

극미세 구리합금입자(NICO)를 이용한 특수윤활유가 박용기관 성능에 미치는 영향

소병두* · 임희성* · 박권하**

The Effect of Lubricant Containing Copper Alloy Fine Particles on a Marine Diesel Engine

ByoungDoo So*, HeeSung Lim*, Kweonha Park**

Abstract : Many research works for improving a boundary lubrication performance have been executed by using solid lubricants, and been tried to apply an engine lubrication. However those general lubricants like MoS₂ or PTFE have not been applied on engines due to the extreme conditions such as very high temperature and pressure by combustion process in a cylinder. A copper nickel alloy fine particle has been introduced and studied. In this paper the lubricant using the alloy particles is applied on a marine diesel engine and assessed by the engine performance test. The results showed the increase of cylinder pressure related strongly to the engine efficiency as well as the improving the engine lubrication performance.

Key Words- 고체윤활제(Solid lubricant), 미세구리합금입자(Copper Alloy Fine Particle),
박용기관(Marine Diesel Engine)

1. 서 론

내연기관의 마찰부위는 크랭크축 등의 베어링과 같은 회전운동부분, 캠, 밸브 및 로커암과 같은 주기적 충격운동, 피스톤링, 실린더와 같은 왕복운동으로 나눌 수 있는데 이들은 마찰특성이 서로 다르며 이에 적합한 윤활특성이 요구된다. 특히 피스톤부위의 마찰특성은 일반적인 기계에서의 마찰특성과 매우 다르기 때문에 특별한 윤활특성이 요구된다.

다. 운동학적 특성으로는 운동속도가 순간적으로 영이 되어 액체윤활이 어려워며 특히 그 근처에서 큰 하중을 받기 때문에 극압윤활상태에 도달하게 된다. 또 윤활면이 실린더내의 연소에 의한 높은 열에 노출되어 있으며, 배기가스배출의 문제로 가급적이면 얇은 유막을 형성하면서 동시에 연소실내의 고압가스의 누출을 방지하기 위하여 높은 밀봉작용을 요구한다. 연소실 압력과 온도가 높은 디젤기관에서는 윤활유의 이러한 특성이 더욱 요구된다.

*한국해양대학교 대학원

**한국해양대학교 기계정보공학부

경계유흥성 향상을 위하여 고체유흥제에 대한 연구들이 많이 진행되고 있다. Bartz와 Oppelt¹¹⁾는 광유에 MoS₂를 분산시킨 유흥유의 경계유흥성 향상을, Reick²⁾는 PTFE를 포함한 고효율 유흥유를 발표하였으며 Cusano와 Sliney^{3,4)}는 연속되는 그들의 논문에서 graphite와 molybdenum을 분산시킨 유흥유의 동적특성을 분석하였다. 이후에도 Lin 등⁵⁾이 Al/graphite 고체유흥제를 연구하는 등 많은 연구들 Hisakado등⁶⁾, Gupta와 Bhusan⁷⁾, 이봉구와 오성모⁸⁾, 신동우 등⁹⁾, 류종관 등¹⁰⁾, 한홍구 등¹¹⁾이 경계유흥성향상과 유흥 성능향상을 위하여 진행되고 있다. 이러한 고체유흥제들은 주로 MoS₂, PTFE, graphite 등의 분말을 오일에 분산시켜 제조되었는데, 고온에서 산화되어 유흥성을 상실하게 됨으로 엔진 실린더내의 고온조건에서는 그 효과를 발휘할 수 없게 된다.

연소를 동반한 고온고압의 엔진조건에 적용하기 위한 고체유흥제의 개발은 주로 구리합금 미세 분산분말을 이용하고 있다.

Spalvins¹²⁾는 엔진환경에서의 구리와 ZDDP 미립자의 영향을 연구하였으며, Kuzharov와 Fisenko¹³⁾는 사구시험에 의하여 극압하중과 용착하중(critical and welding load)의 향상을, Nazarenko 등¹⁴⁾은 고온특성향상을 Gunsel과 Lockwood¹⁵⁾는 산화와 부식방지효과를 발표하였다. 또한 니켈분말에 대한 연구도 진행되었는데 흡착과 촉매작용에 의하여 마찰, 마모감소 등의 효과가 월등하게 향상됨을 밝혔다 Astakhov과 Mouratov¹⁶⁾, Wu 등¹⁷⁾. 두가지의 장점을 동시에 적용하기 위하여 구리와 니켈합금이 유흥첨가제로 사용되었는데, Shpenkov¹⁸⁾에 의하면 구리와 함께 니켈도 연한 금속층을 형성하여 마찰저감 및 마모에 효과가 있음을 알 수 있다. 안효석과 이성철¹⁹⁾은 구리와 니켈합금 미세분말 유흥제의 엔진적용을 위한 마찰과 마모특성에 대한 상세한 연구를 수행하였는데, 왕복동시험 결과에 의하면 구리합금입자에 의해 형성된 화학적유기 금속피막에 의해 마찰계수와 마

모직경의 감소를 가져오며, 기어시험에서는 미세한 구리입자가 손상부위를 메꾸어 치료하는 효과가 있다고 발표하였다.

본연구에서는 극미세 구리합금입자를 첨가한 유흥유가 디젤기관의 유흥특성에 미치는 영향을 모터링상태의 실험장치를 이용하여 파악하고 동시에 고부하로 운전되는 예인선의 박용기관에 적용하여 엔진성능에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 실험장치 및 조건

Fig. 1은 본 실험에 사용된 극미세 구리니켈합금(NiCu) 분말의 전자현미경(SEM)사진으로 형상은 구형이며 크기는 10nm에서 100nm 사이에서 주로 분포하고 있음을 보여준다.

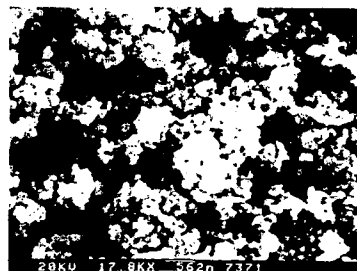


Fig. 1 SEM micrograph of NiCu fine particles

기관유흥성능 실험장치의 구성

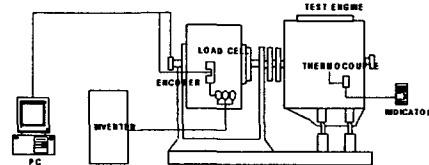


Fig. 2 Experimental setup for assessment of engine lubricants

Fig. 2는 엔진마찰특성을 분석하기 위하여 제작한 실험장치도이다. 연소에 의한 동력전달의 영향을 완전히 제거하고 엔진구동에 미치는 마찰특성만을 평가하기 위하여, 4기통 디젤기관에서 분사밸브와 예열플러그를 제거

하며 이를 모터를 사용하여 강제구동한다. 엔진회전속도와 토크는 엔코더와 로드셀의 전기적 신호를 받아 처리하며, 엔진속도는 인버터의 입력을 제어하여 조절한다.

성능실험에 사용된 기관

Table 1 Test conditions for engine test

Items	Values
Type	vertical 4 stroke cycle
Number of cylinder	6
Combustion system	Direct injection
Continuous maximum output(PS)	1500
Maximum engine speed(rpm)	750
Bore(mm)	250
Stroke(mm)	320
Compression ratio	11.2
LO pump type	Eng direct coupling gear pump
LO pump speed(rpm at E750rpm)	1154
LO capacity(m ³ /h)	23.5
Built year	Nov.of 1978

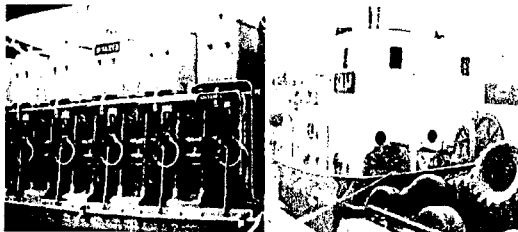


Fig. 3 Photo of the test boat and engine

Fig. 3은 기관의 성능과 악을 위하여 사용된 예인용 선박과 박용기관을 보여주며 엔진 사양은 Table 1과 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 기관운활성

과도상태운활특성

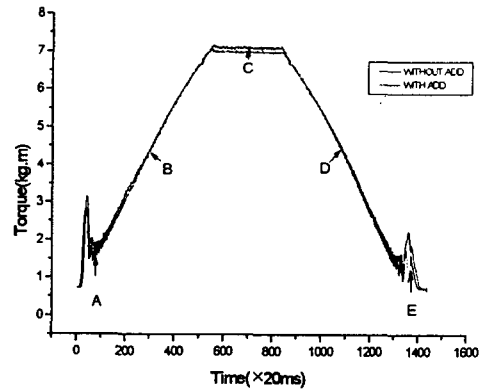


Fig. 4 Torque variations at engine start and stop

Fig. 4는 엔진을 정지 상태에서 최대 부하까지 또 최대 부하에서 정지상태까지 구동모터의 전류를 변화시킬 때 변화되는 과도상태의 엔진토크를 보여준다. 모터전류를 급속히 최대로 올리게 되면 최대토크까지 상승한후 정상상태가 되어 동일한 토크가 계속된다. 이때 모터전류를 급속히 0의 상태로 내리게 되면 토크가 떨어지게 되고 마지막에는 역시 심한 진동과 함께 정지운동을 하게된다. 특성에 따라서 5개의 구간으로 나눌수 있는데, 시작구간(A),가속구간(B), 정상구간(C), 감속구간(D) 그리고 정지구간(E)이다.

시작구간(A)에서의 특성은 초기조건으로 분석에서 제외한다. 가속구간(B)는 동일 입력에 대한 엔진의 가속상태를 보여주는데, 일반오일의 경우와 비교할 때 첨가제를 주입한 경우에 더 급한기울기, 즉 빠른 가속을 보여준다(2.24%). 정상구간(C)는 최대입력구간으로 계속적으로 동일한 입력을 했을 경우의 토크변화를 보여주는데 첨가제를 사용한 경우 2.36%의 토크절감을 나타낸다. 감속구간(D)에서는 모터에 의한 외부입력이 제로로 된 상태에서 엔진구동기구 및 마찰에 의한 자연감속을 보여주기 때문에 감속기울

기가 급하면 마찰소모율이 크다는 것을 말한다. 첨가제 사용의 경우가 2.34%완만한 것을 나타낸다. 구간(E)는 정지시의 토크변동을 보여주는데 엔진의 구동기구를 살펴보면 1,4번실린더와 2,3번실린더가 항상 180°의 위상차를 가지고 왕복운동을 하기 때문에 큰 마찰 부분과 적은 마찰부분이 180° 주기를 가지고 반복된다. 즉 토크변동이 180°의 주기를 갖는다는 것을 알 수 있다. 일반유탄유의 경우 토크변동이 점점커지다가 마지막에 매우 큰 피크치를 보인후 정지한 반면, 첨가제사용의 경우에는 정지 초기에는 동일해지며 마지막에는 비교적 작은 피크치를 두 번 보인후 정지한다(4.5%감소). 이는 저속의 경우 구동의 관성력보다는 마찰에 의한 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다. 과도상태의 유탄특성을 살펴보면 모든 구간에서 첨가제의 유탄특성 향상을 말해주고 있는데 특히 매우 저속구간에서 큰 효과가 기대된다.

정상상태의 유탄특성

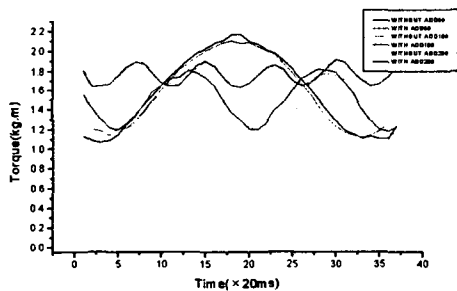


Fig. 5 Comparison of torque variations at 50,100,200rpm

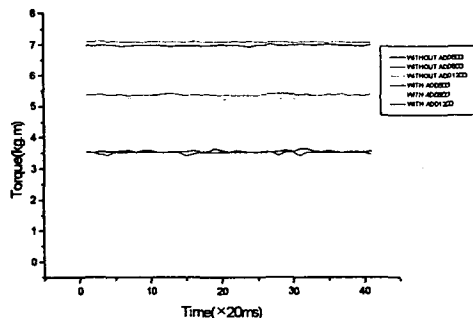


Fig. 6 Comparison of torque variations at 500,800,1200rpm

Fig. 5, 6은 저속구간 50,100,200rpm일때와

고속구간 500, 800, 1200rpm일때의 토크변동을 보여준다. 저속인 경우 모든 경우에 180° 주기의 토크변동을 나타내는데, 50rpm의 경우에 큰 차이를 나타내는 반면 속도의 증가와 함께 차이가 줄어들고 있다. 500rpm이상의 고속인 경우에는 180° 주기가 명확하게 나타나지는 않지만 작은 변동은 볼수 있다. 500rpm의 경우는 아직 위 아래로 토크변동을 나타내며 1200rpm에서는 거의 일정한 토크를 보여준다.

정상상태에서의 첨가제를 주입한 경우와 아닌 경우에 대한 최대토크비교를 50rpm에서 1200rpm까지 Fig. 7에 나타낸다.

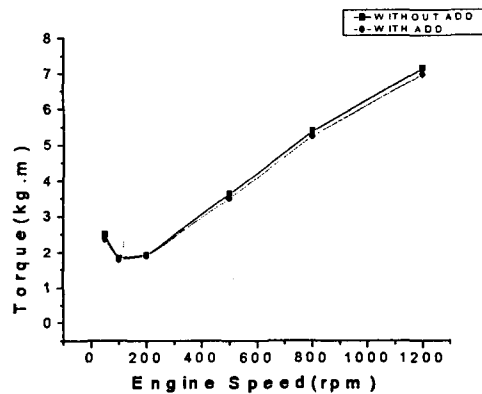


Fig. 7 Comparison of maximum torque with or without additives at 50,100, 200,500,800,1200rpm

매우 저속인 50rpm의 경우에는 운동관성력의 영향이 매우 작은 구간으로 큰 토크변동과 높은 최대토크점을 보인 후, 엔진속도의 증가와 함께 낮아지는데 이는 200rpm이후 비례적으로 증가한다. 전체 구간에서 첨가제를 주입한 경우가 낮은 값을 보여주는데, 50rpm의 경우 3.95%, 200rpm의 경우 2.36%의 토크저하를 나타낸다.

3.2. 기관성능

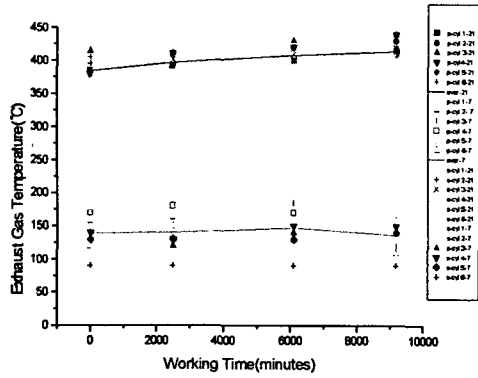


Fig. 8 Exhaust gas temperature with working time

rack (max: 24mm)	Working time after adding NICO	Exhaust Gas Temperature(°C)						
		Cyl 1	Cyl 2	Cyl 3	Cyl 4	Cyl 5	Cyl 6	Aver
21mm	No NICO	385/385	385/405	415/380	380/385	385/385	385/385	384.2
	2490mins(41:30)	391/371	411/411	411/401	411/371	371/401	411/401	398.8
	6090mins(101:30)	400/380	420/420	430/410	420/390	400/410	420/400	408.3
	9170mins(152:50)	414/379	429/419	439/419	439/379	409/409	439/338	414.4
7mm	No NICO	180/130	155/130	140/130	170/140	150/130	120/90	138.8
	2490mins(41:30)	190/130	190/130	150/130	180/130	150/130	130/90	140.0
	6090mins(101:30)	180/130	150/140	185/140	170/130	150/130	130/90	147.1
	9170mins(152:50)	185/130	140/140	120/140	150/130	140/140	110/90	136.3

Table 2 Exhaust gas temperature with working time

첨가제를 주입하기 전과 첨가제를 주입하고 2490분 운행후(에인 작업에 사용되었음으로 저하중에서 최대 부하까지 운전됨), 6090분 운행후 그리고 9170분 주행후에 연료펌프 레위치가 21mm와 7mm인 경우에 계측된 배기 가스 배출온도는 Table 2와 같으며 이를 그래프로 나타낸 그림은 Fig. 8과 같다. Rack21mm 일 경우 첨가제를 주입하고 2490분 운행 후에 온도가 첨가제를 주입하기 전에 비하여 12.6도 상승함을 보여주며 이후에도 운행시간의 증가에 따라 비례적으로 증가됨을 보여준다. 실린더별 온도분포범위는 40도 내외이며 운행시간증가에 따라 다소 증가되는 경향을 보인다. 7mm일 때는 운행시간의 증가에 따라 초기에 미세하게 증가하고 다음에 크게 증가한후 감소하는 경향을 보여주며 실린더

별 온도분포 범위도 100도 가까이 되고 있는데, 이러한 불규칙한 결과는 선박을 정박하고 바로 계측함으로써 엔진이 정상상태에 도달하지 못하여 발생한 것으로 사료된다. 즉 처음에 측정된 값은 냉각전의 값으로 높은 값을 마지막 측정값은 냉각이 충분히 된 이후의 값으로 낮은 값을 보여준다. 이상 온도 분포로부터 첨가제를 주입하면 배기 가스 온도가 운행시간과 더불어 상승하며 9170분 운행시에 약 7.5% 증가함을 알수 있다.

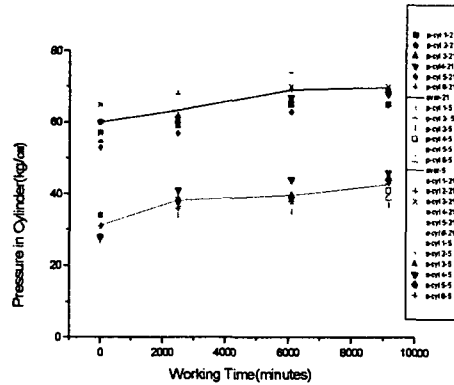


Fig. 9 Pressure in cylinder with working Time

rack (max: 24mm)	Working time after adding NICO	Pressure in Cylinder(bar)						
		Cyl 1	Cyl 2	Cyl 3	Cyl 4	Cyl 5	Cyl 6	Aver
21mm	No NICO	57/56	60/65	55/65	60/59	53/66	60/65	60.1
	2490mins(41:30)	59/69	60/67	59/67	61/67	57/67	62/64	63.3
	6090mins(101:30)	65/72	66/74	65/70	67/73	63/72	69/74	69.2
	9170mins(152:50)	65/74	69/73	65/70	68/73	65/72	69/74	69.8
7mm	No NICO	33/29	33/33	27/34	34/28	33/28	31/31	31.2
	2490mins(41:30)	39/40	39/38	34/39	40/41	38/38	37/36	38.3
	6090mins(101:30)	40/41	40/40	35/40	41/44	40/39	38/38	39.7
	9170mins(152:50)	41/46	45/45	37/45	41/46	39/44	39/43	42.6

Table 3 Pressure in cylinder with working Time

Fig. 9과 Table 3는 첨가제를 주입하기 전과 첨가제를 주입하고 2490분 운행후, 6090분 운행후에 연료펌프 레위치가 21mm와 7mm인 경우에 계측된 실린더내의 최고압력의 변화를 보여준다. 연료펌프 레위치가 21mm인 경우에 첨가제를 주입하지 않은 경우 평균

60.1kg/cm²의 압력을 나타내며 첨가제를 주입한 2490분 후에는 3.2kg/cm²증가하고 6090분 후에는 다시 5.9kg/cm²증가, 9170분 후에는 0.7kg/cm²증가하고 있다. 즉 첨가제 주입후 초기 운항시에는 연소실압력이 점진적으로 향상됨을 보여주지만 6090분이 지나면서 증가량이 현저히 감소함을 알 수 있는데, 이는 첨가제가 피스톤과 실린더사이의 밀봉기능을 향상함으로써 압축압력을 증가시키고 연소특성을 향상하여 연소압력을 높히는 것을 말하며, 이 영향은 6090분 운항시부터 어느정도 안정됨을 알 수 있다. 그 값은 초기 값과 비교할 때 약 15%의 연소실 최고 압력증가가 있음을 말한다. 실린더별 압력분포는 첨가제 주입전에는 13, 2490분 후에는 12, 6090분 후에는 11kg/cm² 그리고 9170분후에는 10kg/cm²의 분산폭을 갖는 것으로 나타나는데, 이렇게 실린더 별로 압력변화가 줄어드는 현상을 볼 때 주입된 첨가제가 연소실상태가 좋은 실린더 보다는 상대적으로 연소성능이 좋지 못한 실린더에 더 좋은 효과를 나타내는 것으로 생각된다. 부하가 작은 영역인 랙위치가 7mm인 경우에도 21mm인 경우와 비슷한 현상을 보이고 있는데, 평균압력의 증가가 운항초기인 2490분후에 7.2kg/cm², 6090분 후에는 여기에서 1.4kg/cm², 9170분후에는 1.9kg/cm²로 고부하 고속의 랙위치 21mm인 경우와 비교할 때 운항초기에서부터 첨가제의 효과가 급격히 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

극미세 구리합금입자를 이용한 특수 윤활유를 박용디젤기관에 적용한 결과는 다음과 같이 요약된다.

윤활성실험결과

- 과도운전상태: 급가감속성은 2.29%정도의 향상을 가져오며 정지시 토크변동이 작음을 보여준다.
- 정상운전상태: 엔진속도 50rpm에서는 3.95%, 1200rpm에서는 2.36% 토크질감을

나타낸다.

박용디젤기관

- 고출력점인 연료펌프 랙위치가 21mm일 경우(670rpm) 피스톤과 실린더사이의 밀봉기능을 향상하여 연소실 최고압력을 6090분 운항후부터 약 15%증가 시킨다.
- 저출력점인 연료펌프 랙위치가 7mm (440rpm)일 때는 첨가제 주입후 2490분 후까지 급격한 압력상승을 보이며 이 후에는 안정적인것을 알 수 있다.
- 고출력점인 연료펌프 랙위치가 21mm (670rpm)일 경우 배기가스 온도가 운항 시간과 더불어 상승하며 9170분 운항시에 약 7.5%증가한다.

상기 요약에서 알 수 있는 것처럼 고온운활성향상에 의한 엔진성능향상을 가져오는 극미세 구리합금분말 윤활제는 연소현상을 동반하는 고온조건외 엔진윤활제로서 적합하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- (1)W.J,Bartz,J.Oppelt, "Lubricating Effectiveness of Oil-Soluble Additives and Molybdenum Disulfide Dispersed in Mineral Oil," *Lubr.Eng.*,Vol.36, pp579-585, 1980.
- (2)G.F.Reick, "Energy-Saving Lubricants Containing Colloidal PTFE," *Lubr.Eng.*, Vol.38, pp.635-65, 1982.
- (3)C.Cusano and (4)H.E.Sliney, "Dynamics of Solid Dispersions in Oil During the Lubrication of point Contacts, partI-Graphite," *ASLE Trans.*,Vol.25, No.2, pp.183-189, 1982
- (5)Jen Fin Lin,Ming Guu Shih,Yih Wei Chen, The tribological performance of 6061 aluminum alloy/graphite composite materials in oil lubrications with EP additives, *Wear* 198(1996)58-70
- (6)T.Hisakado T.Tsukizoe H.Yoshikawa Lubrication Mechhanism of Solid Lubricants i

- n Oils, Journal of Lubrication Technology
APRIL 1983, Vol.105
- (7)B.K.Gupta and B.Bhushan, "Fullerene Particles as an Additive to Liquid Lubricants and Greases for Low Friction and Wear," *Lubr.Eng.*, Vol.52, pp.524-528,1994.
- (8)이봉구,오성모, "엔진오일의 혼합첨가제에 따른 윤활특성에 관한 연구," *한국윤활학회지*(1995), 제11권 제1호, pp.50-57
- (9)신동우,김인섭,윤태현,김경도,김성진,정진수 *한국윤활학회지*(1998), "WS₂고체윤활제의 마찰.마모거동," 제 14권 제2호, pp.35-41
- (10)류종관,이홍철,김대은, "경계윤활 상태에서의 금속재료 마찰 및 마멸에 영향을 미치는 주요인자," *한국윤활학회지*(1999), 제15권 제2호, pp.171-177
- (11)한홍구,공호성,윤의성,권오관, "방청 및 내마모 특성이 향상된 자동차 휠 조인트용 MoS₂계 고체 피막 윤활제," *한국윤활학회지* (2000), 제16권제3호, pp.173-181
- (12)T.Spilvins, A review of recent advances in solid film lubrication, *American Vacuum Society J.Vac.Sci.Technol. A* 5(2),Mar/Apr 1987
- (13)A.S.Kuzharov and O.V.Fisenko,"Copper Containing Additives and Tribological Behavior of Chiatim-201 Grease," *Soviet Jr.of Friction and Wear*,Vol.13, pp.73-77,1992
- (14)T.I.Nazarenko,N.N.Lozentsova,G.G.Shchegolov and Yu.P.Toporov," On Lubrication Properties of Oil with Copper-Containing Additives", *Soviet Jr.of Friction and Wear*, Vol.13, No.2, pp.78-81,1992
- (15)S.Gunsel and F.Lockwood, "The Influence of Copper-Containing Additives on Oil Oxidation and Corrosion,"*Tribology Trans.(STLE)*, Vol.38, No.3, pp.485-496, 1995.
- (16)M.V.Astakhov and V.A.Mouratov, "Nickel Fine Particle's Adsorptive Catalytic Mechanism," *Wear*, Vol.176, pp.61-65, 1994
- (17)YunXin Wu,Fuxing Wang,Yinqian Cheng, Nanping Chen, A study fo the optimization mechanism of dolid lubricant concentration in Ni/MoS₂ self-lubricant in composite Wear, 205(1997) ,pp.64-70
- (18)G.P.Shpenkov,physical Chemistry of Friction, Minsk, 1991 in Russian.
- (19)안효석,이성철, "첨가제에 함유된 미세한 구리합금입자의 마찰 및 마모 특성," *한국윤활학회지*(1996), 제12권제2호, pp.32-40

연락번호 : 016-439-2213

(051)410-4367

e-mail주소 : elf_knight@hanmail.net

해당분야 : 연소공학