

DME 커먼레일 차량의 윤활향상제에 관한 연구

박 정 권^{*1)} · 김 현 철¹⁾ · 정 수 진¹⁾ · 전 문 수²⁾

자동차부품연구원 동력시스템연구센터¹⁾ · 한국교통대학교 에너지시스템공학과²⁾

A Study on Lubricant additive of DME Common-rail Vehicle

JungKwon Park^{*1)} · Hyunchul Kim¹⁾ · SooJin Jeong¹⁾ · MunSoo Chon²⁾

¹⁾Powertrain System R&D Center, Korea Automotive Technology Institute, 74 Yongjung-Ri, Pungse-Myun, Dongnam-Gu, Chonan-Si, Chungnam 330-912, Korea

²⁾Department of Energy System Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju-si, Chungbuk 380-702, Korea

(Received 2013. 04. 01 / Accepted 2013. 05. 06)

Abstract : The next generation alternative fuel of diesel, DME (Dimethyl Ether) discharges particulate matter hardly due to chemical structural as oxygen-fuel so it has the eco-friendly property. Despite these advantages, the DME has the technical difficulties to apply to the diesel engine because of a low calorific value, viscosity and compressibility effects. From this point of view, we performed experimental studies on improved reliability of DME common-rail vehicle and lubricity enhancement of DME fuel for empirical distribution of eco-friendly DME fuel. Also we analyzed solubility of lubrication enhancer according to a drop in temperature, try to secure reliability about core parts of DME vehicle by applying lubrication enhancer in the DME common-rail vehicle.

Key words : DME(Dimethyl Ether, 디메틸에테르), Lubricant(윤활유), HFRR(High-Frequency Reciprocating Rig Test), Common-rail(전자제어식 연료분사시스템), High Pressure(고압 연료펌프)

1. 서 론

최근 석유자원의 고갈 및 배기규제 강화에 따라 친환경적이고, 경제적인 대체연료의 개발이 요구되고 있다. 디젤의 차세대 대체연료인 DME(Dimethyl Ether)는 합산소 연료로 화학구조상 입자성 물질을 거의 배출하지 않아 친환경적이고, 상온에서 액화가 가능하여 취급이 용이하며, 다양한 원료에서 합성이 가능한 장점을 지니고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 DME는 낮은 발열량과 점도 그리고 압축성 효과로 인한 디젤 엔진 적용에 있어 기술적 어려움을 지니고 있다.¹⁻⁴⁾ 특히, 액체 DME 연료의 점도는 디젤 대비 10분의 1 수준⁵⁾으로 연료시스템 구동 부품의 슬라이딩

부분에 대한 높은 마모율을 지니고 있는 것으로 조사되고 있다.⁶⁻⁷⁾ DME 엔진은 기존 디젤 엔진의 연료시스템만을 부분 변경하여 사용하기 때문에 디젤 엔진의 기계적 특성을 반영하고 있다. 기존 디젤엔진 역시 연료의 윤활성이 확보되지 않을 경우 연료펌프와 인젝터에 심각한 마모가 발생되어 차량의 연비, 출력 및 안정성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 자동차용 경유는 윤활성을 법적으로 규제하고 있으며, 법적 기준인 마모흔 400 μ m 이하 [ISO 12156 표준시험방법인 HFRR(High-Frequency Reciprocating Rig Test) 근거]가 되도록 일정 비율의 윤활성향상제를 첨가하여 유통시키고 있다.⁸⁾ 이러한 관점에서 디젤 대비 낮은 점도성을 지니고 있는 액체 DME 연료를 그대로 사용할 경우, 연료시스템의 핵심부품인 고압펌프와 인젝터 내부 구동부에 심각한 마모가 발생되기 때문에 이를 방지하기 위한 윤

*Corresponding author, E-mail: parkjk@katech.re.kr

활향상제의 첨가는 반드시 필요하다.⁹⁾ 또한, 실제 DME 차량을 이용한 실증연구를 통해 DME 연료시스템 핵심부품에 대한 신뢰성 향상 기술 개발이 요구된다.

이와 같은 관점에서 본 연구는 친환경 DME 연료의 실증 보급을 위한 커먼레일 DME 자동차의 신뢰성 향상 및 DME 연료의 윤활성을 개선하기 위한 실험적 연구를 위해 DME 연료의 윤활향상제 후보물질에 대한 윤활 특성을 TE90 장비를 통해 측정하고 이를 비교, 분석하였다.

또한 기존 하강에 따른 특정 윤활향상제의 용해성을 분석, 실제 커먼레일 DME 차량에서의 윤활향상제 적용에 따른 DME 차량의 핵심부품에 대한 신뢰성 확보 방안을 연구하고자 한다.

2. 실험 내용 및 윤활제 선정 및 실험 내용

본 실험에서는 TE90장비를 통해 순도 99.9% 이상의 DME 연료를 사용하였으며, 윤활향상제 후보물질을 크게 세 가지로 나누어 윤활특성을 평가하였다.

2.1 실험 내용

2.1.1 실험 장치

현재 국내외적으로 공식적인 DME 연료의 윤활성 측정 장비 및 관련 시험규격이 없으므로 본 연구에서는 DME 연료 윤활성 측정을 위해 Fig. 1과 같이 피닉스(社)의 TE 90을 부분 개조하여 측정하였다. TE90의 측정 조건은 HFRR과 동일하게 설정하였으며, 실험온도는 실온으로 설정하였다. 또한 고무재질 부품을 FFKM (Perfluoro Elastomer)으로 교체하였으며, 액상 DME의 윤활성을 측정 할 수 있도록 압력챔버를 장착하고 액화된 DME 주입시스템을 설계하여 적용하였다.

2.1.2 시험 방법

윤활향상제 후보물질의 윤활성은 PCS instrument (社)의 HFRR를 사용하였으며, ISO 12156 방법에 따라



Fig. 1 Modified TE90 lubricity tester for pressurized DME fuel

측정하였다. 구체적인 방법으로는 시료 2mL를 60℃에서 75분 동안 50Hz의 주파수와 200g의 하중을 이용하여 금속 원판[PCS Instrument(社)의 지름 1cm 원판]과 시험구[PCS Instrument(社)의 외경 6mm 금속구]를 왕복마찰에 의해 시험구에 생성된 마모흔(MWSD, Mean Wear Scar Diameter)을 현미경[MEJI TECHNO(社)의 Infinity 1]을 사용하여 측정하였다.

2.2 윤활제 후보물질 선정

DME 연료는 경유 대체 연료임을 고려하여 기존 경유용 윤활향상제를 평가하였으며, 윤활성이 좋은 청정연료로 현재 경유에 혼합 사용되고 있는 바이오디젤도 평가하였다. 또한, 대표적인 윤활성향상제 화학구조 물질 중 에스테르계 물질과 불포화지방산, 지방산아미드 등의 적용가능성을 검토하였다.

2.2.1 첨가제 후보물질 물성 측정

윤활향상제 후보물질의 밀도는 Anton Paar(社)의 DMA 500을 이용하여 KS M 2002방법에 의해, 동점도는 Cannon(社)의 CAV2100을 이용하여 KS M 2014방법에 의해, 함 함량은 Mitsubishi Chemical Corp의 TS-100V Trace Sulfur/Nitrogen Analyzer를 이용하여 ASTM D 5433방법에 의해 측정하였으며, 유동점은 TANAKA(社)의 MPC-602를 이용하여 KS M 2016 방법에 의해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

윤활첨가제의 물성은 연료와의 혼합 안정성, 저온 특성 및 환경성 등과 관련이 있으므로 윤활향상제 후보물질의 물성과 윤활성을 측정하여 분석하였다. 또한 기존 하강에 따른 특정 윤활향상제의 용해성을 분석, 실제 커먼레일 DME 차량에서의 윤활향상제 특성을 분석하였다.

3.1 첨가제 후보물질 물성 측정

DME의 밀도는 20℃에서 0.67g/cm³ 정도인데, 첨가제 후보물질의 밀도는 15℃에서 0.8g/cm³ 이상으로 DME 대비 높게 나타났다. 또한, 경유용 윤활향상제는 타 후보물질군 대비 동점도 및 황분은 높고 저온특성(유동점)은 양호하였다.

3.2 첨가제 후보 물질 윤활성 측정

첨가제 후보 물질의 윤활성을 측정된 결과, 전반적

으로 경유용 윤활향상제와 산계 윤활 향상제의 윤활성이 우수하였다. Fig. 2와 같이 HFRR과 TE90 모두 경유용 윤활향상제 중에서는 LZ539M, 바이오 디젤 중에서 Ricinoleic acid, 에스테르계 물질 중에서는 Methyl linolenate (C 18:3)이 가장 좋은 윤활성을 나타내었다.

첨가제의 산도(acidity)는 줄이고 윤활성능을 개선하기 위하여 Fig. 3과 같이 바이오디젤 중 윤활성이 가장 좋은 들기름 BD(Bio Diesel)를 용매로 하여 첨가제 후보물질 혼합조성에 따른 윤활성을 평가하였다. 그 결과, 산성물질 혼합에 따른 윤활성은 더욱 개선됨을 확인하였다.

3.3 윤활향상제 농도에 따른 윤활성 측정

Fig. 4와 같이 윤활향상제의 추가적인 농도에 따른 윤

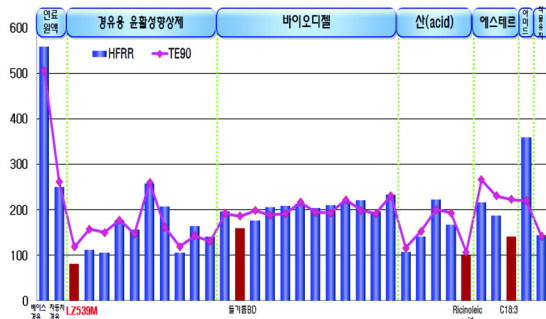


Fig. 2 Lubricity of additives for DME fuel

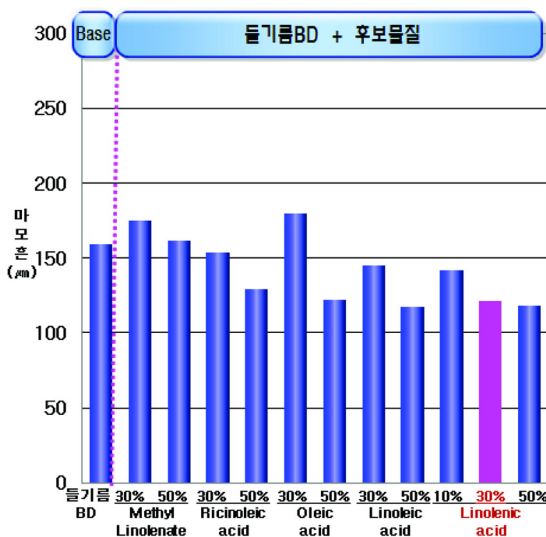


Fig. 3 Improvement of Lubricity of perilla BD

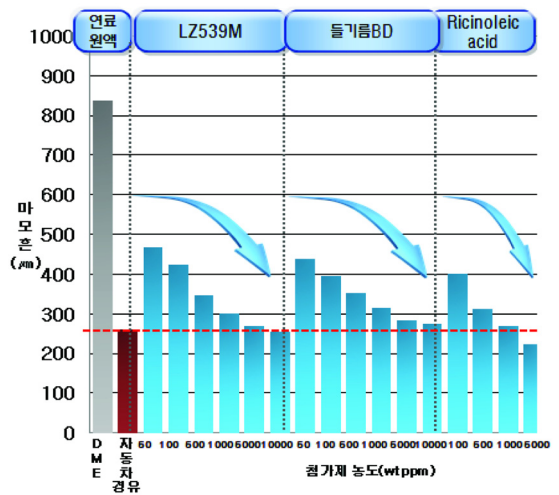


Fig. 4 Lubricity of DME blended with additives

활성을 측정 한 결과 1,000ppm 이상 첨가 시 모든 윤활 향상제에서 경유와 비슷한 수준의 윤활성이 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나, 이는 윤활성의 비율이 상대적으로 증가됨에 따라 발생하는 결과인 것으로 추측된다.

3.4 DME 차량에서의 윤활향상제 적용성 평가

Fig. 5는 충북 충주시의 2012년 11월부터 2013년 1월 까지 일자별 충주시의 온도 변화를 나타낸 그래프이다. '12년 11월 평균 온도와 최저온도는 -1℃와 -5.9℃를

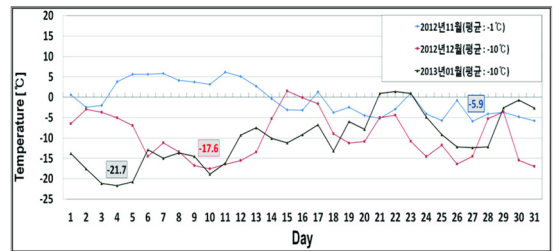


Fig. 5 Temperature Change of Chungju-si

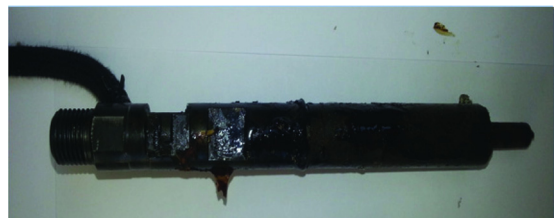


Fig. 6 DME Common rail Injector

나타내었고 '12년 12월과 '13년 1월 평균 온도는 -10°C 로 동일하였으나, 최저 온도는 -17.6°C 와 -21.7°C 를 각각 나타내었다. 이러한 기온 하강으로 인해 DME 차량의 시동 및 가속 불량 현상이 발생하였다. 이러한 문제점을 분석하기 위해 Fig. 6과 같이 DME 인젝터를 탈거하여 분석한 결과 연료내의 윤활첨가제가 기온 하강으로 인한 용해성 저하로 다량의 슬러지가 발생됨을 확인할 수 있었다. 이러한 슬러지는 인젝터 내부 유압회로의 비정상적인 구동을 유발시켜 인젝터 내부에 위치한 감압밸브를 손상시킴으로서 연료의 정상적인 분사가 이루어지지 않는 결과를 초래한다.

4. 결론

순도 99.9% 이상의 DME 연료를 사용하여 윤활향상제 후보물질에 대한 윤활특성을 평가하고 분석하였다. 또한 DME 실증 차량을 통해 기온 하강에 따른 연료내 윤활향상제 용해성 및 그에 따른 결과를 분석하였다.

1) 경유용 윤활향상제 중에서는 LZ 539M, 바이오디젤 중에서 Ricinoleic acid, 에스테르계 물질 중에서는 Methyl linolenate(C 18:3)이 가장 좋은 윤활성을 나타내었다.

2) Bio Diesel를 용매로 하여 첨가제 후보물질 혼합 조성에 따른 윤활성을 평가 한 결과, 산성물질 혼합에 따른 윤활성은 더욱 개선됨을 확인할 수 있었다.

3) DME 실증 차량을 통해 윤활향상제의 성능을 평가한 결과, 저온 용해성 향상을 위한 윤활활성제(계면활성제)의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 논문은 지식경제부에서 지원하는 에너지자원융합원기술개발사업의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 관계기관에 감사를 전합니다.

References

- 1) Ho Teng and James C. McCandless, "Comparative Study of Characteristics of Diesel-Fuel and Dimethyl-Ether Sprays in the Engine," SAE paper, 2005-01-1723, 2005.
- 2) Mitsuru Konno, Kazuki Chiba and Takeshi Okamoto, "Experimental and Numerical Analysis of High Pressure DME Spray," SAE paper, 2010-01-0880, 2010.
- 3) Junepyo Cha, Su-Han Park, ChangSik Lee and Sung-Wook Park, "Study on Spray and Exhaust Emission Characteristics of DME-Biodiesel Blended Fuel in Compression Ignition Engine," KSME-B, 35(1), pp.67~73, 2011.
- 4) SooJin Jeong, JungKwon Park and SangIn Lee, "Study on the Optimum Design of High Pressure Common-rail DME Injector Nozzle with Consideration of Cavitation," Transactions of KSAE, Vol.21, No.1, pp.99-106, 2013.
- 5) Ho Teng, James C. McCandless and Jeffrey B. Schneyer, "Viscosity and Lubricity of (Liquid) Dimethyl Ether - An Alternative Fuel for Compression-Ignition Engines," SAE paper, 2002-01-0862, 2002.
- 6) Sivebk, I.M. and Sorenson, S.C., "Dimethyl Ether (DME) - Assessment of Lubricity Using the Medium Frequency Pressurized Reciprocating Rig Version 2 (MFPRR2)," SAE Paper, 2000-01-2970, 2000.
- 7) Sivebk, I.M., "Development of a Test Method Capable of Establishing the Lubricity of Dimethyl Ether," Report No. ET-EP-2000-3, Technical University of Denmark, 2000.
- 8) YoungKwan Lim, JeongMin Lee, ChoongSub Jung and JongRyeol Kim, EuiSoon Yim., "The study of lubricity for DME fuel by additives," KSTLE 2011 Annual Conference, pp.11-12, 2011.
- 9) SooJin Jeong, JungKwon Park., "The Status and Prospect of Development of Environment-friendly DME Vehicle," Auto Journal, Vol. 35, No. 2, pp. 29-35, 2013.