บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของรถ TSAE Student Formula สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองรถฟอร์มูล่าด้วยโปรแกรม SolidWorks® เพื่อ import เข้าโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

2. การทำการทดลองในอุโมงค์ลมกับแบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วน

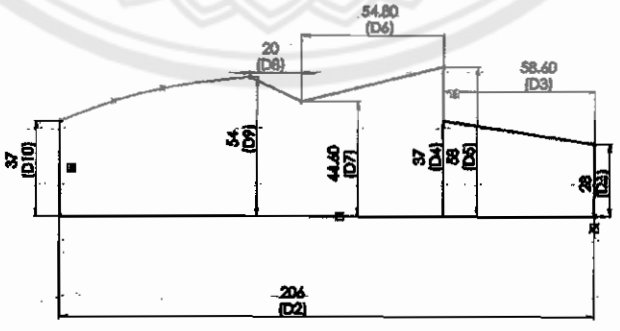
3. การยืนยันผลการจำลองการไหลจากโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ กับการทดลองในอุโมงค์ลม

4. การจำลองการไหลของอากาศผ่านแบบจำลองรถฟอร์มูล่าด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

3.1 การสร้างแบบจำลองรถฟอร์มูล่าด้วยโปรแกรม SolidWorks® เพื่อ import เข้าโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

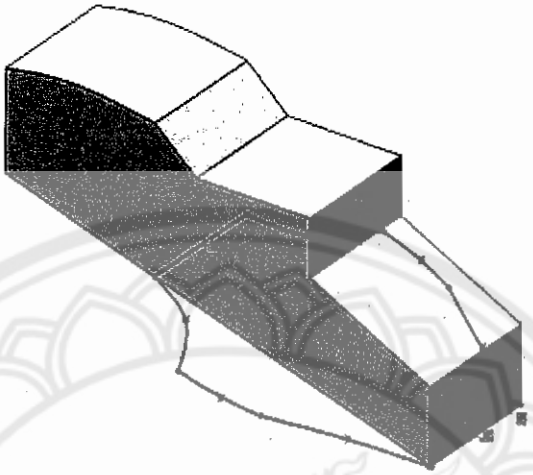
ทำการวาดแบบจำลองรถฟอร์มูล่าโดยมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

3.1.1 วาดแบบรถฟอร์มูล่าให้เป็น 2 มิติ โดยใช้อัตราส่วนเท่ากับขนาดของรถฟอร์มูล่าจริง



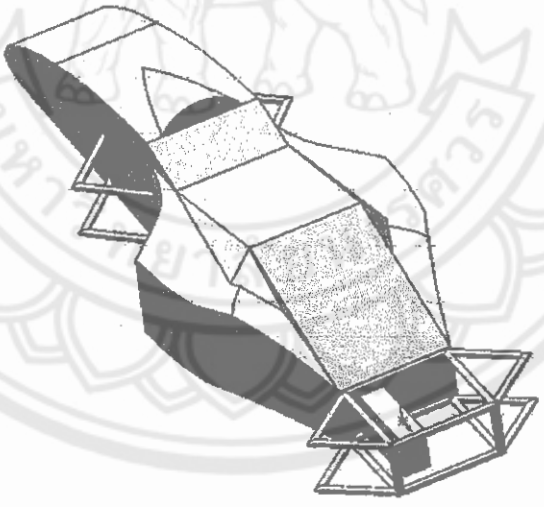
รูปที่ 3.1 รูปร่าง 2 มิติ

3.1.2 ทำการยืดแบบ (Extend) รถฟอร์มูล่าจาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ



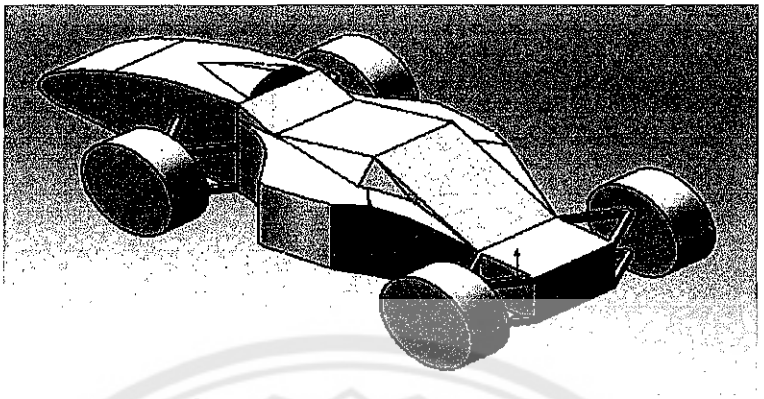
รูปที่ 3.2 ยืดแบบรถเป็น 3 มิติ

3.1.3 วาดต่อเติมล้อ, ปีกนก ที่ใช้ยึดล้อกับตัวรถฟอร์มูล่าและโครงสร้างกันกระแทก



รูปที่ 3.3 แบบรถฟอร์มูล่าที่วาดเพิ่มเติมส่วนยึดล้อ

3.1.4 วาดต่อล้อให้ครบทั้ง 4 ล้อ แล้วจะได้รูปรถฟอร์มูล่าที่ต้องการ



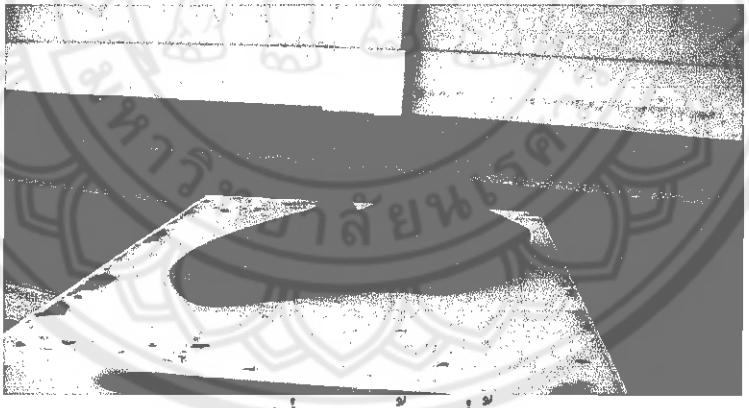
รูปที่ 3.4 แบบรถฟอร์มูล่าที่เสร็จสมบูรณ์

3.1.5 บันทึกรูปด้วยไฟล์นามสกุล .STEP เพื่อใช้คำนวณในโปรแกรม Comsol Multiphysics ต่อไป

3.2 การทำการทดลองในอุโมงค์ลมกับแบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วน

3.2.1 การสร้างโมเดลรถฟอร์มูล่าขนาดย่อส่วนเพื่อใช้ในการทดลองในอุโมงค์ลม

1) ปั้นดินน้ำมันเพื่อให้ได้แบบจำลองรถฟอร์มูล่าที่มีขนาดย่อส่วน 18.2:1



รูปที่ 3.5 ดินน้ำมันที่ปั้นย่อส่วน

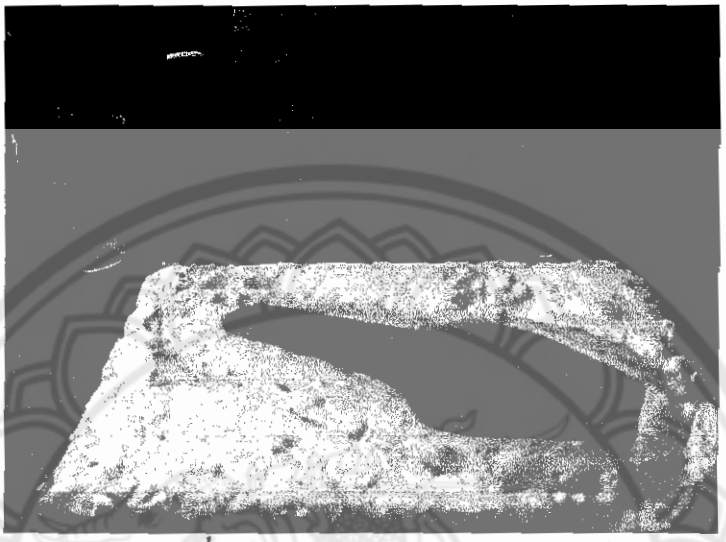
2) นำแบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วนที่ได้จากการปั้นเสร็จแล้วนำไปวางไว้ในกล่องที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบรถฟอร์มูล่าที่ปั้นมาเล็กน้อย

3) เทน้ำยางพาราลงที่แบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วน เพื่อให้น้ำยางพาราเคลือบผิวดินน้ำมันไว้

4) ให้น้ำยางพาราแห้งสนิทแล้วผสมปูนปลาสเตอร์ในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้วนำไปเททับยางพาราที่เทไว้ก่อนหน้านั้นให้ท่วมแบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วน

5) ปล่อยไว้ให้ปูนแห้งสนิทแล้วทำการแกะเอาดินน้ำมันและเอากล่องออกมาเพราะว่าจะใช้ปูนปลาสเตอร์ไปหล่อเรซินต่อไป

6) ผสมเรซิน 100 ส่วน ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1 ส่วน นำไปเทในแบบปูนปลาสเตอร์ที่ได้



รูปที่ 3.6 ทำการหล่อแบบจำลองรถฟอร์มูล่า

7) ปล่อยเรซินไว้ให้แห้งประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วแกะเอาเรซินออก ก็จะได้แบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วนตามที่ต้องการ

8) นำแบบจำลองรถฟอร์มูล่าย่อส่วนที่ได้ไปติดล้อและติดก้านเพลาและลงสีเพื่อให้ดูสวยงาม

รูปที่ 3.7 แบบจำลองรถฟอร์มูล่าที่เสร็จสมบูรณ์

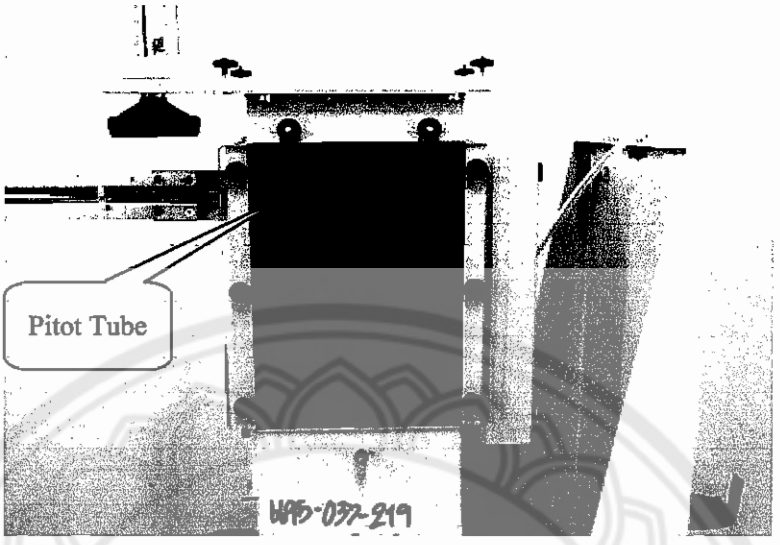
3.2.2 การทดลองในอุโมงค์ลม

เป็นการทดลองที่ใช้หาค่าความดันต่างระหว่างความดัน Stagnation และ ความดันสถิตย์ เพื่อแปลงจากค่าความดันต่างที่ได้ให้เป็นค่าความเร็ว ณ ที่ตำแหน่งนั้นๆ โดยอาศัยหลักการของแบร์นูลลี่มาช่วย

1) วัดค่าความเร็วของอุโมงค์ลมเทียบกับเครื่องวัดความเร็วลม โดยทำการทดลองด้วยชุดทดลอง MODULAR AIR FLOW เพื่อดูว่าความเร็วในอุโมงค์ลม ตรงกับความเร็วที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วลม โดยการแปลงจากค่าความดันที่อ่านได้ ซึ่งได้ความเร็วลมเท่ากับ 18.1 m/s ดังแสดงในภาคผนวก ค. ขณะที่เครื่องวัดความเร็วลมวัดได้ 18.2 m/s

รูปที่ 3.8 ชุดอุโมงค์ลมที่ใช้ทำการทดลอง

2) วัดค่าความดันโดยใช้ Pitot Tube ดูค่าความแตกต่างของความดัน Stagnation และ ความดันสถิตย์ ที่ด้านท้ายรถฟอร์มูล่าเพื่อแปลงเป็นความเร็วใช้เทียบกับความเร็วในโปรแกรม



รูปที่ 3.9 การวัดค่าโดยใช้ Pitot Tube

รูปที่ 3.10 ค่าความดันต่างที่ได้

3) นำค่าความดันต่างที่ได้มาใช้สูตรคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ของแบร์นูลลี่ มาช่วยหาค่าความเร็ว จากสมการ

$$\frac{P_0}{\rho} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} \tag{3.1}$$

แก้สมการหาค่า V

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}}$$

เมื่อ $P_0 - P$ คือ ความดัน Stagnation - ความดันสถิตย์ (Pa)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

แล้วนำค่าความเร็วที่ได้ไปเปรียบเทียบหาค่าความเร็วในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

3.3 ยืนยันผลการจำลองการไหลจากโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ กับการทดลองในอุโมงค์ลม

ในการเปรียบเทียบความเร็วจากอุโมงค์ลมกับความเร็วในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ เพื่อดูค่าความเร็ว ณ ที่ตำแหน่งท้ายรถ จะใช้การเปรียบเทียบโดยอาศัยหลักการของ Dynamics similarity ด้วยการใช้ Reynold number (Re) มาช่วย โดย

Re = f(ρ, μ, v, d) นั่นคือ

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} \tag{3.2}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3)

V = ความเร็วของการไหล (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า (m)
(เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปสี่เหลี่ยมที่แปลงเป็นวงกลม)

μ = ค่าความหนืดของอากาศ (Pa·s)

โดยครั้งแรกทำการทดลองโดยไม่มีแบบจำลองรถฟอร์มูล่า ที่ V_1= 18.1 m/s หาค่า V_2

จาก $\mathrm{Re}_1 = \mathrm{Re}_2$

$$\frac{\rho_1 V_1 D_1}{\mu_1} = \frac{\rho_2 V_2 D_2}{\mu_2} \tag{3.3}$$

โดย สภาวะ 1 คือ สภาวะที่อุโมงค์ลม

สภาวะ 2 คือ สภาวะที่ใช้ในโปรแกรม

ได้ $$V_2 = V_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{D_1}{D_2} \frac{\mu_2}{\mu_1} \tag{3.4}$$

โดยของไหลในการทดลองนี้คืออากาศที่อุณหภูมิห้อง ρ = 1.23 kg/m^3, μ = 1.79×10^{-5} Pa·s มีค่าเท่ากันทั้ง 2 สภาวะและ D_1 = 0.182 m, D_2 = 2.235 m

โดยที่ D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าในอุโมงค์ลม

D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้าใน Flow domain

หา V_2 โดย $V_2 = \frac{V_1 D_1}{D_2}$

$= \frac{18.1 \times 0.182}{2.235}$

ได้ $V_2 = 1.47$ m/s

แล้วนำค่า V_2 ที่ได้ไปใช้เป็นค่า V_mean ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

ต่อไปนำแบบจำลองรถฟอร์มูล่าเข้าทดลองในอุโมงค์ลม โดยใช้ ความเร็วลมหลักเท่ากับ 18.1 m/s ทำการวัดค่าความดันที่ท้ายรถจำลอง นำความดันที่ได้มาเปลี่ยนเป็นความเร็วได้ 5.72 m/s ดังแสดงในภาคผนวก ค. แล้วนำค่าความเร็วที่ได้นี้ไปเทียบหาค่าความเร็วที่ท้ายรถฟอร์มูล่าในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ โดยอาศัยหลักการ Dynamics similarity ด้วยการใช้ Reynold number

โดยให้ สภาวะ 3 คือ สภาวะท้ายแบบจำลองรถฟอร์มูล่าในอุโมงค์ลม

สภาวะ 4 คือ สภาวะท้ายรถฟอร์มูล่าที่ใช้ในโปรแกรม

ได้ความเร็วที่ท้ายแบบจำลองรถฟอร์มูล่าในอุโมงค์ลม $V_3 = 5.72$ m/s หา V_4

จาก $V_4 = \frac{V_3 D_3}{D_4}$

โดย $D_3 = D_1 = 0.182$ m , $D_4 = D_2 = 2.235$ m

ได้ $V_4 = \frac{5.72 \times 0.182}{2.235}$

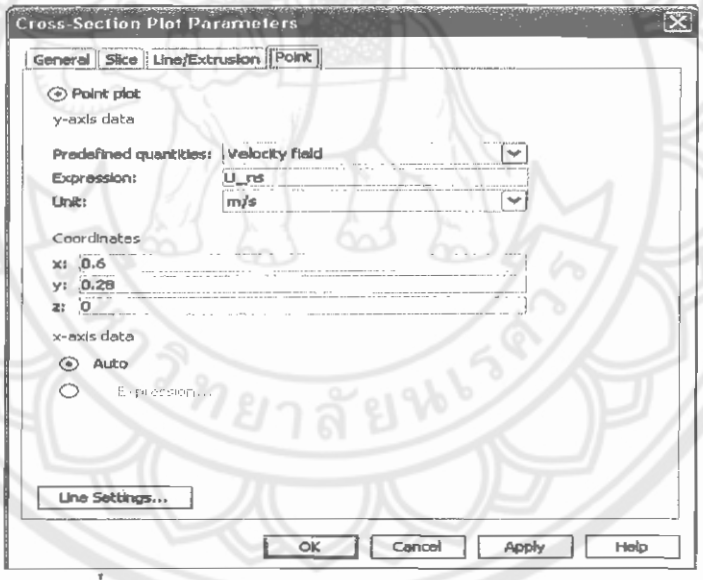
$= 0.466$ m/s

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ในอุโมงค์ลมที่ความเร็วลมหลัก 18.1 m/s จะได้ความเร็วที่ท้ายรถ 5.72 m/s และในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ ที่ความเร็วลมหลัก 1.47 m/s จะต้องได้ความเร็วที่ท้ายรถ 0.466 m/s ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบความเร็วลมของอุโมงค์ลมกับโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

ตำแหน่งที่วัดความเร็วลม	อุโมงค์ลม (m/s)	โปรแกรม COMSOL Multiphysics™ (m/s)
ความเร็วลมหลัก ที่ใช้	18.1	1.47
ความเร็วลมที่ท้ายรถฟอร์มูล่า	5.72	0.466

จากการเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการทดลองในอุโมงค์ลม กับการใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics™ จากตารางที่ 3.1 ได้ค่าความเร็วหลักที่ใช้ในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ เท่ากับ 1.47 m/s โดยใช้ค่านี้ ประมวลผลในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ เพื่อดูผลการคำนวณค่าความเร็วที่ท้ายรถฟอร์มูล่า ที่จุด x = 0.6 y = 0.28 และ z = 0 ซึ่งเป็นจุดที่เทียบมาจากอุโมงค์ลม



รูปที่ 3.11 การกำหนด Cross-section Plot Parameters

นำผลจากกราฟมาเปรียบเทียบความเร็วกับที่ทดลองในอุโมงค์ลมที่จุดท้ายรถฟอร์มูล่า แล้วนำผลไปคำนวณหา แรงฉุดและแรงกดของอากาศที่กระทำกับตัวรถฟอร์มูล่า ต่อไป

ซึ่งจากกราฟความเร็วที่จุด x = 0.6, y = 0.28 และ z = 0 ได้ความเร็วประมาณ 0.458 m/s ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเทียบความเร็วด้วยหลักการ Dynamics similarity ได้ความเร็ว 0.466 m/s ซึ่งมีค่าความผิดพลาด เท่ากับ 1.72 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าการคำนวณของโปรแกรม Comsol Multiphysics™ กับการทดลองในอุโมงค์ลมที่ได้มีความใกล้เคียงกัน

TL
570
ร955ก
2551
1.4524445
สำนักหอสมุด
22 มิ.ย. 2552

ทำการหาแรงฉุดอากาศและแรงกดของอากาศที่กระทำกับตัวรถฟอร์มูล่า โดยดูจากความดันต่างที่ได้จากการเปลี่ยนค่าความเร็วเป็น 22.22, 27.78, 33.33 และ 41.67 m/s ซึ่งความเร็วดังกล่าวเป็นความเร็วที่สนใจ และเป็นความเร็วที่รถสามารถวิ่งได้ และที่ความเร็ว 41.67 m/s เป็นความเร็วสูงสุดที่รถวิ่งได้ หรือแปลงเป็นหน่วย km/hr จะได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงความเร็วระหว่าง (m/s) กับ (km/hr)

ความเร็ว	
(m/s)	(km/hr)
22.22	80
27.78	100
33.33	120
41.67	150

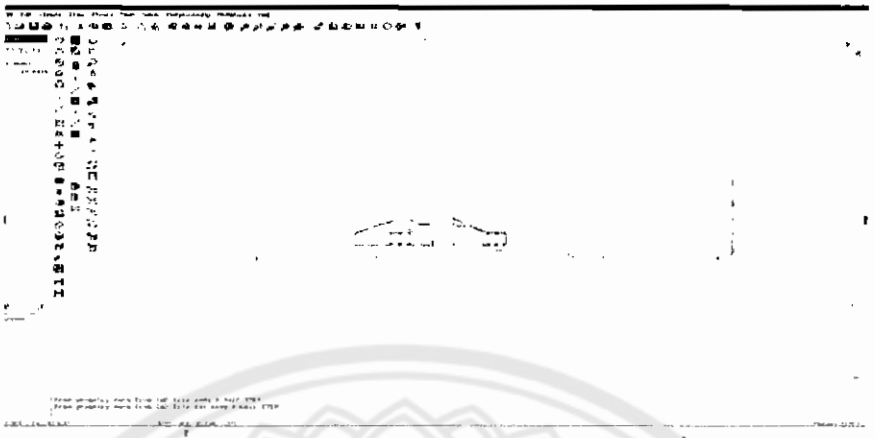
3.4 การจำลองการไหลของอากาศผ่านแบบจำลองรถฟอร์มูล่าด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

การวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของรถ TSAE Student Formula ใช้คอมพิวเตอร์ CPU : Intel(R) Core (TM)2 Quad : Q6600 2.4 GHz, Ram : 2.00 GB , HDD : SATA 160 GB
ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ ใช้ Space dimension: 3D
Module : Fluid Dynamics, Incompressible Navier – Stokes, Steady – state analysis
ชนิดของเอลิเมนต์เป็นแบบ Lagrange- P_2P_1
ซึ่งเป็น Module ที่ใช้วิเคราะห์ของไหลที่มีการไหลคงที่ ที่ใช้ความสัมพันธ์ของนาเวียร์-สโตกส์สำหรับการไหลที่มีค่าความหนืด

3.4.1 การ Import Flow domain และแบบจำลองรถ

1) สำหรับการคำนวณผลเป็นการ Import Flow domain และแบบจำลองรถฟอร์มูล่า จากไฟล์ SolidWorks® ด้วยไฟล์นามสกุล .STEP เข้าโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

2) สำหรับ Flow domain ที่วาดมามีขนาด กว้าง, ยาว และ สูง เท่ากับ 1.96 เมตร 8 เมตร และ 1.55 เมตร ตามลำดับโดยเทียบอัตราส่วนกับอุโมงค์ลมที่ทำการทดลอง ด้วยอัตราส่วน 18.2 ต่อ 1



รูปที่ 3.12 การ Import Flow domain และรถฟอร์มูล่า

3.4.2 การกำหนดค่าคงที่

ทำการกำหนดค่าคงที่ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 ลงในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™

ตารางที่ 3.3 ค่าคงที่ใช้ในการประมวลผล

ชื่อ	ปริมาณ
rho	1.23 kg/m^3
eta	1.79e-5 Pa·s
V_mean	1.47 m/s

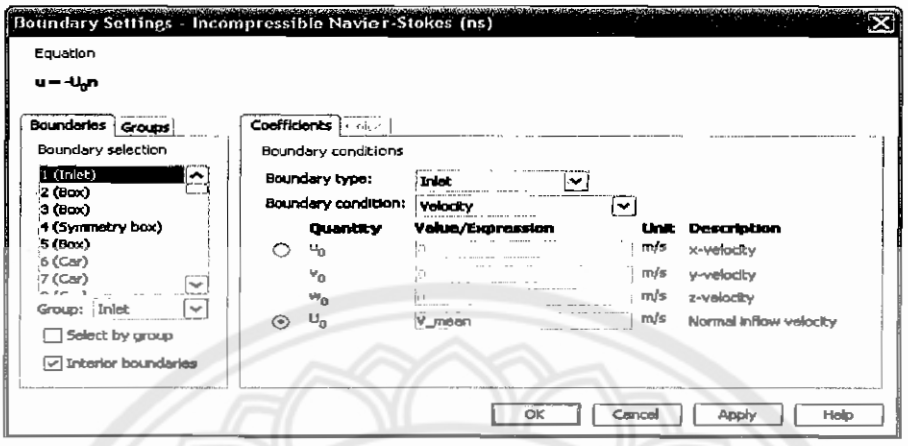
ซึ่ง rho คือ ความหนาแน่นของอากาศ

eta คือ ความหนืดจลน์ของอากาศ

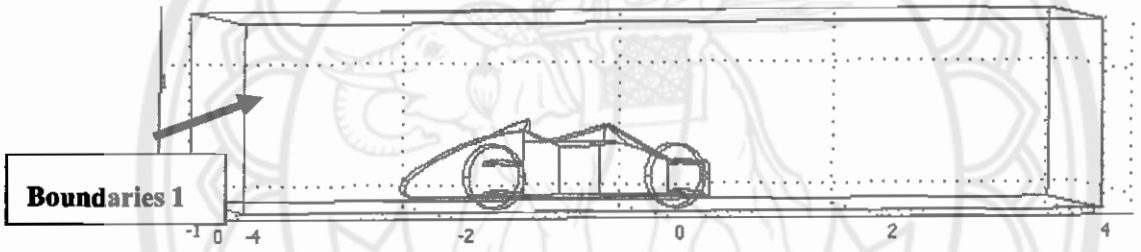
V_mean คือ ค่าความเร็วหลัก ครั้งแรกจะใช้ 1.47 m/s แล้วเปลี่ยนเป็น 22.22, 27.78, 33.33 และ 41.67 m/s ต่อไป

3.4.3 การกำหนด boundary

1) คลิกเลือก Boundaries 1 ไปที่ Boundary type เลือกเป็น Inlet และช่อง U_0 พิมพ์คำว่า V_mean

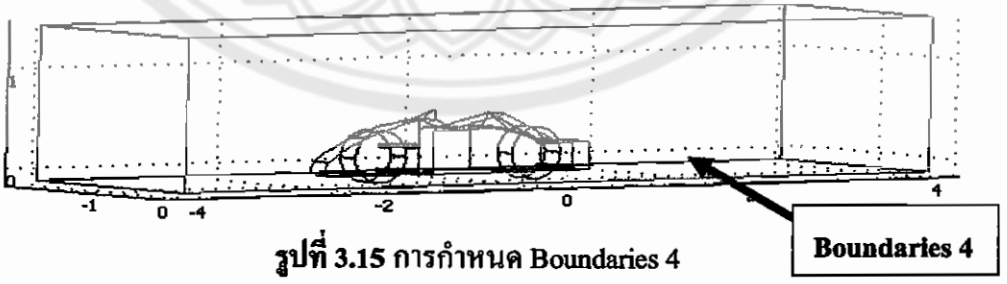


รูปที่ 3.13 การกำหนด ค่า Boundary Setting



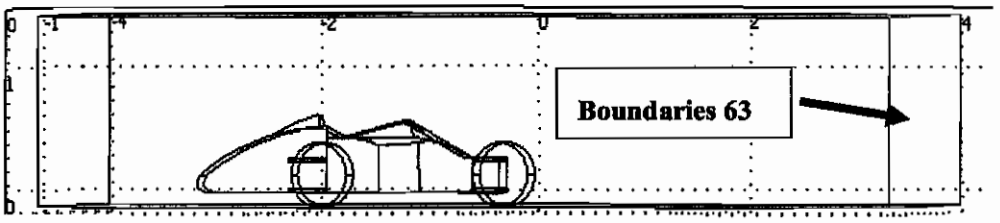
รูปที่ 3.14 การกำหนด Boundaries 1

2) คลิกเลือก Boundaries 4 --> Boundary type เลือกเป็น Symmetry Boundary โดย Flow domain และรถฟอร์มูล่านั้นทำการแบ่งครึ่งวิเคราะห์ เพราะว่าจำนวนเอลิเมนต์มีมากเกินทำให้โปรแกรมคำนวณผลออกมาช้า



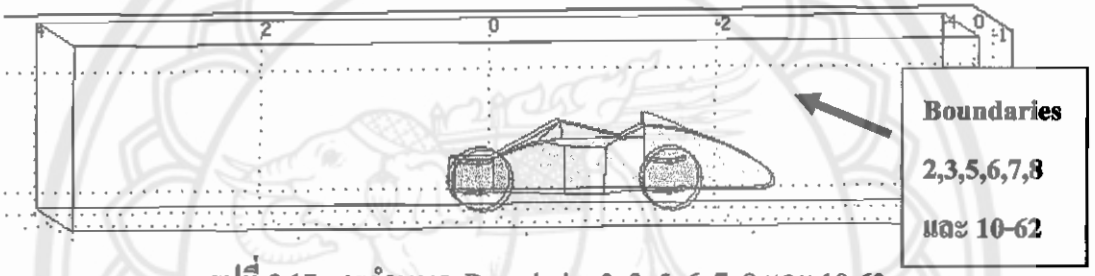
รูปที่ 3.15 การกำหนด Boundaries 4

3) คลิกเลือก Boundary 63 --> Boundary type เลือกเป็น Outlet



รูปที่ 3.16 การกำหนด Boundaries 63

4) คลิกเลือก Boundaries 2, 3, 5, 6, 7, 8 และ 10-62 --> Boundary type เลือกเป็น Wall และช่อง Boundary conditions เลือกเป็น No slip ซึ่งบริเวณ Boundary ดังกล่าวคือ ขอบเขตของ Flow domain และพื้นผิวของตัวรถ

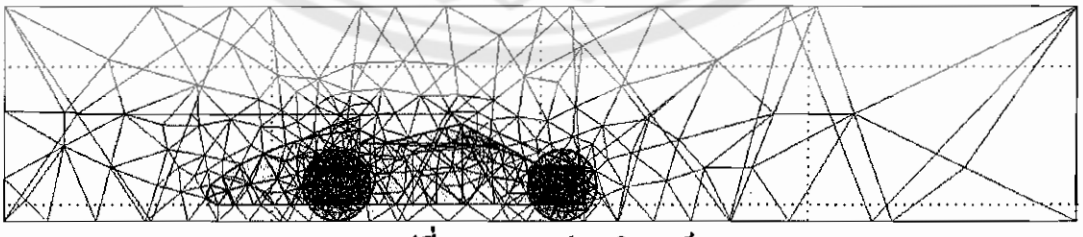


รูปที่ 3.17 การกำหนด Boundaries 2, 3, 5, 6, 7, 8 และ 10-62

3.4.4 การแบ่งเอลิเมนต์

กำหนดเอลิเมนต์โดยเลือกแบบ Free Mesh แล้วคลิกที่ Custom mesh size คือการกำหนดขนาดเอลิเมนต์เอง เพื่อที่จะสามารถปรับให้ได้ความละเอียดของเอลิเมนต์ที่ตำแหน่งตามความต้องการ โดยจะให้เอลิเมนต์ที่บริเวณรอบๆ ตัวรถฟอร์มูล่ามีความละเอียดสูง

ซึ่งได้จำนวนเอลิเมนต์ เท่ากับ 12,529 เอลิเมนต์และโปรแกรมใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 1ชั่วโมง 30 นาที



รูปที่3.18 การแบ่งเอลิเมนต์

3.4.5 การสั่งโปรแกรมคำนวณผล (Solve)

ในการสั่งให้โปรแกรมคำนวณผล ชนิดของ Default solver ที่ใช้คือแบบ Stationary Nonlinear โดยมีค่า Relative Tolerance เท่ากับ 10^{-6} และได้ทำการปรับค่า Maximum number of iterations เพิ่มขึ้นเป็น 60 เพื่อเพิ่มจำนวนการวนซ้ำของการคำนวณผล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ

รูปที่ 3.19 การแสดงผลการคำนวณ

3.4.6 การแสดงผล (Postprocessing)

การแสดงผลการจำลองการไหลของอากาศผ่านแบบจำลองรถฟอร์มูล่า จะเลือกชนิดการแสดงผล (Plot type) ดังนี้คือ Boundary และ Streamline โดยที่ Boundary จะแสดงความดันที่กระทำรอบๆตัวรถฟอร์มูล่า และ Streamline จะแสดงกระแสของอากาศที่ไหลผ่านตัวรถฟอร์มูล่า

ทำซ้ำโดยเปลี่ยนความเร็วเป็น ดังนี้ 22.22, 27.78, 33.33, 41.67 m/s