

การลดแรงต้านอากาศด้านหลังของ Ahmed Body โดยใช้วอร์เท็กซ์เซลล์ด้วยการใช้ แบบจำลอง LES

Drag Force Reduction of a Ahmed Body with a Vortex Cell Using a LES model

กนก ภูคาม^{1*}, สุปงกช โตไพบุลย์¹และ อภิรักษ์ หกพันนา²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

*E-mail : kanokphoocam@gmail.com¹, subongkoj@gmail.com¹, arpiruk@gmail.com² โทร: 0-5392-1444 ต่อ 2241, โทรสาร: 0-5321-3183

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการติดตั้งอุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์บริเวณด้านหลังของ Ahmed Body ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศโดยใช้แบบจำลองแบบ Large Eddy Simulation (LES) โดย Ahmed Body นี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์ที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์เซลล์ต่อความสูงของ Ahmed Body เป็น 1:3 1:5 และ 1:10 ที่ความเร็วของอากาศ 10 20 และ 30 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ผลของการจำลองแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งอุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์สามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศได้ทุกอัตราส่วน และทุกความเร็ว โดยที่อัตราส่วน 1:3 สามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านได้สูงกว่าอัตราส่วนอื่นที่ความเร็วของอากาศสูงสุดที่ใช้ในการศึกษาโดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศที่ลดลงสูงสุดร้อยละ 59.23 เมื่อเทียบกับ Ahmed Body ที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์วอร์เท็กซ์เซลล์

คำหลัก: วอร์เท็กซ์เซลล์; การลดแรงต้านอากาศ; การไหลแบบปั่นป่วน

Abstract

The purpose of this research is to study the effect of vortex cell at the back of Ahmed Body on air drag coefficient using the Large Eddy Simulation (LES) model. The ratio of vortex cell diameter (d) and Ahmed Body height (H) of 1:3, 1:5 and 1:10 were implemented for air flow simulation at the air velocity of 10, 20 and 30 m/s, respectively. The simulation shows that vortex could reduce the drag coefficient at any velocity. The d/H ratio of 1:3 could deliver the best result 59.23% reduction of air drag coefficient compared to plain Ahmed Body could be achieved at the air velocity of 30 m/s.

Keywords: Vortex Cell; Drag Reduction; Turbulent Flow; Ahmed Body.

1. บทนำ

ปัจจุบันการขนส่งวัตถุติด และสินค้ามีจำนวนมากขึ้นตามความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ จึงจำเป็นต้องใช้รถบรรทุกในการขนส่งเพราะรถบรรทุกสามารถขนส่งสินค้าได้ปริมาณที่ละมากๆ โดยในปัจจุบันรถบรรทุกที่จดทะเบียนมีจำนวน 1,055,717 คัน [1] และสถิติการใช้น้ำมันในปี พ.ศ. 2559 สำหรับการขนส่งประเภทนี้พบว่ามีกำไรมันดีเฉลี่ยสำเร็จรูปเฉลี่ย 61.94 ล้านลิตรต่อวัน [2] ซึ่งถ้าหากสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงประเภทนี้ได้เพียงร้อยละ 1 (ประมาณ 6.2 แสนลิตรต่อวัน) สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จำนวนมาก

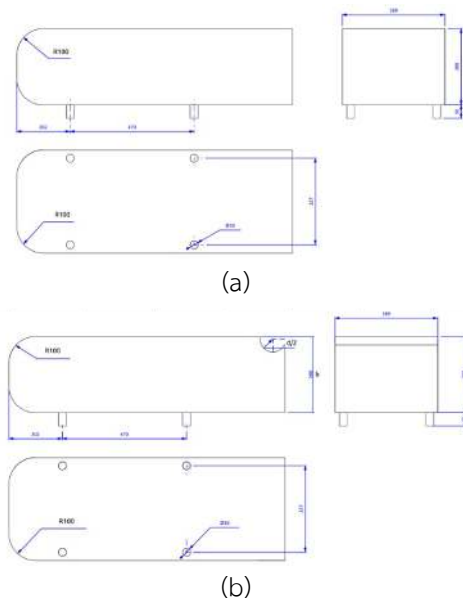
สาเหตุของการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนรถประกอบด้วยแรงต้านการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ และแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ โดยแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นบนรถบรรทุกประกอบไปด้วยแรงต้านสี่จุดหลักคือ 1. ด้านหน้ารถ 2. ด้านใต้ท้องรถ 3. ช่องว่างระหว่างหัวลากกับรถบรรทุก และ 4. ด้านท้ายรถ ซึ่งในการลดแรงต้านอากาศด้านท้ายรถมีอยู่สองวิธีคือ 1. วิธีการแบบ Passive และ 2. วิธีการแบบ Active โดยวิธีการแบบ Passive คือการติดตั้งอุปกรณ์ด้านท้ายของส่วนบรรทุก เช่น แบบ Transtex composite folding rear trailer deflector และแบบ Aerovolution inflatable rear fairing [3] ส่วนแบบ active คือการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ลดแรงต้านอากาศโดยที่ต้องใส่พลังงานไปในอุปกรณ์ที่ใช้ลดแรงต้านเช่นการติดตั้งรูเจ็ตเป่าอากาศเข้าไป [4]

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลอง Ahmed body เพื่อจำลองรูปลักษณะของรถบรรทุกซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการทำซ้ำ ทำให้แบบจำลองนี้เป็นที่แพร่หลาย และมีการประยุกต์ใช้ศึกษาเทคนิคการลดแรงต้านหลายๆรูปแบบ [5, 6] และงานวิจัยอื่นอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้น Ahmed body จึงเป็นที่ยอมรับว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของรถบรรทุกได้ดี

งานวิจัยนี้เริ่มแรกจะทำการจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้ Computational Fluid Dynamics (CFD) เปรียบเทียบกับผลการจำลองเชิงกายภาพ [7] โดยเมื่อได้ผลการจำลองเชิงตัวเลขที่มีค่าใกล้เคียงกับผลของการทดลองเชิงกายภาพ จากนั้นใช้สภาวะจากผลการจำลองเชิงตัวเลขนี้ไปจำลองในตัวแปรอื่นๆต่อไป

2. การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข

ในการจำลองเชิงตัวเลขนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง Ahmed body ดังแสดงในรูปที่ 1 แล้วใช้ซอฟต์แวร์แบบ Open Source ชื่อว่า OpenFOAM ซึ่งเป็น Finite Volume Method (FVM) ร่วมกับแบบจำลอง Large Eddy Simulation (LES)

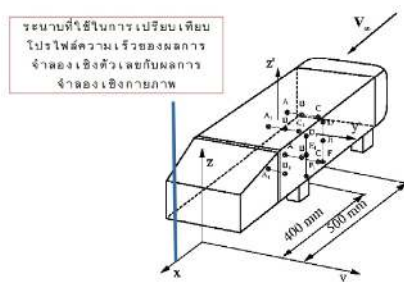


รูปที่ 1 แบบจำลอง Ahmed body ที่ใช้ในการวิจัยนี้ โดย (a) คือแบบไม่ติดตั้ง Vortex cell และ (b) แบบที่ติดตั้ง Vortex cell โดยมีอัตราส่วน $d:h = 1:3, 1:5$ และ $1:10$

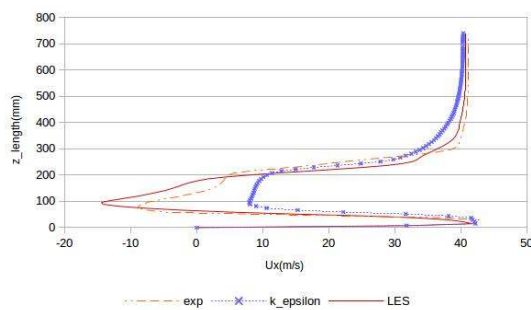
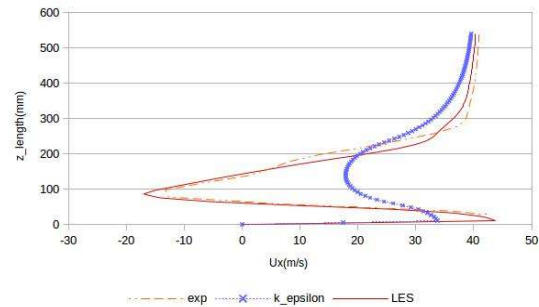
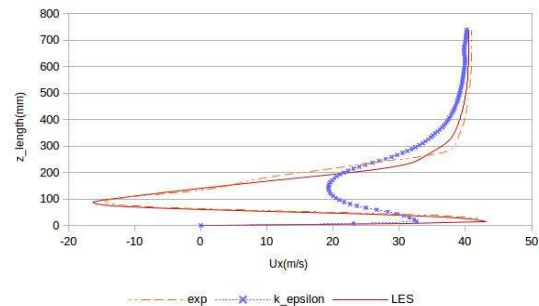
3. ผลการทดลอง

3.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองเชิงตัวเลขกับผลการทดลองเชิงกายภาพ

ในขั้นแรกผู้วิจัยได้ทำการศึกษา Ahmed body ด้วย องศาการเอียง 25° ที่ความเร็ว 40 m/s โดยเปรียบเทียบ รูปแบบโปรไฟล์ของความเร็วของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ LES กับ $k-\epsilon$ และผลของการทดลองเชิงกายภาพ ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าโปรไฟล์ของ ความเร็วของแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ LES มี แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลของการทดลองเชิง กายภาพดีกว่าแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ใช้ $k-\epsilon$ ดัง แสดงในรูปที่ 3 จึงสรุปได้ว่าถ้าใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขที่ ใช้ LES ในสภาวะเดียวกันนี้ก็จะอาจจะสามารถนำไปใช้ในการ ทำนายผลของการจำลองในตัวแปรอื่นๆได้



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบโปรไฟล์ความเร็ว ของความเร็วของแบบจำลองเชิงตัวเลขและผลของการ ทดลองเชิงกายภาพ โดยมีระยะห่างไปตามแนวแกน $x = 38, 88$ และ 138 mm .

(a) ระนาบ $x = 38 \text{ mm}$.(b) ระนาบ $x = 88 \text{ mm}$.(c) ระนาบ $x = 138 \text{ mm}$.

รูปที่ 3 เปรียบเทียบ Profile ความเร็วที่ระนาบต่างๆ ของผลการทดลองเชิงกายภาพ (exp) กับผลการจำลอง เชิงตัวเลข $k-\epsilon$ และ LES

3.2 ผลการจำลองเชิงตัวเลข

หลังจากได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองเชิง ตัวเลข และผลการทดลองเชิงกายภาพ พบว่าควรเลือกใช้ เอลิเมนต์แบบ Hexahedron จำนวนประมาณ 2,889,389 เอลิเมนต์ โดยทำการจำลองเพื่อหาแรงต้าน อากาศที่ความเร็ว $10, 20$ และ 30 m/s จากค่าของแรง ต้านของอากาศ (Drag Force) ตามตารางที่ 1 พบว่าที่ทุก ความเร็ว และทุกอัตราส่วน $d:h$ แรงต้านอากาศมีค่า ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell โดยที่ ความเร็ว 10 และ 20 m/s ทุกอัตราส่วนของ $d:h$ มีแรง ต้านอากาศที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเร็วอากาศ 30 m/s ที่อัตราส่วน $d:h = 1:3$ มีแรงต้านอากาศน้อยกว่าอีกสอง อัตราส่วนอย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นการติดตั้ง Vortex cell สามารถลดแรงต้านอากาศได้ที่ทุกอัตราส่วนของ $d:h$ และทุกความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 แรงต้านอากาศของ Ahmed body ที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell เปรียบเทียบกับที่ติดตั้ง Vortex cell โดย (a) $d:h = 1:3$ (b) $d:h = 1:5$ และ (c) $d:h = 1:10$

Velocity (m/s)	Drag Force (N)	
	No Vortex cell	Vortex cell $d:h = 1:3$
10	4,804,790	3,486,860
20	14,947,900	12,919,400
30	31,661,700	13,844,700

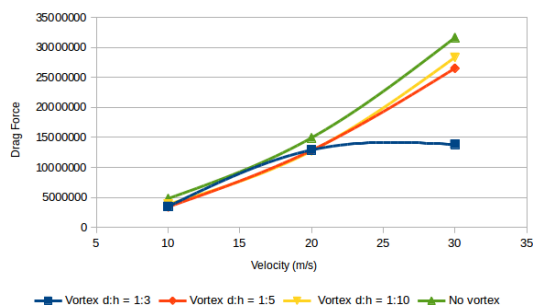
(a)

Velocity (m/s)	Drag Force (N)	
	No Vortex cell	Vortex cell $d:h = 1:5$
10	4,804,790	3,411,340
20	14,947,900	12,852,300
30	31,661,700	26,539,300

(b)

Velocity (m/s)	Drag Force (N)	
	No Vortex cell	Vortex cell $d:h = 1:10$
10	4,804,790	3,855,560
20	14,947,900	12,742,900
30	31,661,700	28,364,600

(c)



รูปที่ 4 แรงต้านอากาศของ Ahmed body จากผลการจำลองเชิงตัวเลข

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (C_d) ของ Ahmed body ที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell เปรียบเทียบ

กับที่ติดตั้ง Vortex cell โดย (a) $d:h = 1:3$ (b) $d:h = 1:5$ และ (c) $d:h = 1:10$

Velocity (m/s)	Drag Force (N)		% different
	No Vortex cell	$d:h = 1:3$	
10	0.710	0.515	27.46
20	0.522	0.511	7.43
30	0.520	0.212	59.23

(a)

Velocity (m/s)	Drag Force (N)		% different
	No Vortex cell	$d:h = 1:5$	
10	0.710	0.504	29.01
20	0.522	0.475	13.95
30	0.520	0.436	16.15

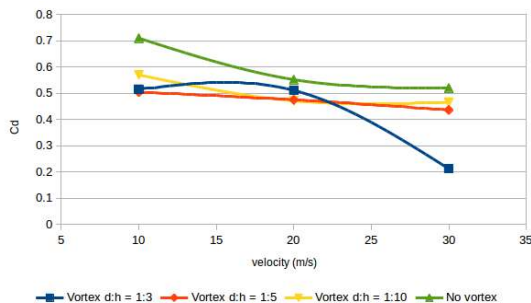
(c)

Velocity (m/s)	Drag Force (N)		% different
	No Vortex cell	$d:h = 1:10$	
10	0.710	0.570	19.72
20	0.522	0.471	14.67
30	0.520	0.466	10.38

จากตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) ระหว่าง Ahmed body ที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell กับที่ติดตั้ง Vortex cell จะเห็นว่า Ahmed body ที่ติดตั้ง Vortex cell ทุกอัตราส่วน $d:h$ และทุกความเร็วสามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ โดยค่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วน $d:h$ และความเร็วโดยที่อัตราส่วน $d:h = 1:3$ ที่ 20 m/s สามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศได้น้อยที่สุด และที่อัตราส่วน $d:h = 1:3$ ที่ 30 m/s สามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศได้มากที่สุด

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) กับความเร็วพบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่า C_d จะลดลงแต่เมื่อความเร็วเลยจุดๆหนึ่งไป (จุดวิกฤติ) ค่า C_d จะมีแนวโน้มคงที่ แต่ที่อัตราส่วน $d:h = 1:3$ ค่า C_d ที่ความเร็วเลยจุดวิกฤติไปนี้ลดลงอย่างเห็น

ได้ชัดเจน โดยสามารถลดค่า C_d นี้ได้มากที่สุดคือร้อยละ 59.23 ที่ความเร็ว 30 m/s

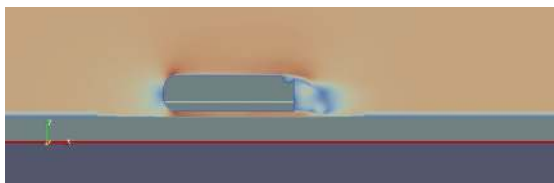


รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของ Ahmed body จากผลการจำลองเชิงตัวเลข

รูปที่ 6 เป็นการแสดง Contour ของ Velocity magnitude โดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง Ahmed body ที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell กับที่ทำการติดตั้ง Vortex cell ที่อัตราส่วน $d:h = 1:3$ จะเห็นได้ว่าการหมุนวนของอากาศในกรณีติดตั้ง Vortex cell มีลักษณะการหมุนวนเข้าหาด้านท้ายของ Ahmed body มากกว่าแบบที่ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างความดันตรงด้านหน้าและด้านหลังของ Ahmed body ที่ติดตั้ง Vortex cell มีค่าน้อยกว่าแบบไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell ส่งผลให้แรงต้านอากาศมีค่าน้อยกว่า ทำให้ลดแรงต้านอากาศได้ดีกว่า



(a)



(b)

รูปที่ 6 Contour ของ Velocity magnitude ของ (a) ไม่ได้ติดตั้ง Vortex cell (b) ติดตั้ง Vortex cell

4. สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการทดลองเชิงตัวเลขในงานวิจัยครั้งนี้ พบว่าการติดตั้งอุปกรณ์ Vortex cell สามารถลดแรงต้านทานอากาศให้กับ Ahmed body ได้ในทุกอัตราส่วน $d:h$ และทุกความเร็ว โดยสามารถลดแรงต้านทานอากาศได้ตั้งแต่ร้อยละ 7.43 จนถึงร้อยละ 59.23 % ดังนั้นการติดตั้ง Vortex cell จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะเป็นระบบที่ไม่ต้องใส่พลังงานเพิ่มเข้าไปในระบบทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนได้ทางหนึ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ Software SimScale (<https://www.simscale.com>) ซึ่งเป็น software product based on cloud computing ที่เอื้อเฟื้อทางด้าน server สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการขนส่งทางบก กระทรวงพลังงาน. จำนวนรถจดทะเบียน (สะสม) ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2559, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <https://data.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/02/2560
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทยปี 2559, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.eppo.go.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/02/2560
- [3] Leuschen, J. and Cooper, K.R. (2009) The Aerodynamics of Heavy Vehicles II: Trucks, Buses, and Trains, Springer, Berlin.
- [4] Joseph, P. et.al. (2013) . Flow control using MEMS pulsed micro – jets on the Ahmed body, Experiments in Fluids, vol. 54(1), January 2013, pp. (348 – 360)



- [5] Julienne, F. and Karthile, B. project Work – A Generic Car Model – The Ahmed body, Institute of technology, Linkoping University, 2012.
- [6] Kalyan, D.K. and Paul, A.R. Computational Study of Flow around a Simplified 2D Ahmed Body, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)
- [7] Lienhart, H. Becker, S. and Stoots, C. Flow Around a Simplified Car Body (Ahmed body), Institute of Fluid Mechanics, University of Erlangen – Nuremberg.