

อากาศพลศาสตร์เพื่อการประหยัดงานสำหรับรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กโดยวิธีจำลองเชิงตัวเลข

Aerodynamics for Energy Economy in Small Utility Truck By Computational Fluid Dynamics

ปรัชญา มุขดา^{1*} กุลเชษฐ เพียรทอง¹ วิระพันธ์ สีหานาม¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-8687-44606 โทรสาร 0-45353-380 *อีเมล: mukdaen@hotmail.com

Prachya Mukda^{1*}, Kulachate Pianthong¹, Wirapan Seehanam¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchatani University, Ubon Ratchatani, 34190, Thailand. Tel: 0-8687-44606 Ext. 3382, Fax: 0-45353-380 *E-mail: mukdaen@hotmail.com

บทคัดย่อ

รูปร่างของรถยนต์ มีผลกระทบโดยตรงต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากรูปร่างของรถยนต์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อรถยนต์ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กที่มีที่นั่งด้านหน้าสองตอน (cab) ในกรณีต่าง ๆ เช่น การปรับปรุงส่วนกระบังหน้าของรถ การต่อเติมอุปกรณ์เสริมของรถที่มีรูปร่างแตกต่างจากเดิม ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของรถเท่ากัน (Frontal area) และศึกษากรณีรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กวิ่งตามกัน ในระยะห่าง และความเร็วที่ต่างกัน โดยตรวจสอบผ่านทาง การจำลองเชิงตัวเลข (computational fluid dynamics) โดยใช้โปรแกรม Fluent จำลองแบบ 3 มิติ ในการศึกษา จะศึกษาที่ความเร็วระหว่าง 10 – 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าเรย์นอลด์สประมาณ $10^4 - 10^7$ เพื่อตรวจสอบกลไกการลดแรงต้าน และพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสนามการไหล จากการศึกษา สามารถนำความเข้าใจเกี่ยวกับอากาศพลศาสตร์ของรถยนต์บรรทุกขนาดเล็ก มาใช้ในการลดสัมประสิทธิ์แรงต้าน เพื่อประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อน

Abstract

Configuration of a car usually affects directly to the drag coefficient, because car configuration is an important factor generating the different flow field. This flow field causes different force and moment reacted to the car. This study aims to investigate the aerodynamic characteristic of the cab pick-up truck. The pick-up box of the car has been modified while the frontal area is kept constant. Also, the aerodynamics of the tailed

car at various speeds and distances have been investigated. The investigation has been carried out by using 3 dimensional computational fluid dynamics technique (Fluent). The car speed are between 10 – 120 km/hr or Reynolds number of $10^4 - 10^7$. From the study, the understanding on the aerodynamic of the pick-up car be obtained and is useful to reduce to drag coefficient in order to save the driving energy.

1. บทนำ

ปัจจุบันการศึกษาด้านอากาศพลศาสตร์ ยึดทฤษฎีของสมการ Euler และ Reynolds-averaged Navier-Stokes ซึ่งเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิธีการจำลองเชิงตัวเลข โดยนำผลมาเปรียบเทียบกับ การทดสอบในอุโมงค์ลม และแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแต่ละชนิด นำมาใช้ในการจำลองเพื่อหาแรงต้านของยานพาหนะชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องบิน รถไฟ รถยนต์ ซึ่งเป็นพื้นฐานในการประยุกต์การจำลองเพื่อลดแรงต้านของยานพาหนะ [1,2] โดยใช้หลักการเดียวกันกับการศึกษาการลดแรงต้านของวัตถุเพรียวลม (bluff body) เพื่อที่จะทำให้ผลต่างของแรงดัน และจุดแยกตัวของอากาศ (separation point) ที่ไหลผ่านวัตถุเกิดน้อยที่สุด [3] ได้นำหลักการนี้มาปรับปรุงรูปร่างของรถยนต์ประเภทต่าง ๆ เพื่อลดแรงต้าน และเพิ่มความเร็วในการขับเคลื่อนของรถแข่ง [4] สามารถนำความรู้ด้านศึกษาอากาศพลศาสตร์ออกแบบรถยนต์แบบใหม่ในอนาคต เพื่อการออกแบบการทดสอบในอุทสาหกรรมการผลิตรถยนต์ มีการทดสอบในวิธีจำลองเชิงตัวเลข ผลกระทบของอุโมงค์ลมในการทดสอบ องค์ประกอบที่มีผลต่อรูปร่างของรถ เพื่อการผลิติดูแลการทดสอบใช้เวลาน้อย และมีคุณภาพ [5]

ได้นำความรู้มาใช้ในการวางแผนในการขับขึ้นเพื่อการประหยัดพลังงาน และความปลอดภัย ในกรณีของรถยนต์ขนาดเล็ก และรถบรรทุกขนาดเล็ก เพื่อที่จะนำค่าแรงต้าน แรงดัน ที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ขนาดเล็ก เพื่อการออกแบบโครงสร้างการควบคุมของรถ ให้มีประสิทธิภาพการขับที่สูงที่สุด [6] อย่างไรก็ตาม การศึกษาอากาศพลศาสตร์ของรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กที่ใช้ในเมืองไทยในปัจจุบัน ถึงแม้จะมีการออกแบบเพื่อลดแรงต้านที่ติดอยู่แล้ว แต่ก็สามารถที่จะปรับปรุงรูปร่างของรถ ให้ลดแรงต้านลงได้อีกได้

การศึกษานี้ จะนำความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ มาศึกษารถยนต์บรรทุกขนาดเล็กที่ใช้ทั่วไปในประเทศไทย โดยการปรับปรุงรูปร่างของกระบะของรถ และศึกษากรณีของรถวิ่งตามกันที่ระยะห่าง และความเร็วที่ต่างกัน ทดสอบโดยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (computational fluid dynamics) เพื่อที่จะนำผลที่ได้มาประยุกต์ในการออกแบบรูปร่างของรูปทรงกระบะ และการวางแผนในการขับขึ้น เพื่อประหยัดพลังงาน

2. ทฤษฎี

แรงรวมของหน่วยแรงเฉือน และความดันที่กระจายทั่วพื้นผิวของวัตถุสามารถหาได้จากการอินทิเกรตแรงทั้งสองครอบคลุมพื้นที่ผิวของวัตถุ โดยมีแรงย่อยในแนวแกน x และ y ของแรงรวมกระทำบนพื้นที่เล็ก ๆ dA คือ

$$dF_x = (pdA)\cos\theta + (\tau_w dA)\sin\theta \quad (1)$$

$$dF_y = -(pdA)\sin\theta + (\tau_w dA)\cos\theta \quad (2)$$

เมื่อ τ_w คือแรงเฉือนที่ผิววัตถุ (wall shear stress), p คือความดันที่เกิดขึ้นทางด้านหน้าของวัตถุเนื่องจากความดัน ดังนั้นจึงสามารถหาแรงรวมในแนวแกน x และ y ที่กระทำต่อวัตถุได้จาก

$$F_D = \int dF_x = \int p \cos\theta dA + \int \tau_w \sin\theta dA \quad (3)$$

$$F_L = \int dF_y = -\int p \sin\theta dA + \int \tau_w \cos\theta dA \quad (4)$$

เมื่อ F_D คือแรงรวมที่กระทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (Drag), F_L คือแรงรวมที่กระทำต่อวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (Lift) ทำการออกแบบเพื่อลดแรงต้านโดยพิจารณาเฉพาะ pressure drag

$$F_D = \int_{front} p \cos\theta dA - \int_{back} p \cos\theta dA \quad (5)$$

ซึ่งลักษณะการไหลที่นำมาวิเคราะห์ คือการไหลแบบปั่นป่วนอัดตัวไม่ได้ จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุและค่า Reynolds number คือสัดส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$R = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (6)$$

โดย R คือ Reynolds number, ρ คือความหนาแน่นของอากาศ, V คือความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านวัตถุ, L คือความยาวของวัตถุที่มีผลต่อสภาพการไหล และ μ คือค่าความหนืดของอากาศ

ในกรณีศึกษาค่า Reynolds number จะอยู่ในช่วง $10^4 - 10^7$ ซึ่งสภาพการไหลจะมีผลโดยตรงมาจากความเฉื่อยเป็นหลัก โดยแรงหลักที่กระทำกับวัตถุคือแรงต้านเนื่องจากความดัน (pressure drag; F_p) สามารถเขียนสมการของแรงต้านเนื่องจากความดันคือ

$$F_p = C_p \rho \frac{V^2}{2} A \quad (7)$$

โดย V คือความเร็วเฉลี่ยของของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านวัตถุ, A คือพื้นที่ที่ราบบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล, C_p คือสัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากความดัน (pressure drag coefficient) และแรงต้านเนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของหน่วยแรงเฉือน (shear stress; F_f) สามารถเขียนสมการของแรงต้านเนื่องจากความเสียดทานคือ

$$F_f = C_f \rho \frac{V^2}{2} BL \quad (8)$$

โดย C_f คือสัมประสิทธิ์แรงต้านเนื่องจากความเสียดทานซึ่งขึ้นอยู่กับความหนืด, L คือความยาวของพื้นผิวในแนวขนานกับทิศทางการไหล และ B คือความกว้างของพื้นผิว สมการหาสัมประสิทธิ์แรงต้าน

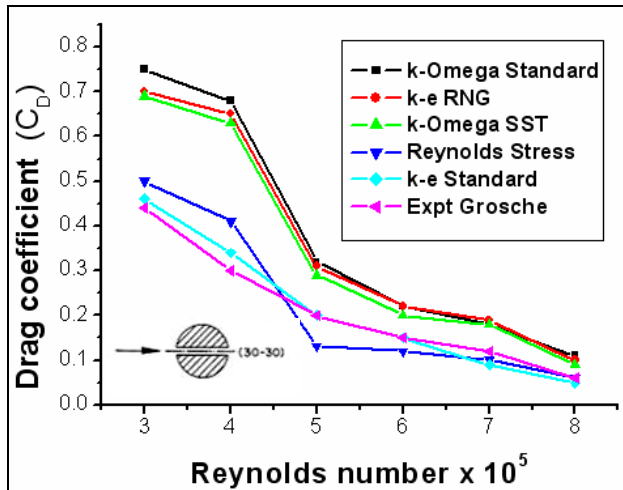
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (9)$$

โดยที่ C_D คือสัมประสิทธิ์แรงต้านรวม, F_D คือแรงต้านรวมที่กระทำต่อวัตถุ, ρ คือความหนาแน่นของอากาศ, และ A คือพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (frontal area)

3. การคำนวณเชิงตัวเลขและการตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน

การศึกษาระดับขั้นต้น เป็นการตรวจสอบค่าแรงต้าน โดยตรวจสอบผ่านทาง การจำลองเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics) ซึ่งใช้โปรแกรม Fluent ที่ได้มีการเปรียบเทียบและยืนยัน (validation) กับผลการศึกษาของ Grosche และคณะ ซึ่งเป็นการศึกษาสัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศของวัตถุทรงกลม เปรียบเทียบกับวัตถุทรงกลมเจาะรูตรงกลางในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ใช้อุโมงค์เป็นเครื่องมือใน

การทดสอบ ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 1 โดยเป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนต่าง ๆ กับผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของ Grosche [3]

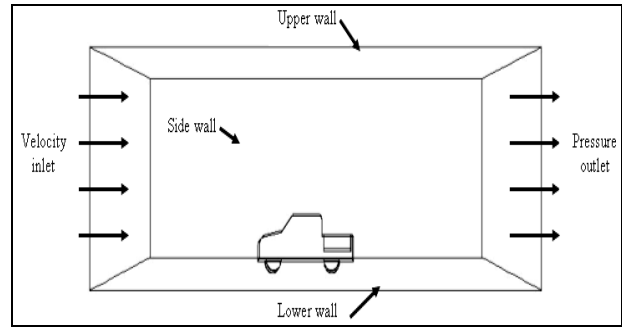


รูปที่ 1 เปรียบเทียบแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนต่าง ๆ กับผลการทดสอบของ Grosche [3]

ดังนั้นจึงเลือกใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนมาตรฐาน k- ϵ ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษามากที่สุด โดยจำนวนของ กริด (Grid) 355,000 เอลิเมนต์ เป็น Mesh แบบ Tri/Tet (กริดรูปพีระมิด) โดยทดสอบที่ความเร็ว 10, 15, 20, 25, 30, 35 เมตรต่อวินาที ค่าเรย์นูลด์ประมาณ $(1 \times 10^6 - 4.5 \times 10^6)$ เพื่อตรวจสอบแรงต้านของรถกระบะขนาดเล็ก ที่มีรูปร่างของท้ายกระบะแตกต่างกัน มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D)

3.1 การตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน กรณีปรับปรุงท้ายกระบะ

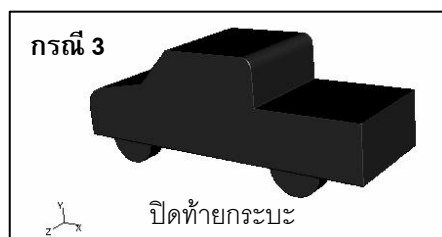
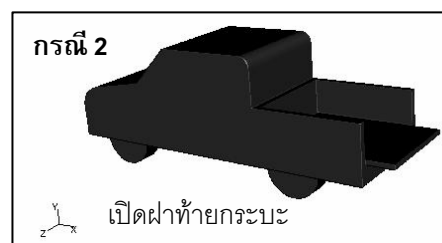
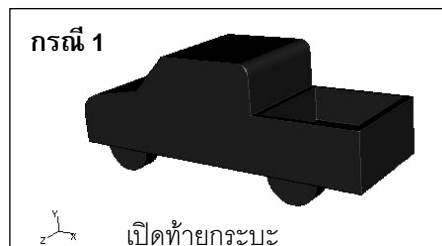
กำหนดแบบขอบเขตการจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดเป็นกล่องสี่เหลี่ยม เหมือนเป็นบรรยากาศล้อมรอบรถบรรทุกขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นการศึกษารถบรรทุกขนาดเล็กที่หนึ่งด้านหน้าสองตอน (cab) ในกรณีกระบะหลังเป็นลักษณะเปิดท้ายกระบะปกติ, เปิดฝาท้ายกระบะ, ปิดท้ายกระบะ และรถครอบส่วนหลังทั้งหมด (van) ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของรถเท่ากัน (Frontal area) ใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนมาตรฐาน k- ϵ จำนวนของกริด (Grid) 355,000 เอลิเมนต์ เป็น Mesh แบบ Tri/Tet (กริดรูปพีระมิด) โดยทดสอบที่ความเร็ว 10, 15, 20, 25, 30, 35 เมตรต่อวินาที เพื่อที่จะศึกษาอากาศพลศาสตร์และตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน ที่เกิดจากการปรับปรุงรูปร่างของท้ายกระบะ เพื่อที่จะนำมาปรับปรุงเพื่อลดสัมประสิทธิ์แรงต้านต่อไป



รูปที่ 2 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง

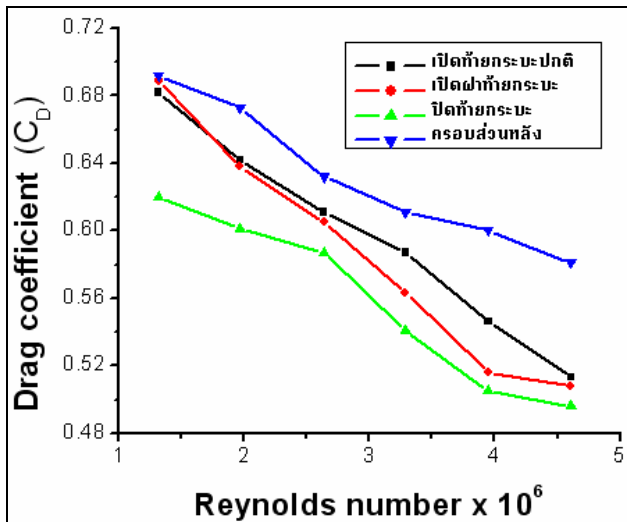
เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณดังรูปที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ความเร็วสัมพัทธ์ของอากาศที่ผิวรถยนต์เป็นศูนย์ เนื่องจากอิทธิพลของความหนืด (No slip boundary condition)
2. สมมุติให้ความเร็วคงที่และคงตัว (Uniform Velocity inlet)
3. ความดันในสนามความเร็วที่ทางออก (Pressure outlet) ไม่ถูกรบกวนจากรูปร่างของรถ และให้มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ
4. การศึกษาสมมุติให้เป็นการไหลที่ไม่มีลมปะทะด้านข้าง
5. ที่ผนังด้านบน (Upper wall) และด้านข้าง (Side wall) สมมุติให้ไม่มีฟลักซ์เนื่องจากการพา (Convective flux) และไม่มีฟลักซ์เนื่องจากการแพร่ (Diffusive flux)
6. ผนังด้านล่าง (Lower wall) หรือพื้นถนน ใช้เงื่อนไข เช่นเดียวกันกับข้อ 5 และสมมุติให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างอากาศกับท้องถนน (Slip condition) เนื่องจากการจำลองต้องการให้เสมือนว่ารถเคลื่อนที่เข้าไปยังอากาศหนึ่ง



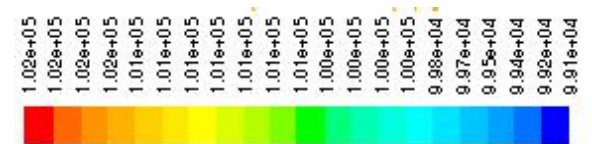
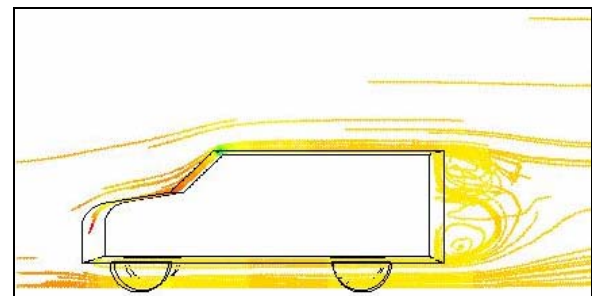
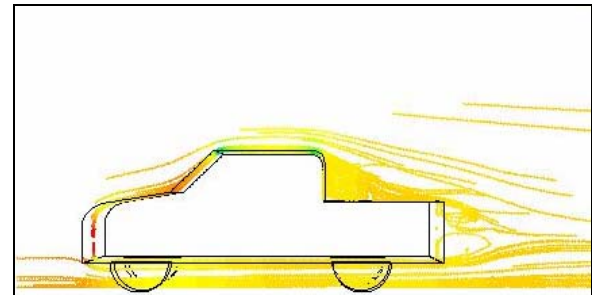
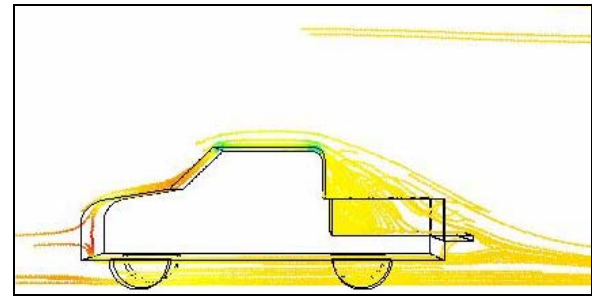
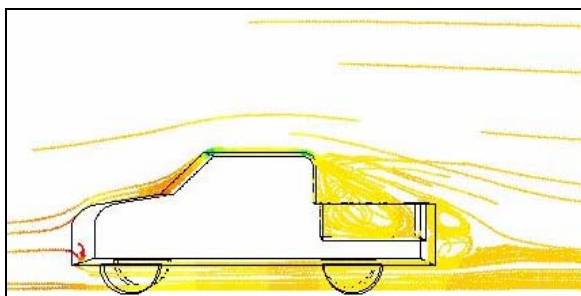


รูปที่ 3 แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 4 สัมประสิทธิ์แรงต้านกับค่า Reynolds number ของกรณีที่ใช้ในการจำลอง

จากผลการจำลองนั้น สัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงและเพิ่มขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของความดันด้านหน้าและด้านท้ายกระบะของรถ โดยปัจจัยหลักของการออกแบบเพื่อลดความดันในด้านหน้าหรือเพิ่มความดันในด้านหลังของรถ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อการปรับปรุงกระบะของรถโดยที่ทำให้การไหลราบเรียบมากขึ้น จะช่วยให้แรงต้านลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากเส้นแสดงระดับความดันในรูปที่ 5



รูปที่ 5 Path line colored by static pressure (pascal)

กรณีที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่มีการเปิดกระบะปกติ นั้น ขนาดของแรงต้านนั้นจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของรถ โดยแบ่งความแตกต่างออกได้เป็น 3 บริเวณความดันคือ บริเวณที่ 1 บริเวณห้องโดยสาร, 2 บริเวณกระบะ, 3 บริเวณท้ายรถทั้งด้านบนและด้านล่าง

ซึ่งทั้ง 3 บริเวณ มีความแตกต่างกันของความดัน ซึ่งบริเวณห้องโดยสารนั้นจะมีความดันสูงเนื่องจาก โมเมนตัมของอากาศ และลดลงเมื่อเข้าสู่ตำแหน่งบริเวณกระบะ ซึ่งหากพิจารณาจากรูปที่ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งระหว่างห้องผู้โดยสารกับบริเวณกระบะ จะเกิดการไหลย้อนกลับเรียกว่าเกิดการแยกตัว (separation) และภายในส่วนนี้จะเกิดการไหลแบบปั่นป่วนที่เรียกว่าอากาศหมุนวน (wake) ซึ่งก็คือการเกิดการสูญเสีย (loss) ในทางของไหลพลศาสตร์ อากาศที่หมุนวนนี้เมื่อปะทะกับกระบะท้าย จะทำให้เกิดแรงต้านในระดับหนึ่ง ซึ่งการเกิดการแยกตัวนั้น เมื่อนำสมการเบอร์นูลลีมาวิเคราะห์ จะพบว่า การไหลของ

ชั้นนอกมีความเร็วกว่าการไหลของชั้นใน เพราะของไหลที่อยู่ชั้นในได้รับอิทธิพลของความหนืด (viscosity, μ) เกิดแรงเฉือนต้านการไหลช้าลงและความดันที่กดทับจากภายนอก ซึ่งทำให้การไหลของชั้นในมีโมเมนตัมน้อย จึงทำให้ไหลผ่านความดันสูง ๆ ได้ยาก จึงทำให้เกิดการหมุนวน ทำให้ความดันบริเวณกระเบาะลดลง ส่วนในบริเวณท้ายรถทั้งด้านบนและด้านล่างนั้น ความเร็วของอากาศด้านล่างของรถสูงกว่าด้านบน (พิจารณาจากสมการเบอร์นูลลี) เนื่องจากพลังงานจลน์จากภายนอก ส่งถ่ายเข้าสู่ยานภายในมากขึ้น ทำให้เพิ่มโมเมนตัมในการเอาชนะความหนืดได้สูงขึ้น ทำให้เกิดความดันท้ายรถด้านบนและด้านล่าง มีความแตกต่างกัน จึงเกิดการหมุนวนของอากาศและความดันจะลดลงจากบริเวณกระเบาะ ดังนั้นแรงดันทั้ง 3 บริเวณมีความแตกต่างกัน จึงทำให้เกิดแรงต้าน ดังสมการที่ (5) ดังที่กล่าวมา

กรณีที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยมีลักษณะเปิดฝาท้ายกระเบาะนั้น ซึ่งสัมประสิทธิ์แรงต้านมีการลดลงน้อยมาก โดยใกล้เคียงกันกับในกรณีที่ 1 ซึ่งในกรณีที่ 2 นั้นการปะทะของอากาศกับฝาท้ายกระเบาะจะลดลง เนื่องจากเปลี่ยนแนวการติดตั้งฝาท้ายกระเบาะไปทิศทางขนานกับการไหล ซึ่งเปรียบเสมือนกันยกกระดานของพื้นท้ายรถสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกมีค่าลดลงเช่นกัน (แรงกดเพิ่มขึ้น) แต่จะมีผลกระทบกับการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงยก มากกว่าการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน ซึ่งการยกกระดานพื้นท้ายรถจะมีผลต่อการกระจายตัวความดันที่ผิวบนของรถน้อยมาก แต่ความดันพื้นรถในกรณีที่ 1 จะสูงกว่าในกรณีที่ 2 เนื่องจากการเปิดฝาท้ายกระเบาะบังคับให้เกิดการหักตัวของกระแสไหล ซึ่งต้องใช้แรง (โมเมนตัม) เป็นอย่างมาก ทำให้ความดันต่ำกว่าและเป็นเหตุให้แรงต้านและแรงยกลดลงในระดับหนึ่ง

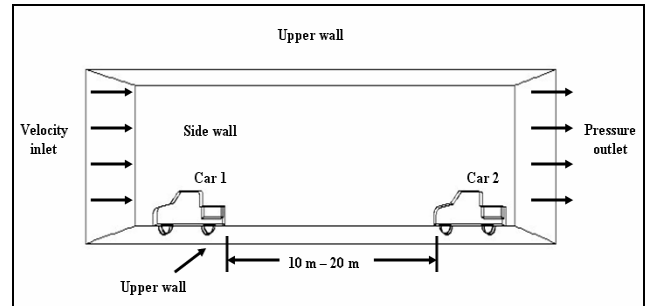
กรณีที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยปิดครอบกระเบาะ โดยการกระจายของความดันจากรูปที่ 5 กรณีที่ 3 เป็นการลดลงของการหมุนวนของอากาศ เนื่องจากไม่มีการปะทะของฝาท้าย ช่วงการหมุนวนของอากาศก็ลดน้อยลง เนื่องจากความหนาของบริเวณห้องโดยสารค่อย ๆ ลดลงมาบริเวณกระเบาะ จนมาถึงบริเวณท้ายกระเบาะ จึงมีความดันย้อนกลับน้อย ดังนั้นจุดแยกตัวจะเกิดขึ้นน้อยเช่นเดียวกัน ทำให้ความดันด้านหลังของรถมีค่าที่สูงขึ้น และสัมประสิทธิ์แรงต้านก็ลดลงกว่ากรณีที่ 1 และ 2

กรณีที่ 4 มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยครอบหลังของกระเบาะทั้งหมด วิเคราะห์จากรูปที่ 5 กรณีที่ 4 ความหนาของบริเวณห้องโดยสารและบริเวณกระเบาะจะเท่ากัน แต่ส่วนบริเวณท้ายรถทั้งด้านบนและล่างมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดตรง ซึ่งเป็นรูปทรงด้านท้ายที่ก่อให้เกิดแรงต้านมากที่สุด และเรียกรูปทรงนี้ว่า รูปทรงท้ายวิกฤต (Critical After body Geometry) โดยจากรูป พบว่ารูปทรงด้านท้ายได้มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งถึงรูปทรงท้ายวิกฤต จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลอย่างฉับพลัน มีความดันย้อนกลับสูง จึงทำให้เกิดแรงต้านสูงกว่าทุกกรณี

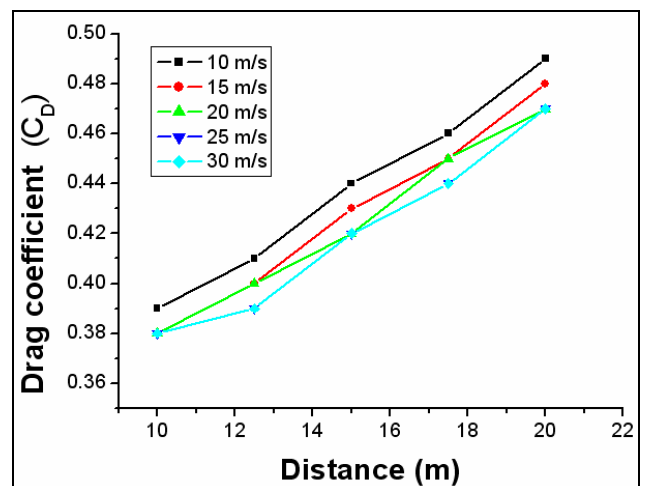
3.2 การตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน กรณีวิ่งตามกัน

จากการศึกษาเบื้องต้น เป็นการกำหนดแบบขอบเขตการจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ลักษณะเดียวกันกับกรณีปรับปรุงท้ายกระเบาะ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นการศึกษารถบรรทุก

ขนาดเล็กวิ่งตามกัน ในระยะห่างต่างกัน โดยจำลองที่ความเร็วหลายระดับ จำนวนของกริด (Grid) 750,000 เอลิเมนต์ เป็น Mesh แบบ Tri/Tet (กริดรูปพีระมิด) โดยทดสอบระยะห่าง 10 – 20 เมตร ที่ความเร็ว 10, 15, 20, 25, 30 เมตรต่อวินาที เพื่อศึกษาอากาศพลศาสตร์และตรวจสอบ สัมประสิทธิ์แรงต้านที่ระยะห่าง และที่ระดับความเร็วต่าง ๆ ของรถที่วิ่งตามหลัง



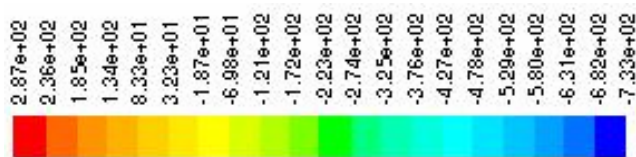
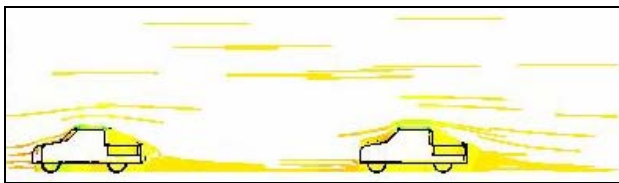
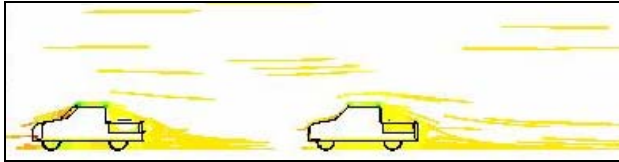
รูปที่ 6 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง



รูปที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันที่ 2 ที่ระยะห่างและระดับความเร็วต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 เป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กคันที่ 2 โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันที่ 2 จะแปรผันตรงกับระยะห่างกับรถคันที่ 1 เมื่อระยะห่างมาก ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะมากตาม เนื่องจากอิทธิพลของอากาศไหลสวนทิศทางย้อนกลับตามรูปทรงของรถ ทำให้เกิดการแยกตัว (Separation) และในส่วนที่แยกนี้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน หรือเรียกว่าเกิดคลื่นวน (wake) ที่เกิดจากอากาศไหลผ่านรถ คันที่ 1 ซึ่งทำให้ค่าเรย์นอลด์สสูงขึ้น จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำลง และเมื่อระยะห่างมากขึ้น อิทธิพลของคลื่นระลอกของรถคันที่ 1 ก็ต่ำลง ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันที่ 2 สูงขึ้น สามารถอธิบายได้จาก รูปที่ 8 ซึ่งแสดงเส้นระดับความดันและทิศทางการไหล ในระยะห่างต่าง ๆ กัน โดยความดันที่เกิดขึ้นของรถ

คันที่ 2 จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทำให้แรงต้านเนื่องจากความดันลดลง
สัมประสิทธิ์แรงต้านจึงต่ำลง



รูปที่ 8 Path line colored by static pressure (pascal)

5. สรุปผลและเสนอแนะ

5.1 กรณีปรับปรุงท้ายกระบะ

จากการวิเคราะห์ผลจากการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (จากการจำลองรถบรรทุกขนาดเล็ก 3 มิติ) ที่ความเร็วต่าง ๆ ของทั้ง 4 กรณีนั้น ซึ่งจากการปรับปรุง สามารถตรวจสอบการลดลงและเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์แรงต้านได้จากการเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 เปิดท้ายกระบะ ซึ่งเป็นกรณีที่มีการใช้งานของรถโดยปกติ ในกรณีที่ 2 เปิดฝาท้ายกระบะสามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยเฉลี่ย 1.73%, กรณีที่ 3 ปิดครอบกระบะ สามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยเฉลี่ย 6.45%, กรณีที่ 4 โดยครอบท้ายกระบะทั้งหมด กรณีนี้จากการเปลี่ยนแปลงรูปทรง

ของกระบะ ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 5.60% จากค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์แรงต้าน กรณีเปิดท้ายกระบะจะให้ค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นการพยายามที่จะลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่กระทำกับรถบรรทุกขนาดเล็กให้เหลือน้อยที่สุด ด้วยการปรับปรุงทรงให้มีลักษณะเพรียวลม นอกจากนี้การลดขนาดของแรงต้านก็ต้องพิจารณาถึงการลดพื้นที่ทาบในแนวทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ (frontal area) หรือกล่าวคือ ออกแบบเพื่อลดความดันในด้านหน้าหรือเพิ่มความดันในด้านหลังของรถ

5.2 กรณีรถวิ่งตามกัน

ตารางที่ 1 การลดลงโดยเฉลี่ยของ (C_D) รถคันที่ 2 ที่ความเร็วต่าง ๆ

ระยะห่าง (m)	(C_D) คันที่ 1	(C_D) ที่ลดลงคันที่ 2
10.0	0.65	30.14%
12.5	0.65	27.83%
15.0	0.65	19.08%
17.5	0.65	14.38%
20.0	0.65	8.57%

จากตารางเมื่อระยะห่างของรถสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยเฉลี่ยของรถคันที่ 2 จะสูงขึ้นเนื่องจากแรงดันที่กระทำ เนื่องจากอิทธิพลของการแยกตัวจากการไหลผ่านรถคันที่ 1 ต่ำลง ดังนั้นกรณีการขับรถยนต์เพื่อที่จะให้แรงต้านของรถต่ำ ก็ควรที่จะขับรถให้ใกล้กับรถยนต์คันหน้าให้มากที่สุด แต่ก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและตามข้อที่กฎหมายกำหนด โดยจะมีการปรับปรุงและศึกษาต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน สามารถช่วยให้การขับเคลื่อนรถด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง

สำหรับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้น เป็นผลมาจากการขาดแคลนข้อมูลที่ใช้ได้ถูกต้องด้วยกันดังนี้ คือความไม่ถูกต้องของแบบจำลองของความปั่นป่วน ความผิดพลาดของการแสดงเค้าโครงรถ จำนวนกริดที่น้อยเกินไป และการกำหนดเงื่อนไขและขอบเขต

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.P. van Dam. Recent experience with different methods of drag prediction. Progress in Aerospace Sciences, 35 (1999) ,751-798
- [2] S N Singh, L Rai, P Puri, and A Bhatnagar. Effect of moving surface on the aerodynamic drag of road vehicles Proc. KMEchE. Automobile Engineering, 219(2000), 98-114
- [3] F.R. Grosche, G.E.A. Meier. Research at DLR Gottingen on bluff body aerodynamics drag reduction by wake ventilation and active flow control. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89 (2001), 1201-1218
- [4] H. Fukuda, K. Yanaginoto, H. China, and K. Nakagawa. Improvenent of vehicle aerodynamics by wake control. SAE Review, 16 (1995), 151-155

- [5] F. Muyl, L. Dumas, and V. Herbert. Hybrid method for aerodynamic shape optimization in automotive industry. *Computers & Fluids*, 33 (2004) 849-858
- [6] M.Tomiyama, K. maeda, and F. Nakamura. The development of a method to obtain the optimum lift coefficient using the vehicle dynamic analysis. *JSAE Review*, 23 (2002), 69-74
- [7] S. Yamamoto, K. Yanagimoto. H. Fukuda, H. China, and K. Nakagawa. Aerodynamic influence of a passing vehicle on the stability of the other vehicles. *JSAE Review*, 18 (1997), 39-44
- [8] อาทิตย์ ฤทธิ์เลื่อน และ อุดมเกียรติ นนท์แก้ว. การวิเคราะห์การไหลของอากาศรอบรถยนต์นั่งวารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 13, ฉบับที่ 2 เม.ย.-มิ.ย 2546