

## 디메틸에테르에 첨가된 윤활성향상제의 윤활특성에 관한 연구

박천규<sup>\*†</sup> · 장은정 · 정충섭 · 이봉희<sup>\*</sup> · 나병기<sup>\*\*</sup>

한국석유관리원 석유기술연구소  
<sup>\*</sup>충북대학교 화학공학과

### Study on Lubrication Characteristics of Lubrication for Lubricity Improver in Dimethyl Ether

Cheonkyu Park<sup>\*†</sup>, Eunjung Jang, Choongsub Jung, Bonghee Lee<sup>\*</sup> and Byungki Na<sup>\*\*</sup>

Korea Institute of Petroleum Management, 653-1 Yangchung-ri, Ochang-eup, Chungwon-gun,  
Choongbuk, 363-883, Korea

<sup>\*</sup>Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University, 410 Seongbong-ro, Heungduk-gu,  
Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

(Received November 20, 2012 ; Revised January 10, 2013 ; Accepted January 17, 2013)

**Abstract** – Dimethyl ether (DME) has a high cetane number that is suitable for diesel fuel. DME does not contain sulfur or nitrogen, and is an oxygenated fuel so it produces no particulate matter when combusted and is environmentally friendly. DME fuel for diesel engines show excellent material properties such as a lower volumetric heating value, lower boiling point, lower lubricity, and stronger solvent effect than light oil. This study experimentally examined a lubricity improver (LI) for dimethyl ether. A diesel LI based on biodiesel and fatty acid methyl ester was tested among DME LI candidates. The long-term storage stability and physical properties of the optimum LI for DME were determined.

**Keywords** – dimethyl ether(디메틸에테르), lubricity(윤활성), additive(첨가제)

## 1. 서 론

디메틸에테르(Dimethyl ether, DME)는 합산소연료로 연소특성이 우수하고 세탄가가 높아 청정한 경유 대체 연료로 평가받고 있다[1,2].

DME는 구조식이  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ 인 합산소물질로 산소함 유율이 34.8%로 높으며, 분자구조상 탄소 고리를 형성하지 않기 때문에 입자상 물질의 배출이 거의 없고, 세탄가가 기존 디젤연료와 유사한 55로 높고 착화온도가 235°C로 낮아 착화성이 우수한 장점을 지니고 있다.

착화성이 우수한 특징을 지닌 반면에 DME는 분자량이 작고 극성이면서, 윤활성분이 포함되어 있지 않기

때문에 DME 자체만으로 기존의 차량시스템에 연료로 이용을 할 경우, 엔진과 연료펌프 부분에 심각한 마모 현상을 초래해 안전성에 악영향을 미치게 된다[3,4]. 따라서 엔진 및 연료라인의 마모를 최소화하고 안전성을 확보하기 위해 DME용 윤활성향상제 개발이 반드시 선행되어야 한다.

일반적으로 기계적 메커니즘에 의한 힘의 전달 또는 방향을 전환할 때 상대적으로 움직이는 두 면에서 필연적으로 마찰이 발생하게 되며, 이때 생성되는 마찰을 감소시키기 위해 윤활제가 필요하게 된다[5-7]. 자동차의 경우, 마찰부위에 따라 요구되는 윤활성능이 다르며, 이에 따른 적합한 윤활제를 사용하게 된다[8].

본 연구에서는 DME에 적합한 윤활성향상제를 개발하기 위하여 윤활성이 우수한 불포화지방산 및 지방산

<sup>†</sup>주저자 : [kpqi1176@kpetro.or.kr](mailto:kpqi1176@kpetro.or.kr)

<sup>\*</sup>책임저자 : [nabk@chungbuk.ac.kr](mailto:nabk@chungbuk.ac.kr)

**Table 1. Lubricity improvers for Diesel**

	Products	Maker	others
1	A	Lubrizol	A refinery (50~200 ppm)
2	B	H-PLUS ECO	B refinery (20 ppm)
3	C	E Max Solution	C refinery (30 ppm)
4	D	E Max Solution	-
5	E	Basf	-
6	F	Afton	-
7	G	Afton	-
8	H	Infineum	-
9	I	Infineum	-
10	J	Infineum	D refinery (20 ppm)

**Table 2. General carboxylic acid typed compounds of Lubricity improver**

Carboxylic acid	$\text{R}_1-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	Carboxylic acid ester	$\text{R}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}_5$
Carboxylic acid ester	$\text{R}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}_3$	Carboxylic acid amide	$\text{R}_6-\text{C}(=\text{O})-\text{N}(\text{R}_7)-\text{R}_8$

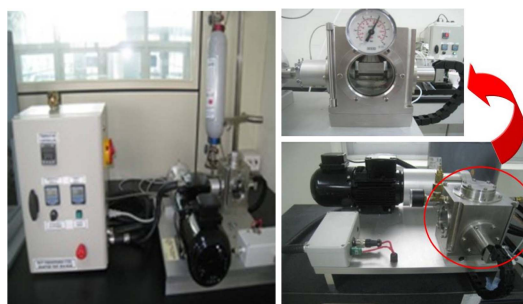
에스테르계 화합물 등의 적용가능성을 평가하였다. DME는 상온, 상압에서 가스상 물질이므로 상온에서 6~7 bar의 압력으로 액화된 DME 연료의 윤활성을 측정하기 위한 장비를 구축하여 경유용 윤활성 분석장비인 HFRR(High Frequency Reciprocating Rig)과 비교평가하였다. 또한, 첨가제 원액 및 첨가제 혼합 DME의 연료특성과 혼합 및 저장안정성 등에 대해 평가하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 윤활성향상제 후보물질 선정

DME의 윤활성향상제 후보물질로 크게 네 가지 물질들을 검토하였다. 첫째, DME가 경유 대체연료임을 감안하여 기존 경유용 윤활성향상제 10종의 적용가능성을 검토하였다. 둘째, 윤활성이 좋은 청정연료로 현재 경유에 혼합사용 되고 있는 대두유 바이오디젤 등 12종의 적용가능성을 검토하였다.

셋째, 대표적인 윤활성향상제 화학구조 물질 중 에스테르계 물질과 불포화지방산, 지방산아미드 등의 적

**Fig. 1. Lubricity test equipment(TE 90) for DME.**

용가능성을 검토하였다. 윤활성향상제로 사용되는 물질들의 대표적인 화학구조를 살펴보면 Table 2에 나타난 것과 같이 불포화지방산과 같은 산계 윤활성향상제, 지방산 글리세린 에스테르와 같은 에스테르계 윤활성향상제와 지방산 아미드 등이 있다. DME용 윤활성향상제 적용가능성을 평가하기 위해 각각의 화학구조별로 액상 DME에의 용해성과 탄소수를 고려하여 9종의 후보물질을 선택하였다

마지막으로, 윤활성이 좋은 지방산 메틸 에스테르의 유도체를 합성하여 산화안정성이 개선된 윤활성향상제 후보물질을 검토하였다.

### 2-2. 시험방법 및 장치

#### 2-2-1. 윤활성 시험장치 및 시험방법

전 세계적으로 경유의 윤활성은 HFRR로 측정하도록 법적으로 규정하고 있다. 하지만 DME는 일반 대기압과 실온에서 가스 상 물질이기 때문에  $-25^{\circ}\text{C}$  또는 6~7 bar에서 액화되는 DME 연료의 윤활성을 측정하기 위해 새로운 형태의 윤활성 측정장비가 요구되었다. Fig. 1은 실험에 사용된 TE90을 보여준다.

DME 연료의 윤활성을 분석하기 위해 피닉스(Phoenix)사의 TE90을 개조하여 측정장치를 구축하였다. 액상 DME의 윤활성을 측정할 수 있도록 압력챔버를 장착하였고 액화된 DME 주입시스템을 도입하였다. DME가 고무재질을 용해 및 팽윤시키는 성질을 감안하여 고무재질의 부품은 FFKM (Perfluoro Elastomer)로 교체하였다.

측정시료 2 mL를 압력챔버에서 75분 동안 50 Hz의 주파수와 200 g의 하중을 이용해 금속원판과 시험구를 왕복마찰시킴으로서 시험구에 생성된 마모흔(Wear scar diameter)을 현미경(MEJJI TECHNO사의 Infinity 1)을 이용해 측정하였다.

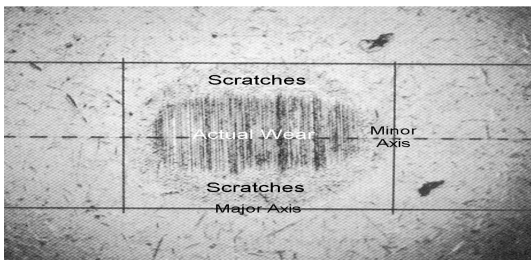


Fig. 2. Example of a wear scar showing the minor and major axes and different zones of wear.

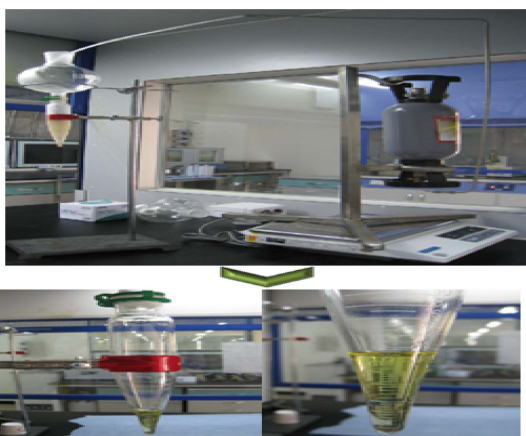


Fig. 3. Stability test apparatus of DME-LI mixture.

마모흔은 시험구와 금속원판의 마찰로 생긴 흔적으로 그 크기가 클수록 시료의 윤활성이 떨어지는 것을 의미하며, 관찰된 마모흔으로부터 분석 시 습도와 온도가 고려되어 보정마모흔이 계산된다.

2-2-2. 저장/혼합안정성 시험방법

DME 혼합연료 저장/혼합안정성은 KS M ISO 13757 ‘액화석유가스-유성잔류물의 검출방법’을 참고하여 다음과 같은 순서로 진행하였다. ①유리제 기구(눈금시험관, 증발 플라스크)를 세척하여 수분, 이물질을 제거한 후, ②눈금시험관을 105±2°C의 건조기에서 30분 동안 건조시키고 데시케이터에서 30분 동안 방랭한 후 무게를 0.1 mg까지 측정하였다(A). ③증발플라스크와 눈금시험관을 조립한 후 조립한 부분을 플라스틱 고정기로 고정하였다. ④시료가 들어 있는 연료통의 무게를 잰 후( $m_1$ ) Fig. 3과 같이 장치를 조립하였다. ⑤연료통의 밸브를 열어 액상의 시료를 눈금시험관과 증발플라스크로 이송하였다. ⑥시료 약 150~200 g을 이송한 후 연료통의 밸브를 잠그고 장치를 분해한 후 시

료가 들어 있는 연료통의 무게를 재었다( $m_2$ ). ⑦시료가 모두 증발되면 유리제 기구(눈금시험관, 증발플라스크)를 분해한 후 눈금시험관을 하루정도 실온에서 보관한 뒤 눈금시험관에 남아있는 첨가제 부피 및 눈금시험관의 무게를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 윤활성 실험결과

Table 3에는 윤활성향상제 후보물질에 대한 원액의 윤활성을 측정하여 나타내었다. HFRR 측정결과, 경유용 윤활성향상제 중에서는 A (81 μm), 바이오디젤 중에서는 들기름 바이오디젤 (perilla oil BD, 159 μm), 에스테르계 윤활성 향상물질 중에서는 methyl linolenate (C18:3, 142 μm), 산(acid)계 윤활성 향상물질 중에서는 ricinoleic acid (100 μm)가 가장 좋은 윤활성을 나타내었다. 식물성유지인 castor oil의 윤활성도 145 μm로 methyl linolenate 만큼 우수했다.

에스테르계 윤활성 향상물질은 이중결합이 많을수록 윤활성이 향상되었으며, 바이오디젤 역시 구성성분 중 분자길이가 길고 이중결합이 많은 methyl linolenate (C18:3) 함량이 가장 높은 들기름 바이오디젤이 가장 큰 윤활성을 나타내었다. 팜 바이오디젤의 경우 탄소체인이 짧은 methyl palmitate(C16:0) 성분이 많이 함유되어 있어 다른 원료 대비 윤활성이 떨어지는 것으로 판단된다. 들기름, 팜 및 올리브유 바이오디젤을 제외하고는 윤활성 측정범위가 HFRR의 반복성범위 (63 μm) 내에 포함되므로 바이오디젤 원료에 따른 윤활성은 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

경유용 윤활성향상제 중에서는 A, 바이오디젤 중에서는 들기름 바이오디젤, 에스테르계 윤활성 향상물질 중에서는 methyl linolenate (C18:3), 산(acid)계 윤활성 향상물질 중에서는 ricinoleic acid가 가장 좋은 윤활성을 나타내었다. TE90 측정결과에서도 전반적으로 경유용 윤활성향상제와 산계 윤활성 향상물질의 윤활성이 우수하였다.

3-2. 후보물질 혼합에 따른 윤활성 실험결과

일반적으로 산(acid)계 물질들은 연료 인젝터와 엔진 부위에 부식을 야기시킬 수 있기 때문에 성능 및 경제성 등을 맞추기 위해 용매에 2~3가지 산성물질을 조합하여 제조되고 있다.

이에 따라, 첨가제의 산도(acidity)는 줄이고 윤활성은 개선하기 위하여 바이오디젤 중 윤활성이 가장

**Table 3. Test results of lubricity additives using HFRR and TE90**

Candidates		HFRR results ( $\mu\text{m}$ )	TE90 results ( $\mu\text{m}$ )
Base Fuel	DME	-	839.5
	Automotive diesel <sup>1)</sup>	559	507.0
	Base diesel <sup>2)</sup>	250	262.5
Lubricity improver for diesel	A	81	118.5
	B	112	158.0
	C	106	150.5
	D	176	177.5
	E	156	147.0
	F	258	260.5
	G	207	162.0
	H	106	119.0
	I	165	143.0
	J	142	131.0
Candidates of acid type	Oleic acid	107	116.5
	Octadecanoic acid	143	153.0
	Linoleic acid	223	200.5
	Linolenic acid	168	193.0
	Ricinoleic acid	100	107.0
Biodiesel	Soybean BD	197	192.5
	Perilla oil BD	159	186.0
	sunflower oil BD	176	198.5
	corn oil BD	206	188.5
	Sesame oil BD	209	192.0
	pepper seed oil BD	214	217.0
	Cottonseed oil BD	205	195.0
	rapeseed oil BD	210	193.5
	grape seed oil BD	217	222.5
	olive oil BD	221	199.0
Candidates of ester type	used cooking oil BD	196	191.5
	palm oil BD	234	232.0
	Methyl oleate(C18:1)	216	266.5
amid type	Methyl linoleate(C18:2)	187	230.5
	Methyl linolenate(C18:3)	142	223
Vegetable oil	N,N-Diethyl dodecanamide	359	220
	Castor oil	145	141.5

1) 품질기준을 만족하는 일반 자동차용 경유

2) 바이오디젤 및 타 첨가제가 혼합되지 않은 순수 경유유분

**Table 4. Test results of lubricity additives with 2 kinds mixture**

Additives (vol.%)	Lubricity ( $\mu\text{m}$ )
Perilla oil BD	159
Methyl linolenate(30%)+Perilla oil BD(70%)	175
Methyl linolenate(50%)+Perilla oil BD(50%)	162
Ricinoleic acid(30%)+Perilla oil BD(70%)	154
Ricinoleic acid(50%)+Perilla oil BD(50%)	129
Oleic acid(30%)+Perilla oil BD(70%)	180
Oleic acid(50%)+Perilla oil BD(50%)	122
Linoleic acid(30%)+Perilla oil BD(70%)	145
Linoleic acid(50%)+Perilla oil BD(50%)	117
Linolenic acid(10%)+Perilla oil BD(90%)	142
Linolenic acid(30%)+Perilla oil BD(70%)	121
Linolenic acid(50%)+Perilla oil BD(50%)	118

좋은 들기름 바이오디젤을 기본 용매로 하여 첨가제 후보물질 혼합조성에 따른 윤활성을 평가하였다.

Table 4에 나타낸 바와 같이 후보물질 혼합량 대비 윤활성 개선효과를 검토한 결과 들기름 바이오디젤에 linolenic acid를 30 부피% 혼합하였을 때 윤활성이 121  $\mu\text{m}$ 로 가장 우수하였다. oleic acid를 50부피% 혼합 조성물도 윤활성이 우수하지만 oleic acid는 유동점이 10°C로 저온특성이 열악하므로 다량 혼합 시 저온 특성에 문제가 발생할 수 있으며, linolenic acid를 50 부피% 혼합한 조성물은 30부피% 혼합 대비 윤활성 개선효과가 거의 없었다.

Table 5에는 linolenic acid가 30부피% 혼합된 들기름 바이오디젤을 기본조성으로 하고 윤활성 향상 및 경제성 등을 확보하기 위하여 후보물질을 한 가지 더 혼합하여 윤활성 개선효과를 평가하였다.

또한, 첨가제 혼합물의 저온특성 등을 고려할 때 바이오디젤의 저온특성(약 0)로 열악하기 때문에 바이오디젤 함량을 최소화하고 경제성 및 윤활효과를 고려하여 평가한 결과, 들기름 바이오디젤(60부피%), linolenic acid(30부피%), linoleic acid(10부피%) 조성물이 가장 좋은 윤활성향상제로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 최적 윤활성향상제로서 바이오디젤(60부피%), linolenic acid(30부피%), linoleic acid(10부피%) 조성물을 최적 첨가제(KPetro LI)로 선정하였다.

**Table 5. Test results of lubricity additives with 3 kinds mixture**

Additives (vol.%)	Lubricity (μm)
+ Perilla oil BD(70%)	121
+ Perilla oil BD(60%) + Ricinoleic acid(10%)	128
+ Perilla oil BD(60%) + Oleic acid(10%)	107
+ Perilla oil BD(40%) + Oleic acid(30%)	112
+ Perilla oil BD(60%) + Linoleic acid(10%)	102
Linolenic acid (30%) + Perilla oil BD(40%) + Linoleic acid(30%)	111
+ Perilla oil BD(69%) + 1,2-hydroxystearic acid(1%)	184
+ Perilla oil BD(69%) + Octadecenoic acid(10%)	151
+ Perilla oil BD(60%) + Methyl linolenate(10%)	120
+ Perilla oil BD(60%) + Methyl linolenate(30%)	121
+ Perilla oil BD(69%) + Methyl benenate(1%)	127

**3-3. DME-윤활성향상제 혼합연료 평가**

유럽 등 DME 엔진 및 자동차개발 선진국 등에서 적용하고 있는 윤활성첨가제는 주로 바이오디젤을 사용하고 있으며, 첨가량은 약 1 wt%를 적용하고 있어 본 연구에서는 윤활성 후보물질 첨가량을 1 wt%를 기준으로 국내 품질기준 (400 μm 이하) 및 자동차용 경유의 평균 품질수준 (약 270 μm)을 고려하여 윤활성 개선효과를 비교평가하였다.

Table 6에서는 윤활성향상제 후보물질이 DME연료에 혼합되었을 때의 윤활성 개선효과를 평가하기 위하여 각 후보물질 군에서 원액 윤활성이 좋았던 물질들을 DME에 혼합하여 윤활성을 측정하였다.

윤활성향상제 첨가농도에 따른 DME 혼합연료의 윤활성 평가를 위하여 후보물질 중 윤활성이 좋았던 윤활성향상제 2종, 들기름(perilla oil) BD, ricinoleic acid, 최적첨가제의 첨가농도에 따른 윤활성을 평가한 결과, Table 6에서 보는 바와 같이 각각 윤활성첨가제 A는 첨가농도에 따라 271~266 μm, D는 249.0, 들기

**Table 6. Test results of DME-LI mixture according to the types of additive**

Test samples	Lubricity (μm)
DME	839.5
Base fuels	
Base diesel <sup>1)</sup>	507.0
Automotive diesel <sup>2)</sup>	262.5
DME + A(0.5 wt%)	271.0
DME + A(1.0 wt%)	256.0
Lubricity improverfor diesel	
DME + B(0.5 wt%)	327.5
DME + C(0.5 wt%)	298.5
DME + D(0.5 wt%)	249.0
DME + E(0.5 wt%)	276.0
DME + F(0.5 wt%)	260.5
DME + Perilla oil BD(0.5 wt%)	284.0
DME + Perilla oil BD(1.0 wt%)	275.5
Biodiesel	
DME + Soybean oil BD(1.0 wt%)	324.0
DME + corn oil BD(1.0 wt%)	297.5
DME + Sesame oil BD(1.0 wt%)	301.5
DME + Oleic acid(0.5 wt%)	235.5
DME + Linoleic acid(0.5 wt%)	273.0
Acid type	
DME + Linolenic acid(0.5 wt%)	253.5
DME + Ricinoleic acid(0.5 wt%)	223.5
Ester type	
DME + Methyl linolenate(1.0 wt%)	309.0
vegetable oil	
DME + Castor oil(0.5 wt%)	270.0
Optimum additive	
DME + KPetro LI(0.5 wt%)	230.5

1) 바이오디젤 및 타 첨가제가 혼합되지 않은 순수 경유유분

2) 품질기준을 만족하는 일반 자동차용 경유

름 BD는 284~275.5, ricinoleic acid는 223.5 μm인 반면에 최적첨가제인 KPetro LI는 0.5 wt% 첨가시에 230.5 μm로 자동차용 경유의 262.5 μm를 상회하는 좋은 윤활성을 가짐을 확인할 수 있었다

**3-4. 윤활성향상제 첨가농도별 윤활성 평가**

윤활성향상제 첨가농도에 따른 DME 혼합연료의 윤활성 평가를 위하여 후보물질 중 윤활성이 좋았던 윤활성첨가제 A 및 D, 들기름 바이오디젤, ricinoleic acid, KPetro LI의 첨가농도에 따른 윤활성을 평가하였

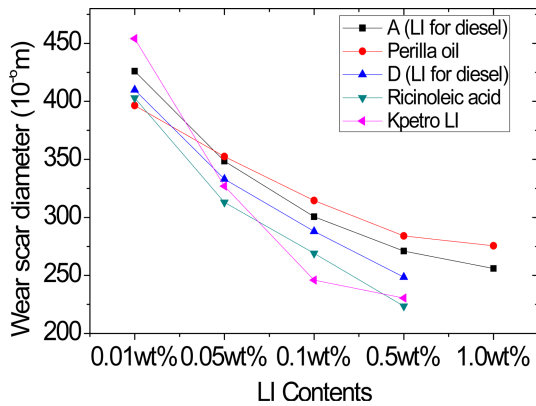


Fig. 4. Lubricity test results of DME-LI mixture according to LI contents.

다(Fig. 4). 0.0 ~1 wt% 범위에서 첨가농도를 변경하여 윤활성을 평가한 결과, 첨가제 농도가 증가함에 따라 윤활성이 향상되었다. 최적첨가제인 KPetro LI는 0.5 wt% 첨가시에 230.5  $\mu\text{m}$ 로 자동차용 경유의 262.5  $\mu\text{m}$ 를 상회하는 좋은 윤활성을 가짐을 확인할 수 있었다

### 3-5. 혼합/저장안정성 평가

DME용 윤활성향상제는 DME와의 혼합성이 좋고 연료 전체에 균일하고 안정적으로 혼합되어야 연료 사용 시 지속적인 윤활성 향상효과를 나타낼 수 있다. KS M ISO 13757 '액화석유가스(LPG) 유성 잔류물의 검출방법'을 참고하여 혼합연료 저장용기의 상단, 중단, 하단의 시료를 채취하여 DME를 증발시킨 후 첨가제 함량 분석을 통해 혼합안정성을 평가하였다.(Fig. 5)

윤활성이 가장 우수한 윤활성향상제 A, 들기름 바이오디젤 및 최적 첨가제 모두 시료무게 대비 첨가제 무게 함량(%)이 거의 일치하여, 세 가지 첨가제 모두 DME에 대한 혼합안정성이 우수한 것으로 판단된다.

또한, 실제 DME용 첨가제로 사용하기 위해서는 DME에 혼합 후 장기 저장안정성을 평가하였다. 첨가제가 혼합된 DME연료를 실온보관하면서 1주일 단위로 DME연료 일정량 중의 첨가제 함량을 혼합안정성 시험장치를 사용하여 평가하였다.

최적 윤활성향상제 후보물질에 대한 저장안정성 평가를 위하여 윤활성향상제 혼합 DME연료를 2개월간 실온보관하면서 1주일 단위로 DME연료 일정량 중의 첨가제 함량을 혼합안정성 시험장치를 사용하여 평가하였다. 윤활성첨가제 A는 4주, 들기름 바이오디젤과 KPetro LI는 8주 경과까지 첨가제 함량에 뚜렷한 변화

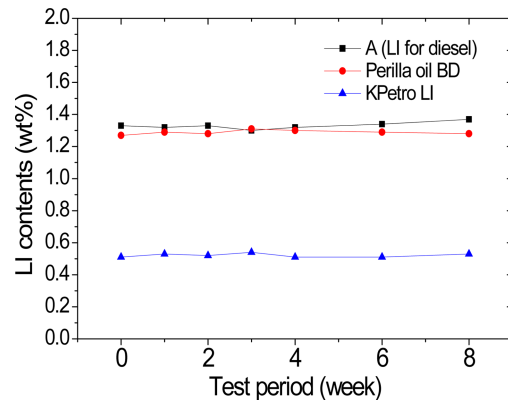


Fig. 5. Long term stability test of DME-LI mixture.

가 관찰되지 않았으나 시간 경과에 따라 첨가제 함량이 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 시간경과에 따라 DME와 첨가제의 밀도차에 의해 중력에 의한 상분리 현상이 발생함을 확인하였다.

## 4. 결 론

디메틸에테르 (Dimethyl ether, DME)는 석유대체연료로서 세탄가가 높고 합산소연료로 연소특성이 우수하여 경유 대체연료로 평가받고 있으나, 윤활성이 열악하여 이를 보조할 수 있는 첨가제 개발이 필수적이다. 이에 따라 본 연구에서는 DME용 윤활성첨가제를 개발, 평가하기 위하여 기존 경유용 윤활성첨가제, 지방산메틸에스테르 및 바이오디젤을 선정하여 DME용 윤활성첨가제를 평가하였다.

1) 경유용 윤활성향상제 중에서는 A, 바이오디젤 중에서는 들기름 바이오디젤, 에스테르계 윤활성 향상물질 중에서는 methyl linolenate (C18:3), 산(acid)계 윤활성 향상물질 중에서는 ricinoleic acid가 가장 좋은 윤활성을 나타내었다.

2) 첨가제 혼합물의 저온특성 등을 고려할 때 KPetro LI (들기름 바이오디젤(60부피%), linolenic acid(30부피%), linoleic acid(10 부피%) 조성물)가 가장 좋은 윤활성향상제로 평가되었다.

3) 윤활성향상제 혼합 DME 연료의 윤활성은 첨가제 원액의 윤활성 경향과 유사하였다. 타 후보물질 대비 산성 후보물질 혼합 DME연료의 윤활성이 좋았으며, 그 중 ricinoleic acid와 KPetro LI의 윤활성 개선 효과가 가장 좋았다.

4) 결론적으로 본 연구는 향후 DME 연료가 경유대

체연료로 보급될 경우 보급 활성화에 일익을 담당할 것으로 판단한다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업으로 수행된 연구결과임.

### 참고문헌

1. Youngduk Pyo, et al. "A Study on Performance and Exhaust Emissions of DI Diesel Engine Operated with Neat DME and DME Blends Fuels," *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 11, No. 2, pp. 75-82, 2003.
2. Y. J. Lee, "Dimethyl Ether as Alternative Diesel Fuel," *Journal of KSAE*, Vol. 23, No. 2, pp. 43-49, 2001.
3. S.G. An., M.Y. Kim, S.H. Yoon, J.H. Lee and C.S. Lee., "Combustion and Exhaust Emission Characteristics of DME in a Common-rail Diesel Engine," *Transactions of KSAE*, Vol. 15, No. 2, pp. 74-80, 2007.
4. F. Maroteaux, G. Descombes and F. Sauton, "Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine running with DME," *2001 ICE Spring Technical Conference*, Vol. 1, pp. 73-81, 2001.
5. 최응수, "윤활제 및 첨가제의 응용," 유체기계저널, 제9권, 제5호, pp. 42-49, 2006.
6. K. Jung, J. Choi, S. Moon and K. Chung, "A Study on Friction and Wear Characteristics of Nano-size Carbon," *Journal of KSTLE*, Vol. 24, No. 5, pp. 264-268, 2008.
7. J. H. Kim, S.C. Kang, K.W. Jung, W. Cho, and D. Han, "A Study on Synthesis and Wear Characteristics of Mo-DTP as Lubricant Additive," *Journal of KSTLE*, Vol. 5, No. 1, pp. 57-63, 1989.
8. W.D. Kim, D.K. Kim and Y.J. Chung, "Extreme Pressure Characteristics of Molybdenum Di-n-butoxydithiophosphate," *J. Korean End. Eng. Chem.*, Vol. 13, No. 2, pp. 162-165, 2002.