

การลดแรงต้านอากาศของรถบรรทุกโดยใช้หลักการของวอร์เท็กซ์เซลล์

Drag Reduction of Trailer Truck by Using Vortex Cell Method

อัศววัฒน์ ศิริวัฒนพงษ์¹ และ อาภิรักษ์ หกพันนา^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 หมู่ 1 ถ.ประชาอุทิศ 48 แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ติดต่อ: เบอร์โทรศัพท์ 02-470-9123, เบอร์โทรสาร 02-470-9111

บทคัดย่อ

เนื่องจากแรงต้านอากาศบริเวณด้านหลังของรถบรรทุกนั้นคิดเป็น 1 ใน 4 ของแรงต้านอากาศทั้งหมด และยังไม่มีวิธีการลดแรงต้านอากาศบริเวณด้านหลังอย่างเป็นทางการ งานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้ อุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์ บริเวณด้านหลังของแบบจำลองของ Ahmed Body ด้วยวิธีทดลองเชิงคณิตศาสตร์และการทดลองเชิงกายภาพในอุโมงค์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ทั้งจากการทดลองเชิงกายภาพและการทดลองเชิงคณิตศาสตร์ พบว่าการใช้ อุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์ บน Ahmed Body นั้นสามารถลดค่า Cd ได้ร้อยละ 33 โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก ผลจากการทดลองเชิงคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์ ช่วยในการเปลี่ยนรูปแบบของการไหลของอากาศบริเวณด้านหลังของ Ahmed body จะให้ผลคล้ายกับการทำให้ด้านหลังมีลักษณะลาดเอียงลงมา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแล้ววิธีการใช้วอร์เท็กซ์เซลล์นั้นต้องการพื้นที่น้อยกว่า ซึ่งทำให้มีพื้นที่ในการขนส่งมากกว่าวิธีการทำหลังลาดเอียง

คำหลัก: การไหลแบบปั่นป่วน ; การใช้เชื้อเพลิง ; การลดแรงต้านอากาศ

Abstract

Form drag behind the truck can be as high as one-fourth of the total drag. Despite being significant, there are no drag reduction methods which are universally adopted. This is in contrast to the wind hooding that is used to reduce the form drag in the front of the truck. The main reason is that passive drag reduction devices installed on the back requires large space. In this work, we present an investigation of drag reduction behind the truck by using vortex cell device. A physical experiment was conducted using Ahmed body as a model truck. The results show that the vortex-cell can reduce the total drag force by 33%, without the help of external control. CFD simulations indicates that the vortex-cell reshape the flow at the back of the Ahmed body and has a similar effect to slanting the back part of the body. In comparison to slanting method, the vortex cell method requires less space and thus allows more volume to be transport inside the truck.

Keywords: Turbulent Flow ; Fuel Consumption ; Drag Reduction ; Ahmed Body

TSF-247

1. บทนำ

ในปัจจุบันการขนส่งทางบกถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการคมนาคมและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งจะต้องมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการขนส่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การใช้อุปกรณ์เข้ามาช่วยในการทำให้ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงจึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้น แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นบนรถบรรทุกประกอบไปด้วยแรงต้าน 4 จุดหลัก คือ 1.ด้านหน้ารถ 2.ด้านท้ายรถ 3.ใต้ท้องรถ และ 4.ที่ช่องว่างระหว่างหัวลากกับตัวบรรทุก สำหรับรถบรรทุกทุกแบบมีหัวลากนั้น การกระจายแรงปะทะของลมที่หัวลากมีประมาณร้อยละ 25-35 ส่วนรถพ่วงหรือเทรลเลอร์ ประมาณร้อยละ 67-75 โดย แบ่งเป็นส่วนหน้าเทรลเลอร์ร้อยละ 30 ด้านหลังเทรลเลอร์ร้อยละ 30 ใต้ท้องเทรลเลอร์ร้อยละ 30 ด้านข้างและด้านบนเทรลเลอร์ร้อยละ 10

ในบริเวณทั้ง 4 ส่วนนั้น อุปกรณ์ลดแรงต้านอากาศด้านหน้าได้รับความนิยมมากที่สุด และอุปกรณ์นี้จะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้สูงสุด 0.20 ลิตรต่อกิโลเมตร สำหรับอุปกรณ์ลดแรงต้านอากาศด้านล่างนั้น มีให้เห็นพอสมควร แต่อุปกรณ์ลดแรงต้านอากาศทางด้านหลังของรถนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากยังไม่มีเทคโนโลยีที่สามารถลดแรงต้านได้อย่างมีนัยยะสำคัญโดยที่ไม่ส่งผลด้านลบกับความสะดวกในการขับ

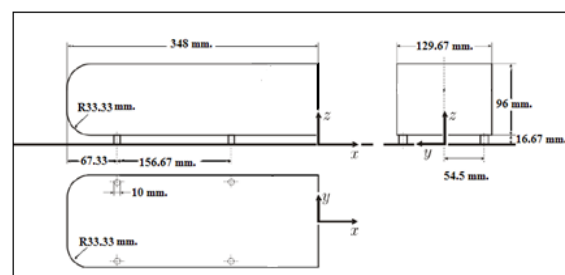
งานวิจัยเกี่ยวกับการแรงต้านอากาศทางด้านหลังนั้นม้งานวิจัยหลายชิ้นที่ได้เสนอวิธีต่างๆไว้ เช่น boat tail plate และ inflatable boat tail [1], boat tail plate with active flowcontrol [1,2], Tapping vortex device[3], MSB Model [1,2,4] เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้มีข้อดีคือช่วยลดแรงต้านอากาศได้จริงแต่ก็มีข้อเสียคือจะต้องมีการติดตั้งและถอดอุปกรณ์ทุกครั้งที่ใช้งาน รวมถึงจะทำให้ความยาวของรถเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความคล่องตัวในการขับบนท้องถนน ซึ่งบางระบบเช่นระบบของ boat tail plate with active flow control [1,2] นั้นจะมีการอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองลดแรงต้านอากาศของแบบจำลอง Ahmed Body เพื่อจำลองรูปลักษณะ ของ รถบรรทุก ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการทำซ้ำ ทำให้แบบจำลองนี้เป็นที่แพร่หลาย และมีการประยุกต์ใช้ศึกษาเทคนิคการลดแรงต้านอากาศหลายๆ รูปแบบ [5,6,7,8] และงานวิจัยอื่นอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้น Ahmed Body เป็นที่ยอมรับว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของรถบรรทุกได้ดี

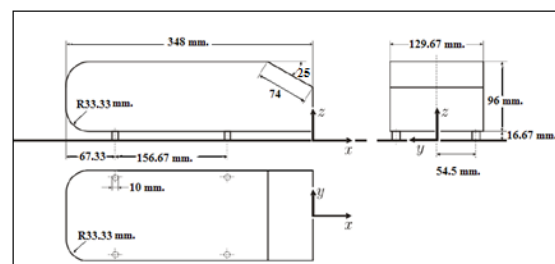
งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ passive vortex cell โดยการสร้างพื้นที่กลวงขึ้นมาที่ด้านท้ายของ Ahmed Body เพื่อให้ vortex สามารถอยู่ได้อย่างเสถียร และได้ทำการทดลองเชิงกายภาพเพื่อวัดหาแรงต้านอากาศ จากนั้นได้ ใช้ Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อศึกษารายละเอียดของการไหลรอบๆตัว Ahmed Body

2. การออกแบบการทดลอง

ในการจำลองเชิงกายภาพ ผู้ทำการวิจัยได้ใช้แบบจำลอง Ahmed Body อัตราส่วน 1:3 โดยมีขนาดที่สร้างจริงดังแสดงในรูปที่ 1 โดยการทดลองได้ใช้อูโมงค์ลมแบบ open jet ขนาด หน้าตัด 0.75x 2 เมตร โดยแรงต้านอากาศวัดด้วย load cell ของ KYOWA

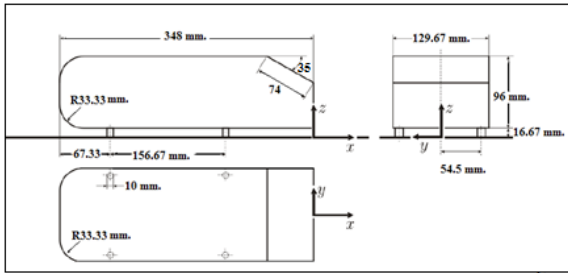


(a)



(b)

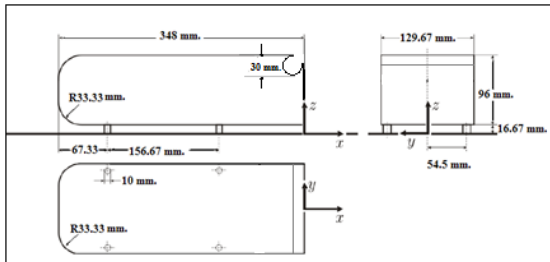
TSF-247



(c)

รูปที่ 1: แบบจำลอง Ahmed Body ที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดย มุมการเอียงผิวบน (slant angle) เท่ากับ (a) 0 องศา (b) 25 องศา และ (c) 35 องศา

อุปกรณ์ vortex cell จะถูกนำไปใส่ที่ส่วนท้ายด้านบนของ รูปที่ 1(a) และได้เป็น Ahmed body with vortex cell ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2: แบบจำลอง Ahmed Body with vortex cell

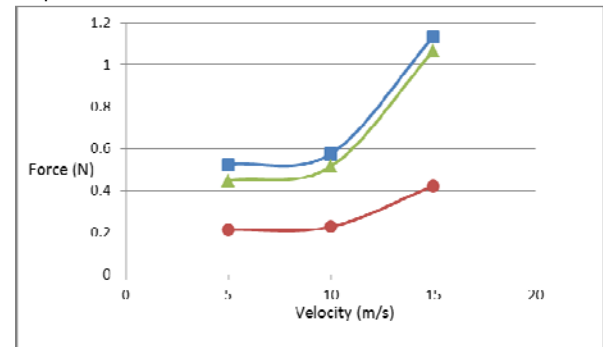
สำหรับการทดลองด้วย CFD ในงานนี้ได้ใช้โปรแกรม COMSOL ซึ่งเป็น Finite Element Method ร่วมกับแบบจำลอง Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations (RANS) โดยจำลอง turbulent interactions ด้วย แบบจำลอง k-ε

3. ผลการทดลอง

3.1 การทดลองเชิงกายภาพของการไหลผ่าน Ahmed Body

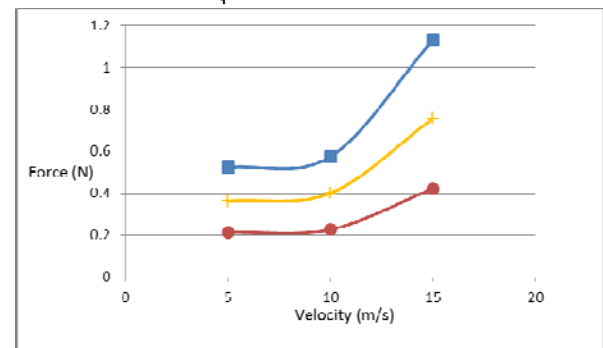
ในขั้นแรกผู้วิจัยได้ทำการศึกษา Ahmed Body ด้วย องศาการเอียง 0, 25 และ 35 องศา ที่ความเร็วการ 5, 10 และ 15 m/s โดยแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นได้แสดง ในรูปที่ 3 โดยพบว่า 0 องศา มีแรงต้านอากาศมากที่สุด ตามมาด้วย 35 และ 25 โดยแรงต้านอากาศมีค่าสูงสุดที่ความเร็ว 15 m/s และมีการเพิ่มขึ้นในลักษณะกำลังสอง ดังนั้นการทำมุมเอียง

มีจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ ใกล้เคียงกับ 25 องศา ซึ่งสอดคล้องกับ [5] ซึ่งรายงานงาน องศาที่เหมาะสมที่สุดใน 3 ค่านี้คือ 25 องศา



รูปที่ 3: แรงต้านอากาศของ Ahmed Body ที่มี มุมการเอียง 0(■), 25(●) และ 35(▲) องศา.

ในลำดับต่อไป แรงต้านอากาศของ Ahmed Body ที่มี vortex cell ได้ในรูปที่ 4 โดยเปรียบเทียบกับแรงต้านอากาศของ Ahmed Body ที่มีมุมเอียง 0 และ 25 องศา จากรูปจะเห็นได้ว่า vortex cell สามารถ ลดแรงต้านอากาศได้อย่างชัดเจน แม้จะไม่มีประสิทธิภาพเท่า มุมเอียง 25 องศา

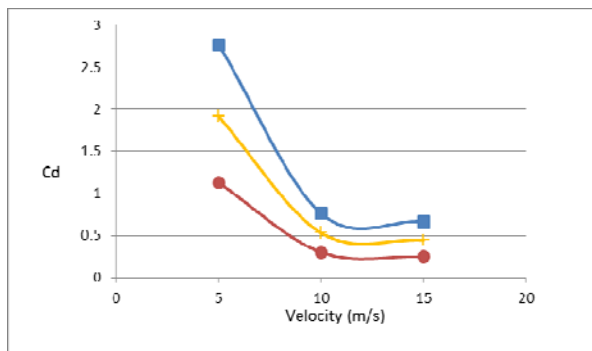


รูปที่ 4: แรงต้านอากาศของ Ahmed Body ที่มี vortex cell (+) เปรียบเทียบกับ Ahmed Body ที่มีมุมการเอียง 0(■) และ 25(●) องศา

เพื่อให้การลดแรงต้านอากาศสามารถนำไปใช้อย่างกว้างขวาง ค่าคงที่แรงต้านอากาศ (C_d) ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 5 โดยจะเห็นได้ว่า ค่าคงที่แรงต้านอากาศลดลงตามค่าเลขเรย์โนลด์ส และมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าๆหนึ่ง ซึ่ง ที่เลขเรย์โนลด์สประมาณ 100,000 นั้น เป็น Critical Reynolds Number ของวัตถุหลายๆ วัตถุ ซึ่งค่า C_d จะค่อนข้างคงที่ไปจนกว่าจะถึงเลขเรย์โนลด์ส

TSF-247

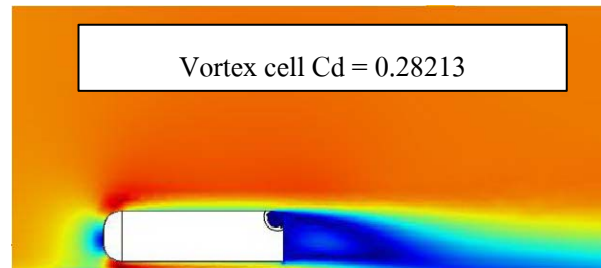
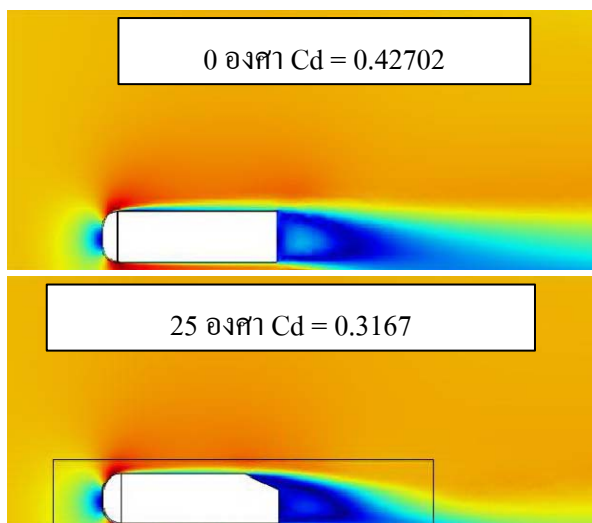
วิกฤติ(Critical Reynolds Number)ซึ่ง หากเพิ่มเลข เรย์โนลด์สขึ้นไปเรื่อยๆ ค่า C_d จะกลับมาใกล้เคียงกับ ค่า C_d ก่อนจุดวิกฤติ ดังนั้น ค่า C_d ที่ได้ จากค่า ความเร็ว 15 m/s ($Re = 129,699$) น่าจะใกล้เคียง กับค่า C_d ของรถบรรทุกจริงที่มีรูปทรงของ จากค่า C_d ในนี้สามารถสรุปได้ว่า vortex cell สามารถลดแรงต้านอากาศได้ 33 % ที่ความเร็วสูง



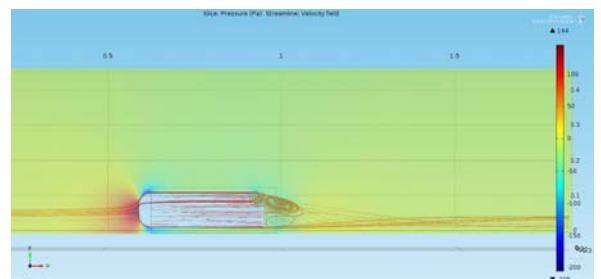
รูปที่ 5: การเปรียบเทียบค่า C_d ของ Ahmed Body ที่มี vortex cell (+) เปรียบเทียบกับ Ahmed Body ที่มุมการเอียง 0 (■) และ 25 (●) องศา

3.2 ผลการทดลองเชิงคณิตศาสตร์

รูปที่ 6 รูปมุมมองด้านข้าง (Side view) ที่ความเร็ว 15 m/s

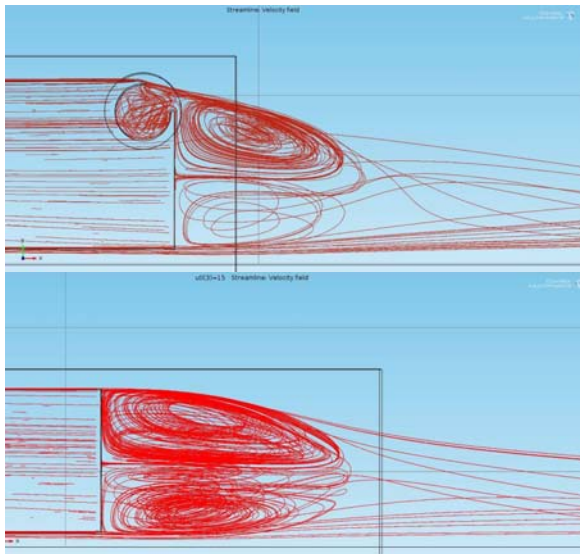


จากรูปที่ 6 เป็นการแสดง Contour ของ Velocity Magnitude โดยแบบจำลองที่ใช้มีจำนวน 1,671,709 elements ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 กรณีคือ 0 องศา, 25 องศา และ Vortex Cell พบว่าที่ 0 องศา นั้นจะมีการหมุนวนของลมบริเวณด้านหลังรุนแรงและมีช่วงที่กว้างที่สุดใน 3 กรณี ซึ่งส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันบริเวณด้านหน้ากับด้านหลังมาก ทำให้เกิดแรงต้านอากาศมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนของกรณี 25 องศา นั้นสามารถเห็นความแตกต่างของการไหลได้อย่างชัดเจนว่ามีการลู่เข้าหากันอย่างเห็นได้ชัดในเช่นเดียวกันกับกรณีของ Vortex Cell ที่มีลักษณะของการไหลที่ลู่เข้ามากกว่ากรณี 0 องศาเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 7 และรูปที่ 8

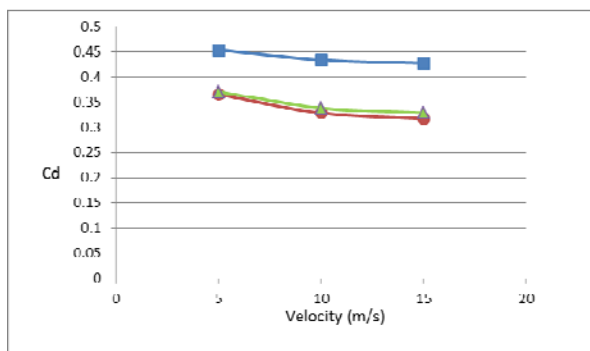


รูปที่ 7: รูปแสดง Contour Pressure และ Streamline ของ Ahmed Body ที่มี vortex cell (+) รวมถึงรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในการทำการทดลองทางคณิตศาสตร์

TSF-247

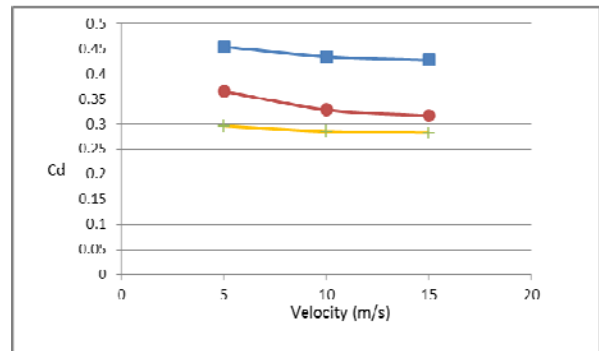


รูปที่ 8: รูปแสดงการเปรียบเทียบลักษณะ Stream line ของ Ahmed Body กรณีที่มีมุมเอียง 0 องศา(■) กับกรณีที่มี vortex cell (+)



รูปที่ 9 เปรียบเทียบ C_d ของ Ahmed Body ที่มี มุมการเอียง 0(■), 25(●) และ 35(▲) องศาจากCFD

จากรูปที่ 9 จะพบว่าค่า C_d ที่ได้จากการทำ CFD ที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 25 องศาและจะมากขึ้นไปยัง 35 องศา และ 0 องศาตามลำดับ ซึ่งแนวโน้มจะเป็นแนวโน้มเดียวกับการทดลองบนแบบจำลองด้วยอุโมงค์ลมข้างต้น



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่า C_d ของ Ahmed Body ที่มี vortex cell (+) เปรียบเทียบกับ Ahmed Body ที่มีมุมการเอียง 0(■) และ 25(●) องศาจาก CFD

จากรูปที่10 จะพบว่าค่า C_d จากการทำ CFD ของ Ahmed body ที่ร่วมกับ Vortex Cell นั้นจะมีค่าน้อยกว่ากรณี 0 องศา ซึ่งมีแนวโน้มเป็นแนวโน้มเดียวกับการทดลองแบบจำลองด้วยอุโมงค์ลมและเมื่อทำการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองกับ CFD นั้นจะได้ดังตารางดังต่อไปนี้

Condition	5 m/s		% different
	Experiment	CFD	
0 degree	2.766	0.4533	71.84
25 degree	1.127	0.364771	51.1
35 degree	2.362	0.37026	72.9
Vortex Cell	1.913	0.29588	73.21

Condition	10 m/s		% different
	Experiment	CFD	
0 degree	0.759	0.43369	27.28
25 degree	0.3	0.32808	4.47
35 degree	0.68	0.33802	33.59
Vortex Cell	0.529	0.28502	29.97

Condition	15 m/s		% different
	Experiment	CFD	
0 degree	0.665	0.42702	21.79
25 degree	0.248	0.3167	12.17
35 degree	0.625	0.32878	31.06
Vortex Cell	0.445	0.28213	22.4

TSF-247

จากตารางที่ข้างต้น พบว่าค่า C_d ของทั้งการทดลอง และ CFD พบว่าค่า C_d ที่ได้มานั้นแตกต่างกันอยู่มาก ที่ความเร็วต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการประมาณค่า turbulent diffusion ในแบบจำลอง RANS ที่สูงเกินไป สำหรับเลขเรย์โนลด์ส์ต่ำ ที่ความเร็วสูงสุด ผลการจำลอง RANS ไม่สามารถทำนายความแตกต่างระหว่าง มุมเอียง 25 และ 35 องศาได้ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความล้มเหลวในการทำนายจุดแยกตัว (separation point) ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยากสำหรับ RANS จากผลการจำลอง สามารถกล่าวได้ว่า RANS ทำนายค่า C_D ได้น่าพอใจ ซึ่งสำหรับการไหลที่มีการหมุนวน แยกตัว และการย้อนสมทบ (circulation, separation and reattachment) นั้นค่าความคาดเคลื่อนข้างต้นถือว่ายอมรับได้ อย่างไรก็ตาม RANS สามารถทำนายได้ vortex cell และการทำมุมเอียง (slanting) สามารถลดแรงต้านอากาศได้ และสำหรับกรณีของ vortex cell RANS ทำนายอัตราการลดค่า C_d ได้ใกล้เคียงกับการทดลองเชิงกายภาพ

4. สรุปและวิจารณ์ผล

จากการทดลองในครั้งนี้ผลการทดลองที่ได้จากการทำ CFD พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองจริงผ่านอุโมงค์ลมกับผลการทดลองจาก CFD นั้นมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยในแต่ละกรณี แต่ก็ยังมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ซึ่งจะพบว่าการใช้ Vortex Cell นั้นสามารถช่วยลดค่า C_d ได้ตั้งแต่ 33.083% แต่ดังนั้นการใช้ Vortex Cell จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจกว่าเพราะไม่ต้องมีการใส่พลังงานเข้าไปในระบบ ซึ่งทำให้สามารถประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบได้มาก ถึงแม้ว่าการใช้ Vortex Cell นั้นสามารถลดค่า C_d ได้น้อยกว่ากรณี 25 องศาอยู่เล็กน้อยก็จริง แต่การใช้ Vortex Cell จะทำให้มีพื้นที่ในการบรรจุสิ่งของหรือสินค้าได้มากกว่ากรณี 25 องศาอยู่ถึง 67% ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่ามากกว่า

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rose McCallen, "DOE's Effort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations"
- [2] ATDynamics, "Advanced devices for rear drag reduction on tractor trailers" 2010
- [3] Wood R.M., "Impact of advanced aerodynamic technology on transportation energy consumption"
- [4] Bahram Khalighi, S. Zhang, C. Koromilas "Experimental and Computational Study of Unsteady Wake Flow behind a Bluff Body with a Drag Reduction Device" University of Michigan
- [5] Francois Julienne and Bharadwaj Karthik Kavirat "Project Work- A Generic Car Model-The Ahmed body", Institute of technology Linkoping University, 2012
- [6] Deepak Kumar Kalyan, A.R.Paul, "Computational Study of Flow around a Simplified 2D Ahmed Body" International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)
- [7] Yunlong Liu, Alfred Moser "Numerical modeling of airflow over the Ahmed body" Air and Climate Group, Swiss Federal Institute of Technology CH-8092 Zurich, Switzerland
- [8] C. Hinterberger, M. Garcia-Villalba, and W. Rodi "Large eddy simulation of flow around the Ahmed body" Institute for Hydromechanics, University of Karlsruhe, Kaiserstrasse 12, 76128 Karlsruhe, Germany