

การทำนายพฤติกรรมการไหลและแรงต้านของอากาศสำหรับรถยนต์โดยสาร Prediction of Airflow Behavior and Drag Force on the Bus Bodies

กนกวรรณ วงศ์สาลี และ กীরติ สุลักษณ์ *

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

* อีเมล: keerati@sut.ac.th, โทรศัพท์: 044-224410, โทรสาร: 044-224613

บทคัดย่อ

พฤติกรรมการไหลและแรงต้านถือเป็นปัจจัยสำคัญมากทางอากาศพลศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบยานยนต์ในปัจจุบัน โดยหลักทางวิศวกรรมจึงมุ่งเน้นการออกแบบที่ก่อให้เกิดแรงต้านน้อยที่สุด เพื่อจะช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงขณะขับขี่ แรงต้านจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับความเหมาะสมด้านรูปทรงของยานยนต์ที่ออกแบบ โดยทั่วไปการวิเคราะห์แรงต้านมักใช้กับการออกแบบรถยนต์ส่วนบุคคล จนกระทั่งรถยนต์ที่ใช้ในการแข่งขันด้านความเร็ว อย่างไรก็ตาม เท่าที่ทราบยังไม่พบการนำมาปรับใช้กับการออกแบบรถยนต์โดยสารอย่างเป็นรูปธรรม งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านรถโดยสารปรับอากาศ รุ่น Intercity Bus ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ความเร็วจำกัดตาม พรบ.จราจรทางบก พ.ศ. 2522) โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน ผลการจำลองช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลของอากาศและแรงต้านที่กระทำกับรถ โดยพบว่าแรงเฉือนพื้นผิวสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณขอบด้านหน้าของรถ แรงต้านรวมที่กระทำกับรถมีขนาด 882.628 นิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 0.613 นอกจากนี้ยังพบการเกิดกระแสหมุนวนของอากาศที่ด้านหลังรถ ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้กับการออกแบบรูปทรงรถโดยสารให้มีความเหมาะสมขึ้นเพื่อช่วยลดแรงต้านนำไปสู่การประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้น

คำหลัก: รถยนต์โดยสาร, การจำลองการไหล, แรงต้าน, การไหล

Abstract

Flow behavior and drag force are important in aerodynamic and used in automotive design. In engineering we focus on design for minimum drag to help saving fuel when drive. Then drag force is exactly related to automotive design optimization. Drag force analysis usually use to design private car as well as racing car, however as I know no one use this analysis with bus. This research study about external flow through Intercity Bus at 80 km/hr. (limit from TRAFFIC ACT, B.E. 2522 (1979)) use ANSYS Fluent 14.0 based on laminar and turbulence flow. Results help understand flow behavior and drag force acts on bus body, maximum shear force is on front edge of bus body, total drag is 882.628 N, drag coefficient (C_d) is 0.613 In addition found circulation flow at rear. These results can improve bus body design to decrease drag force lead to save fuel.

Keyword: Bus, Flow simulation, Drag force, Flowing

CST-36

1. บทนำ

การขนส่งทางบกในปัจจุบัน เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่ต้องการเดินทาง โดยมีทั้งการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคล หรือการใช้บริการของรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งการเดินทางโดยใช้รถโดยสารสาธารณะเป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นทางเลือกที่สะดวก รวดเร็ว ปลอดภัย และประหยัดค่าใช้จ่าย ดังจะเห็นได้จากเมื่อเปรียบเทียบสถิติการใช้สถานีขนส่งผู้โดยสารที่กรมการขนส่งทางบกกำกับดูแล ทั่วประเทศ ในไตรมาสที่ 2 (มกราคม - มีนาคม) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 และปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 พบว่า สถิติการใช้สถานีขนส่งผู้โดยสารเพิ่มขึ้นทั้งจำนวนเที่ยว , จำนวนผู้โดยสารและจำนวนเงินค่าบริการ โดยจำนวนเที่ยว เพิ่มขึ้น ร้อยละ 4.65 จำนวนผู้โดยสาร เพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.52 และจำนวนเงินค่าบริการ เพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.19 สาเหตุอาจเนื่องมาจากในปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มีสถานีขนส่งผู้โดยสารเปิดให้บริการเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลโดยตรงให้จำนวนเที่ยว ผู้โดยสารและเงินค่าบริการเพิ่มขึ้นด้วย

ส่วนการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคลก็เป็นวิธีที่นิยมไม่แพ้กัน ดูได้จากสถิติการจดทะเบียนรถยนต์(สะสม) ณ วันที่ 31 มีนาคม 2556 และ 2557 พบว่าในปี 2556 มีรถยนต์ส่วนบุคคลจดทะเบียนสะสม 6,575,208 คัน และในปี 2557 มี 7,338,703 คัน ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.6 (จากรายงานสถิติการขนส่งประจำไตรมาสที่ 2 ปีงบประมาณ 2557 (มกราคม – มีนาคม 2557) กรมการขนส่งทางบก)

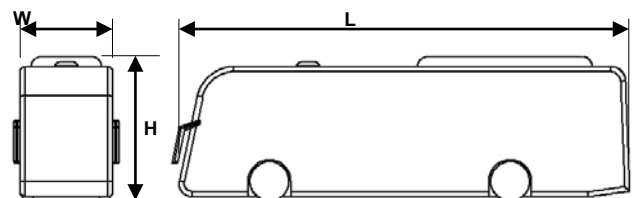
ดังนั้นในการออกแบบยานยนต์จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัย ความสะดวกสบายของผู้โดยสาร หรือแม้กระทั่งความคุ้มค่าในการใช้งาน การประหยัดเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังต้องออกแบบให้เกิดแรงต้านที่กระทำกับยานยนต์น้อยที่สุด ดังนั้นการออกแบบรถยนต์โดยสารจึงหันมาให้ความสำคัญของอากาศพลศาสตร์เพื่อให้เกิดแรงต้านที่กระทำกับตัวรถน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงยิ่งขึ้น ซึ่งการออกแบบนี้สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการสร้าง

แบบจำลอง หรือแม้กระทั่งการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ แต่เนื่องจาก การสร้างแบบจำลองเป็นวิธีที่ใช้งบประมาณสูง ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้ในการออกแบบ คือ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ แต่เนื่องจากในปัจจุบัน เทคโนโลยียังไม่พบการนำความรู้เรื่องอากาศพลศาสตร์มาใช้ในการออกแบบรถยนต์โดยสาร ดังนั้นงานวิจัยเรื่องนี้จึงนำหลักการด้านอากาศพลศาสตร์มาจัดทำนายพดติกรรม การไหลของอากาศผ่านรถโดยสารปรับอากาศ รุ่น Intercity Bus ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยผลการวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้กับการออกแบบรูปทรงรถโดยสารให้มีความเหมาะสมขึ้น เพื่อช่วยลดแรงต้านนำไปสู่การประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากขึ้น

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเขียนแบบรถยนต์โดยสาร

รถโดยสารปรับอากาศรุ่น Intercity Bus เป็นรถโดยสารปรับอากาศแบบชั้นครึ่ง นิยมใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร รองรับผู้โดยสารได้ 38-44 ที่นั่ง มีขนาดความกว้าง (W) 2.5 เมตร สูง(H) 3.8 เมตร และความยาวลำตัว (L) 12 เมตร



รูปที่ 1 cad file ของรถยนต์โดยสาร

2.2 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

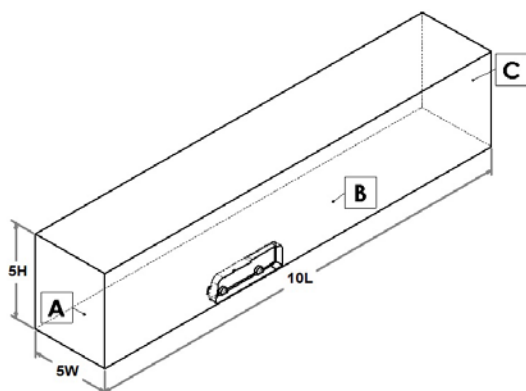
การทำนายพดติกรรมการไหลผ่านรถยนต์ใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลขบนพื้นฐานระเบียบวิธี Finite Volume โดยการโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 วิเคราะห์บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบปั่นป่วน เนื่องด้วยผลจากการวิเคราะห์การไหลแบบราบเรียบจะถูกใช้อ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วน เนื่องจากการวิเคราะห์

CST-36

การไหลแบบภายนอกนี้ กริดบริเวณชั้นขีดผิวจะต้องมีขนาดที่เหมาะสม ถ้ากริดชั้นขีดผิวมีขนาดใหญ่เกินไป โปรแกรมอาจจะปรับไปวิเคราะห์การไหลแบบราบเรียบแทนการไหลแบบปั่นป่วนได้

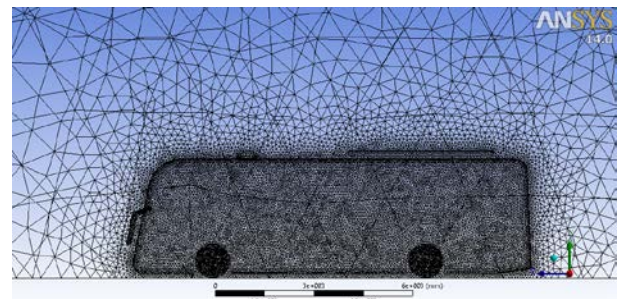
เนื่องจากกริดโดยสารถูกสมมาตร ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์เพียงครึ่งเดียวตามแนวยาว (L) เท่านั้น โดยเงื่อนไขในการวิเคราะห์สามารถจำลองได้สองแบบ คือ การไหลโดยให้รถยนต์โดยสารวิ่งด้วยความเร็ว 22.222 เมตรต่อวินาที ส่วนถนนและอากาศหยุดนิ่ง หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การไหลแบบรถยนต์โดยสารหยุดนิ่ง ส่วนถนนและอากาศวิ่งด้วยความเร็ว 22.222 เมตรต่อวินาที ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์โดยกำหนดให้รถยนต์โดยสารหยุดนิ่ง ส่วนถนนและอากาศวิ่ง โดยกำหนดให้ความเร็วลมที่ไหลเข้ามาปะทะรถยนต์โดยสารมีค่า 22.222 เมตรต่อวินาที, รถยนต์โดยสารหยุดนิ่ง, ล้อรถหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม 42.4 เรเดียนต่อวินาที, ถนนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 22.222 เมตรต่อวินาที ที่ทิศทางเดียวกับอากาศที่ปะทะรถยนต์โดยสาร

โดเมนในการจำลองการไหล กำหนดให้ความกว้างของโดเมนมีขนาด 5 เท่าของความกว้างรถ (5W), ความสูงของโดเมนมีขนาด 5 เท่าของความสูงของรถ (5H) ความยาวโดเมนรวมมีขนาด 10 เท่าของความยาวรถ โดยแบ่งเป็นความยาวโดเมนด้านหน้ามีขนาด 3 เท่าของความยาวของรถ (3L) และความยาวโดเมนด้านหลังมีขนาด 7 เท่าของความยาวรถ (7L)



รูปที่ 2 ขนาดโดเมนและเงื่อนไขการจำลองการไหล
โดย A: Inlet, B: Road, C: Outlet

กริดที่ใช้กับโมเดลในการจำลองการไหลจะมีความละเอียดเป็นพิเศษที่บริเวณผิวและชั้นขีดผิวของรถ เนื่องจากเป็นบริเวณที่สนใจ ต้องการทำนายพฤติกรรมของการไหลและหาค่าแรงต่างๆที่กระทำกับผิวรถ ซึ่งในการสร้างเมชจะทำการสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดและจำนวนอีลิเมนต์ต่างกัน 4 แบบด้วยกัน ได้แก่แบบจำลองที่มีจำนวนอีลิเมนต์ 334631, 532431, 720564, 907183 และ 1,800,000 อีลิเมนต์ตามลำดับ จากการทดสอบความเป็นอิสระของกริด โดยจำลองการไหลผ่านรถยนต์โดยสารในแต่ละกรณีที่มีจำนวนอีลิเมนต์ต่างกัน จากนั้นเลือกกระบวนตัดขวางที่บริเวณผิวบนของรถยนต์โดยสารแล้วทำการพล็อตกราฟระหว่างพิกัดของพื้นผิวกับแรงดันที่เกิดขึ้น แล้วทำการเปรียบเทียบกัน ผลปรากฏว่ากราฟของแบบจำลองที่มีจำนวน 907183 และ 532431 อีลิเมนต์มีค่าเท่ากัน จึงได้ข้อสรุปว่ากริดชุด 907183 และ 532431 ให้ผลเฉลยใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้กริดชุด 532431 ในการจำลองการไหล



รูปที่ 3 เมชที่ใช้กับโมเดลในการจำลองการไหล

3. ผลการจำลองและผลการวิเคราะห์

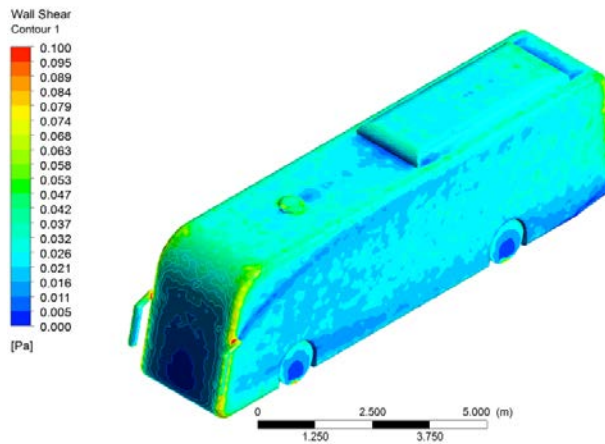
ผลการจำลองการไหล พบว่าแรงดันที่เกิดขึ้นจากการไหลทั้งแบบราบเรียบและปั่นป่วน เกิดจากผลรวมของแรงดัน 2 ชนิด คือ แรงดันเนื่องจากความดัน และแรงดันที่เกิดจากความหนืด (แรงดันเฉือน) โดยค่าของแรงดันประเภทต่างๆแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

CST-36

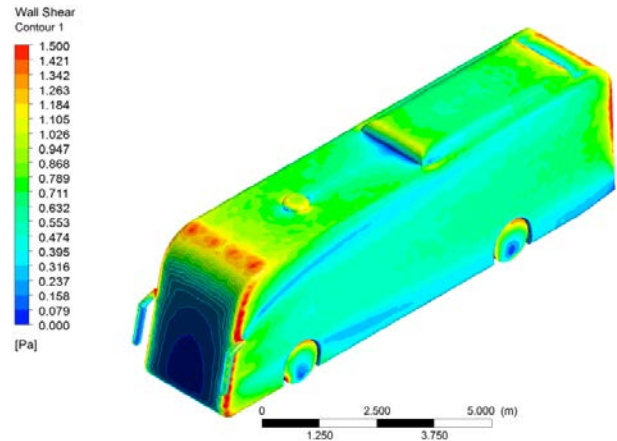
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบแรงต้านที่กระทำกับตัวรถ

Model	Drag Force (N)			C_d
	Pressure	Viscous	Total	
Laminar	880.954	1.674	882.628	0.613
k-epsilon	788.517	53.891	842.409	0.585
SST	812.492	41.531	854.023	0.593

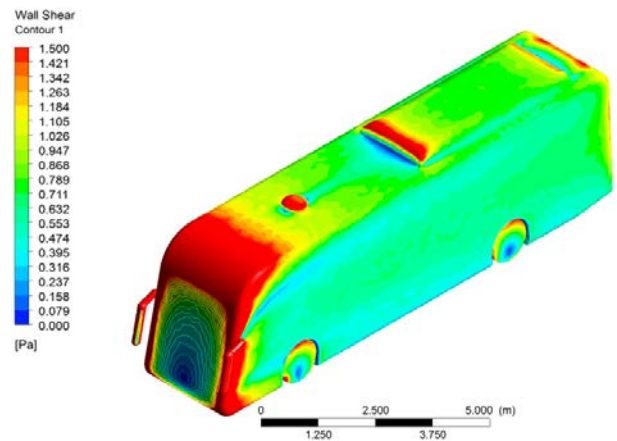
จากตารางที่ 1 พบว่าแรงต้านที่กระทำกับรถยนต์โดยสารบนพื้นฐานการวิเคราะห์การไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วนมีค่าต่างกันโดยการวิเคราะห์บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบจะเกิดแรงต้านที่กระทำกับผิวของรถยนต์โดยสารมากที่สุดคือ 882.628 นิวตัน คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 0.613 ส่วนการวิเคราะห์บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วนทั้งแบบจำลอง SST และ k- ϵ เกิดแรงต้านขนาดใกล้เคียงกันคือ 842.409 และ 854.023 นิวตัน ตามลำดับ คิดเป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 0.585 และ 0.593 ตามลำดับ



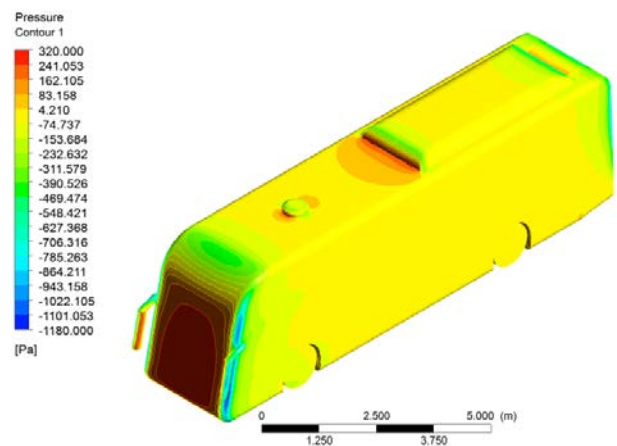
รูปที่ 4 คอนทัวร์ของแรงเฉือนที่กระทำกับผิวรถ ในแบบจำลองการไหลแบบราบเรียบ



รูปที่ 5 คอนทัวร์ของแรงเฉือนที่กระทำกับผิวรถ ในแบบจำลองการไหลปั่นป่วน SST

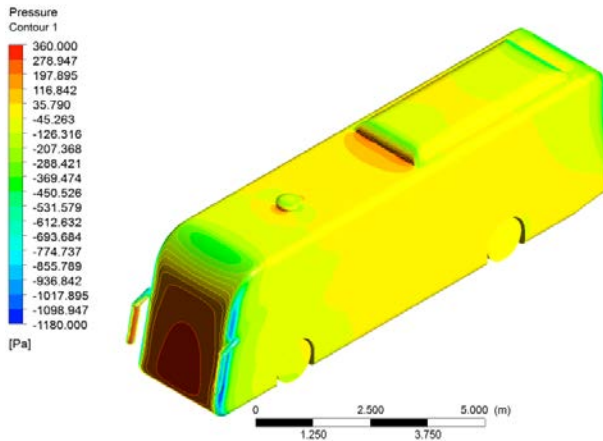


รูปที่ 6 คอนทัวร์ของแรงเฉือนที่กระทำกับผิวรถ ในแบบจำลองการไหลปั่นป่วน k- ϵ

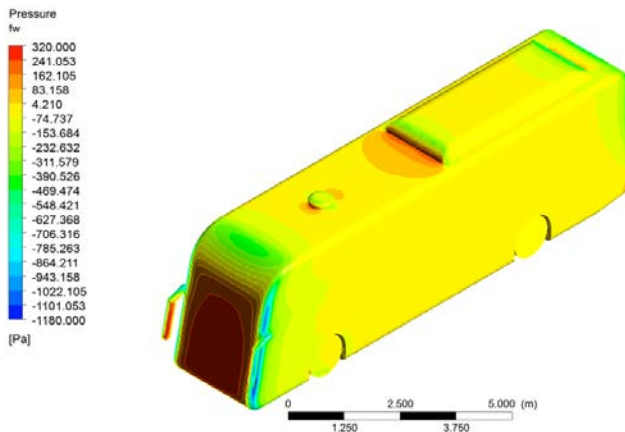


รูปที่ 7 คอนทัวร์ของความดันที่กระทำกับผิวรถ ในแบบจำลองการไหลแบบราบเรียบ

CST-36



รูปที่ 8 คอนทัวร์ของความดันที่กระทำกับผิวรถ
ในแบบจำลองการไหลปั่นป่วน SST



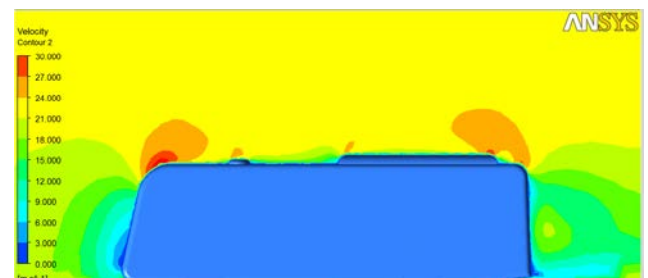
รูปที่ 9 คอนทัวร์ของความดันที่กระทำกับผิวรถ
ในแบบจำลองการไหลปั่นป่วน k-ε

จากรูปที่ 4-6 แสดงแรงเฉือนที่กระทำกับผิวของรถยนต์โดยสาร โดยบริเวณคอนทัวร์สีแดงคือบริเวณที่เกิดแรงเฉือนสูงสุด ส่วนคอนทัวร์สีฟ้าคือบริเวณที่เกิดแรงเฉือนน้อยสุดตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าผลการจำลองการไหลทั้ง 3 แบบ บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน ได้ผลคำตอบใกล้เคียงกัน คือบริเวณขอบด้านหน้าของตัวรถยนต์โดยสาร กระชก ช่องระบายอากาศ จะเกิดแรงเฉือนมากเนื่องจากได้รับการปะทะจากอากาศโดยตรงทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างอากาศกับผิวรถมาก ส่วนบริเวณขอบด้านหลังของรถก็เกิดแรงเฉือนมากเช่นกันเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของการไหล ทำ

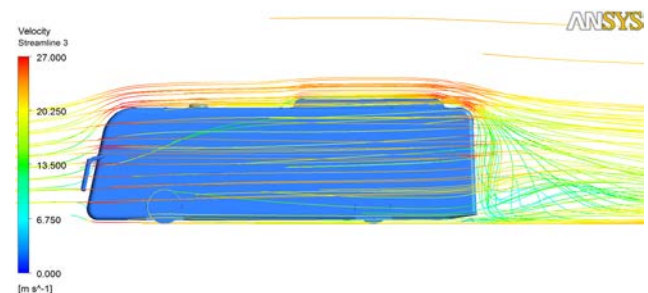
ให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน จึงเกิดแรงเฉือนมาก

นอกจากนี้จะเห็นว่าคอนทัวร์ของแรงเฉือนจากแบบจำลองการไหลปั่นป่วน k-ε มีค่ามากกว่าแบบอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจาก แรงต้านเฉือนจากแบบจำลองการไหลปั่นป่วน k-ε มีค่ามากกว่าแรงต้านเฉือนของแบบจำลองอื่นๆนั่นเอง (ดังแสดงในตารางที่ 1)

จากรูปที่ 7-9 แสดงคอนทัวร์ของความดันที่เกิดขึ้นที่ผิวของรถยนต์โดยสาร โดยบริเวณที่มีความดันมากที่สุดคือบริเวณด้านหน้าของรถ เนื่องจากเป็นจุดที่อากาศเข้ามาปะทะทำให้เกิดจุดหยุดนิ่ง (Stagnation Point) ขึ้น (แสดงในภาพที่ 10) ความดันบริเวณนี้จึงมีค่ามากที่สุด ส่วนกระชก และช่องระบายอากาศ มีความดันสูงรองลงมาจากด้านหน้ารถ เนื่องจากเป็นส่วนที่ปะทะกับอากาศที่ไหลเข้ามา ทำให้อากาศบริเวณนั้นมีความเร็วลดลง ทำให้ความดันมาก คอนทัวร์บริเวณนั้นจึงเป็นสีแดงหรือแดง ส่วนบริเวณด้านหลังรถจะมีความดันน้อย เนื่องจากด้านหลังรถยนต์เกิดการไหลแบบปั่นป่วน จึงทำให้ความดันน้อย คอนทัวร์จึงเป็นสีเขียวหรือใกล้เคียงสีฟ้า ด้วยเหตุนี้ทำให้ผลต่างความดันบริเวณหน้ารถและหลังรถมีค่ามาก จึงกลายเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของรถ

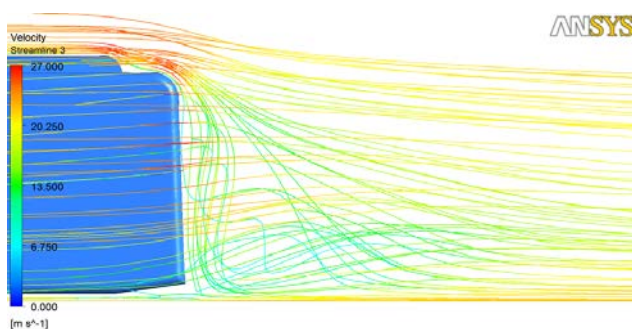


รูปที่ 10 คอนทัวร์ของความเร็วที่หน้าตัดกึ่งกลางของ
รถยนต์โดยสาร



รูปที่ 11 เส้นการไหลของอากาศผ่านรถยนต์โดยสาร

CST-36



รูปที่ 12 เส้นการไหลของอากาศ บริเวณด้านหลัง
รถยนต์โดยสาร

จากรูปที่ 11-12 แสดงเส้นการไหลของอากาศ จากการจำลองการไหลผ่านรถยนต์โดยสาร พบว่า ความเร็วของอากาศบริเวณรถยนต์โดยสาร มีค่ามากกว่าบริเวณอื่นๆ เนื่องจากบริเวณรถยนต์โดยสาร การไหลถูกบีบให้มีหน้าตัดการไหลน้อยลงเมื่อเทียบกับโดเมนของการจำลองการไหล ความเร็วจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อถึงบริเวณหลังรถ หน้าตัดการไหลเทียบกับ กรอบโดเมนเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วในการไหลลดลง ส่งผลให้ความดันบริเวณด้านหลังรถยนต์โดยสาร เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบการไหลแบบปั่นป่วนบริเวณ ด้านหลังรถยนต์โดยสาร ทั้งสองสาเหตุนี้มีผลทำให้ ความดันของอากาศบริเวณด้านหลังรถยนต์มีค่า มากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งทำให้แรงต้านของรถยนต์โดยสารมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

4. สรุป

การจำลองการไหลของอากาศผ่านรถยนต์โดยสาร บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบและไหลแบบปั่นป่วนทั้งแบบจำลอง SST และ k- ϵ พบว่าผลการจำลองทั้ง 3 แบบ ความเร็วของอากาศที่ปะทะบริเวณขอบรถยนต์โดยสารด้านหน้า มีค่ามากกว่าบริเวณอื่นๆ ทำให้บริเวณนั้นเกิดแรงเฉือนมากกว่า นอกจากนั้นอากาศมียังการหมุนวนเกิดขึ้นที่บริเวณท้ายรถ สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์โดยสาร บนพื้นฐานการไหลแบบราบเรียบมีค่าเท่ากับ 0.613 และ สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์โดยสารบนพื้นฐาน

การไหลแบบปั่นป่วนของแบบจำลอง SST มีค่าเท่ากับ 0.585 และแบบจำลอง k- ϵ มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 0.593 ซึ่งการไหลบนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วนทั้ง 2 แบบจำลองนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านใกล้เคียงกัน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Angle HUMINIC, Gabriela HUMINIC (2009). CFD Investigation of an Open-Wheel Race Car, paper presented in 4th European Automotive Simulation Conference, Munich, Germany.
- [2] ANSYS, Inc., ANSYS FLUENT Tutorial Guide (2011). USA.
- [3] Tony Saad. Turbulence Modeling for Beginner, University of Tennessee, United States.
- [4] กองแผนงาน กลุ่มสถิติการขนส่ง, สถิติการขนส่งประจำไตรมาสที่ 2 ปีงบประมาณ 2557 (มกราคม-มีนาคม 2557), กรมการขนส่งทางบก, หน้า 1.
- [5] ชวลิต กิตติชัยการ และวีรชัย ชัยวรพฤกษ์, การศึกษาทำนายค่าแรงต้านและแรงกดของอากาศผ่านรถแข่ง, วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 53 ปีที่ 18, 18 สิงหาคม 2547.
- [6] รัฐศักดิ์ จันทะขัติ, สุนทรี อิ่มสำราญ และกীরดี สุขลักษณ์ (2557). การวิเคราะห์การไหลผ่านรถไฟความเร็วสูงภายใต้การไหลแบบปั่นป่วนอัดตัวได้, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา