




การออกแบบชุดปีกหน้า และปีกหลัง สำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา  
DESIGN OF FRONT WING AND REAR WING FOR FORMULA STUDENT RACING CAR

นางสาวทิพพาวรรณ ผมพันธ์  
นายพุฒิชชาติ เนืองแก้ว  
นายภูมิตะวัน แหวนทอง  
นายสุฤษฎ์พงศ์ องคะซีน

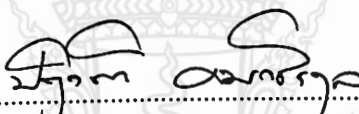
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ปีการศึกษา 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบชุดปีกหน้า และปีกหลัง สำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา  
โดย นางสาวทิพพาวรรณ ผมพันธ์ นายพุดมิชาติ เนืองแก้ว  
นายภูมิตะวัน แหวนทอง และนายสฤกษ์พงศ์ องค์กรชื่น  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2564  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน

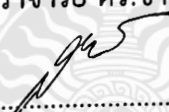
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

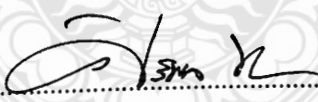
  
.....หัวหน้าสาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
(อาจารย์ ดร.กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ปวิติ คมวชิรกุล)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ชุมจันทร์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์สถาพร วันนาพอ)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน)

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบชุดปีกหน้า และปีกหลัง สำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา  
 โดย นางสาวทิพพาวรรณ ผมพันธ์ นายพุฒิชชาติ เนื่องแก้ว  
 นายภูมิตะวัน แหวนทอง และนายสฤกษ์พงศ์ องค์กรชื่น  
 สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
 ปีการศึกษา 2564  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน

### บทคัดย่อ

ปัญหาด้านการพัฒนาสมรรถนะของรถ เมื่อรถไม่มีชุดปีกหน้าและปีกหลัง จะส่งผลให้รถเกิดความไม่เสถียรภาพเมื่อเข้าโค้ง ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะศึกษา ออกแบบ ชุดปีกหน้า และชุดปีกหลัง สำหรับการติดตั้งกับรถแข่งสูตรนักศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าโค้ง ให้มากขึ้นเมื่อเทียบกับรถแข่งนักศึกษาที่ไม่ได้มีการศึกษาชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง

การดำเนินโครงการ เริ่มจากวางแผนการดำเนินโครงการ ศึกษาเนื้อหาวิชา พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics, CFD) กลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanics), อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) และกฎกติกาการแข่งขัน ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS การจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังแบบ ชิ้นของปีก (Multi-element) เปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านอากาศพลศาสตร์ของชุดปีกหน้าและปีกหลัง แต่ละแบบ และวิเคราะห์ผลจากการเปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านอากาศพลศาสตร์ของชุดปีกหน้าและปีกหลัง แต่ละแบบ

การจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS ได้มีการ Flow simulation ภายนอกกับชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง ที่มีจำนวน 1, 2 และ 3 ชั้น ในการ Flow simulation ได้มีการตั้งค่าความเร็วลมที่มาปะทะกับชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังเมื่อประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษาทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและเลือกมุมปะทะที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด ที่จะนำมาประกอบติดกับรถแข่งสูตรนักศึกษา พบว่าแผนอากาศชุดปีกหน้าและแผนอากาศ ชุดปีกหลัง สำหรับประกอบกับรถแข่งสูตรศึกษานั้น เป็นแผนอากาศชุดปีกหน้า 2 ชั้น และแผนอากาศชุดปีกหลัง 2 ชั้นได้ค่าสัมประสิทธิ์ แรงต้านอยู่ที่ 0.38 และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกอยู่ที่ 0.30

**คำสำคัญ:** แรงยก แรงกด แรงต้าน

**Project title** Design of Front Wing and Rear Wing for Formula Student Racing Car  
**By** Ms.Thippawan Pompan, Mr.Putthichat Nueangkaew,  
Mr.Phoomtawan Waenthong and Mr.Saritpong Ongkachuen  
**Department** Mechanical Engineering  
**Academic year** 2021  
**Project advisor** Lect.Siriphon Thongon

### Abstract

Problem with the development of performance for racing cars. When a car is without a front wing and rear wing, it will affect the racing car unstable. So, we had an idea to study and design the front wing and rear wing for installation on a student formula racing car to increase efficiency the racing car turning, when is compared with the racing car without front wing and rear wing.

In operation. First, plan the implementation of the project. Then, study subject content such as Computational Fluid Dynamics, Fluid Mechanics, Aerodynamics, TSAE competition rules, and steps to using the SOLIDWORKS Program. We use SOLIDWORKS to compare the aerodynamic performance of each front and rear wing and analyze the results.

Flow Simulation using the SOLIDWORKS Program We have got "Flow Simulation" performed on the front wing and rear wing of 1, 2 and 3 elements. In terms of flow simulation, we use a 50 km/h wind speed to hit the front and rear wings. The results showed that the front wing and rear wing when assembled with a car. We have studied and selected the angle of attack that has the highest lift coefficient to be assembled on the Student Formula Racing Car. The Front Wing and Rear Wing are 2 elements of the Front Wing and 2 elements, of the Rear Wing. They have a Drag Coefficient of 0.38 and a Lift Coefficient of 0.30.

**Keyword:** Lift force Down force Drag force

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งมาจาก อาจารย์ ศิริพล ทองอ่อน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำแนวทางของการค้นและการถ่ายทอดความรู้ตลอดจน ควบคุมการจัดทำเล่ม ปริญญาานิพนธ์จนประสบความสำเร็จไปด้วยดี รวมทั้งคณะกรรมการสอบ ปริญญาานิพนธ์ที่มีความกรุณาตรวจสอบความถูกต้องของปริญญาานิพนธ์ บุคคลที่ปรากฏตามรายการ อ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิงและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความสะดวกต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำ โครงการ

ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อมูลต่าง ๆ ในการปรึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และเอื้ออำนวยความสะดวก ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้ให้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี อีกทั้ง ประโยชน์ และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการขอมอบให้เป็นกตัญญูต่อบิดามารดา ครูอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวมา ณ ที่นี้

นางสาวทิพพาวรรณ	ผมพันธ์
นายพุฒิชชาติ	เนืองแก้ว
นายภูมิตะวัน	แหวนทอง
นายสฤษฏ์พงศ์	องคะชื่น

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
<b>บท</b>	
<b>ที่</b>	
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
1.6 แผนการใช้จ่ายงบประมาณในการดำเนินโครงการ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)	3
2.2 แรงต้านอากาศ (Drag force)	3
2.3 แรงแยก (Lift forces)	4
2.4 มุมความโค้งของปีก (Degree of cambers)	4
2.5 เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number)	5
2.6 ลักษณะการไหลของของเหลว	5
2.7 แพนอากาศ (Airfoils)	6
2.8 ชั้นของแพนอากาศ	7
2.9 ปีกหน้า (Front wing)	8
2.10 ปีกหลัง (Rear wing)	8
2.11 กราวด์เอฟเฟค (Ground effect)	8
2.12 ทฤษฎี Computational fluid dynamics	8

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. แนวคิดและสมมติฐานการออกแบบ	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	12
3.2 การเลือกใช้แพนอากาศ (Airfoil) มาทำการจำลองเชิงตัวเลข	13
3.3 แนวคิดการออกแบบชุดปีกหน้า	13
3.4 แนวคิดการออกแบบชุดปีกหลัง	14
3.5 การเลือกใช้มุมปะทะ (Angle of attack) ในการทดสอบ	14
3.6 การเลือกใช้ระยะห่างระหว่างชั้นแพนอากาศ	15
3.7 การทดลองด้วยการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation)	15
3.8 การกำหนดขนาด Computational domain ของชุดปีกหน้าและปีกหลัง	16
3.9 การกำหนดความเร็วของอากาศเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 13.89 เมตรต่อวินาที	16
4. ผลการทดลอง	
4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและปีกหลัง	18
4.2 ผลจากการแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน สัมประสิทธิ์แรงยกของชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง	23
4.3 การจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังที่ประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา	26
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	28
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>29</b>
ภาคผนวก ก ผลการทดลองเพิ่มเติม	31
ภาคผนวก ข การคำนวณจากโปรแกรม	41
ภาคผนวก ค แบบทางวิศวกรรม	51
ประวัติผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์	54

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแผนการใช้จ่ายการดำเนินโครงการ	2





## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แรงอากาศพลศาสตร์	3
2.2	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) และการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)	6
2.3	ส่วนประกอบของแพนอากาศ	6
2.4	Angle of attack and Pressure distribution	7
2.5	Multi-element airfoil	7
2.6	กราวนด์เอฟเฟค (Ground effect)	8
2.7	ค่าความเร็วในการไหลแบบปั่นป่วน	9
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	12
3.2	ลักษณะแพนอากาศ	13
3.3	การออกแบบชุดปีกหน้า	14
3.4	การออกแบบชุดปีกหลัง	14
3.5	ระยะห่างระหว่างชุดแพนอากาศ	15
3.6	การกำหนดขนาด Computational domain	16
4.1	ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 17.71 m/s	18
4.2	ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุดที่ 101,410.43 Pa	18
4.3	ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 16.36 m/s	19
4.4	ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,561.19 Pa	19
4.5	ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 16.40 m/s	19
4.6	ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,488.33 Pa	19
4.7	ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 17.17 m/s	20
4.8	ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,390.58 Pa	20
4.9	ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 18.11 m/s	20
4.10	ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,517.23 Pa	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 17.12 m/s	21
4.12 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,467.62 Pa	21
4.13 ความเร็วรอบแพนอากาศของชุดปีกหน้า 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	21
4.14 ความดันรอบแพนอากาศของชุดปีกหน้า 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	22
4.15 ความเร็วรอบแพนอากาศของชุดปีกหลัง 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	22
4.16 ความดันรอบแพนอากาศของชุดปีกหลัง 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	23
4.17 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	24
4.18 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	24
4.19 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Rear wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	25
4.20 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Rear wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น	25
4.21 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างชุดปีกหน้า-หลังเมื่อประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา	26

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่รับลมของชุดแพนอากาศ	m <sup>2</sup>
F	แรงเสียดทาน	N
P	ความดัน	N/mm <sup>2</sup>
T	ความเค้น	N/m <sup>2</sup>
V	ความเร็วของอากาศ	m/s
C <sub>d</sub>	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	-
C <sub>L</sub>	สัมประสิทธิ์แรงยก	-
F <sub>D</sub>	แรงต้าน	N
F <sub>L</sub>	แรงยก	N
g <sub>i</sub>	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	-
L <sub>c</sub>	ความยาวรถ	m
$\bar{P}$	ความดันเฉลี่ย	N/mm <sup>2</sup>
$\bar{T}$	อุณหภูมิเฉลี่ย	-
$\bar{T}_{ref}$	อุณหภูมิอ้างอิง	-
$\bar{T}'$	อุณหภูมิเฉลี่ยของการกระเพื่อม	-
$\bar{u}_i$	เวกเตอร์ความเร็วเฉลี่ย	-
$\bar{u}'_i$	ความเร็วเฉลี่ยของการกระเพื่อม	-
$\beta$	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน	-
$\mu$	ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล	N•s/m <sup>2</sup>
$\rho$	ความหนาแน่นของอากาศ	Kg/m <sup>3</sup>
$\partial t$	อนุพันธ์เทียบกับเวลา	-

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย ได้มีการจัดรายการแข่งขัน TSAE Auto-Challenge Student Formula ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้สร้างรถเพื่อเข้าร่วมการแข่งขันในรายการดังกล่าว จะแบ่งการตัดสินเป็น 2 ประเภท คือ การนำเสนอข้อมูล (Static event) และการทดสอบด้านสมรรถนะ (Dynamics event) ซึ่งการแข่งขันจะใช้กติกา TSAE Auto Challenge Student Formula ในการตัดสิน

จากการที่คณะผู้จัดทำได้ศึกษาพบว่า มีปัญหาด้านสมรรถนะของรถ เมื่อรถไม่มีชุดปีกหน้า และปีกหลัง จึงส่งผลให้รถเกิดความไม่เสถียรภาพ เมื่อเข้าโค้ง ทางคณะผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะศึกษา ออกแบบ ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง สำหรับการติดตั้งกับรถแข่งสูตรนักศึกษา เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับรถแข่งนักศึกษาไม่ได้มีการศึกษาชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังอย่างจริงจัง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเก็บค่าและปรับปรุงแก้ไข ให้ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง มีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับการแข่งขั้รายการ TSAE Auto Challenge Student Formula

ทางคณะผู้จัดทำจึงสนใจที่อยากจะศึกษาและออกแบบชุดปีกหน้า และชุดปีกหลัง โดยใช้ประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา อาศัยทฤษฎีทางวิศวกรรมศาสตร์ในการออกแบบ คำนวณ ด้วยเหตุผลข้างต้น คณะผู้จัดทำของสมาชิกในชมรม Formula student มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษา ออกแบบ สร้างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง เพื่อเพิ่มสมรรถนะที่จะทำให้รถยึดเกาะถนนและด้านการเข้าโค้งดีขึ้น ทางคณะผู้จัดทำจึงให้ความสำคัญในด้านนี้ และได้ตัดสินใจทำโครงการชิ้นนี้ขึ้นมา

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบชุดปีกหน้าและปีกหลัง ที่ใช้กับรถแข่งสูตรนักศึกษา
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านอากาศพลศาสตร์ของชุดปีกหน้าและปีกหลัง แต่ละแบบ เพื่อนำไปใช้กับรถแข่งสูตรนักศึกษา

#### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ออกแบบชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง โดยอิงจากกติกาของการแข่งขัน TSAE Auto-Challenge Student Formula
- 1.3.2 เปรียบเทียบค่านวนค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Drag coefficient) และสัมประสิทธิ์แรงยก (Lift- coefficient) ของชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS

1.3.3 การจำลองเชิงตัวเลข มีค่าความเร็วของอากาศเฉลี่ย 13.89 m/s ความหนาแน่นของอากาศ  $1.23 \text{ kg/m}^3$

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปออกแบบชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังของรถแข่งสูตรนักศึกษาได้
- 1.4.2 นำความรู้ที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังของรถแข่งสูตรนักศึกษา เพื่อการแข่งขัน TSAE Auto Challenge Student Formula
- 1.4.3 เป็นแหล่งการเรียนรู้ให้แก่ศึกษารุ่นต่อ ๆ ไป

#### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 วางแผนการดำเนินโครงการ
- 1.5.2 ศึกษาเนื้อหาวิชา พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamics) กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) และ กฎกติกาการแข่งขัน
- 1.5.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Solid works
- 1.5.4 การจำลองเชิงตัวเลขชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง แบบชิ้นของปีก (Multi-element)
- 1.5.5 เปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านอากาศพลศาสตร์ของชุดปีกหน้าและปีกหลังแต่ละแบบ
- 1.5.6 วิเคราะห์ผลจากการเปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านอากาศพลศาสตร์ของชุดปีกหน้าและปีกหลังแต่ละแบบ
- 1.5.7 สรุปผลการวิเคราะห์

#### 1.6 แผนการใช้จ่ายงบประมาณในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการใช้จ่ายการดำเนินโครงการ

หัวข้อ	ค่าใช้จ่าย
<b>ค่าใช้จ่าย</b>	
1.ค่าอาหาร	3,000
2.ค่าน้ำมัน	1,500
3.ค่าเดินทาง	2,500
<b>ค่าวัสดุ</b>	
1.ค่าสร้างชุดปีกหน้าและปีกหลังแบบจำลอง	6,500
3.ค่าเอกสารจัดทำเล่ม	1,500
<b>รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด</b>	<b>15,000</b>

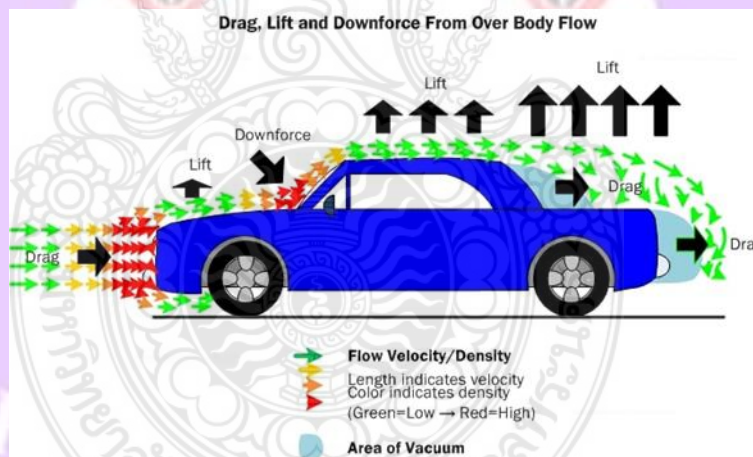
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)

อากาศพลศาสตร์ เป็นหลักการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งในทางรถยนต์ จะเกี่ยวข้องกับเรื่องหลักๆ คือ ลดแรงต้านอากาศ (Drag force) ป้องกันแรงยก (Lift force) รวมถึงความมีเสถียรภาพของรถเมื่อใช้ความเร็วสูง โดยหลักวิศวกรจะใช้คอมพิวเตอร์ออกแบบศึกษาเป็นหลัก เพื่อตอบสนองเรื่องของความคล่องแคล่วในการขับขี่ ที่ให้ประสิทธิภาพในการขับขี่และสมรรถนะไปพร้อมกัน รวมไปถึงอากาศพลศาสตร์นั้น มีส่วนช่วยให้รถประหยัดน้ำมันมากขึ้นกว่าเดิม

วิศวกรได้พัฒนาวิธีการนี้หลายวิธี ตัวอย่างเช่นการออกแบบและรูปทรงที่โค้งมนมากขึ้นที่ด้านนอกของรถถูกสร้างขึ้นเพื่อให้มีช่องอากาศในลักษณะที่ให้ไหลไปรอบ ๆ รถโดยมีแรงต้านน้อยที่สุด รถยนต์สมรรถนะสูงบางรุ่นยังมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนย้ายอากาศได้อย่างราบรื่นที่ด้านล่างของรถ หลายคนยังรวมถึง ปีกหลัง เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศยกล้อรถและทำให้ไม่เสถียรที่ความเร็วสูง [1]



รูปที่ 2.1 แรงอากาศพลศาสตร์ [2]

#### 2.2 แรงต้านอากาศ (Drag force)

แรงต้านอากาศคือแรงจุดที่เกิดขึ้นบนผิวของรถยนต์อันเนื่องมาจากแรงดันและแรงเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านรถยนต์ การออกแบบรูปทรงของรถยนต์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงหลักการทางอากาศพลศาสตร์ของยานยนต์ เนื่องจากกำลังจากเครื่องยนต์ที่ถูกส่งไปยังล้อ จะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะจะเกิดการสูญเสียในระบบถ่ายทอตกำลัง เรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายทอตกำลัง (Transmission loss) ในส่วนที่เหลือนั้นจะถูกนำไปใช้เพื่อการเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่ที่ต่าง ๆ ได้แก่ แรงต้านอากาศ (Air-resistance) แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling resistance) และแรงต้าน

ทางชัน (Gradient resistance) โดยจะสามารถทำให้รถยนต์มีรูปทรงที่เป็นไปตามหลักอากาศพลศาสตร์และสามารถลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ในขณะที่รถยนต์วิ่งอยู่บนถนนรถยนต์จะถูกกระทำด้วยแรงต้านอากาศและแรงยกของอากาศ ซึ่งสามารถอธิบายได้ ด้วยสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและสัมประสิทธิ์แรงยก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$C_d = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $C_d$  คือ สัมประสิทธิ์แรงต้าน

$F_D$  คือ แรงต้าน (N)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

$A$  คือ พื้นที่รับลมของชุดแพนอากาศ ( $\text{m}^2$ )

### 2.3 แรงยก (Lift force)

กระแสลมบางส่วนมาปะทะรถยนต์ด้านหน้าแล้ว มีบางส่วนไหลลงสู่ด้านใต้รถยนต์ กระแสลมอากาศนั้นเดินทางด้านบนหลังคานานกว่าด้านใต้ท้องรถ ตามหลักของ Bernoulli คือ เมื่ออากาศด้านบนเดินทางเร็วกว่าด้านล่าง ทำให้มีแรงกดดันน้อยกว่าอากาศที่เดินทางช้ากว่าด้านล่าง ทำให้เกิดแรงยกเมื่อกระแสลมเดินทางต่างกัน เกิดทำให้แรงดันเพื่อยกสิ่งนั้น โดยสมการแรงยกคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $C_L$  คือ สัมประสิทธิ์แรงยก

$F_L$  คือ แรงต้าน (N)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

$A$  คือ พื้นที่รับลมของชุดแพนอากาศ ( $\text{m}^2$ )

### 2.4 มุมความโค้งของปีก (Degree of cambers)

ในส่วนของปีกเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะส่งผลอย่างมากต่อการสร้างแรงกดให้กระทำต่อล้อหน้าและล้อหลังของรถยนต์ ยิ่งไปกว่านั้นการสร้างแรงกดที่ปีกของรถแข่ง สามารถกระทำได้ง่ายกว่าการสร้างแรงกดจากการไหลผ่านของอากาศใต้ท้องรถ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถที่มีความเร็วสูงมาก ๆ

อย่างไรก็ตามในการออกแบบปีกของรถแข่ง ควรคำนึงพิจารณาเพิ่มเติมนอกเหนือจากแรงกดและแรงยก ซึ่งการออกแบบปีกของรถแข่งมีการพิจารณาถึงอัตราส่วนรูปร่างอันเป็นผลจากการพิจารณาอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของปีก โดยสัดส่วนที่มากหมายถึงการออกแบบปีกที่ยาวและแคบ และสัดส่วนที่น้อยหมายถึงการออกแบบปีกที่สั้นและกว้าง ในส่วนของมุมความโค้งของปีก ซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความสูงโค้งของปีกที่วัดจากกึ่งกลางของปีกต่อความยาวของปีก โดยมีผลต่อมุมปะทะอากาศหรือ Angle of attack เนื่องจากระยะความยาวในส่วนอง ความกว้างของปีก

มุมปะทะอากาศเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องทำการพิจารณาจากระยะต้นถึงระยะปลายของความกว้างของปีก ซึ่งมุมด้านดังกล่าวเกิดขึ้นจากการสร้างเส้นตั้งฉากที่ตัดกับระยะความกว้าง ซึ่งมุมปะทะยังมากยิ่งขึ้นผลเกิดแรงกดของอากาศพลศาสตร์ที่มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันแรงต้านอากาศพลศาสตร์เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสวนทางกับมุมปะทะอากาศมีองศาที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามความหนาและความสูงของของปีกมีผลต่อการเพิ่มหรือลดแรงปะทะเช่นกัน โดยการออกแบบปีกสำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา [2]

## 2.5 เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number)

เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อย (Inertia force) และ แรงหนืด (Viscous force) เป็นตัวแปรไร้มิติที่ใช้บอกถึงลักษณะการไหล กล่าวคือ ถ้าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าน้อย แรงหนืดมีอิทธิพลเหนือกว่าแรงเฉื่อย ส่งผลให้ของไหลถูกบังคับให้ไหลเป็นระเบียบ (Laminar flow) ถ้าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่ามาก แรงเฉื่อยมีอิทธิพลเหนือกว่าแรงหนืด ส่งผลให้ของไหลไม่สามารถไหลอย่างเป็นระเบียบได้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) สมการของเรย์โนลด์นัมเบอร์มีดังนี้

$$Re = \frac{\rho V L_c}{\mu} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  คือ ความเร็วของอากาศ ( $\text{m/s}$ )

$L_c$  คือ ความยาวรถ ( $\text{m}$ )

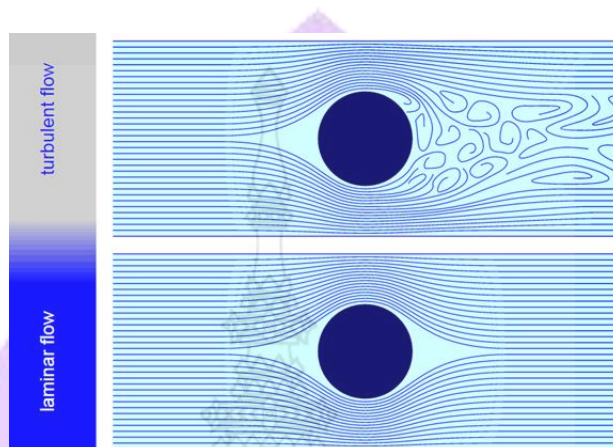
$\mu$  คือ ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล ( $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ )

## 2.6 ลักษณะการไหลของของเหลว

2.6.1 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) หรือการไหลที่ไม่เป็นระเบียบ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืด (Viscosity) ต่ำ และไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ รูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของของไหลในขณะเคลื่อนที่



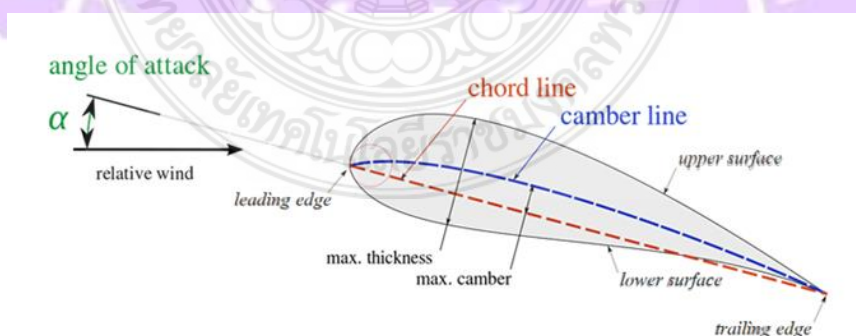
2.6.2 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือการไหลแบบสม่ำเสมอ คือรูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล ลักษณะการไหลแบบนี้ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (Viscosity) สูงและไหลด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 2.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) และการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) [5]

## 2.7 แพนอากาศ (Airfoils)

แพนอากาศ (Airfoils) คืออุปกรณ์ใดๆ ที่สร้างแรงขึ้นตามหลักการของนิวตันเมื่ออากาศถูกทำให้ไหลผ่านพื้นผิวของอุปกรณ์ แพนอากาศอาจเป็นปีกของเครื่องบินใบพัดใบพัดของเฮลิคอปเตอร์หรือใบพัดของเครื่องยนต์ Turbofan ปีกของเครื่องบินเคลื่อนที่ผ่านอากาศเนื่องจากเครื่องบินกำลังเคลื่อนที่และสร้างแรงยกขึ้น เมื่อเปรียบเทียบแล้วใบพัดใบพัดใบพัดเฮลิคอปเตอร์หรือใบพัดของเครื่องยนต์ Turbofan จะหมุนไปในอากาศ ใบพัดหมุนเหล่านี้สามารถเรียกได้ว่าเป็นปีกหมุนได้ เช่นเดียวกับเฮลิคอปเตอร์เมื่อเรียกว่าเครื่องบินปีกหมุน ปีกหมุนสามารถมองว่าเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงยกหรืออย่างถูกต้อง ก็สามารถมองว่าเป็นอุปกรณ์ที่สร้างแรงขับ



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของแพนอากาศ [4]

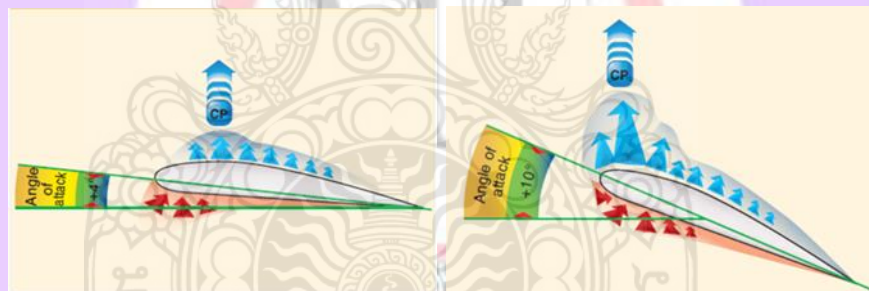
2.7.1. ขอบหน้า (Leading edge) คือจุดหน้าสุดของเส้นแคมเบอร์หรือแพนอากาศ

2.7.2. ขอบหลัง (Trailing edge) คือจุดหลังสุดของเส้นแคมเบอร์หรือแพนอากาศ

2.7.3. ค่าแคมเบอร์ (Camber) แคมเบอร์ของปีกคือความโค้งที่ปรากฏบนพื้นผิวด้านบนและด้านล่าง แคมเบอร์ด้านบนจะเด่นชัดกว่ามากเว้นแต่ปีกจะเป็นแบบสมมาตรซึ่งมีแคมเบอร์ด้านบนและด้านล่างเหมือนกัน ด้านล่างของปีกมักจะค่อนข้างแบน แคมเบอร์ที่เพิ่มขึ้นด้านบนเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเร็ว ของอากาศเพิ่มขึ้นและความดันสถิตจะลดลง ด้านล่างของปีกมีความเร็วต่ำกว่าและมีแรงกดคงที่มากกว่าซึ่งเป็นสาเหตุที่ปีกสร้างแรงยก

2.7.4. สายคอร์ด (Chord line) เส้นคอร์ดเป็นเส้นตรงในจินตนาการที่วิ่งจากขอบหน้าของปีกไปยังขอบด้านหลัง มุมระหว่างเส้นคอร์ดกับแกนตามยาวของเครื่องบินเรียกว่ามุมตกกระทบ มุมตกกระทบของปีกคือมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นคอร์ดปีกและระนาบแนวนอนที่ผ่านแกนตามยาวของเครื่องบิน เครื่องบินหลายลำได้รับการออกแบบให้มีมุมตกกระทบที่โคนปีกมากกว่าที่ส่วนปลาย และเรียกว่าการชะล้าง คุณลักษณะนี้ทำให้ส่วนด้านในของปีกหยุดก่อนส่วนนอกเรือ ซึ่งจะช่วยรักษาการควบคุมปีกเครื่องบินในช่วงเริ่มต้นของปีกคอก

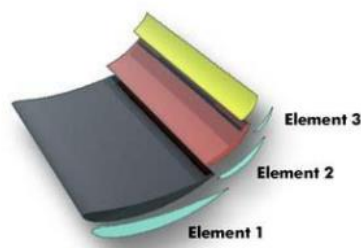
2.7.5. มุมปะทะ (Angle of attack) มุมระหว่างเส้นคอร์ดและลมสัมพันธ์คือมุมของการโจมตี เมื่อมุมของการโจมตีเพิ่มขึ้นการยกของปีกจะเพิ่มขึ้น หากมุมของการโจมตีมากเกินไปกระแสลมจะแยกออกจากปีกและลิฟท์จะถูกทำลาย [4]



รูปที่ 2.4 Angle of attack and Pressure distribution [4]

## 2.8 ชั้นของแพนอากาศ

ในบางครั้งที่แพนอากาศเพียงชั้นเดียวไม่สามารถสร้างแรงยกที่เพียงพอต่อการใช้งาน วิธีที่ใช้เพิ่มแรงยกได้คือการเพิ่มจำนวนชั้น แพนอากาศเข้าไปเหมือนที่เครื่องบินมี Flap อยู่ด้านหลังของปีก



## รูปที่ 2.5 Multi-element airfoil [16]

หลักการของ Multi-element airfoil คือการเพิ่มมุมปะทะให้มากขึ้นจากมุมวิกฤติเดิมของ Single-element airfoil โดยที่อากาศด้านหลังแพนอากาศ ยังไม่เกิดการ Stall จะทำให้ได้แรงกดที่มากขึ้นกว่าเดิม [16]

### 2.9 ปีกหน้า (Front wing)

แพนอากาศด้านหน้า เป็นอุปกรณ์สร้างแรงกดหน้ารถ ลักษณะเป็นแผ่นครีบนานพื้นที่ซึ่งอาจมีมากกว่า 1 ชั้น โดยทุกชั้นสามารถสร้างแรงกดได้ ปลายเป็นครีบนวดตั้งเรียกว่า เอนด์เพลต (Endplate) ซึ่งช่วยเบี่ยงกระแสอากาศไม่ให้ปะทะหน้ายางโดยตรง (เพื่อลดความปั่นป่วนอากาศจากการหมุนของล้อหน้า) โดยทั่วไปปีกหน้าสามารถสร้างแรงกดได้ ประมาณร้อยละ 25 ของแรงกดรวม แต่หากขับตามท้ายรถแข่งคันอื่นในระยะห่างไม่เกิน 20 เมตร อุปกรณ์จะสามารถสร้างแรงกดมากขึ้น และเนื่องจากสนาม แข่งแต่ละแห่งมีลักษณะต่างกัน ดังนั้นทีมรถแข่งจึงมักปรับเปลี่ยนรายละเอียดของปีกหน้าให้เหมาะสมกับ สนามนั้น

### 2.10 ปีกหลัง (Rear wing)

แพนอากาศหลัง เป็นแผ่นครีบบuildสร้างแรงกดส่วนท้ายรถแข่ง มีตั้งแต่ 1-3 ชั้น อุปกรณ์สามารถสร้างแรงกดได้ประมาณร้อยละ 35 ของแรงกดรวม ปีกหลังเป็นอุปกรณ์อีกชิ้นที่ต้อง ปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสภาพสนามแข่งแต่ละที่

### 2.11 กราวนด์เอฟเฟค (Ground effect)

เป็นการนำกระแสอากาศที่วิ่งผ่านใต้ท้องรถมาใช้ให้เกิดประโยชน์ แนวคิดของกราวนด์เอฟเฟค เป็นการพิจารณาแรงทั้งคันเสมือนปีกเครื่องบินกลับหัว (Inverted wing) ขนาดใหญ่ โดยระบายหรือทำให้กระแสอากาศใต้ท้องรถวิ่งเร็วกว่าเหนือตัวรถ ในอดีตวิศวกรจะออกแบบให้ท้องรถแข่งสูงจากพื้นเล็กน้อย และใส่สปีดบรังก์ยาวเกือบติดผิวถนนเพื่อคุมการไหลของกระแสอากาศ รวมทั้งติดอุปกรณ์บางอย่าง เช่น ใบพัดขนาดใหญ่ที่ท้ายรถเพื่อช่วยดูดอากาศออกจากใต้ท้องรถทั้งหมดนี้ เพื่อลดความดันอากาศใต้ท้องรถให้ต่ำกว่าด้านบน และเกิดแรงดูดหรือกดตัวรถให้ชิดผิวถนนเพิ่มสมรรถนะในการยึดเกาะถนนมากขึ้น รถแข่งจึงวิ่งเข้าโค้งด้วยความเร็วสูงมากได้โดยไม่ไถล [17]



Wing in Ground Effect

รูปที่ 2.6 กราวนด์เอฟเฟค (Ground effect) [7]

## 2.12 ทฤษฎี Computational fluid dynamics

Computational fluid dynamics หรือเรียกว่า CFD ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ช่วยในการ คำนวณ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) ซึ่งพฤติกรรมการไหลของของไหลสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการจำลองปรากฏการณ์จะคำนวณด้วยชุดของสมการอนุรักษ์ (Conservation equations)

### 2.12.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuity equations)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (2.5)$$

### 2.12.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equations)

$$\frac{\partial (\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_j \bar{u}_i) = - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \bar{u}'_j \bar{u}'_i \right] - \rho g_i \beta (\bar{T} - \bar{T}_{ref}) \quad (2.6)$$

### 2.12.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy equations)

$$\frac{\partial (\rho \bar{T})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_j \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu}{Pr} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho \bar{u}'_j \bar{T}' \right] \quad (2.7)$$

โดยที่  $\bar{u}_i$  คือ เวกเตอร์ความเร็วเฉลี่ย ( $u, v, w$ )

$\bar{u}'_i$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของการกระเพื่อม

$\bar{P}$  คือ ความดันเฉลี่ย

$\rho$  คือ ความหนาแน่น

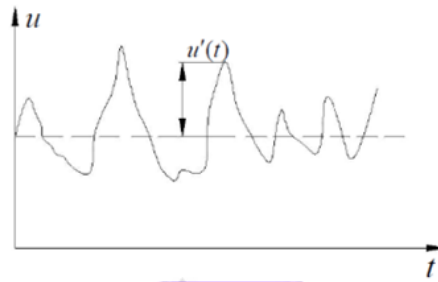
$g_i$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$\beta$  คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน

$\mu$  คือ ความหนืดของไหล

$\bar{T}$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ย

$\bar{T}'$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของการกระเพื่อม



รูปที่ 2.7 ค่าความเร็วในการไหลแบบปั่นป่วน [1]

การจำลองแบบจะใช้แบบจำลองของการไหลแบบปั่นป่วน Standard k - ε เป็นแบบจำลองชนิด Two-equation Turbulence Model ซึ่งประกอบไปด้วยสมการ Turbulent kinetic energy (k) และ Dissipation rate (ε) ของ Turbulent kinetic energy ซึ่งมีสมการในรูปแบบของสมการอนุพันธ์พลังงานแสดงได้ดังนี้

สมการ Turbulent kinetic energy (k) คือ

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P + G - \rho \varepsilon \quad (2.8)$$

สมการ Turbulent Dissipation rate (ε) คือ

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_L \frac{k}{\varepsilon} (P + C_3 G) + C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.9)$$

สมการนาเวียร์-สโตกส์ อยู่ในรูปเวกเตอร์ คือ

$$\rho \left( \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \right) \vec{v} = -\nabla P + \nabla \cdot \vec{T} + \vec{f} \quad (2.10)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m<sup>3</sup>)

∂t คือ อนุพันธ์เทียบกับเวลา

P คือ ความดัน (N/mm<sup>2</sup>)

T คือ ความเค้น (N/m<sup>2</sup>)

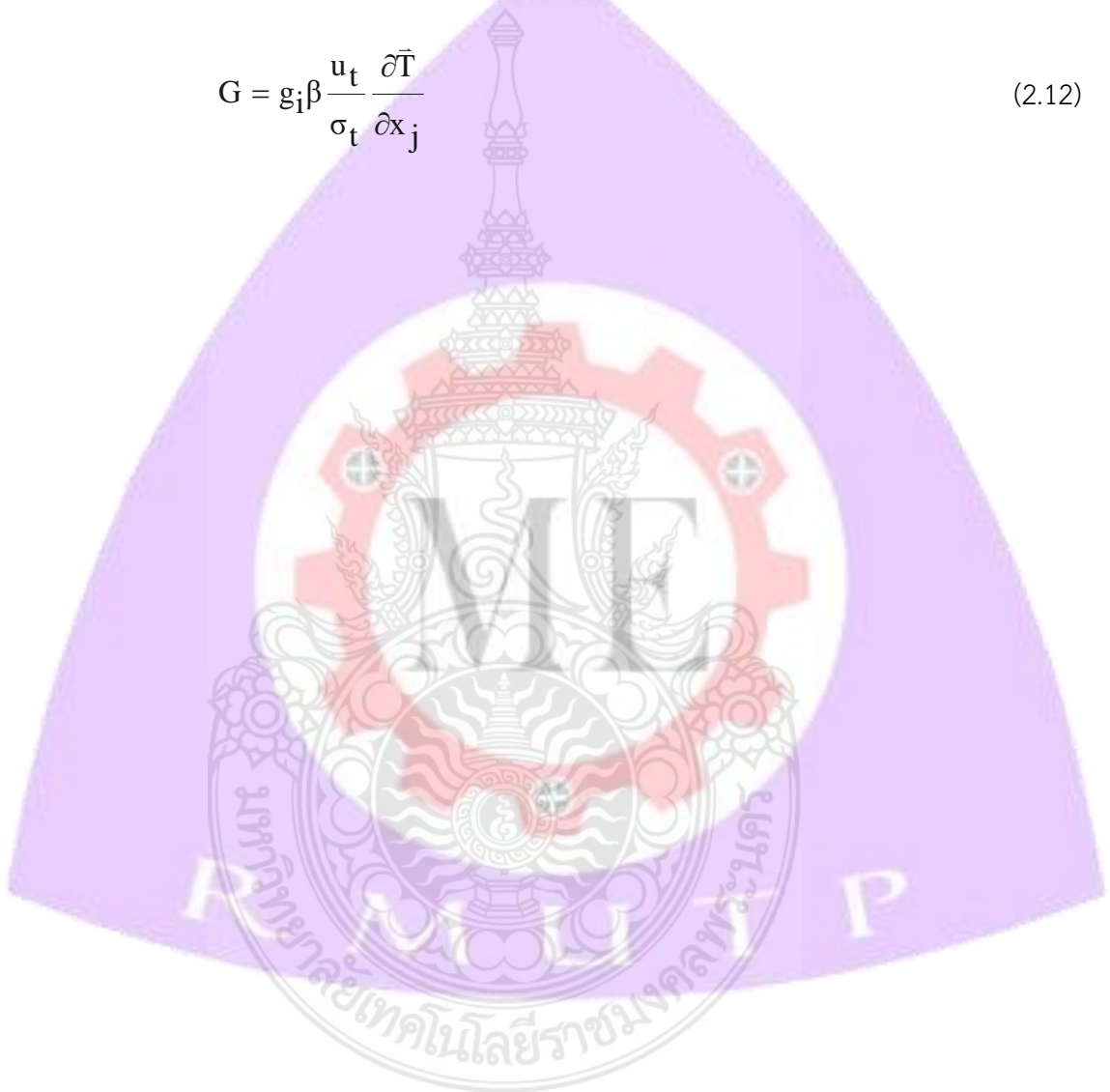
F คือ แรงเสียดทาน (N)

(P) เป็นพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นจากเกรเดียนต์ของความเร็วโดย

$$P = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \right) \quad (2.11)$$

ค่า G เป็นค่าความปั่นป่วนที่เกิดจากผลของแรงลอยตัวเมื่อสนามแรงโน้มถ่วงไม่เท่ากับศูนย์ และมีค่าเกรเดียนท์ของ อุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์คือ

$$G = g_i \beta \frac{u_t}{\sigma_t} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \quad (2.12)$$



สำหรับ Eddy viscosity ( $\mu_t$ ) คำนวณจาก

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.13)$$

โดยที่ค่าคงที่ต่าง ๆ ในแบบจำลอง Standard K -  $\varepsilon$  มีค่าดังนี้

ค่าคงที่ความหนืดของไหล เท่ากับ 0.09

ค่าคงที่จุดที่ 1 เท่ากับ 1.44 และค่าคงที่จุดที่ 2 เท่ากับ 1.92

ค่าความเค้น Turbulent kinetic energy เท่ากับ 1.0 และค่าความเค้นดึง เท่ากับ 1.3

Computational fluid dynamics ได้รับการพัฒนาและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นการนำความรู้ทางด้าน การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ในการแก้ไขปัญหาทั้งทางด้าน Aerospace engineering และ Fluid dynamics โดยสามารถทำให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำในสถานะหนึ่ง ๆ และสามารถทำนายภาวะของเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทาง ได้อย่างแม่นยำขึ้นและจะนำไปสู่การออกแบบที่ถูกต้องและประหยัดค่าใช้จ่ายในที่สุด โดยเฉพาะถ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่

ประโยชน์ของ Computational fluid dynamics นั้นจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านวิศวกรรม เนื่องจากช่วยประหยัดเวลาในการออกแบบ พัฒนาปรับปรุงและทำให้เห็นภาพของการไหลชัดเจนขึ้น ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวซึ่งสามารถอธิบายถึงสมการ การเคลื่อนที่ของการไหล ทั้งการไหลแบบปั่นป่วนได้

การจำลองแบบชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง ที่เล็กกว่าไม่สามารถให้รายละเอียดจากการไหลของอากาศที่สมมาตรและไม่สมมาตรได้ดีพอในการที่จะหาผลลัพธ์จากการทดลอง การจำลองแบบชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง ต้องใช้ขนาดเทารถจริง จึงจะให้ค่าที่ถูกต้อง และเป็นไปตามกฎความคล้ายคลึงของ Reynold [1]

$$Re_L = \frac{vL}{\mu} \quad (2.14)$$

โดย  $v$  คือ ความเร็ว (m/s)

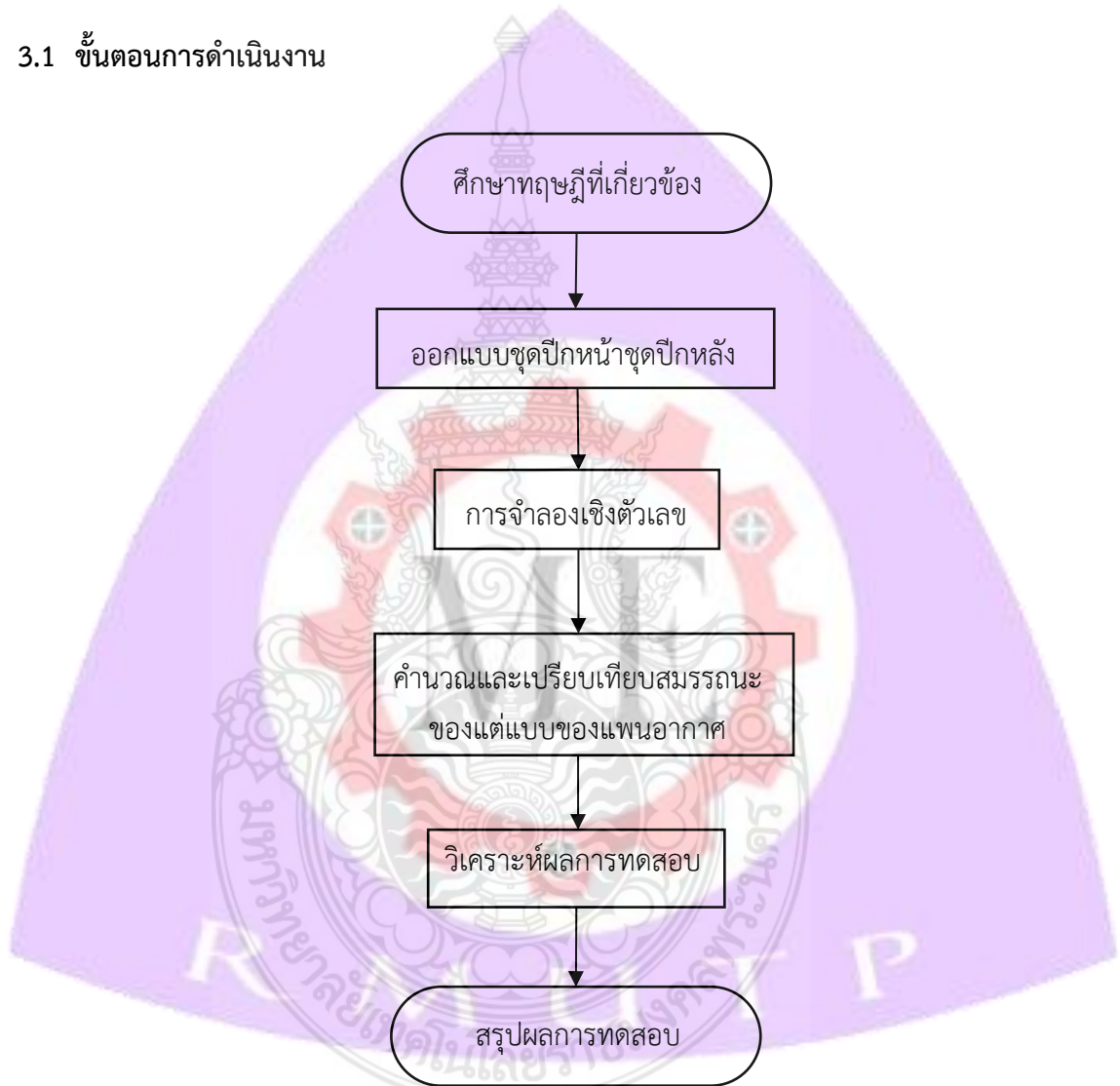
$L$  คือ ความยาว (m)

$\mu$  คือ ความหนืด (N•s/m<sup>2</sup>)

### บทที่ 3

#### แนวคิดและสมมติฐานการออกแบบ

##### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

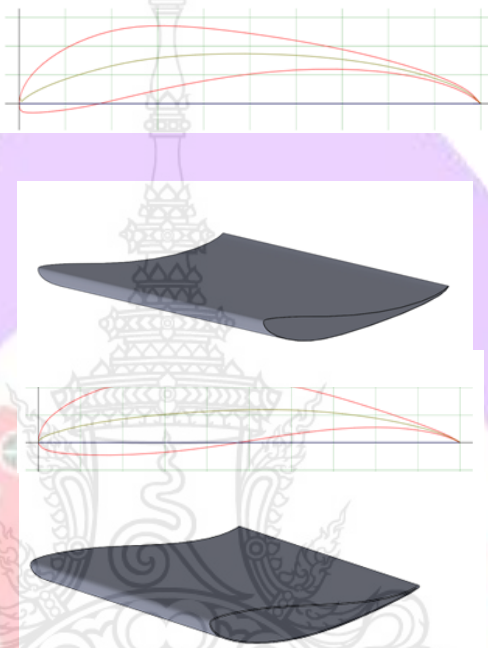


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



### 3.2 การเลือกใช้แพนอากาศ (Airfoil) มาทำการจำลองเชิงตัวเลข

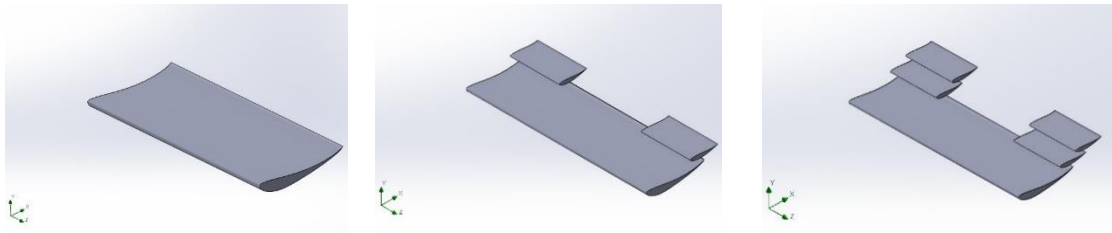
แพนอากาศของเครื่องบินรหัส S1223 และ FX63-137 ได้ถูกเลือกมาใช้เนื่องจากเป็นแพนอากาศที่จัดอยู่ใน High-lift low Reynolds number ( $1-1 \times 10^6$ ) ซึ่งตรงกับความต้องการที่เอามาใช้กับรถแข่งสูตรนักศึกษา เพราะวารถแข่งสูตรนักศึกษามีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 40-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหรือมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์อยู่ที่ระดับ 500,000 ซึ่งถือว่าต่างเมื่อเทียบกับความเร็วของเครื่องบิน



รูปที่ 3.2 ลักษณะแพนอากาศ [10]

### 3.3 แนวคิดการออกแบบชุดปีกหน้า

ทางคณะผู้จัดทำได้คำนึงถึงค่าแรงยก แรงต้าน ที่จะกระทำต่อแพนอากาศ ส่งผลหรือช่วยในการบังคับของผู้ขับขี่ โดยอาศัยทฤษฎีกลศาสตร์ของไหลอากาศพลศาสตร์ มาใช้ในการคำนวณทดลองเก็บค่าแรงสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้าน เพื่อประเมินเปรียบเทียบวิเคราะห์ค่าที่ได้ โดยผู้จัดทำจะออกแบบขึ้นมา 3 รูปแบบโดยที่มีความแตกต่างกันที่จำนวนของชั้นแพนอากาศ (Airfoil)



(ก) แพนอากาศ 1 ชั้น

(ข) แพนอากาศ 2 ชั้น

(ค) แพนอากาศ 3 ชั้น

รูปที่ 3.3 การออกแบบชุดปีกหน้า

### 3.4 แนวคิดการออกแบบชุดปีกหลัง

ทางคณะผู้จัดทำได้คำนึงถึงค่าแรงยก แรงต้าน ที่จะกระทำต่อแพนอากาศ ส่งผลหรือในการบังคับของผู้ขับซี โดยอาศัยทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล อากาศพลศาสตร์มาใช้ในการคำนวณ ทดลองเก็บค่าแรงสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้าน เพื่อประเมิน เปรียบเทียบวิเคราะห์ค่าที่ได้ โดยผู้จัดทำจะออกแบบขึ้นมา 3 รูปแบบโดยที่มีความแตกต่างกันที่จำนวนของชั้นแพนอากาศ (Airfoil)



(ก) แพนอากาศ 1 ชั้น

(ข) แพนอากาศ 2 ชั้น

(ค) แพนอากาศ 3 ชั้น

รูปที่ 3.4 การออกแบบชุดปีกหลัง

### 3.5 การเลือกใช้มุมปะทะ (Angle of attack) ในการทดสอบ

ในการทดสอบโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาการใช้มุมปะทะต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน เพื่อเก็บค่าแรงต้าน Drag แรงยก Lift โดยในแต่ละชั้นจะใช้มุมปะทะหลักที่ 0, 10, 15, และ 20 องศา และมุมปะทะย่อยที่ 0, 4, และ 8 องศา โดยกำหนดระยะระหว่างแพนอากาศ คือ Gap และ Overlap ตามลำดับ

#### 3.5.1 ชุดปีกหน้า

รูปแบบที่ 1 จะมีแพนอากาศ 1 ชั้น คือ แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น โดยจะใช้มุมปะทะที่ 0, 10, 15 และ 20 องศา

รูปแบบที่ 2 จะมีแพนอากาศ 2 ชั้น คือ แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น ใช้มุมปะทะที่ 0, 10, 15 และ 20 องศา แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 1 ชั้น จะใช้มุมปะทะที่ 0, 4 และ 8 องศา โดยจะกำหนด Gap 50 Overlap 0, 20, 40 และ 60

รูปแบบที่ 3 จะมีแพนอากาศ 3 ชั้น คือ แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น จะใช้มุมปะทะที่ 0, 10, 15 และ 20 องศา แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 2 ชั้น จะใช้

มุมปะทะที่ 0, 4 และ 8 องศา โดยจะกำหนด Gap1 50 Overlap1 80, 100 และ Gap2 50 Overlap2 60, 80

### 3.5.2 ชุดปีกหลัง

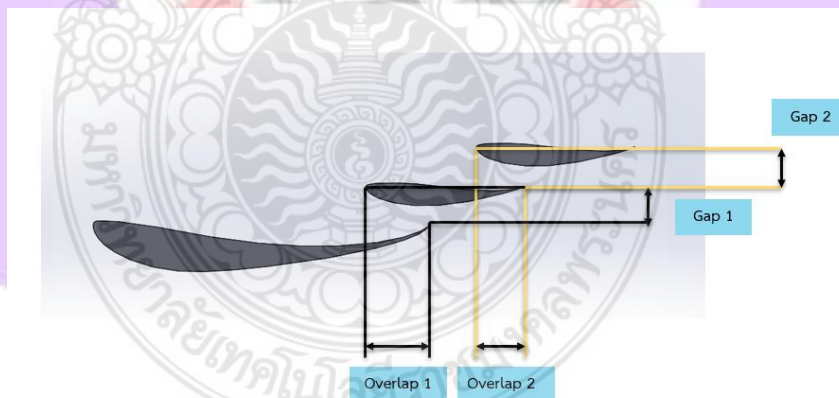
รูปแบบที่ 1 จะมีแพนอากาศ 1 ชั้น คือ แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น โดยจะใช้มุมปะทะที่ 0, 10, 15 และ 20 องศา

รูปแบบที่ 2 จะมีแพนอากาศ 2 ชั้น คือ แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น จะใช้มุมปะทะที่ 0, 10, 15 และ 20 องศา แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 1 ชั้น จะใช้มุมปะทะที่ 0, 4, 8 และ 12 องศา โดยจะกำหนด Gap 50 Overlap1 50 และ 100 และ Gap2 50 Overlap2 50, 100

รูปแบบที่ 3 จะมีแพนอากาศ 3 ชั้น คือ แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น จะใช้มุมปะทะที่ 0, 10, 15 และ 20 องศา แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 2 ชั้น จะใช้มุมปะทะที่ 0, 4, 8 และ 12 องศา โดยจะกำหนด Gap1 50 Overlap1 50, 100 และ Gap2 50 Overlap2 50, 100

### 3.6 การเลือกใช้ระยะห่างระหว่างชั้นแพนอากาศ

ระยะห่างระหว่างชุดแพนอากาศ จะเริ่มใช้ ในกรณีที่มีวงแบบ 2 ชั้นขึ้นไป โดยจะมีระยะห่างระหว่างชุดแพนอากาศหลัก กับแพนอากาศย่อย ปลายหางแพนอากาศหลักกับหัวแพนอากาศย่อยในแนวนอน หรือแกนแนวระนาบ จะเรียกว่า Overlap ส่วนปลายหางแพนอากาศหลักกับหัวแพนอากาศย่อยในแนวตั้งหรือแกนแนวตั้งฉากกับแนวระนาบ จะเรียกว่า Gap



รูปที่ 3.5 ระยะห่างระหว่างชุดแพนอากาศ

### 3.7 การทดลองด้วยการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation)

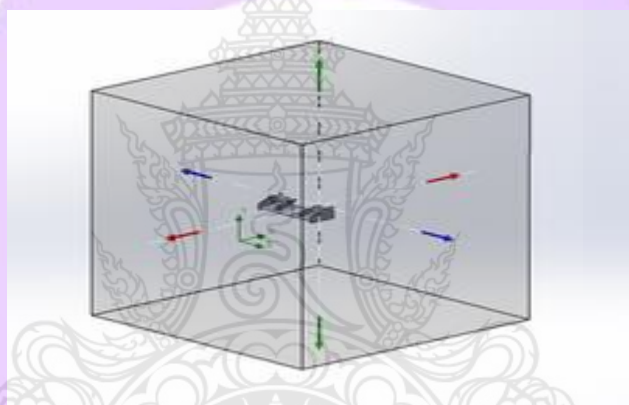
โปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS Simulation และเครื่องมือ (Computational fluid dynamics, CFD) ช่วยให้สามารถจำลองการไหลของเหลวและก๊าซในสภาวะจำลองที่มีเงื่อนไขเหมือนโลกจริงทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) โดยทำการทดลอง ชุดปีกหน้า และปีกหลังอย่างละ 3 รูปแบบ จะได้ค่าของแรงยกและแรงต้าน เพื่อนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์

แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้าน และนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ได้มาเปรียบเทียบกับสมรรถนะทางด้านอากาศพลศาสตร์ของชุดปีกหน้าและปีกหลังแต่ละแบบ  
ขั้นตอนการจำลองผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS (ภาคผนวก ข)

### 3.8 การกำหนดขนาด Computational domain ของชุดปีกหน้าชุดปีกหลัง

การกำหนดขนาด Domain หากโดเมนมีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้เกิดภาระในการจำลองการไหล และหากโดเมนมีขนาดเล็กเกินไป จะทำให้การจำลองมีการคลาดเคลื่อนและไม่ถูกต้อง ดังนั้นการกำหนดขนาดโดเมนที่เหมาะสม จึงควรมีขนาดไม่เกิน 10 เท่าของความยาวชิ้นงานในแต่ละด้าน

โดย กำหนด X size, Y size, Z size อยู่ที่ 5.40 เมตร, 5.40 เมตร และ 5.40 เมตร ตามลำดับ กำหนด X, Y, Z min อยู่ที่ -1.82 เมตร, -1.82 เมตร และ -1.82 เมตร ตามลำดับ และกำหนด X, Y, Z max อยู่ที่ 3.58 เมตร, 3.58 เมตร และ 3.58 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 การกำหนดขนาด Computational domain

### 3.9 การกำหนดความเร็วของอากาศเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 13.89 เมตรต่อวินาที

ทางคณะผู้จัดทำได้เก็บข้อมูลภาคสนามในการแข่งขัน TSAE Auto Challenge Student Formula 2020 ประเภทสนาม Autocross ระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งรถแข่งสูตรนักศึกษาทีม Phranakhon Team จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สามารถทำเวลาได้ 1 นาที 26 วินาที ดังนั้น อัตราเร็วเฉลี่ยที่รถแข่งสูตรนักศึกษาทำได้ในปี 2020 จะประมาณ 41.83 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 11.62 เมตรต่อวินาที

จากการสังเกต พบว่า ในปี 2020 รถที่ไม่มีชุดปีกหน้า และปีกหลัง เกิดอาการท้ายสะบัดเมื่อเข้าโค้งและยึดเกาะถนนได้ไม่ดี เนื่องจากประเภทสนาม Autocross เป็นสนามที่เน้นในการเข้าโค้งและระยะทาง เมื่อเปรียบเทียบกับรถแข่งในปี 2019 ที่มีการติดตั้งชุดปีกหน้า และปีกหลัง ไม่พบอาการข้างต้น และสามารถทำเวลาได้ 1 นาที 16 วินาที และอัตราเร็วเฉลี่ยที่ 47.34 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 13.15 เมตรต่อวินาที และจากการเก็บข้อมูลสถิติ พบว่า รถแข่งในปี 2020 ทำความเร็วได้น้อยกว่าปี 2019 อย่างเห็นได้ชัด

ทางคณะผู้จัดทำจึงเลือกกำหนดความเร็วลมของอากาศเฉลี่ยที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 13.89 เมตรต่อวินาที ใส่ลงในการจำลองแบบของไหล เนื่องจากเป็นความเร็วเฉลี่ยมาตรฐานที่รถแข่งสูตรนักศึกษาสามารถวิ่งได้ในประเภทสนาม Autocross และรถแข่งสูตรนักศึกษาของทีม Phranakhon Team ในปี 2019 สามารถทำความเร็วได้ใกล้เคียงกัน



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและปีกหลัง

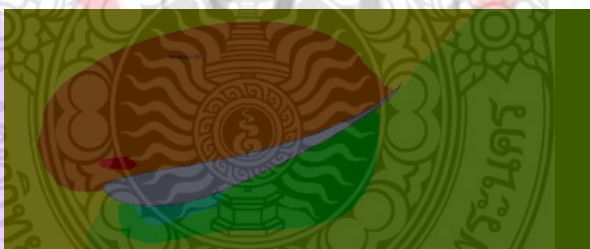
โดยจะแสดงค่าความเร็วของอากาศบริเวณรอบผิวของแพนอากาศและค่าความดันบริเวณรอบผิว โดยการใช้โปรแกรมจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและปีกหลังในแต่ละชั้น

##### 4.1.1 ชุดปีกหน้า

รูปแบบที่ 1 แพนอากาศ 1 ชั้น เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น

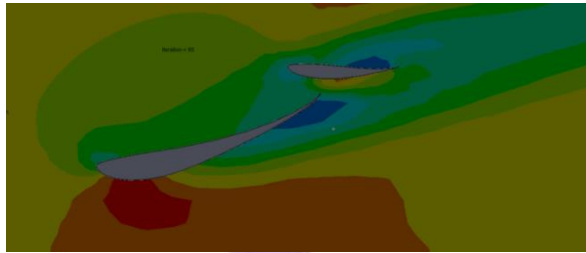


รูปที่ 4.1 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 17.71 m/s



รูปที่ 4.2 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุดที่ 101,410.43 Pa

รูปแบบที่ 2 แพนอากาศ 2 ชั้น แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น  
แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 1 ชั้น



รูปที่ 4.3 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 16.36 m/s



รูปที่ 4.4 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,561.19 Pa

รูปแบบที่ 3 จะมีแพนอากาศ 3 ชั้น เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 2 ชั้น



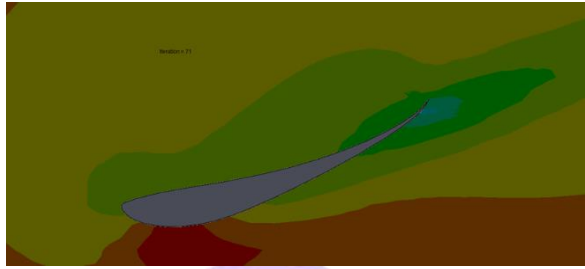
รูปที่ 4.5 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 16.40 m/s



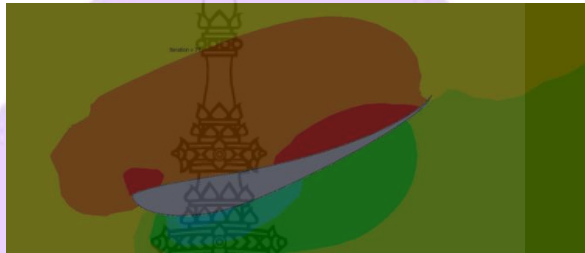
รูปที่ 4.6 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,488.33 Pa

#### 4.1.2 ชุดปีกหลัง

รูปแบบที่ 1 จะมีแพนอากาศ 1 ชั้น แพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น



รูปที่ 4.7 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 17.17 m/s

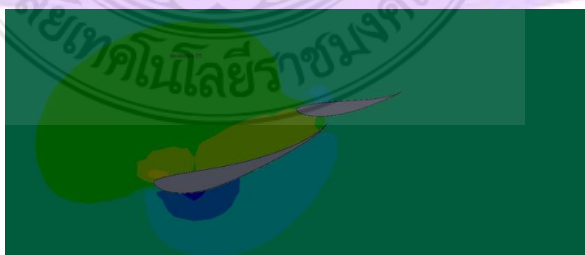


รูปที่ 4.8 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,390.58 Pa

รูปแบบที่ 2 แพนอากาศ 2 ชั้นแพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น  
แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 1 ชั้น



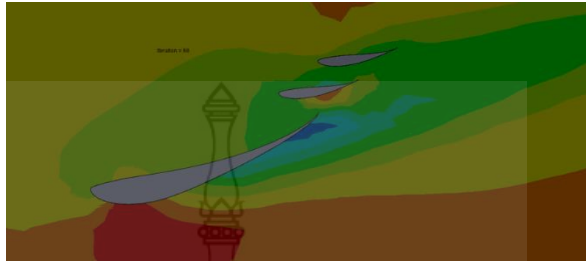
รูปที่ 4.9 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 18.11 m/s



รูปที่ 4.10 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101,517.23 Pa



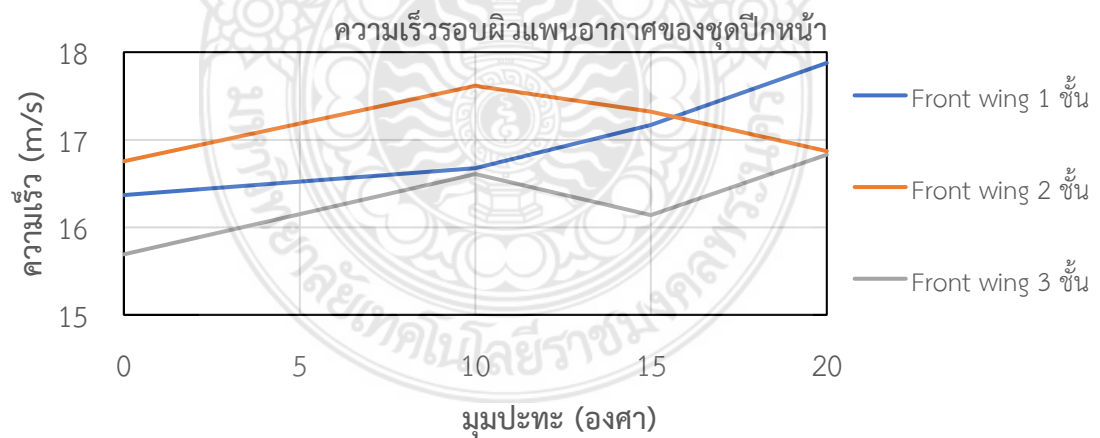
รูปแบบที่ 3 แพนอากาศ 2 ชั้นแพนอากาศหลัก เป็นแบบ Airfoil S1223 1 ชั้น  
แพนอากาศย่อย เป็นแบบ Airfoil FX63-137 2 ชั้น



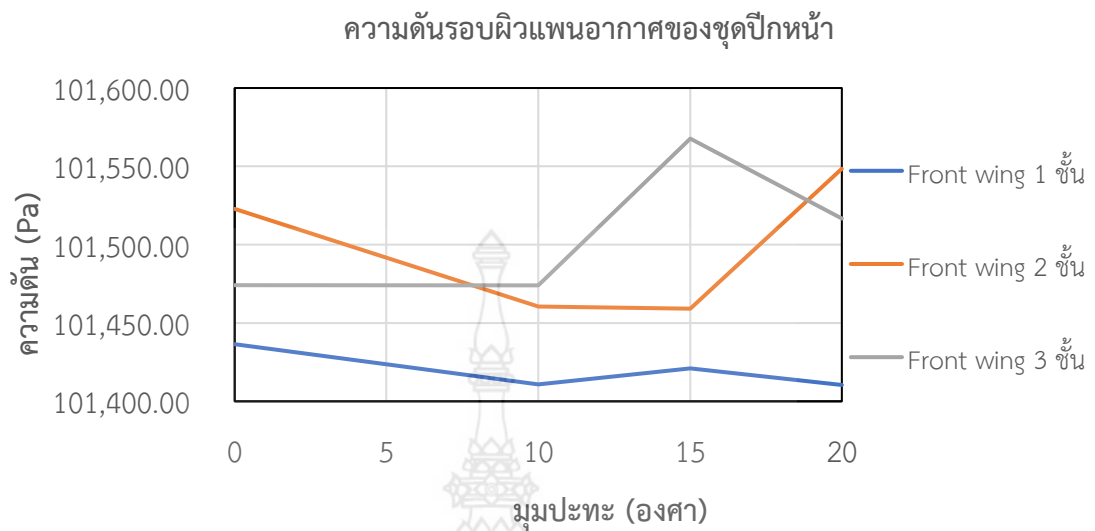
รูปที่ 4.11 ความเร็วรอบแพนอากาศ สูงสุด 17.12 m/s



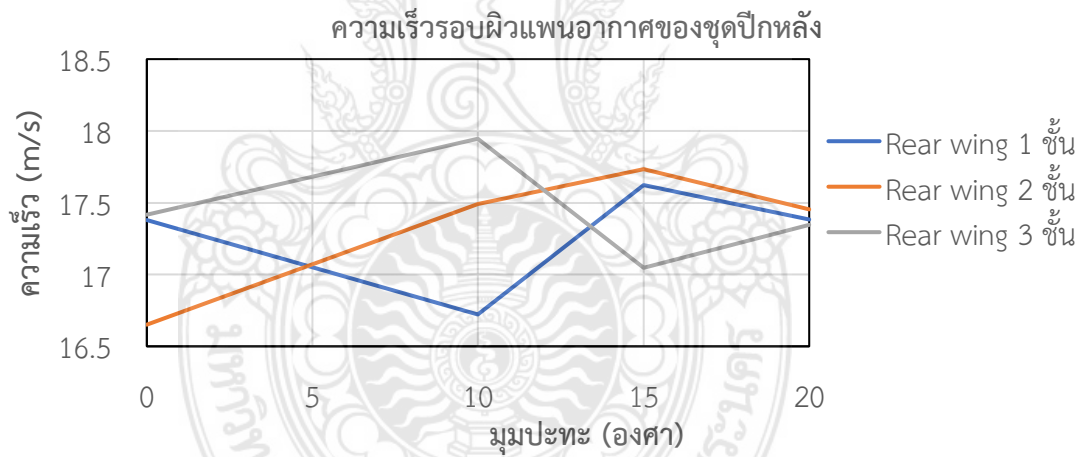
รูปที่ 4.12 ความดันรอบแพนอากาศ สูงสุด 101467.62 Pa



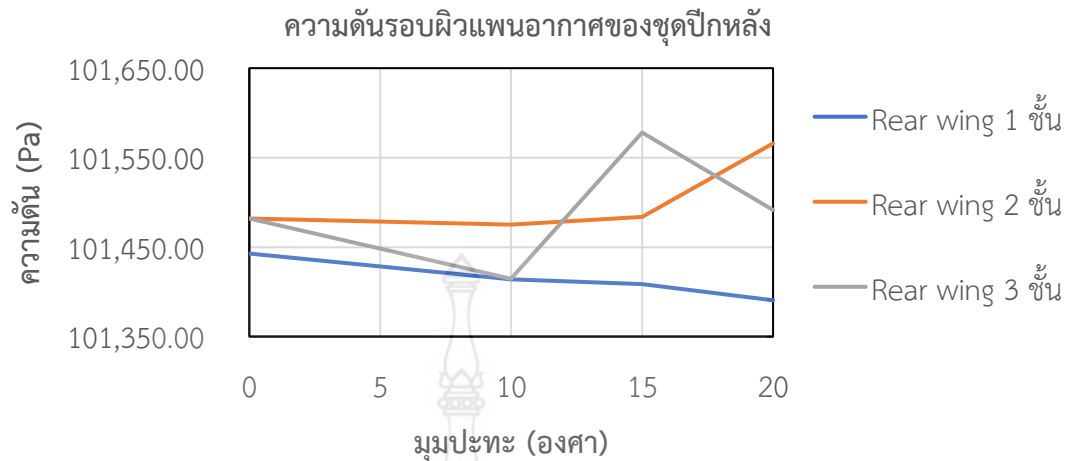
รูปที่ 4.13 ความเร็วรอบแพนอากาศของชุดปีกหน้า 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น



รูปที่ 4.14 ความดันรอบผิวแพนอากาศของชุดปีกหน้า 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น



รูปที่ 4.15 ความเร็วรอบผิวแพนอากาศของชุดปีกหลัง 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น



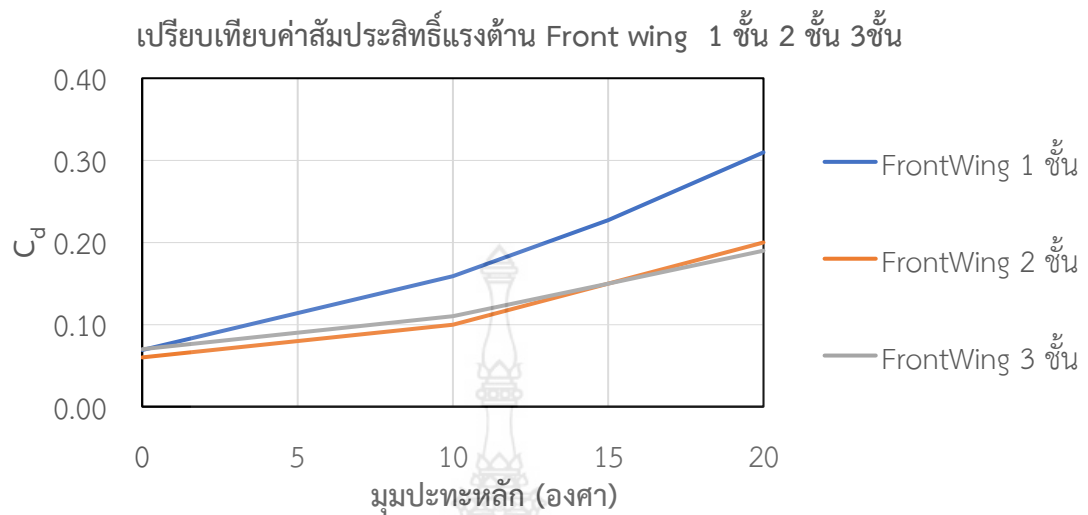
**รูปที่ 4.16** ความดันรอบผิวแพนอากาศของชุดปีกหลัง 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น

#### 4.2 ผลจากการแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน สัมประสิทธิ์แรงยกของชุดปีกหน้าและปีกหลัง

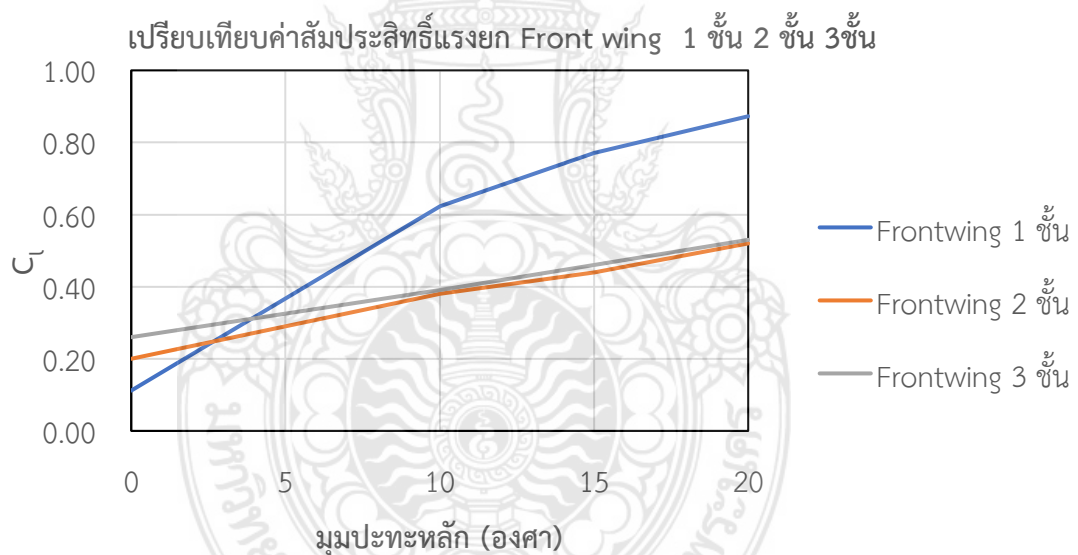
ในการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ค่าที่ถูกเอามาเปรียบเทียบกับค่าแรงต้าน Drag (นิวตัน) และแรงยก Lift (นิวตัน) ทั้งนี้ค่าที่ได้มานำมาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยกของชุดปีกหน้าและปีกหลัง

กรณีที่ ชุดปีกหน้า 1 ชั้น ได้ค่าผลจากการจำลองเชิงตัวเลข ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยกจากมุมปะทะแพนอากาศหลักที่มุม 0, 10, 15 และ 20 องศา กรณีที่ ชุดปีกหน้าจากการจำลองเชิงตัวเลข ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยกจากค่าเฉลี่ยมุมปะทะแพนอากาศย่อย 0, 4, และ 8 และมาเทียบกับมุมปะทะแพนอากาศหลักที่มุม 0, 10, 15 และ 20 องศา กรณีที่ ชุดปีกหน้า 3 ชั้น ได้ค่าผลจากการจำลองเชิงตัวเลข ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยก จากค่าเฉลี่ยมุมปะทะแพนอากาศย่อย 0, 4, และ 8 และมาเทียบกับมุมปะทะแพนอากาศหลักที่มุม 0, 10, 15 และ 20 องศา มาเทียบกับตาราง

กรณีที่ ชุดปีกหลัง 1 ชั้น ได้ค่าผลจากการจำลองเชิงตัวเลข ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยกจากมุมปะทะแพนอากาศหลักที่มุม 0, 10, 15 และ 20 องศา กรณีที่ ชุดปีกหลัง 2 ชั้น ได้ค่าผลจากการ Simulation ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยก จากค่าเฉลี่ยมุมปะทะแพนอากาศย่อยที่มุม 0, 4, 8, และ 12 และมาเทียบกับมุมปะทะแพนอากาศหลักที่มุม 0, 10, 15 และ 20 องศา กรณีที่ ชุดปีกหลัง 3 ชั้น ได้ค่าผลจากการจำลองเชิงตัวเลข ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยก จากค่าเฉลี่ยมุมปะทะแพนอากาศย่อยที่มุม 0, 4, 8 และ 12 องศา และมาเทียบกับมุมปะทะแพนอากาศหลักที่มุม 0, 10, 15, และ 20 มาเทียบกับตาราง

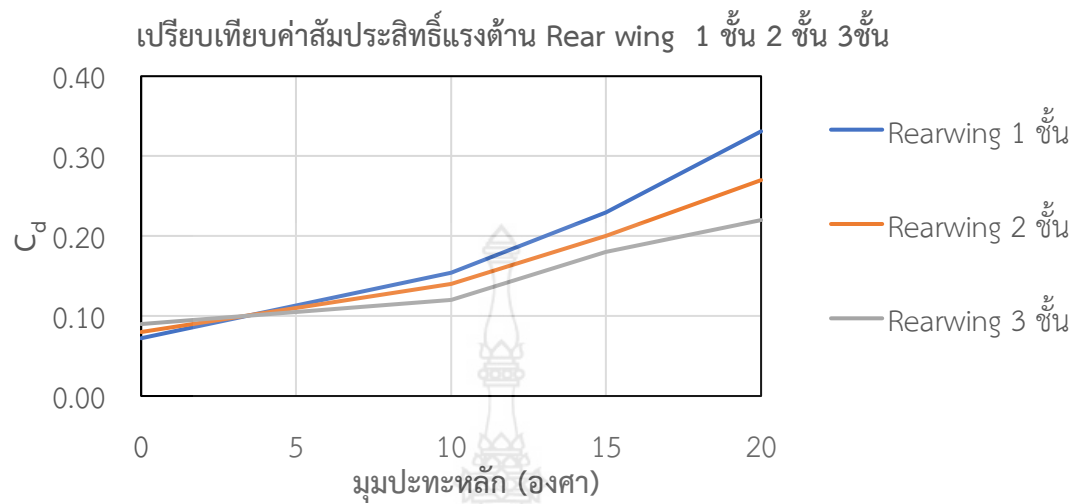


รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น

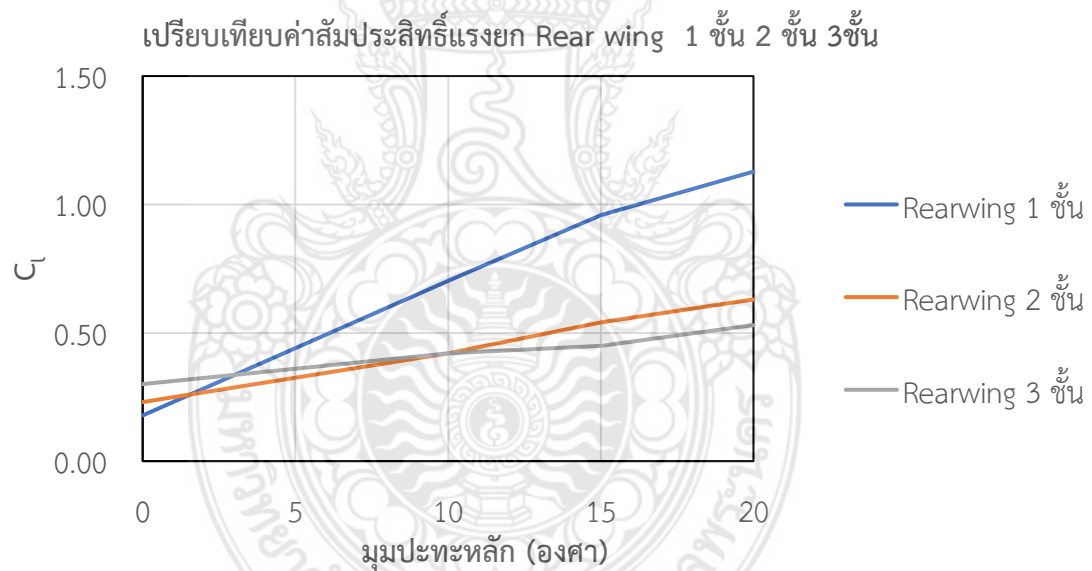


รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น

จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน และสัมประสิทธิ์แรงยกของชุดปีกหน้า ที่ได้จากการคำนวณ จากการเปรียบเทียบนี้ ได้ทำการศึกษา มุมปะทะ 4 มุม ได้แก่ 0, 10, 15 และ 20 องศา ผลการศึกษาพบว่า ที่มุมปะทะ 0-10 องศา อยู่ใน แนวเส้นตรง แต่หลังจาก 10-20 องศาขึ้นไป ภูมิการเปลี่ยนแปลง สังเกตได้ว่า ที่มุมปะทะของปีก เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงหลังมุมปะทะที่ 10 องศา อากาศเกิดการ Stall ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกลดลง โดยเรียกมุมนี้ว่า มุมปะทะวิกฤต (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Rear wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น



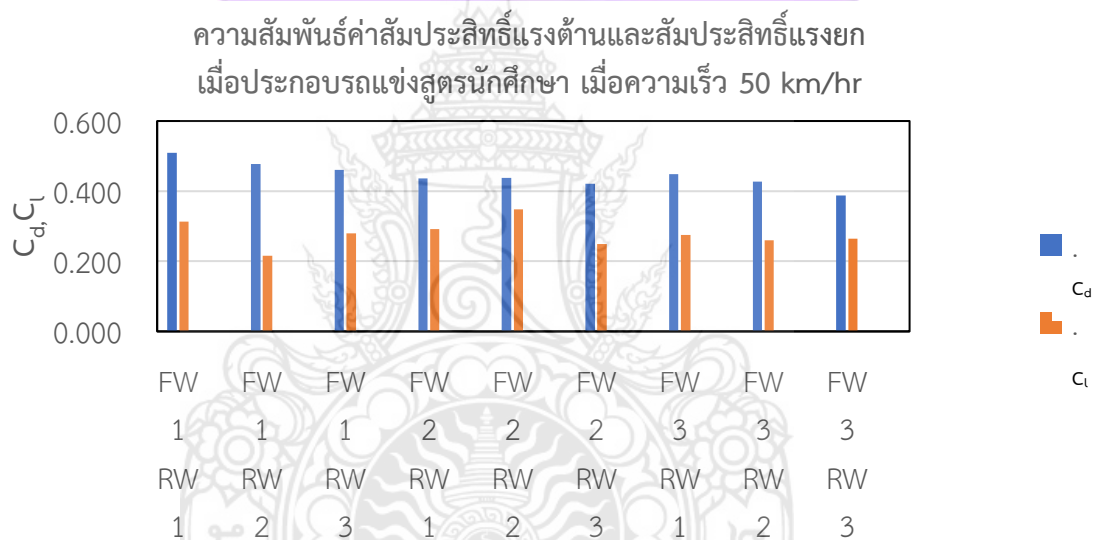
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Rear wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น

จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงให้เห็นถึง การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน และสัมประสิทธิ์แรงยกของชุดปีกหลัง ที่ได้จากการคำนวณ จากการเปรียบเทียบนี้ ได้ทำการศึกษา มุมปะทะ 4 มุม ได้แก่ 0, 10, 15 และ 20 องศา ในกราฟสัมประสิทธิ์แรงต้าน จากมุมปะทะ ที่ 0-10 องศา มีค่าที่เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเป็นแนวเส้นตรง แต่ที่มุมปะทะจากมุม 10 องศา ขึ้นไป จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามมุมปะทะของปีกที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น และสัมประสิทธิ์แรงยก จากมุมปะทะ 0-15 องศา มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกเพิ่มขึ้น แต่ที่มุมปะทะหลังจากมุม 15 องศาขึ้นไป มีค่าเพิ่มขึ้น ตามมุมปะทะของปีก (ภาคผนวก ก)

#### 4.3 การจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังที่ประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา

การจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังที่ประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา เพื่อที่จะศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้แพนอากาศที่ ประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา โดยจะไม่พิจารณานักขับในการจำลองเชิงตัวเลข เนื่องจากความสูงและน้ำหนักของนักขับจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยกเกิดความคลาดเคลื่อนได้

ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษา พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา และได้ทำการจำลองเชิงตัวเลข โดยกำหนดรูปแบบที่มาประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา ออกเป็น 9 รูปแบบ ดังรูป 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างชุดปีกหน้า-หลังเมื่อประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นถึง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังเมื่อประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและเลือกมุมปะทะที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด ที่จะนำมาประกอบติดกับรถแข่งสูตรนักศึกษานั้น เป็นแพนอากาศชุดปีกหน้าและแพนอากาศชุดปีกหลัง สำหรับประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษานั้น เป็นแพนอากาศ ชุดปีกหน้า 2 ชั้น และแพนอากาศชุดปีกหลัง 2 ชั้น ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอยู่ที่ 0.38 และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกอยู่ที่ 0.30

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

คณะผู้จัดทำได้ออกแบบชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง โดยอิงจากกติกาของการแข่งขัน TSAE Auto Challenge Student Formula ดังนี้ ชุดปีกหน้า ส่วนหน้าสุดของชุดปีกหน้าต้องห่างจากหน้ายางของยางหน้าไม่เกิน 700 มิลลิเมตร ความกว้างของชุดปีกหน้าต้องไม่เกินระยะขอบนอกของรถ และความสูงของชุดปีกหน้าต้องไม่เกิน 250 มิลลิเมตร เมื่อวัดโดยไม่มีคนขับอยู่ในรถ ชุดปีกหลัง ส่วนหลังสุดของชุดปีกหลังต้องห่างจากหน้ายางหลังไม่เกิน 250 มิลลิเมตร ส่วนหน้าสุดของชุดปีกหลังต้องไม่ล้ำเกินส่วนของโครงรถที่รองรับนักพิงของคนขับ ความกว้างของชุดปีกหลังต้องไม่เกินระยะขอบในของรถ และอุปกรณ์อากาศพลศาสตร์ที่ติดตั้งกับตัวรถ ต้องมีความสูงจากพื้นไม่เกิน 1.2 เมตร เมื่อวัดโดยไม่มีคนขับอยู่ในรถ เพื่อแก้ไขปัญหาด้านสมรรถนะของรถ เมื่อรถไม่มีชุดปีกหน้าและปีกหลัง จึงส่งผลให้รถเกิดความไม่เสถียรภาพเมื่อเข้าโค้ง

5.1.1 ชุดปีกหน้า 1, 2 และ 3 ชั้น ในการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) จากผลของการจำลองเชิงตัวเลข ในชุดปีกหน้าจำนวน 1 ชั้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก อยู่ที่ 0.87 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน อยู่ที่ 0.31 จากผลของการจำลองเชิงตัวเลข ในชุดปีกหน้าจำนวน 2 ชั้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก อยู่ที่ 0.52 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน อยู่ที่ 0.20 จากผลของการจำลองเชิงตัวเลข ในชุดปีกหน้าจำนวน 3 ชั้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก อยู่ที่ 0.53 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน อยู่ที่ 0.19 จะเห็นว่ามุมปะทะของแพนอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงหลังมุมปะทะที่ 10 องศาอากาศเกิดการ Stall ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกลดลง โดยเรียกมุมนี้ว่า มุมปะทะวิกฤต

5.1.2 ชุดปีกหลัง 1, 2 และ 3 ชั้น ในการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) จากผลของการจำลองเชิงตัวเลข ในชุดปีกหน้าจำนวน 1 ชั้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก อยู่ที่ 1.13 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน อยู่ที่ 0.44 จากผลของการจำลองเชิงตัวเลขในชุดปีกหน้าจำนวน 2 ชั้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก อยู่ที่ 0.63 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน อยู่ที่ 0.27 จากผลของการจำลองเชิงตัวเลข ในชุดปีกหน้า จำนวน 3 ชั้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด อยู่ที่มุมปะทะที่ 20 องศา ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก อยู่ที่ 0.53 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน อยู่ที่ 0.22 จะเห็นว่าที่มุมปะทะเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและค่าสัมประสิทธิ์แรงยก ที่มา ที่มากระทำต่อหน้าสัมผัสของแพนอากาศก็จะเพิ่มขึ้น ตามมุมปะทะของแพนอากาศ

5.1.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังเมื่อประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและเลือกมุมปะทะ

ที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด ที่จะนำมาประกอบติดกับรถแข่งสูตรนักศึกษา พบว่าแพนอากาศ ชุดปีกหน้าและแพนอากาศชุดปีกหลัง สำหรับประกอบกับรถแข่งสูตรศึกษานั้น เป็นแพนอากาศ ชุดปีกหน้า 2 ชั้น และแพนอากาศชุดปีกหลัง 2 ชั้น ได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอยู่ที่ 0.38 และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกอยู่ที่ 0.30

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการทดลองการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังสามารถเพิ่มมุมมองสามมปะทะที่มากขึ้นได้ เพื่อจะได้มีความรู้ค่าต่างๆ เพิ่มขึ้น

5.2.2 ในการทดลองการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) สามารถเพิ่มจำนวนชุดปีก Airfoil รูปแบบอื่น ๆ เป็นแนวทางการศึกษาการการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) อื่น ๆ ต่อไป

5.2.3 ในการทดลองการจำลองเชิงตัวเลข (Flow simulation) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังสามารถเพิ่มความเร็วเฉลี่ยของรถแข่งสูตรนักศึกษาในการทดลอง

5.2.4 ควรมีการสร้างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง แบบจำลองเพื่อไปทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านและสัมประสิทธิ์แรงยก โดยใช้โปรแกรม หาค่าความละเอียดและแม่นยำมากขึ้น

5.2.5 ควรมีการสร้างชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังแบบจริง และนำไปทดลองในภาคสนาม



## บรรณานุกรม

- [1] ฉัญดร ออภะลา, 2553, **กลศาสตร์ของไหล**, พิมพ์ครั้งที่ - , กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [2] Houghton, E. L. and Carpenter, P. W. 2003, **Aerodynamics for Engineering** 5<sup>th</sup> edition., (ISBN): Edward Arnold-Great Britain.
- [3] Katz, J., 1995, **Race Car Aerodynamics**, Bentley Publishers, USA.
- [4] Michael S, Selig., James; J.; Guglielmo, Andy; P., Broeren, and Philippe Giguere., 1995, **Summary of Low-Speed Airfoil Data**, Soartech Publications, Virginia.
- [5] Munson, B. R., and Young, D. F., 2010, **Fundamentals of Fluid Mechanics**, 6<sup>th</sup> edition, (ISBN): Wiley, West Virginia.
- [6] Wordley, S.J., and Saunders, J. W., 2006, **Aerodynamics for Formula SAE Initial Design and Performance Prediction**, 1<sup>th</sup> edition., New York: McGraw-Hill Education.
- [7] Zhang, X., and Zerihan, J., 2003, **Aerodynamics of a Double Element Wing in Ground Effect**, **AIAA Journal**, 6<sup>th</sup> edition., Urbana (IL): University of Illinois Press.
- [8] Mike Busch., 1997, **Rod Machado's Private Pilot Handbook The Ultimate Private Pilot Book**, 1<sup>st</sup> edition., United States. Aviation Speakers Bureau.
- [9] Machado, **Airfoils** [Online], Available: <https://www.flightmechanic.com/airfoils> [2021, Jun 20]
- [10] Alan, W. B., **Airfoil** [Online], Available: Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Airfoil/media/File:Wingprofilenomenclature.svg>. [2021, Jun 20]
- [11] Bay, M., **Angle of Attack**. [Online], Available: <http://www.aviationchief.com/angle-of-attack.html>. [2021, Jun 20]
- [12] Metz, D. L., Milliken, W. F., and Milliken, D. L., 1998, **Race car vehicle dynamics**. **Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers Internet**, 7<sup>th</sup> edition., Boston (MA): Houghton Mifflin.
- [13] Boles, M. A., **Forces and Diagrams**. [Online], Available: <https://www.pathwayz.org/Tree/Plain/FORCES NAMES AND DIAGRAMS>. [2021, Jun 20]
- [14] McBeath, S., 1998, **Competition Car Downforce**, 6<sup>th</sup> edition., Haynes Publishers.
- [15] Ross, J. C., Storms, B. L., and Carrannanto, P.G., 1995, **Lift-Enhancing Tabs on Multielement Airfoils**, 5<sup>th</sup> edition., Berkeley (CA): University of California Press.
- [16] Chettaisong, T., **Bernoulli** [Online], Available: <http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbase/pber.html>. [2021, April 15]
- [17] Wu, K., n.d., **Drag** [Online], Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k12/airpla->

ne/drageq.htm. [2021, Jun 20]

### บรรณานุกรม (ต่อ)

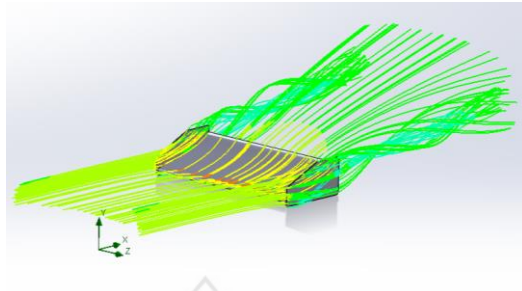
- [18] Gillot, J., **FSAE West Results** [Online], Available: <https://www.sae.org/binaries/-content/assets/cm/content/attend/2018/studentevents/fsae/results/fsaew2011results.pdf>. [2021, May 15]



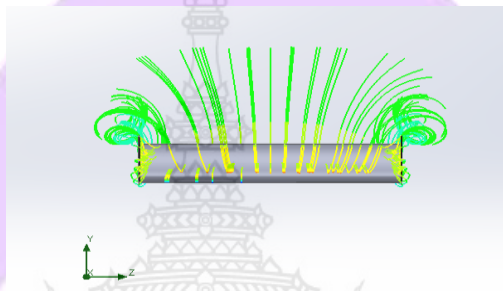


ภาคผนวก ก  
ผลการทดลองเพิ่มเติม

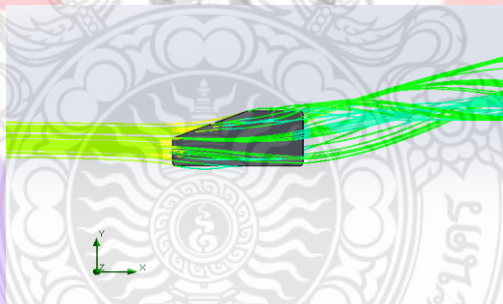
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
RUP



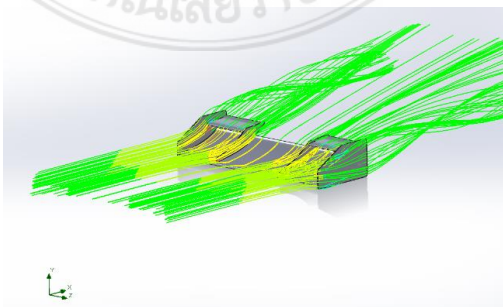
รูปที่ ก.1 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแผ่นอากาศ ชุดปีกหน้าแผ่นอากาศ 1 ชั้น



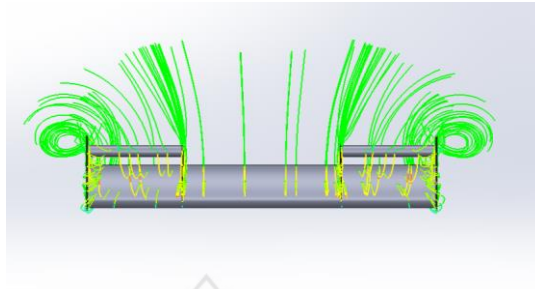
รูปที่ ก.2 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแผ่นอากาศ ชุดปีกหน้าแผ่นอากาศ 1 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านบน



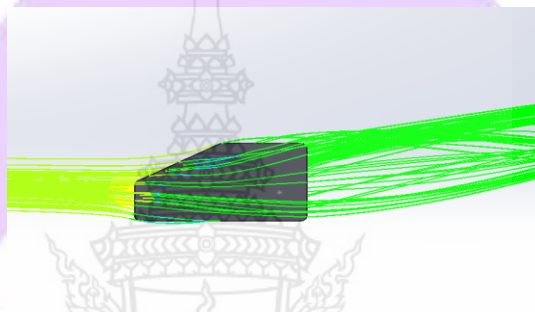
รูปที่ ก.3 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแผ่นอากาศ ชุดปีกหน้าแผ่นอากาศ 1 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านข้าง



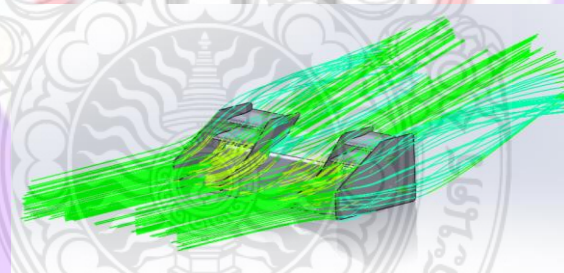
รูปที่ ก.4 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแผ่นอากาศ ชุดปีกหน้าแผ่นอากาศ 2 ชั้น



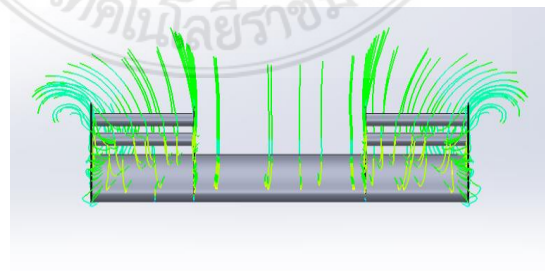
รูปที่ ก.5 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหน้าแพนอากาศ 2 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านบน



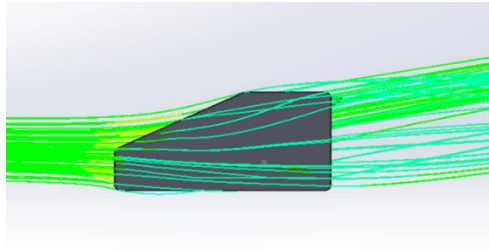
รูปที่ ก.6 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหน้าแพนอากาศ 2 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านข้าง



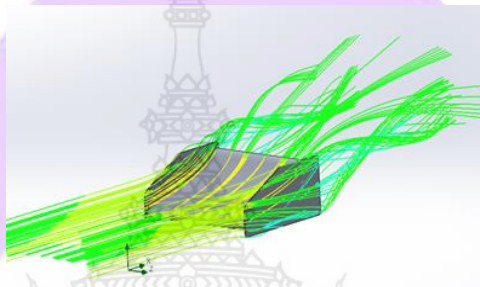
รูปที่ ก.7 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหน้าแพนอากาศ 3 ชั้น



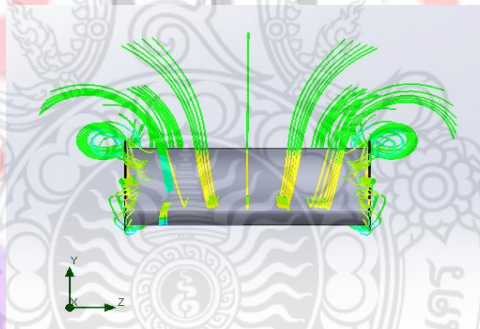
รูปที่ ก.8 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหน้าแพนอากาศ 3 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านบน



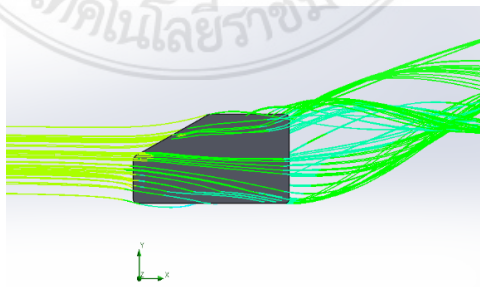
รูปที่ ก.9 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหน้าแพนอากาศ 3 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านข้าง



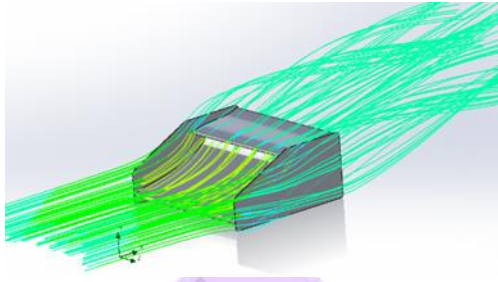
รูปที่ ก.10 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 1 ชั้น



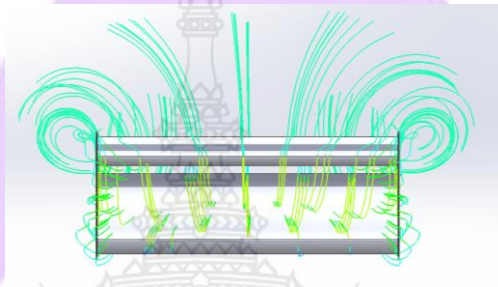
รูปที่ ก.11 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 1 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านบน



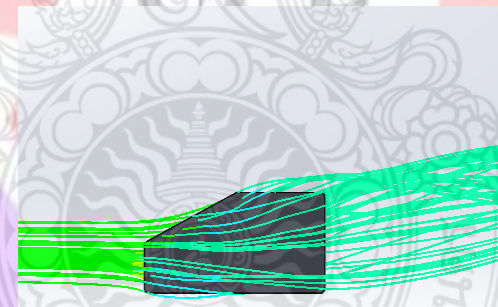
รูปที่ ก.12 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 1 ชั้น แสดงการไหลการมองภาพจากด้านข้าง



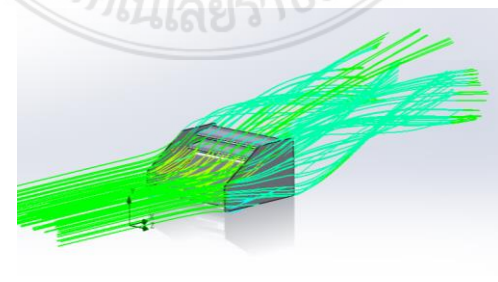
รูปที่ ก.13 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 2 ชั้น



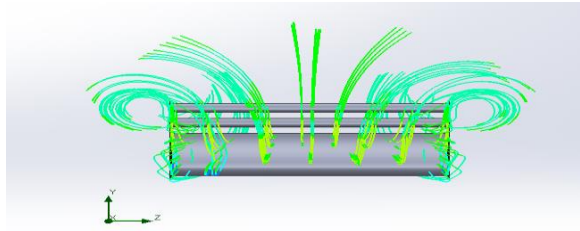
รูปที่ ก.14 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 2 ชั้น  
แสดงการไหลการมองภาพจากด้านบน



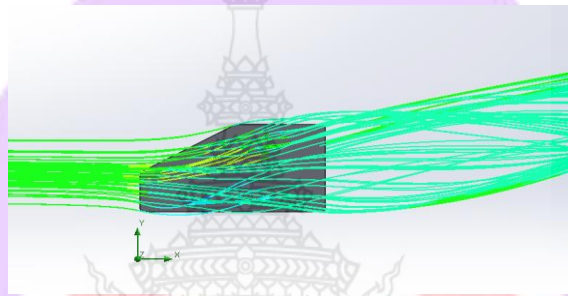
รูปที่ ก.15 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 2 ชั้น  
แสดงการไหลการมองภาพจากด้านข้าง



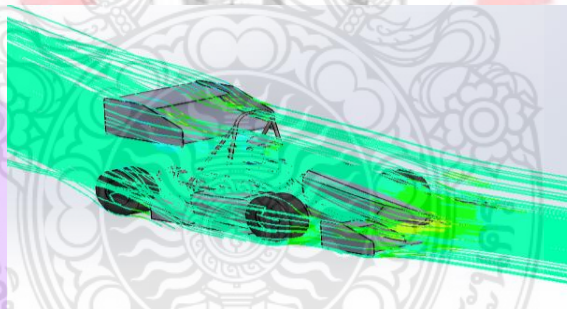
รูปที่ ก.16 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 3 ชั้น



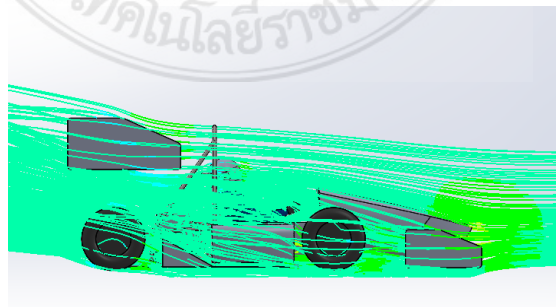
รูปที่ ก.17 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 3 ชั้น  
แสดงการไหลการมองภาพจากด้านบน



รูปที่ ก.18 แสดงการไหลของลมที่มาปะทะกับแพนอากาศ ชุดปีกหลังแพนอากาศ 3 ชั้น  
แสดงการไหลการมองภาพจากด้านข้าง



รูปที่ ก.19 แสดงการไหลที่มาปะทะกับชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง



รูปที่ ก.20 แสดงการไหลที่มาปะทะกับชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง



ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น จากการจำลองเชิงตัวเลข

มุมปะทะหลัก (องศา)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 1 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 2 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 3 ชั้น
0	0.07	0.06	0.07
10	0.16	0.10	0.11
15	0.23	0.15	0.15
20	0.31	0.20	0.19

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น จากการจำลองเชิงตัวเลข

มุมปะทะหลัก (องศา)	สัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 1 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 2 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 3 ชั้น
0	0.11	0.2	0.26
10	0.62	0.38	0.39
15	0.77	0.44	0.46
20	0.87	0.52	0.53

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Rear wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น  
จากการจำลองเชิงตัวเลข

มุมปะทะหลัก (องศา)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 1 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 2 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) Front wing 3 ชั้น
0	0.10	0.08	0.09
10	0.21	0.14	0.12
15	0.31	0.20	0.18
20	0.44	0.27	0.22

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Rear wing 1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น  
จากการจำลองเชิงตัวเลข

มุมปะทะหลัก (องศา)	สัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 1 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 2 ชั้น	สัมประสิทธิ์แรงยก Lift coefficient ( $C_l$ ) Front wing 3 ชั้น
0	0.18	0.23	0.30
10	0.70	0.42	0.42
15	0.96	0.54	0.45
20	1.13	0.63	0.53

ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์แรงต้าน Drag coefficient ( $C_d$ ) และสัมประสิทธิ์แรงยก Lift-coefficient ( $C_l$ ) ชุดปีกหน้าและชุดปีกหลังที่ประกอบกับรถแข่งสูตรนักศึกษา

รูปแบบ (FW ชั้น/RW ชั้น)	ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน $C_d$	ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก $C_l$
FW 1 RW 1	0.51	0.31
FW 1 RW 2	0.48	0.22
FW 1 RW 3	0.46	0.28
FW 2 RW 1	0.38	0.25
FW 2 RW 2	0.38	0.30
FW 2 RW 3	0.37	0.21
FW 3 RW 1	0.39	0.24
FW 3 RW 2	0.38	0.23
FW 3 RW 3	0.34	0.23

## 1. กติกาการออกแบบชุดปีกหน้าและชุดปีกหลัง TSAE Student Formula 2021

### 1.1 ติดตั้งชุดปีกหน้า

1.1.1 ส่วนหน้าสุดของชุดปีกหน้าต้องห่างจากหน้ายางของยางหน้าไม่เกิน 700 มิลลิเมตร

1.1.2 ความกว้างของชุดปีกหน้าต้องไม่เกินระยะขอบนอกของยางรถ

1.1.3 ความสูงของชุดปีกหน้าต้องไม่เกิน 250 มิลลิเมตร เมื่อวัดโดยไม่มีคนขับอยู่ในรถ

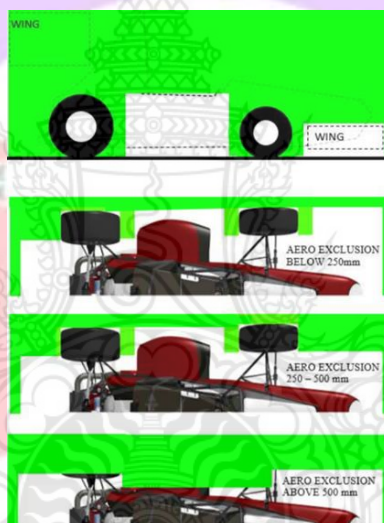
### 1.2 ติดตั้งชุดปีกหลัง

1.2.1 ส่วนหลังสุดของชุดปีกหลังต้องห่างจากหน้ายางหลังไม่เกิน 250 มิลลิเมตร

1.2.2 ส่วนหน้าสุดของชุดปีกหลังต้องไม่ล้ำเกินส่วนของโครงรถที่รองรับนักพิงของคนขับ

1.2.3 ความกว้างของชุดปีกหลังต้องไม่เกินระยะขอบในของยางรถ

1.2.4 อุปกรณ์อากาศยานศาสตร์ที่ติดตั้งกับตัวรถ ต้องมีความสูงจากพื้นไม่เกิน 1.2 เมตร เมื่อวัดโดยไม่มีคนขับอยู่ในรถ



รูปที่ ก.21 ขอบเขตการออกแบบชุดปีกหน้าและปีกหลัง

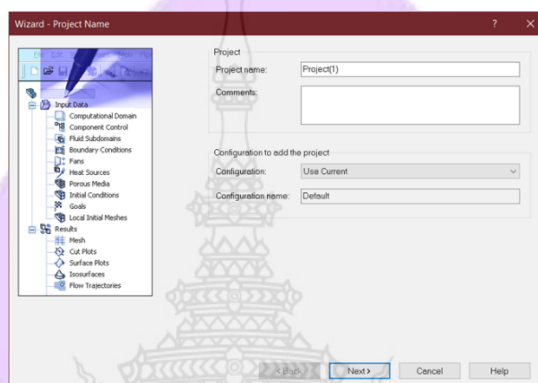


ภาคผนวก ข  
การคำนวณจากโปรแกรม

## 1. การทดสอบด้วยการ Simulation flow

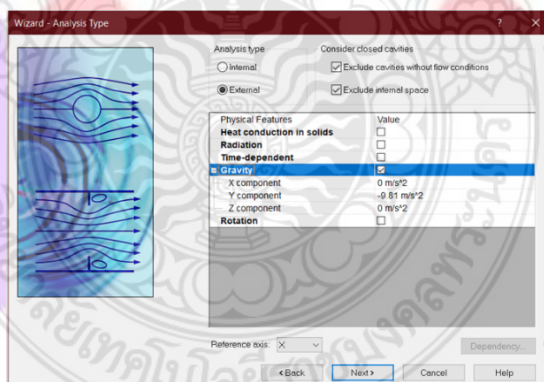
ทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองเชิงตัวเลข (Simulation flow) ชุดปีกหน้าและปีกหลังอย่างละ 3 แบบ ในโปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS เพื่อเก็บค่าแรงสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงต้าน เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลจากการจำลองแบบของไหลของแต่ละชั้น แสดงดังขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 เลือก หัวข้อ New wizard simulation ส่วนนี้จะเป็นการสร้าง หัวข้อ Project ก่อนจะทำกรใส่ค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ ข.1



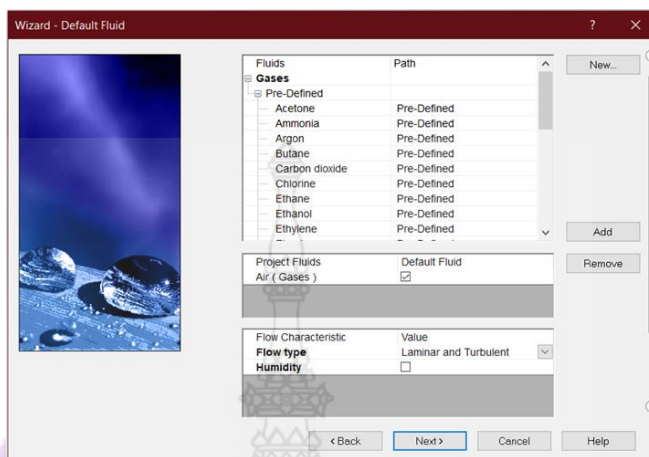
รูปที่ ข.1 แสดงการเริ่มต้นในการ Simulation

1.2 ส่วนนี้จะเป็นการ ตั้งค่าการไหล ดังรูปที่ ข.1 จะเลือกหมวด External และเลือก Exclude cavities without flow conditions, Exclude internal space แสดงดังรูปที่ ข.2



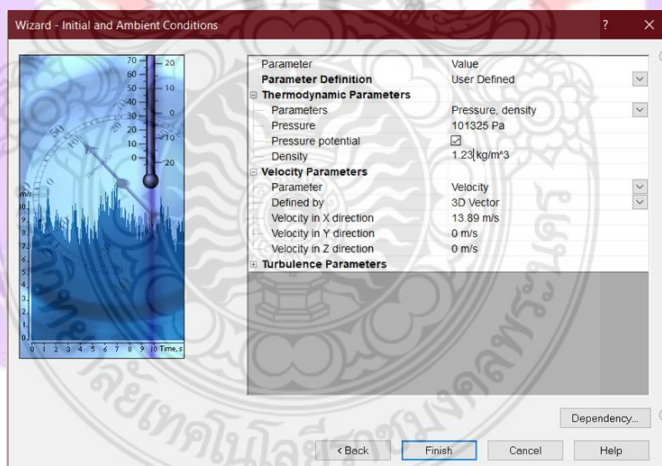
รูปที่ ข.2 แสดงการเริ่มต้นการตั้งค่าการไหล

1.3 ส่วนนี้จะเป็นการเลือกของไหลที่ต้องการจำลอง ดังรูปที่ ข.2 จะเลือกหมวด Gasses และปรับ Project fluids เป็น Air แสดงดังรูปที่ ข.3



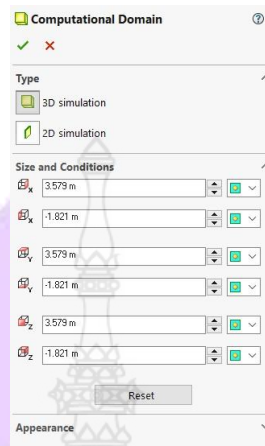
รูปที่ ข.3 แสดงการเลือกของไหลที่ต้องการจำลอง

1.4 ส่วนนี้แสดงถึงความหนาแน่นของอากาศและความเร็ว ดังรูปที่ ข.4 จะทำการปรับความหนาแน่นของอากาศที่ 1.23 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ต่อมาเลือก Velocity in X direction เป็น 13.89 เมตรต่อวินาที



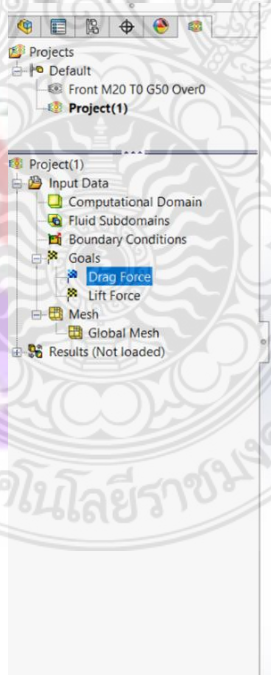
รูปที่ ข.4 แสดงถึงทำการปรับอุณหภูมิรวมถึงความหนาแน่นของอากาศและความเร็ว

1.5 จะเป็นการกำหนด Computational domain โดย จะใส่ค่า Computational domain ดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.5 กำหนด Computational domain

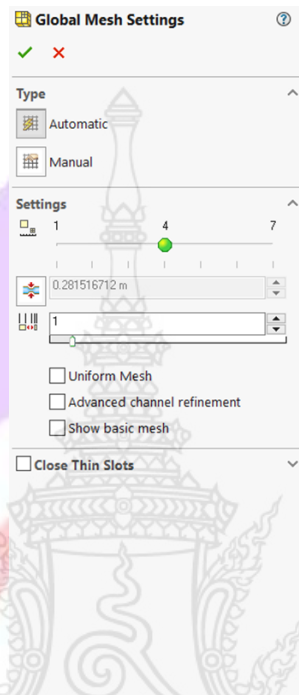
1.6 เป็นการแสดงการเพิ่ม Global goals ดังรูปที่ ข.6 โดย คลิกขวาที่ Goal เพื่อเพิ่ม สำหรับค่าที่ต้องการในการ Simulation



รูปที่ ข.6 แสดงการเพิ่ม Global goals

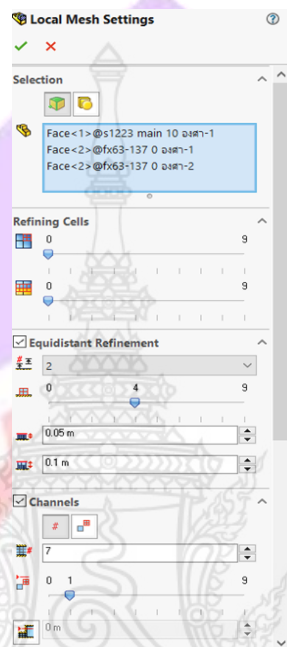


1.7 ส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลการ ปรับข้อมูลใน Global mesh setting ดังรูปที่ ข.7 โดยทำการปรับเป็น Advanced channel refinement โดยเลือกที่ช่อง Advanced channel refinement โดยใช้ความละเอียดที่ระดับ 4



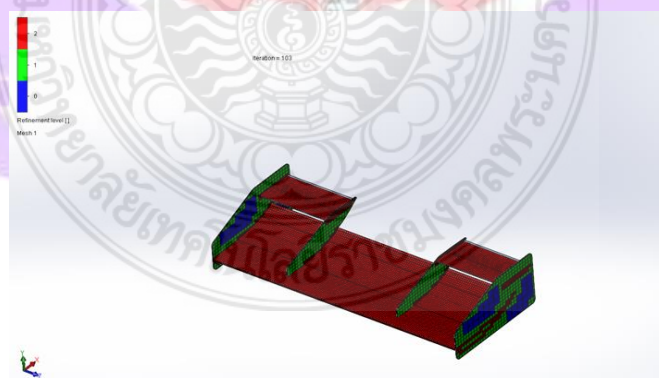
รูปที่ ข.7 แสดงการ ปรับข้อมูลใน Global mesh setting

1.8 ส่วนนี้จะเป็นการ ปรับ Mesh ที่ Model เพื่อความถูกต้องมากขึ้นโดยคลิกขวาที่ Mesh เลือก Insert local mesh ทำการเลือก Part เพื่อที่จะกำหนดจุดที่จะจำลองการไหลของอากาศที่ไหลผ่าน จากนั้นทำการปรับ Equidistant refinement ทำ Mesh ละเอียดอยู่ที่ 2 ชั้น ตั้งความหนารอบตัว Model 0.05 m และ 0.1 m ปรับค่าความละเอียดอยู่ที่ 4 ดังรูปที่ ข.8



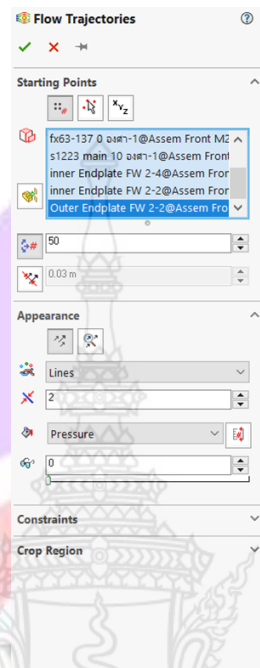
รูปที่ ข.8 ตั้งค่า Local mesh ปรับค่าความละเอียด

1.9 แสดงค่า Mesh ดังรูปที่ ข.9



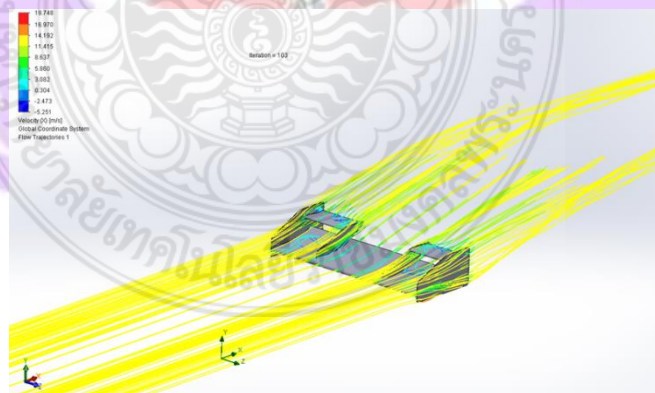
รูปที่ ข.9 แสดงค่า Mesh

1.10 ส่วนนี้จะแสดงการ Insert ตัวอย่างการไหลของอากาศ ดังรูปที่ ข.10 โดย คลิกขวาที่ Flow trajectories และ เลือก Insert เพื่อที่จะสามารถดูการไหลของอากาศได้



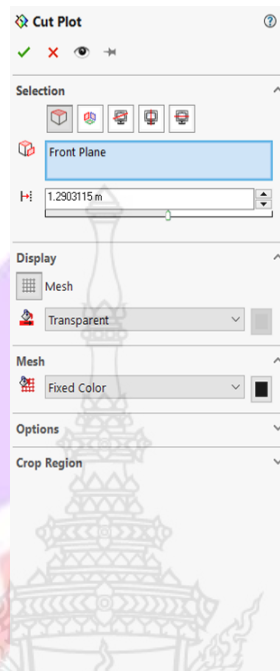
รูปที่ ข.10 ตั้งค่า Flow Trajectories

1.11) จะเป็นการแสดงการไหลของอากาศที่ผ่านตัวชุดปีก ตามค่าที่ ทำการใส่ตั้งแต่ ตอนแรก ดังรูปที่ ข.11



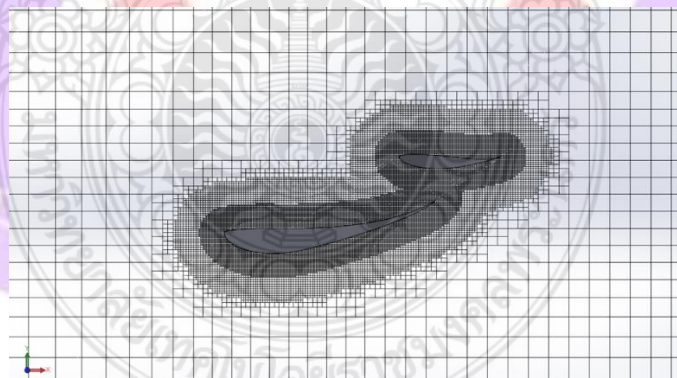
รูปที่ ข.11 แสดงให้เห็นถึงการไหลของอากาศที่ผ่านตัวชุดปีก

1.12 จะเป็นการแสดงการ Mesh รอบผิวชุดปีกใน Cut plot ดังรูปที่ ข.12



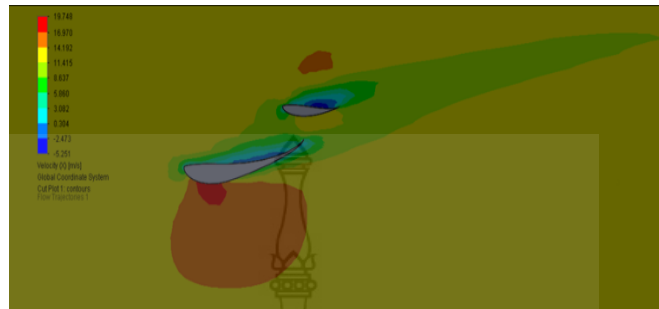
รูปที่ ข.12 ตั้งค่า Cut plot แสดงการ Mesh รอบผิวชุดปีก

1.13 จะเป็นการแสดงการ Mesh ผ่านตัวชุดปีก ดังรูปที่ ข.13



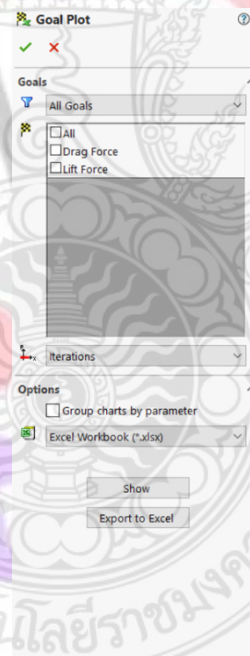
รูปที่ ข.13 แสดงผลการ Mesh รอบตัวชุดปีก

1.14) Insert cut plots เรียบร้อยก็จะได้ตารางที่แสดง ให้เห็นถึงความเร็ว ที่แตกต่างกันในแต่ละจุดของอากาศที่ไหลผ่านตัวชุดปีก ดังรูปที่ ข.14



รูปที่ ข.14 แสดงให้เห็นถึงความเร็วที่แตกต่างกันในรอบผิวของแพนอากาศ

1.15 ทำการเลือกตัวแปรที่ได้ทำการเลือกข้างต้นทั้งหมด หลังจากนั้น Export to excel เพื่อวิเคราะห์ต่อไป ดังรูปที่ ข.15



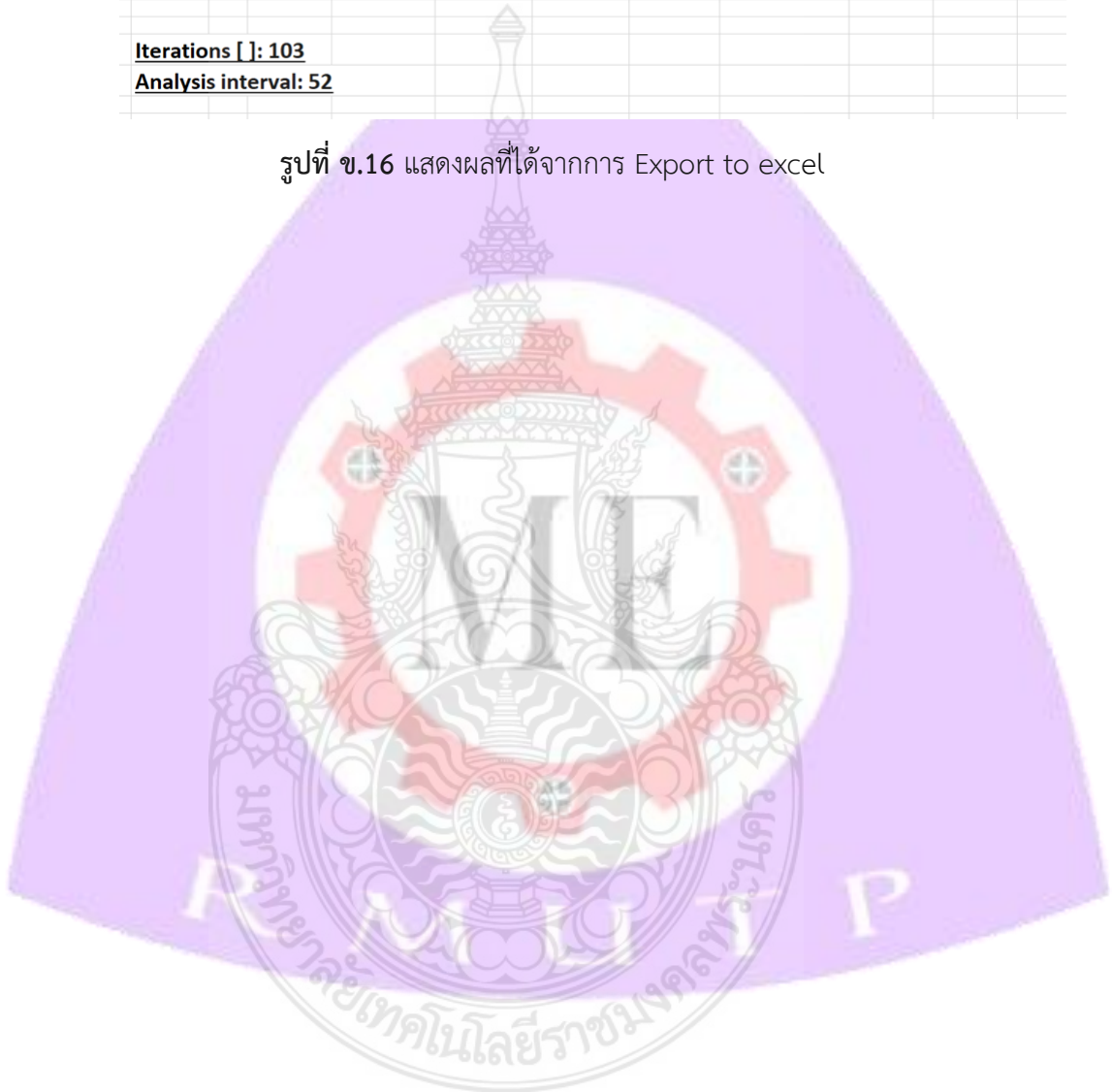
รูปที่ ข.15 แสดงการเลือกตัวแปร

1.16 แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการ Simulation และส่งออกไปยังโปรแกรม Microsoft Excel โดยที่ค่า Drag force และ Lift force ค่าความเร็วในแกน X เป็น 13.89 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ ข.16

Assem Front M20 TO G50 Over60 new.SLDASM [Project(1) [Default]]									
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
Drag Force	[N]	27.44135444	27.44116455	27.43245333	27.44123213	100	Yes	0.4881766	0.716198019
Lift Force	[N]	-65.55345344	-65.55342133	-65.55243453	-65.55402312	100	Yes	1.321178868	1.641981747

**Iterations [ ]: 103**  
**Analysis interval: 52**

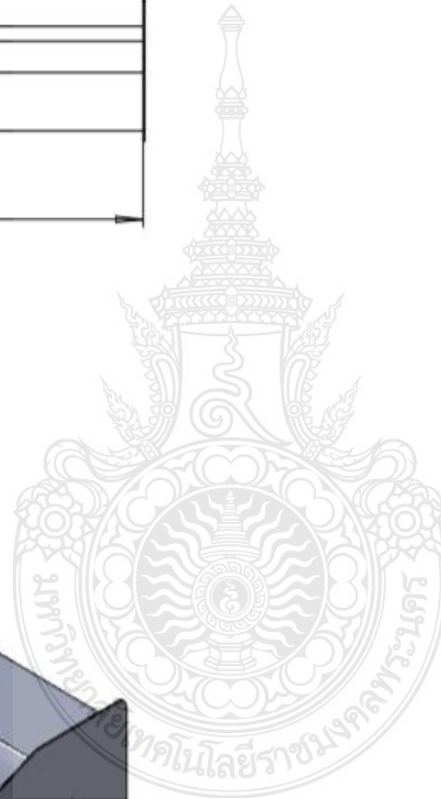
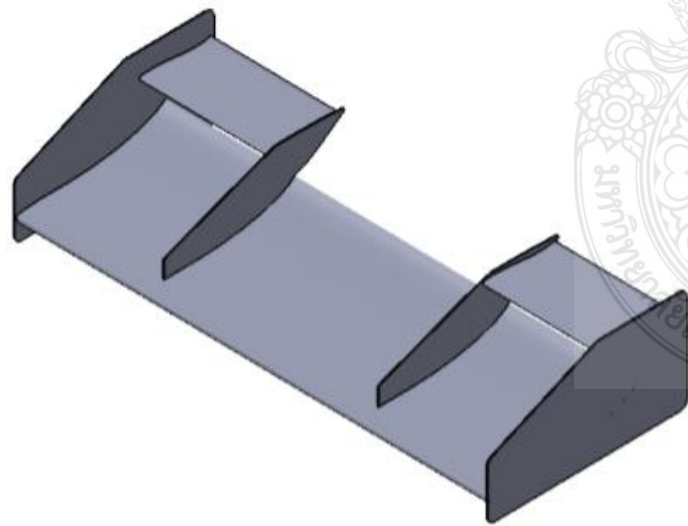
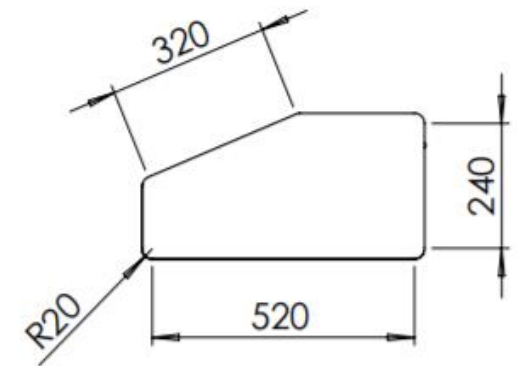
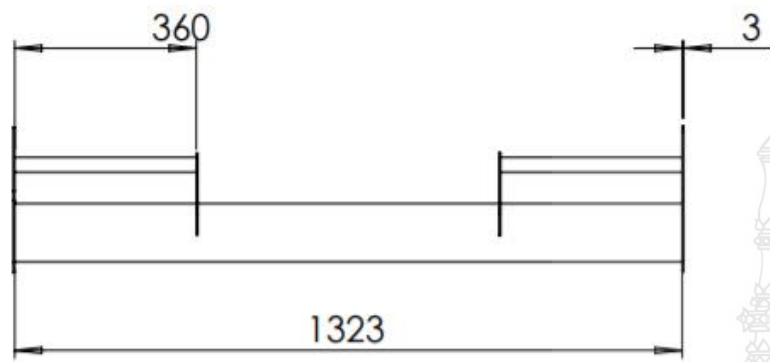
รูปที่ ข.16 แสดงผลที่ได้จากการ Export to excel





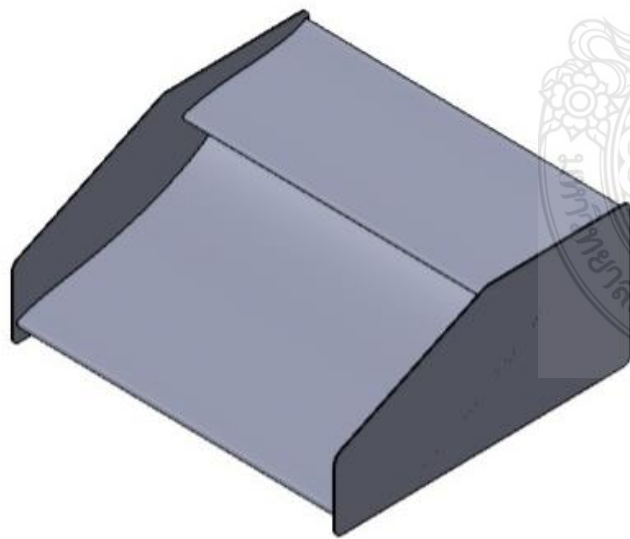
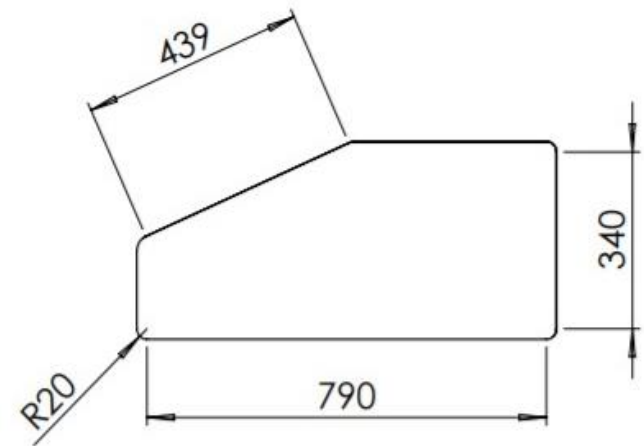
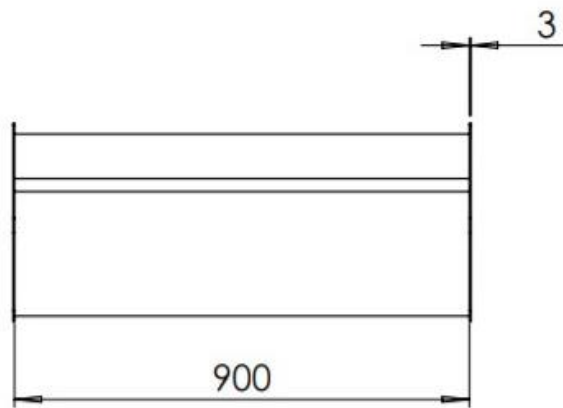
ภาคผนวก ค  
แบบทางวิศวกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



1	Front wing	520x1323x240	Aluminium	ME-01	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	O. SARITPHONG		<b>RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON</b>		
CHECKED	W.PHOOMTAWAN				
APPROVED	N.PUTTHICHAT				
SCALE:1:1	TITLE: A design of aerodynamic for TSAE student formula			SHEET:	DATE:
UNIT: mm				1 OF 1	10/10/2564





2	Rear wing	790x900x340	Aluminium	ME-02	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	O. SARITPHONG		<b>RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON</b>		
CHECKED	W.PHOOMTAWAN				
APPROVED	N.PUTTHICHAT				
SCALE:1:1	TITLE: A design of aerodynamic for TSAE student formula			SHEET:	DATE:
UNIT: mm				1 OF 1	10/10/2564



ประวัติผู้จัดทำปริญญาบัตร

## ประวัติผู้จัดทำปฏิญานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นางสาวทิพพาวรรณ ผมพันธ์  
 ที่อยู่ 50 ม.1 ต.พิมายเหนือ อ.ปรางค์กู่  
 จ.ศรีสะเกษ 33170  
 โทรศัพท์ 08-5495-0256  
 E-mail address Thippawan-Po@mutp.ac.th



## ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย

แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

โรงเรียนปรางค์กู่ ปีการศึกษา 2560

ปริญญาตรี

วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2564



## ประวัติผู้จัดทำปฏิญานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นายพุฒิชชาติ เนื่องแก้ว  
 ที่อยู่ 40 ม.11 ต.สองห้อง อ.เมืองบุรีรัมย์  
 จ.บุรีรัมย์ 31000  
 โทรศัพท์ 08-5052-9394  
 E-mail address Putthichat-N@rmutp.ac.th



## ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย

แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์  
 โรงเรียนสองห้องพิทยาคม ปีการศึกษา 2560

ปริญญาตรี

วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2564



## ประวัติผู้จัดทำปฏิญานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นายภูมิตะวัน แหวนทอง  
 ที่อยู่ 31/3 ม.6 ต.บางกรวย อ.บางกรวย  
 จ.นนทบุรี 11130  
 โทรศัพท์ 09-3124-2855  
 E-mail address Phoomtawan-Wa@mutp.ac.th



## ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

ช่างยนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2560

ปริญญาตรี

วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2564



## ประวัติผู้จัดทำปฏิญานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นายสฤกษ์พงศ์ องค์กรชื่น  
 ที่อยู่ 2 ม.5 ต.โรงช้าง อ.ป่าโมก  
 จ.อ่างทอง 14130  
 โทรศัพท์ 08-0661-5173  
 E-mail address Saritphong-O@rmutp.ac.th



## ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย

แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์  
 โรงเรียนอ่างทองปัทมโรจน์วิทยาคม ปีการศึกษา 2560

ปริญญาตรี

วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2564

