



รายงานโครงการวิจัย

อุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุกเพื่อลดแรงต้าน

The Front Truck Accessories for Reduce Drag force

ปรีชญา มุขตา และคณะ

ธันวาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ ให้การช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด ตั้งแต่เริ่มศึกษาจนกระทั่งเสร็จสิ้นโครงการวิจัย จนกระทั่งรายงานฉบับสมบูรณ์ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ผลักดัน อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในโครงการวิจัย ตลอดจนบุคลากร นักศึกษาทุกคน ขอขอบคุณ บริษัท พรอส เพอร์ตี คอนกรีต จำกัด ที่ช่วยให้ความร่วมมือในการสนับสนุนรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จนทำให้การทดสอบสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และโครงการนี้จะเกิดขึ้นมาได้ต้องขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่อุดหนุนงบประมาณกับโครงการวิจัย ตามมติคณะรัฐมนตรี ปีงบประมาณ 2558

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดาและมารดาของผู้วิจัยที่ได้ให้กำเนิด อบรมและเลี้ยงดูรวมถึงพระคุณคุณครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตั้งแต่ระดับชั้นประถมศึกษา มัธยมศึกษา จนถึงระดับมหาวิทยาลัยทุกๆ ท่านมา ณ ที่นี้

ปรัชญา มุขดา และคณะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ระเบียบวิธีของการศึกษา	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.7 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะแรงต้านอากาศที่กระทำกับรถยนต์	8
2.1.1 แรงต้านอากาศที่เกิดจากแรงดันอากาศ	10
2.1.2 แรงต้านอากาศที่เกิดจากการไหลเข้าภายในรถยนต์	12
2.1.3 แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นรถยนต์กับถนน	13
2.1.4 แรงต้านอากาศที่เกิดจากการเสียดทานของอากาศ	13
2.2 การปรับปรุงอากาศพลศาสตร์ ด้วยอุโมงค์ลม	14
2.2.1 แนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้าน ของรูปทรงต่าง ๆ	14
2.2.2 แนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์	15
2.3 การปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์ด้วย CFD	19
2.3.1 การศึกษาการไหลผ่านวัตถุรูปทรงต่าง ๆ ด้วย CFD	19
2.3.2 แนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์ ด้วย CFD	20
2.4 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านของการติดตั้งอุปกรณ์เสริม ด้วยวิธีการจำเชิงตัวเลข	28
3.1.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานของการจำลองปรากฏการณ์ต่าง ๆ	28
3.1.2 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน	29

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ออกแบบอุปกรณ์เสริมโดยใช้โปรแกรม Solid Work	32
3.2.1 การสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์เสริม	32
3.2.2 ขั้นตอนการจำลอง (Simulation of Solid Work)	34
3.3 การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์เสริม	44
3.3.1 การสร้างอุปกรณ์เสริมที่ใช้ติดตั้งกับรถบรรทุก	44
3.3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบ	47
3.4 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	48
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์	
4.1 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองด้วย CFD	53
4.1.1 ผลการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า (โดยไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)	54
4.1.2 ผลการจำลองอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ	54
4.1.3 ผลการจำลองอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก	57
4.1.4 ผลการจำลองอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ	59
4.1.5 ผลการจำลองอุปกรณ์ปิดกระบะรถบรรทุก	61
4.2 สัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์	62
4.2.1 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านกับกรณีการทดสอบด้วย CFD	63
4.2.2 สัมประสิทธิ์แรงต้านที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบแยกชิ้นและแบบรวม ทั้ง 5 กรณี	66
4.3 อิทธิพลของความดันที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้าน	67
4.4 อิทธิพลของความเร็วที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้าน	69
4.5 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับรถบรรทุกจริง	74
4.5.1 ผลการทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	74
4.5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์แรงต้าน	76
4.5.3 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเทียบกับ ระยะทางที่ใช้ในการทดสอบ	77
4.5.4 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เทียบกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	78
4.5.5 ผลการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC)	79
4.5.6 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน	80
4.6 ผลศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้อุปกรณ์เสริม	82
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	84
5.2 ข้อเสนอแนะ	85

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก การตั้งค่าและกำหนดค่าความละเอียด ในการวิเคราะห์ของโปรแกรม Solid Work flow Simulation	93
ภาคผนวก ข การคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	102
ภาคผนวก ค การติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบ	103
ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่	104
ภาคผนวก จ ประวัติของผู้วิจัย	138
ภาคผนวก ฉ หนังสือรับรอง	156

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการขนส่ง แยกตามประเภทการขนส่ง ปี 2557	2
2-1 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกจริง	17
3-1 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 10 m/s	30
3-2 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 15 m/s	30
3-3 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 20 m/s	30
3-4 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 25 m/s	31
3-5 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 30 m/s	31
3-6 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านกับค่าเรย์โนลด์ ที่ความเร็วต่างๆ	32
3-7 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ระยะเวลา 1 เดือน	52
4.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า	54
4.2 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ	55
4.3 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ	57
4.4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ	59
4.5 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง อุปกรณ์ปิดกระบะรถบรรทุก	61
4.6 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านการจำลองอุปกรณ์เสริมแต่ละกรณี	64
4.7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการทดสอบจริง	75
4.8 ผลการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านกรณีติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่างๆ	77
4.9 ผลการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (km/liters)	78
4.10 ผลการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (liters/hr)	79
4.11 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ (SFC)	80
4.12 การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน ($\Delta\mu$, liters/100 km)	81
4.13 ค่าใช้จ่ายในการสร้างของแต่ละอุปกรณ์เสริม	82

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2556	1
1-2 ลักษณะรถบรรทุกนิยมใช้ในประเทศไทยในปัจจุบัน	2
1-3 การไหลผ่านของอากาศเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์	4
1-4 การออกแบบเบื้องต้นเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบและสร้างอุปกรณ์เสริม	5
1-5 รถบรรทุกใหญ่ขนาด 13 ตัน ที่ใช้ในการทดสอบ	5
2-1 ความสัมพันธ์ของความเร็วกับแรงต้านที่เกิดขึ้นกับรถยนต์	9
2-2 สัดส่วนของลักษณะแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นกับรถยนต์	10
2-3 ลักษณะรูปทรงท้ายต่างๆ ของรถยนต์นั่ง	10
2-4 การเกิดเวคที่มีลักษณะ และขนาดที่แตกต่างกัน	11
2-5 ส่วนต่างๆ ของรถที่ทำให้เกิดเวค	12
2-6 อัตราการเพิ่มของสัมประสิทธิ์แรงต้านจากระบบระบายความร้อน	12
2-7 ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้าน	13
2-8 สัมประสิทธิ์แรงต้านของทรงกลมเจาะรู และไม่เจาะรู	14
2-9 การทดสอบโดยใช้อุโมงค์ลมขนาดใหญ่	15
2-10 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกเพื่อทดสอบจริง	17
2-11 การออกแบบช่องระบายความร้อนของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน	18
2-12 มุม (α) Back-light angle, (β) Boat-tail angle และ (γ) Ramp angle	21
2-13 การเกิดเวคส่วนท้ายกระบะของรถบรรทุกเล็ก โดย CFD	21
2-14 กรณีศึกษาของรถบรรทุกที่ปรับเปลี่ยนรูปทรงท้ายกระบะ	22
2-15 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้น	23
2-16 สภาพการไหลของอากาศผ่านตัวรถบรรทุกทั้ง 5 กรณี	23
2-17 ค่าที่ได้จากการวัดโดย APTH	26
3-1 แสดงลำดับขั้นตอนของเทคนิค CFD ของงานวิจัยที่ศึกษา	29
3-2 สัมประสิทธิ์แรงต้านที่เรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆ ของงานวิจัยนาย ญัฐพงศ์ คล้ายทรง	32
3-3 รูปร่างของรถบรรทุกขนาดจริงที่ใช้ในการออกแบบและจำลอง	33
3-4 ขนาดของรถบรรทุกที่ใช้ออกแบบและจำลองโดยโปรแกรม Solid Work 2015	33
3-5 การเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้ง มุมเอียงของอุปกรณ์เสริมเพื่อหาค่าที่เหมาะสม	34
3-6 แสดงวิธีการจำลองเชิงตัวเลขของโปรแกรม Solid Work Flow Simulation	35
3-7 กำหนดชื่อเรื่อง ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	35
3-8 การกำหนดหน่วยของผลลัพธ์ ระบบที่ต้องการจำลองการไหล	36
3-9 การเลือกการวิเคราะห์ในโปรแกรม Solid Works Flow Simulation	37
3-10 การกำหนดชนิดของของไหลของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	37
3-11 การกำหนดค่าสภาพแวดล้อมในการคำนวณ ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-12 การกำหนดค่า Mesh ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	39
3-13 แสดงจำนวน Mesh ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	39
3-14 กำหนดค่า Boundary condition ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	40
3-15 แสดงรูปแบบ Boundary condition ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล	41
3-16 กำหนดและเลือกค่าต่างๆ ที่ต้องการทราบค่า	42
3-17 กำหนดค่าความเร็วในการประมวลผลของโปรแกรม	42
3-18 แสดงรูปแบบการประมวลผลของโปรแกรม Solid Work Flow Simulation	43
3-19 แสดงการตรวจสอบผลที่โปรแกรมประมวลได้ในเชิงตัวเลข	43
3-20 อุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก	45
3-21 อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก	46
3-22 อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะรถบรรทุก	47
3-23 ก) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถ ข) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ ค) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ ง) ติดตั้งอุปกรณ์ปิดกระบะรถบรรทุก	48
3-24 เส้นทางและระยะทางที่ใช้ในการทดสอบจากถนนเพชรเกษม ราชบุรี-จอมบึง	49
3-25 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 1	50
3-26 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 2	50
3-27 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 3	51
3-28 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 4	51
3-29 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 5	52
4-1 การเปลี่ยนแปลงรัศมี มุมเอียง รัศมีโค้งต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน ของแต่ละอุปกรณ์เสริม	53
4-2 แสดงการไหลผ่านของอากาศ จากการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า	54
4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับการเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้ง ของอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก	55
4-4 การจำลองอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุกเชิงกราฟิก	56
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับการเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้งของ อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ	57
4-6 การจำลองติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถเชิงกราฟิก	58
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับการเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงของระนาบ อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ	59
4-8 การจำลองติดอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะเชิงกราฟิก	60
4-9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง	61
4-10 การจำลองอุปกรณ์เสริมปิดกระบะรถบรรทุกเชิงกราฟิก	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-11 อุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งกับรถบรรทุก	63
4-12 สัมประสิทธิ์แรงต้านรวมของรถบรรทุก แต่ละกรณี	64
4-13 ผลเชิงกราฟฟิกของกรณี ก) กรณีที่ 1 ข) กรณีที่ 2 ค) กรณีที่ 3 ง) กรณีที่ 4 จ) กรณีที่ 5 ตามลำดับอุปกรณ์เสริมที่เพิ่มขึ้น	65
4-14 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งกับรถบรรทุก ในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบแยกชิ้นกับการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบรวมทั้ง 5 กรณี	66
4-15 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 1	67
4-16 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 2	67
4-17 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 3	68
4-18 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 4	68
4-19 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 5	69
4-20 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 1	69
4-21 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 2	70
4-22 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 3	70
4-23 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 4	71
4-24 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 5	71
4-25 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับกรณีทดสอบจริง	76
4-26 กราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกแต่ละกรณีทั้ง 5 กรณี	81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_D	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	-
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยก	-
C_M	สัมประสิทธิ์โมเมนต์ปีกงย	-
C_Y	สัมประสิทธิ์แรงต้านข้าง	-
C_R	สัมประสิทธิ์โมเมนต์จากการโคลง	-
C_N	สัมประสิทธิ์ โมเมนต์จากการส่าย	-
F_D	แรงต้านรวม	N (นิวตัน)
Re	Reynolds number	-
m/s	ความเร็ว	เมตรต่อวินาที
km/hr	ความเร็ว	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
m	ความยาว	เมตร
cm	ความยาว	เซนติเมตร
mm	ความยาว	มิลลิเมตร
m^2	พื้นที่	ตารางเมตร
hp	แรงม้า	kW (กิโลวัตต์)
V	แรงดัน	Volt (โวลต์)
ν	ความหนืดจลน์	m^2/s (ตารางเมตรต่อวินาที)
n	ความเร็วรอบต่อเวลา	rpm (รอบต่อนาที)
α	ค่ามุมเอียง	องศา
θ	ค่ามุม	องศา
%	เปอร์เซ็นต์	-
dF	แรงรวมที่กระทำในแนวแกน	N (นิวตัน)
P	ความดัน	pascal (ปาสคาล)
C_p	สัมประสิทธิ์ความดัน	-
D_p	แรงต้านจากความดัน	N (นิวตัน)
D_f	แรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทาน	N (นิวตัน)
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

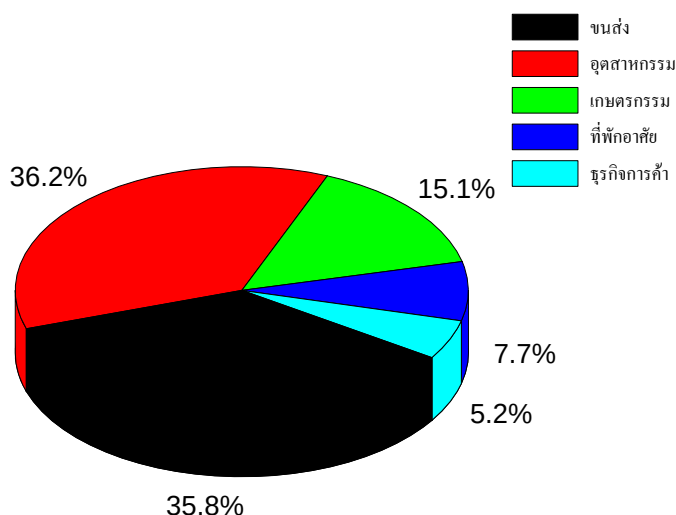
สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
μ	ความหนืดสัมบูรณ์	$N.s/m^3$ (นิวตันวินาทีต่อลูกบาศก์เมตร)
τ	หน่วยแรงเฉือน	N/m^2 (นิวตันต่อตารางเมตร)
γ	น้ำหนักจำเพาะ	N/m^3 (นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)
Z	ระดับความสูง	m (เมตร)
u, v, w	ความเร็ว	m/s (เมตรต่อวินาที)
t	เวลา	s (วินาที)
U'	การไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา	-
a	ความเร่ง	m/s^2 (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
m	มวล	kg (กิโลกรัม)
D	มิติ	-
Δ	เฉลี่ย	-
K	ค่าคงที่การนำความร้อนของของไหล	N/s K
$k - \epsilon$	แบบจำลองความปั่นป่วน k - epsilon	-
Re_1	เลขเรย์โนลด์นัมเบอร์	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจเป็นตัวแปรที่มีผลสำคัญทำให้เกิดวิกฤตพลังงานหลายด้านของประเทศไทย เพราะพลังงานเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบเศรษฐกิจสามารถขับเคลื่อนซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2556 (ภาพที่1-1) แสดงให้เห็นว่า การขนส่ง เป็นสาขาเศรษฐกิจที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงเกือบเทียบเท่ากับสาขาอุตสาหกรรม โดยมีการใช้พลังงาน 36.2 % ของพลังงานทั้งหมด และมีการใช้ในสาขาขนส่ง 35.8 % เกษตรกรรม 15.1 % บ้านอยู่อาศัย 7.7 % และ ธุรกิจการค้า 5.2 %



ภาพที่ 1-1 การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2556 [1]

ซึ่งการขนส่งสินค้าและวัตถุดิบจำเป็นต้องใช้ยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่เพื่อความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น รถไฟ เรือ หรือเครื่องบิน ดังตารางที่ 1 แต่เนื่องจากระบบการจัดการการส่งสินค้า (logistics) ภายในประเทศยังไม่มีพัฒนาที่ดีพอกับการคมนาคมขนส่งของยานพาหนะดังกล่าว รถบรรทุกขนาดใหญ่ หรือรถบรรทุกที่มีขนาดมากกว่า 10 ตัน จึงเป็นยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศมากที่สุดเพราะความเหมาะสมกับสภาพถนนสภาพภูมิประเทศและต้นทุนในการขนส่ง ดังนั้นในภาครัฐจึงต้องมีมาตรการในการใช้พลังงานของรถบรรทุกให้ลดลงมากที่สุด

ตาราง 1-1 ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการขนส่ง แยกตามประเภทการขนส่ง ปี 2557 [1]

ประเภทการขนส่ง	100%	หน่วย :(พันตัน)เทียบเท่าน้ำมันดิบ
รถบรรทุก	75.96 %	17,684
รถไฟ	0.45 %	104
เรือ	7.07 %	1,645
เครื่องบิน	16.52%	3,847

ซึ่งการส่งเสริมการใช้รถบรรทุกประหยัดพลังงาน ก็เป็นนโยบายหนึ่งของมาตรการ โดยภาคอุตสาหกรรมการผลิต และนักวิจัย จึงพยายามคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ที่สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกให้มากที่สุด อาทิเช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น การใช้พลังงานทดแทน การใช้เครื่องยนต์พลังงานแบบผสม (hybrid engine) ก็เป็นหนทางหนึ่ง ที่จะทำให้มาตรการนั้นประสบผลสำเร็จ แต่ที่สำคัญไม่น้อยกว่าเรื่องของเครื่องยนต์ก็คือ การลดแรงต้านอากาศ ซึ่งเรายังขาดการศึกษา และองค์ความรู้ในเชิงออกแบบ เพื่อพัฒนาอุปกรณ์เสริมเพื่อลดแรงต้านพอสมควร

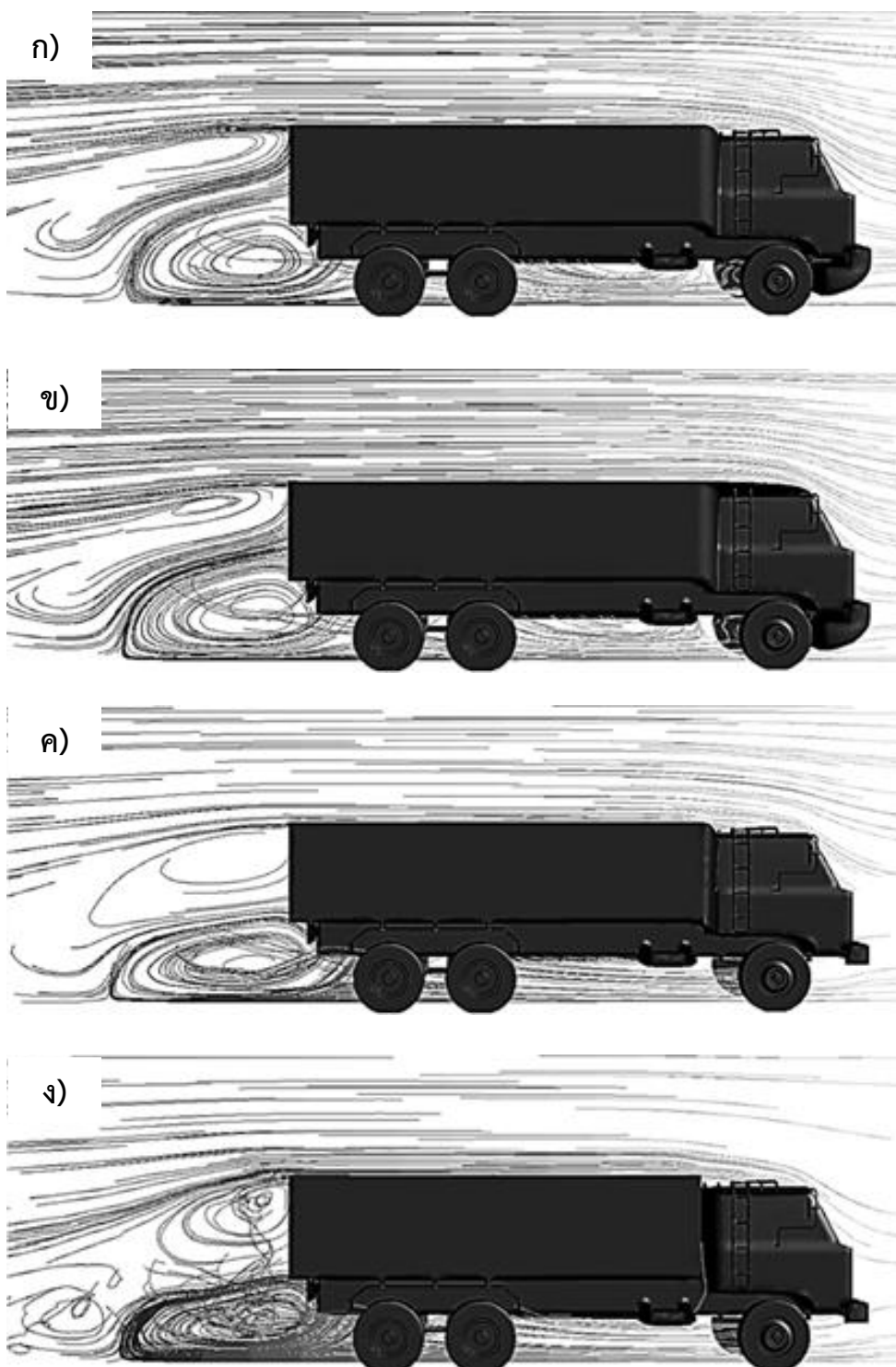


ภาพที่ 1-2 ลักษณะรถบรรทุกนิยมใช้ในประเทศไทยในปัจจุบัน ก) รถบรรทุก 4 ล้อขนาดใหญ่ ข) รถบรรทุก 6 ล้อเล็ก ค) รถบรรทุก 6 ล้อใหญ่ ง) รถบรรทุก 10 ล้อขับเคลื่อนด้วยเพลาดียว จ) รถบรรทุก 10 ล้อขับเคลื่อน 2 เพลา ฉ) รถเทลเลอร์หรือรถหัวลากจูง [2]

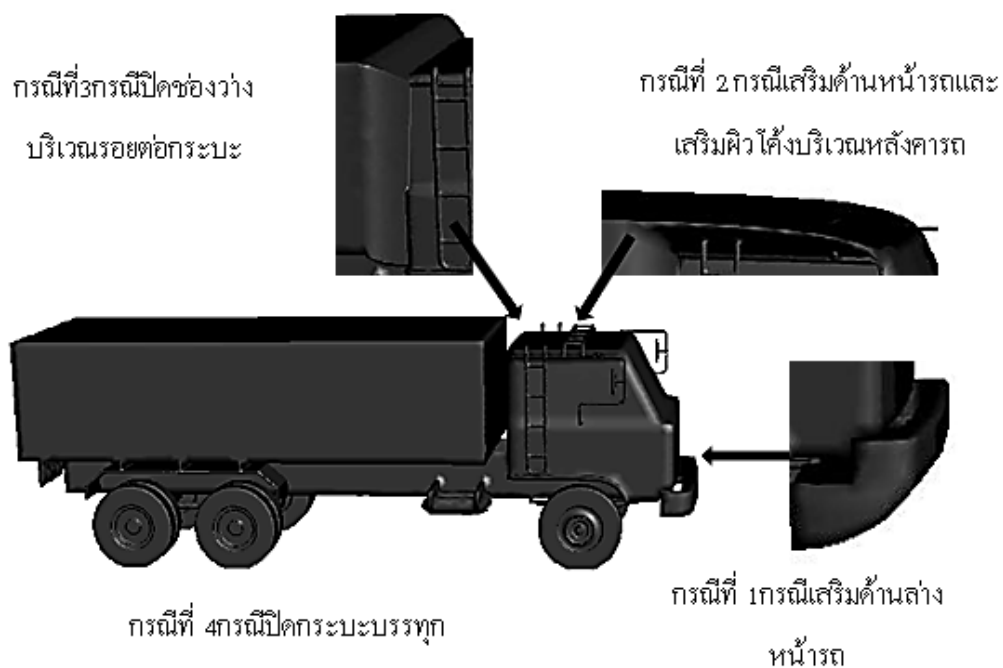
การพัฒนาองค์ความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics) ส่วนใหญ่จะเน้นส่วนของตัวถังของและช่วงล่างของรถถึงแม้รูปทรงของรถบรรทุกที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยจะมีการออกแบบที่ดีอยู่แล้ว แต่ก็สามารถปรับปรุง หรือดัดแปลง ส่วนด้านหน้ารถ และส่วนอื่นๆ ให้มีแรงต้านอากาศต่ำลงได้อีก โดยรถบรรทุกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นมีอยู่ 6 ประเภทคือ (1) รถบรรทุก 4 ล้อขนาดใหญ่ (2) รถบรรทุก 6 ล้อขนาดเล็ก (3) รถบรรทุก 6 ล้อขนาดใหญ่ (4) รถบรรทุก 10 ล้อขับเคลื่อนด้วยเพลาดียว (5) รถบรรทุก 10 ล้อขับเคลื่อน 2 เพลา (6) รถเทเลอร์หรือรถหัวลากสูงเป็นอันดับสุดท้าย แสดงในภาพที่ 1-2 ในตระกูลรถบรรทุก ซึ่งรูปแบบตัวถังก็จะเปลี่ยนไปตามรูปแบบการใช้งานหรือรูปแบบสินค้า และในการใช้งานจริง ผู้ใช้มักจะติดตั้งอุปกรณ์เสริม ทำให้การใช้งานผิดไปจากต้นแบบเสมอค่าแรงต้านอากาศของรถที่ถูกดัดแปลงจะไม่เท่าเดิมทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น

จากงานวิจัยของ นายณัฐพงศ์ คล้ายทรง ที่ผ่านมาซึ่งได้มีการทดสอบแรงต้านในการติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก 4 ล้อขับเคลื่อน ด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics CFD) ดังที่แสดงในภาพที่ 1-3 เป็นการจำลองการไหลของอากาศ โดยรวบรวมอุปกรณ์เสริมของ 1,2,3 และ 4 เข้าด้วยกัน(ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าลักษณะการหมุนวนของอากาศด้านท้ายรถจะมีความราบเรียบมากขึ้น (ตามลำดับ) เช่นกันและจากการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ของการจำลองเบื้องต้นนี้ สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้มากถึง 8-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงค่อนข้างสูง ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้อาจจะเป็นอุปกรณ์เสริมที่มีการออกแบบถูกต้องตามหลักอากาศพลศาสตร์ เพราะทำให้การไหลของอากาศมีความราบเรียบขึ้นซึ่งแสดงถึงการลดลงของแรงต้านของอากาศและกรณีอื่นๆอีกซึ่งตามที่กล่าวมาอาจจะเป็นคำตอบที่เหมาะสม หรือไม่ ควรจะมีการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

เพราะฉะนั้นหากมีการศึกษาปรากฏการณ์นี้โดยละเอียดก็จะทำให้ทราบสภาพการไหลปัญหาข้อมูลความจริงนำมาออกแบบสร้างติดตั้ง และทดสอบจริงและเสนอแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสมได้ก็จะสามารถลดนำเข้าของเชื้อเพลิงจากต่างประเทศในระดับหนึ่ง



ภาพที่ 1-3 การไหลผ่านของอากาศเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์ ก) เสริมด้านล่างหน้ารถ ข) เสริมด้านหน้ารถและเสริมผิวโค้งบริเวณด้านบนหลังคารถ ค) ปิดช่องว่างรอยต่อของกระบะ ง) ปิดกระบะบรรทุก [3]



ภาพที่ 1-4 การออกแบบเบื้องต้นเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบและสร้างอุปกรณ์เสริม [3]

ดังนั้นโครงการวิศวกรรมนี้ จะนำความรู้เรื่องอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุกขนาดใหญ่ ขนาด 13 ตัน มาศึกษาสัมประสิทธิ์แรงต้าน และแรงต้านอากาศ จะทำการศึกษาทั้งการทดลองจนนำไปสู่การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เสริมใช้งานได้จริงและที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงให้มากที่สุด



ภาพที่ 1-5 รถบรรทุกใหญ่ขนาด 13 ตัน ที่ใช้ในการทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อออกแบบสร้างและติดตั้งอุปกรณ์เสริมรถบรรทุกและทดสอบจริง เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับผลของ CFD (Validation)

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ด้านเศรษฐศาสตร์ และระยะเวลาคู่มือทุนของกรณีอุปกรณ์เสริมที่ประหยัดเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุกขนาดใหญ่รูปทรงปกติกับรูปทรงที่ติดอุปกรณ์เสริมในประเทศไทย ทดสอบในช่วงความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.3.2 ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Solid Work 2015 ในการออกแบบและจำลองด้านอากาศพลศาสตร์ของการติดตั้งอุปกรณ์เสริม

1.3.3 ใช้รถบรรทุกสลิบล้อยี่ห้อ ISUZU DECA รุ่น FXZ 240 แร้งม้า ขนาด 13 ตัน เป็นรถที่ใช้ทดสอบ

1.3.4 ทดสอบรถบรรทุกที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม 4 กรณี คือกรณีปิดกระบะบรรทุก กรณีปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ กรณีเสริมด้านหน้ารถ และกรณีเสริมด้านหน้ารถและเสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ

1.3.6 สภาพบรรยากาศ เป็น บรรยากาศปกติเฉลี่ยของประเทศไทยถนนเพชรเกษม ราชบุรี-จอมบึง เป็นเส้นทางการทดสอบของรถ

1.4 ระเบียบวิธีของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาหาข้อมูล รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบอุปกรณ์เสริมด้วยการจำลองโดยโปรแกรม Solid Work 2015 ทั้งหมด 5 อุปกรณ์ ดังนี้

- 1) รถบรรทุกตัวเปล่า (Normal truck)
- 2) อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ (Accessories front bumper)
- 3) อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ (Accessories front bumper & roof rack)
- 4) อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ (Lateral Gap closed)
- 5) อุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก (Canvas covered truck)

1.4.3 สร้างอุปกรณ์เสริมจริงตามแบบจำลอง

1.4.4 ติดตั้งอุปกรณ์เสริมเข้ากับตัวรถบรรทุก

1.4.5 ทดสอบวิ่งจริง โดยวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการเก็บข้อมูลจากการเติมน้ำมันเต็มถังทำการวิ่งทดสอบ และกลับมาเติมน้ำมันเต็มถังอีกครั้งหนึ่งเพื่อตรวจสอบน้ำมันที่ใช้ไป
ทุกๆกรณีทดสอบ

1.4.6 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน

1.4.7 สรุปผลและเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถออกแบบรูปร่างและสร้างอุปกรณ์เสริมใช้งานได้จริง

1.5.2 สามารถนำไปผลิตอุปกรณ์เสริมที่ใช้ทางด้านการขนส่งพาณิชย์ได้ในอนาคต

1.5.3 ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหรือประหยัดพลังงานจากการติดตั้งอุปกรณ์เสริม

1.5.4 เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษา และเผยแพร่ความรู้ นำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาผลงานนี้ในอนาคต

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1.6.1 อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับแรงที่อากาศกระทำต่อวัตถุ ในขณะที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ผ่านอากาศวัตถุอาจเป็นเครื่องบิน เรือ และวัตถุอื่นๆ อากาศพลศาสตร์เกี่ยวข้องกับแรงที่อากาศกระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ 2 แรง คือ แรงยก และแรงฉุด โดยศึกษาจากสมภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขที่เกิดขึ้น

1.6.2 อุปกรณ์เสริม (Accessories) หมายถึง อุปกรณ์ที่ติดตั้งตัวรถบรรทุกใช้ทดสอบวิ่งจริง และเก็บข้อมูล เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงให้มากที่สุด

1.6.3 รถบรรทุก (Truck) หมายถึง รถที่มีส่วนหัวเก๋ง แชนซีส และตัวถังในโครงสร้างเดียวกัน น้ำหนักตั้งแต่ 2 ตันขึ้นไปแบ่งประเภทได้ตามลักษณะการต่อตัวถังที่ใช้ในการบรรทุก

1.6.4 วิธีจำลองเชิงตัวเลข (Computation Fluid Dynamics: CFD) หมายถึง การวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลหรือความร้อน โดยการสร้างแบบจำลองและคำนวณจากคอมพิวเตอร์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านอากาศพลศาสตร์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการทดลองด้วยอุโมงค์ลม การจำลองด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD) และการทดสอบจริง ที่นักวิจัยท่านอื่นได้ศึกษาหรือทำการวิจัยมาก่อน ถือเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญ ก่อนดำเนินวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ส่วนต่าง ๆ ต่อไป ดังนั้น สำหรับบทนี้ จะได้นำเสนอการศึกษาของงานวิจัยท่านอื่นที่ผ่านมา ซึ่งประกอบด้วยวิธีการวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ ทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา อุปสรรคหรือผลกระทบที่เกิดขึ้น ผลสรุป และข้อดีของงานวิจัย เพื่อได้นำมาเป็นหลักการในนำองค์ความรู้มาพัฒนาในการปรับปรุงรูปทรงหรือวิธีที่ช่วยลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกในงานวิจัยนี้

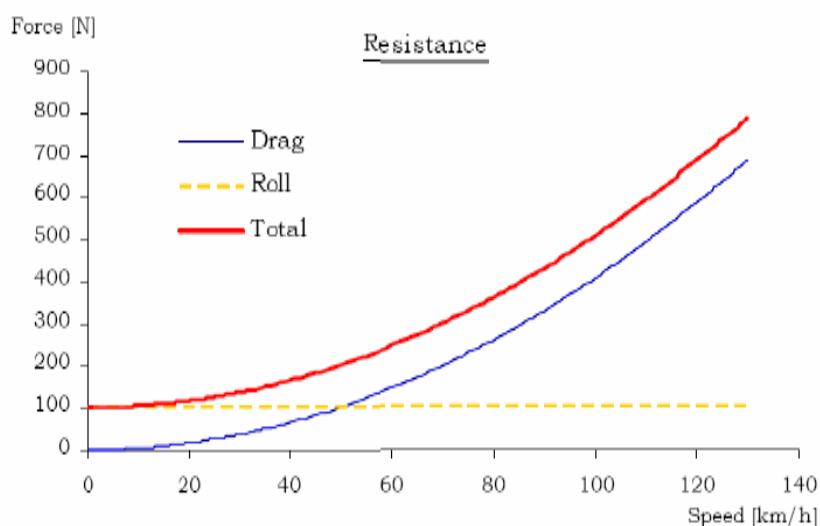
2.1 ลักษณะแรงต้านอากาศที่กระทำกับรถยนต์

การไหลของอากาศรอบ ๆ รถยนต์ โดยอากาศครอบคลุมอยู่ผิววนอกของรถยนต์ เรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลภายนอก (External flow) ซึ่งการศึกษาการไหลภายนอกมีส่วนสำคัญมากต่อการเคลื่อนที่ของรถยนต์ จึงจำเป็นที่ต้องอาศัยหลักการของอากาศพลศาสตร์มาวิเคราะห์ ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ของรถยนต์ต่าง ๆ จะต้องพิจารณาที่อากาศกระทำต่อผิววนอกของรถยนต์ คือแรงยกและแรงหน่วง (Lift and Drag) ทั้งสองแรงมีความสำคัญมากต่อการออกแบบรูปทรงที่ถูกต้อง และความเหมาะสมเพื่อให้มีคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ที่ดี [4]

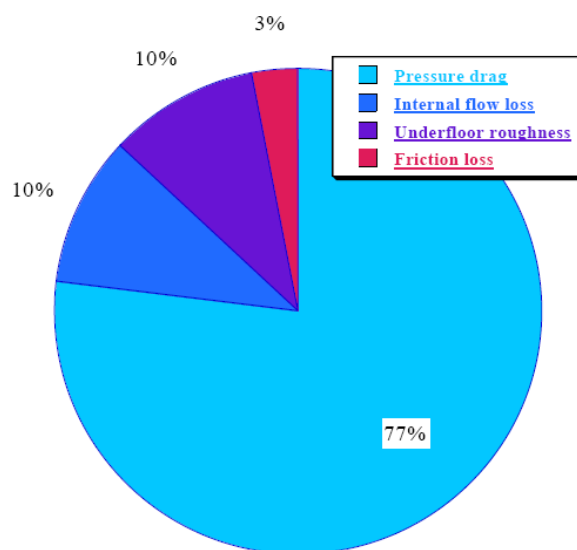
ซึ่งรถยนต์ที่นำมาใช้งานในปัจจุบัน จากแรงที่กระทำทั้งแรงยกและแรงหน่วง หากจะพิจารณาโดยรวมกันคือแรงต้านอากาศ Alexander (2000) กล่าวว่า รถยนต์ทุกชนิดที่วิ่งบนถนนนั้น จะมีแรงต้านที่มีทิศทางสวนทางกับทิศทางการวิ่ง คือแรงเสียดทานที่เกิดจากยางสัมผัสกับถนนในขณะที่ล้อหมุนเพื่อวิ่งไปข้างหน้า และอีกอย่างหนึ่งคือแรงต้านอากาศ ซึ่งถ้ารถวิ่งแหวกอากาศออกไปที่มีความเร็วต่ำ แรงต้านอากาศจะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงต้านการหมุน ถ้ารถวิ่งด้วยความเร็วสูง แรงต้านอากาศจะมีผลต่อการขับเคลื่อนอย่างยิ่ง ซึ่งแรงต้านอากาศจะเพิ่มขึ้นถึง 80 % ของแรงต้านทั้งหมด [5] ดังภาพที่ 2-1

จากภาพที่ 2-1 จะเห็นได้ว่าแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับล้อ จะคงที่ตลอดความเร็วที่รถยนต์วิ่ง และแรงต้านอากาศมีผลกระทบกับการเคลื่อนที่ มากกว่าแรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนน ซึ่งแรงต้านอากาศจะมีค่ามากหรือน้อย ย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของรถยนต์

ดังนั้นในการศึกษา จึงมุ่งเน้นเฉพาะแรงต้านอากาศที่กระทำกับรถยนต์ ซึ่งลักษณะของแรงต้านที่เกิดขึ้นก็มีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่ง Hocho (2006) พบว่าแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นกับรถยนต์นั้นจะแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ คือแรงต้านอากาศที่เกิดจากแรงดันอากาศ (Pressure drag), แรงต้านอากาศที่เกิดจากการไหลเข้าภายในรถยนต์ (Internal flow loss), แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณระหว่างพื้นรถยนต์กับพื้นถนน (Underfloor roughness), และแรงต้านอากาศที่เกิดจากการเสียดทานของอากาศกับผิวภายนอกรถยนต์ (Friction loss) โดยแต่ละลักษณะแรงต้านที่เกิดขึ้นดังที่กล่าวมาก็จะมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน จะมีค่ามากหรือน้อย ก็จะขึ้นว่าส่วนใดของรูปทรงเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดลักษณะของแรงต้านนั้น ๆ มากหรือน้อย [6] ภาพที่ 2-2 เป็นสัดส่วนของแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นกับรถยนต์แบบนั่ง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอยู่ในช่วง 0.25 – 0.40



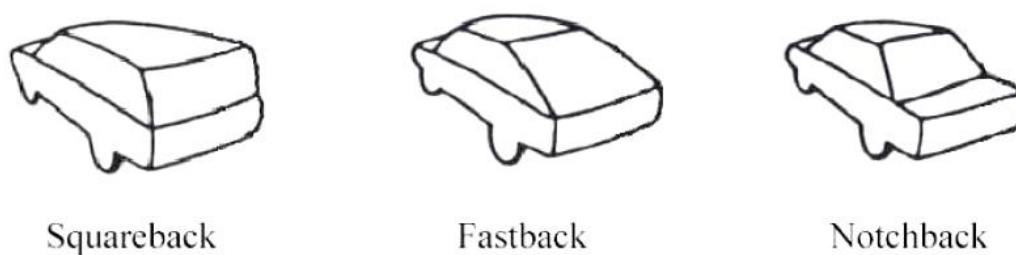
ภาพที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของความเร็วกับแรงต้านที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ [5]



ภาพที่ 2-2 สัดส่วนของลักษณะแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ [6]

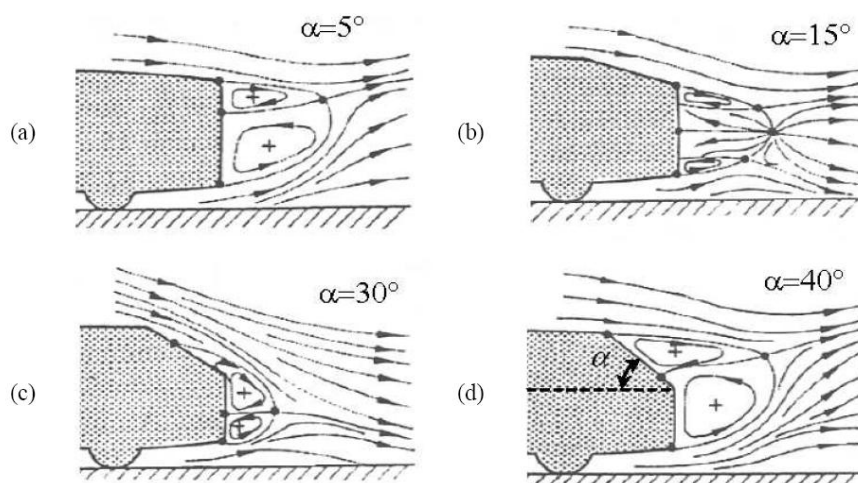
2.1.1 แรงต้านอากาศที่เกิดจากแรงดันอากาศ (Pressure drag)

เป็นแรงต้านอากาศที่มีค่ามากที่สุด เกิดจากการที่อากาศปะทะพื้นที่ของรถยนต์ ที่มีทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล จะส่งผลทำให้เกิดการปั่นป่วนของอากาศเมื่อไหลผ่านรถยนต์ ทำให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของรถยนต์ ซึ่งค่าแรงต้านอากาศจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของรถยนต์ โดยเฉพาะส่วนท้ายของรถยนต์ จะเกิดการหมุนวนของอากาศมาก โดย Ahmed and Baumert (1979) ได้แบ่งลักษณะของรูปทรงท้ายของรถยนต์นั้น เป็น 3 ลักษณะคือ ทรงท้ายสี่เหลี่ยม (Squareback), ทรงท้ายเฉียง (Fastback) และทรงท้ายบาก (Notchback) [7] ดังภาพที่ 2-3



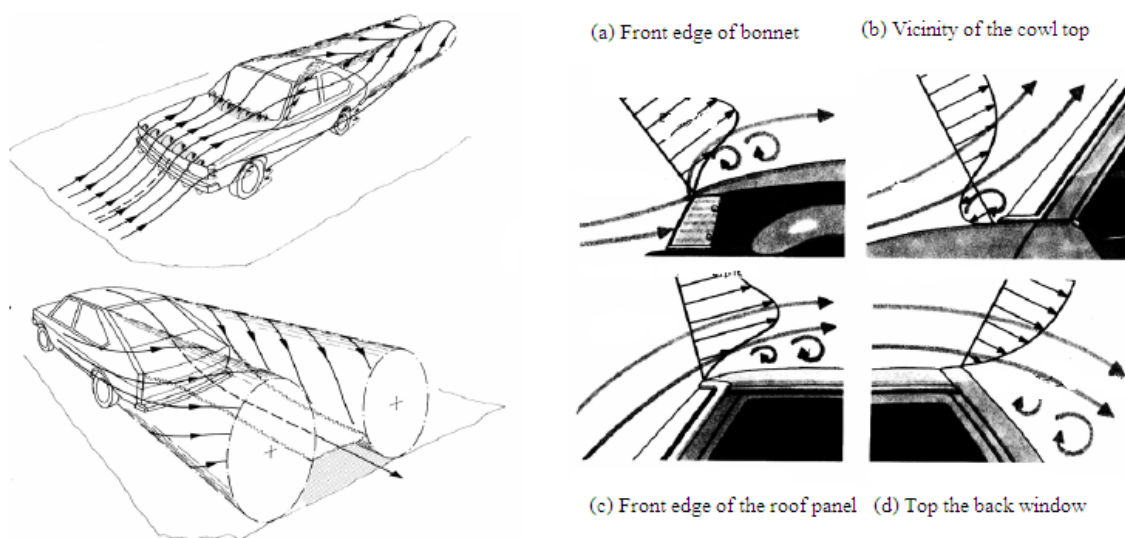
ภาพที่ 2-3 ลักษณะรูปทรงท้ายต่าง ๆ ของรถยนต์นั่ง [7]

ซึ่งรูปทรงท้ายแต่ละรูปทรงก็จะส่งผลทำให้เกิดลักษณะการหมุนวนของอากาศที่แตกต่างกัน โดย Ahmed (1983) ได้ศึกษาความแตกต่างของการหมุนวนของอากาศของรูปทรงท้ายของรถยนต์ โดยค่ามุมเอียงของรูปทรงท้าย มีค่าแตกต่างกันคือ $\alpha = 5^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ และ $\alpha = 40^\circ$ พบว่าค่ามุมรูปทรงท้ายที่ $\alpha = 30^\circ$ จะทำให้เกิดการหมุนวนเป็นวงหรือเวค (Wake) ที่มีขนาดเล็กมากที่สุด ซึ่งมีลักษณะด้านอากาศพลศาสตร์ที่ดี ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 การเกิดเวคที่มีลักษณะ และขนาดที่ต่างกัน [7]

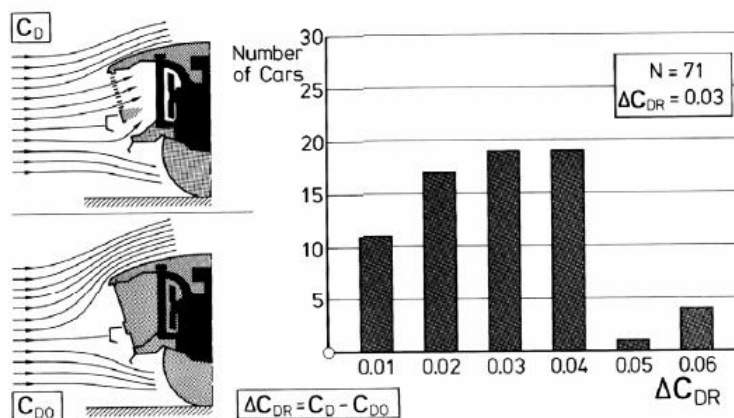
ไม่เฉพาะส่วนท้ายของรถเท่านั้นที่ทำให้เกิดเวค แต่ส่วนต่าง ๆ ของรถยนต์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับมุมที่มาก ๆ ก็จะทำให้เกิดเวคเช่นเดียวกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศอย่างฉับพลัน ซึ่ง Scibor (1984) พบว่าการเกิดการหมุนวนของอากาศที่ทำให้เกิดเวค นอกจากส่วนท้ายรถแล้วยังมีส่วนหลัก ๆ ที่ทำให้เกิดเวค คือ บริเวณส่วนหน้าของฝาครอบเครื่องยนต์ (Front edge of bonnet), ส่วนบนของตัวถังรถใต้กระจกหน้า (Vicinity of the cowl top), ด้านหน้าส่วนบนห้องผู้โดยสาร (Front edge of the roof panel) และด้านหลังส่วนบนห้องผู้โดยสาร (Top the back window) ซึ่งการเกิดเวคจากส่วนต่าง ๆ นี้ จะเกิดการรวมตัวกันและทำให้เวคขนาดใหญ่บริเวณด้านหลังรถ และมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อระยะห่างออกไปในขณะที่รถยนต์วิ่งด้วยความเร็วสูงขึ้น [8] ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ส่วนต่าง ๆ ของรถที่ทำให้เกิดเวค [8]

2.1.2 แรงต้านอากาศที่เกิดจากการไหลเข้าภายในรถยนต์ (Internal flow loss)

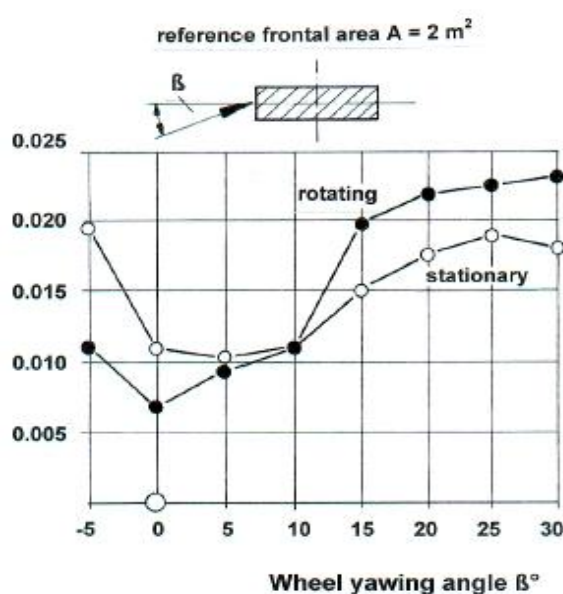
เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเข้าภายในตัวรถเพื่อระบายความร้อนให้กับระบบทำความเย็นในระบบต่าง ๆ ของรถยนต์ เช่นระบบหม้อน้ำ ระบบเบรก เทโบชาร์กเจอร์ ระบบไอติ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดการหมุนวนภายในทำให้เกิดการสูญเสีย ซึ่ง Hucho (2006) ได้พบว่ารถยนต์โดยส่วนใหญ่ที่มีระบบให้อากาศไหลเข้าไปภายในรถยนต์เพื่อระบายความร้อน เพิ่มสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมของรถ (C_D) จากเดิมประมาณ 0.03 [9]



ภาพที่ 2-6 อัตราการเพิ่มของสัมประสิทธิ์แรงต้านจากระบบระบายความร้อน [9]

2.1.3 แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นรถยนต์กับถนน (Underfloor roughness)

ซึ่งพลังงานจลน์จากย่านภายนอก (Outer region) Boundary layer ส่งถ่ายเข้าสู่ย่านภายใน (Inner region) ทำให้เกิดโมเมนตัมบริเวณระหว่างพื้นรถกับพื้นถนน เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียและความดันท้ายรถต่ำลง อีกอย่างหนึ่งก็คือ มีการหมุนวนของอากาศจากล้อที่หมุน โดย Hucho (2006) พบว่า การทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถ ระหว่างให้ล้อรถหมุน กับไม่หมุน ค่าของสัมประสิทธิ์แรงต้านจะมีความแตกต่างกัน และการเอียงของล้อที่ไม่ขนานกับถนนก็มีผลทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านเพิ่มขึ้น [9]



ภาพที่ 2-7 ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้าน [9]

2.1.4 แรงต้านอากาศที่เกิดจากการเสียดทานของอากาศ (Friction loss)

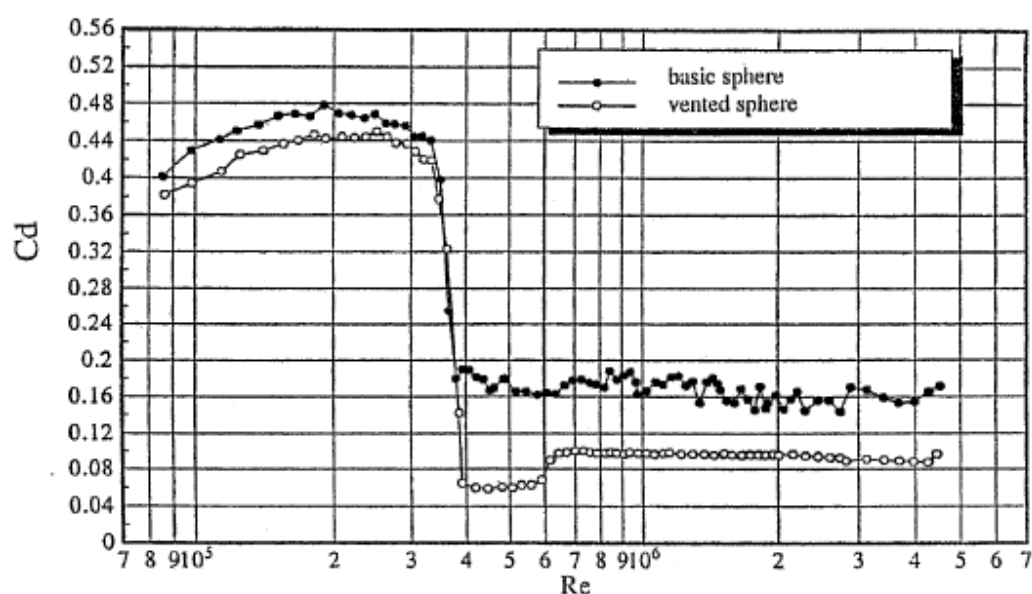
แรงต้านดังกล่าวสามารถอธิบายด้วยหน่วยแรงเฉือนที่ผิวของรถ (Wall shear stress) เกิดขึ้นจากความหนืดของของไหล ซึ่งแรงนี้จะมีทิศทางขนานกับผิวรถยนต์ ซึ่งจากภาพที่ 2-2 จะเห็นว่า ลักษณะของแรงนี้จะมีค่าน้อยมาก เนื่องจากอากาศมีค่าความหนืดต่ำ และอิทธิพลแรงต้านจากค่าความหนืดนี้จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเร็วรถเพิ่มขึ้น

2.2 การปรับปรุงอากาศพลศาสตร์ ด้วยอุโมงค์ลม

ในการศึกษาด้านอากาศพลศาสตร์ อุโมงค์ลม (Wind tunnel) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการทดสอบแรงต้านของวัตถุรูปทรงต่าง ๆ ใช้วิเคราะห์สนามการไหล และใช้สังเกตการเกิดการแยกตัวของอากาศ (Separation) ซึ่งจะเกิดการแยกตัวสูงเมื่อวัตถุมีรูปร่างลักษณะไม่เพรียวลม (Buff body) โดยรูปร่างลักษณะนี้ เมื่ออากาศไหลผ่านวัตถุที่มี Reynolds number สูงขึ้น จะทำให้ความแตกต่างของความดันที่จุดแยกตัวมีค่าสูง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านมีค่าที่สูงตามไปด้วย จึงมีนักวิจัยที่พยายามหาแนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้าน โดยพยายามลดการแยกตัวดังต่อไปนี้

2.2.1 แนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้าน ของรูปทรงต่าง ๆ

Groshe and meier (2001) ได้พยายามที่จะลดการเกิดการแยกตัวของวัตถุทรงกลม ใช้วิธีการทดสอบโดยให้อากาศไหลผ่านทรงกลมเจาะรูตรงกลาง ทดสอบด้วยอุโมงค์ลมความดันสูง (High-pressure wind tunnel) ทำให้อากาศที่ผ่านทรงกลมที่เจาะรูเกิดการแยกตัววิกฤตหรือ Supercritical Reynolds number (Supercritical Reynolds number คือการเกิดลักษณะของจุดที่เกิดการแยกตัว เคลื่อนตำแหน่งไปทางด้านท้ายวัตถุ ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงอย่างรวดเร็ว) ซึ่งทรงกลมเจาะรูตรงกลางจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงมากกว่าทรงกลมธรรมดา ที่ Reynolds number เดียวกัน [10] ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 สัมประสิทธิ์แรงต้านของทรงกลมเจาะรู และไม่เจาะรู [10]

Prasad and Williamson (1997) ได้ทำการศึกษาเพื่อลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของรูปทรงกระบอก ซึ่งในการทดสอบได้กำหนดตัวแปรคือ g ความยาวของทรงกระบอก, D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก, และ P คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่เจาะทะลุตามแนวแกนทรงกระบอก โดยใช้ค่า Reynolds number ในการทดสอบระหว่าง $1,000 < Re < 100,000$ และจากการทดสอบผลแสดงว่า รูปร่างที่ให้ผลการลดสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ดีที่สุดเมื่ออัตรา $P/D = 0.34$ และ $g/D = 1.5$ ซึ่งสามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ถึง 62% [11]

2.2.2 แนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์

Van Dam (1999), Kwon (2001) และ Storms (2004) ได้นำเอาหลักการของการลดการแยกตัวของอากาศของวัตถุ มาใช้เพื่อปรับปรุงรูปทรงของรถยนต์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นการทดสอบในอุโมงค์ลมขนาดเล็ก ใช้รถแบบจำลองในการทดสอบ แต่มักจะเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่วัดได้จากการทดสอบไม่ตรงกับค่าที่เกิดขึ้นกับรถยนต์จริง เนื่องจากรายละเอียดรูปลักษณะรถแบบจำลองไม่สามารถสร้างเหมือนจริงทุกรายละเอียด ต่อมาได้พัฒนามาใช้อุโมงค์ลมขนาดใหญ่ ที่สามารถทดสอบรถยนต์จริงได้ โดยสามารถทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ถูกต้อง และวิเคราะห์สนามการไหลที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน [12,13] Leuschen and Cooper (2006) ก็ได้นำรถบรรทุกขนาดใหญ่ขนาดจริง ทดสอบโดยใช้อุโมงค์ลมขนาดใหญ่ ศึกษาและเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยการติดตั้งอุปกรณ์เสริมภายนอก ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงต้นแบบเดิม [14] ดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 การทดสอบโดยใช้อุโมงค์ลมขนาดใหญ่ [14]

พบว่า ไม่ใช่แค่รูปทรงของรถยนต์เพียงอย่างเดียวที่มีผลกับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน แม้แต่อุปกรณ์ตกแต่ง หรืออุปกรณ์เสริมเพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน ก็มีผลทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอุปกรณ์เสริม ที่ติดตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ และยื่นออกจากตัวรถ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการสูญเสีย (Loss) โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะดูดซับพลังงานส่วนเสดความดัน (Pressure head) และเสดความเร็ว (Velocity head) ของอากาศเมื่อปะทะกับรถ เช่น กันชนรถยนต์, อุปกรณ์บังแสงแดดด้านข้างกระจก, อุปกรณ์สำหรับวางของบนหลังคา เป็นต้น ซึ่งเพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 4% ถึง 6% แต่ก็มีอุปกรณ์เสริมที่ช่วยลดสัมประสิทธิ์แรงต้าน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในลดการหมุนวนของอากาศ (Vortex or recirculation) เช่น ที่บังล้อ เป็นต้น ซึ่งลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption) 5% ถึง 7% เป็นการลดอัตราการสูญเสียโดยการลดการหมุนวนของอากาศ ที่เกิดขึ้นภายนอกตัวรถยนต์ (External flow loss) แต่อุปกรณ์บางชิ้น เช่น สปอยเลอร์ Kieffer, et al. (2006) ได้ศึกษาอุปกรณ์เสริมที่มีส่วนทำให้แรงต้านสูงขึ้นนั้น ก็มียังมีข้อดีสำหรับเพิ่มแรงกดเพื่อยึดติดถนนสำหรับรถยนต์นั่ง แต่ก็ควรไม่ให้มีค่าสูงมากจนเกินไปโดย [15] Tomiyama et al. (2002) ได้ศึกษาแรงยกเพื่อที่จะหาค่าที่เหมาะสมของแรงยกกับรูปร่างรถ ใช้อุโมงค์ลมเป็นเครื่องมือทดสอบเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎีของแรงยก ซึ่งแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ แรงยกด้านหน้า และแรงยกด้านหลัง [16] Ouzawa (1992) และ ได้ศึกษาพฤติกรรมของเวคซึ่งมีลักษณะไม่คงตัว (Unsteady) โดยในการศึกษาได้ใช้รถยนต์นั่งติดสปอยเลอร์ พบว่ารูปร่างด้านท้ายที่ก่อให้เกิดแรงต้านมากที่สุด เรียกรูปทรงนี้ว่า รูปทรงท้ายวิกฤต (Critical afterbody geometry) [17] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อาทิตย์ ฤทธิ์เลื่อน และ อุดมเกียรติ นนท์แก้ว (2546) และ Fukuda, et al. (1995) ได้ปรับปรุงอากาศพลศาสตร์โดยการควบคุมอากาศที่กระทบกับรถยนต์แบบนั้น ซึ่งจะเน้นอุปกรณ์การควบคุมการไหลผ่านด้านหลังรถซึ่งเป็นที่รู้จักกันคือ สปอยเลอร์ ได้มีการปรับเปลี่ยนรูปร่างของ สปอยเลอร์ ปรับเปลี่ยนมุมมองฯ ขนาด และตำแหน่งของการติดตั้ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะเพิ่มแรงกด และลดแรงต้าน ในการวิเคราะห์พบว่า เมื่อรูปทรงด้านท้ายได้มีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งถึงรูปทรงท้ายวิกฤต จะทำให้เกิดรูปแบบการไหลในเวคอย่างฉับพลัน และมีเวคขนาดใหญ่ ทำให้เกิดแรงต้านสูง และระยะระหว่างพื้นรถและพื้นถนนก็ยังมีผลกับสัมประสิทธิ์แรงต้านด้วยเช่นกัน [18,19]

ปรัชญา มุขดา (2012) ได้ทำการทดสอบรถบรรทุกด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เสริม และวิ่งทดสอบจริง เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3 กรณีคือ กรณีปกติ ซึ่งใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบกับกรณี ปิดท้ายกระบะ และเสริมท้ายกระบะแบบเอียง [20] ดังภาพที่ 2-10



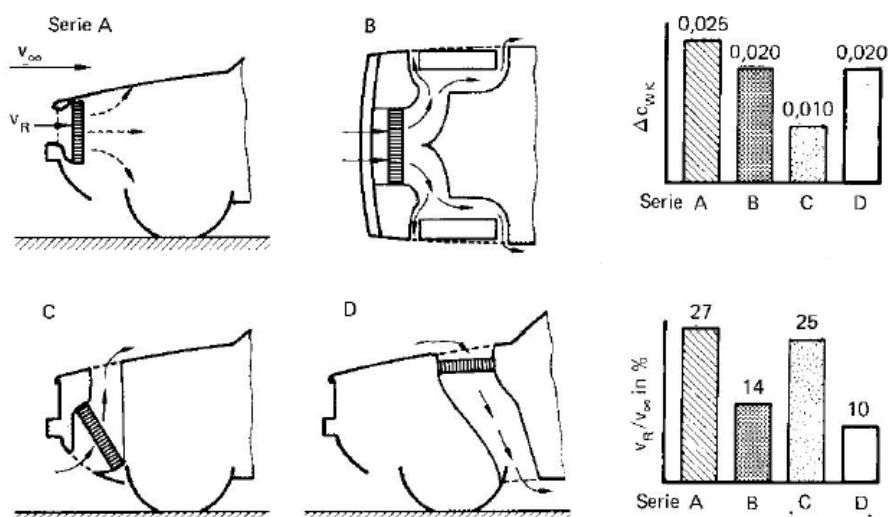
ภาพที่ 2-10 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกเพื่อทดสอบจริง [20]

ตารางที่ 2-1 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกจริง [20]

กรณี	เส้นทาง ไป - กลับ	ระยะทาง (km)	ราคาน้ำมัน (บาท/ลิตร)	จำนวนเงิน เติมน้ำมัน (บาท)	ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	อัตราการ เปลี่ยนแปลง (%)
ปกติ	เพชรฯ-หัวหิน	200	29.93	1,813.14	60.58	-
ปิดกระบะบรรทุก	เพชรฯ-หัวหิน	200	29.93	1,960.00	65.49	+ 8.10
เสริมท้ายกระบะ แบบเอียง	เพชรฯ-หัวหิน	200	29.93	1,630.01	54.46	- 10.10

แต่สาเหตุการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการไหลของอากาศผ่านรถยนต์นั้น ยังมีการสูญเสียเนื่องจากการไหลของอากาศเข้าสู่ภายในรถยนต์ (Internal flow loss) โดยอากาศสามารถไหลเข้าผ่านช่องว่างระหว่างส่วนประกอบของชิ้นส่วนรถยนต์ (Gap) ทำให้เกิดการหมุนวนภายใน โดยเฉพาะอากาศที่ไหลเข้าภายในเพื่อระบายความร้อน โดย Hucho (2006) ได้เปรียบเทียบของสัมประสิทธิ์แรงต้านระหว่างการออกแบบช่องระบายอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ใช้รถยนต์แบบนั่งทดสอบ ผลปรากฏ

ว่า การออกแบบที่ให้อากาศไหลเข้าด้านล่างเพื่อระบายความร้อนของเครื่องยนต์ จะเพิ่มสัมประสิทธิ์แรงต้านน้อยที่สุด [6] ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 การออกแบบช่องระบายความร้อนของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน [6]

เช่นเดียวกันกับ ช่วงห่างระหว่างห้องผู้โดยสารกับส่วนท้ายกระบะของรถบรรทุก ซึ่งจะเกิดเวกซ์ขึ้น โดยสามารถลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปิดช่องว่าง หรืออุปกรณ์เพื่อช่วยลดการไหลเข้าสู่ช่องว่าง แต่การทดสอบในอุโมงค์ลมก็ยังมีข้อจำกัดของการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนขนาดหรือมุมหักเหของอุปกรณ์เสริมที่มีความละเอียด เช่นการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของการการปรับมุมของสปอร์เตอร์ของรถยนต์แบบนั่ง ซึ่งค่าที่วัดได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลมไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ เนื่องจากค่าไม่มีความละเอียดพอ และยังมีข้อจำกัดของสถานะของการทดสอบ เช่น ความเร็ว ความดัน อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น โดยการทดสอบส่วนใหญ่จะจำกัดอยู่ในสถานะบรรยากาศแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันได้มีวิธีการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านที่สามารถกำหนดสถานะ หรือแม้แต่การปรับเปลี่ยนรูปร่างของรถหรืออุปกรณ์เสริมโดยไม่สิ้นเปลืองเงินทุน และเวลาในการทดสอบ

2.3 การปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์ด้วย CFD

การคำนวณเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) หรือที่เรียกว่า วิธีจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งปัจจุบันเป็นเครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการออกแบบรถยนต์ ซึ่งนิยมใช้ซอฟต์แวร์ FLUENT สำหรับการจำลองการไหลแบบราบเรียบอัดตัวไม่ได้ โดยวิธีปริมาตรจำกัด (Finite volume) โดยส่วนใหญ่เป็นการใช้กับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ โดยมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาและวิจัยในรูปแบบวิธีการคำนวณต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลผ่านวัตถุ ซึ่งรวมทั้งยานพาหนะต่าง ๆ ด้วย

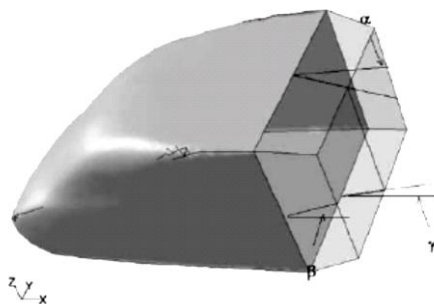
2.3.1 การศึกษาการไหลผ่านวัตถุรูปทรงต่าง ๆ ด้วย CFD

เริ่มต้นจากการทดสอบไหลผ่านแบบจำลองใน 2 มิติ อุทโยภาส และคณะ (2546) ศึกษาวิธีการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการไหลแบบราบเรียบอัดตัวไม่ได้ในสองมิติโดยใช้หลักการของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ วิธีปริมาตรจำกัดถูกนำมาใช้เพื่อทำการไม่ต่อเนื่องสมการควบคุมที่เกี่ยวข้อง และใช้ระเบียบวิธี Simpler เพื่อทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณจากระบบสมการควบคุมทั้งหมดเป็นไปตามกฎของการอนุรักษ์มวล วิธีกันค่าถูกนำมาใช้ในการกำหนดขอบเขตของสิ่งกีดขวาง โดยกรณีทดสอบคือการไหลผ่านสิ่งกีดขวางรูปทรงขั้นบันได กลับหลังที่ Reynolds number 100, 389, และ 1,000 จากการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบพบการแยกไหลบริเวณด้านหลังของขั้นบันได โดยของไหลบริเวณด้านหลังบันไดมีทิศการไหลกลับทิศทาง [4] Spalart (2000) ได้ทำการศึกษาความปั่นป่วนของของไหลที่ผ่านวัตถุ โดยใช้การจำลองเชิงตัวเลขทดสอบวัตถุทรงกลม ซึ่งสมการความปั่นป่วนแต่ละชนิดให้ผลที่มีความแตกต่างกัน ประกอบกับการสร้างกริดที่จำนวนต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งาน มาประยุกต์กับการทดสอบเครื่องบิน เครื่องอัดอากาศ หรือรถยนต์ โดยรถยนต์จะใช้สมการความปั่นป่วนที่ให้ผลดี 2 แบบคือ k-omega และ k-epsilon [21] Wang (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลที่เกิดจากของไหลในค่า Reynolds number ที่สูงไหลผ่านวัตถุทรงกระบอกเปรียบเทียบกับวิธีการจำลองเชิงตัวเลข 2 มิติ แบบ Large-Eddy Simulation โดยทดลองที่ค่า Reynolds number ระหว่าง 5.0×10^5 - 3.6×10^6 ซึ่งเป็นการทดลองในช่วงที่เรียกว่า Supercritical Reynolds number จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเพิ่มขึ้นและลดลงไปในแนวทางเดียวกัน แต่ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบนั้นแตกต่างกัน โดยตามทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะเพิ่มขึ้นแต่ในการจำลองที่กล่าวมานั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะคงที่ซึ่งเป็นผลที่ขัดแย้งกันในทางทฤษฎี [22]

Perzo and Davidson (2000) จากการจำลองที่กล่าวมานั้น ผลที่ได้จากการจำลอง มีแนวโน้มการเกิดการแยกตัวของอากาศบริเวณส่วนหลังของแบบจำลอง ใกล้เคียงกับผลการทดสอบในอุโมงค์ลมที่ Reynolds number ต่ำ แต่เมื่อ Reynolds number ที่ใช้ในการจำลองมีค่าสูงขึ้น ค่าที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบในอุโมงค์ลม เนื่องจากการทดสอบในอุโมงค์ลมมีลักษณะการไหลเป็น 3 มิติ จึงได้มีการพัฒนาการจำลองการไหลแบบ 3 มิติ [23]

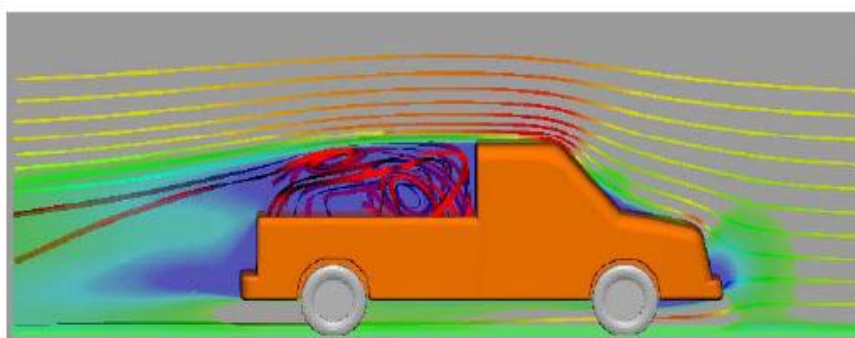
2.3.2 แนวทางการลดสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถยนต์ ด้วย CFD

Van Dam (1999) ได้ศึกษากระบวนการหาแรงต้านของวัตถุ โดยได้รวบรวมวิธีต่าง ๆ ในการหาค่าของแรงต้านตั้งแต่ยุคต้น ๆ จนถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนามาใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลโดยวิธีคำนวณเชิงตัวเลข CFD มาทำนายหาค่าแรงต้าน โดยใช้สมการ Euler และ Reynolds-averaged Navier-Stokes เป็นหลักการในการคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลผ่านวัตถุมาทำนายสัมประสิทธิ์แรงต้าน และนำมาประยุกต์ มีการเปรียบเทียบกระบวนการในทาง CFD และการทดสอบในอุโมงค์ลม [12] มีการปรับปรุงลักษณะของกระบวนการมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งประยุกต์มาใช้ในการทำนายแรงต้านของยานพาหนะ เช่น เครื่องบิน ฮอริคอปเตอร์ รถยนต์ ซึ่งเป็นพื้นฐานการประยุกต์ใช้ในการลดแรงต้านของยานพาหนะ Horinouchi (1995), Muyl, et al. (2004) และ Ozwa, et al. (1998) ได้นำหลักการมาจำลองเพื่อการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของรถยนต์ โดยมีการใช้ศึกษาความลาดเอียงด้านข้างของรูปทรงท้ายรถยนต์ และชายหน้า ที่ติดใต้บังโคลน ใช้สมการนาเวียร์-สโตคส์ สำหรับการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการทดสอบในอุโมงค์ลม พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงเมื่อค่าความลาดเอียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันที่ส่วนหลังของแบบจำลองมีค่าสูงขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงเช่นกันเมื่อมีการติดชายหน้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นำไปสู่การไหลแบบราบเรียบ โดยแรงต้านส่วนใหญ่ของตัวรถ มาจากเทอมของความดันที่แยกตัวออกจากผิวนอก สัมประสิทธิ์แรงต้าน 40 เปอร์เซ็นต์จะขึ้นอยู่กับรูปทรงภายนอกและส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ท้ายรถ [24,17] โดยสัมประสิทธิ์แรงต้านจะไม่มีผลจากรูปร่างหน้ารถ แต่แรงต้านส่วนใหญ่จะมาจากการไหลปั่นป่วนด้านท้าย โดย Muyl, et al. (2004) ทำการศึกษาหาความเหมาะสมรูปร่างท้ายรถยนต์โดยใช้สมการนาเวียร์-สโตคส์ และใช้สมการแบบจำลองความปั่นป่วนของการไหล k-epsilon โดยแบ่งรถออกเป็นสามส่วน คือส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนหลัง[25] ตามภาพที่ 2-12 จากการปรับ back-light angle จะทำให้เกิดการปั่นป่วนที่ด้านท้ายรถต่างกัน ซึ่งการปรับค่ามุม (α , β , γ) ที่ต่ำจะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศขนาดใหญ่ ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านสูง แต่เมื่อปรับมุมให้มีค่าที่สูงขึ้นเกิดการแยกตัวของอากาศน้อย การไหลด้านบนและด้านล่างมีความสมดุลกัน ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง



ภาพที่ 2-12 มุม (α) Back-light angle, (β) Boat-tail angle และ (γ) Ramp angle [25]

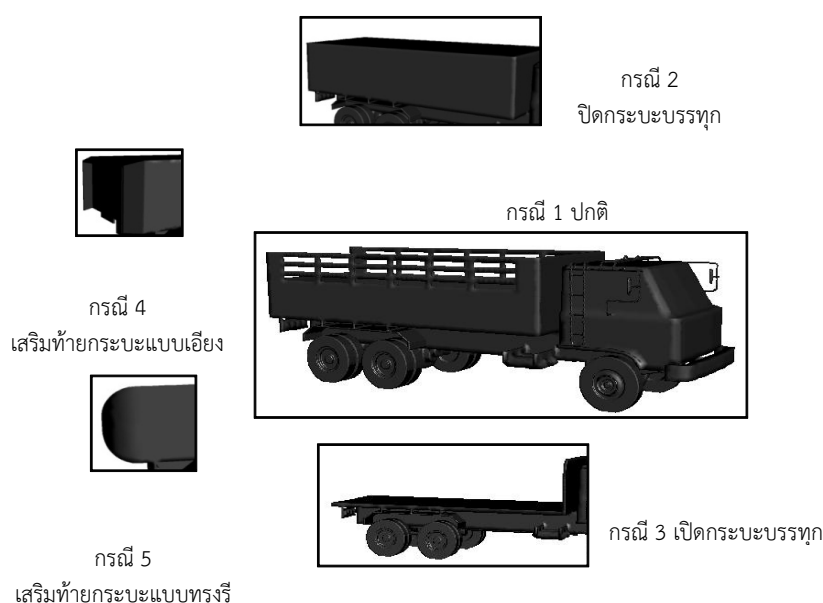
ไม่เฉพาะมุมส่วนท้ายรถเพียงอย่างเดียวที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้าน แต่ช่องว่างระหว่างส่วนต่าง ๆ ของรถก็มีผลด้วยเช่นกัน [26] จึงใช้ CFD มาปรับแก้เงื่อนไขการคำนวณ เพื่อทำการศึกษาระงัดของยานพาหนะ เป็นการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้าน Turbulent model ต่าง ๆ กับผลการทดสอบในอุโมงค์ลม โดยใช้รถบรรทุกใหญ่ในการจำลอง ซึ่งผลที่ได้ แบบจำลองความปั่นป่วนของการไหล k-epsilon และกริดที่มีความละเอียดพอ จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดสอบในอุโมงค์ลมมากที่สุด และได้แนวโน้มใกล้เคียงกล่าวมาศึกษาการเกิดการหมุนวนของอากาศระหว่างหัวรถกับตัวรถของรถบรรทุกใหญ่ พบว่า เกิดการไหลวนที่แตกต่างกัน และระยะห่างของหัวรถกับตัวรถต่างกัน ส่งผลกับสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมของรถบรรทุก โดยระยะห่างที่น้อยลงจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง และเนื่องจากโดยทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกเล็กจะสูง เนื่องจากรูปทรงท้ายกระบะนั้นทำให้อากาศแยกตัว เกิดการหมุนวนของอากาศที่ใหญ่ เนื่องจากความต่างของความดัน ระหว่างด้านหน้าและท้ายกระบะ และอากาศที่หมุนวนจะปะทะกับท้ายกระบะ [27] ดังภาพที่ 2-13 จะทำให้เกิดแรงต้าน และเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากขึ้น



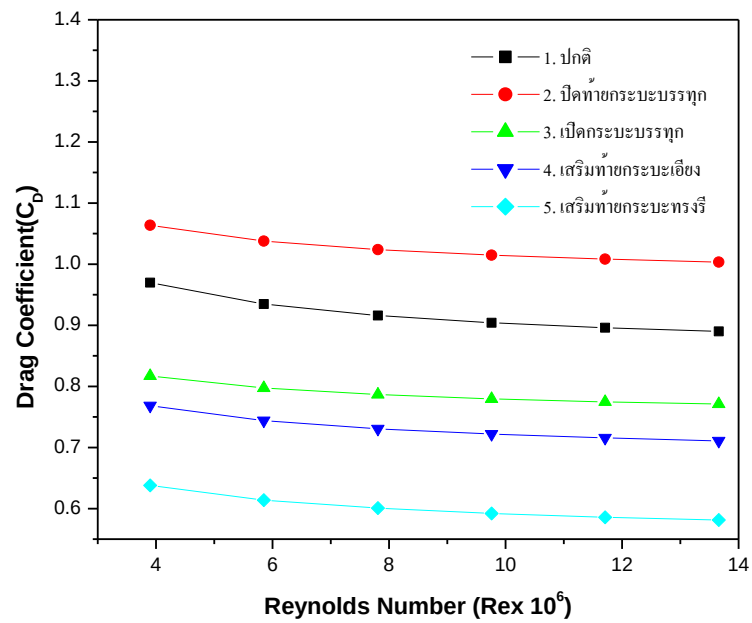
ภาพที่ 2-13 การเกิดเวคส่วนท้ายกระบะของรถบรรทุกเล็ก โดย CFD [28]

นอกจากการใช้ CFD เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงรูปทรงหรือรูปลักษณ์โดยการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อลดสัมประสิทธิ์แรงต้านแล้ว CFD ยังสามารถจำลองเพื่อเห็นสิ่งที่เกิดขึ้นกับด้านท้ายของรถคันหน้า โดยใช้ความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ มาวิเคราะห์ สามารถเห็นประโยชน์ที่รถคันหลังได้รับอย่างชัดเจน เพราะแรงต้านของอากาศของรถคันหลังจะลดลง โดยกระแสอากาศที่ไหลผ่านใต้ท้องรถคันหลังจะลดลง ประการสำคัญแรงดูดของกระแสลมด้านท้ายของรถคันหน้าจะทำให้รถคันตามมีความเร็วเพิ่มขึ้น โดย Browand (2005) และ Yamamoto, et al. (1997) พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถคันหลังลดลงกว่าคันหน้า และในการทดสอบรถแข่งจากการจำลอง CFD [29,30]

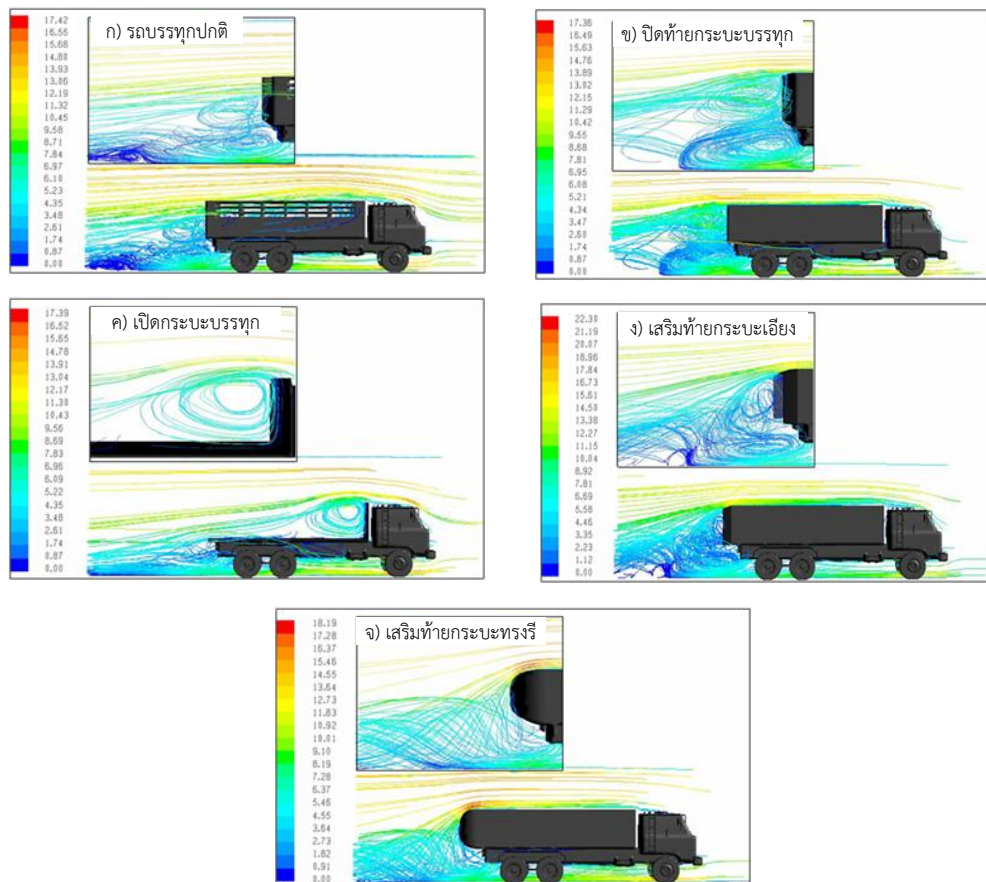
ซึ่งต่อมา ปรัชญา มุขตา (2012) ได้มีการจำลอง CFD 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Gambit กับ Fluent ด้วยการใช้เงื่อนไขของรถบรรทุกติดตั้งอุปกรณ์เสริม 5 กรณี คือรถบรรทุกปกติ ปิดกระเบบบรรทุก เปิดกระเบบบรรทุก เสริมท้ายกระเบบแบบเอียง และเสริมท้ายกระเบบแบบทรงรี ตามภาพที่ 2-14 โดยทุกกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริม สามารถลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านได้เกือบทั้งหมด (ภาพที่ 2-15) เนื่องจากทำให้รูปทรงของรถโดยรวมของรถบรรทุกมีความสมดุลด้านอากาศพลศาสตร์มากขึ้น อากาศที่ไหลผ่านจึงมีความราบเรียบกว่ากรณีปกติ ยกเว้นกรณีปิดกระเบบบรรทุก เนื่องจากรูปทรงลักษณะแบบนี้ ทำให้ค่าความแตกต่างของความดันของอากาศระหว่างด้านหน้าและด้านหลังเพิ่มมากขึ้น ความปั่นป่วนของอากาศด้านท้ายรถบรรทุกสูง และมีขนาดใหญ่ จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงกว่าปกติ [31] ตามภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-14 กรณีศึกษารถบรรทุก ที่ปรับเปลี่ยนรูปทรงท้ายกระเบบ [31]



ภาพที่ 2-15 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้น [31]



ภาพที่ 2-16 สถานะการไหลของอากาศผ่านตัวรถบรรทุกทั้ง 5 กรณี [31]

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวมานั้น การออกแบบรูปร่างรถยนต์ให้เหมาะสม เป็น การทำให้รถยนต์วิ่งผ่านอากาศด้วยแรงต้านลดลง การประกอบชิ้นส่วนก็มีส่วนสำคัญ เช่น การ ประกอบหน้าต่างและขอบที่แนบสนิทพอดี รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมรถ เช่น สปอยเลอร์ยาง ด้านหลังล้อหน้าและล้อหลัง แผ่นกันใต้ท้องรถที่ทำให้ส่วนประกอบของโครงสร้างไม่ขวางการไหลของ อากาศ แม้แต่ สปอยเลอร์หลังเพื่อลดความปั่นป่วนเมื่ออากาศวิ่งผ่าน อุปกรณ์เหล่านี้สามารถลดแรง ด้านอากาศ โดยใช้องค์ความรู้ด้านอากาศพลศาสตร์ หรือ Aerodynamics ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของการ ออกแบบรถยนต์ ในการทดสอบ คันคว่ำ และการวิจัย จะต้องมีการนำโมเดลทั้งแบบจำลองและแบบ ขนาด Full scale เข้าไปทดสอบในอุโมงค์ลมเพื่อตรวจสอบหาค่าต่างๆ ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทุน อุปกรณ์ และเวลาในการทดสอบ ปัจจุบันได้มีการใช้การคำนวณเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ หรือ CFD (Computation Fluid Dynamic) เป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงผลได้แบบ 3 มิติ ช่วยให้เห็น ภาพการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศ และผลที่เกิดกับรถยนต์ได้ชัดเจน

2.4 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันของรถยนต์ เป็นสิ่งที่ทุกคนสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากราคาที่ สูงขึ้น และสถานะที่ไม่แน่นอนของน้ำมันเชื้อเพลิง การวัดอัตราการสิ้นเปลืองให้แม่นยำ เป็นสิ่งที่ทำได้ ยาก ดังนั้น จึงมีนักวิจัยที่พยายามหาวิธีที่วัดเพื่อที่จะได้ทราบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน และสามารถ ตัดสินใจในการปรับปรุงรูปทรงหรือตัดสินใจขับซักรถเพื่อให้ประหยัดน้ำมันได้อย่างถูกต้อง

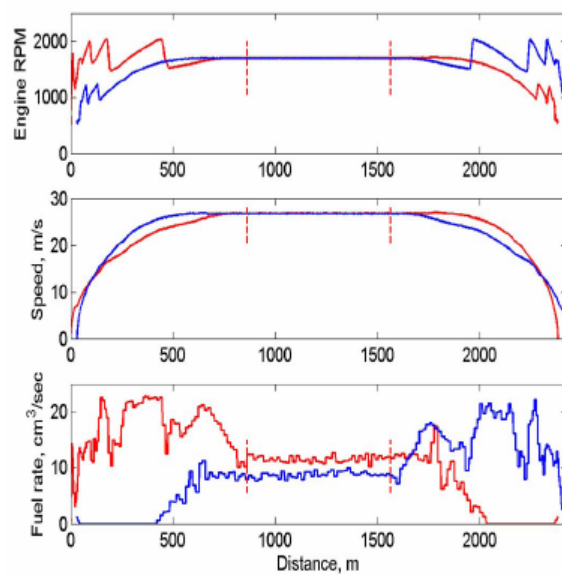
โดยนักวิจัยได้มีวิธีการวัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานวิจัยนั้น ว่าศึกษาเรื่องใดของ รถยนต์ เช่น จินดา เจริญพรพาณิชย์ และพงษ์ศักดิ์ คำมูล (2548) ได้ศึกษาการวัดอัตราการสิ้นเปลือง ของน้ำมันของรถยนต์ขนาดต่าง ๆ คือรถยนต์นั่งขนาด 1800 cc, 2300 cc และรถบรรทุกเล็ก 300 cc วิ่งที่ความเร็วคงที่ 60 – 120 km/hr การวัดน้ำมันทำโดยการออกแบบถังน้ำมันพิเศษ และทำการ ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงก่อนและหลังจากที่ได้ทำการวิ่ง น้ำมันที่ใช้คือ น้ำมัน ออกเทน 91, 95 และ ดีเซล ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ทุกชนิดกินน้ำมันต่ำสุดที่ 60 km/hr การสิ้นเปลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อวิ่งที่ ความเร็วสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถบรรทุกเล็ก เนื่องจากการออกแบบทางอากาศพลศาสตร์ที่ไม่ดี โดยอัตราสิ้นเปลืองจะเพิ่มขึ้นมากที่ความเร็ว 100 และ 120 km/hr แต่ในกรณีดังกล่าว เป็นวิธีการวัด และเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง แต่ในลักษณะของ การศึกษาด้านอากาศพลศาสตร์ หรือการปรับปรุงรูปลักษณะของรถยนต์ ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงการ สิ้นเปลืองน้ำมันค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำหลักการนี้มาวัด [32] แต่มีนักวิจัยชื่อ Leuschen and Cooper (2006) ได้หาค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกใหญ่ ใน

กรณีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่ออำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์บังล้อด้านหน้า และหลัง, อุปกรณ์กำเนิดการหมุนวนของอากาศ ตรงตำแหน่งต่าง ๆ (Vortex generator), อุปกรณ์กันแมลง (Bug deflector) เป็นต้น โดยการหาค่าของการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ความเร็วที่ต้องการทราบ ที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม [14] มาแทนค่าจากความสัมพันธ์ของ

$$\Delta\mu(V_t) = \frac{\rho \times UCF \times SFC \times V_t^2 \overline{\Delta C_D}(V_t) A}{0.85} \quad (2.1)$$

$\Delta\mu(V_t)$	คือการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ความเร็วหนึ่ง (liters/100 km)
ρ	คือความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m^3
UCF	คือค่าแฟคเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงหน่วย เท่ากับ 1.072
A	คือพื้นที่หน้าตัดของรถ $2.68576 \text{ (m}^2\text{)}$
0.85	คือค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของรถคิดที่ความเร็วเฉลี่ย
SFC	คืออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ (liters/kW-h)

แต่ในความเป็นจริง ค่าที่แทนในสมการที่ (2.1) ย่อมไม่คงที่ เนื่องจากความเร็วที่ใช้ในการวิ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ตามระยะทางในการวิ่ง รวมถึงสภาวะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยที่ใช้อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะของเครื่องยนต์ โดย Browand (2005) ได้ทำการวัดอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมัน ในกรณีรถบรรทุกใหญ่วิ่งตามกัน ซึ่งกำหนดเส้นทางตรงเป็นระยะทาง 3.5 km ระยะห่างระหว่างรถทั้ง 2 คัน 3 – 10 m โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า APTH ติดที่ตัวเครื่องยนต์ของรถทั้งสองคัน สามารถวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Engine RPM) ความเร็วของรถที่ใช้ในการวิ่ง (Speed) และอัตราการกินน้ำมัน (Fuel rate) ตามระยะทางในการวิ่ง และคำนวณออกมาเป็นระดับที่สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้ง 2 คัน โดยค่าของรถคันหลังจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลดลงจากรถคันหน้า [29] ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 ค่าที่ได้จากการวัดโดย APTH [29]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงาน โปรแกรมที่เลือกใช้ในการออกแบบในงานวิจัยนี้คือ โปรแกรม Solid Work 2015 เพราะสามารถจำลองและแสดงผลของแรงต้านและแสดงรายละเอียด Dimension ที่เหมาะสม อาทิเช่น Varies มุมเอียง รัศมีโค้ง ฯลฯ ขั้นตอนแรกจะเป็นการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลข CFD จากงานวิจัย ของนาย ญัฐพงศ์ คล้ายทรง ที่ผ่านมา จากนั้นจะเป็นการออกแบบอุปกรณ์เสริม แต่ก่อนที่จะออกแบบอุปกรณ์เสริมนั้น เราควรต้องศึกษาขนาดของรถบรรทุกที่จะใช้ทดสอบเสียก่อนเพื่อให้เพื่อความแม่นยำและง่ายต่อการกำหนดขนาดอุปกรณ์เสริมที่ออกแบบเมื่อได้ขนาดและรูปทรงรถบรรทุกแล้วจะเป็นการออกแบบอุปกรณ์เสริม อุปกรณ์เสริมที่ได้ทำการออกแบบนั้นจะออกแบบให้มีรัศมีที่ไม่เหมือนกันเพื่อที่จะ ทำการจำลองการไหล (Simulation of Solid Work) เมื่อจำลองการไหลและตรวจสอบผลค่าแรงต้านอุปกรณ์แล้วก็จะรู้ว่าอุปกรณ์เสริมชิ้นไหนที่เหมาะสมที่จะนำไปทำการทดสอบมากที่สุด เมื่อออกแบบและจำลองแล้วจะเป็นการสร้างอุปกรณ์เสริมแต่ละกรณีต่อจากนั้นคือการทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและทำการเก็บผลคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ทำการวิเคราะห์ผล เสนอแนะแนวทางการใช้งานสรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

ลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของการติดตั้งอุปกรณ์เสริมต่างๆเบื้องต้น ด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลขของ ญัฐพงศ์ คล้ายทรง
2. ออกแบบอุปกรณ์เสริมด้วยโปรแกรม Solid Work ในการสร้าง
3. การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์เสริมจริง
4. การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
5. วิเคราะห์ผล เสนอแนะแนวทางการใช้งานและสรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

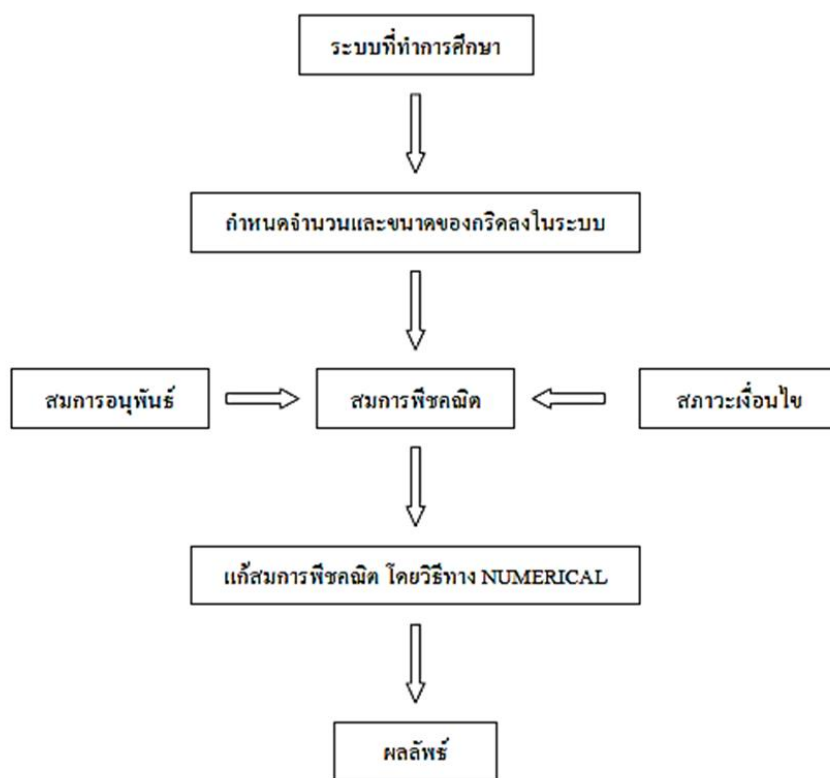
3.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านของการติดตั้งอุปกรณ์เสริม ด้วยวิธีการจำเชิงตัวเลข

ในการทำความเข้าใจการไหลของของไหลใดๆ จำเป็นต้องพึ่งพาการทดลองเทคนิค (Computational Fluid Dynamics) เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์การไหลของของไหลในระบบที่ต้องการศึกษา โดยมีชุดสมการที่เป็นตัวแทนของระบบที่ทำการศึกษา เช่น สมการความต่อเนื่อง สมการอนุรักษ์โมเมนตัม สมการอนุรักษ์พลังงาน สมการที่ใช้อธิบายการไหลแบบปั่นป่วน ฯลฯ โดยในการแก้สมการนั้น จะต้องมีการกำหนดสภาวะเงื่อนไข (Condition) ให้กับชุดของสมการอย่างถูกต้องและเหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้สมการจะสามารถแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของการกระจายตัวของค่าความดัน การกระจายตัวของค่าความเร็ว และการกระจายตัวของอุณหภูมิ เป็นต้น ภายในระบบที่ทำการศึกษานั้น ๆ

3.1.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานของการจำลองปรากฏการณ์ต่าง ๆ

เลือกใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics) โดยการจำลองการปรับปรุงรูปร่างในส่วนต่าง ๆ ของรถบรรทุกที่ปิดกระเบรบรรทุก โดยติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่าง ๆ สำหรับขั้นตอนวิธีการดำเนินงานของการจำลองปรากฏการณ์ต่าง ๆ นั้น จะต้องเริ่มจากการสร้างลักษณะทางกายภาพของระบบที่สนใจศึกษา และกำหนดสภาวะเงื่อนไขต่างๆ ที่จำเป็นและเหมาะสมแต่ละการจำลอง เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนแก้สมการขั้นตอนต่อไปคือ การเลือกชุดสมการที่เหมาะสมสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของระบบ และสุดท้าย คือ การแก้ชุดสมการต่าง ๆ ซึ่งการแก้สมการเป็นลำดับขั้นตอนของเทคนิค CFD ที่สามารถแสดงได้ดังรูปเป็นลำดับดังนี้

1. สร้างแบบจำลองของระบบที่ต้องการศึกษา
2. กำหนดกริด(Grid) ลงในระบบที่ต้องการทำการศึกษา
3. กำหนดสภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสม
4. แก้สมการพีชคณิต โดยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical)
5. เปรียบเทียบผลลัพธ์



ภาพที่ 3-1 แสดงลำดับขั้นตอนของเทคนิค CFD ของงานวิจัยที่ศึกษา

ปริญญานิพนธ์ของ นาย ณัฐพงศ์ คล้ายทรง ได้จำลองรถบรรทุกทุกขนาดจริงด้วยโปรแกรมย่อย Gambit เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทั้งหมด 5 กรณี คือ

กรณีที่ 1 กรณีปกติปิดกระบะบรรทุก (Canvas Covered Truck)

กรณีที่ 2 กรณีเสริมด้านท้ายกระบะ (Extra rear truck)

กรณีที่ 3 กรณีปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ (Lateral Gap closed)

กรณีที่ 4 กรณีเสริมด้านหน้ารถ (Accessories Front Bumper)

กรณีที่ 5 กรณีเสริมด้านหน้ารถ และเสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ (Accessories Front Bumper & Roof rack)

3.1.2 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยของนาย ณัฐพงศ์ คล้ายทรง ทำให้ได้ผลการคำนวณและนำมาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรถบรรทุกกรณีปกติปิดกระบะบรรทุกกับรถบรรทุกที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมต่างๆ ซึ่งจะทำให้การทดสอบที่ความเร็วระหว่าง 10 m/s - 30 m/s ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 10 m/s

กรณี	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่1
1	417.7964	6.4112	1.0638	-
2	410.9209	6.4112	1.0451	- 0.0187
3	394.3583	6.4112	1.0042	- 0.0596
4	398.3605	6.4112	1.0007	- 0.0631
5	380.2908	6.4112	0.9553	- 0.1085

ตารางที่ 3-2 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 15 m/s

กรณี	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่1
1	917.0526	6.4190	1.0378	-
2	904.8359	6.4190	1.0228	- 0.0150
3	865.1233	6.4190	0.9791	- 0.0587
4	872.9123	6.4190	0.9746	- 0.0632
5	832.9864	6.4190	0.9300	- 0.1078

ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 20 m/s

กรณี	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่1
1	1608.4515	6.4115	1.0239	-
2	1589.4322	6.4115	1.0126	- 0.0113
3	1516.2163	6.4115	0.9652	- 0.0587
4	1529.1750	6.4115	0.9603	- 0.0636
5	1459.0061	6.4115	0.9163	- 0.1076

ตารางที่ 3-4 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 25 m/s

กรณีที่	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่1
1	2490.7251	6.4990	1.0147	-
2	2464.0132	6.4990	1.0027	- 0.0120
3	2348.3464	6.4990	0.9567	- 0.0580
4	2366.6451	6.4990	0.9512	- 0.0635
5	2257.1218	6.4990	0.9072	- 0.1075

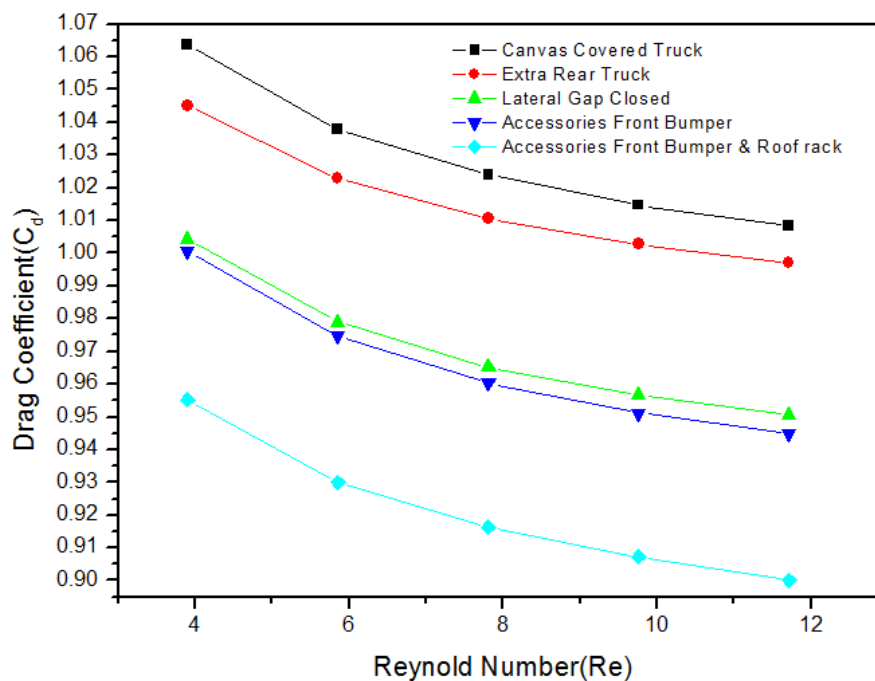
ตารางที่ 3-5 ผลการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ความเร็ว 30 m/s

กรณีที่	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่1
1	3563.7482	6.4990	1.0083	-
2	3527.9075	6.4990	0.9970	- 0.0133
3	3360.2822	6.4990	0.9507	- 0.0576
4	3384.9054	6.4990	0.9448	- 0.0635
5	3228.2939	6.4990	0.9001	- 0.1072

ตารางที่ 3-6 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านกับค่าเรย์โนลด์ ที่ความเร็วต่างๆ

ค่าเรย์โนลด์	case1	case2	case3	case4	case5
3.90×10^6	1.0638	1.0451	1.0042	1.0007	0.9553
5.85×10^6	1.0378	1.0228	0.9791	0.9746	0.9300
7.81×10^6	1.0239	1.0106	0.9652	0.9603	0.9163
9.76×10^6	1.0147	1.0027	0.9567	0.9512	0.9072
11.71×10^6	1.0083	0.9970	0.9507	0.9448	0.9001
เฉลี่ย	1.0353	1.0150	0.9711	0.9663	0.9217

จากตารางที่ 3-6 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ที่ความเร็วการทดลองต่าง ๆ สามารถนำมาแสดงได้ดังรูป



ภาพที่ 3-2 สัมประสิทธิ์แรงต้านที่เรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆของงานวิจัยนาย ญัฐพงศ์ คล้ายทรง

จากการศึกษาการจำลองรถบรรทุกโดยใช้โปรแกรมการคำนวณเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics) ของ นาย ญัฐพงศ์ คล้ายทรง โดยมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโปรแกรมพบว่า กรณีเสริมด้านหน้ารถ และเสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถช่วยลดสัมประสิทธิ์แรงต้านลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีต้นแบบ (กรณีที่1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9217 (ที่ความเร็วเฉลี่ย) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปิดกระบังบรรทุก ส่วนกรณีเสริมด้านหน้ารถ กรณีปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบัง และกรณีเสริมด้านท้ายกระบัง สัมประสิทธิ์แรงต้านเป็น 0.9663, 0.9711 และ 1.0150 และช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันได้ถึง 10.4 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าทุกกรณี

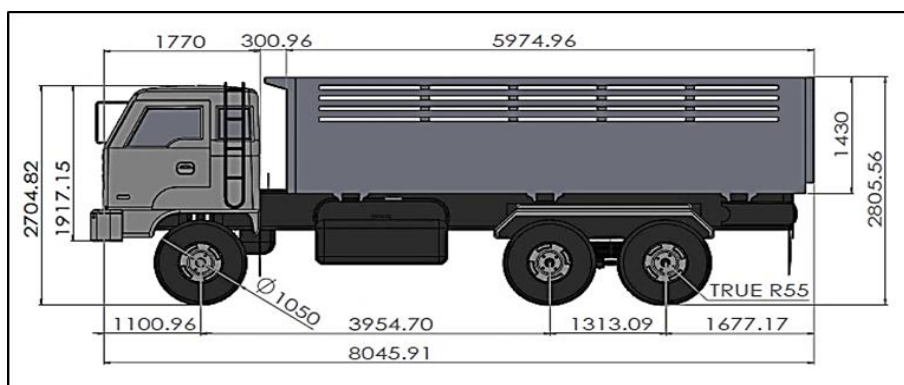
3.2 ออกแบบอุปกรณ์เสริมโดยใช้โปรแกรม Solid Work

3.2.1 การสร้างแบบจำลองของอุปกรณ์เสริม

ในการออกแบบขั้นตอนแรกจะเป็นการวัดขนาดรถบรรทุกที่จะใช้สร้างโมเดลเพื่อให้ได้ความแม่นยำ ในการออกแบบและจำลองอุปกรณ์เสริม ด้วยความร่วมมือของ บริษัท พรอส เพอร์ตี คอนกรีต จำกัดจึงทำให้ได้รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์เสริม เราจึงใช้รถบรรทุกยี่ห้อ ISUZU DECA รุ่น FXZ 240 น้ำหนัก 13 ตัน ในการออกแบบโมเดลรถบรรทุกและอุปกรณ์เสริม



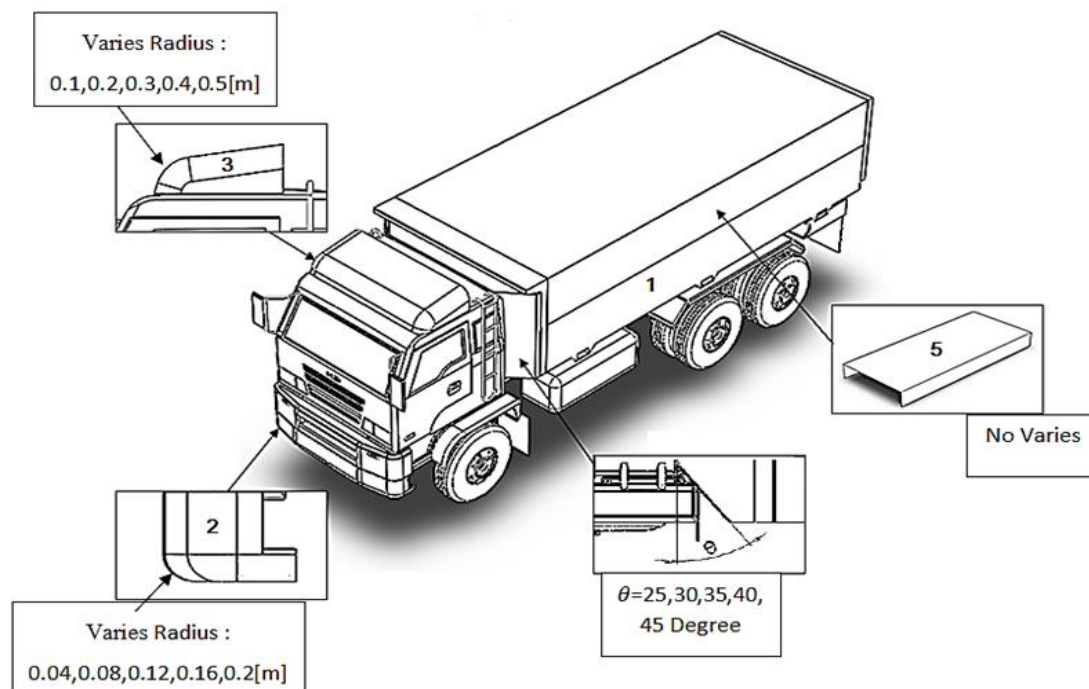
ภาพที่ 3-3 รูปร่างของรถบรรทุกขนาดจริงที่ใช้ในการออกแบบและจำลอง



ภาพที่ 3-4 ขนาดของรถบรรทุกที่ใช้ออกแบบและจำลองโดยโปรแกรม Solid Work 2015

เมื่อออกแบบโมเดลรถบรรทุกแล้ว ต่อมาคือการออกแบบอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในการทดสอบ แต่ในการออกแบบนั้นเราไม่สามารถทราบได้เลยว่าอุปกรณ์เสริมที่ได้ออกแบบขึ้นไหนเหมาะสมที่สุดและเมื่อติดตั้งแล้วจะลดค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านได้มากน้อยเพียงใด ดังนั้นเราจึงได้ออกแบบอุปกรณ์เสริมที่มีขนาดรัศมีและองศาที่แตกต่างกันออกไป

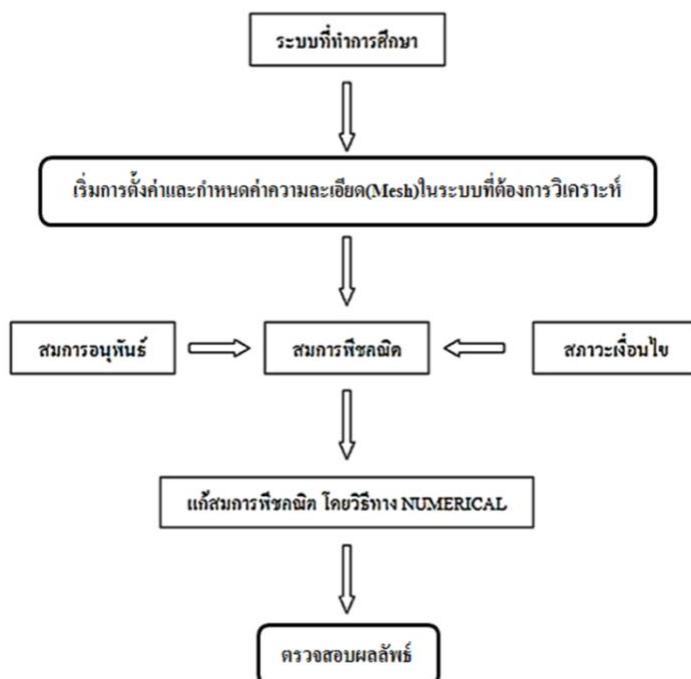
ซึ่งรัศมีของอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุกจะปรับรัศมี $\text{Varies Radius} = 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.20 \text{ m}$ กับรัศมีของอุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคาจะปรับรัศมี $\text{Varies Radius} = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 \text{ m}$ และปรับมุม $\text{Varies Angle} = 25, 30, 35, 40, 45 \text{ Degree}$ เพื่อนำไปใช้ในการจำลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอุปกรณ์ที่ดีที่สุดดังภาพที่ 3.3 จะเป็นความแตกต่างมุมและรัศมีของอุปกรณ์เสริมที่ออกแบบเพื่อทำการจำลองหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอุปกรณ์เสริมที่ดีที่สุด และนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างอุปกรณ์เสริมที่ใช้ทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองจริง



ภาพที่ 3-5 การเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้ง มุมเอียงของอุปกรณ์เสริมเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

3.2.2 ขั้นตอนการจำลอง (Simulation of Solid Work)

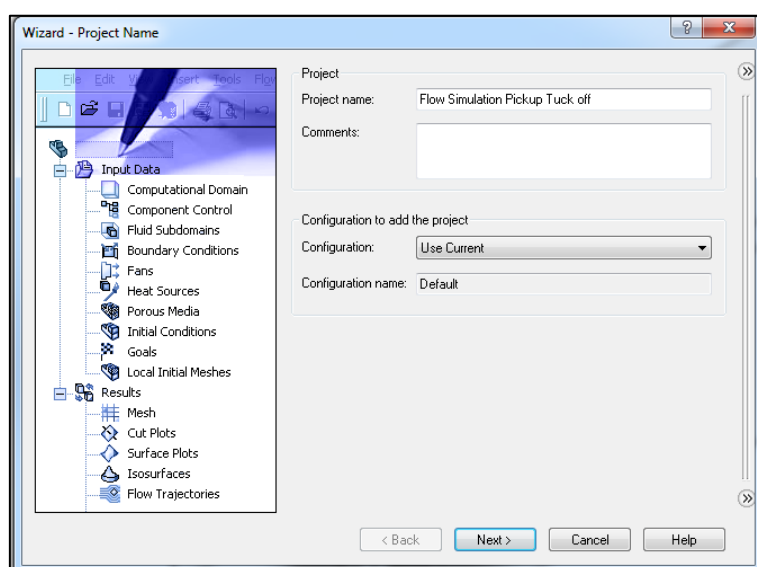
ในขั้นตอนการจำลองนั้นจะแบ่งเป็น 2 วิธีคือ วิธีที่ 1 จำลองอุปกรณ์เสริมที่ใช้ติดตั้ง (ติดตั้งแบบไม่รวม) และ วิธีที่ 2 จำลองอุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งรถบรรทุกแต่ละกรณี(ติดตั้งแบบรวม) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ แรงต้านที่จำลองได้จะมีค่าที่ไม่เท่ากัน จะสามารถรู้ได้ว่าการติดตั้งอุปกรณ์เสริมวิธีใดจะมีการลดของสัมประสิทธิ์แรงต้านดีกว่ากัน ก่อนที่จะทดสอบการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับรถบรรทุกจริง ซึ่งวิธีการจำลองสามารถแสดงได้ดังรูปเป็นลำดับ ดังนี้



ภาพที่ 3-6 แสดงวิธีการจำลองเชิงตัวเลขของโปรแกรม Solid Work Flow Simulation

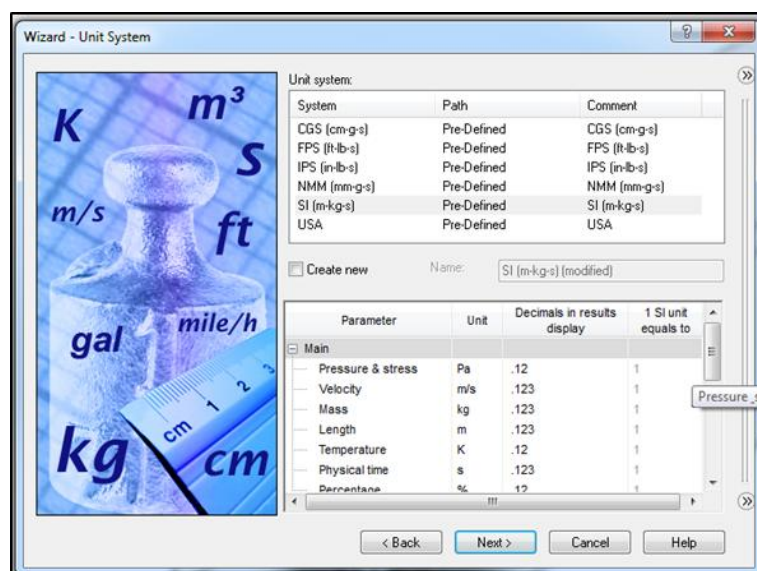
1) เริ่มการตั้งค่าและกำหนดค่าความละเอียดในการวิเคราะห์

โดยการวิเคราะห์ Flow Simulation of Solid work ขั้นตอนแรกจะเป็นการเลือกใช้ฟังก์ชัน Wizard ในการเริ่มตั้งค่า เนื่องจากฟังก์ชันนี้จะช่วยให้เรากำหนดค่าต่างๆ ได้อย่างง่าย



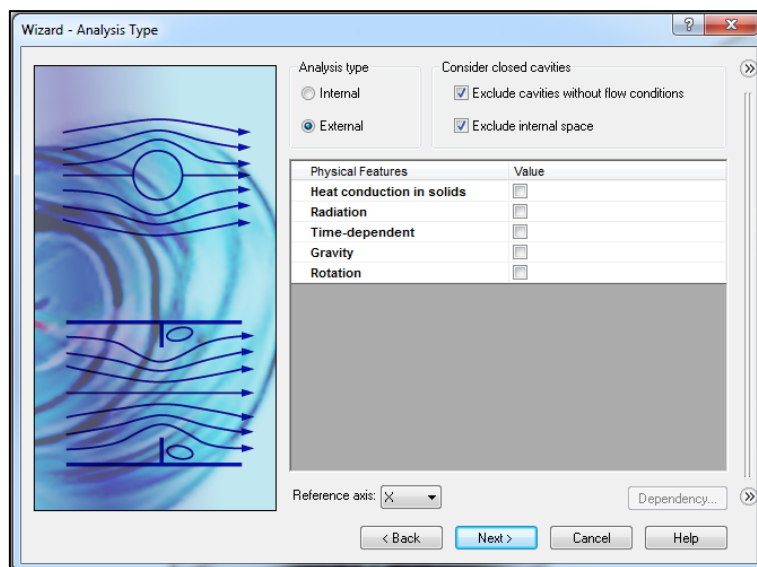
ภาพที่ 3-7 กำหนดชื่อเรื่อง ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดหน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหน่วยของค่าที่เราจะใส่ หรือหน่วยของผลลัพธ์ที่เราต้องการ ซึ่งการกำหนดหน่วยสามารถแก้ไขในภายหลังจากการวิเคราะห์ได้



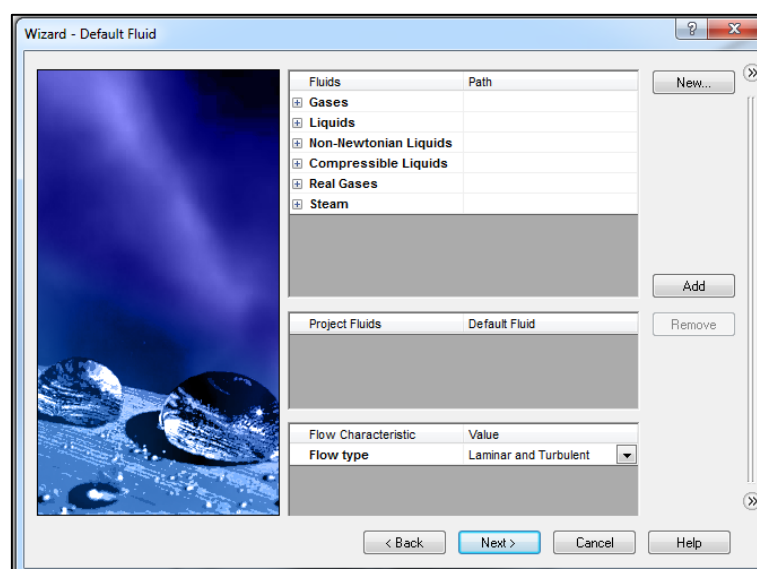
ภาพที่ 3-8 การกำหนดหน่วยของผลลัพธ์ ระบบที่ต้องการจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการเลือกการวิเคราะห์ในโปรแกรม Solid Works Flow Simulation ซึ่งจะแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ การไหลภายใน (Internal Flow) เป็นการวิเคราะห์ในระบบปิด เช่น น้ำไหลในท่อ อากาศที่หมุนเวียนในห้องปิด เป็นต้น และการไหลภายนอก (External Flow) ซึ่งวิเคราะห์ในระบบเปิด เช่น อากาศที่ไหลผ่านรถยนต์ น้ำไหลผ่านเรือ เป็นต้น นอกจากนี้ในหน้าต่างนี้เราสามารถกำหนดลักษณะงานที่เราต้องการวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ เช่น เราต้องการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ชิ้นงานหมุนได้อีกด้วย



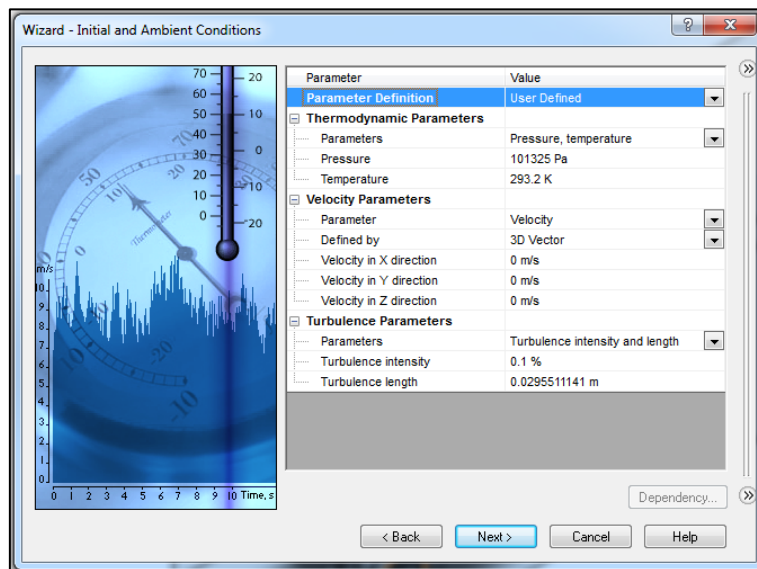
ภาพที่ 3-9 การเลือกการวิเคราะห์ในโปรแกรม SolidWorks Flow Simulation

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดชนิดและคุณสมบัติของของไหลซึ่ง Flow Simulation มีข้อมูลของของไหลทั้งที่อยู่ในรูปของของเหลวและก๊าซ เช่น (Air), (Water), O₂, CO₂ ฯลฯ นอกจากนี้เรายังสามารถกำหนดคุณสมบัติของไหลขึ้นเองและเก็บเป็นฐานของข้อมูลของตัวเองได้อีกด้วยซึ่งในงานวิจัยนี้เราจะใช้การวิเคราะห์แบบการไหลภายนอกในการศึกษาการไหลของอากาศพลศาสตร์



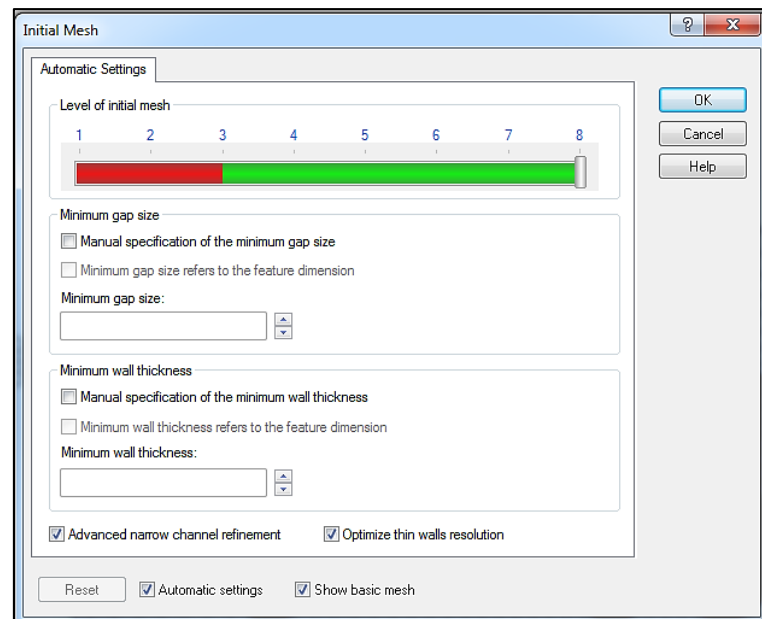
ภาพที่ 3-10 การกำหนดชนิดของของไหลของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดค่าสภาพแวดล้อมในการคำนวณ เช่น ลักษณะผิวของชิ้นงาน อุณหภูมิ และความดันของบรรยากาศกับความเร็วและทิศทางในการไหลโดยสิ่งที่เรากำหนดให้ไหลคือ บริเวณรอบๆ ชิ้นงาน



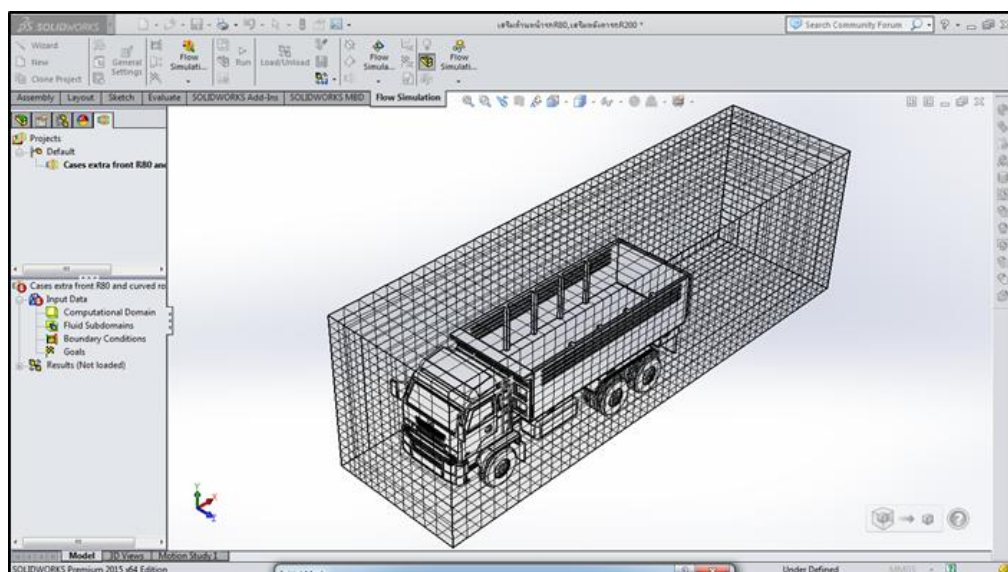
ภาพที่ 3-11 การกำหนดค่าสภาพแวดล้อมในการคำนวณ ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนสุดท้ายของการใช้ฟังก์ชัน (Wizard) คือการสร้าง Mesh คำว่า Mesh ตัวนี้คือ วิธีการวิเคราะห์ของ Flow Simulation วิธีการจะใช้หลักการที่เรียกว่า "Fine nine Volume" ซึ่งถ้าเกิดทำให้ค่าละเอียดคือการปรับระดับ ให้สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้ก็就会有ความถูกต้องมากขึ้นด้วย การกำหนดความละเอียด ในการวิเคราะห์ โดยเราเลือกระดับตั้งแต่ 1-8 ยิ่งตัวเลขมากความละเอียดก็จะมากตาม แต่เวลาในการวิเคราะห์ก็จะนานขึ้นด้วย



ภาพที่ 3-12 การกำหนดค่า Mesh ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

ในการกำหนดค่าความละเอียดจะเลือกใช้เป็นโหมด Auto Setting ซึ่งจะมีการแม่นยำกว่า การกำหนดจำนวน Mesh เอง จำนวน Mesh จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับ การปรับระดับ ยิ่งปรับระดับมาก จำนวน Mesh ก็ยิ่งมากขึ้น เมื่อกดเลือก Show basic mesh โปรแกรมก็จะแสดงจำนวน Mesh ขึ้นมาบริเวณขอบเขตที่ต้องการจำลองให้เห็น ดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 แสดงจำนวน Mesh ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

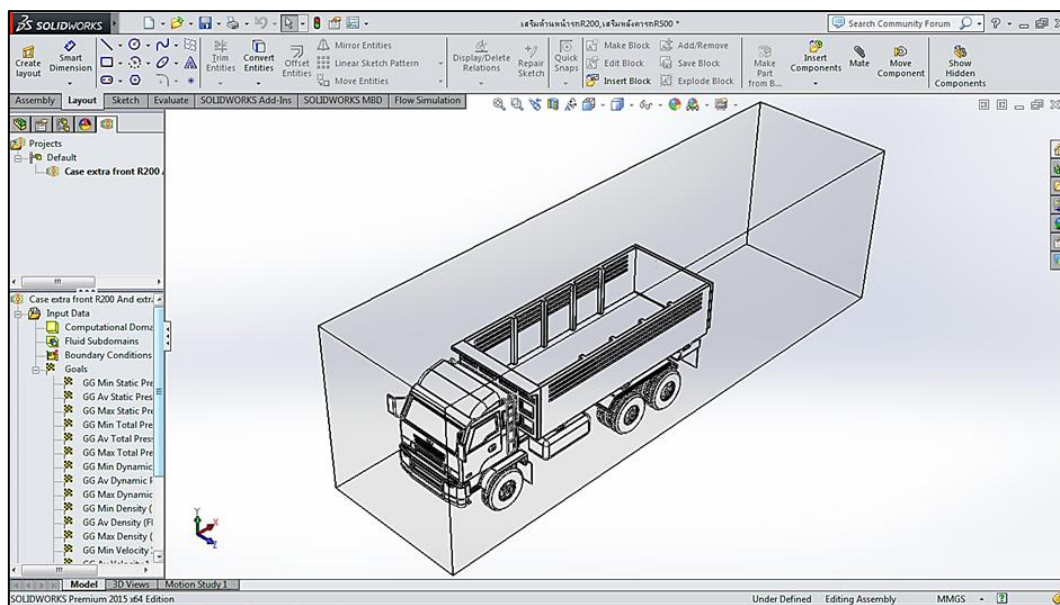
2) การ Setค่าของ Boundary Condition

เมื่อทำการตั้งค่าและกำหนดค่าความละเอียดในการวิเคราะห์เสร็จแล้ว ทำการกดคลิกที่ปุ่ม Finish โปรแกรมจะทำการ Check ว่าตรงไหนคือขอบเขต External โปรแกรมก็จะสร้าง Boundary มาครอบตัวโมเดลไว้ในหน้า Work plant ด้านซ้ายมือ จะเป็นแถบเครื่องมือที่ใช้กำหนดขอบเขตการไหลคลิกเมาส์ที่ปุ่มขวา และคลิกที่ Edit Definition จะขึ้นหน้า คำสั่ง Computational Domain ดังภาพที่ 3-14 ขึ้นมา ให้กำหนดขอบเขต ซึ่งเราจะกำหนดค่า Size and condition ที่แนวแกน $X=4\text{m}$, แกน $Y=4.5\text{m}$ และแกน $Z=15\text{m}$



ภาพที่ 3-14 กำหนดค่า Boundary condition ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

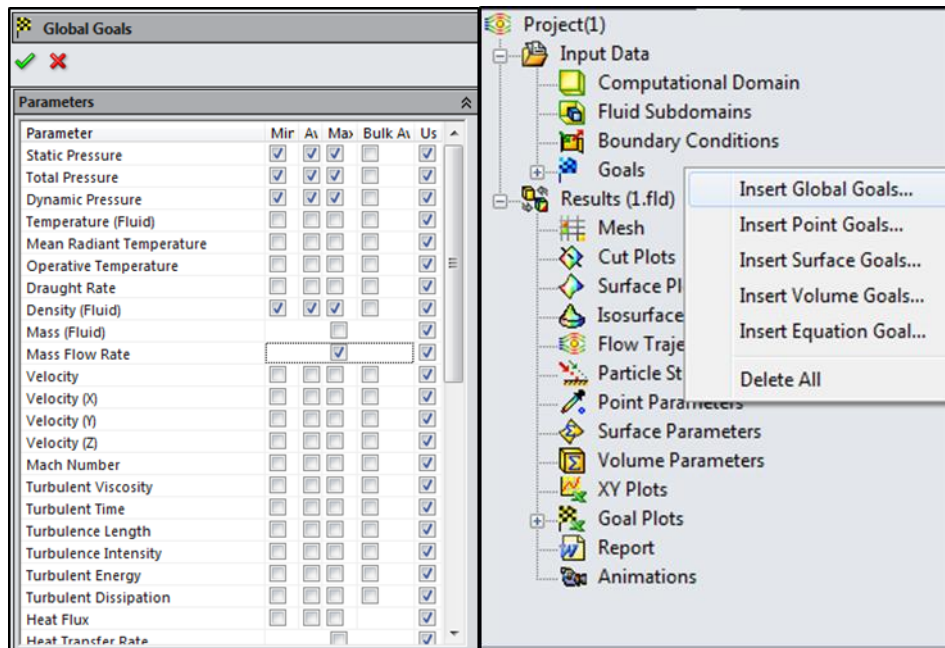
เมื่อทำการ กำหนดขนาด Boundary condition เรียบร้อยแล้ว ทำการคลิกเมาส์ที่เครื่องหมายถูก หน้าโปรแกรมก็จะแสดงขนาด Boundary condition ที่กำหนดขนาดไว้ให้เห็นดังภาพที่ 3-15 เท่านั้น ก็เป็นการเสร็จสิ้นการ Set ค่าของ Boundary condition ซึ่งขนาด Size and condition เราจะกำหนดขอบเขตตามทฤษฎีการจำลองเชิงตัวเลข CFD ของงานวิจัยที่ผ่านมา



ภาพที่ 3-15 แสดงรูปแบบBoundary condition ของระบบที่ต้องการจำลองการไหล

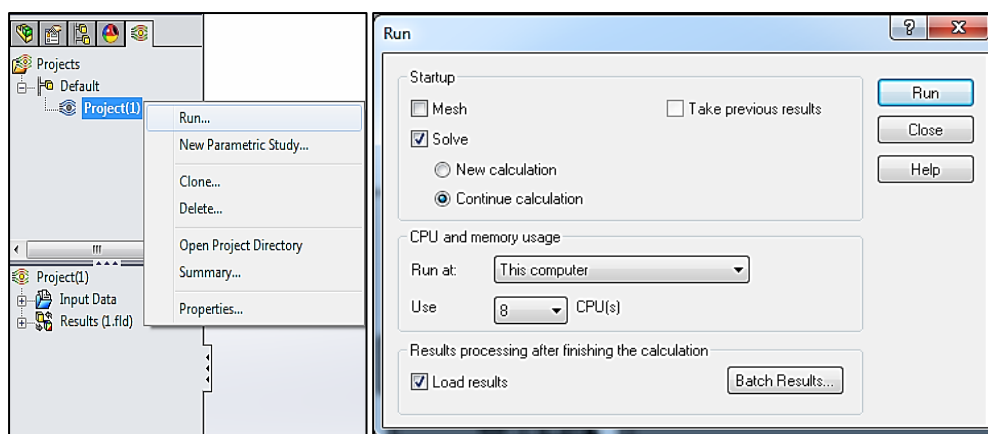
3) การ RUN และตรวจสอบผลลัพธ์

การที่จะทำการ Runผลลัพธ์ เมื่อเราทำการSETค่าต่างๆเสร็จเรียบร้อยแล้ว ถ้าเกิดเราต้องการทราบผลลัพธ์ที่แน่นอน ว่าผลลัพธ์ถูกต้องหรือไม่ Flow Simulation จะมีการให้เราเลือกค่า Goals โดยคลิกขวาที่ Goalsตรงหน้าต่างFlow Simulationที่Input Data โดยการตั้งค่านั้นจะเลือก Insert Global goalsโปรแกรมจะทำการ Check ทั้งโมเดลโดยเป้าหมายของเราที่ต้องการจะดูค่าอะไรบ้าง เช่น ความเร็ว ความดัน ค่าความหนาแน่น แรงต้าน แรงเสียดทาน เป็นต้น ฯลฯ โปรแกรมก็จะให้ผลลัพธ์ต่างๆที่ต้องการหรือว่า ถ้าเกิดเราระบุเป็นจุดก็ได้โดยถ้าเราต้องการเช็คความดันในระบบปิด ก็สามารถเช็คได้เหมือนกัน โดยเลือกคลิกขวาที่ Goals แล้วเลือก Insert Surface Goals เสร็จแล้ว เลือกที่ผิวทางเข้าทางออกเพื่อต้องการเช็คความดันเข้าหรือออกจากท่อหรือถ้าต้องการสร้างสมการเองให้เลือก Insert Equation Goals และใส่ตัวแปรในสมการ โปรแกรมก็จะสามารถสร้างผลลัพธ์ตามที่เรต้องการ



ภาพที่ 3-16 กำหนดและเลือกค่าต่างๆที่ต้องการทราบค่า

จากนั้นเมื่อทำการเลือกค่าที่ต้องการทราบผลแล้ว ให้เลือกคลิกขวาที่ Project ที่หน้าต่าง Flow Simulation แล้วกด Run โปรแกรมก็จะแสดงหน้าต่าง Run ขึ้นมา ดังภาพที่ 3-17 เพื่อให้เราตั้งความเร็วและวิธีการคำนวณซึ่งความเร็วและความละเอียดในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับ CPU ที่ใช้ในจำลองด้วย ซึ่งเครื่องที่ใช้ต้องมีระบบการประมวลผลที่สูงด้วย



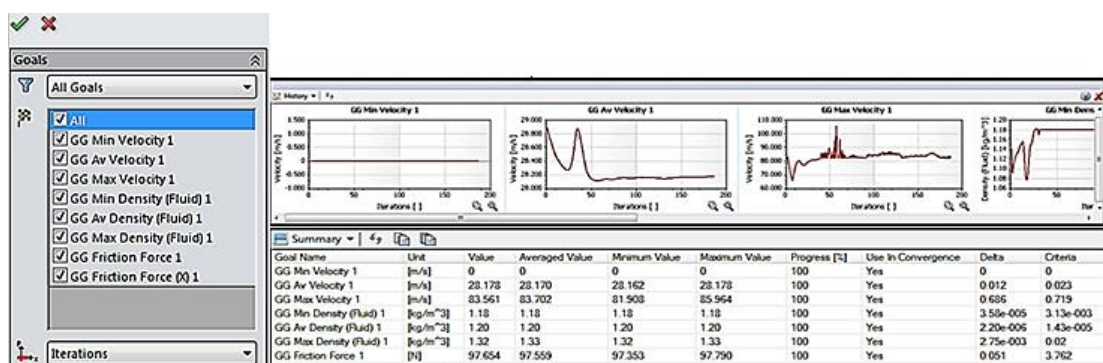
ภาพที่ 3-17 กำหนดค่าความเร็วในการประมวลผลของโปรแกรม

เมื่อกดปุ่ม Run โปรแกรมก็จะหน้าต่าง สำหรับการวิเคราะห์ขึ้นมา เราก็สามารถดูเวลาในการRunกับกราฟการวิเคราะห์และค่าที่วิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 3-18



ภาพที่ 3-18 แสดงรูปแบบการประมวลผลของโปรแกรม Solidwork Flow Simulation

เมื่อ โปรแกรม Run เสร็จแล้ว ต่อมาจะเป็นการดูผลลัพธ์ที่หน้าต่างFlow Simulation ผลลัพธ์จะอยู่ข้างล่างตรง Resultsซึ่งในการดูผลลัพธ์ของFlow Simulation นั้นจะมีวิธีการที่หลากหลายแล้วแต่ที่เราสนใจดูในลักษณะไหน เช่น ดูในลักษณะของผลลัพธ์ที่เป็น 2D ให้เลือก Cut plat แต่ถ้าดูในลักษณะของผลลัพธ์ที่เป็น 3D หรือAnimationให้เลือก Flow Trajectories และสุดท้ายคือการดูผลลัพธ์ของ Goalsที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้โดยคลิกขวาที่ Goals plot เลือก Insert คลิกเลือกดูผลลัพธ์ที่เราสร้างไว้ทั้งหมดจากนั้นกดปุ่ม Show โปรแกรมก็จะแสดงผลขึ้นมาว่า ค่าเชิงตัวเลขที่เรากำหนดได้เท่าไร ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 แสดงการตรวจสอบผลที่โปรแกรมประมวลได้ในเชิงตัวเลข

3.3 การสร้างและการติดตั้งอุปกรณ์เสริม

หลังจากการจำลองสัมประสิทธิ์แรงต้านอุปกรณ์เสริมที่ใช้ติดตั้งกับรถบรรทุกซึ่งค่าที่เหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์เสริมได้แก่

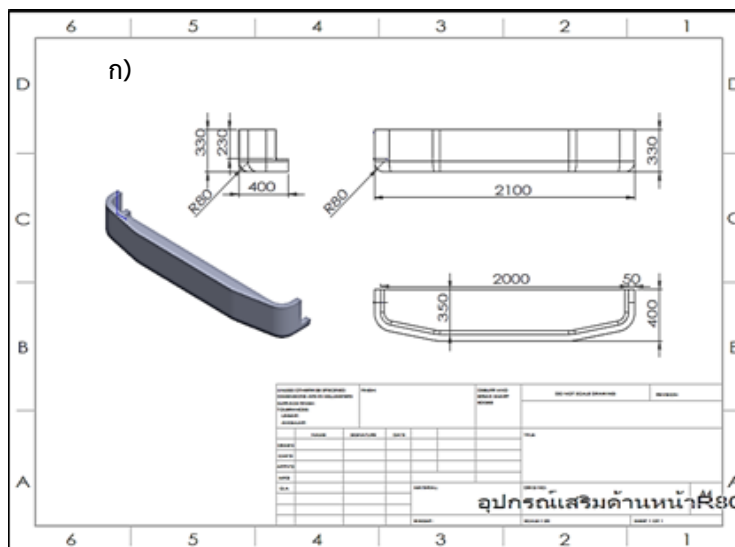
- 1.ค่ารัศมีของอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุกที่เหมาะสม คือ 0.20 m
- 2.ค่ารัศมีของอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคาที่เหมาะสม คือ 0.50 m
- 3.ค่าของมุมอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะที่เหมาะสม คือ 35 องศา
- 4.ค่าของการจำลองอุปกรณ์เสริมปิดกระบะบรรทุกเทียบกับเปิดกระบะบรรทุกคือ ปิดกระบะบรรทุกเหมาะสมที่สุด

และเมื่อทราบค่ารัศมีและมุมของอุปกรณ์เสริมที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกับรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบแล้ว ขั้นตอนแรกของการติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบนั้นคือการสร้างแบบ 2D (Drawing) เพื่อใช้เป็นแบบในการสร้างอุปกรณ์เสริมจริง แบบที่ใช้จะเขียนขึ้นจากโปรแกรม Solid Work Drawing ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีกว่าโปรแกรมอื่นคือ สามารถแกะ Drawing ออกมาจากแบบ 3D ที่สร้างไว้ก่อนหน้านี้ได้ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาในการสร้างแบบ 2D เป็นอย่างมาก

3.3.1 การสร้างอุปกรณ์เสริมที่ใช้ติดตั้งกับรถบรรทุก

1) การสร้างอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก

ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลองVaries รัศมีที่ดีที่สุดของอุปกรณ์เสริมติดด้านหน้ารถบรรทุก คือรัศมี $R = 0.20m$ จากภาพที่ 3-20 จะเป็นอุปกรณ์เสริมติดด้านหน้ารถบรรทุกที่สร้างขึ้นจากการจำลองและออกแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปติดตั้งและใช้ในการทดสอบวัสดุที่ใช้ทำต้นแบบ คือ โครงเหล็กกล่องเชื่อมดัดเข้าทรงและปูพื้นผิวด้วยแผ่นสังกะสีเพื่อให้ทนต่อแรงด้านที่มากกระทำกับอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก

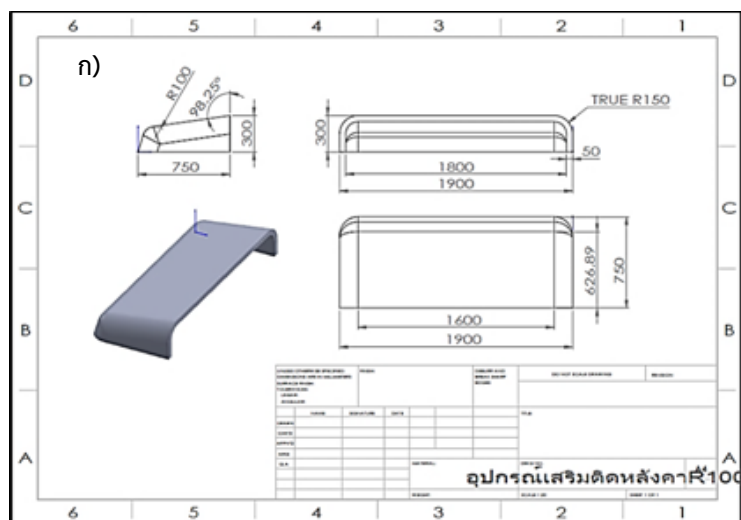


ภาพที่ 3-20 อุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก ก) การออกแบบขนาดด้วย solid work

ข) อุปกรณ์ที่สร้างจริง

2) การสร้างอุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถบรรทุก

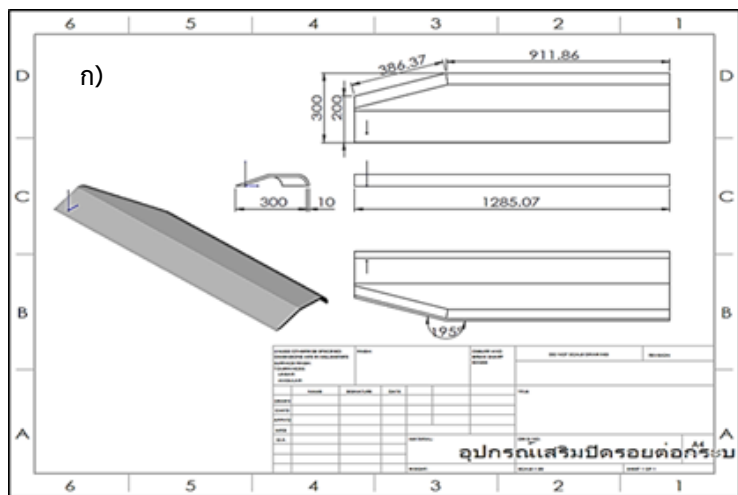
ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลอง Variates ที่มีที่ดีที่สุดของอุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถบรรทุกคือรัศมี $R = 0.50m$ จากภาพที่ 3-21 จะเป็นอุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถบรรทุกที่สร้างขึ้นจากการจำลองและออกแบบที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำไปติดตั้งและใช้ในการทดสอบ วัสดุที่ใช้ทำต้นแบบคือโครงเหล็กกล่องเชื่อมติดเข้าทรงและปูพื้นผิวด้วยแผ่นสังกะสีเพื่อให้ทนต่อแรงดันที่มากระทำกับอุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถบรรทุก



ภาพที่ 3-21 อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก ก) การออกแบบขนาดด้วย solid work
ข) อุปกรณ์ที่สร้างจริง

3) การสร้างอุปกรณ์เสริมปิดรอยต่อกระบะรถบรรทุก

ซึ่งค่าที่ได้จากการจำลอง Varies มุมที่ดีที่สุดของอุปกรณ์เสริมปิดรอยต่อกระบะรถบรรทุกคือมุมที่ 35 องศาจากภาพที่ 3-22 จะเป็นอุปกรณ์เสริมปิดรอยต่อกระบะรถบรรทุกที่สร้างขึ้นจากการจำลองและออกแบบที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำไปติดตั้งและใช้ในการทดสอบ วัสดุที่ใช้ทำต้นแบบคือโครงเหล็กกล่องเชื่อมติดเข้าทรงและปูพื้นผิวด้วยแผ่นสังกะสี เพื่อให้ทนต่อแรงดันที่มากกระทำกับอุปกรณ์เสริมปิดรอยต่อกระบะรถบรรทุก



ภาพที่ 3-22 อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบระลบรรทุก ก) การออกแบบขนาดด้วย solid work ข) อุปกรณ์ที่สร้างจริง

3.3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบ

เมื่อสร้างอุปกรณ์เสริมแล้วต่อมาก็คือ การติดตั้งอุปกรณ์เสริมเข้ากับรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์เสริมนั้นจะเป็นการติดตั้งพร้อมกับทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปพร้อมกันทีเดียว ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเข้ากับตัวรถบรรทุกในการวิ่งทดสอบรอบแรก จะมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมทุกชิ้นเข้าด้วยกัน ซึ่งได้แก่ ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก+ติดตั้งอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณผิวโค้งหลังคา+ติดตั้งอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบ

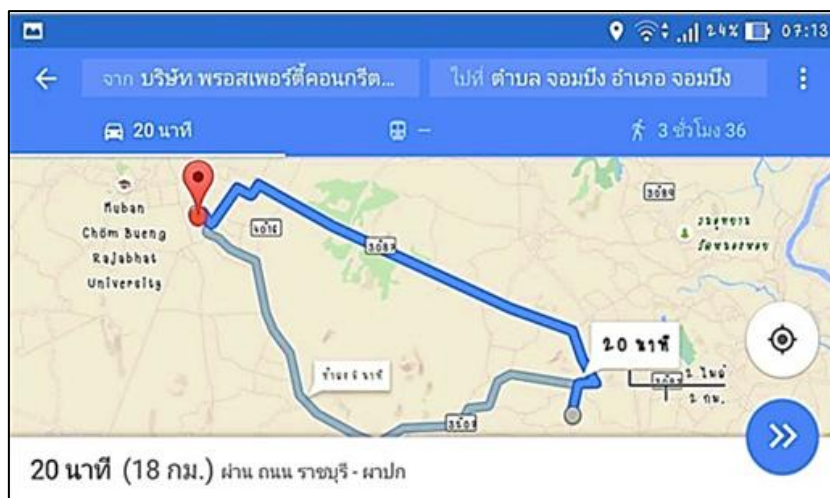
รถบรรทุกและติดตั้งอุปกรณ์เสริมปิดกระเบบบรรทุก ดังภาพที่ 2-23 และเมื่อทดสอบรอบต่อไปก็จะถอดอุปกรณ์เสริมออกที่จะขึ้นในทุกรอบที่ทดสอบ ซึ่งการติดตั้งที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะมีรายละเอียดการติดตั้งในหัวข้อที่ 3.4 ต่อไป



ภาพที่ 3-23 ก) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถ ข) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ
ค) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบบ ง) ติดตั้งอุปกรณ์ปิดกระเบบบรรทุก

3.4 การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ในการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ ISUZU DECA รุ่น FXZ 240 ในการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงวิ่งทดสอบจาก บริษัท พรอส เพอร์ดี คอนกรีต จำกัด ไปยัง บริษัท สโตนวัน จำกัด มหาชนใช้ระยะเวลาในการทดสอบเก็บผล 1 เดือนวิ่งทดสอบวันละ 8 รอบ และทดสอบในช่วงความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะทางที่ใช้ในการทดสอบโดยเฉลี่ยแล้วเท่ากับ 51 Km จากถนนเพชรเกษมราชบุรี-จอมบึงเป็นเส้นทางทดสอบของรถ ตามภาพที่ 3-24



ภาพที่ 3-24 เส้นทางและระยะทางที่ใช้ในการทดสอบจากถนนเพชรเกษม ราชบุรี-จอมบึง

โดยการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการเก็บข้อมูลโดยการเติมน้ำมันเต็มถังทำการวิ่งทดสอบ และกลับมาเติมน้ำมันเต็มถังอีกครั้งหนึ่งเพื่อตรวจสอบน้ำมันที่ใช้ไปทุกๆกรณีทดสอบและเราจะกำหนด ให้กรณีที่ 1 วิ่งทดสอบตัวเปล่าเป็นMainหลักในการทดสอบเปรียบเทียบซึ่งจะทดสอบโดยการติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุกและแบ่งกรณีทดสอบเป็น 5 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 วิ่งทดสอบรถตัวเปล่า(ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม) ดังภาพที่ 2-25

กรณีที่ 2 วิ่งทดสอบโดยติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก ดังภาพที่ 2-26

กรณีที่ 3 วิ่งทดสอบโดยติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก+อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณผิวโค้งหลังคา ดังภาพที่ 2-27

กรณีที่ 4 วิ่งทดสอบโดยติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก+อุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคา รถบรรทุก+อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะรถบรรทุก ดังภาพที่ 2-28

กรณีที่ 5 วิ่งทดสอบโดยติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก+อุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคา รถบรรทุก+อุปกรณ์เสริมปิดรอยต่อกระบะรถบรรทุก+ปิดกระบะบรรทุก ดังภาพที่ 2-29



ภาพที่ 3-25 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 1 วิ่งทดสอบตัวเปล่า
(ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)



ภาพที่ 3-26 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 2 ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ



ภาพที่ 3-27 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 3 ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + ติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ



ภาพที่ 3-28 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 4 ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + ติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ



ภาพที่ 3-29 การทดสอบติดอุปกรณ์เสริมในกรณีที่ 5 ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + ติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ + ปิดกระบะบรรทุก

ตารางที่ 3-7 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ระยะเวลา 1 เดือน

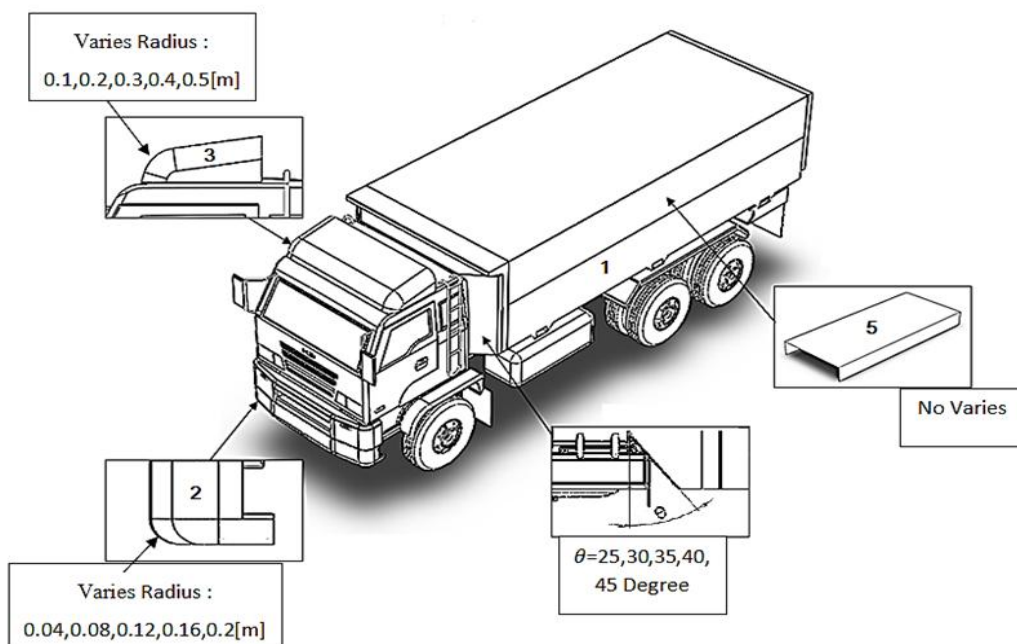
กรณี	เงื่อนไข	ระยะทางที่ใช้ทดสอบ (km)	ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ(min)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร)
1	วิ่งทดสอบตัวเปล่า (ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)	51 km	56	18
2	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ	51 km	56	17.3
3	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + ติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ	51 km	56	17
4	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + ติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ	51 km	56	16.2
5	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + ติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ + ปิดกระบะบรรทุก	52 km	56	16

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองด้วย CFD

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยในบทที่ผ่านมา ทำให้ได้ผลจากการจำลอง CFD ของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน จากการเปลี่ยนแปลงค่ารัศมี มุมเอียง รัศมีโค้งต่างๆ ตามภาพที่ 4-1 เพื่อจะได้เงื่อนไขของอุปกรณ์เสริม มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของแต่ละอุปกรณ์เสริมที่น้อยที่สุด ก่อนที่จะนำมา สร้าง และ ติดตั้ง ทดสอบกับรถบรรทุกจริง โดยใช้ กรณีที่ 1 (วิ่งทดสอบตัวเปล่า) เป็นกรณีเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านกับอีก 4 อุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งกับรถบรรทุก การทดสอบ ในการทดสอบด้วย CFD นั้น จะทดสอบอัตราการไหลของอากาศความเร็วเดียวที่ 22.22 m/s (78 km/hr) ที่อุณหภูมิ 25 C⁰ และความดันของบรรยากาศปกติที่ 1 bar



ภาพที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงรัศมี มุมเอียง รัศมีโค้งต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน
ของแต่ละอุปกรณ์เสริม

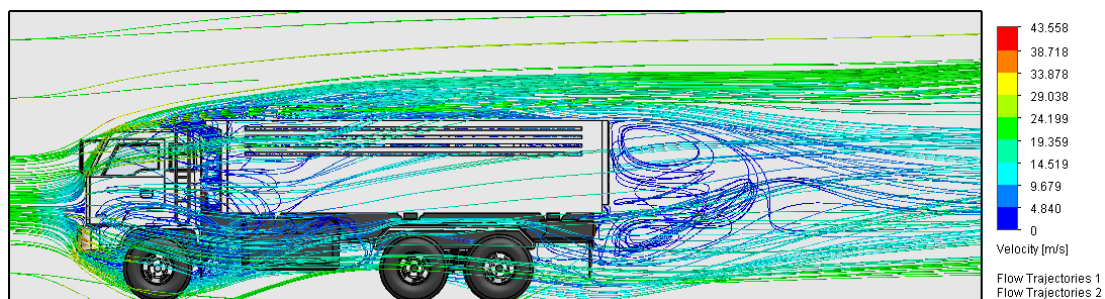
4.1.1 ผลการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า (โดยไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)

โดยใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบกับกรณีอื่น จึงจะสามารถหาผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ ดังนั้นในตารางที่ 4-1 จึงไม่มีผลต่างของค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน โดยจากการจำลอง CFD โดยรถบรรทุกตัวเปล่ามีค่าเท่ากับ 1.028709 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยทั่วไปของรถบรรทุก และจะใช้เปรียบเทียบกับกรณีอื่นต่อไป

ตารางที่ 4-1 สัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า

อุปกรณ์เสริม	แรงต้าน (N)	พื้นที่(Fluid) (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C _D)
รถบรรทุกตัวเปล่า	2151.285735	6.75	1.028709

ในการวิเคราะห์นอกเหนือจากผลจากการจำลองค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านแต่ละกรณีในเชิงตัวเลขแล้ว ยังสามารถจำลองค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านในเชิงกราฟิก เพื่อแสดงผลให้ทราบได้อย่างชัดเจนและเข้าใจได้มากขึ้น ดังภาพ 4-2



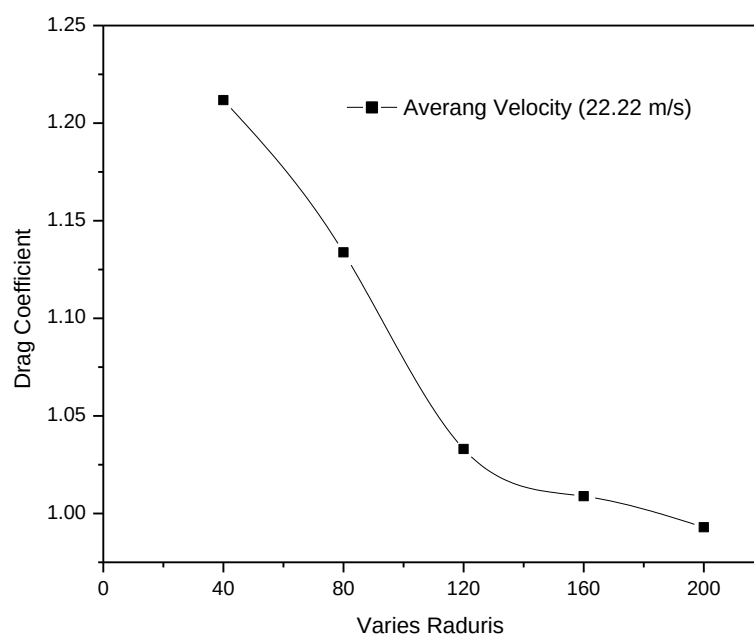
ภาพที่ 4-2 แสดงการไหลผ่านของอากาศ จากการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า (ผลเชิงกราฟิก)

4.1.2 ผลการจำลอง อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ

เป็นการจำลองเพื่อหารัศมีโค้งของอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก ที่มีความเหมาะสมที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมต่ำสุด โดยจากผลในตารางที่ 4-2 นั้น รัศมีโค้งที่ $R = 0.2 \text{ m}$ ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำสุดที่ 0.99293 หรือลดลงจากกรณีเปรียบเทียบกับ กรณีที่ 1 เท่ากับ -0.035779 และมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มรัศมีโค้ง ตามภาพที่ 4-3

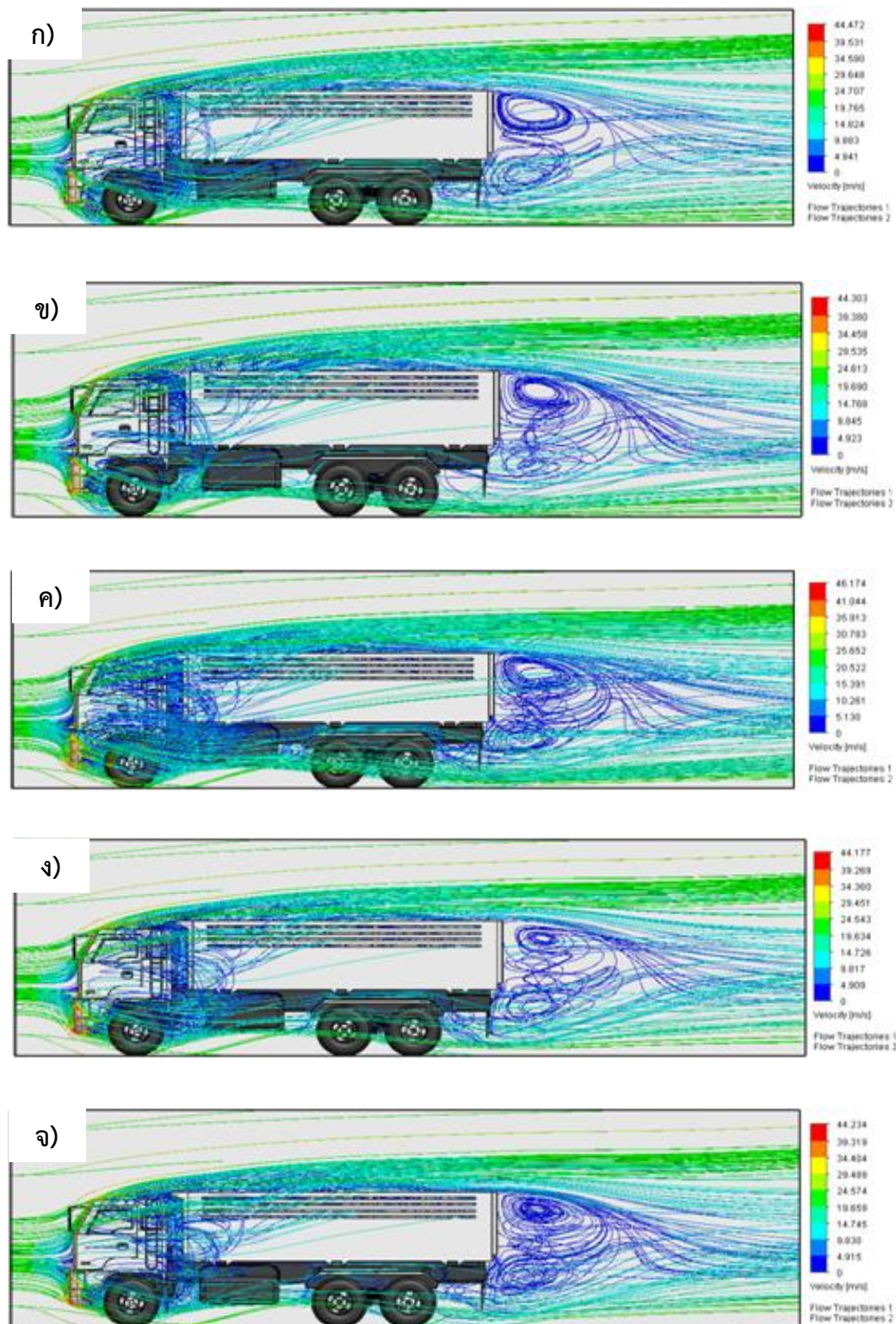
ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ

รัศมีโค้ง R (m)	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C _D)	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 (+)เพิ่ม, (-)ลด
0.4	2537.964261	6.76	1.21181	+0.183101
0.8	2374.498454	6.76	1.13376	+0.105051
1.2	2163.575564	6.76	1.03305	+0.004341
1.6	2112.846264	6.76	1.00883	-0.019879
2.0	2079.550402	6.76	0.99293	-0.035779



ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับการเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้งของอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก

การวิเคราะห์นอกจากผลจากการจำลองค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านแต่ละรัศมี ในเชิงตัวเลขแล้วยังสามารถจำลองค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านในเชิงกราฟิก เพื่อแสดงผลให้ทราบได้อย่างชัดเจนและเข้าใจได้มากขึ้น ตามภาพที่ 4-4



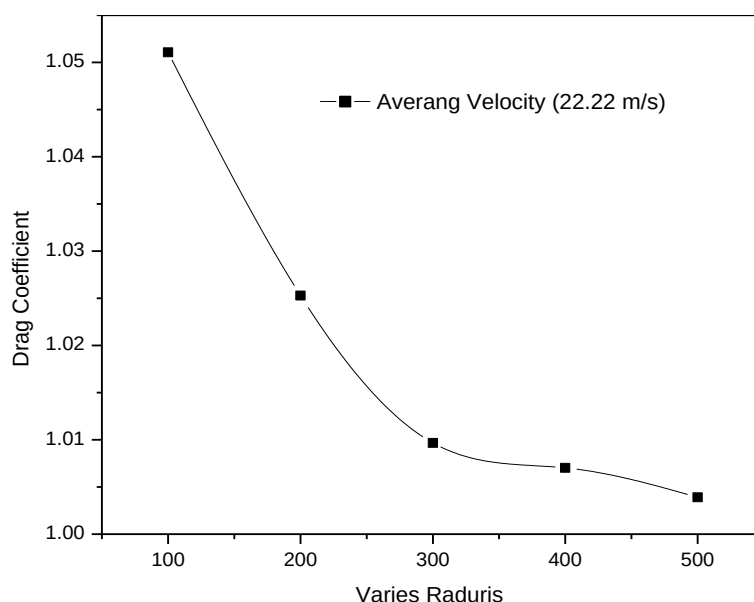
ภาพที่ 4-4 การจำลองอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุกเชิงกราฟิก ก) รัศมีโค้ง 0.4 m ข) 0.8 m
ค) 1.2 m ง) 1.6 m และ จ) 2.0 m

4.1.3 ผลการจำลองอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก

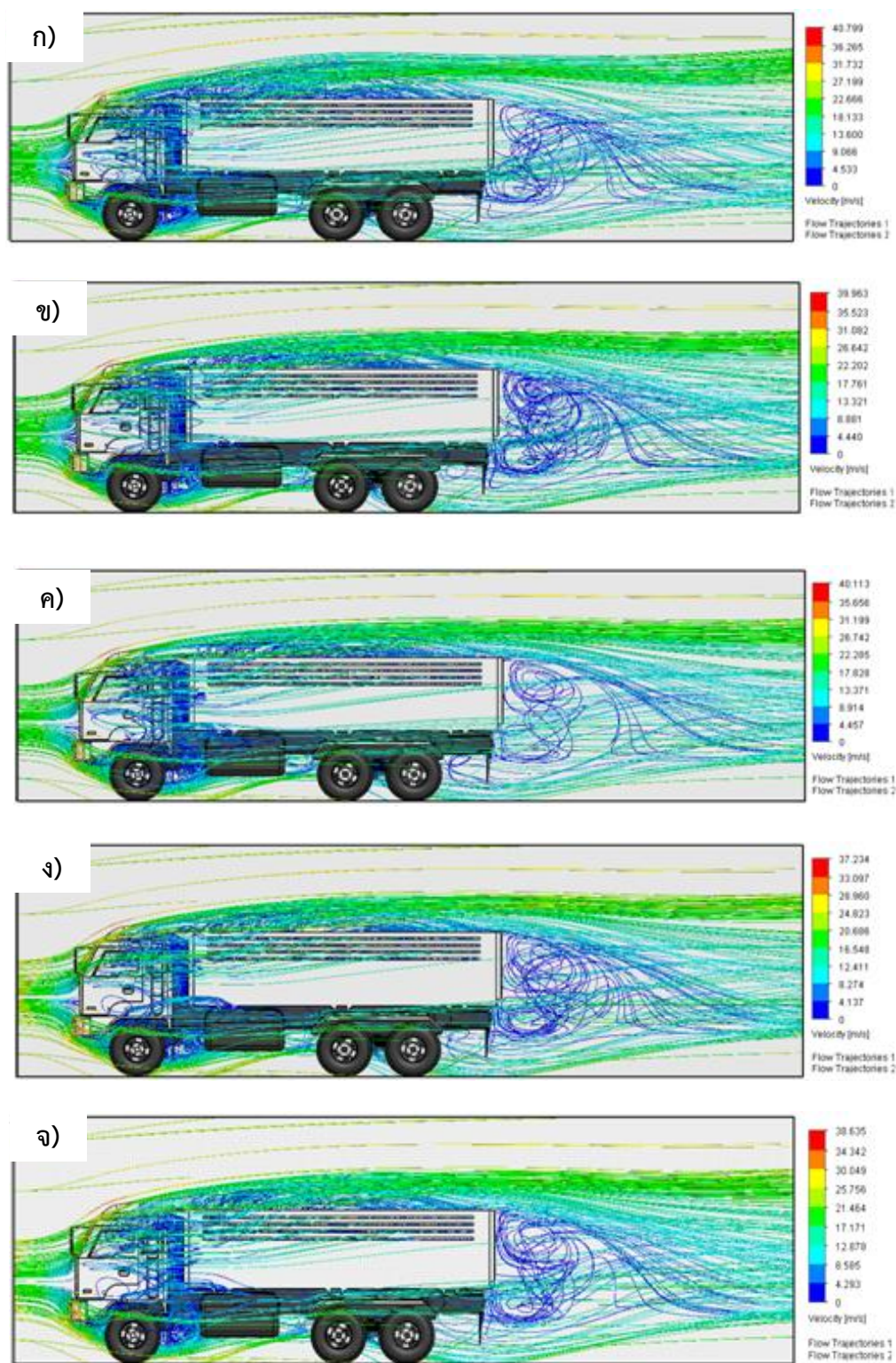
เป็นการจำลองเพื่อหารัศมีโค้งของอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ ที่มีความเหมาะสมที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมต่ำสุด โดยจากผลในตารางที่ 4-3 นั้น รัศมีโค้งที่ $R = 0.5 \text{ m}$ ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำสุดที่ 1.00391 หรือลดลงจากกรณีเปรียบเทียบกับ กรณีที่ 1 เท่ากับ -0.024799 และมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เมื่อมีการเพิ่มรัศมีโค้ง ตามภาพที่ 4-5

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ

รัศมีโค้ง $R \text{ (m)}$	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m^2)	สัมประสิทธิ์แรง ต้าน (C_D)	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรง ต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 (+) เพิ่ม, (-) ลด
0.1	2292.48029	7.04	1.05106	+0.022351
0.2	2236.24577	7.04	1.02528	-0.003429
0.3	2202.20468	7.04	1.00967	-0.019039
0.4	2196.41177	7.04	1.00702	-0.021689
0.5	2189.63399	7.04	1.00391	-0.024799



ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับการเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้งของอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ



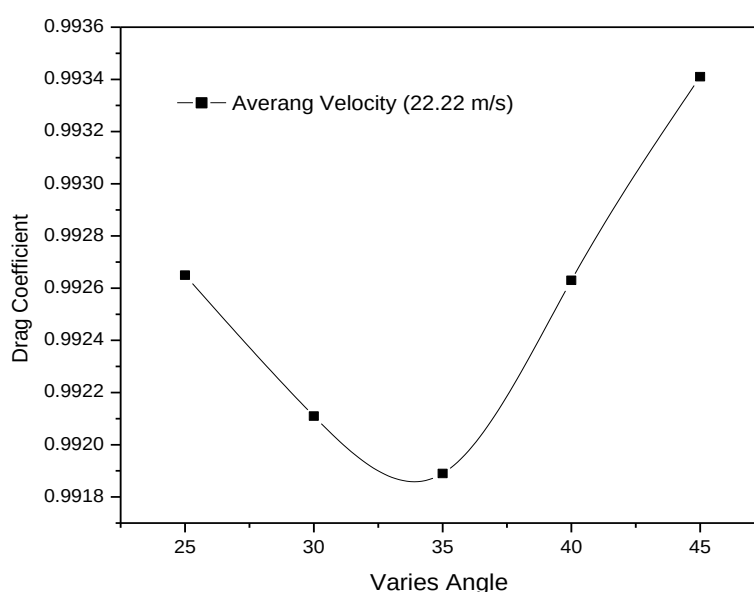
ภาพที่ 4-6 การจำลองติดอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังการเชิงกราฟิก ก) รัศมีโค้ง 0.1 m ข) 0.2m
ค) 0.3 m ง) 0.4 m จ) 0.5m

4.1.4 ผลการจำลอง อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบ

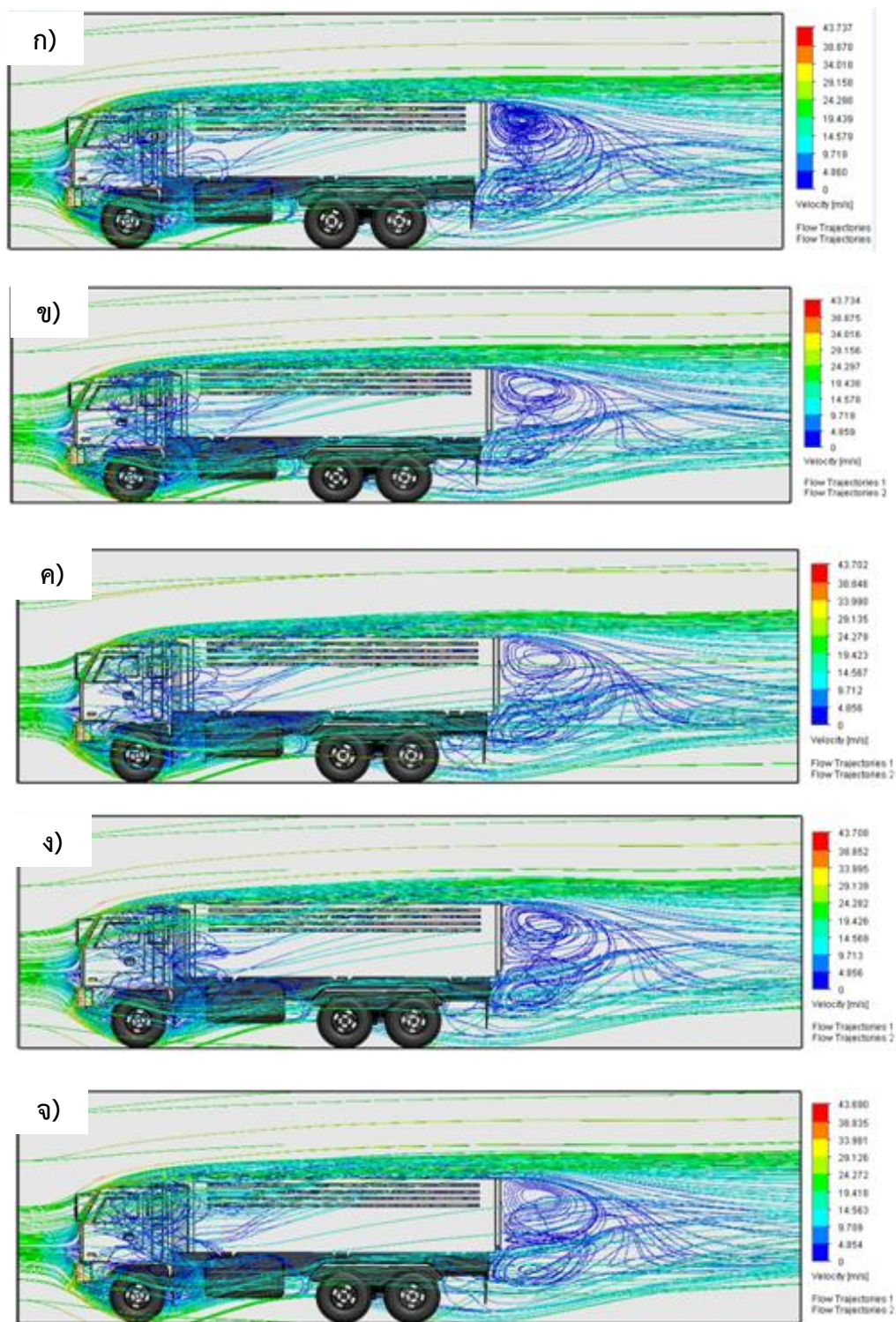
เป็นการจำลองเพื่อหามุมเอียง ของอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบ ที่มีความเหมาะสม ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมต่ำสุด โดยจากผลในตารางที่ 4-4 นั้น มุมเอียงของระนาบที่ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบ 35° ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำสุดที่ 0.99189 หรือลดลงจากกรณีเปรียบเทียบ กรณีที่ 1 เท่ากับ -0.036819 ซึ่งเป็นมุมที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มขนาดมุมทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงขึ้น ตามภาพที่ 4-7

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบ

มุมเอียง (องศา)	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m^2)	สัมประสิทธิ์แรง ต้าน(C_D)	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรง ต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 (+) เพิ่ม, (-) ลด
25	2075.89014	6.75	0.99265	-0.036059
30	2074.75773	6.75	0.99211	-0.036599
35	2074.30745	6.75	0.99189	-0.036819
40	2075.83902	6.75	0.99263	-0.036079
45	2077.47242	6.75	0.99341	-0.035299



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงต้านกับการเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงของระนาบ
อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบ



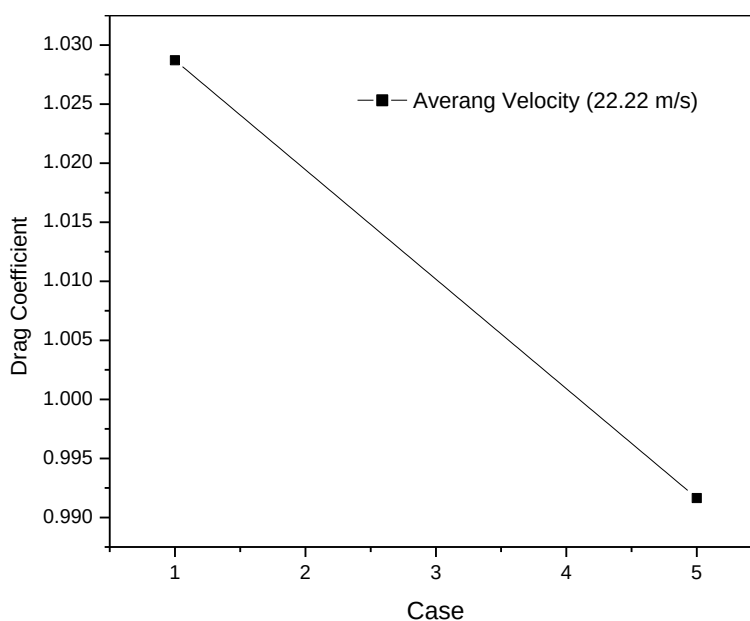
ภาพที่ 4-8 การจำลองติดอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะเชิงกราฟิก ก) 25° ข) 30°
ค) 35° ง) 40° จ) 45°

4.1.5 ผลการจำลองอุปกรณ์ปิดกระบังรถบรรทุก

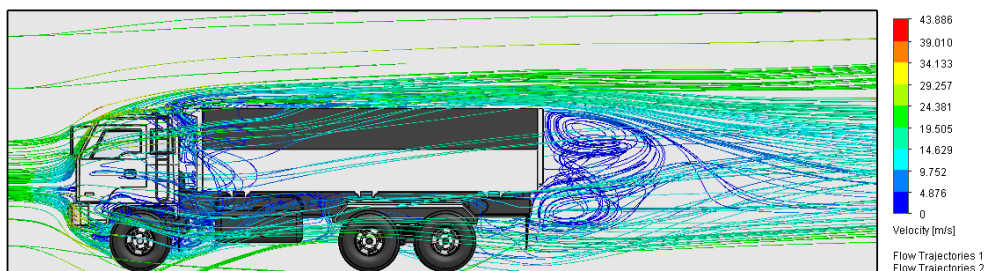
เป็นการจำลองเพื่อทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านที่เปลี่ยนแปลงจากกรณีรถบรรทุกตัวเปล่า เมื่อปิดกระบังรถบรรทุก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานจริงในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานอย่างถูกต้องตามหลักอากาศพลศาสตร์ โดยจากผลในตารางที่ 4-5 นั้น เมื่อติดอุปกรณ์ปิดกระบังรถบรรทุก ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมคือ 0.99164 สามารถทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง -0.037069 ซึ่งได้แสดงความแตกต่างจากกรณีที่ 1 (รถบรรทุกตัวเปล่า) ตามภาพที่ 4-9

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง อุปกรณ์ปิดกระบังรถบรรทุก

อุปกรณ์	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน (C _D)	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 (+) เพิ่ม, (-) ลด
ปิดกระบังรถบรรทุก	2073.77180	6.75	0.99164	-0.037069



ภาพที่ 4-9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลอง ติดอุปกรณ์ปิดกระบังรถบรรทุก กับผลการทดสอบ สัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองรถบรรทุกตัวเปล่า



ภาพที่ 4-10 การจำลองอุปกรณ์เสริมปิดกระบังรถบรรทุกเชิงกราฟิก

จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของแต่ละอุปกรณ์เสริม เมื่อเปรียบเทียบกับรถบรรทุกตัวเปล่า (โดยให้เป็นกรณีที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบ) กรณีที่ 1 ทำให้ทราบค่าของเงื่อนไขที่เหมาะสมกับการออกแบบอุปกรณ์เสริม ซึ่งก็คือค่าที่ให้สัมประสิทธิ์แรงต้านรวมต่ำสุด จึงสรุปค่าที่จะนำไปใช้ในการสร้างจริงได้ดังนี้คือ

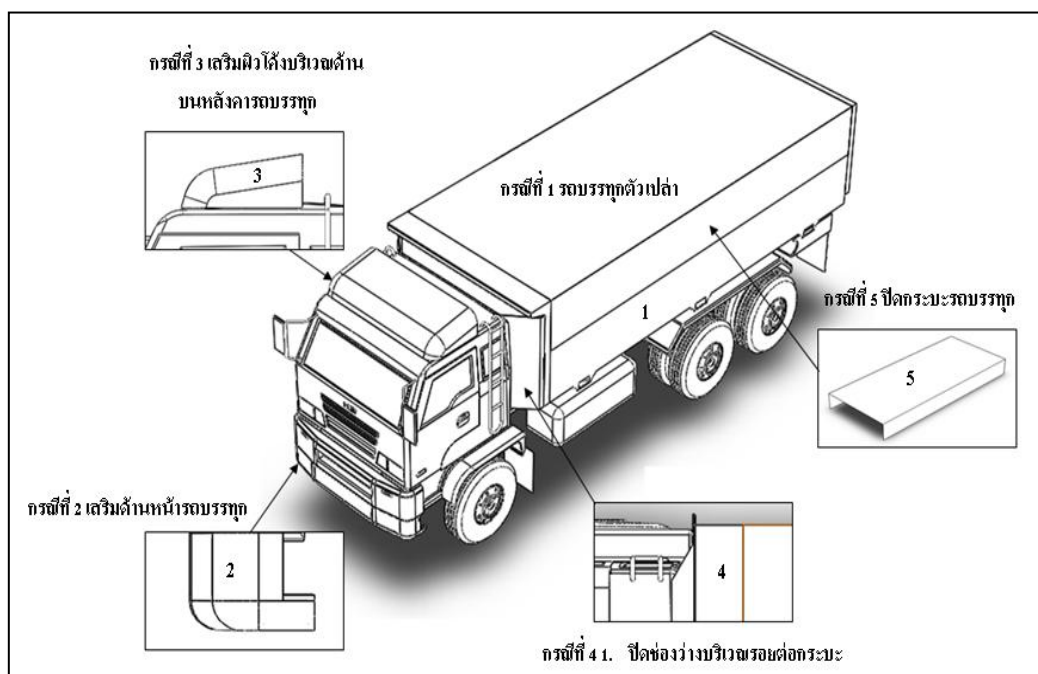
- 1) อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ คือรัศมีโค้งที่ 0.2 m เนื่องจากการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านมากที่สุด เท่ากับ - 0.035779
- 2) เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ คือรัศมีโค้ง 0.5 m เนื่องจากสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงมากที่สุด เท่ากับ - 0.024799
- 3) อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบัง คือเอียงที่ระนาบมุม 35° เนื่องจากสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงมากที่สุด เท่ากับ - 0.036819
- 4) อุปกรณ์ปิดกระบังรถบรรทุก การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน เท่ากับ - 0.037069

4.2 สัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์ กับรถบรรทุก

จากเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านของอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์ จึงทำให้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างอุปกรณ์เสริมจริง อาทิ มุมเอียง รัศมีโค้ง และขนาด เป็นต้น ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านน้อยที่สุด ดังนั้นการทดสอบนี้ จึงเป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของกรณีต่างๆ ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเข้ารวมกัน ตามภาพที่ 4-11 โดยเพิ่มจำนวนอุปกรณ์เสริมตามกรณีดังนี้

- กรณีที่ 1 คือ รถบรรทุกตัวเปล่า
- กรณีที่ 2 คือ รถบรรทุกตัวเปล่า + ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก
- กรณีที่ 3 คือ รถบรรทุกตัวเปล่า + ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณผิวโค้งหลังคา
- กรณีที่ 4 คือ รถบรรทุกตัวเปล่า + ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถบรรทุก + อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบังรถบรรทุก

กรณีที่ 5 คือ รถบรรทุกตัวเปล่า + ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก + อุปกรณ์เสริมผิวโค้ง
หลังการบรรทุกรถบรรทุก + อุปกรณ์เสริมปิดรอยต่อกระบะรถบรรทุก + ปิดกระบะบรรทุก



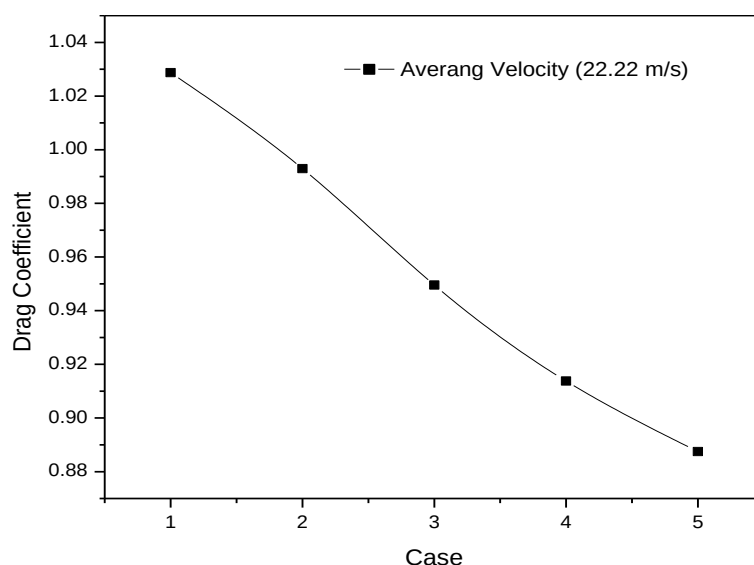
ภาพที่ 4-11 อุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งกับรถบรรทุก

4.2.1 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แรงต้านกับกรณีการทดสอบด้วย CFD

จากเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์เสริม จึงนำมาเป็นกรณีทดสอบทั้งหมด 5 กรณีดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2 ข้างต้น ดังนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลขก่อนมีการสร้างจริง เพื่อความมั่นใจ และความน่าเชื่อถือ ซึ่งจากตารางที่ 4-6 กรณีการทดสอบจาก 1-5 มีแนวโน้มทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านนั้นลดลงตามลำดับ เนื่องจากเงื่อนไข (มุมเอียง รัศมีโค้ง) ที่นำมาจำลองอุปกรณ์เสริมนั้น มีค่าที่ลดลงอยู่แล้ว เมื่อนำมาติดตั้งรวมกันตามเพิ่มขึ้นตามกรณี จึงให้ผลที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงตามลำดับกรณีที่เพิ่มขึ้น ตามภาพที่ 4-12

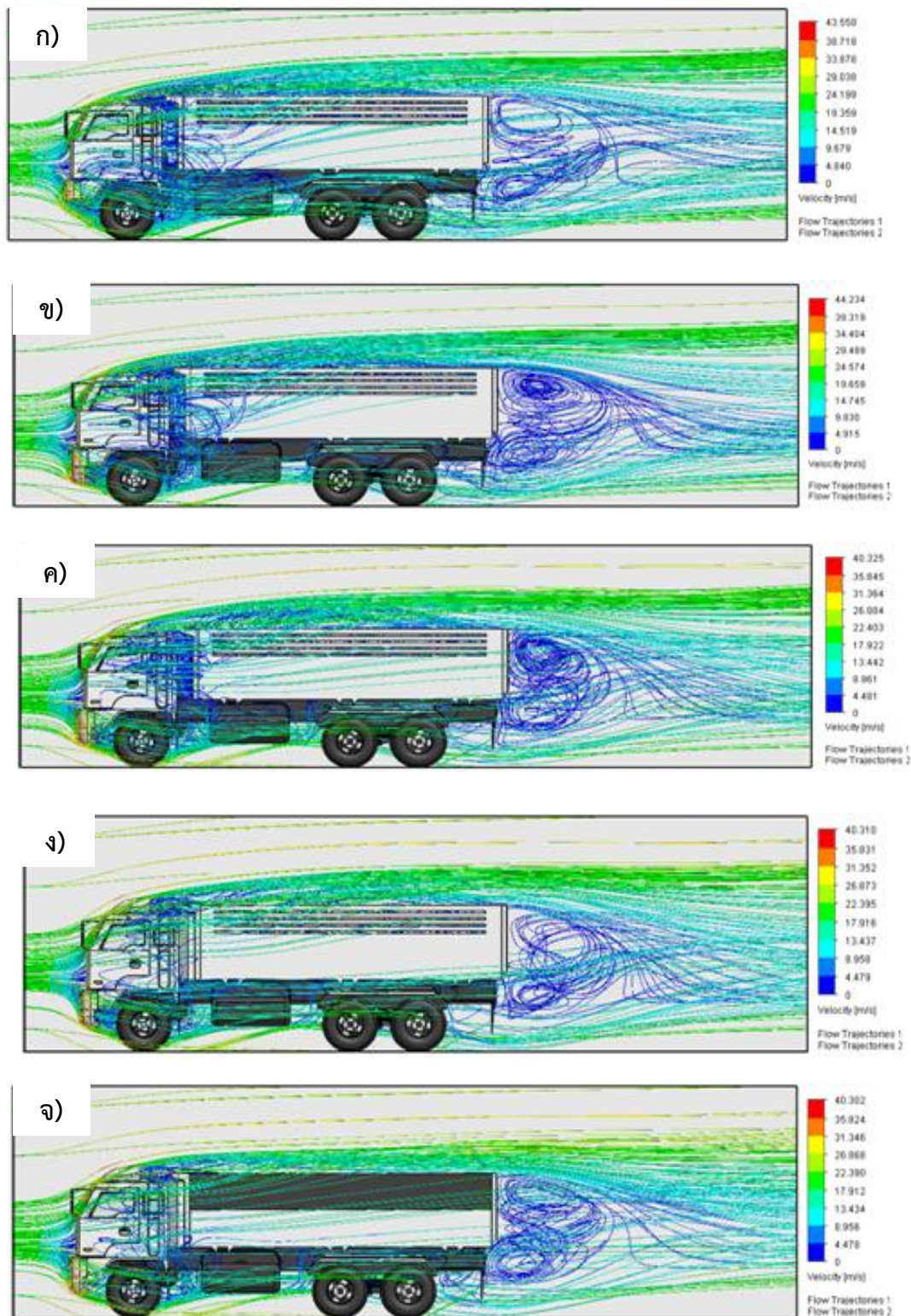
ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านการจำลองอุปกรณ์เสริมแต่ละกรณี

กรณีทดสอบ	แรงต้าน (N)	พื้นที่ (m ²)	สัมประสิทธิ์แรงต้าน(C_D)	การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านเปรียบเทียบกับ กรณีที่ 1 (+) เพิ่ม, (-) ลด
กรณี 1	2151.28573	6.75	1.028709	-
กรณี 1+2	2079.55040	6.76	0.99293	-0.035779
กรณี 1+2+3	2071.02359	7.04	0.949534	-0.079175
กรณี 1+2+3+4	1993.043581	7.04	0.913781	-0.114928
กรณี 1+2+3+4+5	1935.718216	7.04	0.887499	-0.141210



ภาพที่ 4-12 สัมประสิทธิ์แรงต้านรวมของรถบรรทุก แต่ละกรณี

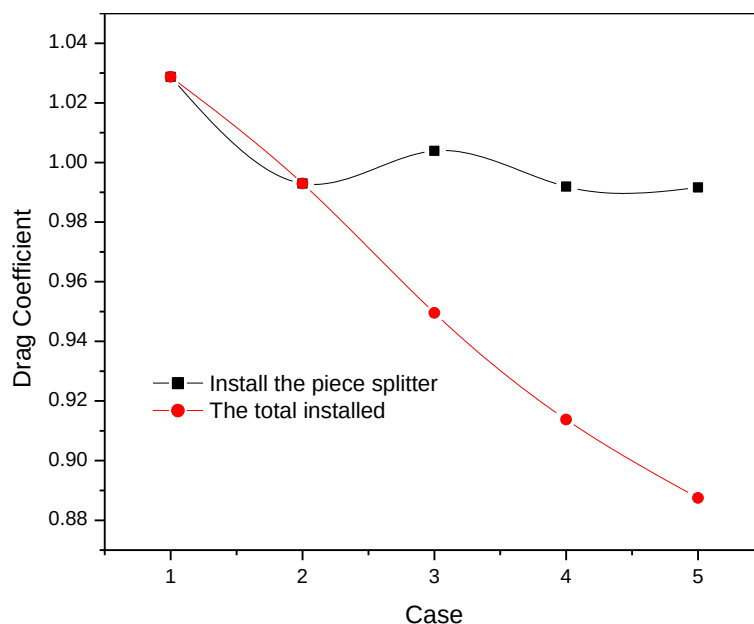
จากภาพที่ 4-12 แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์ทั้งหมดที่ สร้าง และติดตั้งกับรถบรรทุกจำลองนั้น ช่วยทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง ในเชิงตัวเลข ซึ่งจะสอดคล้องกันกับผลในเชิงกราฟฟิก ในภาพที่ 4-13 (ก, ข, ค, ง และ จ)แสดงถึงการไหลผ่านของอากาศเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพิ่มขึ้น เริ่มจากกรณีที่ 1 กรณีรถตัวเปล่านั้น อากาศที่ไหลผ่านตัวรถ จะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากแรงดันระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของตัวรถ มีความแตกต่างกันสูง จนกระทั่งมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมตัวที่หนึ่ง หรือกรณีที่ 2 อากาศที่ผ่านตัวรถมีความสมดุลขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ เช่นเดียวกันกับกรณีที่ 3, 4 และ 5 ซึ่งมีความสอดคล้องกันกับผลในเชิงตัวเลข ที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านนั้นลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นข้อมูลนี้จำเป็นต้องสรุปภาพรวม เพื่อนำไปสู่การสร้างจริงต่อไป



ภาพที่ 4-13 ผลเชิงกราฟฟิกของกรณี ก) กรณีที่ 1 ข) กรณีที่ 2 ค) กรณีที่ 3 ง) กรณีที่ 4 จ) กรณีที่ 5
ตามลำดับอุปกรณ์เสริมที่เพิ่มขึ้น

4.2.2 สัมประสิทธิ์แรงต้าน ที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบแยกชิ้นและแบบรวม ทั้ง 5 กรณี

จากภาพที่ 4-12 ได้แสดงสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมของรถบรรทุก ของแต่ละกรณี ซึ่งเป็นการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแต่ละอุปกรณ์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (เส้นสีแดง) ดังนั้นภาพที่ 4-14 จึงเป็นการเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบแยกชิ้น (เส้นสีดำ) เพื่อตรวจสอบข้อแตกต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านของการติดตั้งแต่ละอุปกรณ์อย่างชัดเจน โดยจากภาพได้แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ลดลง เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม ซึ่งทุกอุปกรณ์เสริมจะมีค่าที่ลดลงจากกรณีที่ 1 (กรณีรถตัวเปล่า) ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มอุปกรณ์เสริมกับตัวรถมากขึ้น จึงทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงตามลำดับด้วยเช่นกัน

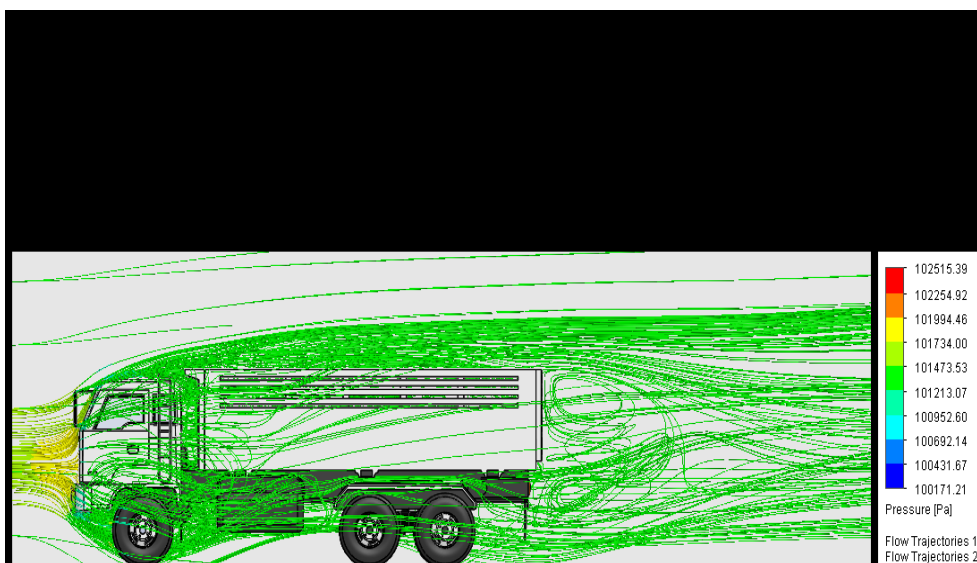


ภาพที่ 4-14 กราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของอุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งกับรถบรรทุกในกรณีที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบแยกชิ้นกับการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบรวมทั้ง 5 กรณี

ผลการเปรียบเทียบจากกราฟทำให้สรุปผลได้ว่าการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบรวมทั้ง 5 กรณี ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงมากกว่าการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบแยกชิ้น จึงน่าเชื่อถือที่ได้ไปใช้ในการ สร้าง ติดตั้ง และทดสอบกับรถบรรทุกจริงต่อไป

4.3 อิทธิพลของความดันที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้าน

สัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงและเพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของความดันของอากาศบริเวณรอบ ๆ ตัวรถ โดยปัจจัยหลักของการออกแบบเพื่อลดความดันในด้านหน้าหรือเพิ่มความดันในด้านหลังของรถบรรทุก จะช่วยให้แรงต้านของรถบรรทุกลดลง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากเส้นระดับแถบสีของความดัน ดังนี้



ภาพที่ 4-15 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 1



ภาพที่4-16 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 2



ภาพที่ 4-17 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 3



ภาพที่ 4.18 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 4



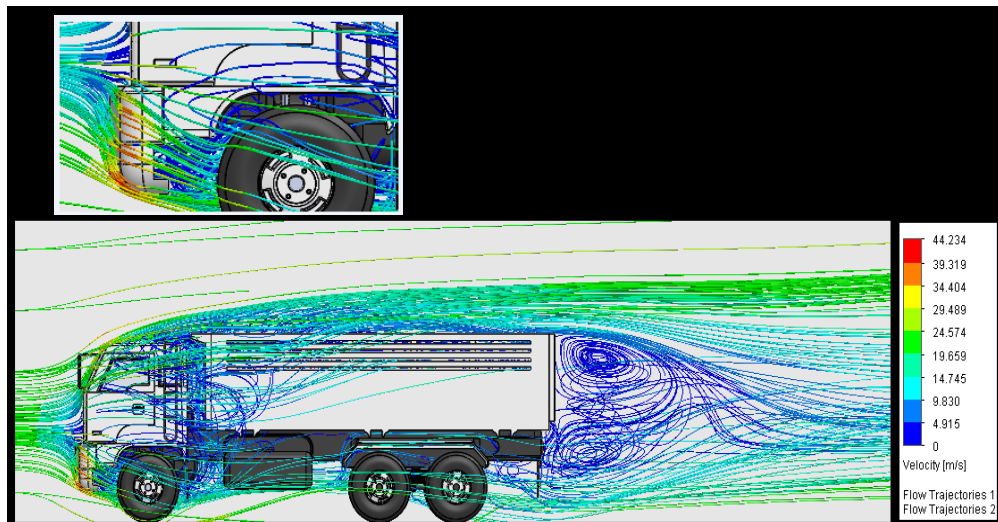
ภาพที่ 4-19 เส้นระดับแถบสีความดันสถิต (Pascal) กรณีที่ 5

4.4 อิทธิพลของความเร็วที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงต้าน

ความแปรปรวนของอากาศบริเวณรอบ ๆ ตัวรถบรรทุกนั้นก็จะมีผลทำให้เกิดสัมประสิทธิ์แรงต้านขึ้นได้ และเมื่อสมดุลการไหลของอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง ความแปรปรวนของอากาศบริเวณปิดกระบัง บรรทุกและบริเวณท้ายรถมีค่าสูง ก็จะทำให้เกิดแรงดูดบริเวณดังกล่าวขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก เส้นระดับแถบสีของความเร็วดังนี้



ภาพที่ 4-20 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 1



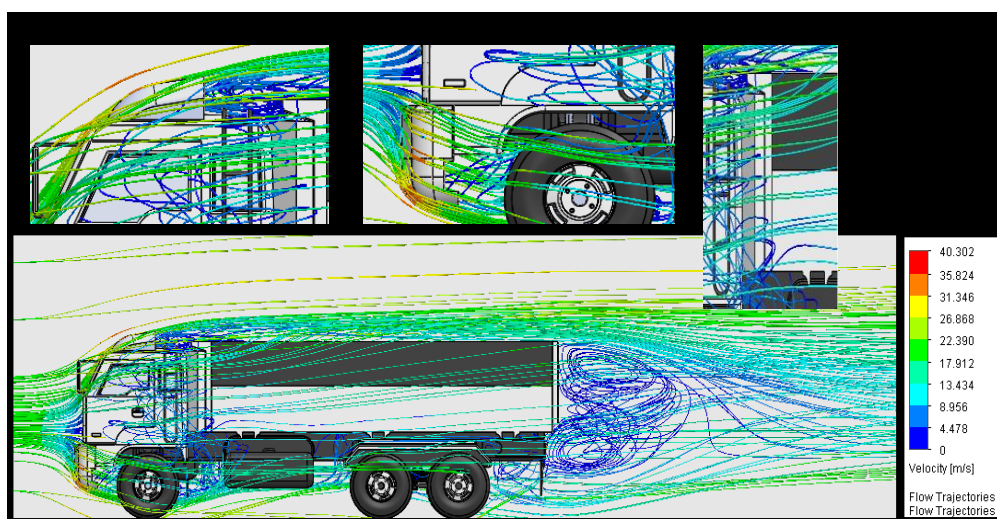
ภาพที่ 4-21 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 2



ภาพที่ 4-22 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 3



ภาพที่ 4-23 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 4



ภาพที่ 4-24 เส้นระดับแถบสีความเร็ว (m/s) กรณีที่ 5

จากผลในเชิงกราฟฟิก การกระจายตัวของความดัน และความเร็ว ที่เกิดขึ้นกับการไหลผ่านรถบรรทุก ในการติดตั้งอุปกรณ์เสริมของกรณีต่างๆข้างต้นนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์สาเหตุของการลดลง ของสัมประสิทธิ์แรงต้านแยกแต่ละอุปกรณ์เสริมว่า ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านได้อย่างไร ซึ่งโดยภาพรวมแล้ว จากผลการทดสอบนั้นสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงหรือเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของความดันและความแปรปรวนของอากาศรอบบริเวณของรถบรรทุก โดยปัจจัยหลักของการออกแบบคือเพื่อลดความแปรปรวนของอากาศและเพิ่มความดันแตกต่างกันทั่วทั้งท้ายของรถให้มีความใกล้เคียงกับความดันส่วนหน้าเพื่อลดความแตกต่างของความดันลงโดยสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (4-1)

$$F_D = \int_{\text{front}} p \cos \theta dA - \int_{\text{back}} p \cos \theta dA \quad (4-1)$$

1) อุปกรณ์ที่ 1 รถบรรทุกตัวเปล่า (โดยไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)

จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านผลการวิเคราะห์รถบรรทุกตัวเปล่า (โดยไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม) จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านเท่ากับ 1.02871 ซึ่งเป็นค่าที่นำไปเปรียบเทียบกับเพื่อหาผลต่างกับกรณีอื่น และสามารถวิเคราะห์อากาศทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับรถบรรทุก ตามภาพที่ 4-15 และ 4-20 จากภาพนั้น ขนาดของแรงต้านจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก คือ ผลต่างของการกระจายตัวของความดันรอบๆบริเวณตัวรถ และความแปรปรวนของอากาศที่ผ่านตัวรถ สามารถแบ่งความแตกต่างของความดันออกเป็น 3 บริเวณความดันคือ บริเวณห้องโดยสาร บริเวณกระบะบรรทุก และบริเวณท้ายรถ ซึ่งทั้ง 3 บริเวณมีแตกต่างของความดันอย่างชัดเจน โดยที่บริเวณห้องโดยสารจะมีความดันสูงกว่าบริเวณอื่น อันเนื่องมาจากด้านหน้าของรถหรือห้องผู้โดยสารนั้น เกิดการปะทะโดยตรงกับการไหลของอากาศ ผ่นวกกับรูปทรงด้านหน้าของรถบรรทุกมีทิศทางตั้งฉาก และมีสัมประสิทธิ์แรงต้านสูงอยู่แล้ว จึงทำให้แรงต้านที่เกิดจากแรงดันอากาศมีค่าสูงมาก ส่วนบริเวณกระบะบรรทุกและบริเวณท้ายรถจะมีความดันลดลง ผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการไหลย้อนกลับเรียกว่าการแยกตัว จากภาพที่บริเวณกระบะบรรทุกและบริเวณท้ายรถมีความแปรปรวนของอากาศสูงจึงเกิดการไหลแบบปั่นป่วนที่เรียกว่าอากาศหมุนวน อากาศที่หมุนวนมีผลทำให้เกิดแรงต้านที่บริเวณท้ายรถเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเส้นระดับแถบสีความดันและความเร็วแล้ว หากต้องการลดค่าของสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุก จะต้องลดค่าผลต่างของความดันบริเวณรอบๆตัวรถลงหรือลดความแปรปรวนของอากาศผ่านตัวรถ ดังนั้นจึงได้มีการปรับแต่งและติดตั้งอุปกรณ์เสริมขึ้นเพื่อต้องการลดสัมประสิทธิ์หรือแรงต้านของรถบรรทุก

2) อุปกรณ์ที่ 2 อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ

การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เสริมนี้ เป็นผลพวงมาจากกรณีที่ 1 คือแนวคิดในการออกแบบเกี่ยวกับแรงต้านที่เกิดขึ้นกับของภาคตัดขวางของรถ (Frontal Area) ซึ่งจะมีอิทธิพลมากที่สุดกับสัมประสิทธิ์แรงต้าน หรือแรงต้านที่เกิดขึ้นกับตัวรถ ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้น อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนช่วยลดแรงดันอากาศด้านหน้า เนื่องจากอากาศที่ปะทะด้านหน้านั้นมีค่าที่สูงมาก ส่วนโค้งด้านล่างนี้ จะทำให้อากาศที่เข้าปะทะเกิดการลู่เข้าสู่ด้านล่างของตัวรถ และทำให้พื้นที่ของการไหลของอากาศใต้ท้องรถลดลง ทำให้ความเร็วสูงขึ้น (เหมือนกับการไหลของของไหลในท่อที่มีขนาดเล็ก) อากาศที่ไหลผ่านนี้จะมีส่วนช่วยให้แรงดันด้านท้ายสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียแรงดันที่เกิดจากการปะทะด้านหน้าลดลง แปลงเป็นเฮดของความเร็ว ทำให้เกิดความสมดุลของอากาศระหว่างด้านหน้าและด้านท้ายมากขึ้น (สังเกตจากอากาศที่หมุนวนมีขนาดเล็กลง ภาพที่ 4-16 และ ภาพที่ 4-21) ทำให้แรงต้าน และสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงจากกรณีที่ 1

3) อุปกรณ์ที่ 3 อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังการรถ

แนวคิดการออกแบบอุปกรณ์เสริมนี้ เนื่องจากมาจากกรณีที่ 1 บริเวณส่วนห้องผู้โดยสารด้านบน เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดการแยกตัวของอากาศอย่างฉับพลัน ทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ และความต่างของแรงดันที่สูง เนื่องจากบริเวณหัวรถด้านบนมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านโดยรวมจึงมีค่าสูง ดังนั้น รูปทรงลักษณะหยดน้ำแบ่งครึ่ง (Streamline Half-Body at a Ground Plane) จะสามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ ซึ่งรูปทรงนี้หากมีลักษณะที่เรียวยาวที่เหมาะสม ก็จะสามารถช่วยลดอากาศที่หมุนวนได้ แต่อย่างไรก็ตาม แรงดูดของบริเวณผิวสัมผัสรูปทรงของหยดน้ำที่ยาวเกินไป ก็จะทำให้มีผลกับความหนืดของอากาศเกิดแรงต้านจากแรงเสียดทานของอากาศ (Friction Force) หรือความยาวที่สั้นเกินไปจะมีอากาศหมุนวนบริเวณส่วนท้ายมาก ก็เกิดแรงต้านเหนี่ยวนำเช่นเดียวกัน (Induction Force) ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับพื้นที่ของบริเวณรถ ซึ่งเป็นรูปทรงที่ดีที่สุด พิจารณาจาก ภาพที่ 4-17 และ 4-22 ลักษณะการไหลสมดุลกันมากขึ้น ความดันแตกต่างส่วนท้ายของรถให้มีความใกล้เคียงกับความดันส่วนหน้ามากที่สุดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหลังการรถมีความเร็วสูงกว่าส่วนล่างของรถลักษณะการไหลแยกตัวของอากาศบริเวณส่วนต่างๆ ตั้งแต่บริเวณห้องโดยสาร บริเวณปิดกระบะบรรทุก และบริเวณท้ายรถน้อยลง มีความสมดุลของการไหลมากขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านกรณีนี้ต่ำลงอีก

4) กรณีที่ 4 อุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะบรรทุก

จากกรณีที่ 1 แรงต้านอีกอย่างหนึ่งที่สังเกตเห็นคือ แรงต้านอากาศที่เกิดจากการไหลเข้าภายในรถยนต์ (Internal flow loss) เป็นแรงต้านที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างระหว่างห้องผู้โดยสาร

กับส่วนกระเบบรทุก แรงต้านประเทหน้จะมีค่าน้อยกว่าแรงต้านที่เกิดขึ้นปัจจัยอื่น แต่ก็มีผลในเชิงทฤษฎีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเป็นการริเริ่มแนวคิดในการสร้างอุปกรณ์เสริมนี้ ซึ่งจากภาพที่ 4-18 และ ภาพที่ 4-23 จะสังเกตเห็นการลดลงของแรงดัน และความเร็วของอากาศ ตรงบริเวณดังกล่าวเนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านตัว โดยเฉพาะด้านข้างรถนั้น อากาศไม่สามารถที่จะไหลเข้าสู่ช่องว่างบริเวณส่วนหัว กับส่วนกระเบบรทุกได้ จึงมีส่วนช่วยให้อากาศที่หมุนวนโดยรวมมีค่าต่ำลงอีก

5) อุปกรณ์ที่ 5 อุปกรณ์ปิดกระเบบรทุก

จากกรณีที่ 1 ส่วนบริเวณห้องผู้โดยสาร และบริเวณกระเบบรทุก จะมีผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นสูง ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับเรียกว่าการแยกตัว (Separation) สูงมาก และผลต่างของความดันทั้งสองบริเวณนี้ จะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศบริเวณห้องกระเบบ และเกิดการปะทะกันระหว่างอากาศกับฝาท้ายกระเบบรทุกจึงเพิ่มแรงต้านอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นการปิดกระเบบรทุกจึงจะสามารถลดแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะรถบรรทุกที่บรรทุกสินค้าหรือบรรทุกของที่มีน้ำหนักเบา จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีอุปกรณ์นี้ เพื่อเป็นตัวช่วยในการปกปิดสินค้าที่มีผลกับสภาพบรรยากาศ และให้ถูกต้องตามกฎหมายกับการล่งหล่นของสินค้า ซึ่งจากภาพที่ 4-19 และ ภาพที่ 4-24 เมื่อนำอุปกรณ์ปิดกระเบบรทุกรวมกับอุปกรณ์เสริมอย่างอื่นแล้ว ทำให้สภาพอากาศที่ไหลผ่านตัวรถ มีความสมดุลมากขึ้น และผลในเชิงตัวเลข จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ต่ำที่สุดหากติดอุปกรณ์เสริมรวมกันทุกตัว

4.5 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับรถบรรทุกจริง

เพื่อยืนยันความถูกต้อง และตรวจสอบความสอดคล้องกับการจำลอง CFD โครงการวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบจริง ของอุปกรณ์เสริมที่ออกแบบ และสร้างขึ้น โดยการนำไปติดตั้งกับรถบรรทุกดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 แล้วทดสอบเพื่อหาความเปลี่ยนแปลงของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เพื่อตรวจสอบว่ามีความสอดคล้องกันกับการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านหรือไม่ เนื่องจากสัมประสิทธิ์แรงต้าน หรือแรงต้านนั้น จะแปรผันตามกันกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

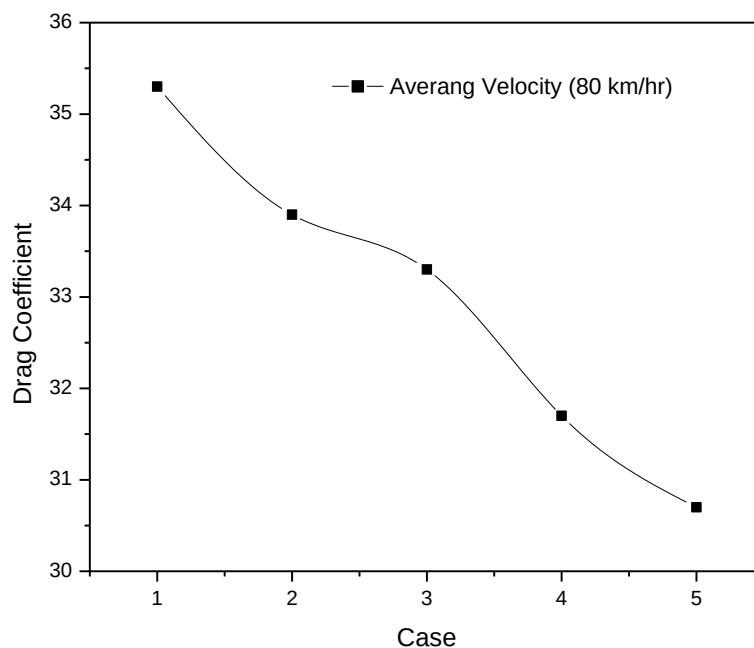
4.5.1 ผลการทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การทดสอบนั้นจะทดสอบเหมือนกันกับการจำลอง CFD โดยใช้กรณีที่ 1 กรณีรถบรรทุกตัวเปล่า ใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบเพื่อหาผลต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง การทดสอบนั้นใช้ระยะทางแต่ละรอบการเดินทางคือ 51 กิโลเมตร วันละ 8 รอบการเดินทาง ใช้เวลา 1 เดือนเพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกรณี ได้ผลเฉลี่ยของแต่ละกรณีตามตารางที่ 4-7 ดังนี้

ตารางที่ 4-7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการทดสอบจริง

กรณี	เงื่อนไข	ระยะทางที่ใช้ทดสอบ (km)	ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ (นาที)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/51km)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/100km)
1	รถบรรทุกตัวเปล่า	51	56	18	35.3
2	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ	51	56	17.3	33.9
3	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ	51	56	17	33.3
4	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ	51	56	16.2	31.7
5	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ + อุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก	52	56	16	30.7

จากตารางที่ 4-7 ผลที่เก็บได้จากการวิ่งทดสอบในกรณีติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่างๆ และนำผลที่เก็บได้มาเปรียบเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในแต่ละกรณี สามารถแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4-25 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับกรณีทดสอบจริง

4.5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์แรงต้าน

ผลที่ได้จากการทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงต้านของกรณีต่างๆที่กล่าวมาสามารถนำมาหาค่าการสิ้นเปลืองน้ำมัน(Fuel consumption) จากทฤษฎีของ ลูสเซนโดยนำกรณีที1 รถบรรทุกตัวเปล่า (ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)นำมาเป็นกรณีเปรียบเทียบหาค่าการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านได้จาก

$$\Delta \overline{C_D} = \overline{C_{D \text{ baseline}}} - \overline{C_{D \text{ modifile}}} \quad (4-2)$$

$\Delta \overline{C_D}$ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน

$\overline{C_{D \text{ baseline}}}$ คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกตัวเปล่า (ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)

$\overline{C_{D \text{ modifile}}}$ คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านของกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรง หรือตำแหน่งใน

การวิ่งทดสอบ

ตารางที่ 4-8 ผลการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์แรงต้านกรณีติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่างๆ

กรณี	เงื่อนไข	สัมประสิทธิ์แรงต้านที่เปลี่ยนแปลงจากกรณี รถบรรทุก(ตัวเปล่า($\Delta \overline{C_D}$))
1	รถบรรทุกตัวเปล่า	-
2	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ	-0.035779
3	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิว โค้งบริเวณหลังคารถ	-0.079175
4	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิว โค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณ รอยต่อกระบะ	-0.114928
5	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิว โค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณ รอยต่อกระบะ + อุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก	-0.141210

จากตารางที่ 4-8 ผลการเปลี่ยนแปลงของ สัมประสิทธิ์แรงต้านกรณีติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบ
ต่างๆที่เปรียบเทียบกับกรณีที่1สัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกตัวเปล่า (ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม)จะ
ทราบว่าสัมประสิทธิ์แรงต้านในกรณีที่5 รถบรรทุก(ตัวเปล่า) กับ เสริมด้านล่างหน้ารถบรรทุก กับ เสริมผิวโค้ง
บริเวณหลังคารถบรรทุก กับ ปิดรอยต่อกระบะกับ ปิดกระบะบรรทุกลดลงมากที่สุดซึ่งทำให้เกิดประหยัด
น้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นอีกด้วย

4.5.3 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเทียบกับระยะทางที่ใช้ใน

การทดสอบ

$$\text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง} = \frac{km}{L}$$

Km = ระยะทางที่ใช้ทดสอบ

L = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

ตารางที่ 4-9 ผลการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (km/liters)

กรณี	เงื่อนไข	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ลดลง (km/liters)
1	รถบรรทุกตัวเปล่า	2.83
2	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ	2.94
3	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิว โค้งบริเวณหลังคารถ	3.00
4	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิว โค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณ รอยต่อกระบะ	3.14
5	ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ + อุปกรณ์เสริมผิว โค้งบริเวณหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณ รอยต่อกระบะ + อุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก	3.18

จากตารางที่ 4-9 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกรณีที่ 5 ระยะทางที่รถวิ่งจะมีค่ามากกว่า กรณีที่ 1 ต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตร

4.5.4 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเทียบกับระยะเวลาที่ใช้ใน

การทดสอบ

$$\text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง} = \frac{L}{hr}$$

L = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

hr = เวลาที่รถบรรทุกวิ่ง

ตารางที่ 4-10 ผลการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน(liters/hr)

กรณี	เงื่อนไข	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน(liters /hr)
1	ทดสอบวิ่งรถบรรทุก(ตัวเปล่า)	19.2
2	ทดสอบวิ่งรถบรรทุก(ตัวเปล่า) + เสริมด้านหน้ารถบรรทุก	18.5
3	ทดสอบวิ่งรถบรรทุก(ตัวเปล่า) + เสริมด้านหน้ารถบรรทุก + เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก	18.2
4	ทดสอบวิ่งรถบรรทุก(ตัวเปล่า) + เสริมด้านหน้ารถบรรทุก + เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก + ปิดรอยต่อกระบะ	17.4
5	ทดสอบวิ่งรถบรรทุก(ตัวเปล่า) + เสริมด้านหน้ารถบรรทุก + เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถบรรทุก + ปิดรอยต่อกระบะ + ปิดกระบะบรรทุก	17.1

จากตารางที่ 4.9 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกรณีที่5ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป จะมีค่าน้อยกว่า กรณีที่1 ต่อ เวลาที่รถบรรทุกวิ่ง 1 ชั่วโมง

4.5.5 ผลการคำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC)

$$SFC = \frac{\rho \times \text{Flowlate}}{\text{Horespower}} \quad (4-3)$$

SFC	คืออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ (liters/kW-hr)
ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 0.84 kg/liters
Flow late	คือ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน(liters/hr)จากตารางที่ 4-9
Horsepower	คือ กำลังม้ารถบรรทุก 238.72 kW

ตารางที่ 4-11 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ(SFC)

กรณีที่	Speeds km/hr	Flow late (liters /hr)	SFC (liters/kW-hr)
1	80	18.04	0.094
2	80	18.04	0.094
3	80	18.04	0.094
4	80	18.04	0.094
5	80	18.04	0.094

4.5.6 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

จากค่าที่ได้จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์แรงต้านและการทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะนั้น ต้องนำมาแทนค่าในสมการที่ 4.4 เพื่อที่จะหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (liters/100 km)

$$\text{จากสมการ } \Delta\mu(V_t) = \frac{\rho \times UCF \times SFC \times V_t^2 \overline{\Delta C_D} A}{0.85} \quad (4-4)$$

จาก

$\Delta\mu(V_t)$ คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m^3

UCF คือค่าแฟคเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงหน่วย เท่ากับ 1.072

(SFC) คือค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะ $0.094 \text{ liters/kW-hr}$

V_t คือค่าความเร็วที่ใช้ทดสอบ 80 km/hr

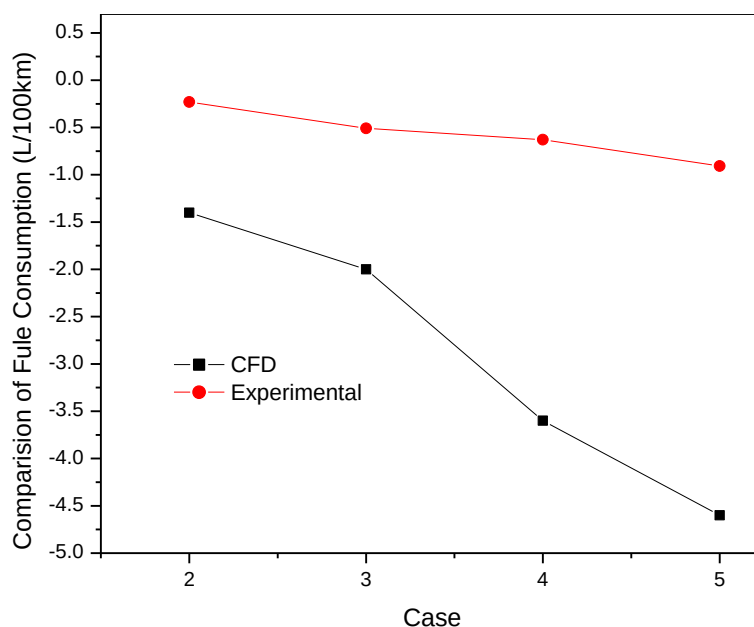
$\overline{\Delta C_D}$ คือผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงต้านของแต่ละกรณีเทียบกับกรณีที่ 1

A คือพื้นที่หน้าตัดของรถ (m^2)

0.85 คือค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของรถคิดที่ความเร็วเฉลี่ย 22.22 m/s

ตารางที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน ($\Delta\mu$, liters/100 km) แต่ละกรณีทั้ง 5 กรณี

กรณี	พื้นที่ (m ²)	การจำลอง CFD Liters/100 km	การทดสอบจริง Liters/100 km
1	6.75	-	-
2	6.76	- 0.2301	-1.4
3	7.04	- 0.5092	-2
4	7.04	- 0.6283	-3.6
5	7.04	- 0.9082	-4.6



ภาพที่ 4-26 กราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกแต่ละกรณีทั้ง 5 กรณี

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกในกรณีที่ 1 รถบรรทุกตัวเปล่า (ไม่ติดตั้งอุปกรณ์เสริม) จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ในแต่ละกรณีจึงมีผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงตาม ได้อย่างชัดเจนจึงเป็นข้อสรุปได้ว่าผลการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการจำลองอุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งกับรถบรรทุกในแต่ละกรณีมีความสัมพันธ์และแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุกจริงซึ่งแนวความคิดในงานวิจัยดังกล่าวนี้เป็นจริงไปตามที่คิดไว้

4.6 ผลศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้อุปกรณ์เสริม

การเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน สามารถทราบถึงอัตราการเพิ่มหรือลดเงินทุนที่จะต้องจ่ายกับน้ำมันที่เราต้องใช้กับรถบรรทุกที่มากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับสถานะด้านการตลาดของซื้อขายน้ำมัน ซึ่งในปัจจุบันก็ทราบกันดีอยู่แล้วว่า เชื้อเพลิงที่ใช้กับรถบรรทุกที่เราใช้อยู่ เป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งกำลังจะหมดไป และยิ่งนับวันก็มีราคาที่สูงขึ้นหากกรณีที่ให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลดลงก็ย่อมเป็นผลดีต่อผู้ที่นำไปปฏิบัติ แต่ต้องคำนึงก่อนว่า ก่อนที่จะมีการปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์นั้นจำเป็นต้องมีการเสียเงินทุนกับการซื้ออุปกรณ์เพื่อมาปรับแต่งรูปทรงของรถบรรทุก ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชิ้น แต่ละยี่ห้อ ก็ย่อมมีราคาที่แตกต่างกัน แล้วแต่ละบุคคลที่จะนำมาใช้ โดยบางครั้งราคาที่เรซื้ออุปกรณ์เสริม หรือ อุปกรณ์แต่งรถบรรทุกนั้นมา ซึ่งเชื่อว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้จริง แต่ในบางครั้งอายุของรถก็อาจจะหมดก่อนเวลาที่จะคุ้มทุน ดังนั้นจากข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ทราบแล้วจากหัวข้อที่ผ่านมา จำเป็นต้องมาคำนวณหาราคาที่ต้องจ่ายกับค่าน้ำมัน ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการคำนวณราคาน้ำมันที่ลดหรือเพิ่มจากราคาเดิมที่ต้องจ่ายจากกรณีรถบรรทุกปกติ ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงด้านอากาศพลศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบกับราคาอุปกรณ์ที่นำมาปรับปรุงอากาศพลศาสตร์ มาคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุน โดยกำหนดที่ระยะเวลา 1 เดือน การใช้งานของรถบรรทุกขนาดใหญ่ในประเทศไทยโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 5,000 km และน้ำมันดีเซล ราคาเฉลี่ย 23.29 บาท (29 กรกฎาคม 2558) บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ราคาอุปกรณ์เสริมที่ต้องจ่ายคิดที่ราคาท้องตลาด และเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก ความเร็วของรถที่ใช้งานคิดที่ความเร็วเฉลี่ย 22.22 m/s มาใช้ในการคำนวณจากกรณีที่ 5 รถบรรทุกตัวเปล่า (โดยไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม) กับเสริมด้านหน้ารถ บรรทุกกับเสริมผิวโค้งบริเวณด้านหลังรถบรรทุกกับปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะกับปิดกระบะบรรทุกนั้นจะเห็นได้ว่าช่วยประหยัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้มากที่สุดโดยสามารถเปรียบเทียบราคาค้นทุนการผลิตอุปกรณ์เสริมรถบรรทุกในกรณีต่างๆและหาระยะเวลาคุ้มทุนได้ คือราคาค้นทุนในการผลิตอุปกรณ์เสริมรถบรรทุกในกรณีต่างๆ ตามตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ค่าใช้จ่ายในการสร้างของแต่ละอุปกรณ์เสริม

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	สร้างอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุก	3,000
2	สร้างอุปกรณ์เสริมหลังรถบรรทุก	3,000
3	สร้างอุปกรณ์เสริมด้านรอยต่อรถบรรทุก	3,000
4	สร้างอุปกรณ์เสริมปิดกระบะรถบรรทุก	8,000
หนึ่งหมื่นเจ็ดพันบาทถ้วน		17,000

จากการทดสอบการติดตั้งอุปกรณ์เสริมรถบรรทุกทั้ง 5 กรณีส่งผลให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุด ราคาต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์เสริมรถบรรทุกในกรณีต่างๆรวมทั้งหมด คือ 17,000 บาท ในระยะเวลา 1 เดือน สามารถหาระยะเวลาคู่มือได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่คำนวณได้} &= 4.6 \text{ ลิตร/100 กิโลเมตร} \\
 \text{ซึ่งจากข้อมูลการใช้รถของบริษัทที่ทำการทดสอบ} &= 5,000 \text{ กิโลเมตร/เดือน} \\
 \text{ดังนั้นในเวลา 1 เดือนจะต้องใช้น้ำมัน} &= \frac{4.6 \times 5,000}{100} \\
 &= 230 \text{ ลิตร/เดือน} \\
 \text{ราคาน้ำมันดีเซลปัจจุบันอยู่ที่ 23.29 บาท/ลิตร} \times 230 \text{ ลิตร/เดือน} &= 5,356.70 \text{ บาท/เดือน} \\
 \text{ดังนั้น ระยะเวลาคู่มือ คือ} &= \frac{17,000}{5,356.70} = 3.17 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการลู่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้คือ เพื่อออกแบบสร้างและติดตั้งอุปกรณ์เสริมรถบรรทุกและทดสอบจริง เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับผลของ CFD (Validation) และเพื่อหาความสัมพันธ์ด้านเศรษฐศาสตร์ และระยะเวลาคู่มือของกรณีอุปกรณ์เสริมที่ประหยัดเชื้อเพลิง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน ด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข CFD ด้วยเงื่อนไขคือ การติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุก 4 อุปกรณ์ ซึ่งให้ผลออกมาคือทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง เป็นผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงเช่นเดียวกัน จึงต่อยอดเป็นโครงการวิจัยนี้ เพื่อออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และทดสอบจริง โดยการใช้โปรแกรม Solid Work เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง และการออกแบบ ด้วยการจำลองการไหลพลศาสตร์ของอากาศผ่านตัวรถและอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์ แต่ละอุปกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงมุม รัศมีโค้ง เพื่อหาค่าที่ให้มีสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมต่ำที่สุด ก่อนที่จะนำมาสร้างจริง ดังนั้น การทดสอบผลการจำลอง CFD นั้น ได้แบ่งการทดสอบทั้งหมด 5 กรณี โดยใช้กรณีที่ 1 (กรณีปกติ) เป็นกรณีเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างจากเดิม จากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุก ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านรวมลดลงจากเดิม และลดลงตามลำดับเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยกรณีที่ 2, 3, 4 และ 5 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (ΔC_D) คือ -0.03578, -0.07918, -0.11493 และ -0.1412 ตามลำดับ และนำมาคำนวณเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ลดลง คือ -0.2301, -0.5092, -0.6283 และ -0.9082 liters/100 km หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าทดสอบจริง ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงตามลำดับคือ -1.4, -2.0, -3.6 และ -4.6 liters/100 km ซึ่งโดยภาพรวมแนวโน้มค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจาก CFD และการทดสอบจริง มีแนวโน้มสอดคล้องกันที่ลดลงตามลำดับ จึงสามารถยืนยันผล และเงื่อนไข ผลจากการจำลอง CFD ที่สามารถนำมาทำนายผลของสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์เสริมได้

สำหรับระยะคู่มือในการสร้าง และติดตั้งนั้น ได้มีการประมาณค่าราคาจากระยะการใช้งาน และราคาน้ำมันปัจจุบัน โดยกำหนดที่ระยะเวลา 1 เดือน การใช้งานของรถบรรทุกขนาดใหญ่ในประเทศไทย โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 5,000 km และน้ำมันดีเซล ราคาเฉลี่ย 23.29 บาท (29 กรกฎาคม 2558) บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) นำมาคำนวณระยะคู่มือคือ 3.17 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นมาก หากเปรียบเทียบกับการลงทุน

จากข้อมูลของงานวิจัยนี้ มีความน่าเชื่อถือ สามารถยืนยันความถูกต้อง เนื่องจากมีข้อมูลทั้งการทดสอบจริง และผลจากการจำลอง CFD ซึ่งให้ผลทั้งในเชิงตัวเลข และผลเชิงกราฟฟิก ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการผลิตอุปกรณ์เสริมในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ด้านอากาศยานพลศาสตร์ที่ใช้ในปัจจุบัน ตลอดจนนำหลักการที่ได้ไปพัฒนาด้านอากาศยานพลศาสตร์ของยานพาหนะอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากปัญญานิพนธ์นี้ มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ผลการจำลอง CFD และการทดสอบจริงนั้น มีผลเชิงตัวเลขที่แตกต่างกัน เนื่องจากสภาวะในการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกนั้นไม่สามารถกำหนดให้เหมือนสภาวะจริงได้ทุกเงื่อนไข ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ จึงสามารถนำข้อมูลมาทำนายผลของสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ในระดับหนึ่งกับการพัฒนาและประยุกต์ใช้อุปกรณ์เสริม เพื่อนำไปสู่เชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต และนำปัญหาไปปรับปรุง ใช้กับโครงการวิจัยใหม่ที่ต่อยอดงานโครงการนี้ต่อไป ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับปัญญานิพนธ์มีดังนี้

ความละเอียดของรูปร่างแบบจำลอง เป็นสิ่งที่ต้องคำนึง เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองนั้น รูปร่างย่อมไม่มีความเหมือนจริงได้ 100% ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้ มีความคลาดเคลื่อนน้อย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสม ความละเอียดของแบบจำลองที่ถูกต้องให้ได้มากที่สุด

ปัญหาของคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณของโปรแกรม Solid Work เนื่องจากการจำลองของโปรแกรมนี้นี้ ต้องการความละเอียดสูงในการประมวลผลและหน่วยความจำขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้เกิดปัญหาในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการจำลองค่อนข้างสูง อาจจะทำให้คอมพิวเตอร์เกิดการ Error ดังนั้นในการแก้ปัญหาคควรใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำที่สูง ระบบปฏิบัติการที่ล้ำสมัย ซึ่งสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ได้

รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โครงการวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ไม่ต้องการความละเอียดสูง เพราะมีขนาดแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ ไม่สนใจในเรื่องของการส่งถ่ายความร้อน และการอัดตัวได้ของอากาศ ดังนั้นกระบวนการและขั้นตอนในการจำลองนั้น ยังไม่ได้มีการยืนยันหาความเหมาะสมระหว่าง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และลักษณะ จำนวนของกริด ซึ่งอาจส่งผลของความแตกต่างของค่าการทดสอบของ CFD และการทดสอบจริง

รูปทรงของรถบรรทุก รถบรรทุกแต่ละยี่ห้อจะมีรูปทรงขนาดที่แตกต่างกัน ปัจจัยหลักในการออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับรถบรรทุกจะต้องวัดขนาดรถบรรทุกจริงแต่ละยี่ห้อเพราะถ้าวัดขนาดรถบรรทุกผิดพลาดจะส่งผลให้การออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับรถบรรทุกผิดพลาดเช่นกัน ดังนั้นในการแก้ปัญหาคควรที่จะวัดขนาดรถบรรทุกให้ละเอียดและแม่นยำที่สุด

ปัญหาสภาพแวดล้อมขณะทำทดสอบ เนื่องจากการทดสอบเป็นการทดสอบที่สภาพแวดล้อมจริง และทดสอบเก็บผล บนท้องถนนจริงเพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด แต่เนื่องจาก ตัวแปรทางสภาพแวดล้อมในการทดสอบไม่คงที่เช่น สภาพบรรยากาศเปลี่ยนแปลง อัตราเร่งที่ไม่คงที่ และ สภาพพื้นผิวถนนที่ขรุขระ ดังนั้นในการแก้ปัญหาควรที่จะทำการทดสอบเก็บผลให้ได้มากที่สุด เพื่อหา ค่าเฉลี่ยในการคำนวณที่ทำให้ค่าทดสอบมีแม่นยำที่สุด

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมธุรกิจพลังงาน การนำเข้าน้ำมันดิบ (2014), <http://www.doeb.go.th/information>, 21 กรกฎาคม 2557.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2014), สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2009 กระทรวงพลังงานประเทศไทย จาก : <http://www.dede.go.th/dede/>, 10/03/2014
- [3] ปรัชญา มุขตา “อิทธิพลของอุปกรณ์ด้านอากาศพลศาสตร์กับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน 2558
- [4] ก้อง อุทัยภาส และวรารัตน์ จันทสาโร. “การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง,” วิศวกรรมสาร มก. 10(4) : 23-30 ; เมษายน-มิถุนายน, 2546.
- [5] Alexander, D. “Reducing drag in future vehicles,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 88: 120-144, 2000.
- [6] Hucho, W.H. “Aerodynamics of road vehicles,” Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 94: 334-361, 2006.
- [7] Ahmed, S.R. and Baumert, W. “The structure of wake flow behind road vehicles,” ASME Journal of Fluids Engineering. 101: 201-220, 1979.
- [8] Scibor, A.J. “Road vehicle aerodynamics,” Edition Pentech Press Limited. 12-34, 1984.
- [9] Hucho, W.H. “Aerodynamics of road vehicles state of the art and tasks for the future,” Automotive Dynamics Stability and Controls. 56: 256-278, 2006.
- [10] Grosche, F.R. and Meier, G.E.A. “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, 2001.
- [11] Prasad, A. and Williamson, C.H.K. “A method for the reduction of bluff body drag,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 69: 155-167, 1997.

- [12] Van Dam, C. P. “Recent experience with different methods of drag prediction,” Progress in Aerospace Sciences. 35: 751-798, 1999.
- [13] Storms, B.L. “A study of Reynolds number effects and drag reduction concepts on a generic tractor trailer,” JSAE Review. 25: 88-101, 2004.
- [14] Leuschen, J. and Cooper, K.R. “Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype, Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers,” ASME Journal of Fluids Engineering. 128: 1202-1244, 2006.
- [15] Kieffer, W. Moujaes, S. and Armbya, N. “CFD study of section characteristics of formula mazda race car wings,” Mathematical and Computer Modelling. 43: 1275-1287, 2006.
- [16] Tomiyama, M. Maeda, K. and Nakamura, F. “The development of a method to obtain the optimum lift coefficient using the vehicle dynamic analysis,” JSAE Review. 23: 69-74, 2002.
- [17] Ozawa, H. Nishikawa, S. and Higashida, D. “Development of aerodynamics for a solar race car,” JSAE Review. 19: 343-349, 1998.
- [18] อาทิตย์ ฤทธิ์เลื่อน และอุดมเกียรติ นนท์แก้ว. “การวิเคราะห์การไหลของอากาศรอบรถยนต์นั่ง,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 13(2) : 34-40 ; เมษายน-มิถุนายน, 2546.
- [19] Fukuda, H. and Nakagawa, K. “Improvement of vehicle aerodynamics by wake control,” JSAE Review. 16: 151-155, 1995.
- [20] ปรัชญา มุขดา, พิเชฐ นิลดวงดี, ชวงชัย ชูปวา, อุทัย ผ่องรัศมี, วิระพันธ์ สีหนาม และกุลเชษฐ์ เพียรทอง. “อุปกรณ์เสริมท้ายรถบรรทุกเพื่อประหยัดเชื้อเพลิง,” ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. มหาวิทยาลัยขอนแก่น 15-17 ตุลาคม 2557.
- [21] Spalart, P.R. “Strategies for turbulence modeling and simulation,” International Journal of Heat and Fluid Flow. 21: 252-263, 2000.
- [22] Wang, M. catalano, P and Laccarino, G. “Prediction of high Reynolds number flow over a circular cylinder using LES with wall modeling,” Center for Turbulence Research Annual Research Briefs. 34: 112-127, 2001.
- [23] Perzo, S. and Davidson, L. “On CFD and transient flow in vehicle aerodynamic,” Mathematical and Computer Modeling. 37: 230-255, 2000.

- [24] Horinouchi, N. “Numerical Investigation of Vehicle Aerodynamics with Overlaid Grid System,” Mathematical and Computer Modeling. 22: 453-477, 1995.
- [25] Muyl, F. Dumsa, L. and Herbert, V. “Hybrid method for aerodynamic shape optimization in automotive industry,” Computers & Fluids. 33: 849-858, 2004.
- [26] Singh, S. N. Rai, L. and Bhatnagar, A. “Effect of moving surface on the aerodynamic drag of road vehicles,” JSAE Review. 23: 89-113, 2002.
- [27] Simon, W. and Gioacchino, V. “The effect of vehicle spacing on the aerodynamics of a representative car shape,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 90: 89 -99, 1999.
- [28] Cooper, K.R. “Pickup truck aerodynamics,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 92: 342-356, 2004
- [29] Browond, F. “Reducing aerodynamics drag and fuel consumption,” JSAE Review. 26: 89-104, 2005.
- [30] Yamamoto, S. Yanagimoto, K. and Nakagawa, K. “Aerodynamic influence of a passing vehicle on the stability of the other vehicles,” JSAE Review. 18: 39-44, 1997.
- [31] จินดา เจริญพรพาณิชย์ และพงษ์ศักดิ์ คำมูล. “อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์ขนาดต่าง ๆ ที่วิ่งด้วยความเร็วคงที่,” ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. น.108-124. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548.
- [32] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [33] วินัย ศรีอำพร. กลศาสตร์ของไหล : คณิตศาสตร์ของไหล : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2541.
- [34] Ahmed, S.R. “Influence of base slant on wake structure and drag of road vehicles,” ASME Journal of Fluids Engineering. 105: 429-434, 1983.
- [35] Bettel, J. Holloway, A.G.L. and Venart, J.E.S. “A computational study of the aerodynamic forces acting on a tractor-trailer vehicle on a bridge in cross-wind,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 91: 573-592, 2003.

- [36] Kim, M.S. and Geropp, D. "Experimental investigation of the ground effect on the flow around some tow-dimensional bluff bodies with moving-belt technique," Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 74: 511-519, 1998.
- [37]Kwon, H. Park, Y. Lee, D. and Kim, M. "Wind tunnel experiments on Korean high-speed trains using various ground simulation techniques," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 89: 1179-1195, 2001.
- [38] Pinelli, J.P. Subramanian, C. and Plamondon, M. "Wind effects on emergency vehicles," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 92: 663-685, 2004.
- [39] Robert, J. "Development of pneumatic aerodynamic devices to improve the performance economic and safety of heavy vehicles," SAE Technical paper series. 90: 120-139, 2001.
- [40] Takahide, N. "Unsteady-wake analysis of the aerodynamic drag of a notchback model with critical afterbody geometry," Progress in Aerospace Sciences. 28: 453-466, 1992.