



타이어 회전저항 계수가 차량의 연비 및 CO₂ 배출량에 미치는 영향에 관한 연구

이 석 환^{*1)} · 고 종 민²⁾

한국기계연구원 그린동력연구실¹⁾ · 환경부 대구지방환경청²⁾

A Study on the Influence of Tire Rolling Resistance Coefficient on Vehicle Fuel Consumption and CO₂ Emissions

Seokhwan Lee^{*1)} · Jongmin Ko²⁾

¹⁾Department of Engine Research, Korea Institute of Machinery and Materials, 156 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Korea

²⁾Government office in Daegu, Ministry of Environment, 301 Hwaam-ro, Dalseo-gu, Daegu 42768, Korea
(Received 2 February 2018 / Revised 28 February 2018 / Accepted 2 March 2018)

Abstract : Tire rolling resistance acts as one of the important factors in a vehicle's fuel consumption and CO₂ emissions. Tire rolling resistance is generated when rubber compounds are distorted and influenced by tire design, rubber composition, and inflation pressure. Generally, it was reported that a reduction of 1.5~2.0 percent of CO₂ could be achieved when rolling resistance decreased by 10 percent. Owing to the significant improvement in fuel consumption after decreasing rolling resistance, many tire manufacturers developed low rolling resistance tires, which was widely welcomed by the market. In this study, the effect of the tires' rolling resistance on vehicle fuel consumption and CO₂ emissions was investigated based on an actual passenger car's performance. The experimental results showed that fuel savings amounting to 1.1~1.5 percent could be achieved per 10 percent reduction in the rolling resistance coefficient of tires used on the test vehicle, depending on the driving cycle.

Key words : Tire(타이어), Rolling resistance(회전저항), Fuel economy(연료경제성), Carbon dioxide(이산화탄소), Chassis dynamometer(차대동력계)

1. 서론

최근 지구온난화에 대한 우려가 고조되고 있으며 실제 이로 인한 기후변화 및 생태계 파괴가 진행되고 있는 실정이다. 따라서 지구온난화에 직접적으로 영향을 미치는 온실가스를 저감하기 위한 각국의 노력이 진행 중이다. 타이어 제작업체인 미쉐린의 내부보고서에 따르면 대표적인 온실가스인 CO₂

의 경우 전 세계 배출량의 26 %가 수송부문에서 배출되고 있으며 이 중에서 18 %는 도로 이동 차량에서 배출된다고 보고하였다.¹⁾ 수송부문에서 배출되는 CO₂를 저감하기 위하여 각국에서는 연비규제를 도입하고 있으며 규제치는 점점 강화되고 있다. 강화되는 연비규제를 만족하기 위하여 고효율 엔진 기술들이 개발되고 있는데 엔진이 고효율화되면서 차량에서 배출되는 CO₂의 20 ~ 30 %가 타이어의 회

^{*}A part of this paper was presented at the KSAE 2015 Annual Conference and Exhibition

^{*}Corresponding author, E-mail: shlee@kimm.re.kr

^{*}This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

전저항으로부터 발생된다고 보고되었다.²⁾ 타이어 회전저항이란 차량이 일정 거리를 이동하는 동안 타이어의 변형에 의해서 소모되는 에너지를 의미한다. 차량에 작용하는 공기역학적 저항, 관성 저항 등과 함께 차량의 연비에 영향을 주게 되며 결국 CO₂ 배출에 영향을 미치게 된다.²⁾

미쉐린을 포함한 여러 타이어 제조 회사 및 관련 연구자들의 시험 결과를 바탕으로 2012년 ICCT (The International Council on Clean Transportation)에서는 동일한 무게의 차량에서 타이어의 회전저항 계수가 10 % 감소하는 경우 차량에서는 1.5 ~ 2.0 %의 CO₂ 저감 효과가 있다고 발표하였다.³⁾ 이처럼 타이어 회전저항이 차량의 연비에 직접적인 영향을 미치므로 유럽에서는 2012년부터 타이어 효율 등급제(Labelling)를 통하여 회전저항 계수 및 젖은 노면 제동력(Wet grip)을 관리하고 있으며 현재 우리나라에서도 타이어 효율 등급제를 실시하여 타이어의 에너지소비효율등급을 5단계로 관리하고 있다. 타이어의 회전저항 계수가 차량의 연비에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 현재 각 타이어 제조회사들은 회전저항 계수를 낮춘 저 회전저항 타이어를 친환경 타이어로 명명하여 시장에 판매중이다. 각 회사별로 회전저항을 최소화 할 수 있는 컴파운드를 개발하고 고유의 트레드 디자인을 도입하여 제동 성능을 동등 수준으로 유지하면서 연비를 향상시킬 수 있는 기술을 채택하고 있다.

친환경 타이어의 경우 회전저항 계수의 저감으로 인하여 연비가 5 ~ 10 % 개선된다고 알려져 있지만 이는 회전저항 계수와 연비와의 상관관계를 통하여 추정된 값으로 공인시험을 통하여 측정된 값과 차이가 있을 수 있다. 따라서 실제 도로 주행 조건이나 차대동력계 상에서 모드 실험을 통하여 연비 개선 효과를 측정된 연구들이 진행되었다.^{4,6)} 일부 연구자들은 상용 프로그램을 이용하여 회전저항 계수가 연비에 미치는 영향을 모델링하였다.^{7,8)} 본 연구에서는 국내에 판매중인 저 회전저항 타이어 2종에 대해서 일반 타이어와의 비교 시험을 통하여 연비 저감 효과를 살펴보고자 하였다. 각 타이어의 회전저항 계수 및 도로주행저항 계수를 규정된 실험을 통하여 측정하였으며 차대동력계 상에서 공인연비시

험을 통하여 각 타이어를 장착한 경우 승용차량의 연비 및 CO₂ 배출량을 측정하였다. 이를 통하여 저 회전저항 타이어를 장착하는 경우 실제 차량의 연비 개선 효과를 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 대상타이어 및 차량

본 연구에서는 에너지소비효율 4등급인 일반타이어 1종과 에너지소비효율 각각 1등급과 2등급인 저 회전저항 타이어 2종을 선정하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서 사용된 타이어의 제원은 Table 1과 같다. 대상 타이어의 회전저항 계수는 공인시험법인 ISO28580 규정에 따라서 측정되었으며 기준타이어 대비 저 회전저항 타이어의 경우 각각 21 %, 31.8 %의 회전저항 계수가 저감된 것을 확인하였다.

시험차량으로는 자연흡기 2리터 엔진을 장착한 가솔린 승용차량을 선정하였는데 본 차량은 165마력의 출력을 가지며 차량중량은 1,515 kg이다.

Table 1 Specifications of test tires

Tire	A (All season)	B (Low RRC)	C (Low RRC)
Company	K	M	K
Size	205/55/R16		
Tire pressure	38 psi		
Energy grade	4	2	1
RRC	9.39	7.42 (21 % ↓)	6.40 (31.8 % ↓)
UTQG tread wear	400	320	320

2.2 도로주행저항 계수 측정법

완성차의 연비, 배출가스, 가속제어시험, 전자파 시험, 소음시험 등을 위해서는 시험자동차를 시험실내의 차대동력계 위에 설치를 하여 각 시험 특성에 맞는 주행모드나 차속에서 시험을 실시하게 된다. 이 때 정확한 시험 결과를 얻기 위해서는 시험자동차가 실제로 도로를 주행할 때와 같은 주행 저항이 차대동력계 위에서 구현이 되어야 한다. 차대 동력계에서 실제 도로의 주행 저항을 구현하기 위해서는 차대 동력계에 필요한 도로주행 저항을 설정하여 주어야 하고 그 값을 얻기 위해서 자동차가 실



Fig. 1 Road Load measurement using onboard anemometry and coastdown techniques (SAE J2263)

제 도로에서 받게 되는 주행저항을 측정하여야 하며 그 측정 방법으로 타행주행(Coastdown) 시험이 일반적으로 사용되고 있다.^{9,10)}

저 회전저항 타이어 사용에 의한 연비개선 및 CO₂ 저감 효과를 차대동력계에서 평가하기 전에 우선 타이어 종류에 따른 도로 주행저항을 측정하여야 한다. 차대동력계에서 타이어와 맞닿는 물의 표면은 매끄럽기 때문에 도로 표면의 거칠기를 모사할 수 없고 이로 인하여 회전저항 계수가 다른 타이어의 도로주행저항 계수를 구분할 수 없다. 따라서 일반 아스팔트 도로에서 타이어 종류에 따른 도로 주행저항을 측정하고 이 측정값을 차대동력계 시스템에 입력하는 경우 차대동력계에서 실험하는 경우에도 일반 도로에서 주행하는 것과 같은 효과를 줄 수 있다.

Fig. 1은 주행저항을 측정하기 위하여 일반 아스팔트 도로에서 타행주행을 하는 모습이다. 타행주행 방법은 충분히 긴 일직선의 도로 위에서 시험차량이 일정한 속도에 도달한 후 속도가 안정화 된 시점에서 변속기를 중립으로 놓아 단지 차량의 관성에 의해서만 차량이 주행할 때 나타나는 도로와 타이어의 마찰, 공기저항, 차량 자체의 기계적인 마찰 손실 등에 의한 총 주행저항을 속도와 시간의 함수를 이용하여 계산하는 방법이다. 타이어의 회전저항 계수가 감소하는 경우 타이어의 회전으로 인한 에너지 감소가 줄어들기 때문에 도로주행저항 계수도 감소하게 된다. 본 연구에서는 타이어 종류에 따른 도로주행저항 계수를 측정하였는데 시험 장소의 바람, 온도, 습도가 주행저항 계수에 미치는 영향을 보정하기 위하여 풍속계를 차량에 장착하는 방식인

SAE J2263 시험법을 사용하여서 도로주행저항계수를 측정하였다.^{9,10)}

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 도로주행저항 계수 측정결과

Fig. 2는 타행주행 시험으로 측정된 각 타이어별 도로주행저항 결과를 나타내고 있으며 Table 2에서는 Fig. 2의 그래프로부터 구한 도로주행저항 계수를 나타내고 있다. 각 타이어별로 3회 실험을 한 후 평균한 값을 나타내었다. 도로주행저항 결과를 살펴보면 일반 타이어에 비하여 저 회전저항 타이어의 도로주행저항이 낮게 측정되었다. 두 종의 저 회전저항 타이어 중에서도 회전저항 계수가 더 낮은 C타이어의 경우 B 타이어에 비하여 도로주행저항이 낮게 측정되었으며 저속구간에 비하여 고속구간에서 그 차이는 줄어드는 것을 확인하였다. 차량 속도에 따른 도로주행저항값을 이차원 그래프로 피팅하여 이차원 계수를 구하는 경우 상수인 f_0 값은 타이어의 회전저항에 의하여 결정되는 값이며 1차원 계수

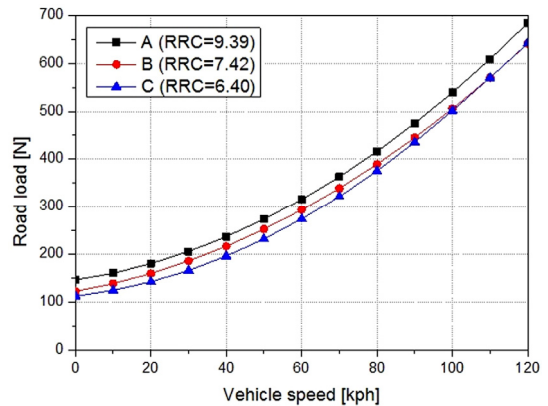


Fig. 2 Road load measurement results according to test tires

Table 2 Results of road load measurement

Tire	A (All season)	B (Low RRC)	C (Low RRC)
RRC	9.39	7.42	6.40
f_0 (N)	146.1	122.1	112.3
f_1 (N/(km/h))	1.162062	1.389114	0.896849
f_2 (N/(km/h ²))	0.027732	0.024471	0.029970
Vehicle mass (kg)	1515		

f₁, 이차원 계수 f₂는 공기역학적 저항에 의하여 결정된다. 이로 인하여 공기역학적 저항의 영향이 비교적 낮은 도심 저속주행 시 C 타이어를 장착하는 것이 차량의 연비 개선에 가장 효과적일 것으로 추정된다.

3.2 연비 및 CO₂ 배출량 측정결과

다양한 차종 및 타이어에 대해서 회전저항 계수와 연비와의 상관관계를 살펴본 결과 두 변수 사이에는 아래와 같은 1차원 상관식이 있다고 보고되었다.⁴⁾

$$\Delta FC = \alpha \cdot \Delta C_{RR} \cdot M$$

ΔFC : fuel consumption difference, in L/100km

α: correlation coefficient in rage between

0.063~0.077

ΔC_{RR} : difference of rolling resistance (ISO28580), in kg/t

M : vehicle mass, in ton

위의 식을 사용하여 일반 타이어 대비 저 회전저항 타이어의 연비 향상 효과를 추정한 결과를 Table 3에 나타내었다. 저 회전저항 타이어를 장착하는 경우 각각 0.21, 0.32 L/100 km의 차량 연비 향상 효과가 예측되었는데 회전저항 계수가 10 % 저감되는 경우 0.1 L/100 km 정도의 연비 개선 효과를 보이고 있다.

각 타이어가 장착된 차량의 공연연비 및 CO₂ 배출량을 측정하기 위하여 차대동력계 상에서 도심주행 모드인 CVS-75와 고속주행 모드인 HWFET(Highway Fuel Economy Test) 모드를 사용하여 차량 실험을 수행하였다. 본 실험은 자동차연비 공인시험기

Table 3 Prediction of fuel consumption gain due to RRC reduction

Tire	A (All season)	B (Low RRC)	C (Low RRC)
RRC	9.39	7.42	6.40
ΔC _{RR}	-	-1.97 (21.0 % ↓)	-2.99 (31.8 % ↓)
α	0.070 (for gasoline vehicle)		
M (ton)	1.515		
ΔFC (L/100 km)	-	-0.21	-0.32

Table 4 Experimental results of fuel consumption gain due to RRC reduction in CVS-75 mode

Tire	A (All season)	B (Low RRC)	C (Low RRC)
RRC	9.39	7.42	6.40
ΔC _{RR}	-	-1.97 (21.0 % ↓)	-2.99 (31.8 % ↓)
CO ₂ (g/km)	193.54	187.81	184.25
ΔCO ₂ (g/km)	-	-5.73 (3.0 % ↓)	-9.29 (4.8 % ↓)
FC (L/100 km)	8.28	8.03	7.88
ΔFC (L/100 km)	-	-0.25 (3.0 % ↑)	-0.40 (4.8 % ↑)

Table 5 Experimental results of fuel consumption gain due to RRC reduction in HWFET mode

Tire	A (All season)	B (Low RRC)	C (Low RRC)
RRC	9.39	7.42	6.40
ΔC _{RR}	-	-1.97 (21.0 % ↓)	-2.99 (31.8 % ↓)
CO ₂ (g/km)	126.62	122.97	122.03
ΔCO ₂ (g/km)	-	-3.65 (2.9 % ↓)	-4.59 (3.6 % ↓)
FC (L/100 km)	5.40	5.25	5.21
ΔFC (L/100 km)	-	-0.15 (2.8 % ↑)	-0.19 (3.5 % ↑)

관인 한국에너지기술연구원에 의뢰하여 실험이 수행되었으며 공인성적서를 통해 결과를 확인하였으며 실험의 신뢰성은 높다고 할 수 있다. Table 4와 5는 각 모드에서 측정된 CO₂ 및 연비 결과를 나타내고 있다. 도심주행 조건인 CVS-75 모드에서는 저 회전저항 타이어를 사용하는 경우 각각 0.25(B 타이어), 0.40(C 타이어) L/100 km의 연비개선 효과가 있었다. 고속주행 조건인 HWFET 모드에서는 0.15(B 타이어), 0.19(C 타이어) L/100 km의 연비 개선 효과가 있었다. Table 3에 나타낸 연비 개선 효과 추정치와 비교하면 CVS-75 모드에서는 추정치에 비하여 실제 연비개선효과가 더 높았으며 HWFET 모드에서는 추정치보다 낮게 평가되었다.

타이어의 회전저항 계수가 10 % 저감됨에 따라

서 도심주행에서는 1.4 ~ 1.5 %, 고속주행에서는 1.1 ~ 1.3 % 정도의 차량의 연비가 개선되는 효과를 확인하였다. 이는 기존 연구자들이 보고한 회전저항 계수가 10 % 저감됨에 따라서 연비가 1.5 ~ 2.0 % 개선된다는 기존 결과에 비하여 연비 개선 효과는 다소 미진하게 평가되었지만 저 회전저항 타이어를 사용하는 경우 일반 타이어에 비하여 차량의 연비 개선 효과가 확실하다는 점을 확인할 수 있었다. 시내 주행 조건의 경우 고속 주행 조건보다 공기역학적 저항이 낮으므로 타이어 회전저항 감소에 따른 연비 개선 효과가 우수하게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 저 회전저항 타이어의 실제 차량 연비 개선효과를 평가하기 위한 목적으로 가솔린 승용차량을 이용하여 도로주행저항 계수 측정을 수행하였으며 이 결과를 바탕으로 차대동력계 상에서 공인연비 시험을 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 도로주행저항계수를 측정하기 위하여 타행주행 시험을 수행한 결과 타이어의 회전저항 계수가 낮아수록 차량의 도로주행저항이 낮음을 확인하였다.
- 2) 회전저항 계수 저감율을 기준으로 연비 개선치를 예상한 결과 저 회전저항 타이어를 사용하는 경우 일반타이어에 비해 차량의 연비가 각각 0.21(B 타이어), 0.32(C 타이어) L/100 km 정도 개선되는 것으로 예측되었다.
- 3) 차대동력계 상에서 저 회전저항 타이어의 실제 연비 개선치를 측정된 결과 도심주행 모드인 CVS-75 모드에서는 0.25 ~ 0.40 L/100 km, 고속주행 모드인 HWFET 모드에서는 0.15 ~ 0.19 L/100 km의 연비 개선치가 측정되었다.
- 4) 회전저항 계수와 차량의 연비는 밀접한 상관관계가 있는 것을 확인하였으며 타이어의 회전저항 계수가 10 % 저감됨에 따라서 도심주행 시 1.4 ~ 1.5 %, 고속주행 시 1.1 ~ 1.3 % 정도의 차량 연비 개선 효과가 확인되었다.

후 기

본 연구는 환경부 Global-Top Project 친환경자동차기술개발사업단 및 일부 한국기계연구원 주요사업 (NK212E)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- 1) Michelin Performance and Responsibility, Michelin Internal Report, 2012.
- 2) The Tyre - Rolling Resistance and Fuel Savings, Michelin Internal Report, 2003.
- 3) I. Riemersma and P. Mock, Influence of Rolling Resistance on CO₂, ICCT Working Paper No.WLTP DTP-LabProcICE-140, 2012.
- 4) J. Barrand and J. Bokar, "Reducing Tire Rolling Resistance to Save Fuel and Lower Emissions," SAE 2008-01-0154, 2008.
- 5) M. Guillou and C. Bradley, "Fuel Consumption Testing to Verify the Effect of Tire Rolling Resistance on Fuel Economy," SAE 2010-01-0763, 2010.
- 6) S. Lee, I. Park and J. Lee, "Influence of Tire Rolling Resistance Coefficient on Vehicle Fuel Economy," KSAE Annual Conference Proceedings, p.209, 2015.
- 7) T. J. Laclair and R. Truemner, "Modelling of Fuel Consumption for Heavy-Duty Trucks and the Impact of Tire Rolling Resistance," SAE 2005-01-3550, 2005.
- 8) S. Park, L. Dong, C. Her, B. Yun and D. Kim, "An Experimental Study on GHG Emissions Reduction and Fuel Economy Improvement of Heavy-Duty Trucks by Using Aerodynamics Device Package," Transactions of KSAE, Vol. 25, No.2, pp.207-218, 2017.
- 9) K. Jim, H. Kwon, H. Lee, J. Lim and Y. Sin, "Consideration on the Road Load Measurement Standards of Vehicle," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.592-597, 2007.
- 10) A. Altinisik, "Aerodynamic Coastdown Analysis of a Passenger Car for Various Configurations," Int. J. Automotive Technology, Vol.18, No.2, pp.245-254, 2017.