

การออกแบบรถโดยสารระหว่างเมือง (มาตรฐาน 1) ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล Design of a Motor-Coach (Standard No.1) by Computational Fluid Dynamics Technique

รักษนาท ตระกูลมีนักร¹, สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ^{1*} และ บุญลือ สวัสดิ์มงคล¹

¹ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก (CTAE) สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมยานยนต์และพลังงาน
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาธนาธิปไตย แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
*ติดต่อ: E-mail: sumol.energy@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศพลศาสตร์ผ่านรูปร่างภายนอกของรถโดยสารชั้นเดียวโดยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เพื่อออกแบบและพัฒนารูปร่างภายนอกและการจัดเรียงภายในของรถโดยสารระหว่างเมือง (มาตรฐาน 1) โดยใช้ซอฟต์แวร์ CAD และ ANSYS Fluent 14.5 เป็นเครื่องมือในการจำลองการไหลของอากาศและแรงต้านของอากาศผ่านรถโดยสารที่ความเร็ว 60 – 140 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแบบจำลองได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Ahmed body บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วนด้วยแบบจำลอง $k-\epsilon$ Realizable – Standard Wall Functions ซึ่งได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Ahmed body รถโดยสารที่ออกแบบใหม่จำนวน 3 รูปแบบถูกนำมาเปรียบเทียบกับรถโดยสารที่มีใช้อยู่ปัจจุบันในประเทศไทย จากการคำนวณพบว่า ที่อุณหภูมิอากาศ 30°C ความเร็วลม 80 กม./ชม. รถโดยสารที่มีใช้อยู่ปัจจุบันมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเท่ากับ 0.355 และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกเท่ากับ -0.150 ผลจากการออกแบบและปรับปรุงรูปร่างภายนอกของรถโดยสารระหว่างเมืองทำให้รถโดยสารรูปแบบใหม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศลดลงเหลือ 0.282 และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกมีค่าเท่ากับ -0.256 ตามลำดับ ส่งผลต่อการลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการออกแบบสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยภายในห้องโดยสารรูปแบบใหม่เพื่อให้เกิดความสะดวกสบาย เป็นไปตามกฎหมายที่ว่าด้วยมาตรฐานรถโดยสารภายในประเทศไทย

คำหลัก: รถโดยสาร, พลศาสตร์ของไหล, อากาศพลศาสตร์, สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ, สัมประสิทธิ์แรงยก

Abstract

This research aims to study the aerodynamic through the external shape of a motor-coach by computational fluid dynamics technique to design and develop the external shape and arrangement of the interior of intercity bus (Standard 1). CAD and ANSYS Fluent 14.5 were used as a tool to simulate the airflow and drag force through the bus speed from 60 to 140 km/hr. The simulations were validated with the Ahmed Body's experiments based on turbulence flow using $k-\epsilon$ Realizable–Standard Wall Functions model. Three new models were compared to currently buses in Thailand. From the calculations, at air temperature 30°C wind speed 80 km/hr. drag and lift coefficient of currently buses were 0.355 and -0.150 respectively. From the new design and develop, it can decreased drag coefficient of new model to 0.282 and lift coefficient was -0.256. These results can reduce fuel consumption and energy efficiency. The arrangement of the interior design to achieve comfort is according to the law on bus standards for Thailand.

Keywords: Motor-Coach, Computational Fluid Dynamics, Aerodynamics, Drag Coefficient, Lift Coefficient

CST-36

1. บทนำ

จากสถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิงทั่วโลกมีปริมาณลดลง ส่งผลให้เกิดวิกฤตการณ์พลังงานโลกในปัจจุบัน สาเหตุเนื่องมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก สำหรับประเทศไทยในด้านการคมนาคมขนส่งทางบกนับว่ามีบทบาทสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว และการคมนาคมขนส่งผู้โดยสารภายในประเทศซึ่งถือว่าเป็นจุดแข็งในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยให้มีความเจริญก้าวหน้า เนื่องจากประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community, AEC) ดังนั้นการคมนาคมขนส่งภายในประเทศและระหว่างประเทศจึงมีส่วนสำคัญต่อการเดินทางของนักท่องเที่ยว โดยเฉพาะการเดินทางด้วยรถโดยสารระหว่างเมืองซึ่งมีอัตราการให้บริการในปริมาณสูง

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบรถโดยสาร คือ กระบวนการผลิต ดังนั้นการออกแบบต้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงเสมอ ทั้งนี้เพื่อช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของรถโดยสาร อีกทั้งต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อค่าแรงต้านอันจะนำไปสู่การเพิ่มภาระการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น สภาพแวดล้อมของอากาศ การก่อกวนจากล้อ แรงต้านทานจากพื้นผิวถนน เป็นต้น ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถโดยสาร ด้วยวิธีการต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบรูปทรงรถโดยสารแบบใหม่ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์เป็นรถโดยสารรุ่น Daewoo (FX-212) ที่ใช้วิ่งด้วยความเร็วสูง การออกแบบลดพื้นที่หน้าตัดของรถบริเวณด้านหน้าและด้านหลังให้มีความเฉียงลง รวมถึงการเพิ่มความโค้งมนของขอบรถในบริเวณส่วนของด้านหน้า หลังคา และด้านท้ายของรถ จะช่วยลดแรงต้านของอากาศ ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ C_D ลดลงจาก 0.457 เป็น 0.332 คิดเป็น 27.4% [1] การออกแบบบริเวณส่วนหน้ารถให้มีลักษณะที่โค้งมนพร้อมกับติดตั้งสปอยเลอร์ที่ด้านหน้าของรถ เพื่อช่วยปรับเปลี่ยนลักษณะการปะทะของอากาศ รวมถึงเพิ่มความลาดเอียงของบริเวณด้านท้ายรถและด้านข้าง จะช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศได้ถึง 30-34% [2] ยิ่งไปกว่านั้นในการออกแบบรถโดยสารรูปทรงหยดน้ำ (Tear Drop)

ที่มีความโค้งมนตั้งแต่บริเวณส่วนหน้ารถไปจนถึงท้ายรถก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ C_D ลดลงจาก 0.76 เป็น 0.19 คิดเป็น 73% [3] ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบรถโดยสารสองชั้นได้ด้วย อีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือ การใช้โครงสร้างคัสชีของรถโดยสารประเภทคัสชีพื้นต่ำ (Low Floor Chassis) ซึ่งสามารถช่วยลดความสูงของรถโดยสารลงได้ จึงส่งผลต่อการลดลงของพื้นที่หน้าตัด (Frontal Area) ทำให้แรงต้านของอากาศลดลงตามไปด้วย [4] ไม่เพียงแต่การออกแบบปรับปรุงรูปทรงภายนอกของรถเท่านั้นที่สามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศได้ การติดตั้งอุปกรณ์เสริมในรูปแบบต่าง ๆ ก็มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศอากาศด้วยเช่นกัน เช่น การติดกันชนด้านหลัง (Rear Bumper) ติดกำบังล้อ (Fender) ติดที่ปิดกระบะ (Covered Pick - up Box) ติดอุปกรณ์บังลมที่ด้านหลัง (Adjust on Driver Roof) ติดอุปกรณ์ป้องกันแมลงที่ด้านหน้า (Bug Deflector) และติดอุปกรณ์วางของบนหลังคา (Roof Rack) [5]

จากการผลิตรถโดยสารในประเทศไทยพบว่า การออกแบบรูปทรงรถภายนอกของโดยสารยังมีการนำความรู้ทางด้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) และการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาช่วยในการออกแบบไม่มากนัก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษารูปแบบการไหลของอากาศที่ผ่านรูปทรงภายนอกของรถโดยสารโดยชั้นเดียวมาตรฐาน 1 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของรถโดยสาร โดยทำการศึกษาดูด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล เพื่อแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการไหลของอากาศที่กระทำต่อรถโดยสารชั้นเดียวได้อย่างชัดเจน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

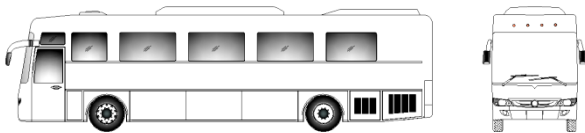
2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับรถโดยสาร (มาตรฐาน 1)

การขนส่งทางบกของประเทศไทยได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับประเภทรถโดยสารตามการใช้งานให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2524) ตามพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 โดยกำหนดให้ขนาดของรถโดยสารมาตรฐาน 1 หรือรถปรับอากาศพิเศษ มีความกว้างของตัวถังรถมากที่สุดต้องไม่เกิน 2.55 เมตร ความ

CST-36

ยาวต้องไม่เกิน 15.00 เมตร และความสูงภายนอกของตัวรถต้องไม่เกิน 4.00 เมตร นอกจากนี้ได้กำหนดอายุการใช้งานของรถโดยสารต้องไม่เกิน 14 ปี โดยเมื่อให้บริการครบ 7 ปีแล้ว จะต้องนำรถไปปรับปรุงสภาพรถใหม่ ให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางบก [6]

รถโดยสารมาตรฐาน 1 แบ่งออกเป็น 3 หมวด ได้แก่ รถโดยสารมาตรฐาน 1ก หรือ ม.1(ก) ชนิดไม่เกิน 24 ที่นั่ง รถโดยสารมาตรฐาน 1ข หรือ ม.1(ข) ชนิดไม่เกิน 38 ที่นั่ง และรถโดยสารมาตรฐาน 1พ หรือ ม.1(พ) ชนิดไม่เกิน 32 ที่นั่ง โดยกำหนดให้ห้องโดยสารเป็นสัดส่วนแยกออกจากห้องพนักงานขับรถ และสิ่งอำนวยความสะดวกภายในรถประกอบด้วย เครื่องปรับอากาศ ที่เก็บสัมภาระโดยเฉพาะ ช่องเก็บของด้านบนศีรษะ การจัดวางที่นั่งสามารถปรับเอนนอนได้ไม่น้อยกว่า 135° มีระบบเบาะหวดไฟฟ้า มีจอทีวีส่วนตัว (People's Television, PTV) มีห้องสุขาภัณฑ์ มีบริการอาหารและเครื่องดื่ม และมีพนักงานต้อนรับ [7]



รูปที่ 1 รถโดยสารมาตรฐาน 1 (ม.1ก, ม.1ข, ม.1พ)

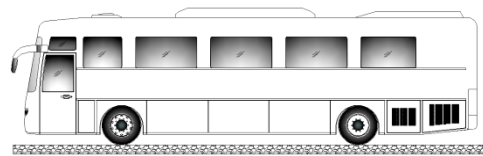
สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการศึกษารูปทรงของรถโดยสาร (มาตรฐาน 1) หรือรถปรับอากาศพิเศษ ซึ่งเป็นรถโดยสารชั้นเดียวแบบพื้นสูง (High Floor Chassis) ที่มีรูปทรงภายนอกดูโดดเด่นต่อผู้พบเห็น และเป็นที่ยอมรับของผู้โดยสารใช้ในการเดินทางระหว่างเมือง ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 จากข้อมูลเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ใช้บริการขนส่งทางบกกระหว่างบริษัทนครชัยแอร์และบริษัทสมบัติทัวร์ สรุปได้ว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่เลือกใช้บริการของบริษัทนครชัยแอร์มากกว่าบริษัทสมบัติทัวร์ [8] จากรูปทรงรถโดยสารในรูปที่ 1 มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันด้วยกันหลายหลายบริษัท เช่น นครชัยแอร์ นครชัยทัวร์ ภัสสรชัยทัวร์ เทียนไชยแอร์ และแอร์ชัยภูมิ เป็นต้น



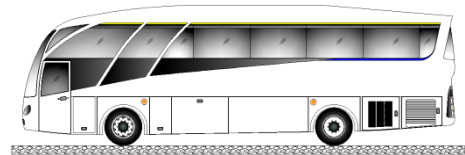
รูปที่ 2 รถโดยสารมาตรฐาน 1 ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบปรับปรุงรูปทรงรถโดยสารแบบใหม่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์ที่ดีขึ้น และสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบรถโดยสารประหยัดพลังงานได้ในอนาคต

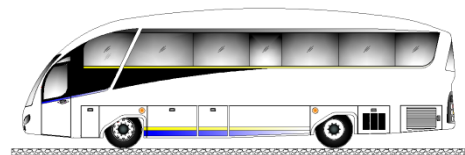
จากแนวทางการออกแบบรูปทรงของรถโดยสาร (มาตรฐาน 1) แบบใหม่ ได้คำนึงถึงหลักการไหลของอากาศพลศาสตร์ที่ผ่านรูปทรงภายนอกของรถโดยสาร โดยออกแบบรูปทรงรถโดยสารให้มีลักษณะที่เพรียวลม ลดแรงลมปะทะที่บริเวณด้านหน้าของรถ ด้านหลังคา รวมถึงด้านท้ายของรถ และซุ้มล้อ เป็นต้น เพื่อให้เกิดการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ตลอดจนทำให้อากาศไหลผ่านรูปทรงรถได้อย่างราบเรียบและคล่องตัวยิ่งขึ้น ในการออกแบบรถโดยสารแบบใหม่ ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงรูปทรงรถโดยสารมาตรฐาน 1 ที่มีใช้อยู่ปัจจุบันในประเทศไทยคือแบบจำลอง Motor-Coach 0 แล้วศึกษาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Motor-Coach 1 ถึง Motor-Coach 3 ซึ่งเป็นแบบรถโดยสารที่ได้รับการออกแบบใหม่ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3 - 6 ตามลำดับ



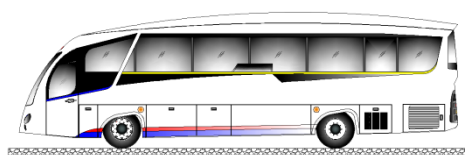
รูปที่ 3 แบบจำลองรถโดยสาร Motor – Coach 0



รูปที่ 4 แบบจำลองรถโดยสาร Motor – Coach 1



รูปที่ 5 แบบจำลองรถโดยสาร Motor – Coach 2



รูปที่ 6 แบบจำลองรถโดยสาร Motor – Coach 3

CST-36

3. ทฤษฎีการคำนวณ

ในการศึกษารูปแบบการไหลของอากาศผ่านรูปทรงภายนอกของรถโดยสาร ได้ใช้ทฤษฎีการไหลแบบภายนอกของเทอร์โมฟลูอิดส์ (Thermofluids) มาทำการศึกษาคำนวณเพื่ออธิบายการไหลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยพิจารณาการไหลที่เป็นอากาศแบบมีความเร็วเป็นอิสระ (Free-stream Velocity) และวิเคราะห์การไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow)

เมื่ออากาศไหลผ่านภายนอกของรถโดยสาร จะเกิดแรงที่กระทำต่อรูปทรงของรถสองแบบ คือ แรงปะทะหรือแรงต้าน (Drag Force) และแรงยกและแรงกด (Lift Force and Down Force) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการนี้ [9]

$$F_D = C_D \frac{\rho A V^2}{2} = 0.5 C_D \rho A V^2 \quad (1)$$

$$F_L = C_L \frac{\rho A V^2}{2} = 0.5 C_L \rho A V^2 \quad (2)$$

กรณีที่ F_D คือ แรงต้านอากาศ (N) F_L คือ แรงยก (N) C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ C_L คือ สัมประสิทธิ์แรงยก A คือ พื้นที่หน้าตัดขนานกับทิศทางการไหลของของไหล (m^2) ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3) และ V คือ ความเร็วของลม (m/s)

กำลังขับเคลื่อนบนถนน (P_r) กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ไปบนถนนเพื่อเอาชนะความต้านการกลิ้งของล้อและแรงต้านอากาศ หาได้จากสมการนี้ [10]

$$P_r = (2.73 C_R M_V + 0.0126 C_D A_V S_V^2) S_V \times 10^{-3} \quad (3)$$

กรณีที่ P_r คือ กำลังขับเคลื่อนบนถนน (kW) C_R คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุนของล้อ (ถนนแอสฟัลต์ = 0.020) M_V คือ มวลของรถโดยสาร (kg) C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ A_V คือ พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ (m^2) ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ ($1.165 kg/m^3$, อุณหภูมิ $30^\circ C$) S_V คือ ความเร็วของลม (km/hr)

กำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านอากาศ ระหว่างแรงต้านอากาศของรถยนต์กับความเร็วลมหรือรถยนต์สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$Power = F_{D_{Motor-Coach}} \times V_{Motor-Coach} \quad (4)$$

กรณีที่ Power คือ กำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านอากาศ (kW) $F_{D_{Motor-Coach}}$ คือ ค่าแรงต้านอากาศของแต่ละ

แบบจำลอง $V_{Motor-Coach}$ คือ ความเร็วลม (m/s) เท่ากับ 16.67, 22.22, 27.78, 33.33 และ 38.89 m/s

การคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถโดยสาร สามารถคำนวณหาได้จากโปรแกรมช่วยในการคำนวณคือ "Aerodynamic & rolling resistance, power & MPG calculator" เพื่อความสะดวกและให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยการกำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [11] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการกำหนดค่าตัวแปรของแบบจำลอง Motor-Coach 0 ที่ความเร็ว 80 กม./ชม.

ลำดับ	ตัวแปร	ค่าตัวแปร
1	Vehicle weight (kg)	17,200 kg.
2	Coefficient of rolling resistance	0.020
3	Coefficient of drag	Model 0 - 3
4	Frontal area (m^2)	Model 0 - 3
5	Fuel energy density (Wh/US gal.)	37,953
6	Engine efficiency (%)	0.47
7	Drivetrain efficiency (%)	0.94
8	Air Density (kg/m^3)	1.165

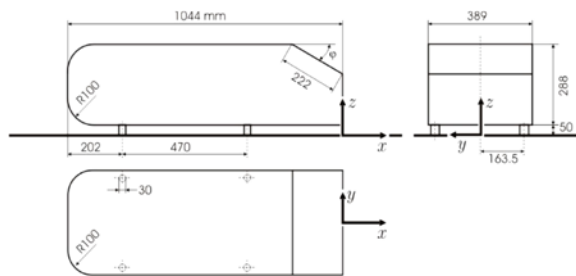
4. การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหล

4.1 การทดสอบซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.5 ได้ถูกนำมาใช้คำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและค่าสัมประสิทธิ์แรงยกของรถโดยสาร เพื่อช่วยประหยัดเวลาในการทำงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย และช่วยในการแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจน ทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและสัมประสิทธิ์แรงยกที่กระทำกับรูปทรงของ Ahmed body ที่มีท้ายลาดเอียง 25° ด้วยรูปแบบ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมีผลจากการทดลองภายในอุโมงค์ลม แล้ววิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดลองของซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent [12] จากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์ร่วมกับสมการนาเวียร์-สโตกส์ (RANES) สมการโมเมนตัม แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบ Standard $k-\epsilon$ และ Realizable $k-\epsilon$ และวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีผลต่างแบบ SIMPLE METHOD ร่วมกับการใช้วิธีผลต่างในการคำนวณแบบ QUICK เนื่องจากเป็น

CST-36

วิธีที่ให้ความถูกต้องและเสถียรมากกว่าวิธี First Order Upwind รวมถึงใช้ระยะเวลาในการคำนวณน้อยกว่า [13] โดยตั้งสมมติฐานการไหลของอากาศเป็นแบบมีความเร็วสม่ำเสมอและเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ การสร้างเมช (Mesh) ของแบบจำลอง Ahmed body ถูกกำหนดให้เมชที่อยู่ใกล้กับแบบจำลอง เป็นเมชที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็กความละเอียดสูง (Fine) มีจำนวนเมชทั้งหมด 5 เลเยอร์ชั้น ซึ่งเป็นไปตามคำแนะนำของ Marco Lanfrit [14] ส่วนเมชที่อยู่รอบแบบจำลอง Ahmed body ที่ห่างออกไปตามขนาดของโดเมน (Domain) ยาว 15 เมตร กว้าง 1.87 เมตร และสูง 1.4 เมตร ถูกกำหนดให้เมชมีลักษณะเป็นแบบหยาบ (Coarse) มีรูปแบบเป็น Tri/Tet (กริดรูปพีระมิด) ทั้งหมดของโดเมนมีจำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 596,966 เอลิเมนต์ ผลจากการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 7 รูปทรงของ Ahmed body slant angles 25°
(ที่มา: http://www.cfd-online.com/Wiki/Ahmed_body)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดลองอุโมงค์ลมกับ CFD

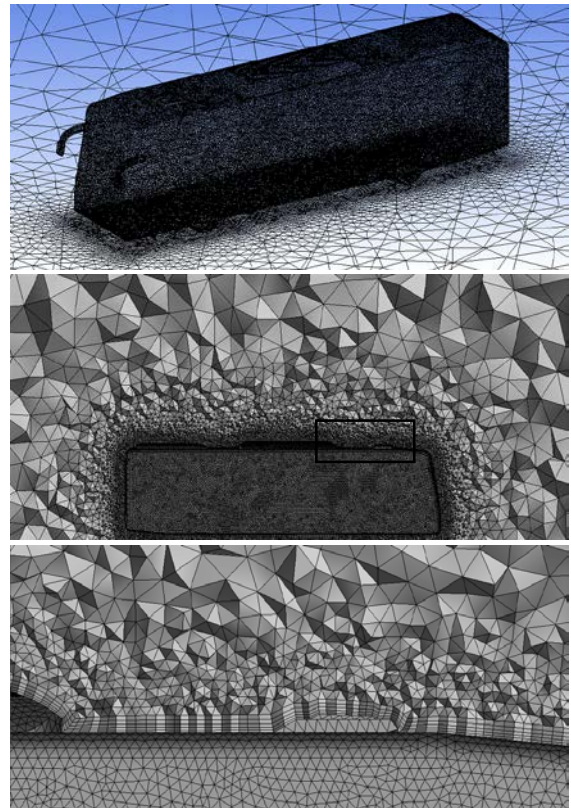
รูปแบบ	สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D)	สัมประสิทธิ์แรงยก (C_L)	ค่าคลาดเคลื่อน (%) (C_D)
Experimental	0.299	0.345	ค่าอ้างอิง
Standard $k-\epsilon$	0.457	0.314	52.8%
Realizable $k-\epsilon$	0.349	0.339	16.7%

จากการทดลองพบว่า แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\epsilon$ ให้ผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับการทดลองในอุโมงค์ลมมากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ คลาดเคลื่อนเท่ากับ 16.7%

4.2 การสร้างกริดของแบบจำลองรถโดยสาร

แบบจำลองของรถโดยสารและขนาดโดเมน ถูกสร้างเป็นแบบ 3 มิติ กำหนดให้เมชแรกที่สัมผัสหรืออยู่ใกล้กับพื้นผิวของแบบจำลองรถโดยสาร เป็นแบบเมชที่มีความ

ละเอียดสูง และเมชที่ห่างออกไปมีลักษณะที่หยาบขึ้นตามขนาดโดเมน ซึ่งเป็นไปตามการทดลองของแบบจำลอง Ahmed body 25° รายละเอียดแสดงดังรูปภาพที่ 8



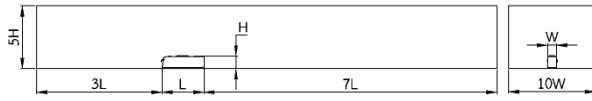
รูปที่ 8 ลักษณะของเมชและกริดบนพื้นผิวของรถโดยสาร

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองรถโดยสารถูกพิจารณาให้มีความใกล้เคียงกับการทดลองในอุโมงค์ลม โดยกำหนดรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความเร็วลมที่ทางเข้า (Inlet) หน่วย (m/s) เท่ากับ 60 km/hr (16.67), 80 km/hr (22.22), 100 km/hr (27.78), 120 km/hr (33.33) และ 140 km/hr (38.89)
2. ความดันของลมที่ทางออก (Outlet) มีสภาพคงที่
3. สภาพพื้นผิวของรถโดยสารไม่มีการลื่นไถล
4. สภาพพื้นผิวดถนน (Road) ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีการลื่นไถล
5. โดเมนรอบตัวรถถูกกำหนดด้วยชื่อทิศตะวันออก (East) ด้านทิศตะวันตก (West) และทิศเหนือ (North)
6. โดเมนทั้งหมดมีความยาว 11 เท่าของความยาวรถ ความกว้าง 10 เท่าของความกว้างรถ และความสูง 5 เท่าของความสูงรถ ขนาดของโดเมนถูกกำหนดให้มีขนาดมาตราส่วนเป็น 1:1 แสดงดังรูปที่ 9
7. ที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของประเทศไทยถูกกำหนดเป็น 30°C ที่ Inlet มีความหนาแน่นอากาศ (Density, ρ)

CST-36

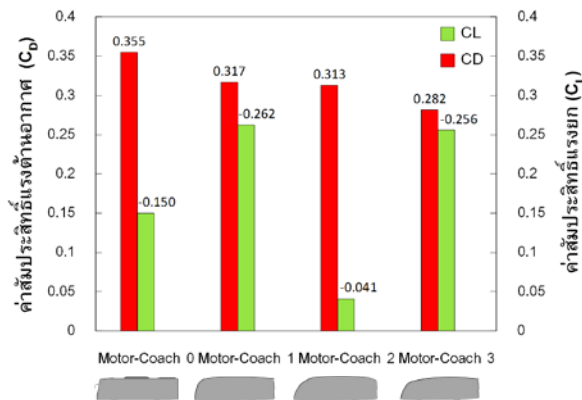
เท่ากับ 1.165 kg/m^3 และมีค่าความหนืดไดนามิกส์ (Dynamics Viscosity, μ) เท่ากับ $1.86 \times 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$



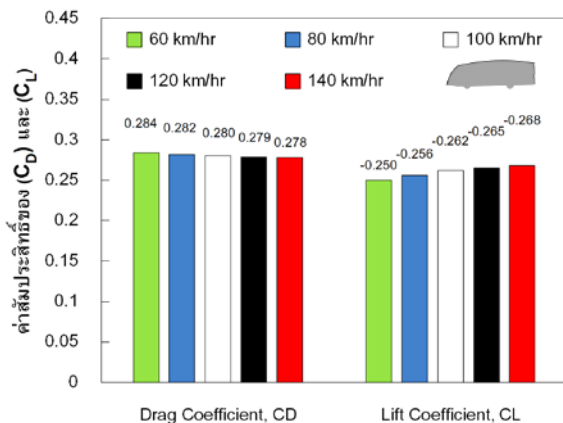
รูปที่ 9 ขนาดของโดเมน มาตราส่วน 1:1

5. ผลการทดลองแบบจำลองรถโดยสาร

จากการออกแบบรถโดยสารแบบใหม่ โดยการพัฒนาและปรับปรุงรูปทรงของรถโดยสารมาตรฐาน 1 ที่มีใช้งานอยู่ปัจจุบันในประเทศไทย (Motor-Coach 0) จนได้แบบจำลอง Motor-Coach 1 ถึง Motor-Coach 3 จากผลการทดลองทางพลศาสตร์ของไหลพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_D) และค่าสัมประสิทธิ์แรงยก (C_L) ที่ได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ C_D และ C_L ที่ 80 กม./ชม.

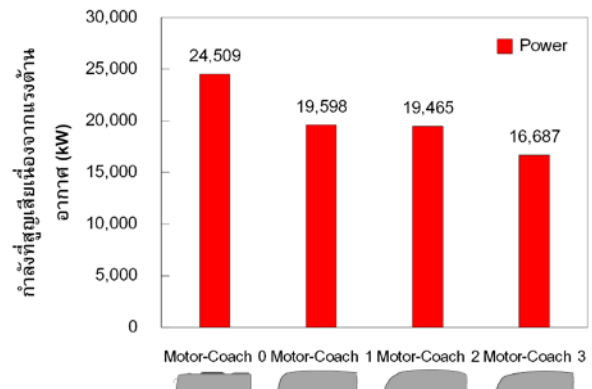


รูปที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์ C_D และ C_L ของ Motor-Coach 3

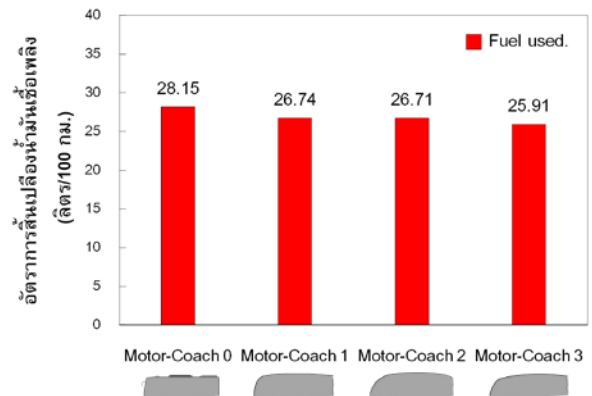
จากผลการทดลองสังเกตได้ว่า แบบจำลองรถโดยสาร Motor-Coach 3 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศน้อยที่สุดเท่ากับ 0.282 และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกเท่ากับ -0.256 ที่ความเร็ว 80 กม./ชม. เมื่อพิจารณาผลจากการลดพื้นที่หน้าตัดของรถโดยสารพบว่า แบบจำลอง Motor-

Coach 3 มีพื้นที่หน้าตัดของรถน้อยที่สุดคือ 9.25 m^2 เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Motor-Coach 0 ที่มีพื้นที่หน้าตัดรถเท่ากับ 10.8 m^2 พบว่า มีพื้นที่หน้าตัดลดลง 14.35% จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของแบบจำลอง Motor-Coach 3 ลดลงคิดเป็น 20.56%

จากข้อกำหนดและกฎหมายบังคับที่เกี่ยวกับความเร็วจำกัดตามพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 ได้กำหนดความเร็วของรถบรรทุกและรถโดยสารไว้ไม่เกิน 80 กม./ชม. ดังนั้น เมื่อนำแบบจำลองไปคำนวณหาค่ากำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านอากาศและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสารที่ความเร็ว 80 กม./ชม. พบว่า ค่ากำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านอากาศของแบบจำลอง Motor-Coach 3 มีค่าลดลงเท่ากับ 16,687 kW เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Motor-Coach 0 คิดเป็น 31.91% และแบบจำลอง Motor-Coach 3 มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Motor-Coach 0 คิดเป็น 7.95% โดยใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงไป 25.91 ลิตร/100 กม. รายละเอียดแสดงในรูปที่ 12 และ 13



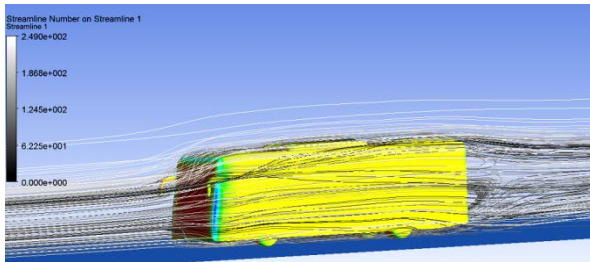
รูปที่ 12 กำลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านอากาศ ที่ความเร็ว 80 กม./ชม.



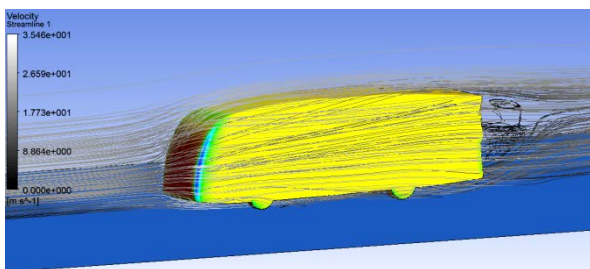
รูปที่ 13 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสาร ที่ความเร็ว 80 กม./ชม.

CST-36

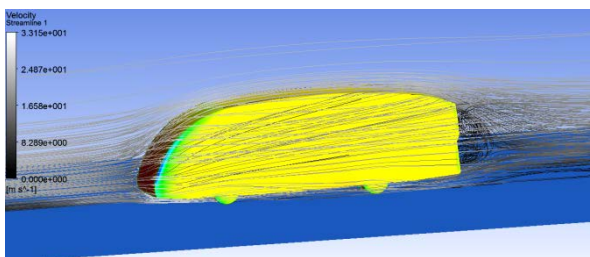
ลักษณะเส้นการไหลของกระแสลม กรณีที่ลมปะทะด้านหน้าของรถโดยสารที่ความเร็ว 80 กม./ชม. แสดงดังในรูปที่ 14 – 17 ตามลำดับ



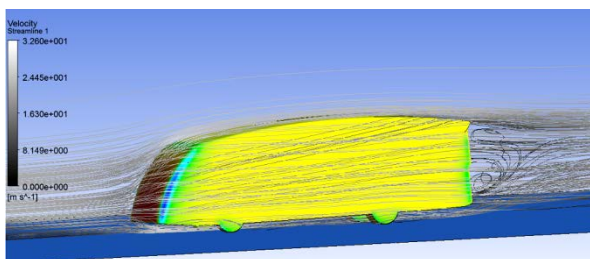
รูปที่ 14 เส้นการไหลของกระแสลม (Motor-Coach 0)



รูปที่ 15 เส้นการไหลของกระแสลม (Motor-Coach 1)



รูปที่ 16 เส้นการไหลของกระแสลม (Motor-Coach 2)



รูปที่ 17 เส้นการไหลของกระแสลม (Motor-Coach 3)

5.1 รายละเอียดการออกแบบ Motor-Coach 3

รายละเอียดของการออกแบบ แบบจำลองรถโดยสารมาตรฐาน 1 (Motor-Coach 3) มีดังนี้

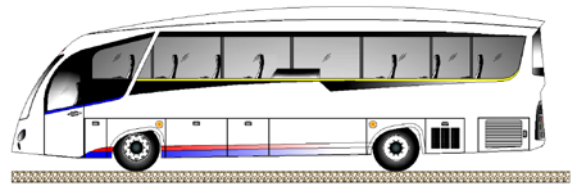
- ออกแบบกระจกหน้ารถ ให้มีความโค้งเอียง
- บริเวณขอบมุมต่างๆ ออกแบบให้มีความโค้งมน
- ออกแบบกำแพงล้อ ให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกขึ้น
- ออกแบบท้ายรถใหม่ เพื่อลดพื้นที่ห้องเครื่องยนต์

- ออกแบบหลังคารถให้มีความโค้งมน ไปยังด้านท้ายของตัวรถ เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็กและใหญ่ เศษใบไม้ น้ำที่เกาะบนหลังคารถ และช่วยในเรื่องของการทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น

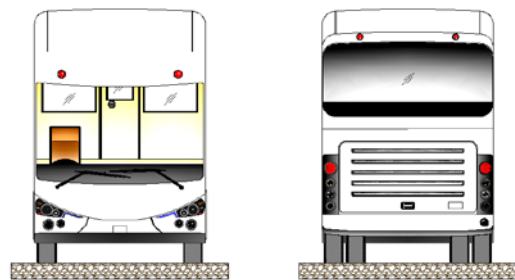
- ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ไว้ที่ด้านท้ายของรถ

- ช่วงล่างของรถ ออกแบบให้มีความเร็วตั้งแต่หน้ารถไปยังด้านท้ายของรถ เพื่อให้อากาศไหลผ่านได้สะดวก

- ห้องโดยสารได้รับการออกแบบใหม่ โดยมีการจัดวางที่นั่งของผู้โดยสารแบบ 2+2 ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ตลอดความยาวของรถมีจำนวน 32 ที่นั่ง สามารถปรับเอนนอนได้ไม่น้อยกว่า 135° ภายในรถมีห้องสุขภัณฑ์ ห้องพนักงาน ห้องเตรียมอาหารและเครื่องดื่ม แสดงดังรูปที่ 18 - 20



รูปที่ 18 แบบจำลองรถ Motor – Coach 3 ด้านข้าง



รูปที่ 19 แบบจำลอง Motor – Coach 3 ด้านหน้า – หลัง



รูปที่ 20 แบบจำลอง Motor – Coach 3 จาก AutoCAD 3D

6. สรุป

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศผ่านรูปทรง Ahmed body 25° ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเปรียบเทียบกับผลการทดลองในอุโมงค์ลม จากผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองในอุโมงค์ลม ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองของรถโดยสาร Motor - Coach 3 ที่ได้รับการออกแบบรูปทรงแบบใหม่ มาคำนวณ

CST-36

หาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศและค่าสัมประสิทธิ์แรงยกด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล พบว่า

ที่ความเร็ว 80 กม./ชม. แบบจำลองของรถโดยสาร Motor-Coach 3 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศน้อยที่สุดเท่ากับ 0.282 ลดลงจากแบบจำลอง Motor-Coach 0 ซึ่งเป็นรถโดยสารรูปแบบเดิม คิดเป็น 20.56% ส่งผลทำให้เกิดการใช้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง และเป็นปัจจัยหนึ่งในการช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้

ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกมีค่าเท่ากับ -0.256 ซึ่งเพิ่มขึ้น 70.66% มีเครื่องหมายติดลบเกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงแรงกดที่กระทำกับรูปทรงของรถโดยสาร โดยแรงกดที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้ในเรื่องของการควบคุมรถทำให้รถมีความเสถียรในด้านการทรงตัวและช่วยให้รถมีแรงยึดเกาะถนนมากขึ้น

กำลังจากเครื่องยนต์ที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านอากาศของแบบจำลอง Motor-Coach 3 มีค่าลดลงคิดเป็น 31.91% และ กำลังขับเคลื่อนบนถนนที่เอาชนะความต้านการกลิ้งของล้อและแรงต้านอากาศลดลง คิดเป็น 7.92%

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถโดยสารแบบใหม่ Motor-Coach 3 มีค่าลดลง คิดเป็น 7.95%

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และขอขอบคุณบริษัท พานทองกลการ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ศึกษาดูงาน และให้ข้อมูลที่เป็ประโยชน์เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Chul-Ho KIM. (2011). A Streamlined Design of a High-speed coach for Fuel Savings and Reduction of Carbon Dioxide. C.Kim / International Journal of Automotive Engineering 2. pp. 101-107.
[2] A.Muthuvel, M.K.Murthi, Sachin.N.P, Vinay.M.Koshy, S.Sakthi, E.Selvakumar (2013). "Aerodynamic exterior body design of bus" International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 7.
[3] Anush Antony, Mr. Umesh (2012). Tear drop design of Double Decker Bus for Improved Aerodynamics. MSc (Eng) in APD. May2012.

[4] Arun Raveendran, D. Rakesh, S. N. Sridhara. (2009). Exterior Styling of an Intercity Transport Bus for Improved Aerodynamic Performance. SASTECH. Volume 8, Issue 2.
[5] ปรัชญา มุขดา และอนุชา สายสร้อย (2554). อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันกับลักษณะอากาศพลศาสตร์ของรถกระบะที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่าง ๆ, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ตุลาคม – ธันวาคม 2554, หน้า 40 -51.
[6] พฤกษ์ ด่านจิตรตรง, จักรพรรดิ โสภา และ ภาววิ ไชยศิลป์. (2557). การกำหนดอายุรถโดยสาร, นิตยสาร Bus&Truck, ฉบับที่ 242, หน้า 12.
[7] มาตรฐานรถทัวร์ไทย (2553), แหล่งที่มา <http://www.rottourthai.com/showthread.php?6627>, มาตรฐานรถทัวร์ไทย. เข้าดูเมื่อวันที่ 22/11/2557
[8] บุรฉกร สุภาสี (2555). เปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ใช้บริการขนส่งทางบก ระหว่างบริษัทนครชัยแอร์และบริษัทสมบัติทัวร์, เข้าดูเมื่อวันที่ 22/11/2557, แหล่งที่มา http://library.cmu.ac.th/faculty/econ/index.php?option=com_content&task=view&id=922&Itemid=620.
[9] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2548). เทอร์โมฟลูอิด. C & R Book, กรุงเทพมหานคร, หน้า 197-206.
[10] เฮย์วูด, จอห์น บี. (2543). เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ. (แปลจาก Internal Combustion Engine โดย; รศ.วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร). กรุงเทพฯ, วิทยพัฒน์.
[11] อำพล ชื่อตรง, ชัชชัย เสริมพงษ์พันธ์, ธงชัย เสริมพงษ์พันธ์ (2551). วิศวกรรมยานยนต์, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
[12] W. Meile, G. Brenn, A. Reppenhagen, B. Lechner, A. Fuchs (2011). Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the Ahmed body, CFD LETTERS, VOL 3, NO 1.
[13] นารินทร์ ศิริบุญลักษณ์กุล, เอกชัย จันทสาโร, วรณัฏฐ์ จันทสาโร (2547). การประยุกต์ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด $k-\epsilon$ ในการไหลที่มีอนุภาคเคลื่อนที่. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 18. ตุลาคม 2547.
[14] Chung Sun Lee, Abdulkareem Sh. Mahdi Al-Obaidi (2013). Calculation and Optimization of the Aerodynamic Drag of an Open-Wheel Race Car. EURECA.