

엔진오일의 混合添加劑에 따른 潤滑特性에 관한 연구

李奉九 · 吳聖模*

원광대학교 기계공학과

*원광대학교 대학원 기계공학과

A Study on the Lubricational Characteristics with Compound Additives of Engine Oil

Bong-Goo Rhee and Seong-Mo Oh*

Department of Mechanical Engineering, Wonkwang University

*Graduate School Wonkwang University

Abstract—When engine oil is used under severe running condition, the Lubricational characteristics is very important. I have studied the Lubricational characteristics with Compound Additives of engine oil for the Falex wear test machine. Adding detergent (Ca-phenate) to engine oil, the seizure is more improved than in case of non-adding, and adding Zn-DTP (Zinc dialkyl dithio phosphate), the extreme pressure property is excellent at the high load. But when the PTFE (Polytetra Fluoro Ethylene) and MoS₂ (Molybdenum disulfide) are added, the temperature characteristics and the anti-wear property become excellent because the stability can be maintained in a high temperature. The result are as follows, it can be improved that when the compound of the Ca-phenate and Zn-DTP, MoS₂, PTFE, etc. was added to engine oil, the lubrication characteristics become better. It is argued that it is improved because of excellence of the anti-wear, the extreme pressure properties and the heat stability.

1. 序 論

1-1. 研究背景

상대운동을 하는 기계요소에서는 접촉하는 두 면에 따라 點接觸, 線接觸, 面接觸 등을 하고 있는데 이 접촉면은 여러 가지 상태의 변화로 인하여 복잡한 현상을 나타내고 있다. 그 대표적인 예가 摩擦, 磨耗 및 潤滑의 문제가 있다. 여기에서 가장 중요한 문제가 되는 것은 局部的 seizure(燒付, 눌어붙음)인 耐scuffing性으로 이는 摩擦, 磨耗, 極壓性, seizure현상 등 潤滑性에 관한 여러 가지 문제를 일으키며, 특히 자동차 엔진의 밸브 같은 것에 큰 손상을 가져온다. 따라서 摩擦과 磨耗 및 摩擦熱에 의한 표면 손상을 낮추고 동력손실을 절감하여 효율을 향상시키기 위해서 접촉하는 두 면 사이에 潤滑油를 사용하여 油膜을 형성시켜 摩擦, 磨耗 및 기계의 손상을 방지하고 있다. 여기에서 摩擦과 磨耗의 특성을 糾明하는 것이 무엇보다도 우선되어야 하며 특히 耐磨耗性 즉, 極

壓特性的 연구는 무엇보다도 중요하다. 특히, 고온과 고압 그리고 고하중과 고속회전하에서의 엔진오일은 자동차, 선박, 항공기 등의 潤滑油로 광범위하게 사용되므로 운전조건에 따라서 極壓性, 耐磨耗性, 耐熱性, 流動性, 粘度 特性 등의 물리적 성상의 향상과 酸化安定性 등의 化學的 性狀의 향상을 도모할 필요가 있다. 이러한 潤滑特性을 향상시키기 위해서는 添加劑가 널리 사용된다. 현재까지 개발되어 사용되는 潤滑添加劑는 종류가 매우 다양하지만 본 연구 실험에서 첨가 하고자 하는 添加劑는 淸淨劑인 Ca-phenate와 極壓劑인 Zn-DTP, 固體潤滑劑의 PTFE(polytetra fluoro ethylene, 四弗化 에틸렌 수지)와 MoS₂(二黃化 molybdenum) 등이다. 이 중에서 Ca-phenate는 엔진오일에서의 슬러지나 와니스 등의 침적물을 분산시키고 산을 중화시켜 腐蝕磨耗가 일어나지 않게 하며, 엔진내부를 청정하게 유지시키기 위하여 널리 쓰인다. Zn-DTP(Zinc dialkyl dithio phosphate)는 원래 酸化防止劑, 腐蝕防止劑로 뿐만 아니라 極壓劑

및 耐磨耗添加劑로서 엔진오일의 添加劑로 널리 사용되고 있다[1]. 따라서 潤滑劑의 潤滑特性에 대한 많은 연구가 진행되고 있는데 君島孝尚[2]과 Thorp [3]는 新油(new oil)에 Ca-phenate와 Zn-DTP 添加劑를 첨가하여 磨耗特性을 조사하였으며 그 결과 遷移領域 이전에서 거의 영향을 미치지 않는 반면 遷移領域의 이후에서는 어느 정도 磨耗에 영향을 주는 현상을 관찰하였다. Bartz[4]는 極壓 및 添加劑 첨가시 添加劑의 濃도가 증가됨에 따라 添加劑의 無添加時보다 좋은 磨耗 特性을 나타내고 있다. 固體潤滑劑로서 유기화합물인 MoS₂와 PTFE가 널리 쓰이고 있는데[5] B.J. Briscoe[6]와 松本[7] 등은 固體潤滑劑에 따른 磨耗特性에 대하여 더욱 발전된 연구를 하였고, 曾田[8]과 中原[9] 등은 PTFE의 潤滑작용에 관한 연구에서 PTFE를 混入할 경우 無添加 潤滑面의 경우보다 마찰력이 훨씬 크게 나타나며, 그 변동 폭이 현저히 크게 나타나는 것을 실험적으로 고찰하였다. 그리고 PTFE는 우수한 耐熱性, 耐藥品性, 耐磨耗性, 電氣絶緣性 등의 潤滑油에 비교하여 훨씬 저온 혹은 고온에서 潤滑이 가능하므로 混合材料로의 연구가 진행되고 있다[10]. 이상과 같은 연구를 통하여 엔진 오일에 있어서 添加劑가 極壓性에 미치는 潤滑特性은 많은 연구과제로 남아 있다. 한편 이러한 많은 과제를 연구하기 위하여 Four ball test machine, Timken test machine, Falex wear test machine 등이 사용되는데 본 연구에서는 엔진 오일에 Ca-phenate와 Zn-DTP, PTFE, MoS₂를 混合添加시켜 Falex wear test machine을 사용하여 그의 특성을 연구하고자 한다.

2. 實 驗

2-1. 實驗裝置

본 實驗에서 사용한 실험장치는 潤滑油의 摩擦과 磨耗, 極壓特性 등을 조사하기 위하여 펠렉스 시험기를 이용하였으며, Fig. 1에 본 실험장치의 概略圖를 圖示하였고, Fig. 2은 Journal과 V-block을 擴大 圖示하였으며, Table 1은 Journal과 V-block의 기계적 특성과 화학적 성분을 나타낸 것이다. 實驗裝置의 주요 구성 부분으로는 動力發生部, 動力傳達裝置, 試驗部, 荷重作用部, 磨耗量 測定部, 潤滑油 給油部로 구성되어 있다. 動力傳達裝置는 220 [V]-1/2[HP]의 교류전동기 1425/1725 [r.p.m]를 이용하여 구동력을 발생시켰으며, 벨트에 의하여 spindle은 290±10 [r.p.m]으로 회전한다. 試驗部는 Journal과 V-block으로 구

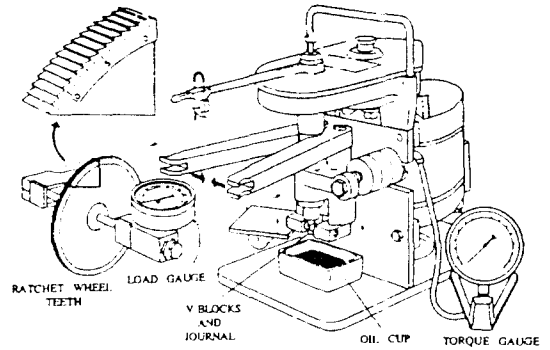


Fig. 1. Schematic diagram of test machine.

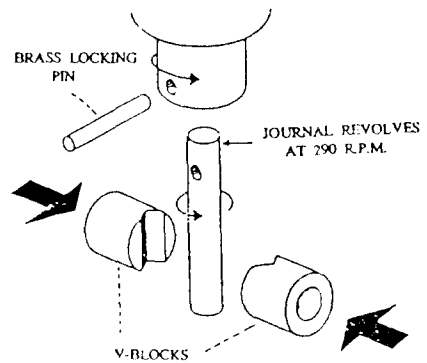


Fig. 2. Exploded view of V-blocks and Journal arrangement.

Table 1. Mechanical and chemical properties of Journal and V-block

Item Properties	Journal	V-block
Surface Roughness	5×10 μin (1.3×10 ⁻⁷ ~ 2.5×10 ⁻⁷ m)	5~10 μin (1.3×10 ⁻⁷ ~ 2.5×10 ⁻⁷ m)
Hardness	87~91(H _R B)	20~24(H _R C)
Chemical Composition (wt%)	C: 0.43~0.48 Mn: 1.60~1.90 S: 0.04 P: 0.035 Si: 0.20~0.35	C: 0.32~0.39 Mn: 1.35~1.65 S: 0.08~0.13 P: 0.04 Si: 0.15~0.30

성되어 있고, 표준시험 Journal의 외경은 1/4 inch (6.35 mm)이며, 길이는 1 1/4 inch(31.75 mm)이고 Journal의 재질은 SAE 3135이며, V-block은 ANSI 1137 steel 재질로써 각도 96±1[°]로 되어 있다.

Table 2. Physical properties of base oil and compound additives

Test oil	A oil	B oil	C oil	D oil	E oil
Kinematic Gravity. cSt					
40°C	215	199	205	208	212
100°C	20.3	15.9	16.4	16.7	17.1
Additives		Zn-DTP+ Ca-phenate	Ca-phenate	PTFE	MoS ₂
Additives Quantity wt%		Zn-DTP: 0.5 Ca-phenate: 2	2	2	2

Table 3. Properties of PTFE.

Item	Unit	Value
Physical Properties		
Specific gravity	kg/cm ³	22.14~2.20
Fusion point	°C	327
Mechanical Properties		
Tensile strength	kg/mm ²	280~350
Elongation percentage	%	200~400
Compressive strength	kg/mm ²	120
Hardness	Hv	700
Static coefficient of friction	μ	0.05

Table 4. Properties of molybdenum disulfide powder

Resolution temperature (°C /°F)	1098(2010)
Hardness Moh's	1~2.5
Specic gravity	4.8
MoS ₂ content(wt%)	98.9
Density	4.85~5.0
Heat resistant(°C)	-193~450
Pressure resistant(kg/cm ²)	290

Table 5. Composition of Zn-DTP

Additive	Elements	wt %
Zn-DTP	Zn	6.1
	S	4.9
	P	4.8

3, 4, 5 나타내었으며, 이중 PTFE와 MoS₂는 별도의 분산제를 사용하지 않고 상온에서 일정한 비율과 고속회전으로 homoanizer에 의하여 희석시켰다.

4. 實驗結果 및 考察

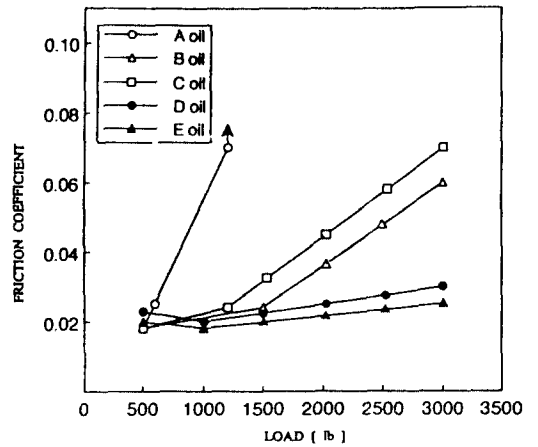


Fig. 5. Friction coefficient for load.

4-1. 荷重變化에 따른 摩擦特性

Fig.5은 荷重變化에 따른 摩擦係數의 變化를 나타낸 것으로 횡축에는 荷重 lb을 표시하고 종축에는 摩擦係數를 표시하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 전반적으로 seizure 발생영역이 일어나는 하중에 도달할 때까지는 작은 차이지만 일정지점을 지나면서 摩擦係數는 가속화되는 것을 알 수 있다. 新油는 1500 lb에서 seizure가 일어나고 Ca-phenate와 Zn-DTP를 첨가한 오일은 1200 lb부터 摩擦係數가 완만히 증가하기 시작한다. PTFE와 MoS₂ 첨가의 경우, 초기에는 微粒子로 인해 摩擦이 있어 다소 높은 摩擦係數를 나타냈지만, 500 lb에서 微小한 변화가 지속되다가 1500 lb를 지나면서부터 완만한 증가를 보이기 시작했다. 따라서 新油보다는 添加劑를 첨가한 것이 보다 더 摩擦特性이 향상된 것을 알 수 있다.

Fig. 6(a), (b), (c), (d), (e)는 위 실험하중으로부터 얻어진 토오크로서 이에 대한 마찰계수를 나타낸 것

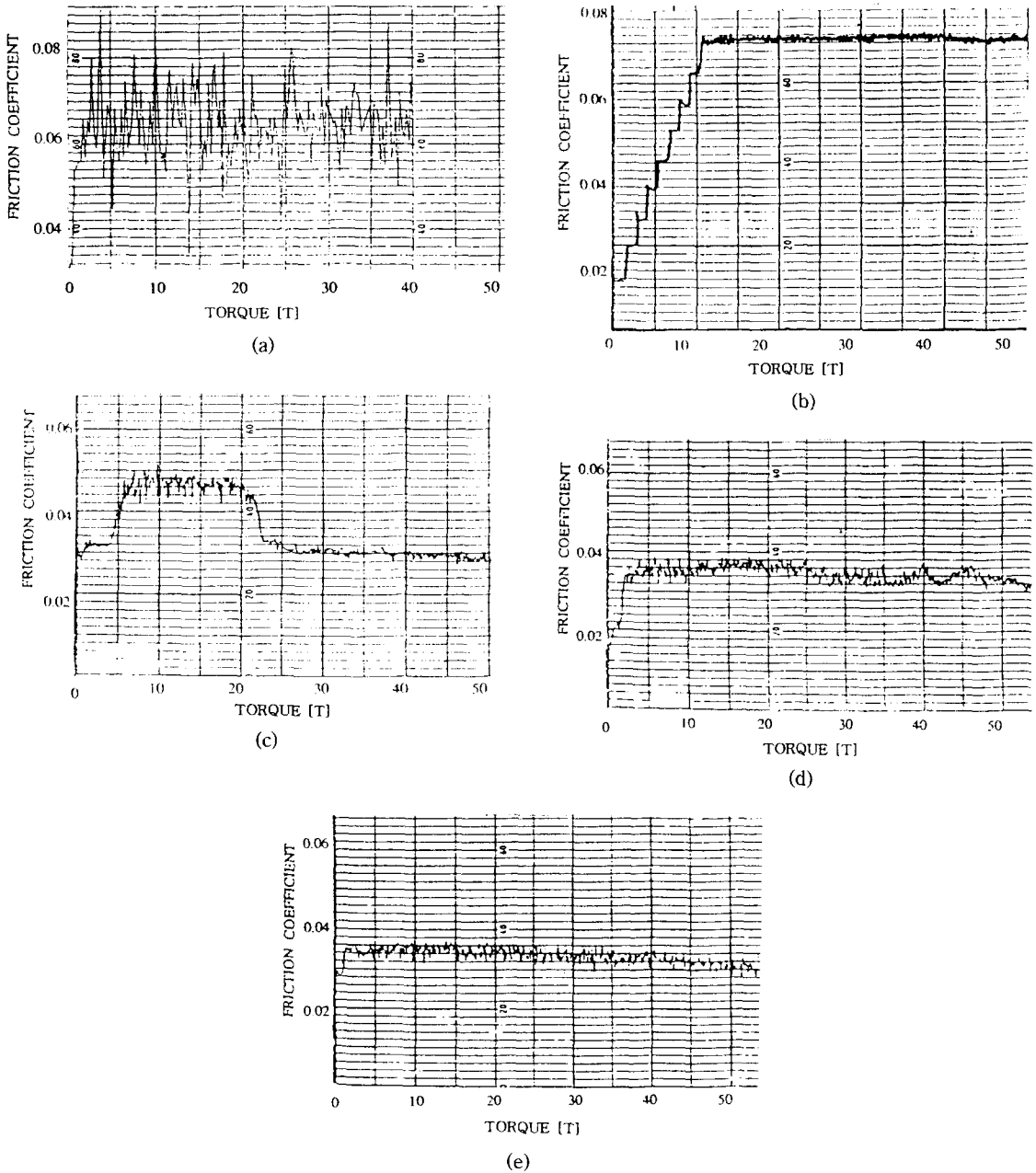


Fig. 6. Friction coefficient for torque

이다. (a)의 경우는 A oil에서의 마찰계수로서 0.05에서부터 0.08사이의 아주 큰 폭으로 심하게 나타나다가 Seizure가 나타났다.

(b)의 경우는 B oil로서 초기의 지속적인 증가와 더불어 0.07의 높은 값으로 유지되는 반면, C oil인

(c)의 경우는 초기에 높은 값을 나타내다가 0.03으로 점차 안정된 값을 나타내었다. (d)와 (e)의 경우는 D, E oil로써 초기 미립자로 인하여 높은값을 유지하다가 이후 약 0.04에서의 안정된 값을 유지한다.

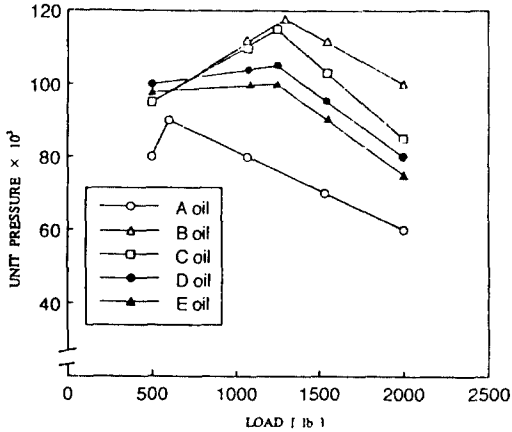


Fig. 7. Unit pressure for load.

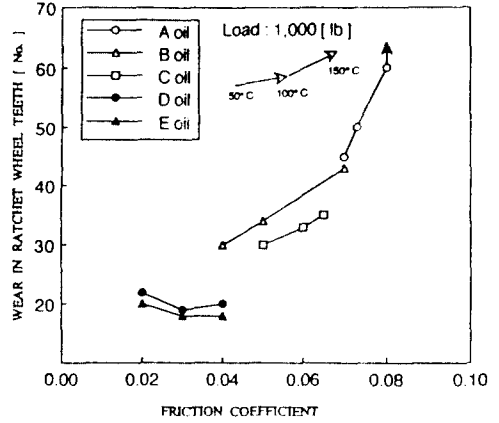


Fig. 9. Wear in ratchet wheel teeth for friction coefficient (effect of test temperature).

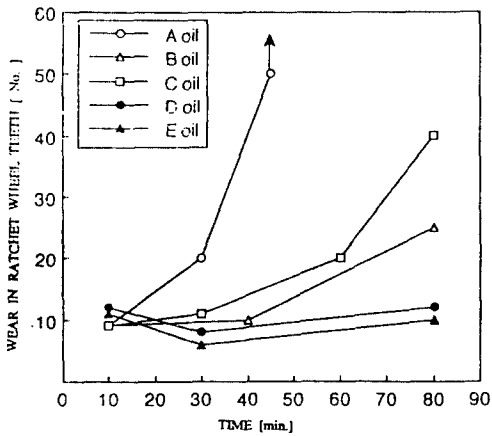


Fig. 8. Wear in ratchet wheel teeth for time.

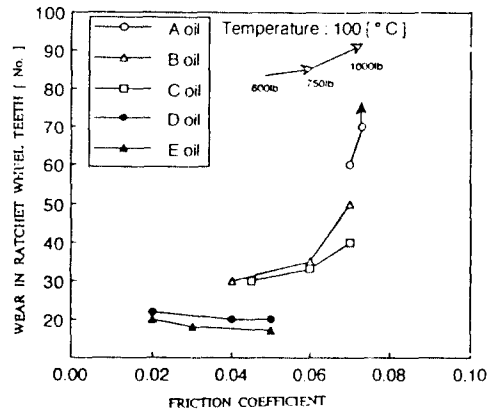


Fig. 10. Wear in ratchet wheel teeth for friction coefficient (effect of test load).

4-2. 荷重變化에 따른 極壓特性

Fig. 7는 荷重의 變化에 대한 單位壓力의 變化를 나타낸 것이다. 縱축에 單位壓力 [Psi]을 표시하고 橫축에는 荷重 gauge의 荷重lb을 표시하였다.

그림에서 나타난 바와 같이 일반적으로 遷移壓力 이전에서는 單位壓力이 증가하다가 그 점을 벗어나면 單位壓力은 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 한편 new oil은 600lb 부근에서, Ca-phenate와 Zn-DTP를 첨가한 oil의 경우에는 1400~1500lb에서, PTFE와 MoS₂를 첨가한 경우에는 1200lb에서 遷移壓力이 일어난다는 것을 알 수 있다. 따라서 실험결과 遷移壓力이 일어나는 점이 증가하는 것으로 보아 極壓성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

4-3. 時間變化에 따른 磨耗特性

Fig. 8은 時間變化에 따른 磨耗程度를 나타낸 것으로 橫축에는 時間 [min.]을, 縱축에는 磨耗量을 표시하는 ratchet wheel teeth number [No.]를 표시하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 表面을 改質하지 않고 無添加油을 사용한 경우 30분이 지나면서 아주 급격한 증가를 보인 반면, Ca-phenate와 Zn-DTP를 첨가한 경우는 60분까지는 아주 완만하게 나타나다 그 이후부터 변화가 일어나기 시작했다. 또 PTFE, MoS₂를 첨가한 경우 초기에는 微粒子로 인하여 磨耗가 증가하였으나 점차 시간의 흐름에 따라 안정되어 거의 변화가 없을 정도로 증가함에 따라 장시간 사

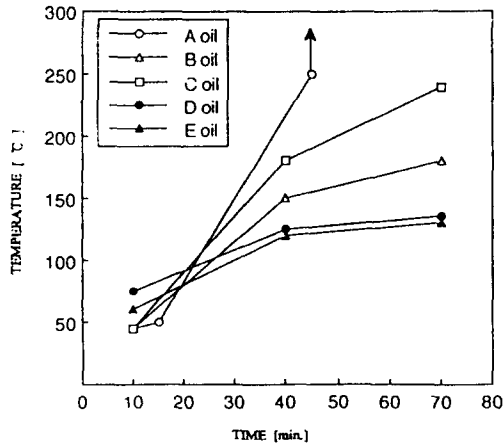


Fig. 11. Temperature for time.

용시에서도 耐磨耗性이 우수하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9은 Fig. 5에서 얻어진 마찰계수를 일정한 실험 하중 1,000 [lb]에서 온도(50, 100, 150°C)의 영향에 따른 마모량을 나타내었다. A oil의 경우 마찰계수가 높음에 따라 마모량도 크며 B, C oil에서는 점차 증가를 보이고 있다. 그러나 D, E oil경우는 초기에 약간 큰 마모량을 나타내나 점차 안정된 마모량을 나타내었다.

Fig. 10은 일정한 실험온도 100[°C]에서 하중(600, 750, 1000 lb)의 영향에 따른 마찰계수와 마모량을 나타내었다. A oil의 경우 초기 600 lb에서부터 높은 마모량을 나타내고 750 lb를 넘어서 마찰계수가 0.07을 나타낼 때부터는 아주 높은 마모량을 나타내면서 seizure가 발생하였다. B, C oil의 경우는 마찰계수가 750 lb에서 0.06을 지나면서 부터 높은 마모량을 나타내었으나 D, E oil에서는 낮은 마찰계수 유지하며 안정된 마모량을 나타내었다.

4-4. 時間變化에 따른 溫度特性

Fig. 11는 new oil이 계속적으로 증가를 보이다가 50분에서 seizure가 발생하였다. 그러나, Ca-phenate와 Zn-DTP를 첨가한 경우 계속적으로 완만하게 상승을 보인 반면, PTFE와 MoS₂를 첨가한 경우 40분 정도까지는 서서히 상승하다가 그 이후부터는 안정됨을 볼 수 있다. 이 결과 new oil의 경우보다 Ca-phenate와 Zn-DTP 첨가 oil의 경우가, 또 첨가 oil을 사용한 경우보다도 PTFE와 MoS₂를 첨가한 경우가 더 장시간 溫度變化에도 熱安定性을 갖게 되고 우수함을 알 수 있다.

5. 結 論

최근 엔진의 고출력화, 소형화 및 윤활유의 우수한 연비향상성이 나타나면서 潤滑油의 粘度를 낮추려는 경향이 있다. 그러나 粘度를 낮추는 경우에는 潤滑領域에서 油膜의 파괴가 발생하기 쉬우며 또한 高荷重에서 두 摩擦面 사이에서의 磨耗가 증가하는 현상이 나타난다. 본 연구에서는 엔진오일에 Ca-phenate와 Zn-DTP, PTFE와 MoS₂의 混合添加에 따른 潤滑特性을 연구한 결과 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. PTFE와 MoS₂를 添加한 경우 Zn-DTP와 Ca-phenate에 비하여 摩擦係수가 낮아 摩擦特性이 優秀하다.

2. Engine oil에 Ca-phenate와 Zn-DTP를 첨가하면 高荷重 領域에서 遷移壓力이 발생하여 極壓性이 優秀하다.

3. 固體潤滑劑인 PTFE와 MoS₂의 磨耗는 초기에 不安定하나 그 후 安定性을 유지하여 磨耗特性이 優秀하다.

4. 混合添加劑를 添加한 경우에는 일정시간 후에 安定性을 維持하여 溫度特性이 우수하다.

따라서 엔진오일에 PTFE와 MoS₂, Ca-phenate와 Zn-DTP 등을 混合添加하면 磨耗性, 摩擦性, 極壓性, 熱安定性 등의 潤滑特性을 향상시킬 수 있다.

후 기

본 논문을 위하여 윤활유 및 첨가제를 제공하여 주신 (주)쌍용정유와 (주)유공에 감사사를 드립니다.

參考文獻

1. Barcroft, F.T., Bird, R.J., Hutton, J.F., "The Mechanism of Action Zinc Thiophosphate as Extreme Pressure Agents", *Wear*, (1982), pp.26, 355.
2. 君島孝尚, "船用ディーゼルエンジンシリンダ油の 高温特性について", *日本トライボロジスト*, 39권, 제 3호, (1994), pp.269-276.
3. J.M. Thorp, "The Mechanism of Lubrication by MoS₂ dispersed in oil and the effect of Zinc Dialkyl Dithio Phosphate Additive", *Wear*, 23, (1973), pp. 63-70.
4. W.J. Baetz, "Solid Lubricant Additives", *Wear*, 17, (1971), pp.421-432.
5. 金貞基, "MoS₂와 PTFE 固體潤滑劑에 의한 表面改質에 따른 潤滑特性 研究", *圓光大學校 産業大學院 碩士學位論文*, (1993).

6. B.J. Briscoe and P.D. Evans, J.K. Lancaster, "The Influence of Debris Inclusion on Abrasive wear Relationship of PTFE", Wear, 124, (1988), pp.177-194.
7. 松本 外, 日本潤滑學會 第31期 春季研究發表會 豫稿集, (1987), 第2報.
8. 曾田 外, "潤滑", Vol.21, 2, (1976), p.60.
9. 中原 外, 日本潤滑學會 春季研究發表會豫稿集, (1980), pp.9-12.
10. 田中 外, 日本潤滑學會(九州大會), 研究發表會 豫稿集, (1983), pp.9-12