ยานพาหนะเคลื่อนที่บนพื้นผิวโดยใช้แรงเสียดทานระหว่างยางและพื้นดิน แรงเสียดทานนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปกติบนพื้นและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เมื่อรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แรงปกติจะมากขึ้นจำเป็นต้องสร้างแรงเสียดทานที่เพียงพอสำหรับการเข้าโค้ง เพื่อเพิ่มโอกาสในการชนะการแข่งขัน



รูปที่ 2.4 แรงแอโรไดนามิกในรถ formula

(ที่มา : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1567717/FULLTEXT01.pdf>)

2.3.2 แรงต้านอากาศ

คือ แรงดูดที่เกิดขึ้นบนผิวของรถยนต์อันเนื่องมาจากแรงดันและแรงเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านรถยนต์ การออกแบบจริงต้องคำนึงถึงแรงต้านอากาศเนื่องจากกำลังจากเครื่องยนต์ที่จะถูกส่งไปยังล้อจะไม่สามารถใช้ได้เต็มประสิทธิภาพเพราะจะเกิดการสูญเสียในระบบรวมทั้งการที่กำลังจะเอาชนะแรงต้านต่างๆ เช่นแรงต้านอากาศ แรงต้านการหมุนของล้อ

$$F_{Drag} = \frac{1}{2} C_D \rho u_{\infty}^2 A$$

- เมื่อ F_{Drag} คือ แรงต้านอากาศ (นิวตัน)
- C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (นิวตันต่อเมตร)
- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- u_{∞} คือ ความเร็วของอากาศ
- A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

2.3.3 แรงยก

คือ แรงที่เกิดจากผลของมุมปะทะของ air foil และผลต่างของความดันที่กระทำที่พื้นผิวด้านบนและด้านล่างของ air foil ในขณะที่เคลื่อนที่ เมื่อพื้นผิวด้านล่างมีความดันกระทำที่สูงกว่าจะเกิดแรงยกขึ้น

$$F_{Lift} = \frac{1}{2} C_L \rho u_{\infty}^2 A$$

- เมื่อ F_{Lift} คือ แรงยก (นิวตัน)
- C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยก (นิวตันต่อเมตร)
- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- u_{∞} คือ ความเร็วของอากาศ
- A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

2.3.4 สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_L), (C_D)

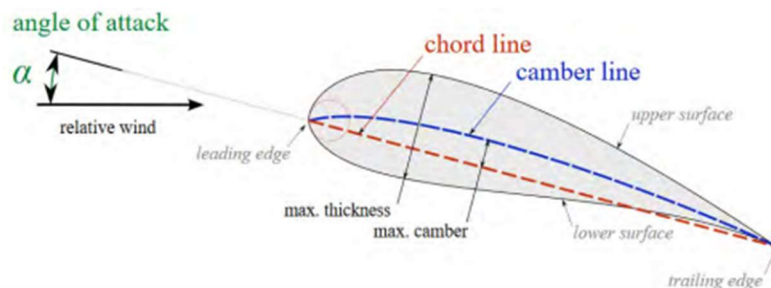
สัมประสิทธิ์แรงยก เป็นค่าสัมประสิทธิ์ไร้มิติที่เกี่ยวข้องกับแรงยกที่สร้างขึ้นกับความหนาแน่นของของไหลรอบตัว ความเร็วของของไหล และพื้นที่อ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ค่าสัมประสิทธิ์การยกเป็นวิธีง่าย ๆ ที่นักแอโรไดนามิกใช้เพื่อแสดงถึงแนวคิดที่ซับซ้อนมาก และจำลองการขึ้นต่อกันที่ซับซ้อนของรูปร่าง ความลาดเอียง และเงื่อนไขการไหลบางประการบนแรงยก ค่าสัมประสิทธิ์นี้แสดงอัตราส่วนของแรงยกต่อแรงที่

เกิดจากแรงกดไดนามิกคูณกับพื้นที่ ค่าสัมประสิทธิ์ การยกมักพบโดยใช้แบบจำลองที่สร้างด้วยคอมพิวเตอร์ (CFD) หรือการทดสอบในอุโมงค์ลม

สัมประสิทธิ์แรงต้าน เป็นการวัดทั่วไปในการออกแบบยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับอากาศพลศาสตร์ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์ส่งผลต่อวิธีที่รถยนต์เคลื่อนที่ผ่านอากาศโดยรอบ แรงต้านตามหลักอากาศพลศาสตร์จะเพิ่มขึ้นตามกำลังสองของความเร็ว ดังนั้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ความเร็วที่สูงขึ้น การลดค่าสัมประสิทธิ์การลากของรถยนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของยานพาหนะที่เกี่ยวข้องกับความเร็วและประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเปลี่ยนแปลงตามฟังก์ชันของรูปร่างของรถ แรงต้านจะเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและทิศทางของการไหล ความหนาแน่นและความหนืดของอากาศ ขนาดวัตถุ ความเร็ว และเป็นสัดส่วนกับความหนาแน่นของอากาศ และเป็นกำลังสองของความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศกับวัตถุ

2.3.5 องศาการปะทะ (Angle of attack) ทฤษฎีปีก (wings Theory)

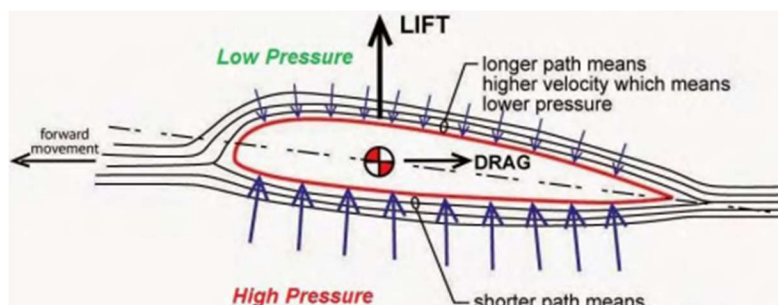
ปีกทุกด้านในมุมมองระนาบมีรูปร่างของแผ่นฟอยล์อากาศ เป็นแผ่นฟอยล์อากาศพลศาสตร์ ความเร็วต่ำที่มีรูปร่างลักษณะขอบโค้งมนตามด้วยขอบท้ายที่แหลมจะมีความโค้งสมมาตรของพื้นผิวด้านบนและด้านล่าง รูปร่างของแผ่นฟอยล์อากาศสามารถอธิบายได้ว่า ขอบนำซึ่งเป็นจุดที่ด้านหน้าของแผ่นฟอยล์อากาศที่มีความโค้งสูงสุดและรัศมีต่ำสุด ขอบท้ายซึ่งเป็นจุดที่มีความโค้งต่ำสุดที่ด้านหลังของแผ่น air foil เส้นคอร์ดที่เป็นเส้นตรงเชื่อมต่อขอบด้านหน้าและขอบด้านหลัง ความยาวของคอร์ดคือความยาวของเส้นคอร์ดและเป็นขนาดอ้างอิงของส่วน air foil รูปร่างของแผ่น air foil จะถูกกำหนดรูปร่างโดยใช้พารามิเตอร์ทางเรขาคณิตสองตัวต่อไปนี้ เส้นแคมเบอร์เป็นตำแหน่งของจุดกึ่งกลางระหว่างพื้นผิวด้านบนและด้านล่างและการกระจายความหนาซึ่งแตกต่างกันไปตามคอร์ด สุดท้ายสองแนวคิดที่สำคัญที่ใช้อธิบายพฤติกรรม air foil เมื่อเคลื่อนที่ผ่านของไหล ศูนย์กลางของอากาศพลศาสตร์เป็นความยาวของคอร์ดซึ่งโมเมนต์ในการเชิดหัวหรือกดหัวของ air foil ไม่ขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การยกและมุมของการโจมตี ในอีกกรณีคือจุดศูนย์กลางของแรงกดซึ่งเป็นตำแหน่งคอร์ดที่โมเมนต์การเชิดหัวหรือกดหัวของ air foil เป็นศูนย์



รูปที่ 2.5 ลักษณะของ air foil พื้นฐาน

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Airfoil>)

จากทฤษฎีสามของนิวตันเรารู้ว่าถ้าฟองอากาศออกแรงกระทำต่ออากาศ อากาศก็จะออกแรงกระทำขึ้นที่ปีก การยกตัวขึ้นบน airfoil เป็นผลมาจากมุมการโจมตีและรูปร่างของมันเป็นหลักปีกมีรูปร่างเพื่อให้อากาศไหลผ่านด้านบนของปีกได้ เร็วขึ้นและช้าลงด้านล่าง ตามหลักการของ Bernoulli อากาศที่เคลื่อนที่เร็วเท่ากับความกดอากาศต่ำ ในขณะที่อากาศที่เคลื่อนที่ช้าเท่ากับความกดอากาศสูง ความกดอากาศสูงใต้ปีกจะดันเครื่องบินขึ้นผ่านความกดอากาศด้านล่าง ในหลักอากาศพลศาสตร์มุมปะทะระบุมุมระหว่างเส้นคอร์ดของปีกกับการไหลของอากาศสัมพันธ์ เนื่องจากปีกสามารถบิดได้เส้นคอร์ดของปีกทั้งหมดจึงไม่สามารถกำหนดได้ ดังนั้นจึงกำหนดเส้นอ้างอิงสำรองไว้ง่ายๆ บ่อยครั้งที่เส้นคอร์ดของปีกถูกเลือกเป็นเส้นอ้างอิง เมื่อวางตำแหน่งในมุมที่เหมาะสม Air foil จะเบี่ยงเบนอากาศที่ไหลเข้ามาทำให้เกิดแรงบน Air foil ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเบี่ยงเบน แรงนี้เรียกว่าแรงแอโรไดนามิกและสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วน: ยกและต้าน รูปร่างของปีกส่วนใหญ่ต้องการมุมโจมตีที่เป็นบวกเพื่อสร้างแรงยก แต่ Airfoil สามารถสร้างแรงยกที่มุมปะทะเป็นศูนย์ การ "หมุน" ของอากาศในบริเวณใกล้เคียงกับ Air foil ทำให้เกิดกระแสลมแบบโค้ง ส่งผลให้แรงดันด้านหนึ่งลดลงและแรงดันอีกด้านหนึ่งสูงขึ้น ความแตกต่างของความดันนี้ส่งผลให้เกิดสนามการไหลรอบ ๆ ฟองอากาศซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยที่พื้นผิวด้านบนสูงกว่าที่พื้นผิวด้านล่าง



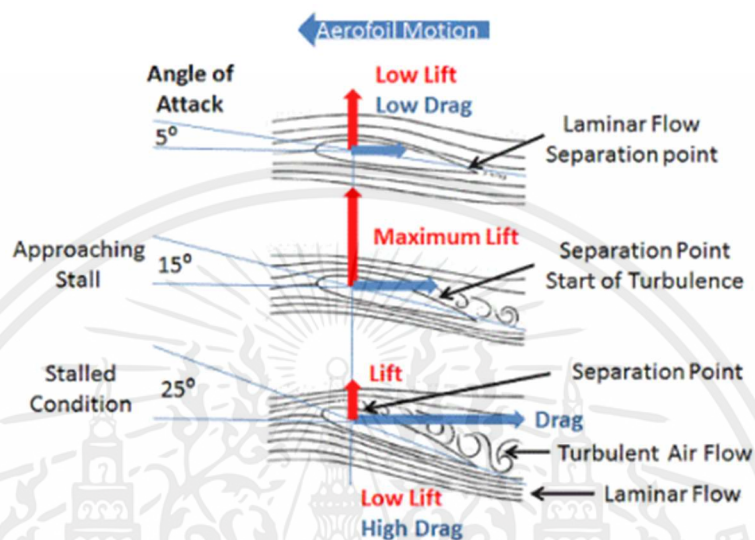
รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการทำงานของ airfoil ที่เคลื่อนไหว

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Airfoil>)

ปีกสมมาตรมีการยกเป็นศูนย์ที่มุมโจมตี 0° องศา การเพิ่มมุมของการโจมตีนั้นเกี่ยวข้องกับการเพิ่มแรงยกที่ airfoil สร้างขึ้นและค่าสัมประสิทธิ์การยกขึ้นจนถึงขีดจำกัดสูงสุด เมื่อมุมปะทะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การแยกกระแสลมจากพื้นผิวด้านบนของปีกจะชัดเจนมากขึ้น และจุดแยกของกระแสจะเคลื่อนจากขอบส่วนท้ายไปยังขอบส่วนหน้า ส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์แรงยก ความดันต่ำสุดบน Air foil อยู่ที่จุดบนใกล้กับขอบหน้า ด้านหน้าของจุดความกดอากาศต่ำนี้เรียกว่าจุดเปลี่ยนผ่านมีการไหลแบบราบเรียบและด้านหลังเริ่มไหลแบบปั่นป่วน เมื่อจุดเปลี่ยนผ่านเป็นพื้นที่ความดันต่ำที่สุดของฟองอากาศ จึงมีการไล่ระดับความดันที่ไม่พึงประสงค์ในขณะที่ความดันของอากาศต่ำกว่าที่ขอบส่วนท้าย ดังนั้นการไล่ระดับความดันที่ไม่พึงประสงค์จึงทำหน้าที่ต่อต้านการไหลของอากาศปกติเหนือ Air foil แรงเสียดทานของผิวปกติที่กระทำบน Air foil ช่วยลดพลังงานจลน์ของการไหล ดังนั้นจึงไม่มีพลังที่จะต่อต้านสิ่งที่ตรงกันข้าม ด้านล่างของขอบเขตจึงหยุดการเคลื่อนไหวในขณะที่ขอบเขตด้านบนเกิดการไหลแบบทับกันสิ่งนี้ทำให้เกิดการแยกของการไหล

มุมวิกฤตของการโจมตีคือมุมของการโจมตีซึ่งสร้างค่าสัมประสิทธิ์การยกสูงสุด สิ่งนี้เรียกอีกอย่างว่า "มุมหยุดการโจมตี" ต่ำกว่ามุมโจมตีวิกฤตนี้และเมื่อมุมโจมตีเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยกจะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันเหนือมุมวิกฤตของการโจมตี อากาศเริ่มไหลอย่างราบรื่นน้อยลงเหนือพื้นผิวด้านบนของ Air foil และเริ่มแยกออกจากกันที่มุมวิกฤตของการโจมตี การไหลของพื้นผิวด้านบนจะแยกออกจากกันมากขึ้นและ Air foil จะสร้างค่าสัมประสิทธิ์การยกตัวสูงสุด เมื่อมุมของการโจมตีเพิ่มขึ้นการไหลของพื้นผิวด้านบนจะแยกออกจากกันอย่างเต็มที่มากขึ้นโดยที่ปีกทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกน้อยลงและค่า

สัมประสิทธิ์แรงต้านเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปแล้วมุมการโจมตีที่สำคัญจะอยู่ที่ประมาณ $12^\circ - 20^\circ$ สำหรับ Air foil ที่มีจำนวนมาก



รูปที่ 2.7 แสดงพฤติกรรมของกระแสลมรอบๆ Air foil ในมุมต่างๆ ของการโจมตี
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Airfoil>)

2.3.6 อัตราการไหลของอากาศ

$$Q = AV$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกลม

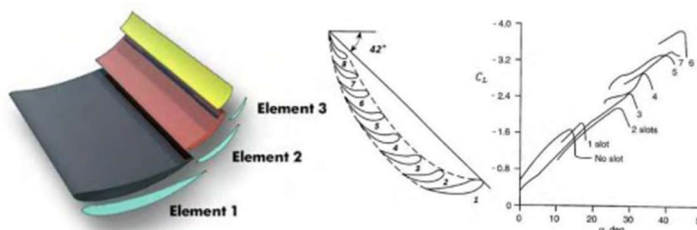
V คือ ความเร็วลม

2.4 ปีกหลัง

ปีกหลังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับประสิทธิภาพของรถFSAEอุปกรณ์นี้มีส่วนร่วมประมาณหนึ่งในสามของแรงผลักดันรวมของรถยนต์โดยปกติจะมีน้ำหนักประมาณ 3-4 กก. .หน้าที่หลักของปีก

ด้านหลังจะช่วยในการเบรกและการเข้าโค้งเป็นหลักเพื่อกำจัดอาการท้ายปัด ปีกหลังมีหลายองค์ประกอบที่เชื่อมต่อกัน ได้แก่ end plate และ air foil หรือเรียกในเชิงรถแข่งว่า flaps ซึ่ง flap สามารถใช้ได้หลายอันเพื่อเพิ่มแรงดาวน์ฟอร์ซให้กับปีกหลัง ค่าสัมประสิทธิ์การยกเพิ่มขึ้นและอัตราส่วนการยก, การลากลดลงเมื่อมีการเพิ่มจำนวนของ air foil ให้มีหลายชั้นจะทำให้ช่วยเพิ่มแรงดาวน์ฟอร์ซโดยช่วยให้แคมเบอร์กว้างขึ้นพร้อมกับมุมปะทะสูง และชะลอการไหลแยกตัวที่ใกล้ขอบท้าย Air foil หลายชั้นจะเพิ่มแรงกดโดยให้แคมเบอร์ปีกรวมที่มากขึ้นพร้อมมุมปะทะที่มากและชะลอการแยกของอากาศที่ไหลใกล้กับขอบท้าย การหน่วงเวลาการแยกการไหลบนขึ้นปีกที่โค้งตัวทำได้โดยการเพิ่มช่องด้านหน้าปีก Air foil ด้านล่างและใหญ่ที่สุดให้แรงกดมากที่สุด ในขณะที่ Air foil ด้านบนที่เล็กกว่าให้แรงกดน้อยกว่า แต่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของอันล่างได้เนื่องจากป้องกันไม่ให้กระแสลมหยุดชะงัก บางครั้ง Air foil จะถูกวางไว้เหนือทางออกของดิฟฟิวเซอร์ ทำให้เกิดบริเวณแรงดันต่ำใต้ปีกเพื่อช่วยให้ดิฟฟิวเซอร์สร้างแรงกดด้านล่างตัวรถมากขึ้น

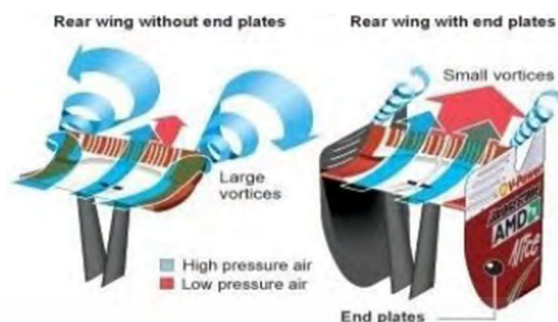
อย่างไรก็ตาม กระแสลมที่ด้านหลังของรถสามารถได้รับผลกระทบจากอิทธิพลต่างๆ มากมาย (ช่องระบายอากาศ ตัวถัง คนขับ ฯลฯ) ของรถที่ด้านหน้า จึงเรียกว่า "ลมสกปรก" เพราะโดยหลักแล้วอากาศจะแยกออกจากกัน ไหลไปด้วยความปั่นป่วนมากมายสิ่งนี้ทำให้ปีกหลังมีประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์น้อยกว่าปีกหน้า เนื่องจากการไหลเวียนของอากาศที่ต้องจัดการ มีหลายพารามิเตอร์รวมถึงความกว้างของช่องว่างระหว่างองค์ประกอบ การวางแนวของแต่ละองค์ประกอบที่ต่อเนื่องกัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดขึ้นอยู่กับการไหลที่ไปถึงปีกหลัง ตำแหน่งของปีกที่สัมพันธ์กันก็มีความสำคัญเช่นกัน หากอยู่ใกล้กันเกินไปแรงที่ตามมาจะสวนทางกันและหักล้างกัน ปีกหลังมักจะสร้างดาวน์ฟอร์ซเกือบสองเท่าของปีกหน้า เพื่อรักษาสมดุลของการควบคุมรถ แต่ก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการติดตั้งระบบกันสะเทือนของรถ FSAE แต่ละคัน อัตราส่วนกว้างยาวหรือมุมปะทะที่ใหญ่ขึ้นสามารถมองเห็นได้เมื่อเทียบกับปีกหน้าและมักจะใช้สองส่วนหรือมากกว่านั้นซ้อนทับกันเพื่อสร้างจำนวนดาวน์ฟอร์ซที่จำเป็นและเพิ่มพื้นที่ว่างให้สูงสุดในรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหลังสิ่งนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งและปีกหลังจะไม่เพียงเพิ่มการเร่งความเร็วและการเบรก แต่ยังให้การยึดเกาะขณะเข้าโค้งอีกด้วย มุมของปีกที่มากขึ้นจะเพิ่มแรงกดและสร้างแรงต้านที่มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเร็วสูงสุดของรถลดลง ดังนั้น เมื่อแข่งบนแทร็ก FSAE ที่มีทางตรงยาวและเลี้ยวน้อยจะเป็นการดีกว่าหากออกแบบปีกให้มีมุมปะทะที่เล็กตรงกันข้ามเมื่อรถวิ่งบนสนาม FSAE ที่มีทางโค้งเยอะและทางตรงน้อยจำเป็นต้องมีแรงกดมากขึ้นดังนั้นจึงเป็นการดีที่จะออกแบบปีกให้มีมุมปะทะที่มากขึ้น



รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การยกด้วยจำนวนองค์ประกอบ

ขณะที่อากาศไหลผ่านปีกทำให้เกิดแรงต้าน แม้ว่าแรงนี้จะถูกออกแบบให้น้อยกว่าแรงกด แต่ก็สามารถจำกัดความเร็วสูงสุดได้อย่างมากและทำให้เครื่องยนต์ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อให้รถแล่นผ่านอากาศได้ การออกแบบปีกควรสะท้อนถึงความจำเป็นในการสร้างการยึดเกาะที่เพียงพอสำหรับการเบรกที่ความเร็วโดยไม่สิ้นเปลือง ซึ่งช่วยให้สามารถใช้เบรกที่ทรงพลังมากขึ้นกับยางรุ่นเดียวกันได้ เนื่องจากแรงกดจะเพิ่มการยึดเกาะของยาง ความเร็วสูงสุดของรถและอัตราที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงการชะลอตัวด้วย ควรปรับปีกให้เหมาะสมระหว่างแรงกดที่จำเป็นสำหรับการยึดเกาะขณะเบรกและแรงต้านที่เกิดขึ้น ปัญหาหลักในการออกแบบปีกหลังคือความปั่นป่วนที่ทิ้งไว้เบื้องหลังของอุปกรณ์นี้ เพื่อให้แน่ใจว่าการความปั่นป่วนของอากาศจะลดลงเหลือน้อยที่สุด อากาศที่ออกจากรถจะไม่ปั่นป่วน อย่งไรก็ตามเนื่องจาก Venturi tube effect ใต้ท้องรถและปีกสร้าง downforce เหนือตัวรถ กระแสอากาศที่ “สกรปรก” ทั้งสองไหลออกมาบรรจบกันที่ท้ายรถ ทำให้เกิดกระแสลมวนและส่งผลกระทบต่อหลักอากาศพลศาสตร์ของรถอย่างมากโดยสร้างแรงต้าน ดังนั้นจึงมีจุดมุ่งหมายเสมอเพื่อให้การไหลเวียนของอากาศทั้งสองมาบรรจบกันเป็นเส้นตรงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยมีแรงต้านน้อยที่สุด

แผ่นปิดปีกหลังได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงรูปแบบและการใช้งาน เนื่องจากรูปแบบทำให้ติดตั้งปีกได้สะดวกและแข็งแรง ฟังก์ชันแอโรไดนามิกของแผ่นปิดท้ายคือการป้องกันการรั่วไหลของอากาศบริเวณปลายปีก และด้วยเหตุนี้จึงช่วยชะลอการพัฒนาของกระแสลมวนท้ายรถที่มีความเข้มข้นสูง ฟังก์ชันเพิ่มเติมของแผ่นปิดท้ายคือช่วยลดอิทธิพลของการไหลขึ้นจากล้อ กระแสลมวนจะเริ่มขึ้นในภายหลังที่ปีกที่มีแผ่นปิดท้าย เนื่องจากกระแสลมถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว และจะเริ่มหมุนวนได้หลังจากปีกหลังเท่านั้น การแยก airfoil ออกเป็นองค์ประกอบที่แยกจากกันเป็นวิธีหนึ่งที่จะเอาชนะการแยกตัวของอากาศที่เกิดจากการไล่ระดับความดันที่ไม่พึงประสงค์



รูปที่ 2.9 แสดงแผ่นปิดปีกหลังช่วยลดแรงต้านและปรับปรุงประสิทธิภาพแอโรไดนามิกได้อย่างไร

2.4.1 Actuators

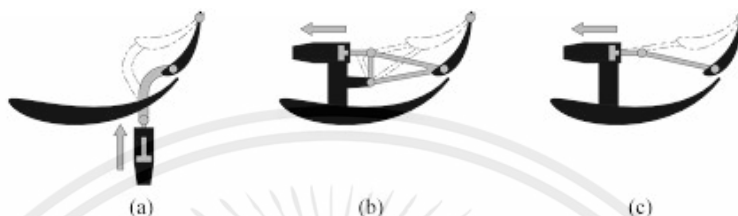
แอกชูเอเตอร์เป็นอุปกรณ์เชิงกลที่เปลี่ยนพลังงานเป็นการเคลื่อนที่ การเคลื่อนไหวประกอบด้วย การยก การปิดกั้น การตีตออก และการหนีบ การเคลื่อนไหวสามารถเป็นเส้นตรง (หนึ่งหรือทั้งสองทิศทาง) และแอกชูเอเตอร์สามประเภทที่แตกต่างกันส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ แอกชูเอเตอร์ไฮดรอลิก แอกชูเอเตอร์นิวเมติก และแอกชูเอเตอร์ไฟฟ้าทั้งสามมีข้อดีและข้อเสีย แอกชูเอเตอร์ไฮดรอลิกเหนือกว่าแอกชูเอเตอร์แบบนิวเมติกและไฟฟ้าในการจัดการพลังงาน และใช้งานได้ยาวนานกว่าข้อเสียเกี่ยวกับแอกชูเอเตอร์ไฮดรอลิกคือการรั่วไหล แต่ด้วยการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นการรั่วไหลลดลงอย่างมาก

การติดตั้งแอกชูเอเตอร์

สามประเภทที่พบบ่อยที่สุดที่สุดใน DRS สำหรับรถแข่ง แสดงในรูปภาพที่ 2.3 ได้แก่ (a) push-up type, (b) pod-rocker type and (c) pod-pull type แสดงถึงแอกชูเอเตอร์สามประเภทที่แตกต่างกันในแบบปิด เส้นประสีเทาแสดงถึงการกำหนดค่าที่เปิดอยู่ในโซลูชันแบบพูชอัพ

1. push-up type ในการติดตั้งถือว่ามีความเสียเปรียบเนื่องจากกลไกแทรกแซงพื้นผิวด้านล่างของปีกทำให้เกิดการรบกวนการไหลเวียนของอากาศ
2. pod-rocker type วิธีการติดตั้งย้ายแอกชูเอเตอร์ไปที่ด้านบนของชิ้นส่วนปีกหลัง ถ้าไฮดรอลิกใช้งานอยู่จะต้องถอดหัวต่อไฮดรอลิกออกหากจำเป็นต้องถอดปีกหลัง ซึ่งไม่เหมาะที่จะทำด้วยวิธีนี้ ถึงแม้ว่าปีกจะเปิดได้เร็วกว่าวิธีของ push-up แต่ก็ยังมีสิ่งกีดขวางด้านล่างของปีก ทำการรบกวนการไหลเวียนของอากาศสู่ด้านหลัง

3. pod-pull type เป็นวิธีการติดตั้งที่พบบ่อยที่สุดในปัจจุบัน กลไกได้รับการทำให้ง่ายขึ้น และถูกลดขนาดของพืดลง เนื่องจากพืดดิ่งไม่มีข้อได้เปรียบเชิงกลเหมือนกัน แต่ระบบนี้น่าจะต้องใช้แรงไฮดรอลิกมากขึ้นสำหรับความเร็วที่เท่าเดิมในขณะที่เปิดปีกหลัง



รูปที่ 2.10 a) push-up type, b) pod-rocker type and, c) pod-pull type

(ที่มา : <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177>)

2.4.2 ชนิดของ Actuators

- แอคชูเอเตอร์เชิงเส้นเชิงกลหรือเชิงกลไฟฟ้า (Mechanical or electro mechanical linear actuators) ความแตกต่างระหว่างแอกชูเอเตอร์เชิงเส้นเชิงกลหรือเชิงกลไฟฟ้าคือไม่ว่าจะขับเคลื่อนด้วยแหล่งพลังงานภายในหรือภายนอก เช่น มอเตอร์หรือด้วยมือ กลไกทั่วไปได้แก่สกรู (บอลสกรูโรลเลอร์สกรูหรือลีดสกรู)



รูปที่ 2.11 แอคชูเอเตอร์เชิงเส้นเชิงกลหรือเชิงกลไฟฟ้า

(ที่มา : <https://www.venturemfgco.com/blog/advantages-of-electro-mechanical-actuators/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอคชูเอเตอร์เชิงเส้นไฮดรอลิก (Hydraulic linear actuators)

แอกชูเอเตอร์เชิงเส้นไฮดรอลิกใช้ของไหลไฮดรอลิกที่มีแรงดันโดยปกติจะเป็นน้ำมัน การออกแบบพื้นฐานมีอายุหลายร้อยปีและมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่หนักที่ต้องการแรงสูง กำลังสูงต่อหน่วยน้ำหนักและปริมาตร ความแข็งแรงเชิงกล และการตอบสนองไดนามิกสูงเป็นที่ต้องการแอกชูเอเตอร์เชิงเส้นไฮดรอลิกสามารถทำงานที่แรงม้า 500 PSI หรือมากกว่านั้นและให้การควบคุมที่เข้มงวดกว่าระบบนิวแมติกมากโดยทั่วไปจะใช้ในระบบควบคุมความแม่นยำและเครื่องมือกลที่ใช้งานหนักในวิศวกรรมยานยนต์ การเดินเรือ และการบินและอวกาศ ข้อเสียรวมถึงเสียง ความร้อน ปัญหาการรั่วไหล (เมื่อไม่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม)



รูปที่ 2.12 แอกชูเอเตอร์เชิงเส้นไฮดรอลิก

(ที่มา <https://www.amazon.com/Stroke-Length-Actuator-Industrial-Grade-Hydraulic/dp/B087PCNDF>)

- นิวเมติกลิเนียร์แอกชูเอเตอร์ (Pneumatic linear actuators)

นิวเมติกลิเนียร์แอกชูเอเตอร์ใช้อากาศหรือก๊าซที่มีแรงดันการออกแบบพื้นฐานมีอายุการใช้งานที่นาน ใช้ในแอปพลิเคชันที่ต้องการความดัน 100PSI หรือน้อยกว่าหรือเมื่อต้องการความเร็วสูงตั้งแต่สองสามนิ้วต่อวินาทีไปจนถึงมากกว่า 60 นิ้วในการเดินทางต่อวินาที



รูปที่ 2.13 นิวเมติกลิเนียร์แอกชูเอเตอร์

(ที่มา : <https://www.alibaba.com/showroom/mini-pneumatic-actuator.html>)

- แอกชูเอเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuators)

แอกชูเอเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริกใช้แรงดันไฟฟ้าเพื่อขยายวัสดุซึ่งโดยปกติจะเป็นเซรามิกช่วยให้สามารถวางตำแหน่งได้ละเอียดมากจนถึงช่วงนาโนเมตรที่มีช่วงการเคลื่อนที่สั้นมากและสามารถรับน้ำหนักได้มากเกินกว่าหลายตันและยังมีอัตราการเร่งที่เร็วที่สุดโดยเกิน 10,000 Gs ข้อดี ได้แก่ การใช้พลังงานต่ำการสึกหรอหรือการเสียดสีเพียงเล็กน้อยซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานในห้องปลอดเชื้อและไม่มีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิที่ใช้งานได้จริงเนื่องจากเอฟเฟกต์เพียโซอิเล็กทริกทำงานที่ระดับเกือบ 0 เคลวิน ใช้เป็นหลักในงานอุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์



รูปที่ 2.14 แอคชูเอเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก

(ที่มา : <https://www.matsusada.com/product/pz/actuator/pza/>)

2.4.3 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

วาล์วที่ใช้ควบคุมทิศทางลมอัดโดยใช้ไฟฟ้าให้อุปกรณ์นิวเมติกส์เคลื่อนที่ตามทิศทางที่ต้องการ ซึ่งโซลินอยด์ คือ อุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เปิดปิดวาล์ว เพื่อให้ น้ำ, อากาศ, ก๊าซ ฯลฯ ไหลผ่านโดยภายในโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบๆ แท่งเหล็ก โดยมีแท่งเหล็กทั้งหมด 2 ชุด คือ แท่งเหล็กชุดบน และแท่งเหล็กชุดล่าง โดยเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดเต็ยวาล์วเพื่อเปิดวาล์วและเมื่อปิดสวิตซ์ตัดกระแสไฟฟ้าเต็ยวาล์วจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิม โดยน้ำหนักของตัวเองเพื่อปิดวาล์ว อาทิ โซลินอยด์วาล์วน้ำ, โซลินอยด์วาล์วแก๊ส, โซลินอยด์วาล์วไฮดรอลิก, โซลินอยด์วาล์วลม

2.3.4.1 โซลินอยด์วาล์วลม

วาล์วควบคุมทิศทางลมด้วยขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถควบคุมทิศทางลมได้ตามต้องการ มีหลายแบบให้เลือกใช้ เช่น 2/2 , 3/2 , 5/2 way และ มีทั้งแบบ N/O (Normal Open), NC (Normal Close) สั่งการร่วมกับสปริงหรือคอยล์ไฟฟ้าอีกตัวเมื่อต้องการให้วาล์วอยู่อีกตำแหน่งโซลินอยด์วาล์วประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับทำหน้าที่เปิดปิดวาล์วเมื่อเปิดและปิดสวิตซ์เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดเต็ยวาล์วเพื่อเปิดวาล์วและเมื่อปิดสวิตซ์ตัดกระแสไฟฟ้าเต็ยวาล์วจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิม Solenoid Valve 2 ทาง ใช้กับงานลม, แก๊สทั่วไป, น้ำ, น้ำมัน



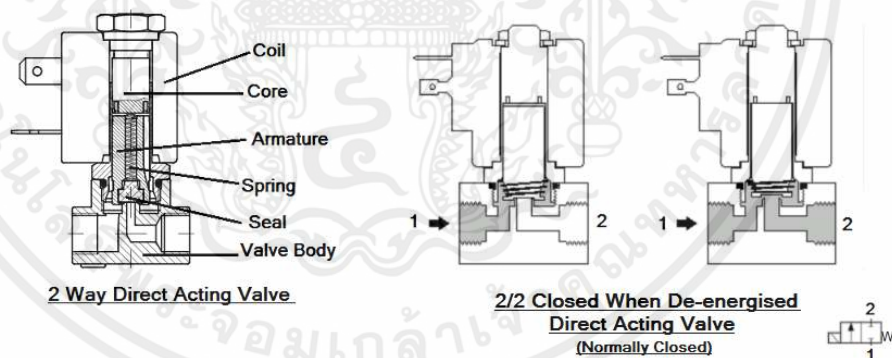
รูปที่ 2.15 โซลินอยด์วาล์วลม

(ที่มา : AirTAC อินเทอร์เน็ตชั้นแนลกรูป)

หลักการการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

- ระบบเปิดปิดโดยตรง (Direct acting)

ระบบเปิดปิดโดยตรงโซลินอยด์วาล์ว 2 ทางที่มีระบบการทำงานแบบเปิดปิดโดยตรงนั้น จะมีทางเข้าและทางออกหนึ่งทางซึ่งมีซีลอยู่ปลายด้านล่างทำหน้าที่เปิดและปิดรูทางผ่าน (orifice) ของของไหลเมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้า หรือ ตัดไฟฟ้าออกจากคอยล์



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบระบบเปิดปิดโดยตรง

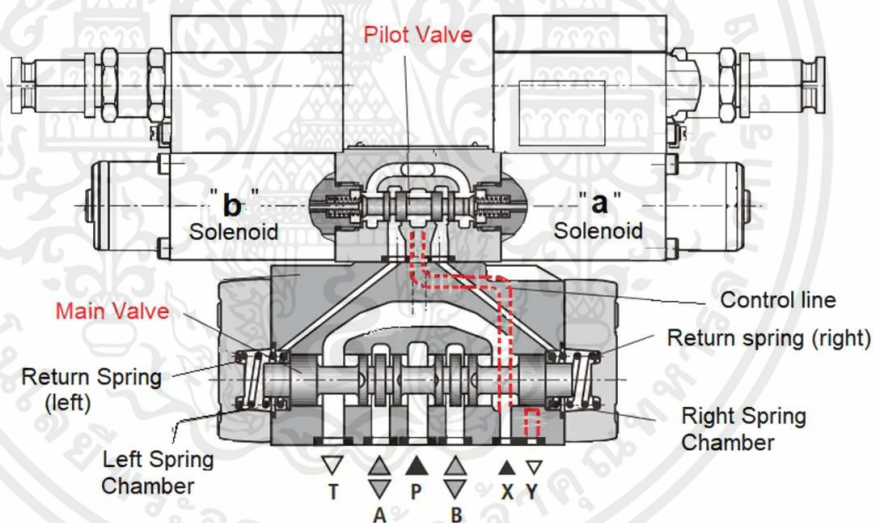
(ที่มา : <https://www.betavalve.com/Wiki/79/Direct-Acting-Solenoid-Valves>)

ข้อควรระวังในการใช้วาล์วที่ทำงานด้วยระบบนี้คือ

เมื่อมีการเพิ่มความดัน(pressure)ของของไหลในระบบ จะต้องใช้แรงมากขึ้นในการเปิดวาล์วหากความดันของของไหลสูงกว่าที่กำลังของคอยล์จะเปิดวาล์วได้วาล์วนั้นก็จะไม่ทำงานถึงแม้จะมีการจ่ายไฟฟ้าแล้วก็ตาม

- ระบบเปิดปิดทางอ้อม (Pilot control)

ระบบการทำงานวาล์วเปิดปิดโดยอาศัยหลักการความต่างของความดันคือมีการจ่ายไฟเข้าคอยล์เพื่อให้ Plunger ยก Pilot Seal ขึ้นทำให้ของเหลวที่อยู่ด้านบนของแผ่นไดอะแฟรมไหลผ่าน ซึ่งจะทำความดันด้านบนแผ่นไดอะแฟรมลดลงต่ำกว่าความดันของของไหลที่ไหลเข้ามา จึงทำให้แผ่นไดอะแฟรมยกขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดการเปิดของวาล์ว



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบระบบเปิดปิดทางอ้อม

(ที่มา : <https://instrumentationtools.com/what-is-a-pilot-valve/>)

- ระบบลูกผสม (Combined Operation)

ระบบการทำงานแบบลูกผสมนั้น จะมีทางเข้าและทางออกหนึ่งทาง การเปิดรูผ่านหลัก (orifice) ซึ่งอยู่ภายในตัววาล์วนั้นเป็นการผสมผสานทั้งการทำให้ความดันของพื้นที่ด้านบนและด้านล่างของแผ่นไดอะแฟรมเสียสมดุลบวกกับแรงที่ทุ่น (plunger) ของโซลินอยด์วาล์วช่วยออกแรงยกแผ่นไดอะแฟรมโดยตรงด้วยการทำงานหลักๆของแผ่นไดอะแฟรมก็เหมือนกับระบบเปิดปิดทางอ้อมจะต่างก็ตรงที่ว่าแม้จะมีความดันขาเข้าเพียงน้อยนิดวาล์วก็สามารถเปิดได้ด้วยแรงยกของทุ่น (plunger)



รูปที่ 2.18 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์วแบบระบบลูกผสม

(ที่มา : <https://agbind.com/product/2-way-high-pressure-combined-operating-solenoid-valve-normally-closed/>)

2.4.4 Aluminum Compressed Air Tank

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้การจ่ายลมอัดคงที่สม่ำเสมอเพียงพอดต่อการจ่ายลมอัดให้กับอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพนอกจากจะเป็นการสำรองปริมาณลมอัดไว้สำหรับการใช้งานแล้วยังมีประโยชน์สำหรับการทำให้ความดันในระบบเท่ากันเพื่อลดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากการอัดของลูกสูบ และเพื่อรักษาความดันในระบบให้สม่ำเสมอเราสามารถสรุปประโยชน์ของถังเก็บลมอัดได้ดังต่อไปนี้

- ช่วยลดปริมาณความชื้นที่อยู่ในลมอัด และช่วยขจัดฝุ่นละออง, น้ำมัน เช่น น้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่น Compressor ที่ติดมาในลมอัด จะมีโอกาสตกลงสู่กันถึง รวมถึงพวกฝุ่นละอองต่างๆ จะได้มีโอกาสระบายออกจากลมอัด
- ช่วยลดแรงกระแทกและทำให้การไหลของอากาศไปตามท่อจ่ายลมหลักสม่ำเสมอ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการใช้เครื่องอัดลมชนิดลูกสูบ (reciprocating) อัดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อช่วยลดต้นทุน เนื่องจากเครื่องอัดลมไม่ต้องเดินเครื่องอยู่ตลอดเวลา ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.19 แสดงถังลมที่ใช้อัดอากาศ

(ที่มา : <https://www.hkarmy.com/collections/aluminum-compressed-air-tank/products/13ci-3000psi-aluminum-compressed-air-tank?variant=19327667732550>)

2.4.5 ตัวปรับแรงดันลม (Air Regulator)

ตัวปรับความดันลมตัวควบคุมความดันลม Air Regulator, Regulator คือตัวปรับให้แรงดันด้านขาออกของตัวปรับแรงดันลมเป็นไปตามความต้องการใช้งานอย่างคงที่ ซึ่งโดยปรกติมักปรับอยู่ที่ประมาณ 3-5 Bar ตัวปรับแรงดันลม (Regulator) สามารถเขียนย่อๆว่า "R"



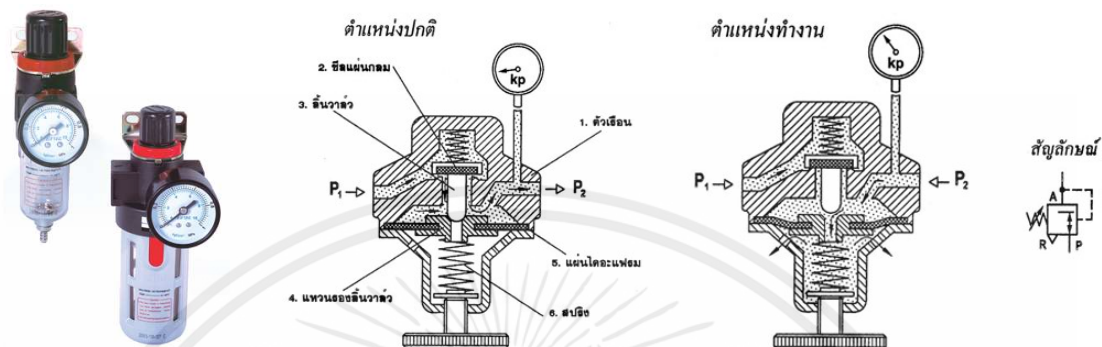
รูปที่ 2.20 ตัวปรับแรงดันลม (Air Regulator)

(ที่มา : <https://www.pneu-hyd.co.th/-pneumatic-component.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ตัวกรองลมดักน้ำ (Filter)

ทำหน้าที่กรองฝุ่นและดักไอน้ำ โดยมีตระแกรงกรองขนาด 40, 5, 0.3, 0.01 ไมครอน เพื่อให้เลือกใช้ให้เหมาะกับงาน



รูปที่ 2.21 แสดงตัวกรองลมดักน้ำ

(ที่มา : <https://www.pneu-hyd.co.th/-pneumatic-component.html>)

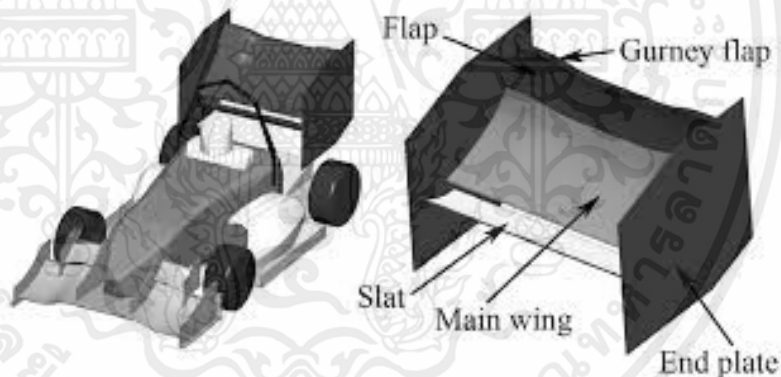
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ในขั้นแรกต้องคำนวณหาแรงต้านที่กระทำกับรถ เพื่อหาขนาดและองศาของ Rear wing ที่เหมาะสม ศึกษาข้อมูลและออกแบบระบบลดแรงต้าน เพื่อนำข้อมูลไปเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม และสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของระบบลดแรงต้านอากาศยานในภาพรวม ก่อนทำการวางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์ในการสร้าง Rear wing จากนั้นทำชิ้นงานจริงขึ้นมารวมทั้งติดตั้งระบบลดแรงต้าน ทดสอบระบบการทำงานของระบบว่าทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่

3.2 ศึกษาส่วนประกอบของ Rear wing



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของ rear wing

(ที่มา : <https://www.sv->

jme.eu/?ns_articles_pdf=/ns_articles/files/ojs/3240/public/3240-18404-1-PB.pdf&id=3281)

- ปีกหลัง (Rear Wing)

ปีกหลังของรถF1เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแอโรไดนามิกหน้าที่หลักของปีกหลังคือสร้างแรงกดซึ่งจะกดรถลงบนลู่วิ่งช่วยเพิ่มการยึดเกาะถนนและความเร็วปีกหลังติดตั้งอยู่ที่ส่วนหลังของรถและ

สร้างกระแสลมที่ไหลไปทั่วและรอบๆช่วยลดแรงต้านของอากาศหรือแรงต้านปีกหลังยังสามารถปรับได้ซึ่งช่วยให้ผู้ขับสามารถปรับความเสถียรและความเร็วของรถบนเส้นทางต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

แผ่นปิดท้าย (Endplates)

แผ่นปิดท้ายเป็นส่วนประกอบแนวตั้งของปีกหลังที่ติดกับปีกหลักแผ่นปิดท้ายช่วยควบคุมการไหลเวียนของอากาศบริเวณปีกหลังลดความปั่นป่วนและการลากแผ่นปิดท้ายยังช่วยป้องกันไม่ให้กระแสลมรั่วไหลออกจากด้านข้างของปีกซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง

- แผ่นพับ (Flap)

แผ่นพับเป็นส่วนประกอบแนวนอนของปีกหลังที่ติดกับแผ่นปิดท้ายแผ่นพับสามารถปรับได้และทีมสามารถเปลี่ยนมุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของรถบนสนามแข่งต่างเมื่อลื่นปีกนกเอียงลงปิดลงจะเพิ่มแรงกดที่เกิดจากปีกหลังทำให้การยึดเกาะถนนและความเร็วของรถดีขึ้นเมื่อลื่นปีกนกทำมุมขึ้น/เปิดออก จะลดแรงกดลง ทำให้รถวิ่งเร็วขึ้นในทางตรงGurney Flap

แผ่นเกอร์นีย์เป็นส่วนประกอบขนาดเล็กที่ติดอยู่กับขอบท้ายของปีกหลังแผ่นปิดเกอร์นีย์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของปีกหลังโดยสร้างกระแสลมวนขนาดเล็กที่ช่วยลดความปั่นป่วนและการลาก

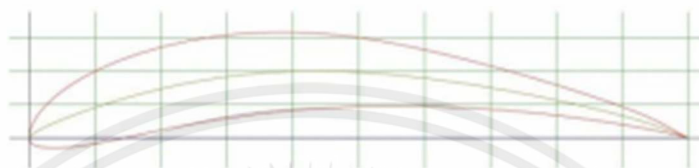
- ระบบลดแรงต้าน (DRS)

เป็นระบบที่ช่วยให้ปีกหลังสามารถปรับได้เพื่อลดแรงต้านและเพิ่มความเร็วอนุญาตให้ใช้DRSในบางส่วนของสนามแข่งเท่านั้นในระหว่างการแข่งขันเมื่อเปิดใช้งานDRSแผ่นปิดของปีกหลังจะเปิดขึ้นลดแรงกดลงและทำให้รถวิ่งเร็วขึ้นในทางตรง

3.3 ศึกษาประเภทของ Air foil

Air foil มีขนาดที่เป็นมาตรฐานทั่วโลกขึ้นอยู่กับว่าต้องการเลือกใช้แบบใดโดยแต่ละแบบจะมีค่าสัมประสิทธิ์การยกที่แตกต่างกัน

- EPPLER 423 :



รูปที่ 3.2 แสดง Air foil EPPLER 423

(ที่มา : <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=e423-il>)

- S1223 :



รูปที่ 3.3 แสดง Air foil S1223

(ที่มา : <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=s1223-il>)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆของ Air foil

Name of Airfoil	Max Cl at Re= 450000	Max Negative Cm at Re= 450000	Stall Angle	Cd at Cl= 1.4	Cd at Cl= 2.0
S1223	2.36	-0.263	14	0.017	0.021
Eppler 420	2.13	-0.234	14.5	0.017	0.014
Eppler 423	2.01	-0.246	13.5	0.016	0.025
FX74-CL5-140	2.19	-0.252	12	0.016	0.020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบระบบ DRS

- คำนวณหาความเร็ว, เวลาและแรงของกระบอกลม ที่ความดันของระบบสูงสุด (at P=0.7 MPa)

เมื่อ Tank มีความดัน = 3000psi = 206.84 bar = 20.7 MPa

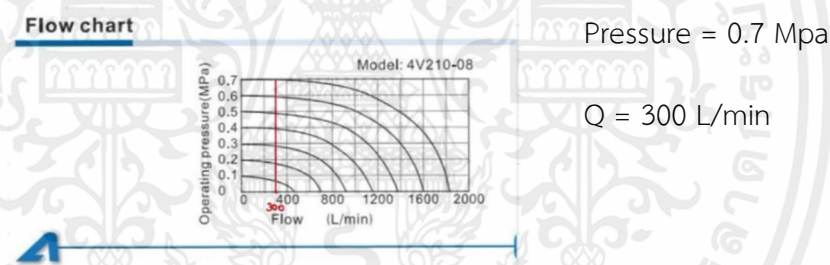
Regulator Operation pressure = 40-130 psi = 2.75-8.9 bar = 0.275-0.89 MPa

Solenoid Valve (Model: 4v210-08) Operation pressure = 21-114 psi = 0.15-0.8 MPa

Actuator (MAL 25 x 50 mm) Double Acting with

Stroke diameter = 10 mm

Operation pressure = 15-145 psi = 1-10 bar = 0.1-1 Mpa



รูปที่ 3.4 กราฟการทำงานของ Solenoid valve

ขณะชักเข้า

ขณะชักออก

จาก $Q = AV$

$Q = AV$

$$300 \times \frac{10^{-3}}{60} = \frac{\pi(25 \times 10^{-3})^2}{4} V$$

$$\frac{\pi((25-1) \times 10^{-3})^2}{4} V$$

$$300 \times \frac{10^{-3}}{60} =$$

$V = 10 \text{ m/s}$

$V = 28 \text{ m/s}$

$$\text{จาก } t = \frac{s}{v} \quad ; \text{ stroke} = 50 \text{ mm}$$

$$t = \frac{50 \times 10^{-3}}{10}$$

$$t = 0.005 \text{ s}$$

ใช้ actuator 2 ตัว แรง = 68 kgf

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{50 \times 10^{-3}}{28}$$

$$t = 0.0018 \text{ s}$$

ใช้ actuator 2 ตัว แรง = 24 kgf

- การคำนวณด้วยโปรแกรม Excel

ตารางที่ 3.2 ความเร็ว เวลาและแรงของกระบอกลมที่แต่ละความดันต่าง

ความดัน (psi)	Regulator output pressure (MPa)	solenoid valve operation pressure (MPa)	Actuator operation pressure (MPa)	Flow rate (Q) L/min	at push out			at pull in		
					v (m/s)	t (s)	F (kgf)	v (m/s)	t (s)	F (kgf)
800	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
900	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1000	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1100	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1200	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1300	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1400	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1500	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1600	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1700	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1800	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
1900	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2000	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2100	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2200	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2300	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2400	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2500	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2600	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2700	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2800	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
2900	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875
3000	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 Mpa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875

ตารางที่ 3.3 จำนวนครั้งของระบบ DRS ที่ใช้ได้ในแต่ละความดันของถัง

จำนวนครั้งของระบบDRSที่ใช้ได้ในแต่ละความดันของถัง (solenoid valve output 0.3 MPA)												
ความดันถัง (psi)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
จำนวนครั้งที่ใช้ได้ (round)	18	20	22	25	27	29	32	34	36	39	41	43
ความดันถัง (psi)	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	
จำนวนครั้งที่ใช้ได้ (round)	45	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณ เลือกใช้ Air tank ที่ความดัน=2200 psi, Solenoid valve output=0.3 MPa
 Flow rate=10 L/min Actuator ขณะชักออกมีความเร็ว=0.339 m/s ระยะเวลา stroke=0.147 s
 แรง=14.718 kgf ขณะชักเข้ามีความเร็ว=0.943 m/s ระยะเวลา stroke=0.053 s แรง=5.298 kgf

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ DRS (Drag Reduction System)

1. Push button switch



รูปที่ 3.5 แสดง Push button switch

เลือกใช้ push button switch XB7-NA-1 ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถรับแรงดันได้ 10-24V ต่อเข้ากับแบตเตอรี่แบบแห้ง 12V และโซลินอยด์วาล์ว แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ switch ทำงาน เมื่อ switch ทำงานจะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วทำงาน

2. Compressed Air Tank



Details:

- Aluminum Tank
- 13ci / 3000psi
- Output Pressure 800psi
- Fill Level Gauge

รูปที่ 3.6 แสดง Compressed Air Tank และข้อมูลของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณพบว่าต้องใช้ความดันอย่างน้อย 2200 psi จึงจะเพียงพอต่อการแข่งขันแบบ endurance เลือกใช้ถังอากาศ HK Army aluminum compressed air tank ที่มีคุณสมบัติรับแรงดันได้สูงสุด 3000 psi แรงดันขาออกอยู่ที่ 800 psi

3. Regulator



Min Output Pressure	40 PSI
Max Output Pressure	130 PSI
Max Input Pressure	900 PSI
Outputs	2x 1/8 NPT
Warranty Information	1 Year Limited Warranty

รูปที่ 3.7 แสดง Regulator และข้อมูลของอุปกรณ์

จากการคำนวณพบว่าต้องใช้ความดัน 0.3 MPa(43.5 psi) จึงจะเพียงพอต่อการใช้งาน Pneumatic Cylinder 1รอบ เลือกใช้ The ultra compact Micro Regulator stands ที่มีคุณสมบัติรับแรงดันได้สูงสุด 900 psi แรงดันขาออกอยู่ที่ 40-130 psi

4. แบตเตอรี่แบบแห้ง 12 V



รูปที่ 3.8 แสดงแบตเตอรี่แบบแห้ง 12 V

เนื่องจาก switch ที่ใช้รับแรงดันได้ 10-24V จึงใช้แบตเตอรี่แบบแห้ง 12V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โซลินอยซ์วาล์ว (Model: 4V210-08)



รูปที่ 3.9 แสดงโซลินอยซ์วาล์ว Model : 4V210-08

Solenoid valve(5/2 way, 5/3 way)

4V200 Series

AIRTAC



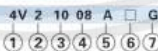
Symbol



Product feature

1. Pilot-oriented mode: Internal pilot or external pilot.
2. Structure in sliding column mode: good tightness and sensitive reaction.
3. Three position solenoid valves have three kinds of central function for your choice.
4. Double control solenoid valves have memory function.
5. Internal hole adopts special processing technology which has little attrition friction, low start pressure and long service life.
6. No need to add oil for lubrication.
7. It is available to form integrated valve group with the base to save installation space.
8. Affiliated manual devices are equipped to facilitate installation and debugging.
9. Several standard voltage grades are optional.

Ordering code



1 Model	2 Code	3 Valve type	4 Port size	5 Voltage	6 Electrical entry	7 Thread type
4V: Solenoid valve (5/2, 5/3 way)	2: 200 Series	10: Single solenoid 5/2 way 20: Double solenoid 5/2 way 30C: Double solenoid 5/3 way closed center 30E: Double solenoid 5/3 way exhaust center 30P: Double solenoid 5/3 way pressure center	08: 1/8" 08: 1/4"	A: AC220V B: DC24V C: AC110V E: AC24V F: DC12V	Blank: Terminal I: Grommet[Note]	G: G Thread

[Note] The wire length is 0.5m. Please refer to 79 for manifold specification and the order way.

specification

Model	4V210-08 4V220-08	4V230C-08 4V230E-08 4V230P-08	4V210-08 4V220-08	4V230C-08 4V230E-08 4V230P-08
Fluid	Air (to be filtered by 40 μm filter element)			
Acting	Internal pilot or external pilot			
Port size [Note1]	In=Out=Exhaust=1/8"		In=Out=1/4" Exhaust=1/8"	
Orifice size(Cv)	4V210-08: 4V220-08: 17.0mm ² (Cv=1.0) [Note4] 4V230C-08: 13.6mm ² (Cv=0.8)			
Valve type	5 port 2 position/5 port 3 position		5 port 2 position/5 port 3 position	
Operating pressure	0.15~0.8MPa(21~114psi)			
Operating pressure	1.2MPa(175psi)			
Temperature	-20~70℃			
Material of body	Aluminum alloy			
Lubrication [Note2]	Not required			
Max. frequency [Note3]	5 cycle/sec		3 cycle/sec	
Weight (kg)	4V210-08: 220 4V220-08: 320		4V210-08: 220 4V220-08: 320	

- [Note1] G thread is available.
 [Note2] Once lubricated air is used, continue with same medium to optimize valve life span. Lubricants like ISO VG32 or equivalent are recommended.
 [Note3] The maximum actuation frequency is in the no-load state.
 [Note4] Equivalent orifice S and Cv are all calculated from the flow rate data.

Coil specification


Item	specification				
Standard voltage	AC220V	AC110V	AC24V	DC24V	DC12V
Scope of voltage	AC: ±15% DC: ±10%				
Power consumption	4.5VA	4.5VA	3.0VA	3.0W	3.0W
Protection	IP65(DIN40050)				
Temperature classification	B Class				
Electrical entry	Terminal, Grommet				
Activating time	0.05 sec and below				

รูปที่ 3.10 แสดงข้อมูลของโซลินอยซ์ Model : 4v210-08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณพบว่าต้องใช้ความดัน 0.3 MPa(43.5 psi) จึงจะเพียงพอต่อการให้งาน Pneumatic Cylinder 1รอบ เลือกใช้โซลินอยวาล์ว 5/2 way Model: 4V210-08 ซึ่งมีช่วงการทำงาน อยู่ที่ 0.15-0.8MPa

6. Pneumatic Cylinder (MAL 25x50)



Bore size(mm)	20	25	32	40
Acting type	MSAL, MTAL	Single acting		
	Others	Double acting		
Fluid	Air (to be filtered by 40 µm filter element)			
Operating pressure	Double acting	0.1-1.0MPa(15-145psi)(1.0-10.0bar)		
	Single acting	0.2-1.0MPa(28-145psi)(2.0-10.0bar)		
Proof pressure	1.5MPa(215psi)(15bar)			
Temperature °C	-20-70			
Speed range mm/s	Double acting: 30-800 Single acting: 50-800			
Stroke tolerance	0-150(+1.0 0) > 150(+1.0 0)			
Cushion type	Bumper			
Port size	1/8"			1/4"

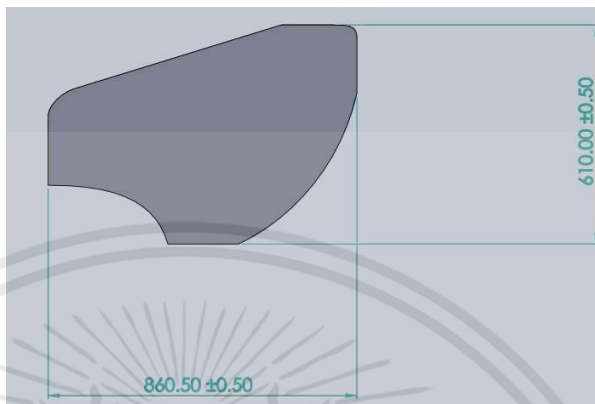
รูปที่ 3.11 แสดง MAL 25x50 และข้อมูลของอุปกรณ์

จากการคำนวณพบว่าต้องใช้ความดัน 0.3 MPa(43.5 psi) จึงจะเพียงพอต่อการให้งาน Pneumatic Cylinder 1รอบ เลือกใช้ Pneumatic Cylinder (MAL 25x50) ซึ่งมีช่วงการทำงานอยู่ที่ 0.1-1.0 MPa และมีขนาดเล็กที่สุดเหมาะสมสำหรับการติดตั้งในรถแข่งนักศึกษา

3.6การออกแบบ Wing

1. ในการออกแบบWingตามมาตรฐานของFSAEกำหนดให้สามารถติดตั้งWingได้เฉพาะด้านหลังของนักพิกนักขับเท่านั้นไม่สามารถติดตั้งถ้าเข้าไปยังพื้นที่ของห้องนักขับได้โดยกำหนดให้ขนาดของWing มีความสูงจากพื้นได้ไม่เกิน1.2เมตรมีความกว้างได้ไม่เกินขอบล้อด้านในและความยาวจากล้อหลังได้ไม่เกิน 250 มิลลิเมตร

- ออกแบบ end plate



รูปที่ 3.12 ขนาดของ End plate

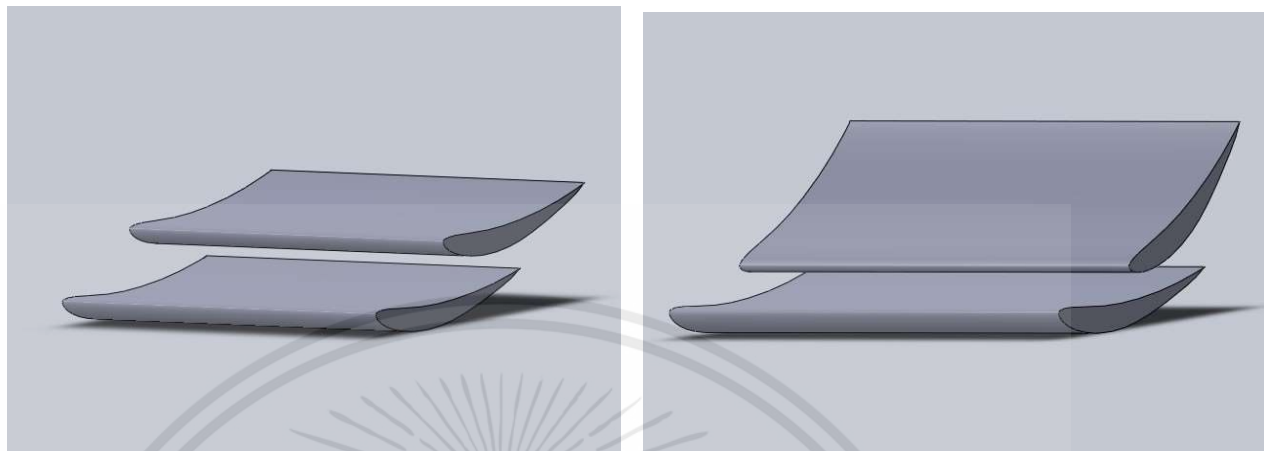
- เลือกใช้ Air foil E423



Main Air foil มีความกว้าง 400 มิลลิเมตร

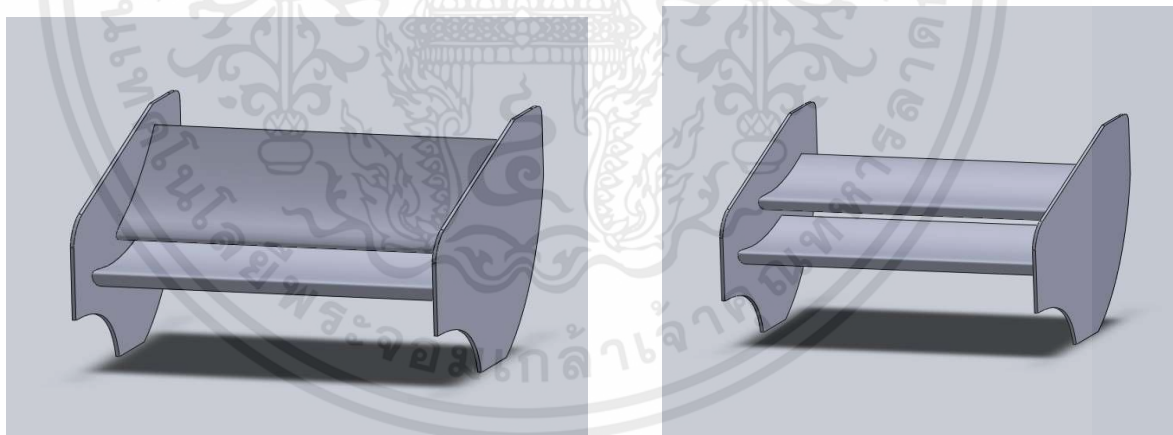
Flap Air foil มีความกว้าง 200 มิลลิเมตร

2. ทำ air foil E423 ให้เป็น 2 ชั้น



รูปที่ 3.13 Air foil ในขณะที่ทำการเปิดและปิดระบบ DRS

3. สร้างแบบจำลอง 3D ใน Solidwork



รูปที่ 3.14 Air foil ในขณะที่ปิด-เปิดระบบ DRS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ขั้นตอนการขึ้นชิ้นงาน Air foil

1. CNC โฟม เพื่อขึ้นรูปโฟมตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ใน solid work เพื่อที่จะทำโมลก่อนที่จะนำไปขึ้นชิ้นงานจริง เป็นการขึ้นรูปอีกวิธีที่จะได้ชิ้นงานที่มีความรายละเอียดสูง



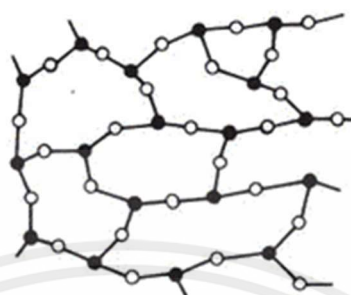
รูปที่ 3.15 โฟมที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการ CNC

2. เคลือบโฟมด้วย Epoxy Resin เพื่อทำให้โฟมแข็งไม่แตกหักได้ง่าย

อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) คือ สารเคมีที่มีคุณสมบัติให้ความแข็งแรงและความงาม ไม่มีกลิ่นฉุน ผสมง่าย เกิดความร้อนน้อย หดตัวน้อย ใช้ระยะเวลาในการทำชิ้นงาน 2-6 ชั่วโมง หรือแข็งแรงสมบูรณ์ที่ 24 ชั่วโมงสำหรับความแข็งแรงสูงสุดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสม part A : part B ไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำให้อีพ็อกซีเรซินเซตตัวแข็งตัวทำให้ใช้งานง่ายลดขั้นตอนการทำงานประหยัดเวลาทำงานได้เยอะเมื่อเซตตัวแล้วมีความแข็งแรงมีสีค่อนข้างใส ไม่แตกหักง่าย ไม่ละลายน้ำ

อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) จัดอยู่ในกลุ่ม Thermosetting Polymer ความหมายคือ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตในครั้งแรกแล้วจะมีความแข็งแรงทนทานมากไม่คืนรูปและไม่สามารถนำมารีไซเคิลใหม่ได้อีพ็อกซีเป็น Copolymer ที่หมายถึงโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปโดยปกติ Epoxy Resin ได้จากการทำปฏิกิริยาของ Bisphenol A กับ Epichlorohydrin Monomer และ สารเพิ่มความแข็งแรง (Hardender) ประเภท Polyamine ระยะเวลาการเซตตัวขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งานในครั้งนั้นๆ เช่นการผสม part A + part B ปริมาณมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วและมีความร้อนสะสมมากกว่า

สามารถเร่งให้เซตตัวได้เร็วขึ้นด้วยความร้อนยกตัวอย่างเครื่องอบงานเรซินได้ถูกปรับอุณหภูมิอยู่ที่ 70 องศา ย่นระยะเวลาจาก 24ชม.เหลือ 4ชั่วโมงได้



thermosetting
polymer

รูปที่ 3.16 พันธะทางเคมีของสาร

การเคลือบผิว (coating)

ด้วยคุณสมบัติใส, เงา, เรียบ, ผิวมันวาว, กันน้ำได้ดี, มีความทนทานและสามารถเคลือบได้บนวัสดุหลายประเภทใช้เคลือบผิวอาคารพื้นอาคารพื้นโรงงานเคลือบกันสารเคมีทั้งในอุตสาหกรรมอาหารที่น้ำมันและอาหารหกใส่อาจทำให้พื้นลื่นได้การเคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีเรซินจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องความสะอาดนี้ได้ง่ายป้องกันเชื้อโรคเชื้อราและแบคทีเรียใช้เคลือบภายในถังบรรจุสารเคมีเคลือบเพื่อใช้เป็นแบบแม่พิมพ์หล่อชิ้นงานใช้ผสมในสีเพื่อเพิ่มการยึดเกาะแข็งแรงทนการขีดข่วนได้ดีเคลือบผิวแล้วชิ้นงานแข็งแรงรับแรงกระแทกได้ดี



รูปที่ 3.17 Epoxy Resin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



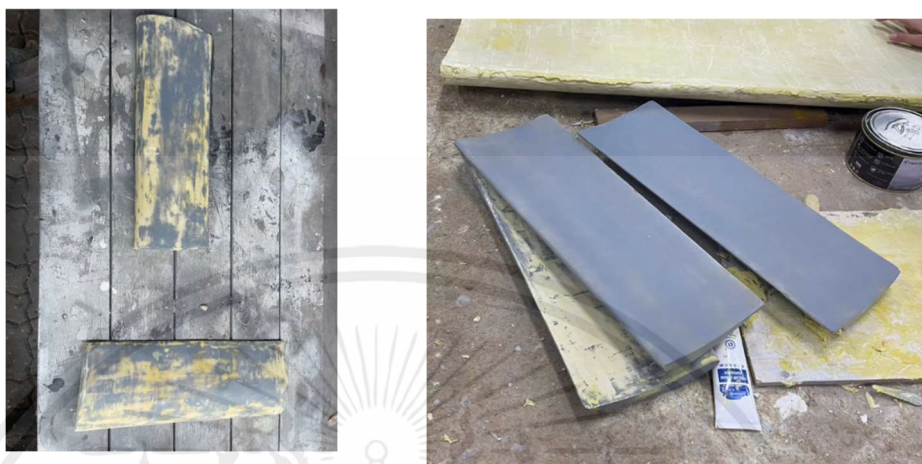
รูปที่ 3.18 การผสม Epoxy Resin



รูปที่ 3.19 การทำ epoxy resin ลงบนโฟมขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชัด Epoxy Resin ที่เคลือบกับโฟมให้เรียบและทาสีโป๊วทึบรอยที่ไม่มี ความเรียบเมื่อสีโป๊วแห้งแล้วชัด ให้ได้รูปทรงที่เราต้องการแล้วพ่นสีเคลือบให้ผิวเงาเพื่อให้ง่ายต่อการหุ้มผ้าไฟเบอร์กลาส



รูปที่ 3.20 โฟมขาวที่แข็งตัวแล้วทำการขัดผิวให้เงาและพ่นสีเคลือบ

4. ทาแว็กซ์เคลือบที่ผิวโฟมให้เกินออกมานอกชิ้นงานก่อนที่จะหุ้มผ้าไฟเบอร์กลาสลงไปที่แผ่น flap ที่ทำ จากโฟมจะทำให้โมลที่เราต้องการไม่ติดกับแผ่นโฟม เพราะพื้นผิวด้านในคือพื้นผิวที่เราต้องใช้นำไปขึ้น ชิ้นงาน



รูปที่ 3.21 แว็กซ์ที่ใช้เคลือบผิวโฟมขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แปะผ้าไฟเบอร์กลาสลงบนแผ่นโฟมที่ทำไว้เรียบร้อยแล้ว โดยทาเรซินทับรอยตามแนวค 1 รอบ ต่อผ้า 1 ชั้นทำทั้งหมด 2 ชั้น เพื่อให้ได้โมลมีแข็งแรงพอที่จะนำไปขึ้นชิ้นงาน



รูปที่ 3.22 การแปะผ้าไฟเบอร์กลาส

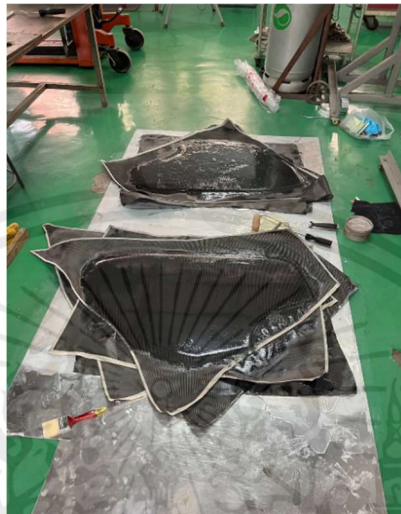
6. ทำการขึ้นรูปตัว end plat และ flaps เริ่มจากการตัดผ้าคาร์บอนด้วยการ วัดขนาดแปะเทปหนังไก่ เพื่อให้เวลาตัดผ้าคาร์บอนไม่หลุดออกจากกันและตัดผ้าคาร์บอนเพื่อเตรียมหุ้มโมล โดยแบ่งการตัดผ้าเป็น แนวลายผ้ามุม 90 องศาและ 45 องศา



รูปที่ 3.23-3.24-3.25 ตัดผ้าคาร์บอนให้ได้ขนาดโดยเผื่อขนาดตอนหุ้มโมลไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ขึ้นรูปชิ้นงาน end plate และ flaps โดยการนำผ้าคาร์บอนที่ตัดมาหุ้มกับโมลที่ละชั้นและใช้เรซินเทลงในเนื้อผ้าคาร์บอน รีดอากาศทั้งหมดออกจากตัวเนื้อผ้าแทนการแวคคัมเพื่อให้ผ้าแข็งตัว ทำทั้งหมด 2 ชั้น ทั้งด้านซ้ายและขวา



รูปที่ 3.26 แสดงการหุ้มผ้าคาร์บอน

8. เมื่อชิ้นงานแห้งครบทุกชั้น ตัดผ้าคาร์บอนที่เป็นส่วนเกินออก จัดตกแต่งให้ได้ตรงตามที่ต้องการและนำชิ้นส่วนของ end plate และ flaps มาประกอบเข้าด้วยกัน

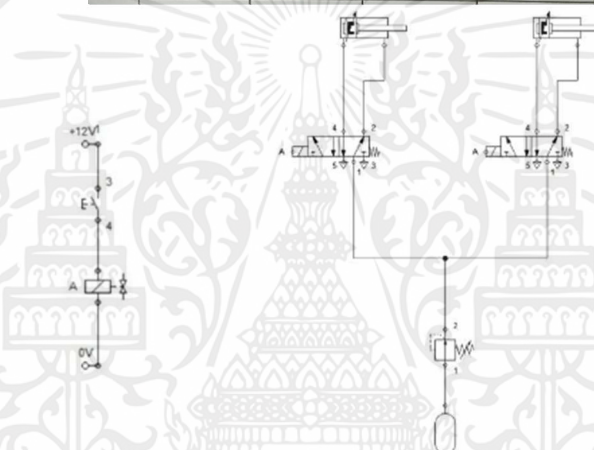


รูปที่ 3.27 Rear wing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ขั้นตอนการติดตั้งระบบ DRS

1. เตรียมระบบ DRS (Drag Reduction System)



รูปที่ 3.28 แสดงชุดระบบ DRS (Drag Reduction System) และ pneumatic diagram

2. ติดตั้งระบบ DRS (Drag Reduction System) เข้ากับ Rear Wing



รูปที่ 3.29 แสดงหลังการติดตั้ง DRS (Drag Reduction System)

3. ตรวจสอบความเรียบร้อยและทำการทดลอง



รูปที่ 3.30 แสดงการทำงานของ DRS ขณะเปิดและปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองเพื่อติดตั้งระบบ DRS (Drag Reduction System) ปรับองศาของปีกหลัง (Rear wing) โดยระบบ DRS จะช่วยให้แผ่นพยับยกขึ้นได้เพื่อลดแรงต้านอากาศที่กระทบกับตัว Rear wing และส่งผลให้มีดาวนฟอร์ซน้อยลง ดาวนฟอร์ซที่ลดลงจะช่วยให้ความเร็วที่เคลื่อนที่เพิ่มขึ้น โดยในการทดลองนี้ได้ทำการเลือกใช้ E-423 เป็นรูปแบบของ Air foil ที่ต้องการจะนำมาทดลองโดยทำการ simulation เพื่อให้ได้ค่าองศาปะทะที่เหมาะสมคำนวณหาค่าแรงต้าน แรงยก และจำนวนของ Flap wing ที่จะใช้ประกอบเป็น Rear wing การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมในระบบ DRS (Drag Reduction System)

4.1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่าองศาการปะทะ แรงต้าน แรงยก สัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยกของอากาศที่กระทำต่อ Rear wing

ค่าแรงต้านของอากาศ (F_{Drag}) สามารถคำนวณได้จาก :

$$F_{Drag} = \frac{1}{2} C_D \rho u_\infty^2 A$$

เมื่อ F_{Drag} คือ แรงต้านอากาศ (นิวตัน)

C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (นิวตันต่อเมตร)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

u_∞ คือ ความเร็วของอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าหน้าตัด (ตารางเมตร)

ค่าแรงยก (F_{Lift}) สามารถคำนวณได้จาก :

$$F_{Lift} = \frac{1}{2} C_L \rho u_\infty^2 A$$

เมื่อ F_{Lift} คือ แรงยก (นิวตัน)

C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยก (นิวตันต่อเมตร)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

u_∞ คือ ความเร็วของอากาศ

A คือ พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)

ค่า Reynolds's number (Re) สามารถคำนวณได้จาก :

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu}$$

เมื่อ Re คือ Reynolds's number

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

v คือ ความเร็วของอากาศ

l คือ ความกว้างของ Airfoil

μ คือ ความหนืดของอากาศ

1. คำนวณค่า Reynolds's number ของการไหลของอากาศในช่วงที่รถเคลื่อนที่

ตารางที่ 4-1 ค่าต่างๆของ Airfoil

	ตัวแปร		
ความยาวปีก (Wingspan)	b	0.9	m
ความกว้างปีก (Chord)	c	0.4	m
ความเร็วรถ (Speed)	V	25	m/s
พื้นที่ปีก (Surface Area)	S	0.36	m ²

Use Standard Temperature Use Kinematic Viscosity

Altitude: 0 m Density: 1.225 kg/m³

Temp.: 25 °C Viscosity: 0.00001812 N.s/m²

Kinematic Viscosity: 1.57240e-5 m²/s Kinematic Viscosity: 1.47918e-5 m²/s

Velocity: 25 m/s

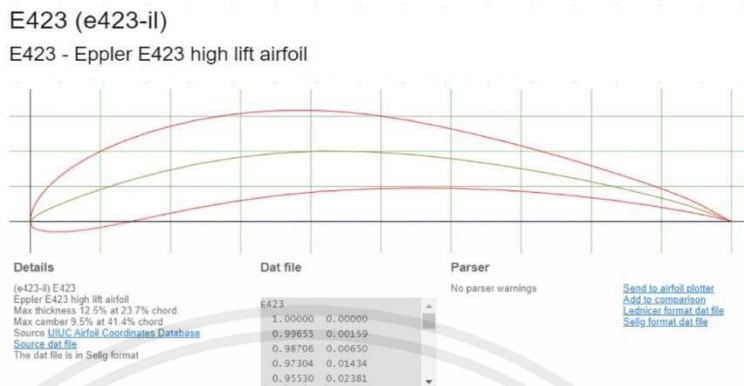
Characteristic Length: 0.4 m

Reynolds Number: 6.3597e+5

รูปที่ 4.1 แสดงค่า Reynolds's number ที่คำนวณได้

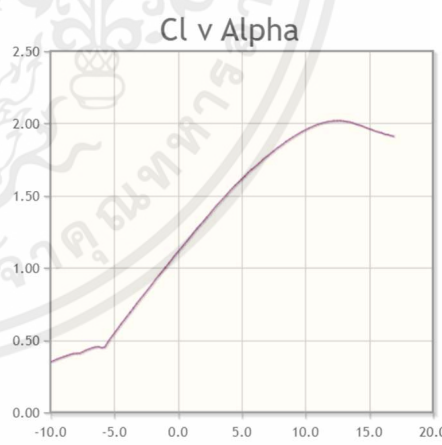
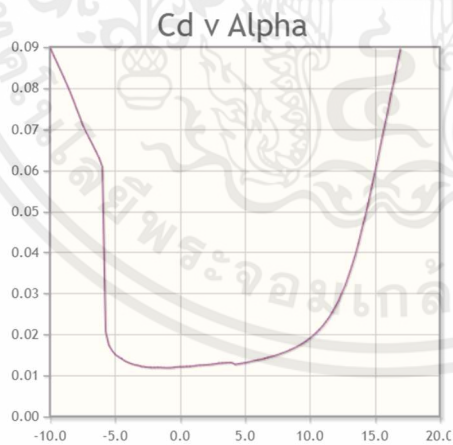
(ที่มา: <https://aerotoolbox.com/reynolds-number-calculator/>)

2. นำค่า Reynolds's number ไปหาค่า CD CL ของ Airfoil e423 จากเว็บ Airfoil tools



Polars for E423 (e423-il)

Plot	Airfoil	Reynolds #	Ncrit	Max Cl/Cd	Description	Source
<input type="checkbox"/>	e423-il	50,000	9	6 at $\alpha=7^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	50,000	5	13.9 at $\alpha=2.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	100,000	9	12.5 at $\alpha=0.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	100,000	5	51.9 at $\alpha=4.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	200,000	9	73.7 at $\alpha=9.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	200,000	5	84.3 at $\alpha=4.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input checked="" type="checkbox"/>	e423-il	500,000	9	123.4 at $\alpha=5.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	500,000	5	120.6 at $\alpha=5.5^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	1,000,000	9	156.5 at $\alpha=5.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=9	Xfoil prediction Details
<input type="checkbox"/>	e423-il	1,000,000	5	145.2 at $\alpha=6.25^\circ$	Mach=0 Ncrit=5	Xfoil prediction Details



รูปที่ 4.2-4.3-4.4 ค่า CD CL ของ Airfoil E423 ที่ Re=500,000

(ที่มา: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=e423-il>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หาค่าแรงต้าน แรงยก พื้นที่ที่ลมปะทะ สัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ สัมประสิทธิ์แรงยก โดยกำหนดช่วงขององศาการปะทะตั้งแต่ 0 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดให้มีความเร็วคงที่ที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4-2 แสดงผลคำนวณเมื่อกำหนดช่วงองศาการปะทะที่ 0 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์และความเร็วที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

%AOA	Velocity (m/s)	Area (m ²)	Down force (N)	Drag force (N)	CL	CD
0%	25	0.36	153.2888438	1.67304375	1.1123	0.01214
1%	25	0.36	167.8005	1.69785	1.2176	0.01232
2%	25	0.36	182.2845938	1.737815625	1.3227	0.01261
3%	25	0.36	196.9065	1.790184375	1.4288	0.01299
4%	25	0.36	210.1778438	1.81085625	1.5251	0.01314
5%	25	0.36	222.2915625	1.80534375	1.613	0.0131
6%	25	0.36	233.674875	1.89905625	1.6956	0.01378
7%	25	0.36	244.2450938	2.00930625	1.7723	0.01458
8%	25	0.36	253.7265938	2.148496875	1.8411	0.01559
9%	25	0.36	262.2158438	2.341434375	1.9027	0.01699
10%	25	0.36	269.2442813	2.6294625	1.9537	0.01908
11%	25	0.36	274.6603125	3.044278125	1.993	0.02209
12%	25	0.36	277.6370625	3.7044	2.0146	0.02688

จากตารางที่ 4-2 พบว่าเมื่อองศาการปะทะเพิ่มขึ้นค่าแรงต้าน, ค่าดาวน์ฟรอส, ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและค่าสัมประสิทธิ์แรงยก มีค่าที่เพิ่มขึ้นตาม

4. กำหนดองศาการปะทะของ Flap wing ที่ 12 องศา โดยมีพื้นที่ 0.36 ตารางเมตรเมื่อปิดระบบ DRS (Drag Reduction System) เพื่อตรวจสอบค่าแรงต้าน และดาวน์ฟอร์ซที่กระทำต่อพื้นที่ด้วยองศาปะทะที่ 12 องศา

ตารางที่ 4-3 แสดงผลคำนวณเมื่อกำหนดให้องศาการปะทะอยู่ที่ 12 องศา ในขณะที่ปิดระบบ DRS

DRS close (12 deg)						
Velocity (Km/s)	Velocity (m/s)	Area (m ²)	Down force (N)	Drag force (N)	CL	CD
30	8.33	0.36	30.82388859	0.411270786	2.0146	0.02688
40	11.11	0.36	54.83092106	0.731586994	2.0146	0.02688
50	13.89	0.36	85.70416241	1.143516274	2.0146	0.02688
60	16.67	0.36	123.4436126	1.647058626	2.0146	0.02688
70	19.44	0.36	167.8765149	2.239909024	2.0146	0.02688
80	22.22	0.36	219.3236842	2.926347976	2.0146	0.02688
90	25	0.36	277.6370625	3.7044	2.0146	0.02688
95	26.39	0.36	309.36858	4.127780914	2.0146	0.02688

จากตารางที่ 4-3 พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแรงต้านและดาวน์ฟอร์ซ มีค่าที่เพิ่มขึ้น

5. กำหนดองศาการปะทะของ Flap wing ที่ 0 องศา โดยมีพื้นที่ที่ลมปะทะอยู่ที่ 0.36 ตารางเมตร เมื่อเปิดระบบ DRS (Drag Reduction System) เพื่อตรวจสอบค่าแรงต้านและดาวน์

ตารางที่ 4-4 แสดงผลคำนวณเมื่อกำหนดค่าองศาปะทะที่ 0 องศา ในขณะที่เปิดระบบ DRS

DRS close (12 deg)						
Velocity (Km/s)	Velocity (m/s)	Area (m ²)	Down force (N)	Drag force (N)	CL	CD
30	8.33	0.36	17.0184708	0.185745065	1.1123	0.01214
40	11.11	0.36	30.27322223	0.330411686	1.1123	0.01214
50	13.89	0.36	47.31894165	0.516454151	1.1123	0.01214
60	16.67	0.36	68.15562908	0.74387246	1.1123	0.01214
70	19.44	0.36	92.68790205	1.011625578	1.1123	0.01214
80	22.22	0.36	121.0928889	1.321646742	1.1123	0.01214
90	25	0.36	153.2888438	1.67304375	1.1123	0.01214
95	26.39	0.36	170.8084342	1.864258196	1.1123	0.01214

จากตารางที่ 4-4 เมื่อเปิดระบบ DRS (Drag Reduction System) ค่าของแรงต้านและดาวน์พอร์ช มีค่าน้อยกว่าขณะที่ปิดระบบ DRS รวมถึงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าต่างๆจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

4.2 ผลการทดลองระบบ DRS



รูปที่ 4.5 การทดลองระบบ DRS

จากการทดลอง

เมื่อเติมลมเข้าถัง ความดัน=2200 psi=151 bar =15 MPa ,Regulator output pressure 43psi =3 bar =0.3 MPa, Solenoid valve operation pressure 21-116 psi =0.15-0.8 MPa, Actuator double action 15-145 psi =1-10 barความเร็วที่ได้ในตอนที่ชักออก ประมาณ 0.5 วินาที และความเร็วในตอนชักเข้า ประมาณ 0.5 วินาที

ดังนั้น สามารถกด DRS ได้ทั้งหมด 50 รอบ เมื่อเปรียบเทียบกับสนามแข่ง spa ที่สามารถกด DRS ได้ 2 ครั้งต่อ 1รอบสนาม เมื่อวิเคราะห์ในรายการแข่ง Endurance ซึ่งวิ่ง 22 รอบสนาม จะพบว่าที่ความดัน 2200 psi เพียงพอต่อการแข่งขัน

ตารางที่ 4-5 ความดันถึงที่เลือกใช้และผลคำนวณ

ความดันถึง (psi)	Regulator output pressure (MPa)	solenoid valve operation pressure (MPa)	Actuator operation pressure (MPa)	Flow rate (Q) L/min	at push out			at pull in		
					v (m/s)	t (s)	F (kgf)	v (m/s)	t (s)	F (kgf)
2200	102 psi = 0.7 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	300	10.1910828	0.0049063	34.34375	28.308563	0.0017663	12.36375
	87 psi = 0.6 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	180	6.11464968	0.0081771	29.4375	16.985138	0.0029438	10.5975
	72 psi = 0.5 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	95	3.22717622	0.0154934	24.53125	8.9643784	0.0055776	8.83125
	58 psi = 0.4 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	50	1.6985138	0.0294375	19.625	4.7180939	0.0105975	7.065
	43 psi = 0.3 MPa	0.15-0.8 MPa	1-10 bar	10	0.33970276	0.1471875	14.71875	0.9436188	0.0529875	5.29875

ตารางที่ 4-6 แสดงความดันถึงที่เลือกและจำนวนครั้งของระบบ DRS

จำนวนครั้งของระบบDRSที่ใช้ได้ในแต่ละความดันของถึง (solenoid valve output 0.3 MPA)												
ความดันถึง (psi)	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
จำนวนครั้งที่ใช้ได้ (round)	18	20	22	25	27	29	32	34	36	39	41	43
ความดันถึง (psi)	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	
จำนวนครั้งที่ใช้ได้ (round)	45	48	50	52	55	57	59	62	64	66	68	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษางานวิจัยนี้เพื่อติดตั้งระบบ DRS (Drag Reduction System) เข้ากับ Rear wing เพื่อลดแรงต้านที่กระทำและเพิ่มความเร็วเมื่อเปิดระบบ DRS (Drag Reduction System) ลดความเร็วช่วยในการเข้าโค้งเมื่อปิดระบบ DRS (Drag Reduction System) ด้วยการออกแบบ rear wing และคำนวณหาองศาการปะทะ จะได้ค่าความดันมาจากการ simulation และวิเคราะห์คำนวณการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ DRS ให้เป็นไปตามกฎของ SAE

จากผลของการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเลือกใช้ E-423 profile จะมีข้อได้เปรียบกว่า s-1223 profile เนื่องจากมีความง่ายในการขึ้นรูปขึ้นงานจริงมากกว่าและจำนวนของ Flap wing ต้องมีจำนวน 2 ชั้น เนื่องจากการไหลของอากาศเกิดความแปรปรวนไม่มากและไม่แบ่ง Flap wing เป็นสองข้าง เพื่อให้ทนต่อแรงกดที่กระทำที่จุดกึ่งกลางของ Flap wing ซึ่งการแบ่ง Flap wing เป็นสองข้างนั้นเมื่อทำการเปิดระบบ DRS หนึ่งข้างจะส่งผลให้เกิดการไม่สมดุลของอากาศที่มากกระทำจะเป็นเหตุให้เกิดการท่ายสะบัด การคำนวณองศาการปะทะของลมที่เหมาะสมที่เมื่อระบบ DRS ปิด ให้องศาการปะทะอยู่ที่ 34 องศา และเมื่อเปิดระบบ DRS ที่ 10 องศา โดยทำเลือกใช้ระบบ DRS แบบนิวเมติก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทราบว่าเมื่อเปิดระบบ DRS ค่าแรงต้านมีค่าน้อยกว่าตอนปิดระบบ DRS ซึ่งจะสามารถเพิ่มความเร็วรถขณะเปิดระบบ DRS ได้มากขึ้นและจากการทดลองจริงระบบ DRS (Drag Reduction System) สามารถเปิดใช้งานได้ 50 รอบโดยเติมลมจำนวน 2200 psi เพียงพอต่อการแข่งขัน Endurance เมื่อเทียบกับสนาม Spa ที่สามารถเปิดระบบ DRS (Drag Reduction System) ได้ 50 ใน 1 รอบสนาม สามารถเปิดระบบ DRS ได้ 2 ครั้ง โดยวิ่งทั้งหมด 22 รอบ

5.2 ปัจจัยอื่นๆที่พบในช่วงดำเนินการวิจัยและทดลอง

กระบอกลมและโซลินอยด์วาล์วที่ใช้ควบคุมปีกมีค่าความดันลมที่กระบอกลมสามารถรับได้ การติดตั้งระบบ DRS จึงต้องคำนวณหาความดันลมที่ใช้ในการเปิด-ปิดระบบให้เหมาะสมเนื่องจากถังลมมีความดันลมที่มีค่ามากจึงจำเป็นที่ลดความดันลมที่ออกถังลมเพื่อให้สามารถใช้กับกระบอกลมและโซลินอยด์วาล์วได้อย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันการที่อัดลมมากเกินไปและเกิดการระเบิดขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากระบบ DRS (Drag Reduction System) ที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบแบบนิวเมติกส์ ซึ่งระบบแบบนิวเมติกส์นิยมใช้กับรถที่มีความเร็วมาก เช่นการแข่งขัน Formula 1 เมื่อความเร็วของรถมากแรงต้านอากาศจะมากขึ้นเช่นกัน ระบบนิวเมติกส์จะมีแรงและความเร็วที่มากซึ่งช่วยให้การเปิดระบบ DRS สามารถเปิดใช้ได้ในขณะที่เกิดแรงต้านจากอากาศสูงแต่มีข้อเสียคือมีการติดตั้งที่ยุ้งยากมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้เยอะและมีความเสี่ยงมากเนื่องจากต้องติดตั้งถังลมที่มีความดันสูงเข้าไปด้วยอาจจะเป็นอันตรายได้ หากรถเกิดอุบัติเหตุ แต่ในการแข่งขัน Formula student รถที่ใช้ในการแข่งไม่ได้มีความเร็วที่สูงเท่ากับ Formula 1 แรงต้านของอากาศจึงไม่ได้มากการเลือกใช้ระบบ DRS แบบไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า อุปกรณ์น้อยกว่าและติดตั้งง่ายกว่าโดยสามารถใช้แผงควบคุมควบคุมระบบได้จึงเป็นทางเลือกที่ดีและคุ้มค่ากว่า

2. ในการขึ้นรูปชิ้นงานของตัว Flap และ end plate ที่ใช้ผ้าคาร์บอนและเรซินเคลือบ ถ้าผ่านกระบวนการแวคคัมจะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบามากกว่าการเรเปิ้ล็อก เพราะกระบวนการแวคคัมมีการไล่อากาศออกจากตัวผ้าทั้งหมดและไม่ต้องใช้เรซินในจำนวนที่มากเกินไปความจำ ถ้าใช้วิธีการแวคคัมก็จะดีกว่า

3. ในการหาซื้อชิ้นงานในแต่ละชิ้น หาซื้อค่อนข้างยากและไม่ค่อยมีจำหน่ายในไทย สเปคที่ต้องการหาซื้อค่อนข้างยาก จึงจำเป็นที่จะต้องประยุกต์ในบางชิ้นส่วนให้เข้ากับชิ้นงานของเราอาจทำให้ส่งผลที่เกิดไม่มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่ควร

4. ในการคำนวณความเร็วและเวลาในการชักของกระบอกลมค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี และค่าที่ได้จากการทดลองพบที่มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากมี Human error ในการจับเวลา ค่า delay ของระบบไฟฟ้าและระบบลม และการกดเปิดการทำงานของระบบ DRS และมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่าง airfoil กับ end plate จึงทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองจริงมีความคลาดเคลื่อน

บรรณานุกรม

- [1] Vishal Vinod Raul. Bachelor of Engineering, University of Mumbai, (2008). “**ANALYSIS OF F-DUCT DRAG REDUCTION SYSTEM IN FORMULA 1.**” [Online]. Available: https://soar.wichita.edu/bitstream/handle/10057/10643/t13095_Raul.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- [2] Loução, R.; Duarte, G.O.; Mendes, M.J.G.C. “**Aerodynamic Study of a Drag Reduction System and Its Actuation System for a Formula Student Competition Car.**” *Fluids* (2022), 7, 309. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/fluids7090309>
- [3] MAHIM AHSAN. KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES, (2021). “**Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction on a Rear Wing of a Formula Student Car.**” [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1567717/FULLTEXT01.pdf>
- [4] S. Wordley, D. McArthur, L. Phersson, D. Tudball Smith and D. Burton. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Monash University Clayton, VIC 3800, Australia, (2014). “**Development of a Drag Reduction System (DRS) For Multi-Element Race Car Wings.**” [Online]. Available: <https://people.eng.unimelb.edu.au/imarusic/proceedings/19/387.pdf>
- [5] Gavin Dia, Nisha R. Tiwari, Joju John Varghese, Graham Koyeerath. Department of Mechanical Engineering, SJCT, Palghar, Maharashtra, India, (2016). “**Aerodynamic Analysis of a Car for Reducing Drag Force.**” [Online]. Available: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol13-issue3/Version-1/R130301114118.pdf>