บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ในปัจจุบันการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของรถยนต์ได้กลายมาเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการออกแบบรถยนต์ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาการวิเคราะห์ทางอากาศพลศาสตร์ได้สนใจเฉพาะเพียงการลดแรงต้าน แต่ต่อมาความเร็วของรถยนต์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพในการยึดเกาะถนน การลดแรงยกจึงได้เข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นในการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของรถยนต์

ซึ่งในการวิเคราะห์ได้ทำการศึกษาหาความเหมาะสมทางด้านอากาศพลศาสตร์รอบตัวรถยนต์ ซึ่งสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังนี้

2.1 สมการนาเวียร์-สโตกส์

สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) เป็นสมการที่สามารถให้ผลเฉลยอย่างสมบูรณ์แบบสำหรับปัญหาการไหลของของไหล แต่ด้วยความที่สมการนาเวียร์-สโตกส์ประกอบขึ้นจากสมการหลายสมการ สมการที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซคือ สมการของนาเวียร์-สโตกส์ ดังสมการที่ (1)-(4)

$$\rho\left[\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right]=\rho g_x-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right] \quad (1)$$

$$\rho\left[\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right]=\rho g_y-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right] \quad (2)$$

$$\rho\left[\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right]=\rho g_z-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\left[\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 z}{\partial z^2}\right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x}+\frac{\partial \rho v}{\partial y}+\frac{\partial \rho w}{\partial z}=0 \quad (4)$$

โดยที่

u, v, w	คือ	ความเร็วในทิศทาง x, y และ z	(m/s)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ	(kg/m^3)
μ	คือ	ค่าความหนืดของอากาศ	($N \cdot s/m^2$)
t	คือ	เวลา	(scc)

จากสมการ นาเวียร์-สโตกส์ นั้นจะเห็นว่าสมการที่ ได้มานั้นมาจาก

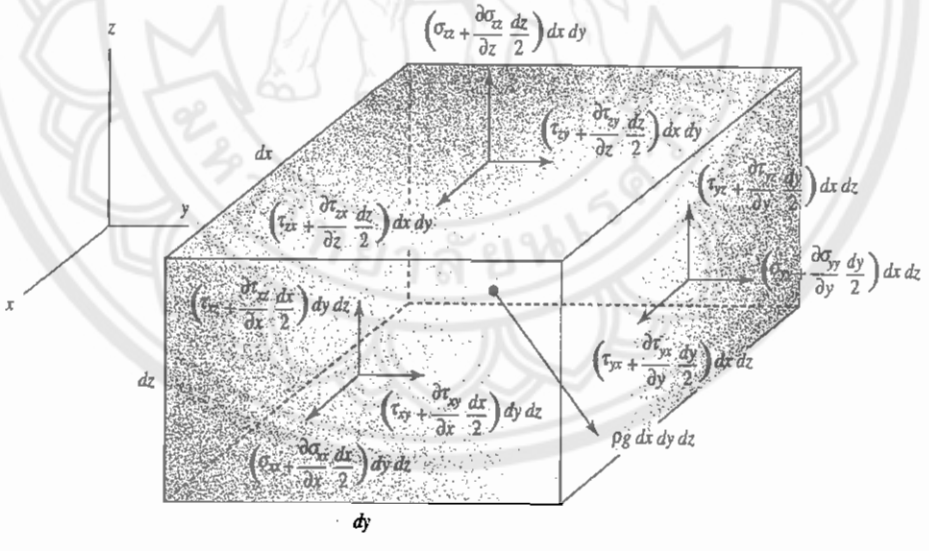
- กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม
- กฎการอนุรักษ์มวล
- กฎการอนุรักษ์พลังงาน

แต่ในโครงงานนี้จะไม่คิด กฎการอนุรักษ์พลังงาน

โดยพิจารณาความเร็วตามแนวแกน x ,y และ z ดังรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2

แรงที่กระทำต่ออนุภาคของไหล แบ่งออกเป็น body force และ surface force โดย surface force มีทั้งแรงเค้นฉาก และแรงเค้นเฉือน

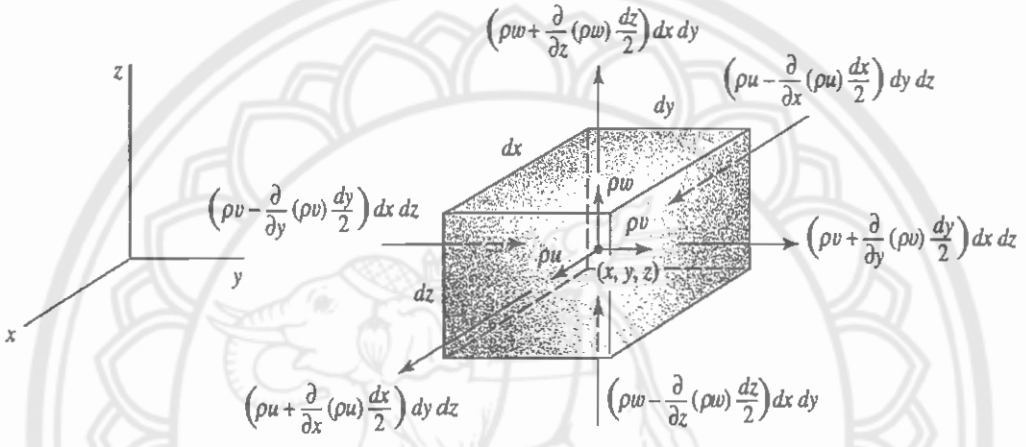
พิจารณาองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อมวลย่อย dm ที่มีปริมาตร เท่ากับ dxdydz ดังในรูป



รูปที่ 2.1 กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม [1]

หลักการอนุรักษ์โมเมนตัมที่ว่า สำหรับระบบปิด ที่กำลังเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับกรอบอ้างอิงเฉื่อย ผลรวมของแรงภายนอกทั้งหมด ที่กระทำต่อระบบปิดเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมเชิงเส้นของระบบปิด

จากรูป 2.1 ที่จุดศูนย์กลางของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีค่า body force และมีค่าความเค้นฉาก (σ) ความเค้นเฉือน(τ)ที่กระทำแต่ละด้านของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ตามแนวแกน x, y และ z ความเค้นที่กระทำแต่ละด้านของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ประมาณได้จากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์รอบจุดศูนย์กลางของก้อนมวล และ surface force สุทธิในแต่ละแกน ได้จากการรวมแรงทั้งหมดในแต่ละแกนเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.2 กฎการอนุรักษ์มวล [1]

ในที่นี้เราจะพิจารณาปริมาตรควบคุมเป็นทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาดเล็ก มีความยาวด้านเป็น dx, dy และ dz ที่จุดศูนย์กลางมีความหนาแน่นเป็น ρ และมีความเร็วเป็น u, v, และ w ตามแกน x, y, และ z ตามลำดับ เมื่อเขียนหลักการอนุรักษ์มวลเป็นคำพูด จะได้ว่า

[อัตราที่มวลไหลออกสุทธิผ่านผิวควบคุม] + [อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรควบคุม] = 0

2.2 แรงฉุดอากาศและแรงยกของอากาศ

เนื่องจากกำลังจากเครื่องยนต์ที่ถูกส่งไปยังล้อ จะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะจะเกิดการสูญเสียในระบบถ่ายทอดกำลังเรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายทอดกำลัง (Transmission loss) ในส่วนที่เหลือนั้นจะถูกนำไปใช้เพื่อการเอาชนะแรงฉุดการเคลื่อนที่ต่างๆ ได้แก่ แรงต้านอากาศ (Air resistance), แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling resistance) และ แรงต้านทางชัน (Gradient resistance)

แรงต้านอากาศคือแรงฉุดที่เกิดขึ้นบนผิวของรถฟอร์มูล่าอันเนื่องมาจากแรงดันและแรงเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านรถยนต์ การออกแบบรูปทรงของรถฟอร์มูล่าจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงหลักการทางอากาศพลศาสตร์ของยานยนต์ โดยจะสามารถทำให้รถฟอร์มูล่ามีรูปทรงที่เป็นไปตามหลักอากาศพลศาสตร์และสามารถลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้อีกด้วย

ในขณะที่รถฟอร์มูล่าวิ่งอยู่บนถนน รถฟอร์มูล่าจะถูกกระทำด้วยแรงฉุดอากาศและแรงกดของอากาศ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสัมประสิทธิ์แรงฉุดอากาศ (C_D) และสัมประสิทธิ์แรงยก (C_L) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) และ (6)

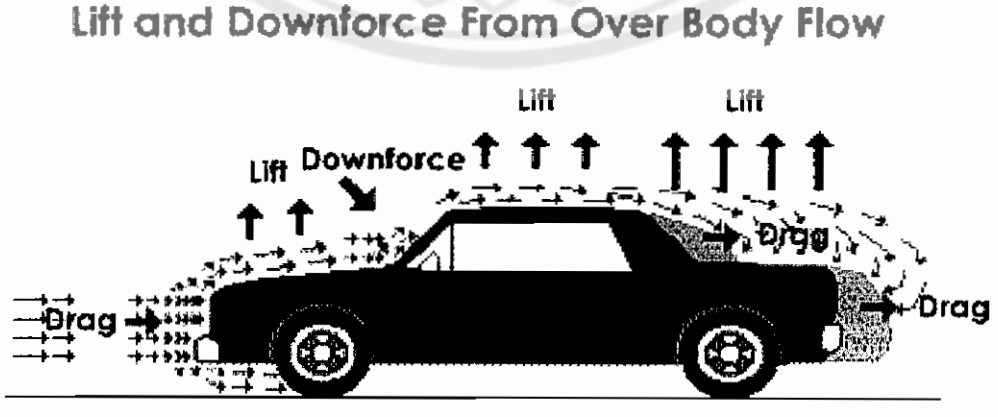
$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A_D} \qquad (5)$$

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U^2 A_L} \qquad (6)$$

โดยที่ C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงฉุดอากาศ

C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยกอากาศ

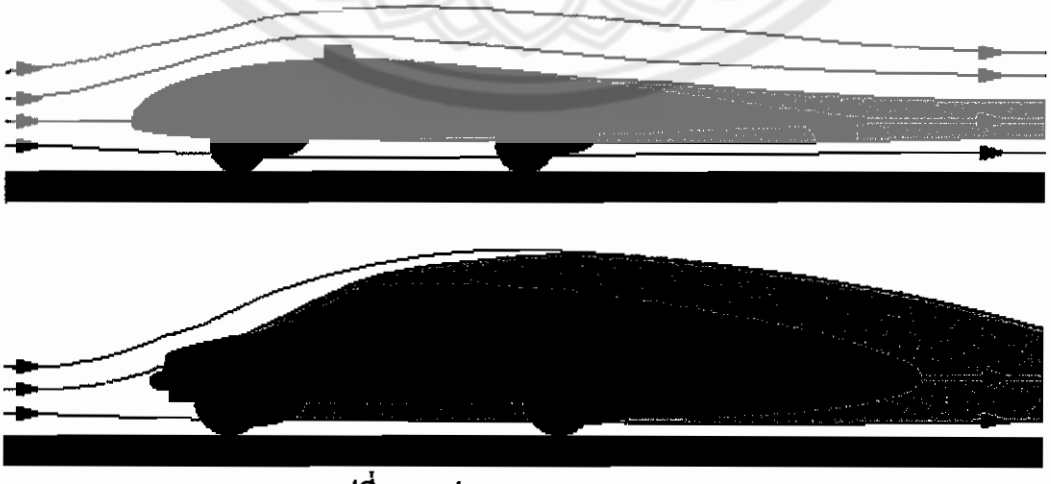
D	คือ	แรงฉุดอากาศที่กระทำกับตัวรถฟอร์มูล่า	(N)
L	คือ	แรงยกที่กระทำกับตัวรถฟอร์มูล่า	(N)
ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ	(kg/m^3)
U	คือ	ความเร็วของอากาศ	(m/s)
A_D	คือ	พื้นที่หน้าตัดด้านหน้าและด้านหลังของรถฟอร์มูล่า	(m^2)
A_L	คือ	พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวรถฟอร์มูล่า	(m^2)



รูปที่ 2.3 แสดงแรงฉุดแรงกดและแรงยกอากาศ [2]

2.2.1 แรงฉุดอากาศ (Drag force)

กระแสไหลวนที่เกิดขึ้นข้างหลังรถฟอร์มูล่า ส่งผลให้แรงฉุดที่กระทำต่อรถฟอร์มูล่าเพิ่มขึ้น ทำให้รถฟอร์มูล่าต้องใช้แรงขับดันในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากขึ้น เมื่อใช้แรงขับดันมากขึ้น อัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงก็สูงขึ้นแต่ให้สมรรถนะของรถฟอร์มูล่าต่ำลง กระแสไหลวนของอากาศที่เกิดขึ้นหลังรถฟอร์มูล่าขณะที่รถฟอร์มูล่าวิ่งนั้น มักเกิดขึ้นกับรถฟอร์มูล่าที่มีส่วนท้าย (บริเวณกระโปรงหลัง) ที่สั้นและเป็นเหลี่ยม ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแก้ไขได้โดยการติดสปอยเลอร์เข้าไป เนื่องจากเมื่ออากาศไหลผ่านเข้ามาในบริเวณท้ายรถฟอร์มูล่า อากาศที่เคยไหลไปแล้วแยกตัวทำให้เกิดกระแสไหลวนนั้นจะไหลผ่านสปอยเลอร์แทน ทำให้การไหลของอากาศราบเรียบขึ้น นอกจากนี้ อากาศที่ไหลผ่านสปอยเลอร์ยังทำให้เกิดแรงกดทางอากาศพลศาสตร์ ที่เรียกว่า แรงกด (Downforce) อีกด้วย ทำให้รถฟอร์มูล่ายึดเกาะถนนดีขึ้น เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูง รถที่วิ่งด้วยความเร็วจะเกิดแรงยก (Lift force) เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านใต้ท้องรถฟอร์มูล่านั้นมีความดันสูงกว่าอากาศที่ไหลผ่านข้างบนรถฟอร์มูล่า ดังนั้นเมื่อรถฟอร์มูล่าวิ่งด้วยความเร็วสูง จะทำให้แรงยกมากขึ้น ส่งผลให้การเกาะติดถนนของรถฟอร์มูล่าต่ำลง ดังนั้น โดยทั่วไปการออกแบบรถฟอร์มูล่าจึงนิยมออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับหยอดน้ำ คือ มีลักษณะยาวเรียว ซึ่งเรียกรูปร่างแบบนี้ว่า Streamlined Body เพื่อที่จะลดผลกระทบดังกล่าวที่กล่าวมา เมื่ออากาศไหลผ่านวัตถุที่เป็น Streamlined Body เส้นกระแสการไหลของอากาศจะเกิดการไหลวนข้างหลังวัตถุน้อยมาก จึงทำให้วัตถุที่เป็น Streamlined Body มีแรงฉุดน้อยมาก แรงฉุดที่เกิดกับ Streamlined Body นั้นโดยส่วนใหญ่จะมาจาก แรงฉุดที่เรียกว่า Parasite Drag เช่น แรงฉุดอันเนื่องมาจากผิวของวัตถุเนื่องจากผิวไม่เรียบ และแรงฉุดอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า Induce Drag ซึ่งก็คือแรงฉุดที่เกิดมาจากแรงยก

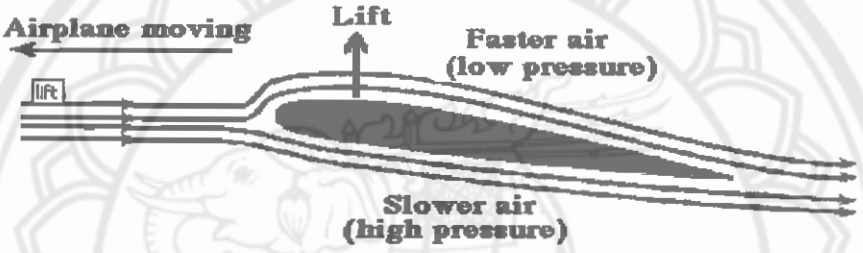


รูปที่ 2.4 รูปแสดงแรงฉุดอากาศ [3]

2.2.2 แรงยกอากาศ (Lift force)

ต่อไปจะกล่าวถึงแรงยก สำหรับแรงยกนั้นจะมีผลมากกับเครื่องบินเพราะเครื่องบินจะบินได้นั้นต้องมีค่าแรงยกของปีกมากกว่าแรงเนื่องมาจากน้ำหนักของเครื่องบิน ถึงจะสามารถบินขึ้นได้และในส่วนของรถฟอร์มูล่านั้น แรงเนื่องมาจากน้ำหนักของรถยนต์นั้นเราจะไม่พิจารณา จะพิจารณาเฉพาะแรงยก

แรงยกนั้นจะมีผลกับรถมากถ้ารถฟอร์มูล่าวิ่งด้วยความเร็วสูง อย่างเช่น รถแข่งซึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 120 km/hr ขึ้นไป และอาจจะทำให้รถสามารถลอยขึ้นได้ และในการแก้ปัญหานั้นจะทำการติดสปอยเลอร์หลังเข้าไป เพื่อลดแรงยกของรถแข่งที่วิ่งด้วยความเร็วสูงๆ

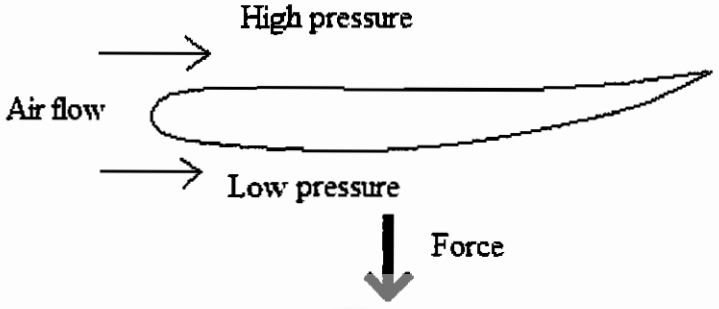


รูปที่ 2.5 แสดงแรงยกอากาศ [9]

แรงยกเกิดขึ้นเมื่อของไหลความเร็วสูงด้านบนเกิดความดันต่ำ ส่วนด้านล่างของไหลความเร็วต่ำจะเกิดความดันสูงจึงทำให้เกิดแรงยกขึ้น ลักษณะรูปร่างของปีกเครื่องบิน ถูกออกแบบมา ให้อากาศที่พัดไหลผ่านด้านบนของปีก จะมีระยะทางที่อากาศต้องเดินทางมากกว่า จึงทำให้ต้องไหลผ่านเร็วกว่าด้านล่าง ทำให้เกิดความกดอากาศต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ ปีกถูกยกขึ้น แรงยกก็คือแรงที่อยู่ตรงข้ามกับน้ำหนักหรือแรงดึงดูดของโลก

2.2.3 แรงกดอากาศ (Downforce)

แรงกด คือแรงยก ที่มีค่าเป็นลบ ช่วยกดรถให้ติดกับถนน สร้างได้โดยหลักความแตกต่างทางความเร็วการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านวัตถุที่มีระยะความยาวด้านบนสั้นกว่าด้านล่าง ของไหลความเร็วสูงด้านล่าง มีความดันต่ำ ส่วนด้านบนของไหลความเร็วต่ำ จะเกิดเป็นความดันสูง ซึ่งทำให้เกิดแรงกดลง ความดันที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดแรงกดอากาศ



รูปที่ 2.6 แสดงแรงกดอากาศ [4]

รถฟอร์มูล่าต้องการแรงกด ซึ่งแตกต่างจากเครื่องบินที่ต้องการแรงยกซึ่งแรงกด มีผลกับรถฟอร์มูล่าตรงที่ทำให้เกิดการยึดติดกับถนน ยิ่งวิ่งเร็วเท่าไหร่ยิ่งทำให้เกิดแรงกดมากขึ้น แรงกดเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนายานยนต์ให้มีสมรรถนะสูงสุดเทียบเท่า F1 (Formula 1) จากรูปทรงของ F1 มีการทำให้เกิดแรงกดอากาศจากสปอยเลอร์ ทั้งทางด้านหน้าและทางด้านหลัง อย่างไรก็ตามรถที่มีสมรรถนะสูงๆ บนท้องถนนก็มักจะมีสปอยเลอร์ ทางด้านหลังอยู่แล้ว ซึ่งการทำงานของสปอยเลอร์นั้นทำงานในลักษณะตรงกันข้ามกับกฎแพนอากาศ (Aerofoil) ของเครื่องบินที่ทำให้เกิดแรงยก โดยภายใต้ความดันที่แตกต่างนั้นจะส่งผลให้เกิดแรงกดทำให้รถฟอร์มูล่ายึดเกาะถนนมากขึ้น (ความดันด้านบนรถฟอร์มูล่ามีค่ามากกว่าความดันด้านล่างของตัวรถฟอร์มูล่า)

แรงกดอากาศเป็นแรงที่เสริมแรงโน้มถ่วงที่ช่วยให้รถฟอร์มูล่าเกาะถนนจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาย้อนกลับที่เกิดจากล้อของรถฟอร์มูล่ากับพื้นถนน แรงกดช่วยเสริมกับแรงโน้มถ่วงทำให้รถยึดเกาะถนนมากขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาระหว่างล้อรถฟอร์มูล่ากับพื้นถนน แรงที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือแรงฉุดระหว่างล้อรถและพื้นถนน ซึ่งแรงกดอากาศก่อให้เกิดแรงฉุดมากขึ้นที่พื้นถนน

2.3 Computational Fluid Dynamics (CFD)

การทำความเข้าใจในการไหลของของไหลใดๆ จำเป็นต้องพึ่งพาการทดลองยกตัวอย่าง เช่น การออกแบบรูปร่างรถฟอร์มูล่ารูปร่างใดรูปร่างหนึ่ง ผู้ออกแบบจำเป็นต้องตระหนักถึงการลดแรงฉุดจากอากาศในขณะที่รถฟอร์มูล่าวิ่ง แรงฉุดของอากาศมีน้อยก็จะช่วยประหยัดน้ำมันมากขึ้นเท่านั้น วิธีการที่ทำกันในอดีตโดยตลอดมาคือการจำลองรูปร่างรถฟอร์มูล่านั้นด้วยดินเหนียวแล้วนำไปทดลองในอุโมงค์ลม ที่มีหมอกควันสีเทาวิ่งเป็นแนวเส้นผ่านตัวรถฟอร์มู

ล่า เพื่อจะได้ทราบถึงลักษณะการไหลและความแปรปรวนของอากาศผ่านตัวรถฟอร์มูล่านั้น หากลักษณะแนวเส้นของหมอกควันนั้นมีความแปรปรวนมาก เช่น เกิดการไหลหมุนวนย้อนกลับในตอนท้ายของตัวรถฟอร์มูล่าก็จะฉุดให้รถฟอร์มูล่าวิ่งช้าลง ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันมากขึ้น การเปลี่ยนต้นแบบรูปร่างรถฟอร์มูล่าที่ทำจากดินเหนียวนั้นกินเวลามาก รวมทั้งต้องนำกลับไปทดลองซ้ำใหม่ และที่สำคัญที่สุด รูปแบบที่เปลี่ยนไปนั้นอาจทำให้การแปรปรวนของอากาศนั้นดีขึ้นหรือเลวลงก็เป็นได้ การออกแบบการไหลของอากาศผ่านรถฟอร์มูล่าในปัจจุบันสามารถใช้ CFD ซึ่งช่วยทำให้ทราบลักษณะของการไหลได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ หากผลลัพธ์ออกมาไม่เป็นที่น่าพอใจ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ก็สามารถทำได้ในระยะเวลาอันสั้นเพียงไม่กี่ชั่วโมง ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆที่ทำการทดลองในอุโมงค์ลม จนมีคนกล่าวกันว่า CFD จะเริ่มใช้กันโดยแพร่หลายมากขึ้น และเข้ามาแทนที่อุโมงค์ลมซึ่งจะเริ่มลดน้อยลงไปตามลำดับ

ในปัจจุบันมีโปรแกรมที่ใช้คำนวณด้วย CFD ก็จะมี โปรแกรม COMSOL Multiphisics™ และโปรแกรม Fluent ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้โปรแกรม COMSOL Multiphisics™ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์

2.4 อุโมงค์ลม

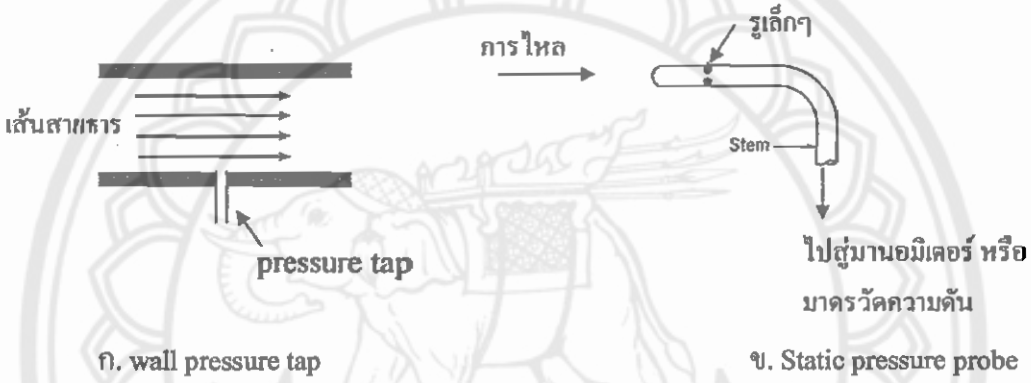
อุโมงค์ลม (Wind Tunnel) คืออุปกรณ์สร้างการไหลของอากาศ ซึ่งการไหลของอากาศที่สร้างขึ้นภายในส่วนทดสอบ (Test Section) ของอุโมงค์ลมนี้จะมีความเร็วสม่ำเสมอและราบเรียบ แตกต่างอย่างมากจากการไหลของอากาศที่ออกมาจากพัดลมโดยทั่วไป ซึ่งมีความปั่นป่วนไม่สม่ำเสมอ และไม่ราบเรียบ ด้วยคุณสมบัติของการไหลของอากาศที่เป็นระเบียบของอุโมงค์ลมนี้อุโมงค์ลมจึงเหมาะสมและถูกนำไปใช้ในงานวิจัยพัฒนา และทดสอบ ที่ต้องการการไหลของอากาศที่มีมาตรฐานสูง อนึ่งนอกเหนือจากรูปร่างภายนอกแล้ว หลักการของการสร้างการไหลของอากาศที่สม่ำเสมอและราบเรียบ (หรือในรูปแบบต่างๆ) ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานและในรูปแบบต่างๆ

ความดันสถิตย์ ความดัน Stagnation และ ความดันพลศาสตร์

ความดันที่ใช้ในการสร้างสมการแบร์นูลลี่ คือความดันอุณหพลศษสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปจะถูกเรียกว่า ความดันสถิตย์ (Static Pressure)

ความดันสถิตย์ เป็นความดันที่จะถูกวัดด้วยอุปกรณ์วัดที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับของไหล ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากในทางปฏิบัติ จึงต้องหาวิธีวัดความดันสถิตย์ ที่เหมาะสมต่อไป

ทราบว่าความดันจะไม่เปลี่ยนค่าในทิศที่ตั้งฉากกับเส้นสายธารบริเวณที่เป็นเส้นตรง ความจริงข้อนี้ทำให้สามารถวัดความดันสถิตย์ในของไหลที่กำลังไหลได้โดยใช้การเจาะรูเล็กๆ(Pressure tap) ที่ผนังท่อบริเวณ ที่เส้นสายธารเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2.7ก



รูปที่ 2.7 การวัดความดันสถิตย์ [4]

Pressure tap คือรูเล็กๆที่เจาะเข้าในผนังตั้งฉาก เมื่อนำอุปกรณ์วัดความดันที่เหมาะสมมาต่อเข้ากับ tap นั้น ก็จะสามารถวัดความดันสถิตได้ ในกระแสการไหลที่อยู่ห่างจากผนัง หรือบริเวณที่เส้นการไหลเป็นเส้นโค้ง สามารถวัดความดันสถิตย์ด้วย Static Pressure probe ดังแสดงในรูปที่ 2.7ข ซึ่งต้องออกแบบให้รูเล็กๆ สำหรับวัดของ probe อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมจึงวัดค่าได้ถูกต้อง โดยต้องวางให้บริเวณส่วนที่ทำการวัดของ probe อยู่ในแนวกับทิศของการไหล

ความดัน Stagnation เป็นความดันของการไหลเมื่อลดความเร็วลงจนเป็นศูนย์ โดยกระบวนการที่ไม่มีแรงเสียดทาน สามารถใช้สมการแบร์นูลลี่เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วที่เปลี่ยนไป และความดัน ตามแนวเส้นสายธารได้

เมื่อไม่คิดค่าความต่างระดับ สมการแบร์นูลลี่ จะกลายเป็น

$$\frac{P}{\rho}+\frac{V^2}{2}=\text{ค่าคงที่} \qquad (7)$$

ถ้าความดันสถิตย์เท่ากับความดัน ณ จุดที่อัตราเร็วการไหลเท่ากับ V ดั้งนั้นเราสามารถคำนวณ ความดัน Stagnation , P_0 ได้ ณ บริเวณที่อัตราเร็ว V_0 เท่ากับศูนย์

$$\frac{P_0}{\rho}+\frac{V_0^2}{2}=\frac{P}{\rho}+\frac{V^2}{2} \tag{8}$$

หรือ

$$P_0=P+\frac{1}{2}\rho V^2 \tag{9}$$

เทอม $\frac{\rho v^2}{2}$ เรียกว่า ความดันพลศาสตร์ ซึ่งเท่ากับ

$$\frac{1}{2}\rho V^2=P_0-P \tag{10}$$

ทำให้สามารถแก้หาอัตราเร็วได้ เท่ากับ

$$V=\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \tag{11}$$

ซึ่งค่าความต่างระหว่าง ความดัน Stagnation และความดันสถิตย์ คือ ΔP
ในการทดลองนี้ค่า ΔP จะอยู่ในรูปของ หน่วยมิลลิเมตรน้ำซึ่ง

$$1\ \text{mm}\ H_2O\ =\ 1\ \text{kg/m}^2\ =\ 9.81\ \text{N/m}^2$$

ดังนั้น $V = 4.429\sqrt{\frac{h}{\rho}}$

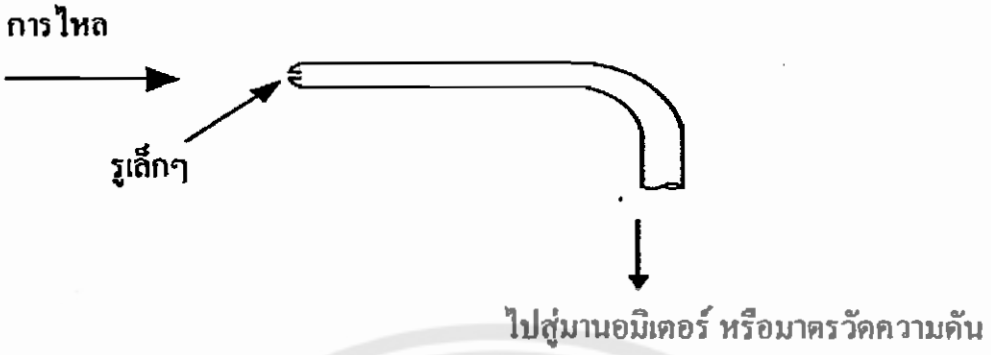
$= 4.043\sqrt{h}$ (m/s)

เมื่อ h = ความดันต่าง (mmH_2O)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ดั้งนั้นถ้าสามารถวัดค่าของ ความดัน Stagnation และความดันสถิตย์ที่ จุดหนึ่งๆได้ สามารถหาอัตราเร็วการไหลที่จุดนั้นๆได้

การวัด ความดัน Stagnation ในอุโมงค์ลมทำได้โดยใช้ probe ที่มีรูหันตรงไปทางการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การวัดความดัน Stagnation ด้วย Stagnation probe (Pitot tube) [4]

รูปที่ 2.9 แสดงการวัด ความดัน Stagnation และความดันสถิตย์ที่จุดหนึ่งๆ ด้วย Pitot tube ซึ่งเมื่อทราบค่าความดันทั้งสอง ที่อยู่ในรูปความต่างของระดับน้ำ จะทำให้ทราบอัตราเร็วการไหลได้

ก.การใช้งาน total head tube ร่วมกับ wall static tap ข.Pitot-static tube

รูปที่ 2.9 การวัด ความดัน Stagnation และความดันสถิตย์

จากรูป 2.9ก ความดันสถิตย์ที่จุด A ทราบได้จาก wall static pressure tap โดย ความดัน Stagnation วัดได้โดยตรงด้วย total head tube

ในรูป 2.9ข คือ pitot-static tube ซึ่งเป็นการนำเอา probe ทั้งสองมาอยู่ด้วยกัน ท่อในถูกใช้สำหรับวัด ความดัน Stagnation ที่จุด B โดยความดันสถิตย์ที่จุด C ถูกวัดด้วยรูเล็กๆที่ท่อนอก ในสนามการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันสถิตย์ในทิศเส้นสายธารน้อย อาจใช้ pitot-static tube เพื่อหาอัตราเร็วที่จุด B ได้ โดยสมมุติให้ $P_B = P_C$

2.5 โปรแกรม COMSOL Multiphysics™

โปรแกรม Comsol Multiphysics™ (ชื่อเดิม FEMLAB) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปโปรแกรมหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนเอลิเมนต์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้ทุก ประเภทที่อยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์สมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation ; PDE)

ในส่วนของโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ประกอบไปด้วยการสร้างโมเดลวัตถุและการวิเคราะห์ปัญหาแบ่งออกเป็นหมวดหมู่หรือเป็นโมดูล (Module) ต่างๆตามลักษณะของปัญหาหลักๆทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้วิธี Computational Fluid Dynamics (CFD) ในการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์ของรถ TSAE Student Formula

โดยในโครงงานนี้เลือกใช้โมดูล Fluid Dynamics ซึ่งจะกล่าวถึง การวิเคราะห์ด้วยหลักของการไหลที่บีบอัดไม่ได้ของสมการนาเวียร์-สโตกส์ ทั้งแบบ Steady-state analysis และ Transient analysis โดยทำการศึกษาการไหลของของไหลที่ไหลผ่านวัตถุ รูปทรงต่างๆกัน ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนเอลิเมนต์ เพื่อดูสภาพการไหลที่เกิดขึ้นรอบวัตถุ และยังสามารถดูค่าความดันที่เกิดขึ้น ที่บริเวณรอบๆตัววัตถุที่ของไหลไหลผ่าน ซึ่งจะช่วยในด้านการวิเคราะห์ Computational Fluid Dynamics (CFD)