

การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในกรณีวิ่งตามกันของรถบรรทุกเล็ก

Reduction of drag coefficient of the trail pick-up truck

ปรัชญา มุขดา^{1*} กุลเชษฐ์ เพียรทอง¹ วิระพันธ์ สีหานาม¹¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-87-9597828 โทรสาร 0-45353-380 *อีเมล: mukdaen@hotmail.com

Prachya Mukda^{1*}, Kulachate Pianthong¹, Wirapan Seehanam¹¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchatany University, Ubon Ratchatani, 34190,

Thailand. Tel: 0-87-9597828 Ext. 3382, Fax: 0-45353-380 *E-mail: mukdaen@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอากาศพลศาสตร์ ในการวิ่งตามกันของรถบรรทุกเล็กห้องผู้โดยสาร 2 ตอน เพื่อศึกษาการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) โดยวิธีคำนวณของไหลพลศาสตร์ (CFD) ใช้ซอฟต์แวร์ Fluent จำลองแบบ 3 มิติ ในการศึกษาขั้นต้น ใช้โมเดลความเร็วต่ำร่วมกับ CFD ทดสอบแบบจำลองรถบรรทุกเล็ก ที่ความเร็วระหว่าง 18 - 43 km/hr เพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผล ก่อนที่จะทดสอบรถขนาดจริงด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข ที่ความเร็ว 36 - 126 km/hr เพื่อศึกษาการลดลงของสัมประสิทธิ์ต้าน ของรถคันหลังที่วิ่งห่างจากคันหน้าในระยะห่างต่างกัน พบว่า ที่ระยะห่าง 10 m อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงจากวิ่งปกติคันเดียว 6.52 % (ที่ความเร็วเฉลี่ย) และกรณีวิ่งเยื้องกัน พบว่า รถคันหลังที่วิ่งห่างที่ระยะ 10 m และเยื้อง 1 m อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถคันหลังลดลง 1.90 % (ที่ความเร็วเฉลี่ย)

Abstract

This research aims to investigate the aerodynamic of the trailing cab pick-up truck. The drag coefficient (C_D) is the main focus by using Computational Fluid Dynamics (CFD) technique. The commercial software, FLUENT, is employed in three dimensional (3D) model. The low speed wind tunnel was used to test to model of pick-up truck at velocity between 18 - 43 km/hr, the results was then validated with CFD simulation. Then the full size of pick-up truck was simulated by CFD at velocity between 36 - 126 km/hr. In this study, the C_D of the trail car at different distance is investigated. It was find that, at the trailing distance of 10 m, the fuel consumption trail car can be reduced by 6.52 % averagely. In another case, when the trail car is running

eccentricly, the trailly distance of 10 m and eccentric distance of 1 m, gives the best result which the fuel consumption can be reduced by 1.90 %.

1. บทนำ

การออกแบบรูปร่างรถยนต์ให้เหมาะสม เป็นการทำให้รถยนต์วิ่งผ่านอากาศด้วยแรงต้านลดลง การประกอบชิ้นส่วนก็มีส่วนสำคัญ เช่น การประกอบหน้าต่างและขอบที่แนบสนิทพอดี รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมรถ เช่น สปอยเลอร์ด้านหลังล้อหน้า และล้อหลัง แผ่นกันไต้ท้องรถที่ทำให้ส่วนประกอบของโครงสร้างไม่ขวางการไหลของอากาศ แม้แต่ สปอยเลอร์หลังเพื่อลดความปั่นป่วนเมื่ออากาศวิ่งผ่านอุปกรณ์เหล่านี้สามารถลดแรงต้านอากาศ โดยใช้ข้อควมรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ หรือ Aerodynamics ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของการออกแบบรถยนต์ ในการทดสอบ คันคว่ำ และการวิจัย จะต้องมีการนำโมเดลทั้งแบบจำลองและแบบขนาดจริง เข้าไปทดสอบในอุโมงค์ลมเพื่อตรวจสอบหาค่าต่างๆ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทุน อุปกรณ์ และเวลาในการทดสอบ ปัจจุบันได้มีการใช้การคำนวณเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ หรือ CFD (Computation Fluid Dynamic) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงผลได้แบบ 3 มิติ ช่วยให้เห็นภาพการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศ และผลที่เกิดกับรถยนต์ได้ชัดเจน

(Spalart, 2000) กล่าวว่า การคำนวณของไหลพลศาสตร์ หรือวิธีจำลองเชิงตัวเลข นิยมใช้ซอฟต์แวร์ FLUENT สำหรับการจำลองการไหลแบบราบเรียบอัดตัวไม่ได้ โดยวิธีปริมาตรจำกัด (Finite volume) เริ่มต้นจากการทดสอบไหลผ่านแบบจำลองใน 2 มิติ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลอง มีแนวโน้มเกิดการแยกตัวของอากาศบริเวณส่วนหลังของแบบจำลอง ใกล้เคียงกับผลการทดสอบในอุโมงค์ลมที่ Reynolds number ต่ำ แต่เมื่อค่าเรย์โนลด์ส์ที่ใช้ในการจำลองมีค่ามากขึ้น ค่าที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบในอุโมงค์ลม เนื่องจาก

การทดสอบในอุโมงค์ลมมีลักษณะการไหลเป็น 3 มิติ จึงได้มีการพัฒนาการจำลองการไหลแบบ 3 มิติ (Horinouchi, 1995) และ (Van Dam, 1999) ได้นำแบบจำลองเพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของรถยนต์ ใช้ศึกษาความลาดเอียงด้านข้างของรูปทรงท้ายรถยนต์ และชายหน้า ที่ติดใต้บังโคลน ใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดสอบในอุโมงค์ลม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงเมื่อค่าความลาดเอียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันที่ส่วนหลังของแบบจำลองมีค่าสูงขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงเช่นกันเมื่อมีการติดตั้งชายหน้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นำไปสู่การไหลแบบราบเรียบ (Prasad *et al.*, 1997) พบว่าแรงต้านส่วนใหญ่ของตัวรถ มาจากเทอมของความดันที่แยกตัวออกจากผิวนอก สัมประสิทธิ์แรงต้าน 40 เปอร์เซ็นต์จะขึ้นอยู่กับรูปทรงภายนอกและส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ท้ายรถ โดยสัมประสิทธิ์แรงต้านจะไม่เกิดจากรูปร่างหน้ารถ แต่แรงต้านส่วนใหญ่จะมาจากการไหลปั่นป่วนด้านท้าย (Muyl *et al.*, 2004) และ (Grosche, 2001) กล่าวว่าในรถยนต์ทุกชนิดในปัจจุบันนั้น เป็นไปไม่ได้เลยที่จะไม่ให้เกิดการไหลปั่นป่วนด้านท้าย โดยเฉพาะรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่ เพราะรูปทรงมีพื้นที่หน้าตัดขนาดใหญ่ และไม่มีลักษณะลู่ลม จะทำให้อากาศเกิดการแยกตัว เกิดการไหลแบบปั่นป่วนด้านท้ายมาก ซึ่งทำให้ค่าแรงต้านสูง แต่อากาศด้านท้ายที่เกิดจากการแยกตัวนั้น ความดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Dynamics Pressure) จะลดลง จึงได้มีการทดสอบให้รถบรรทุกขนาดใหญ่ 2 คัน วิ่งตามกัน โดย (Browand, 2005) พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถคันหลังลดลงกว่าครึ่ง และในการทดสอบร่นแรงของการจำลอง CFD ยังสามารถจำลองสิ่งที่เกิดขึ้นกับด้านท้ายของรถคันหน้า ซึ่งการอาศัยองค์ความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ มาวิเคราะห์ สามารถเห็นประโยชน์ที่รถคันหลังได้รับอย่างชัดเจน เพราะแรงต้านของอากาศของรถคันหลังจะลดลง โดยกระแสอากาศที่ไหลผ่านใต้ท้องรถคันหลังจะลดลง ประการสำคัญแรงดูดของกระแสลมด้านท้ายของรถคันหน้าจะทำให้รถคันตามมีความเร็วเพิ่มขึ้น จึงได้นำหลักการที่กล่าวมา มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ โดยเป็นการทดสอบรถบรรทุกเล็กห้องผู้โดยสาร 2 ตอน ซึ่งเป็นยานพาหนะที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทย มาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในกรณีวิ่งตามกัน โดยรถทั้งสองคัน วิ่งตามกันแนวยาว และแนวเฉียง ที่ระยะห่างต่าง ๆ โดยใช้ CFD เป็นเครื่องมือในการทดสอบ เพื่อเป็นแนวทางในการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน และลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้ทฤษฎีของ (Leuschen, 2006) เพื่อหาจากการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านจากกรณีปกติ ที่ความเร็วต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม พร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขวิธีการขับที่เหมาะสม

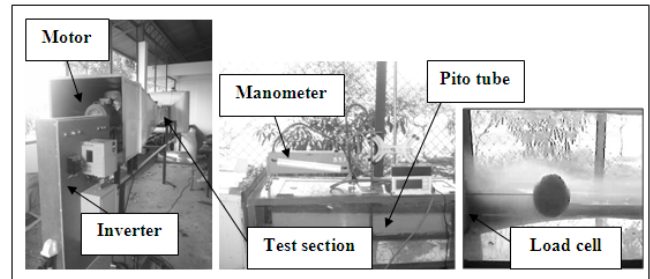
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านของทรงกลม โดยการ

ทดสอบใน อุโมงค์ลม และ CFD

ในการทดสอบใช้อุโมงค์ลมแบบเปิด โดยอากาศไหลเข้าที่ปลายข้างหนึ่งผ่านส่วนทดสอบแบบจำลอง (Test section) แล้วไหลออกปลายอีกข้างหนึ่ง อากาศมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ โดยใช้พัดลมดูด

อากาศที่ติดกับมอเตอร์ ขนาด 5.5 hp มีเครื่องมือควบคุมมอเตอร์ (Inverter) เพื่อปรับความเร็วอากาศที่ไหลผ่านส่วนทดสอบแบบจำลอง มีความเร็วที่ 5 ถึง 10 m/s (18 - 36 km/hr) ใช้மானอมิเตอร์ (Manometer) เป็นเครื่องมือวัดความดันและความเร็วอากาศ

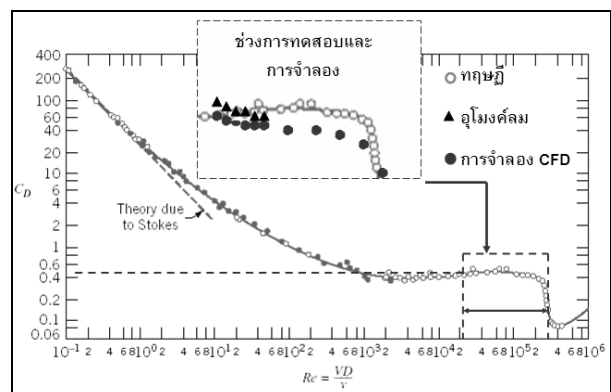


รูปที่ 1 ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (อุโมงค์ลม)

แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งใช้ทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของวัตถุทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 m ที่ติดกับเครื่องมือวัดแรงต้าน (Load cell) ซึ่งจะเป็นแรงที่อากาศกระทำกับวัตถุทรงกลม นำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงต้าน จากสมการ

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

โดยที่ C_D คือสัมประสิทธิ์แรงต้านรวม, F_D คือแรงต้านรวมที่กระทำต่อวัตถุ (N), ρ คือความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m^3 และ A คือพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m^2) โดยนำผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลทดสอบด้วยวิธีจำลองเชิง จําลองที่ขนาดและสภาวะเดียวกันกับการทดสอบในอุโมงค์ลม ซึ่งจากการทดสอบ สัมประสิทธิ์แรงต้านโดยอุโมงค์ลมและวิธีจำลองเชิงตัวเลข ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยอุโมงค์ลม จะให้ผลต่างที่มีค่าสูงกว่าวิธีจำลองเชิงตัวเลขประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (โดยเฉลี่ย) ซึ่งจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการทดสอบทั้งสองแบบ และเปรียบเทียบกับทฤษฎี แสดงในรูปที่ 2

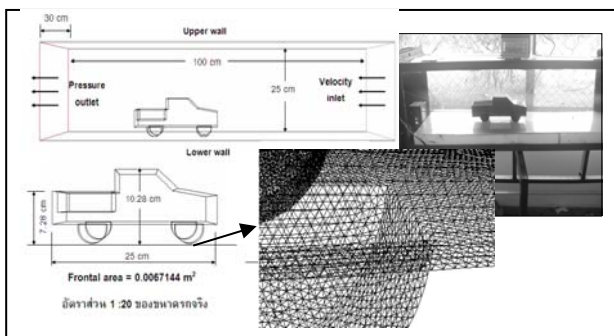


รูปที่ 2 การเปรียบเทียบผลทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D)

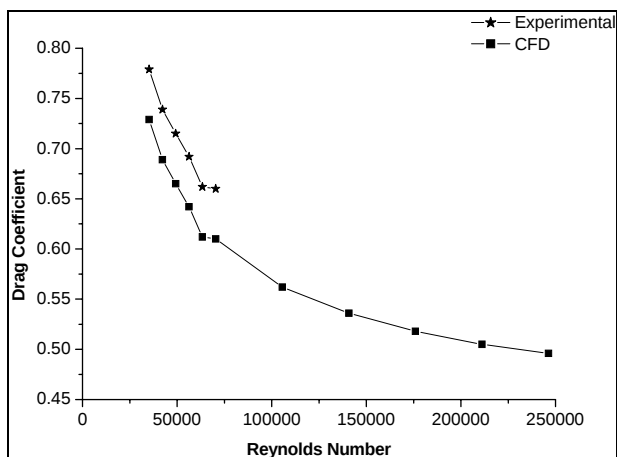
จากรูปที่ 2 เป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของทรงกลมในอุโมงค์ลม และ CFD เปรียบเทียบกับทฤษฎีอยู่ในช่วง Reynolds number เท่ากับ $2.2 \times 10^4 - 3.0 \times 10^5$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงเมื่อ Reynolds number สูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของความหนืดที่ผิวทรงกลมกับอากาศลดลง ผิวทรงกลมจะได้รับผลจากความดันอากาศเพิ่มขึ้น โดยการทดสอบทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกันกับทฤษฎี ซึ่งสามารถนำสภาวะการไหล สมการการคำนวณ ชนิดและจำนวนกริด ไปทดสอบแบบจำลองรถบรรทุกเล็กเพื่อตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านต่อไป

2.2 การทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน รถบรรทุกเล็กแบบจำลอง

การทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม ใช้วัสดุทำจากโฟม แบบจำลองมีอัตราส่วน 1:20 ของขนาดจริง มีขนาดพื้นที่หน้าตัด (Frontal area) เท่ากับ 0.0067144 m^2 ทดสอบที่ความเร็ว 18 - 36 km/hr โดยทดสอบควบคู่กับวิธีจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้ขนาดแบบจำลอง และ Test section เท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบผลก่อนที่จะทดสอบขนาดจริงด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดของแบบจำลอง กริด และลักษณะการทดสอบในอุโมงค์ลมและ CFD



รูปที่ 4 สัมประสิทธิ์แรงต้านของแบบจำลองรถบรรทุกเล็ก ในอุโมงค์ลมและ CFD

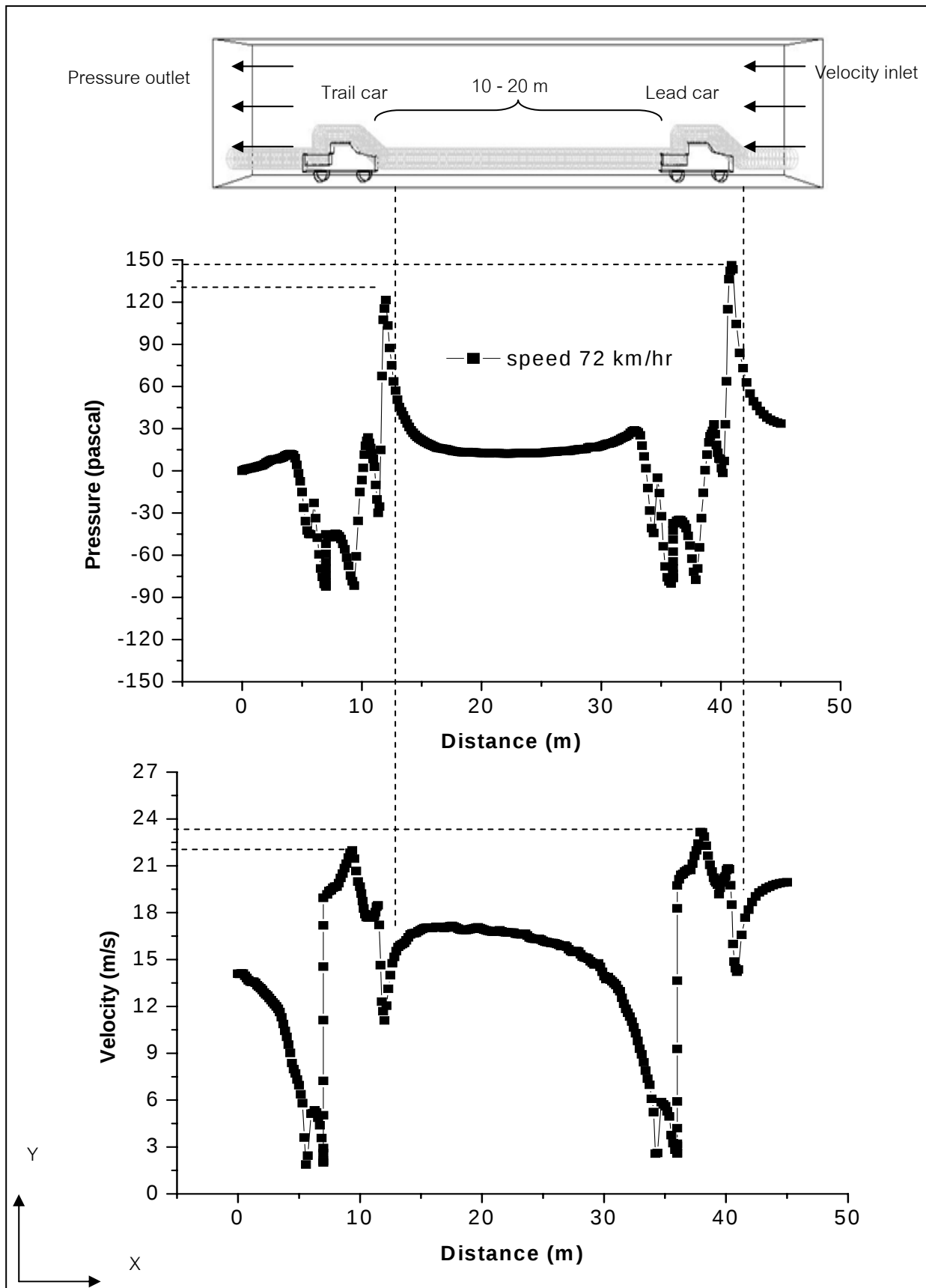
รูปที่ 4 เป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของแบบจำลองของรถบรรทุกเล็ก ซึ่งสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงเมื่อค่าความเร็วหรือ Reynolds number เพิ่มขึ้น เหมือนกับการทดสอบวัตถุทรงกลม โดยค่าที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลมจะมีค่าสูงกว่าวิธีจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งมีความแตกต่างไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความกว้างของ Test section ในอุโมงค์ลม ทำให้สภาวะการไหลไม่คงที่ เช่นความเร็ว ความดัน ความหนืด เมื่ออากาศไหลผ่านช่วงการทดสอบแคบลง จะให้ความเร็วสูงขึ้น ความหนืดของอากาศก็มีผลกับผนังของส่วนทดสอบ ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านที่ใช้อุโมงค์ลมสูงกว่าวิธีจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ที่จะนำขอบเขตและเงื่อนไขในการจำลองมาใช้ในการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในการทดสอบรถขนาดจริง

2.3 การทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน รถบรรทุกเล็กขนาดจริง กรณีรถบรรทุกเล็กวิ่งตามกันตามแนวยาว (แกน x)

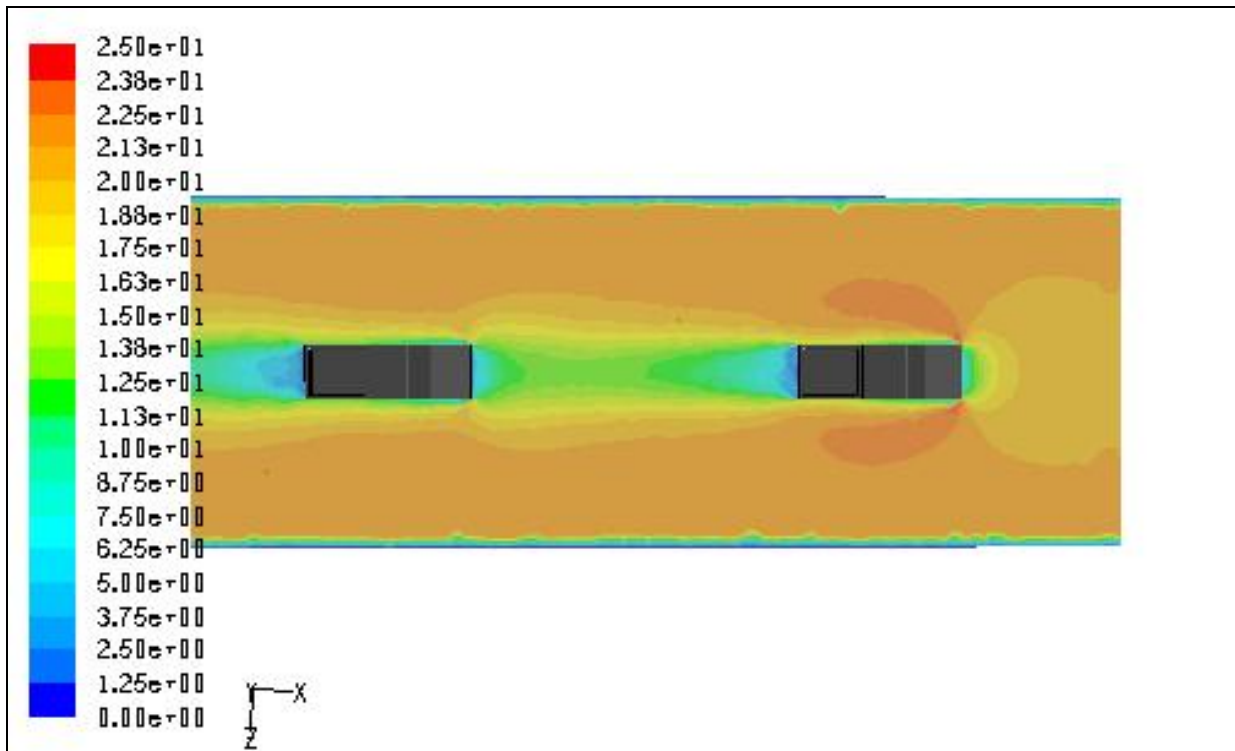
เงื่อนไขในการคำนวณไปใช้จำลองรถขนาดจริง แสดงในตารางที่ 1 โดยวิธีจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติ เพื่อตรวจสอบผลสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เปลี่ยนไปของรถคันหลัง ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยรถทั้งสองคันอยู่ห่างกันตามแนวยาว (แกน X) ที่ระยะ 10, 12.5, 15, 17.5, 20 m ดังแสดงในรูปที่ 5 และทดสอบที่ความเร็ว 36, 54, 72, 90, 108, และ 126 km/hr หรือ (Reynolds number $1.2 \times 10^6 - 4.4 \times 10^6$) โดยความเร็วรถทั้งสองเท่ากัน โดยได้ขยายขนาดความกว้าง และความสูงของผนังด้านข้างและด้านบนของส่วนทดสอบ เพื่อไม่ให้มีผลกับสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถที่ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการคำนวณ CFD

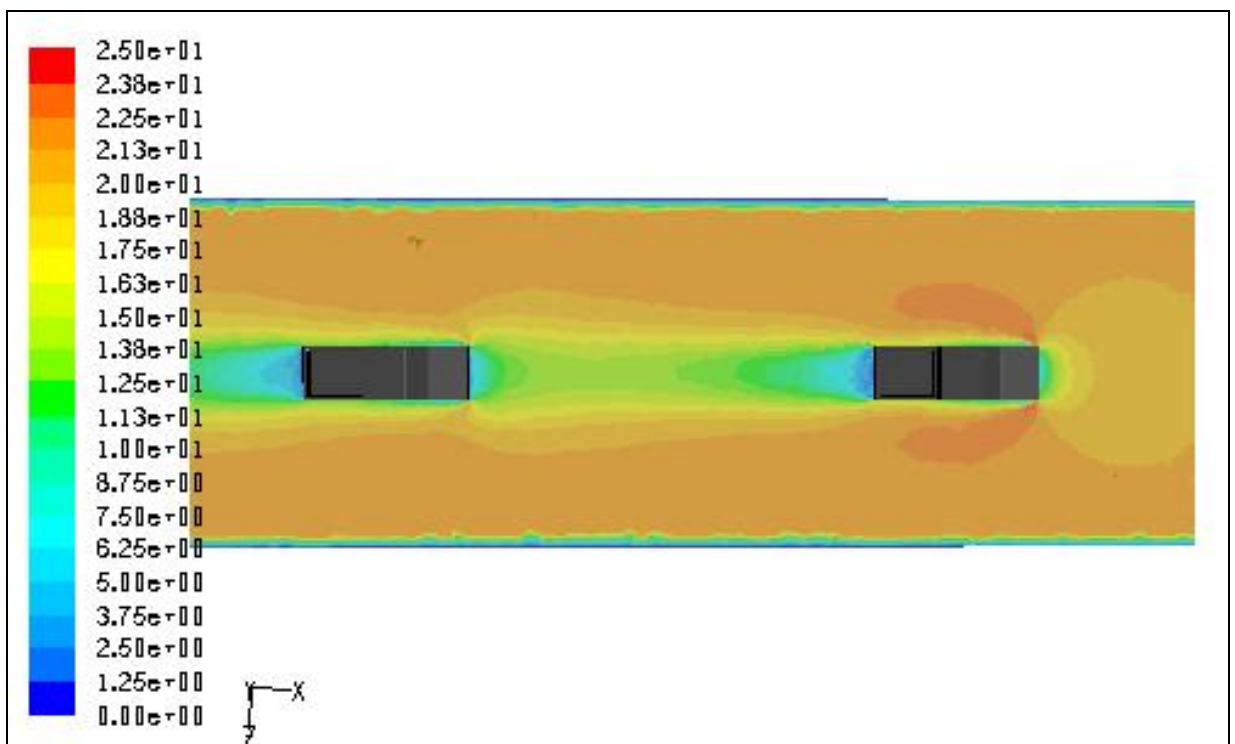
โปรแกรม GAMBIT	
ขอบเขตทางด้านเข้า (Inlet boundary condition)	Velocity inlet
ขอบเขตทางด้านออก (Outlet boundary condition)	Pressure outlet
จำนวน Grid	ประมาณ 728,644 cell
โปรแกรม FLUENT	
ระเบียบการแก้ปัญหา (Solver)	Segregated Solver
ระเบียบวิธีคำนวณ (Linearization)	Implicit method
แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulent model)	Standard k-epsilon
ระเบียบวิธีการแก้ปัญหาการไหลบริเวณใกล้ผนัง (Near-wall treatment method)	Standard wall function



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของความดัน และความเร็วที่เกิดขึ้นกับรถคันหน้า (Lead car) และคันหลัง (Trail car) ตรงกลางของรถ ตามแนวแกน x



รูปที่ 6 ระดับแถบสีความเร็วของอากาศ (m/s) ที่ระยะคั่นหลัง X10

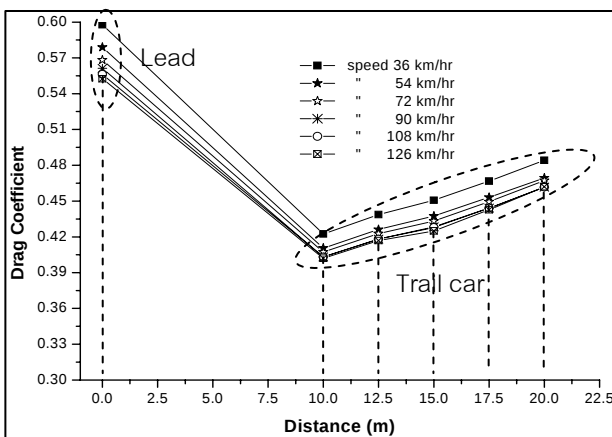


รูปที่ 7 ระดับแถบสีความเร็วของอากาศ (m/s) ที่ระยะคั่นหลัง X12.5

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความดัน และความเร็วของอากาศที่กระทำกับรถคันหน้ามีค่าสูงกว่าที่กระทำกับรถคันหลัง เพราะอากาศปะทะกับด้านหน้าของรถคันหน้าความเร็วจะลดลง เพราะเข้าใกล้จุดหยุดนิ่ง (Stagnation point) ซึ่งมีความดันมากกว่าความดันก่อนที่จะเริ่มเข้าปะทะกับด้านหลังรถ หรือความดันในระบบ (Total pressure) และจะลดต่ำลงบริเวณท้ายกระบะเนื่องจากความเร็วลดลง ซึ่งทำให้ความดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Dynamics pressure) ลดลงด้วย ดังนั้นพลังงานจะมีค่าลดลงเพราะ รถคันหน้าจะดูดซับพลังงานที่เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure head) และเฮดความเร็ว (Velocity head) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกฎสมมูลพลังงาน สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

$$\left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \right)_{Lead_car} = \left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \right)_{Trail_car} + h_L \quad (2)$$

h_L คือการสูญเสียเฮดรวม (head loss) แทนการสูญเสียพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของของไหล, p_1 คือความดันที่รถคันหน้า, p_2 คือความดันที่รถคันหลัง, V_1 คือความเร็วที่รถคันหน้า, V_2 ความเร็วที่รถคันหลัง, ρ คือความหนาแน่นของอากาศ เท่ากับ 1.225 kg/m^3 , g คืออัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง 9.81 m/s^2 ซึ่งค่า $p_1 > p_2$ และ $V_1 > V_2$ เสมอ ในกรณีที่ทำการทดสอบ ซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันหลังมีค่าลดลงน้อยกว่าคันทันทีแสดง ในรูปที่ 8



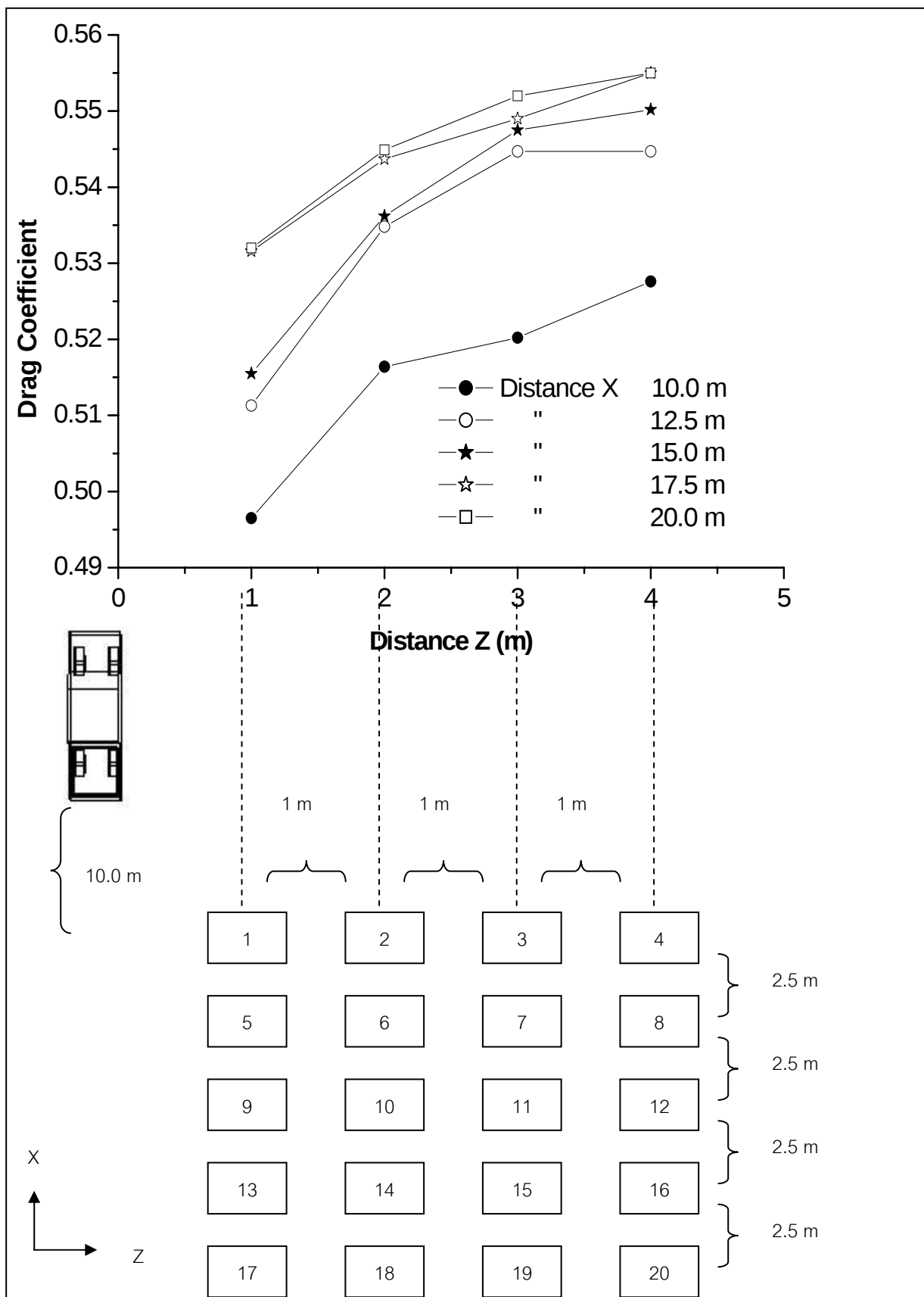
รูปที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันหลัง ที่ความเร็วและระยะห่างที่ต่างกัน

เป็นการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถทั้งสองคัน โดยคันทันค่า C_D จะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วหรือ Reynolds number เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น Reynolds number ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ C_D ลดลง แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะห่างของรถคันหลัง ส่วนรถคันหลังค่า C_D จะลดลงจากรถคันหน้า และจะลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะห่างที่ลดลง เนื่องจากระยะห่างเข้าใกล้คันทัน เฮดความดัน และ

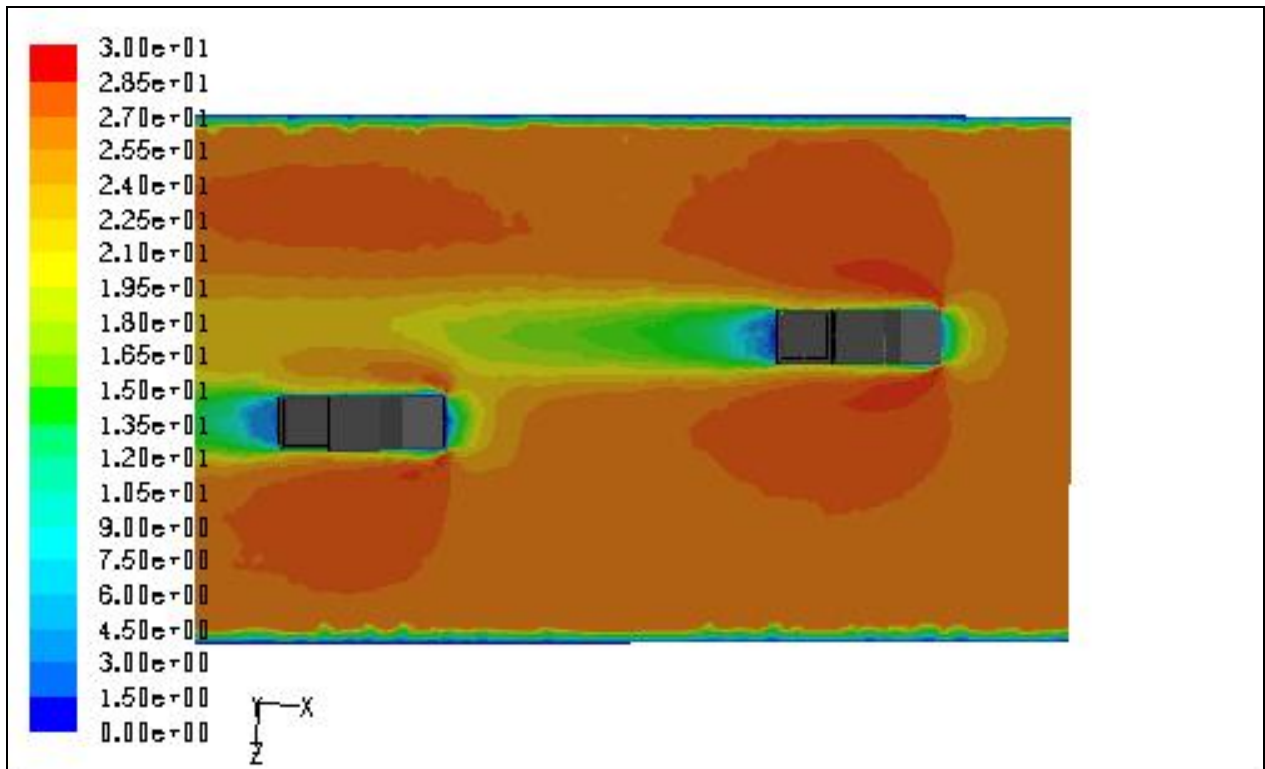
เฮดความเร็วจะลดลง จึงทำให้พลังงานที่รถคันหลังได้รับลดลงเมื่อระยะห่างที่ลดลงด้วย และจากความเร็วและ Reynolds number สูงขึ้น อิทธิพลของอากาศไหลสวนทิศทางย้อนกลับตามรูปทรงของรถ ทำให้เกิดการแยกตัว (Separation) สูงขึ้น และในส่วนที่แยกนี้ จะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน หรือเรียกว่าเกิดคลื่นวน (Wake) ที่เกิดจากอากาศไหลผ่านรถคันหน้า ทำให้ Reynolds number สูงขึ้น จึงมีส่วนทำให้ค่า C_D ลดลงด้วยเช่นกัน

2.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกเล็กขนาดจริง กรณีรถบรรทุกเล็กวิ่งตามกันเยื้องกัน

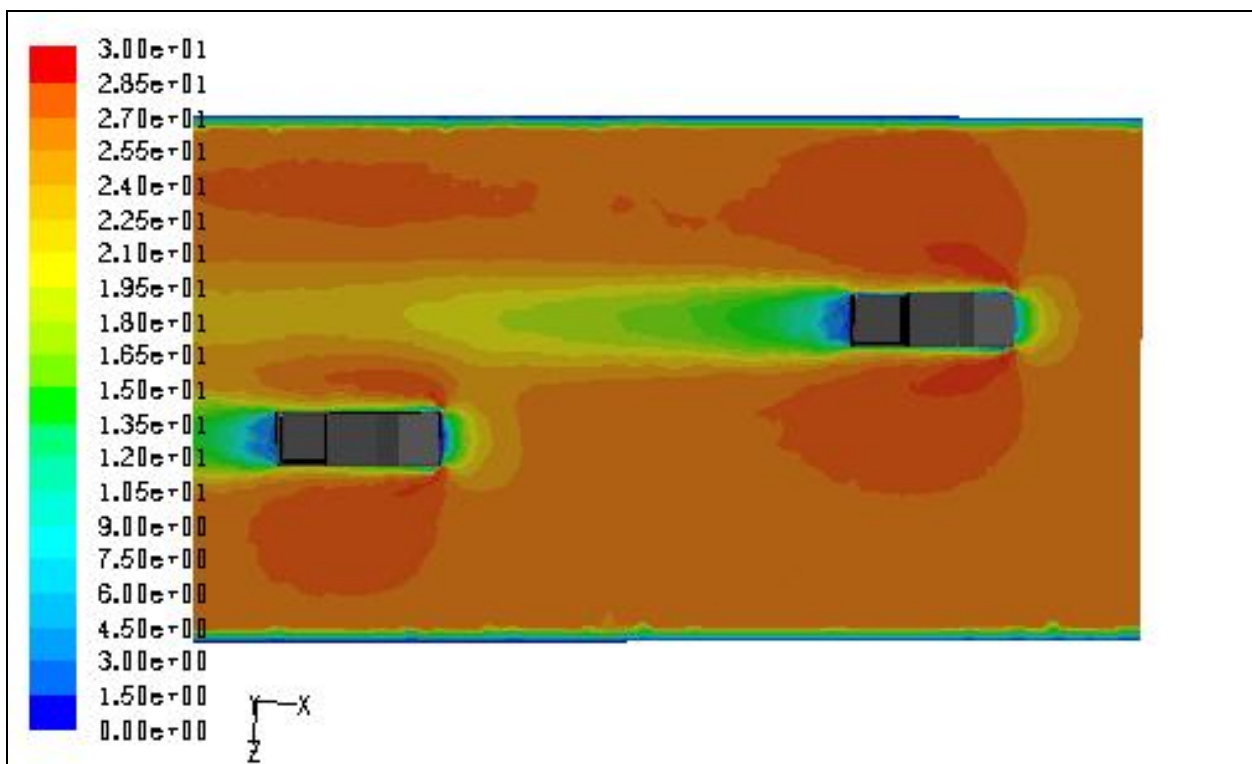
เป็นการจำลองรถขนาดจริง เพื่อตรวจสอบผลสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เปลี่ยนไปของรถคันหลังโดยที่รถทั้งสองอยู่ห่างกันตามแนวยาว (Distance X) ที่ระยะ 10, 12.5, 15, 17.5, และ 20 m และห่างกันตามแนวขวาง (Distance Z) 1, 2, 3, และ 4 m ซึ่งแต่ละตำแหน่งของรถคันหลังที่ทำการทดสอบจะเรียงลำดับเป็นหมายเลข 1 - 20 ทดสอบที่ความเร็ว 90 km/hr ความเร็วรถทั้งสองเท่ากัน ขอบเขตและเงื่อนไขในการจำลองเหมือนกรณีรถวิ่งตามกันตามแนวยาว ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน ที่ระยะห่างของรถตามแนวแกน X และ แกน Z โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันหลังจะลดลงจากคันทัน เนื่องจากรถคันหลังวิ่งเข้าใกล้สนามการไหลแบบปั่นป่วน ที่เกิดจากอากาศไหลผ่านรถคันหน้า ซึ่งมีเฮดความดัน และเฮดความเร็วที่ลดลง จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันหลังลดลงด้วย และเมื่อรถคันหลังอยู่ระยะห่างออกไปตามแนวแกน X และ แกน Z ค่าเฮดความดันและเฮดความเร็วที่รถคันหลังได้รับจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจึงเพิ่มขึ้นตามระยะที่รถคันหลังอยู่ห่างออกไปทั้งตามแนวแกน X และ แกน Z



รูปที่ 9 สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันหลังที่ระยะห่าง ระยะเยื้องต่างๆ ที่ความเร็ว 90 km/hr



รูปที่ 10 ระดับแถบสีความเร็วของอากาศ (m/s) ที่ระยะคั่นหลัง X10, Z1



รูปที่ 11 ระดับแถบสีความเร็วของอากาศ (m/s) ที่ระยะคั่นหลัง X12.5, Z2

2.5 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของการเปลี่ยนแปลง C_D

ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงต้านของกรณีต่าง ๆ ที่กล่าวมาสามารถนำมาหาค่าการสิ้นเปลืองน้ำมัน (Fuel consumption) โดยยึดรถคันหน้ามาเป็นกรณีเปรียบเทียบ หาผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้าน โดยคำนวณได้จาก

$$\Delta \overline{C_D}(V_t) = \overline{C_D}(V_t)_{baseline} - \overline{C_D}(V_t)_{modified} \quad (3)$$

$\Delta \overline{C_D}(V_t)$ คือค่าผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ความเร็วเดียวกัน โดยยึดรถคันหน้าเป็นมาตรฐาน โดยค่าที่ได้ นำไปหาค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันได้จากสมการ

$$\Delta \mu(V_t) = \frac{\rho \times ucf \times sfc \times V_t^2 \Delta \overline{C_D}(V_t) A}{0.85} \quad (4)$$

$\Delta \mu(V_t)$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ความเร็วกำหนด (L/100 km), ρ = ความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m³, ucf = ค่าแฟกเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงหน่วย เท่ากับ 1.072, sfc = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ (liters/kW-h) โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล ขนาดกระบอกสูบ 3 ลิตร ยี่ห้อโตโยต้า วีโกพีร์รินเนอร์ทดสอบ, A = พื้นที่หน้าตัดของรถ (m²), 0.85 = ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของรถ โดยคิดที่ความเร็วเฉลี่ย และเทียบกับระยะทางวิ่งที่ 100,000 km ค่าเป็นบวกแสดงว่าลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2 ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ความเร็วเฉลี่ย กรณีวิ่งตามกัน

ระยะห่าง แนวแกน (X) (m)	ที่ความเร็วเฉลี่ย (L/100 km)	วิ่งระยะทาง 100,000 km (ลิตร)	ลดอัตราการ สิ้นเปลือง น้ำมัน (%)
รถคันหน้า	-	-	-
10.0	0.4644	464.4	5.70 %
12.5	0.4197	479.7	5.15 %
15.0	0.3903	390.3	4.79 %
17.5	0.3418	341.8	4.19 %
20.0	0.2885	288.5	3.54 %

ตารางที่ 3 ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ 90 km/hr กรณีวิ่งตามกัน

ระยะห่าง แนวแกน (X) (m)	ที่ความเร็ว 90 km/hr (L/100 km)	วิ่งระยะทาง 100,000 km (ลิตร)	ลดอัตราการ สิ้นเปลือง น้ำมัน (%)
รถคันหน้า	-	-	-
10.0	0.5313	531.3	6.52 %
12.5	0.4813	481.3	5.91 %
15.0	0.4466	446.6	5.48 %
17.5	0.3939	393.9	4.83 %
20.0	0.3347	334.7	4.11 %

ตารางที่ 4 ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ 90 km/hr กรณีวิ่งเยื้องกัน

ระยะห่าง แนวแกน (X) (m)	อัตราการสิ้นเปลืองที่ความเร็ว 90 km/hr (L/100 km) ที่ระยะเยื้องต่าง ๆ แนวแกน (Z)					วิ่ง ระยะทาง 100,000 km (ลิตร)	ลดอัตรา การ สิ้นเปลือง น้ำมัน(%)
	1 m	2 m	3 m	4 m	เฉลี่ย		
รถคัน หน้า	-	-	-	-	-	-	-
10.0	0.2178	0.1509	0.1381	0.1133	0.1550	115.0	1.90 %
12.5	0.1681	0.0891	0.0558	0.0558	0.0922	92.2	1.13 %
15.0	0.1539	0.0844	0.0464	0.0373	0.0805	80.5	0.99 %
17.5	0.0998	0.0592	0.0413	0.0212	0.0554	55.4	0.68 %
20.0	0.0985	0.0551	0.0313	0.0212	0.0515	51.5	0.63 %

ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 เป็นการคำนวณคำนวณที่ความเร็ว 90 km/hr ซึ่งเป็นความเร็วที่ใช้วิ่งในสภาวะปกติ โดยผลของการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน แสดงให้เห็นว่า เมื่อรถคันหลัง วิ่งเข้าใกล้รถคันหน้ามากเท่าไร ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เกิดจาก สนามการไหลที่มีค่าเฮดพลังงานที่ต่ำกว่าจะมีผลกระทบกับรถคันหลังมากที่สุด แต่ระยะห่างที่ใกล้เกินไปก็มีความปลอดภัยเป็นหลัง ซึ่งเราสามารถนำหลักการนี้มาประยุกต์ และวิธีการขับ เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

3. สรุปและข้อเสนอแนะ

ความพยายามที่จะลดแรงต้านที่กระทำกับรถยนต์ ได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยพยายามที่จะลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับรูปทรงของรถให้มีลักษณะเพริยวลม แต่วิธีการขับที่โดยการวิ่งตามรถคันหน้า ก็เป็นวิธีหนึ่งซึ่งสามารถลดอัตราการสิ้นเปลือง ซึ่งจากการทดสอบ ที่ระยะห่าง 10 m อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถคันหลังลดลงจากคันหน้า 6.52 % (ที่ความเร็วเฉลี่ย) ในกรณีที่ 2 โดยรถคันหลังวิ่งเยื้องกัน ที่ระยะห่าง 10 m และระยะเยื้อง 1 เมตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถคันหลังลดลงจากคันหน้า 1.90 % จากงานวิจัยนี้สรุปว่า รถคันหลังที่วิ่งเข้าใกล้รถคันหน้าทั้งแนวยาวและแนวขวางมากขึ้นเท่าไร จะทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถคันหลังลดลงเท่านั้น เนื่องจากความดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Dynamics Pressure) จะลดลงเมื่อเข้าใกล้คันหน้า ซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการลด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถยนต์ได้อีกวิธีหนึ่ง

ค่าที่ได้จากการทดสอบอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจาก CFD ไม่สามารถที่จะกำหนดสภาวะ คุณสมบัติได้เหมือนจริงทุกประการ และการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันให้แม่นยำนั้นทำได้ค่อนข้างยาก ถึงแม้จะควบคุมสภาวะการขับให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนงานวิจัย ประจำปี 2550

เอกสารอ้างอิง

Spalart, P.R. 2000. "Strategies for turbulence modeling and simulation". International Journal of Heat

- and Fluid Flow. 21: 252-263.
- Horinouchi, N. 1995. "Numerical Investigation of Vehicle Aerodynamics with Overlaid Grid System". SAE 950628.
- Van Dam, C. P. 1999. "Recent experience with different methods of drag prediction". Progress in Aerospace Sciences. 35: 751-798.
- Prasad, A. and Williamson, C.H.K. 1997. "A method for the reduction of bluff body drag". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 69-71: 155-167.
- Grosche, F.R. and Meier, G.E.A. 2001. "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: 1201-1218.
- Muyl, F., Dumsa, L. and Herbert, V. 2004. "Hybrid method for aerodynamic shape optimization in automotive industry". Computers & Fluids. 33: 849-858
- Brownd, F. 2005. "Reducing aerodynamics drag and fuel consumption". Advanced Transportation Workshop Stanford University.
- Leuschen, J. and Cooper, K.R. 2006. "Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype, Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers". 2006 SAE International, 06CV-222.