

## 사이드스커트와 보트테일을 이용한 대형화물차량의 연비개선 효과 및 온실가스 감축량 추정

허철행<sup>\*†</sup> · 윤병규<sup>\*\*</sup> · 김대욱<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> ㈜ 허즈앤티, <sup>\*\*</sup> 전북자동차기술원

### Estimation of GHG Emissions Reduction and Fuel Economy Improvement of Heavy-Duty Trucks by Using Side Skirt and Boat Tail

Her, Chul haeng<sup>\*†</sup>, Yun, Byoeng gyu<sup>\*\*</sup> and Kim, Dae wook<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Hawesnt Co. Ltd.

<sup>\*\*</sup>Jeonbuk Institute of Automotive Technology

#### ABSTRACT

Recently, the need for technology development of commercial vehicle fuel consumption has emerged. Fuel economy improvement of transport equipment and transportation efficiency, and increasing attention to the logistics cost reduction measures. Increasing attention to the logistics cost reduction measures by fuel economy improvement of transport equipment and transportation efficiency. In this study, we have installed aerodynamic reduction device (side skirt, boat tail) to 14.5 ton cargo trucks and 45 ft tractor-trailers. And the fuel consumption was compared installed before and after. Fuel economy assessment for the aerodynamic reduction value device was tested by modifying the SAE J1321 Joint TMC/SAE Fuel Consumption Test Procedure - Type II test in according domestic situation. Greenhouse gas reductions were calculated in accordance with the scenario, including fuel consumption test results. When the 14.5 ton cargo trucks has been equipped with side skirts and boat tail, it confirmed the improvement in fuel efficiency of 4.72%. One Heavy-duty truck's the annual greenhouse gas reductions value are 6.86 ton CO<sub>2</sub> eq. And if applying the technology to more than 50% of registered 15 ton trucks, greenhouse gas reductions are calculated as 686,826 ton CO<sub>2</sub> eq./yr.

**Key words :** Aerodynamic Resistance Reduction, Fuel Saving, GHG Emissions, Side Skirt, Boat Tail

## 1. 서 론

정부는 '신기후체제(POST-2020)'를 앞두고 우리나라의 2030년 온실가스 감축목표를 BAU(Business As Usual) 대비 37%로 결정하였으며(ME, 2015), 수송부문의 감축목표는 34.3%로 전체 배출원 중 가장 높게 설정되었다. 국내 온실가스 배출량을 부문별로 살펴보면 에너지산업공정부문이 600.3 백만 톤 CO<sub>2</sub>eq.로 전체 배출원 중 87.2%로 가장 높은 배출량을 보이며, 에너지산업공정부문 중 에너지산업부문이 44.6%, 제조업 및 건설업부문이 30.0%, 수송부문이 14.4%로 전체 배출원 중 3번째로 높은 배출량을 갖는다(Greenhouse Gas Inventory

& Research Center of Korea, 2014). 수송부문에서 국내 화물 수송 분담률 추이를 보면 2014년 기준 도로수송 비중이 90.7% (MOLIT, 2014)로 가장 높다. 이러한 수송부문의 온실가스 감축을 위해서는 운송 차량의 연비 개선 및 운송 효율화 등을 통한 물류비용 절감이 필요하다. 이에 따라 물류비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 차량의 유류비를 절감하고, 온실가스 저감을 위한 기술개발 및 보급을 적극 지원하는 것이 국제적 추세이다.

차량의 연료소비량을 절감하는 대표적인 기술로는 엔진 개선 기술, 공기저항 저감기술, 타이어구름 저항기술, 공회전 저감기술 등이 있다. 이러한 기술이 트렌드가 되는 이유는 대형 차량의 주행 시 연료 연소로 생성되는 에너지의 12.6~20.2%

<sup>†</sup> Corresponding author: [chher@hawesnt.com](mailto:chher@hawesnt.com)

Received April 29, 2016 / Revised May 13, 2016 / Accepted May 23, 2016

정도만 유효이용에너지로 사용되고, 나머지 손실되는 에너지의 비율은 엔진손실 60%, 공기저항 21%, 구름저항 13%, 동력전달을 포함한 기타 손실이 6%로 손실되는 에너지를 최소화하는 것이 중요하기 때문이다(U.S. DOE, 2007). 에너지 손실이 가장 큰 엔진분야에 대한 개선은 제작사 입장에서 개선되어야 하는 부분이지만, 본 연구에 적용한 공기저항 저감기술은 단기간에 현 운행 차량에 쉽게 적용이 가능하고, 개선효과가 높을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 차량의 투영면적이 넓을수록 공기저항이 높아지기 때문에 대상 차종선정은 14.5 ton 카고트럭과 45 ft 트랙터-트레일러 2개 차종을 선정하였으며, 공기저항 저감장치 2종(사이드스커트, 보트테일)을 장착하고, 장착 전·후의 연비개선효과를 Proving Ground 실차시험을 통해 확인하였다. 또한 연비시험 결과와 실제 시험차량의 주행환경을 반영한 가상시나리오를 기준으로 온실가스 감축량을 산정하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시험 목적 및 장치

#### 2.1.1 시험 목적

본 연구에서는 대형화물차량에 공기저항 저감장치를 장착하여 주행 중 발생하는 공기저항 및 와류를 저감시켜서 장착 전·후의 연료소비량을 측정하여 연비개선율을 확인하였으며,



(a) Before installation of cargo truck



(b) After installation of cargo truck



(c) Before installation of tractor-trailer



(d) After installation of tractor-trailer

Fig. 1. Prototype photos.

분석된 연비개선효과를 기준으로 기술도입 시 국내 온실가스 감축 잠재량을 추정하였다.

#### 2.1.2 시험 장치

정해진 시험방법에 따라 동일한 차종의 14.5 ton 카고트럭과 45 ft 트랙터-트레일러 2대씩을 대상으로 각 1대에 공기저항 저감장치 2종(사이드스커트, 보트테일)을 장착하고, 다른 1대에는 공기저항 저감장치를 장착하지 않고 동시에 주행하여 주행 전·후 각 차량들의 연료소비량을 비교하여 연비개선효과를 확인하였다. 공기저항을 최소화하기 위한 시제품은 풍동시험과 수치유동해석을 통해 최적화하여 제작하였다.

사이드스커트는 차량 적재함 측면 하부에 장착하여 차량 하부에서 발생하는 공기저항을 저감하며, 보트테일은 차량 적재함 후면에 장착하여 차량 후면에서 발생하는 와류를 저감시켜 연비를 개선하는 장치이다. Fig. 1(a)는 장치를 장착하기 전의 14.5 ton 카고트럭이고, Fig. 1 (b)는 14.5 ton 카고트럭에 사이드스커트와 보트테일을 장착한 사진이다. Fig. 1(c)는 장치를 장착하기 전의 45 ft 트랙터-트레일러이고, Fig. 1(d)는 45 ft 트랙터-트레일러에 사이드스커트와 보트테일을 장착한 사진이다.

### 2.2 시험 방법

#### 2.2.1 방법론 선정

본 시험은 연료소비량에 미치는 여러 가지 기술 적용에 따른

효과를 정확히 평가할 수 있는 연비평가 규정인 SAE J1321 Joint TMC/SAE Fuel Consumption Test Procedure - Type II 에 기반하여 시험을 진행하였으며, 국내 사정에 적합하지 않거나, 적용이 불가능한 항목에 대해서는 Table 1과 같이 국내 실정에 맞게 조건을 변경하였다. SAE J1321 시험조건 중 변경한 조건으로는 Proving Ground 주행로 사정상 TV(Test Vehicle; 시험장치를 장착한 차량)와 CV(Control Vehicle; 장착하지 않은 차량)의 동시 출발이 불가능하여 순차적 출발하였고, 0.16 km/h의 해상도의 GPS 적용이 불가능하여 차량에 장착된 1 km/h의 해상도의 통합단말기 시스템을 적용하였다. 또한 두 차종 중 카고트럭의 경우, Cruise Mode 주행 불가 차량으로 Full Accel 상태로 주행하였으며, 1시간 이상의 예열 조건은 4 바퀴(20km) 주행으로 전문가 의견에 따라 변경하였다. 저울의 해상도는 구입 시기 및 가격 상 불합리적인 상황을 고려하여 해상도 10 g 단위의 전자식 저울을 적용하였다. 연료소비량 시험은 TV와 CV를 동시에 주행시켜 두 차량의 데이터를 F검정과 T검정을 이용하여 통계적 유효성을 분석하였다.

2.2.2 시험 방법

SAE J1321 시험법을 국내 사정에 맞게 최적화한 시험 방

법으로 1 바퀴가 5 km인 Proving Ground에서 시험을 진행하였다. 시험은 시험 준비, 주행 준비, 장착 전·후 연비 시험, 데이터 수집, 연비 개선을 계산, 시험에 대한 통과/실패 판정 등 총 6단계로 진행하였다.

2.2.2.1 시험 준비

시험에 앞서 차종별로 제작사·연식·특장형태 등이 최대한 동일한 차량을 각각 2대씩 준비하였으며, 차량의 제원은 Table 2와 같다. 각 차량에 물리적·기계적인 이상 유무를 확인하고, 엔진오일·공기필터·연료필터 교체 및 오일 보충, 타이어압 확인 등의 차량 정비를 실시하였다. 또한 연료소비량을 확인하기 위하여 탈부착이 용이한 휴대용 연료탱크를 설치하여 중량측정이 가능하도록 하였다.

2.2.2.2 주행 준비

Proving Ground 주행로의 노면상태나 주행장 조건이 시험에 영향을 있는지 미리 확인하였다. 연료소비량을 측정하기 위한 측정장소는 바람의 간섭을 최소화하기 위해 먼저 텐트를 설치하고, 텐트 내부에 수평계를 활용하여 저울을 설치하였다. 풍속, 온도 등 외부 환경 인자 측정을 위해 1 Hz 이상의

Table 1. SAE J1321 test conditions and changing conditions

Test conditions of SAE J1321	Test conditions of this study
The average wind speed > 19.32 km/h → Fail	· The same as SAE J1321
The outside temperature : 4.44~37.8	· The same as SAE J1321
External data sampling rate > 1 Hz	· The same as SAE J1321
Using gravimetric method	· The same as SAE J1321
The minimum mileage > 80.5 km	· Mileage : 85 km
Distance between vehicles> 457.2m	· The same as SAE J1321
Simultaneous start CV <sup>1)</sup> , TV <sup>2)</sup>	· Sequentially start
Rent the same vehicle(CV, TV)	· Rent the similar vehicle(CV, TV)
GPS resolution : 0.16 km.h	· GPS resolution : 1 km.h
Using cruise mode	· Cargo truck : Full accel · Tractor-trailer : Using cruise mode
Using the scale with a resolution of 0.1% fuel consumption	· Apply the electronic scales of resolution unit 10g
Warm-up time > 1 hour	· Warm-up mileage : 20 km(4 lap)

<sup>1)</sup> CV : Control vehicle, for reference data acquisition.





<sup>2)</sup> TV : Test vehicle, for test data acquisition.

<sup>3)</sup> PG : Proving ground.



Fig. 2. Proving ground (KATRI).

Table 2. Vehicle specifications

Vehicle type	Manufacture	Engine	Displacement	Rated power	CV photo	TV photo
14.5 ton cargo truck	Tata-daewoo	ISM	10,800 cc	410/1900Ps/ RPM		
45 ft tractor-trailer	Hyundai	D6CE	12,742 cc	520/1700Ps/ RPM		

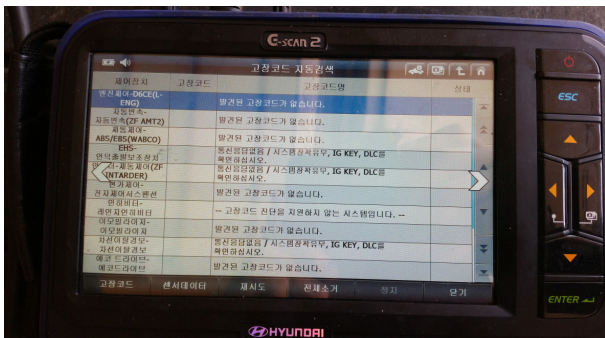


Fig. 3. Test preparation.

Data Acquisition 속도를 지닌 센서를 설치하였다. 또한 주행

전 운전자 교육과 사전 준비 시험을 통해 동일한 주행조건을 정립하고, 각 시험 전 약 20 km의 사전주행을 통해 예열을 실시하였다.

2.2.2.3 장착 전·후 연비 시험

TV, CV 두 차량 모두 공기저항 저감장치를 장착하지 않은 시험 전 상태에서 주행하여 장착 전 각 차량의 연료소비량을 측정하였다. Table 3과 Fig. 5의 시험 절차를 최소 3회 이상 반복하여 연료소비량을 측정하였다.

시험 목적에 의거하여 TV 차량에 공기저항 저감장치를 장착하고, CV 차량은 기본 연비 시험과 동일하게 공기저항 저감장치를 장착하지 않은 상태에서 시험을 진행하였다. 공기저항 저감장치 장착 후 기본 연비 시험과 동일한 절차를 최소 3회 이상 반복하여 연료소비량을 측정하였다.

2.2.2.4 데이터 수집

시험 전 측정소에 설치한 풍속계, 풍향계 등을 통하여 주행 중 풍속, 온·습도 및 대기압 데이터를 분석하고, 차량에 설치한 디지털운행기록계를 이용하여 차속, 가감속을 분석하여 차량 주행에 따른 정상시험 여부를 판단하였다.



Fig. 4. Driving preparation.

Table 3. Baseline and test segment driving

Test procedure	Detailed contents
Refueling	· Check the fuel tank conditions before gravimetric
Gravimetric before the test	· Injecting a equal quantity of fuel to the fuel tank after refueling (40 kg ± 1 kg)
Run start	· Starting sequentially in the same place · The control and test Vvehicles must be operated simultaneously on the test track. An interval spacing between the vehicles is used to insure. The minimum recommended spacing between vehicles is 457.2 m. · 17 lap(85km) running
Run end	· After completing a test run the test vehicle must stop at the start point. Immediately after full stop of the test vehicle the engine is idled for exactly 1 minute then shut down.
Gravimetric after the test	· Control and test vehicle(s) fuel is measured and recorded
Test fuel consumption data analysis	· After baseline segment data has been obtained for a minimum of three runs the baseline segment test data is input in to the baseline segment table displayed below and analyzed using the supplied software.

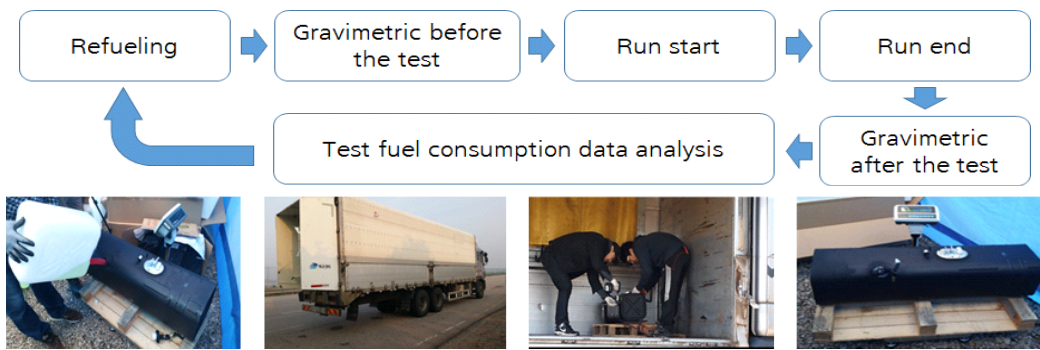


Fig. 5. Baseline and test segment driving.

2.2.2.5 연비 개선을 계산

기본 연비 시험과 장착 연비 시험 주행을 통해 도출된 연료 소비량 데이터를 이용하여 공기저항 저감장치 장착에 따른

연비개선효과를 확인하기 위해 SAE J1321 시험방법에 제시된 데이터 분석방법으로 연비 개선율을 계산하였으며, 그 계산식은 아래 식 (1)과 같다.

$$Pd = 100 \times \frac{(T/C)b - (T/C)t}{(T/C)b} \quad (1)$$

*Pd* : Improvement

*(T/C)b* : (TV fuel consumption/CV fuel consumption) in baseline segment

*(T/C)t* : (TV fuel consumption/CV fuel consumption) in test segment

Source : Fuel Consumption Track Tests for Tractor-Trailer Fuel Saving Technologies(2009)

2.2.2.6 시험에 대한 통과/실패 판정

자료 수집을 통해 취득된 외부환경 데이터와 차속 데이터를 분석하여 환경요인이 본 시험 규정을 준수할 경우 시험 결과를 인정하고, 이를 준수하지 못할 경우는 재시험을 실시하였다. 또한 *T* 검정과 *F* 검정을 실시하고, SAE J1321 시험방법에 제시된 데이터 분석방법에 근거하여 신뢰구간이 2% 이내 일 때 참값인 것으로 통계 처리하여 데이터의 신뢰도를 높였다.

3. 연구결과

3.1 실차 시험 결과

45 ft 트랙터-트레일러와 14.5 ton 카고트럭 2개 차종에 대

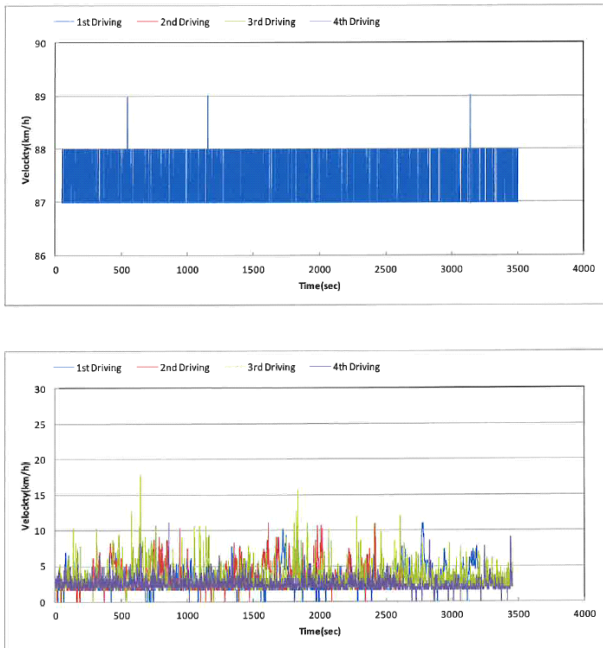


Fig. 6. Data acquisition.

해 사이드스커트와 보트테일 장착 전·후의 연료소비량의 차를 이용하여 연비개선율을 계산한 결과는 Table 4와 같다. Table 4의 TV와 CV의 Test 1, 2, 3의 값은 각 시험별 주행 전·후의 연료탱크의 중량차이다.

45 ft 트랙터-트레일러에 사이드스커트만 단독 장착하였을 경우, 약 3.56±0.97% 연비개선율을 나타내었으며, 사이드스커트와 보트테일을 함께 장착한 경우 약 3.62±1.24%로 보트테일의 효과는 미미한 것으로 나타났다. 이것은 45 ft 트랙터-트레일러에 적재된 컨테이너의 corrugated surface에 기인한 유동박리에 의해 보트테일의 효과가 제대로 나타나지 못한 것으로 사료된다.

14.5 ton 카고트럭에 보트테일만 단독 장착한 경우, 연비개선율은 약 1.44±1.37%이고, 사이드스커트를 보트테일과 함께 장착한 경우, 약 4.72±2.14% 연비개선효과를 확인하였다. 14.5 ton 카고트럭에 보트테일만 장착한 경우, 시험 당시 순간풍속의 기준을 초과한 에러로 인하여 시험결과 신뢰도는 다소 떨어지나, 연비가 개선되는 긍정적인 효과를 확인하였다.

Table 4의 시험 외에도 45 ft 트랙터-트레일러에 대한 보트테일 단독시험, 14.5 ton 카고트럭에 대한 사이드스커트 단독 시험을 실시하였으나, 시험 당시 태풍의 영향으로 평균풍속 및 순간풍속의 변화가 심하여 본 시험의 Proving Ground 테스트 심사기준 조건을 만족시키지 못하여 취득한 시험 결과가 모두 실패로 판정 처리 되었다.

3.2 온실가스 감축잠재량 산정

상기의 시험결과를 바탕으로 Table 5와 같이 가상 시나리오를 설정하고, 온실가스 감축 잠재량을 산정하였다. 시험차량을 임차한 A운수회사에서 운영하고 있는 장거리 간선 노선 차량의 실제 주행환경을 반영하여 가상 시나리오를 작성하였으며, 14.5톤 이상 대형화물차량의 기준 연비값은 3.5 km/L, 일평균 주행거리 600 km, 연간 운행일수 300일, 연비개선율은 본 연구에서 실차시험을 통해 확인된 4.72%를 적용하였다. 가상 시나리오에 따른 연간 연료감축량은 2,427 L로 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Tier 1 산정 방법으로 산정한 감축량은 1대당 6.86 ton CO<sub>2</sub> eq./yr이다. 2016년 1월 국토교통부 자동차등록현황을 기준으로 등록된 15톤 이상 대형화물차량 100,178 대에 기술 적용시 연간 686,826 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 온실가스 감축이 가능하다.

4. 결론

본 연구에서는 14.5 ton 카고트럭과 45 ft 트랙터-트레일러

SAE 1321 Data Analysis - Fuel Economy Improvement Testing

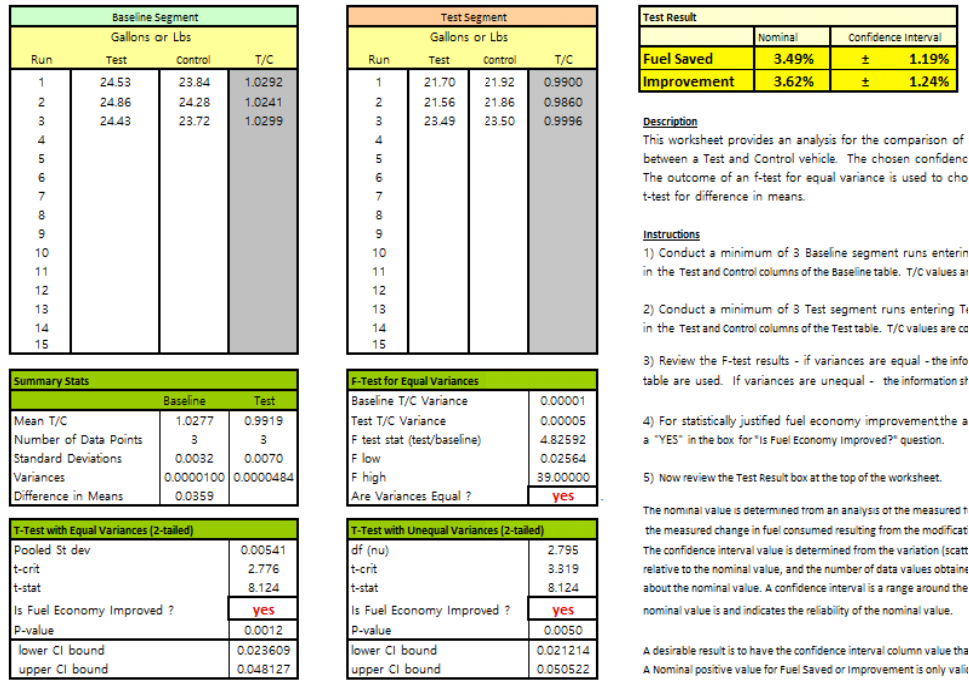


Fig. 7. SAE J1321 data analysis.

Table 4. Test result

(Unit : kg)

	TV			CV			Improvement (%)	Confidence interval (%)
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3		
Cargo truck base	17.46	16.71	17.08	16.98	16.18	16.44	-	
Tractor-trailer base	24.53	24.86	24.43	23.84	24.28	23.72	-	
Tractor-trailer side skirt	21.18	22.61	23.66	21.39	22.65	23.93	3.56	±0.97
Tractor-trailer full assy (side skirt + boat tail)	21.70	21.56	23.49	21.92	21.86	23.50	3.62	±1.24
Cargo truck boat tail	17.20	16.36	18.81	16.80	16.02	16.63	1.44	±1.37
Cargo truck full assy (side skirt + boat tail)	17.35	17.37	17.69	17.36	17.63	18.14	4.72	±2.14

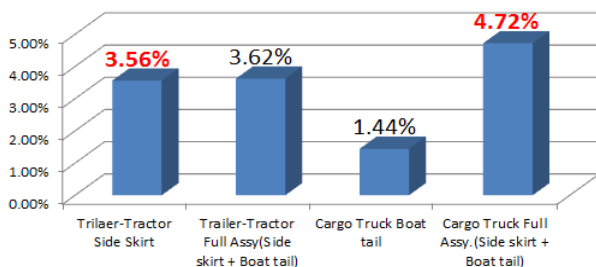


Fig. 8. Fuel consumption test result.

2개 차종을 대상으로 공기저항 저감장치 2종(사이드스커트, 보트테일)의 장착 전·후의 연비개선효과를 측정하였다. 공기저항 저감장치의 연비개선 평가를 위해 미국의 자동차 연비시험 평가기준인 SAE J1321 Joint TMC/SAE Fuel Consumption Test Procedure - Type II 시험법을 국내 사정에 맞게 최적화하여 시험을 진행하였다. 연비시험 결과를 기준으로 가상 시나리오를 통해 온실가스 감축량을 산정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

Table 5. Greenhouse gas reduction scenarios

Category	Value
Vehicle fuel economy	3.5 km/L
Mileage of day	600 km
Fuel consumption of day	171 L
Operation days	300 day
Fuel economy improvement	4.72%
Annual fuel consumption reductions	2,427 L
Annual greenhouse gas reductions	6.86 ton CO <sub>2</sub> eq.

- 1) 45 ft 트랙터-트레일러에 사이드스커트를 단독 장착했을 때 3.56±0.97%, 사이드스커트와 보트테일을 함께 장착했을 때, 3.62±1.24%의 연비개선효과를 확인하였다.
- 2) 14.5 ton 카고트럭에 보트테일을 단독 장착했을 때 1.44±1.37%, 사이드스커트와 보트테일을 함께 장착했을 때, 4.72±2.14%의 연비개선효과를 확인하였다.
- 3) 온실가스 감축 시나리오를 통해 산정한 온실가스 감축량은 1대당 6.86 ton CO<sub>2</sub> eq./yr이고, 등록된 15 ton 이상 대형화물차량에 기술 적용 시 686,826 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 온실가스 감축이 가능한 것으로 분석되었다.

45 ft 트랙터-트레일러의 경우, 보트테일의 효과가 미미한 것으로 나타났으며, 이것은 적재된 컨테이너의 corrugated surface에 기인한 유동박리에 의해 보트테일의 효과가 제대로 나타나지 못한 것으로 사료된다. 14.5 ton 카고트럭에 보트테일만 장착한 경우, 순간 풍속의 기준을 초과한 에러로 인하여 시험 결과의 신뢰도는 다소 떨어지나, 연비개선에 대한 정성적인 효과는 확인되었다. 시험 당시 태풍의 영향으로 평균풍속 및 순간풍속의 변화가 심하여 본 시험의 Proving Ground 테스트 심사기준 조건을 만족시키지 못하여 기타 시험 결과가 모두 실패로 판정처리 되었기 때문에 향후 45 ft 트랙터-트레일러에 대한 보트테일 단독시험과 14.5 ton 카고트럭에 대한 사이드스커트 단독시험, 컨테이너의 corrugated surface 영향이 없

는 조건에서의 시험 등의 추가 연구를 진행할 예정이다.

## 5. 사 사

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 교통물류연구사업 “도로화물 운송 효율화를 위한 트레일러 경량화, 공기저항저감 및 운송용기 최적화 기술개발”의 지원사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea. 2014. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.

Helmut HK, Robert AW, Daniel ML. 2007. Road evaluation of the aerodynamic characteristics of heavy trucks. SAE Technical Paper Series 2007-01-4297.

ME. 2015. Post-2020 greenhouse gas reduction target set action plans. Ministry of Environment.

MOLIT. 2014. Statistics of ministry of land, infrastructure and transport, ministry of land. Infrastructure and Transport.

MOLIT. 2016. Vehicle registration, ministry of land. Infrastructure and Transport.

MOTIE. 2014. Energy consumption survey, ministry of trade. Industry & Energy.

Roanld ES. 2007. On-road evaluation of devices to reduce heavy truck aerodynamic drag. SAE Technical Paper Series 2007-01-4294.

SAE. 2012. SAE J1321 Fuel consumption test procedure-type II.

Surcel MD, Provencher Y, Michaelsen J. 2009. Fuel consumption track tests for tractor-trailer fuel saving technologies. SAE Technical Paper Series 2009-01-2891.

U.S Department of Energy. 2007. Roadmap and technical white papers. 21st Century Truck Partnership.

Table 6. Heavy duty vehicle registration

(Unit : cars)

Category	5 tons or more	8 tons or more	10 tons or more	12 tons or more	15 tons or more	20 tons or more	Total
Non-commercial	65,300	5,954	5,721	4,755	4,279	10,614	96,623
Commercial	31,142	7,830	9,076	16,944	9,547	75,738	150,277
Total	96,442	13,784	14,797	21,699	13,826	86,352	246,900

Source : MOLIT, 2016.1 , Vehicle registration., Ministry of Land, Infrastructure and Transport.