

연료 주입형 마찰 조정제가 엔진 마찰 및 연비에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

조명래* · 강경필 · 오대윤 · 최재권

현대자동차(주) 파워트레인 연구소

An Experimental Study for the Effect of Friction Modifier Added in Fuel on the Engine Friction and Fuel Economy

Myungrae Cho[†], Kyungpil Kang, Daeyoon Oh and Jaekwon Choi

Power Tran R&D Center, Hyundai Motor Co.

Abstract – This paper reports on the effect of fuel additive friction modifier on the engine friction and fuel consumption. The test of engine friction and fuel consumption is performed for the each oils and fuels. The TFA4724 friction modifier is added in test oil and fuel. The test results show that total engine friction is a decrease of 0.7-2.0% compared with base fuel, and fuel consumption is improved by 0.3%. The amount of friction reduction corresponds to that of boundary friction loss term in ring-pack friction losses. From the results, it is thought that the additive friction modifier in the fuel is effective to reduce the boundary friction in ring-pack.

Keywords – friction modifier, fuel consumption, ring-pack, boundary friction.

1. 서 론

차세대 엔진 개발시 당면하는 가장 큰 과제는 환경 문제에 따른 배기 가스 규제, 고성능 차량에 대한 소비자의 욕구 및 경제적 목적에 따른 저연비 실현 등, 서로 상반된 목표를 달성해야 한다는 점이다. 이중 특히 저연비 차량에 대한 요구는 고유가 등의 최근의 경제 상황과 맞물려 그 비중이 점차 확대되고 있다.

저연비 엔진의 개발을 위해서는 엔진 동력 손실의 최대 40%에 달하는 마찰 손실을 최소화하는 작업이 필요하다[1]. 따라서 밸브트레인계, 피스톤계, 그리고 베어링계 등 엔진의 주 마찰 발생 부위에 대해 경량화 및 형상 및 설계 변경 등을 통한 다양한 마찰 저감 기술 등이 개발되어 적용되고 있다. 그러나 엔진의 각 윤활 부위는 경계 윤활, 혼합 윤활 및 유체 윤활 영역의 전 범위에 걸쳐 있으므로, 윤활유의 개선을 통한 마찰

저감 방법에 대한 다양한 연구가 진행되어[2-6], 다급 점도 윤활유, 저점도 윤활유, 극압 첨가제 및 마찰 조정제(Friction modifier-FM) 등이 첨가된 윤활유 등 다양한 종류의 엔진 오일이 개발되었다.

마찰 조정제가 함유된 엔진 오일의 경우, 몰리브덴계 금속성 첨가제가 주입되어 주로 밸브트레인계의 경계 마찰 저감에 효과적이라고 알려져 있다. 그러나 이러한 오일에 첨가된 마찰 조정제의 경우, 연료와 함께 연소되어 CCD(Combustion chamber deposit), IVD(Intake valve deposit) 등의 문제를 유발하여 엔진의 성능에 심각한 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안의 하나로 최근에는 비금속성의 유기계 마찰 조정제를 연료에 직접 주입하는 방안에 대한 연구가 정유사를 중심으로 진행중이나 그 효과 및 역할이 명확히 규명되지는 않았다.

따라서 본 연구에서는 엔진의 마찰 및 연비 시험을 통해 개발된 마찰 조정제가 첨가된 연료의 엔진 마찰 저감 및 연비 향상 효과와 그 역할 등을 규명하고자 한다.

[†]주저자 · 책임저자 : formell@hyundai-motor.com

2. 시험 장치 및 방법

2-1. 연료 주입형 마찰 조정제 TFA4724

일반적인 마찰 조정제는 밸브트레인계의 마찰 저감을 위해 엔진 오일에 주입되는 폴리브텐계의 금속성 물질로 구성되어 있다. 그러나 이번 시험에 사용된 T사의 TFA4724는 엔진 오일 대신 연료에 주입되는 유기계 마찰 조정제이다. 이는 연소실에 마찰 조정제를 연료를 통해 지속적으로 주입함으로써 피스톤 링 팩의 마찰 저감에 효과적이고, 기존 오일 주입형 마찰 조정제와는 달리 연소실 및 밸브계의 카본(Carbon) 형성에 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다.

2-2. 시험 장치

2-2-1. 밸브트레인 RIG 시험 장치

마찰 조정제가 첨가된 연료의 엔진 마찰 및 연비 특성 시험에 앞서, 밸브트레인 리그 시험 장치를 이용하여 일반적인 오일에 첨가된 마찰 조정제의 마찰 저감 효과를 확인한다. 시험장치는 구동 모터, 헤더 블록, 토크 미터 등으로 구성되며 시험 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

2-2-2. 시험 엔진

시험에 사용된 엔진의 주요 사양을 Table 1에 나타내었다.

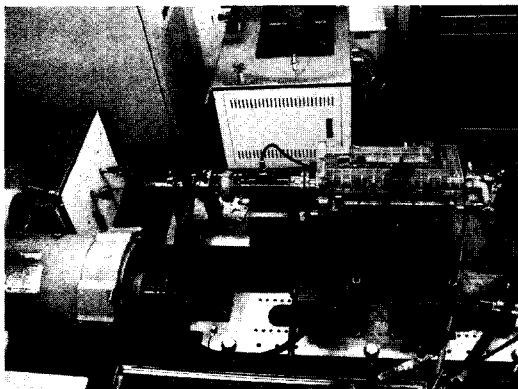


Fig. 1. Photo of valvetrain friction test rig.

Table 1. Specification of test engine

Engine Type	4V-DOHC
Type of Valve rain	Direct HLA

Table 2. Test condition

시험 내용	시험조건		
	오일	연료	시간
밸브트레인 마찰시험	5W30	-	10 h
	5W30/ 일반FM첨가	-	10 h
엔진 마찰 연비 시험	5W30	Base	10 h
	5W30	TFA4724첨가	10 h
	5W30/ 일반FM첨가	TFA4724첨가	10 h

2-3. 시험 방법 및 내용

밸브트레인에 대한 마찰 시험과 엔진 마찰 및 연비 시험 항목을 Table 2에 나타내었다.

엔진 전마찰 및 연비 시험의 경우 각 조건에 따라 10시간의 기본 운전 시간 동안 매 0, 3, 6, 10시간 마다 연비 및 마찰 값을 측정하였다. 실린더 라이너에 도포된 TFA4724가 마찰 저감 작용을 한다는 점을 감안해 매 기본 운전 동안은 마찰 조정제가 첨가된 연료를 사용하여 운전하며 연비 및 마찰 측정 시에는 기준 연료를 이용하여 운전하였다. 또한 각 조건에 따른 엔진 자체의 마찰 특성 변화를 측정하여 마찰 값 보정에 사용하기 위해 각 운전 조건의 시작 및 마지막에는 7.5W30 엔진 오일을 이용하여 엔진의 기준 마찰을 측정하였다.

3. 시험 결과 및 분석

3-1. 밸브트레인 마찰 시험 결과

Figure 2에는 엔진 오일에 마찰 조정제 첨가 유무에 따른 밸브트레인계 마찰 특성 측정 결과를 나타내었다.

엔진 오일에 마찰 조정제 첨가에 따라 밸브트레인계 마찰은 평균 10% 정도 저감 됨을 알 수 있다. 밸브계의 마찰 10% 저감은 엔진 전체 마찰 손실의 약 1%에 해당하는 값이다.

3-2. 엔진 마찰 및 연비 측정 결과

Figure 3에는 엔진 마찰 특성 보정을 위해 7.5W30 엔진 오일을 이용한 엔진 기준 마찰 특성 변화 결과를 나타내었다. 시간에 따른 변동 폭은 0.7% 정도 수준으로 엔진의 기본 마찰 특성에는 변화가 거의 없음을 보여주고 있다.

Figure 4에는 2000 rpm, 2 bar 조건에서 엔진 전마

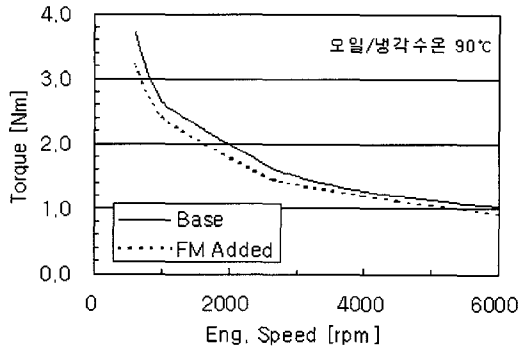
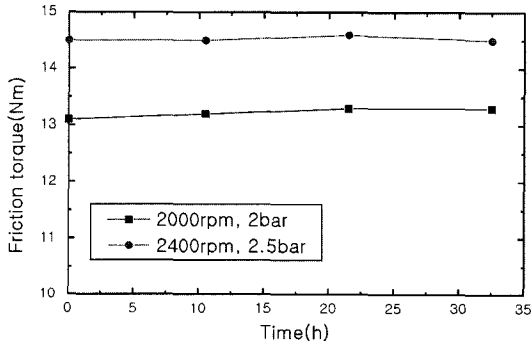


Fig. 2. Test results of valvetrain friction.



Measure results of engine base friction variation.

찰 및 연비 측정 결과를 나타내었고, Fig. 5에는 각 조건에서 측정된 엔진 연비와 마찰 사이의 상관 관계 그래프를 나타내었다.

2000 rpm, 2 bar 조건에서 연료에만 마찰 조정제가 주입될 경우, 마찰 저감 효과는 기준 오일 및 연료 대비 1.5%이며, 연비 개선 효과는 0.3%이다. 그러나 연료 및 오일에 모두 마찰 조정제를 주입할 경우, 그 효과는 각각 3.6%와 2%로 크게 증가하였다.

각 운전 조건에 따른 측정 결과인 Fig. 5를 살펴보면 TFA4724를 주입한 연료만 사용했을 경우 마찰 저감 및 연비 개선 효과는 각각 0.7-2% 및 0.3%이며, 연료 및 오일에 모두 사용했을 경우에는 2-4.6% 및 1.4-2% 수준을 나타내었다. 이상의 결과로부터 연료에만 마찰 조정제가 주입될 경우의 마찰 및 연비 개선 효과는 상대적으로 적음을 알 수 있다. 이는 서론에서 지적한 바와 같이 연료에 주입되어 연소실에 투입되는 마찰 조정제는 실린더 라이너 벽면에 부착되어 링 팩과 같은 특정 부위의 마찰 저감, 특히 경계 마찰 저감에 효과적이라는 사실을 나타낸다. 이는 동일 조건에

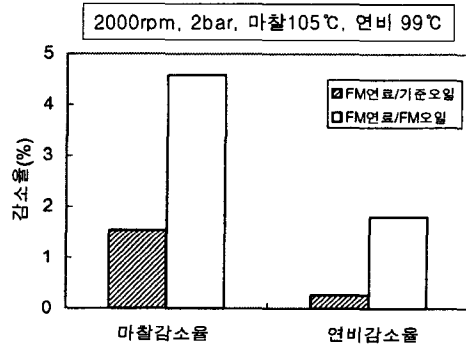
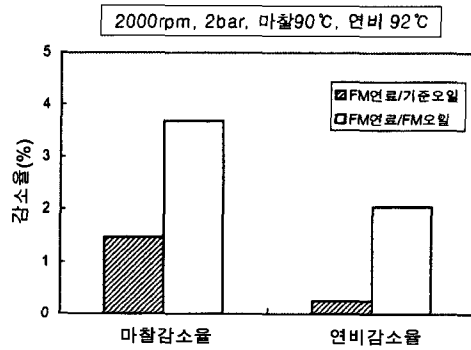
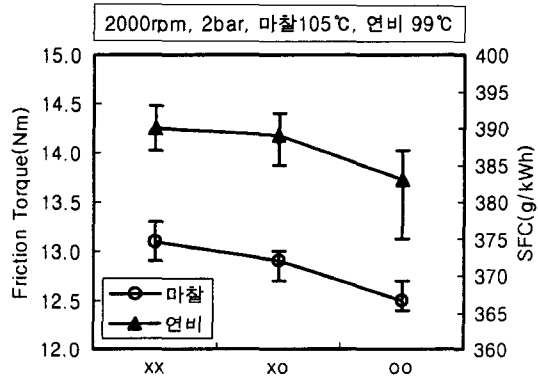
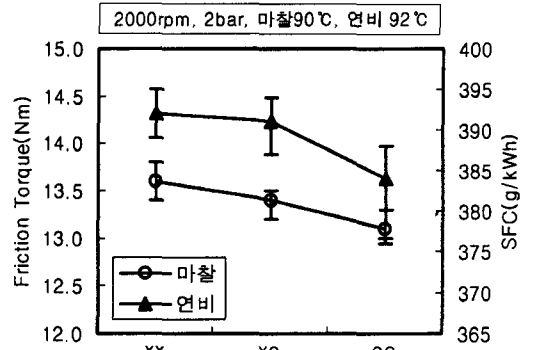


Fig. 3. Test results of engine friction and fuel consumption.

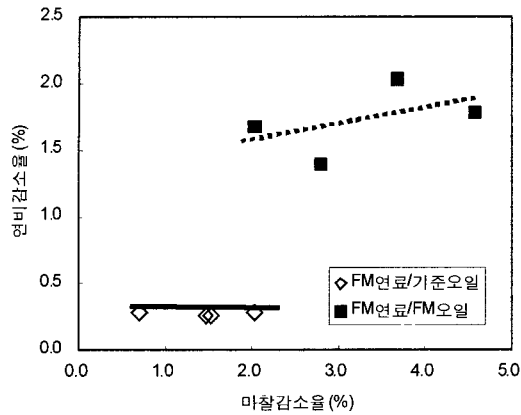


Fig. 4. Relation between engine total friction and fuel consumption.

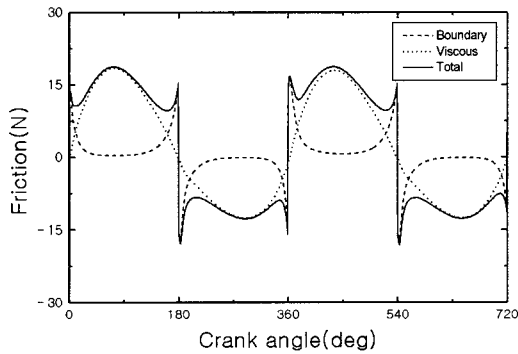


Fig. 5. Calculated result of piston ring-pack friction.

Table 3. Ring-pack friction component (2000 rpm, 2 bar)

	Power Loss(W)		
	Boundary	Viscous	Total
Ring Pack	4.9	65.3	70.2

서 피스톤 링 팩에 대한 마찰 해석 결과를 보면 분명해진다. 2000 rpm, 2 bar 조건에서 시험 엔진의 링 팩에 대한 마찰 해석[7-9] 결과를 Fig. 6 및 Table 3에 나타내었다.

해석 결과를 살펴보면 시험 엔진의 전체 마찰에서 경계 마찰 성분이 차지하는 비중은 약 7%이다. 엔진 전체 마찰 손실에서 피스톤 링 팩이 차지하는 비중이 24-27% 정도 이므로 연료에 첨가된 TFA4724에 의해 링 팩의 경계 마찰 성분이 모두 저감 된다고 가정하면 약 1.7-1.9%의 엔진 전마찰 저감 효과가 발생한다. 이는 시험을 통해 측정된 2% 미만의 결과에 상응

하는 값이다. 역시 마찬가지로 가정에 의해 오일 및 연료에 주입된 마찰 조정제에 의해 엔진의 모든 경계 마찰 성분이 저감 된다고 보면 약 3.8-4.2% 정도의 마찰 저감 효과가 예상된다. 이 역시 시험을 통해 측정된 2.4-6%의 마찰 저감 효과 범위에 속하는 값이다. 이상의 결과로부터 TFA4724 마찰 조정제는 링 팩의 경계 마찰 저감에 효과적이라는 사실을 알 수 있다.

4. 결 론

TFA4724 연료 주입형 마찰 조정제의 마찰 저감 및 연비 개선 효과를 확인하기 위해 엔진 동력계 시험을 수행하였다. 시험 결과 및 예측 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 시험 결과, TFA4724 연료 주입형 마찰 조정제의 마찰 저감 효과는 0.7-2%로 나타났으며 연비 개선 효과는 0.3%이다.
2. 시험 결과, 연료 및 오일에 마찰 조정제가 첨가된 경우 마찰 저감 효과는 2-4.6%이며 연비 개선 효과는 1.4-2% 수준이다.
3. TFA4724에 의해 저감된 마찰은 피스톤 링 팩의 경계 마찰 성분인 것으로 판단된다.
4. 실린더 벽면에 부착된 TFA4724는 링 팩 마찰 저감에 효과적일 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Taylor, C. M., "ENGINE TRIBOLOGY," ELSEVIER, pp. 82-87, 1993.
2. Tung, C. Y., Hsieh, S. K., Huang, G. S., and Kuo, L., "Determination of Friction-Reducing and Antiwear Characteristics of Lubricating Engine Oils Compounded with Friction Modifiers," Lubrication Engineering, Vol. 44, No.10, pp. 856-865, 1987.
3. Damrath J. G., and Papay, A. G., "Fuel Economy Factors in Lubricants," SAE Paper 821226.
4. Hamaguchi, H., Maeda, Y., and Maeda, T., "Fuel Efficient Motor Oil for Japanese Passenger Cars," SAE Paper 810316.
5. 문우식, "마찰저감제의 마찰 특성에 관한 연구," 한국윤활학회지, Vol. 8, No.2, pp. 7-13, 1992.
6. 이영재, 김강출, 표영덕, "자동차 엔진 오일과 연비," 한국윤활학회 32회 학술대회 논문집, pp.155-161, 1998.
7. Rohde, S. M., "A Mixed Friction Model For Dynamically Loaded Contacts with Application to Piston

- Ring Lubrication," Proc. the 7th Leeds-Lyon Symp. on Tribology, Butterworths, 262-278, 1980.
8. Yun, J. E., Chung, Y., Chun, S. M., and Lee, K. Y., "An Application of Simplified Average Reynolds Equation for Mixed Lubrication Analysis of Piston Ring Assembly in an Internal Combustion Engine," SAE952562, 209-216, 1995.
 9. Cho, M. R., Choi, J. K., and Han, D. C., "Calculation of Mixed Lubrication Characteristics on the Piston Ring and Cylinder liner Interface," KSME Int. Journal, To be published.