

다용도 미션오일의 마찰특성에 관한 연구 Research on the friction characteristics of multi purpose oils as mission

명병수*, 유희봉**, 이양근***

Byoung-Soo Myung*, Hee-Bong Ryu**, Yang-Kun Lee***

<Abstract>

The static friction coefficients of 4 samples against each different temperatures were similar values. Compared against RT, at 80°C the static friction coefficients decreased from 0.130 to 0.116 that was equal from 88% to 90% of the static friction coefficients respectively. Otherwise the dynamic friction coefficients compared against RT, decreased from 0.138 to 0.088 which was from 71% to 77.5% respectively at 80°C. The noise characteristics were judged by s/d value. And when the s/d value was limited less than 0.8, noise concerns were released. At 3000 engaging cycles the static friction and the dynamic friction coefficient were 0.137 and 0.073 respectively. When plate pressure rose up to 195kg_f/cm², the static friction coefficient decreased from 0.137 to 0.125 but this decreasing could be considered as stable. When speed rose up to 2200rpm, the static friction coefficient decrease from 0.14 to 0.13 but this decreasing could be considered as stable. At 3000 engaging cycles the amount of worn out was 0.04 : the thickness of disc was decrease from 4.72mm to 4.68mm. But regarding the normal operation condition, further more worn-out could not be expected. Therefore concerning worn-out, the basic oil could be considered as appropriate.

**Key Words : friction coefficients, noise characteristics,
multipurpose oil**

1. 서 론

현대 산업의 급속한 성장과 더불어 인간이 필요로 하는 기계의 다양화, 세밀화, 고 능력화하는 것이 요구되어 기계의 작동 메커니즘도 매우 다양화 되어가고 있으며, 부품도 기

능, 재질등도 다양화되었으며 단일 시스템 내에서도 서로 다른 재질의 부품들은 습동운동을 하면서 조화를 이룬다.

윤활방식 중에 습식마찰 시스템에 윤활유는 성분중에 마찰재는 흙, 먼지, 수분 등의 외부환경에 영향을 받지 않고 대기 오염 발생도 적으며 수명도 반영구적인 장점이 있고, 쾌적

* 정희원, 상주대학교 기계공학과, 工博
** 상주대학교 산업대학원
***상주대학교 기계공학과

* School of Mechanical Eng., Sangju National University
E-mail : bsmyung@sangju.ac.kr

하고 편안한 장비의 운전환경에 대한 요구가 증가하면서 수요가 증가되는 추세이다. 습식 브레이크 시스템은 외부 환경이 열악한 농기계 분야 등에 적용되다가 최근 중장비등에 적용이 확산되고 있으며 건식 마찰재에 비하여 윤활유 및 첨가제의 인자가 추가된 기술적 문제로 활용 가능하나 국내 기술 수준은 초보단계이다.

최근에 국내에서 개발되는 기계에 엑슬 및 트랜스미션 등에 습식마찰 시스템에는 적용코자 구조 및 설계 변수, Paper 마찰재, 윤활유, 첨가제 등의 여러 인자들의 복합작용과 이음, 제동밀림 및 내구성 등이 품질에 어떤 영향에 대한 필요에 연구가 필요하게 되었다.

그러므로 본 연구에서는 윤활유 개발을 위한 목적으로 기어의 구동 유압 밸브, 실린더 작동, 습식디스크, 브레이크의 시스템을 이용하여 압력 및 온도등이 특정조건에서 시스템을 만족시킬 수 있는 윤활유의 개발을위해 마찰 특성을 구명하고자 한다.

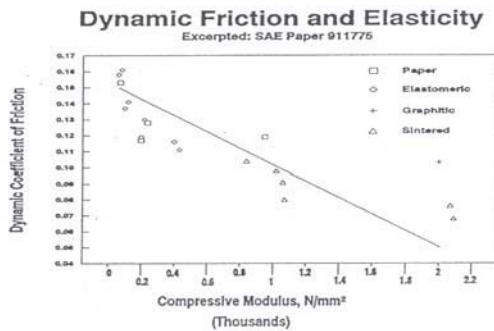


Fig. 1. Dynamic friction and elasticity.

1.1 윤활유 마찰특성

윤활유에 함유된 마찰재의 성질 중에서 마찰계수, 면압에 대한 저항, 고온에서 내열성, 열전도와 비열 등이 중요한 요소이며 이중 마찰계수는 탄성에 의존하며, 실험에 사용한 윤활유의 특성은 표1과 같다.

파괴형태와 원인과 결과를 마찰면 재질과 가장 흔히 연관되어 있는 습식 마찰 파단 형태 열적파괴형태, 기계적 파괴형태, 열적-기계적 혼합파괴 형태로 구분할 수 있다.

마찰 조정제 파괴는 윤활제에 대한 천이-온도 손상에서 발생하는 형태는 조정제의 파괴며 슬러지 형성은 고에너지와 반복과정에서 조정제가 파괴되기 위해서는 단지 몇 번의 가혹한 사이클에도 발생된다. 또한 높은 온도는 폴리머 사슬의 파괴를 일으키고 극성을 감소시켜 조정제 효과의 손실을 발생시킨다.

기계적 파괴형태는 면압이 과도와 마찰면과 반응하여 표면이 분리되어 윤활유막이 붕괴되며, 구조적 붕괴는 높은 면압은 또한 대부분의 종이 재질 뿐만 아니라 저밀도 소결재질의 다공질 구조를 붕괴시키고 동시에 고밀도화를 유발시킨다.

1.2 윤활 소음

윤활 소음은 Torque 파형 분석으로 적합여부를 판단하는데 파형의 뒷부분이 낮아질수록 소음의 발생 가능성은 낮아지는 것으로, 파형의 뒷부분에 피크가 발생하면 소음이 발생할 것으로, 뒷부분에 피크가 높아질수록 더욱 큰 소음이 발생 판단 기준으로 사용한다.

Table 1. Characteristics of friction materials.

Property	Sintered		Resin-Bonded			Paper	
	Bronze	Iron	Graph.	Elast.	Cellul.	Graph.	Misc.
μ_d	0.07~0.09	0.06~0.08	0.09~0.11	0.10~0.12	0.13~0.16	0.11~0.13	0.09~0.13
μ_s	0.12~0.13	0.12~0.13	0.12~0.14	0.12~0.14	0.14~0.17	0.12~0.14	0.12~0.20
P(f) Max, MPa	3~6	7	6~8	4	2	2~4	1~6
Spec.Power HP/in ²	1~3	2~4	2~4	1~2	1~1.2	2~2.5	1~2
T(Max) °C	149~427	482~816	427~538	371~427	204~260	260~427	149~371
Rel.Cost,%	100	130~150	75~125	75~125	25~65	50~75	50~100
Heat Flux,%	50~70	50	30~50	25~35	< 5	10~20	< 5~25

Dynax 과형분석을 위해 1500, 3000rpm의 2 구간에서 마찰계수를 택하여 동적 마찰계수와 정적 마찰계수를 측정하였으며, JMP에서 G-5 브레이크 디스크를 1900rpm에서 마찰계수를 비교하였으며, r 값을 1을 기준으로 1일 때 이상적인 것으로, 1 이하일 때는 저소음 영역으로 1이상일 때 고소음으로 판단하였다.

2. 실험 장치 및 방법

윤활유의 마찰특성 테스트는 SAE 기준을 이용하여 서로 다른 마찰특성을 가진 4 종류의 윤활유에 대해 소음과 온도변화에 따른 마찰 특성등을 측정하였다.

2.1 시험장치 및 구성

Dynamometer는 자동차용 클러치 조립체 (clutch package)를 시험하는 장비를 이용 마찰부를 최대 외경이 125mm 이하의 Off load 차량용에 장착된 습식 클러치 및 습식 브레이크 이상 범위를 기준으로 설계 제작 사용하였다.

2.2 시험방법

Table 4. The test condition.

항목	단위	재원	비고
총시험 회수	cycle	2000	SAE No. 2 규정에 의한 시험기
관성량	$km/msec^2$	0.195	
동적 회전수	rpm	1900	
정적 회전수	rpm	0.72	
마찰면적용하중	kg_f	1978	
시험주기	sec	29	

시험방법은 윤활유 특성, 소음관계, 온도변화에 따른 마찰특성 등의 특성이 다른 KF1~KF4의 4 종류의 1500cc씩으로 0~80℃의 범위내에서 실시하였으며, 그밖의 실험조건은 표2와 같이 마찰재의 외경, 내경은 각각 216mm와 146.5mm, 재질명은 JFP-2005(paper계)로 PDP방법으로 실시하였다.

측정은 torque, 회전수 및 유압측정 등으로 토크는 시험편이 일정한 회전수부터 정지시 까지의 로드셀로 측정, rpm은 광센서(2-way) 방법으로 타이밍 벨트에서 측정하였으며, 유압력은 솔레노이드 밸브 통과 직후, 센서를

설치하여 측정하였으며 데이터는 보조기억장치에 저장하였다가 분석하였다.

분석은 동적 마찰계수 (dynamic coefficient), 정적 마찰계수(static coefficient) 및 마찰의 마모량 등이며 계산은 일반수식을 마이크로컴퓨터로 프로그램하여 사용하였다.

3 실험결과 및 고찰

3.1 윤활유의 마찰 특성

KF1에서 KF4까지 4종의 마찰특성은 마찰 커브, 온도별 변화, 마찰압력별 등을 분석하였으며, 80℃에서 s/d 마찰계수비를 비교분석결과 표3과 같았으며 노이즈 특성에서는 KF2에서 가장 양호하였으나 소포성에서 불량 및 정 마찰 계수의 불안으로 인해 KF1을 적정 윤활유인 것으로 나타났다.

3.1.1 마찰특성 및 Noise(80℃)

마찰 특성 μd 값은 0.116에서 0.118까지

Table 2 Friction characteristics of sample oils.

oil구분 항목	KF1	KF2	KF3	KF4
μs	0.095	0.088	0.102	0.107
μd	0.118	0.117	0.116	0.117
$\mu s/\mu d$	0.810	0.750	0.880	0.910

98%의 범위 내에서 유사하게 나타났으며, μs 값은 그림2에서 보는바와 같이 0.088에서 0.107까지 82% 범위 내에서 4종류가 유사한 수준으로 나타났다.

3.1.2 정/동적 마찰특성 및 계수비

$\mu s/\mu d$ 값은 적을수록 noise가 양호한 것으로 판단되었으며 KF2는 소포성이 불량하나 noise면에서는 양호한 것으로 나타났으며 KF1도 $\mu s/\mu d$ 값이 0.81로 noise는 0.8 정도 범위에서 noise가 양호한 것으로 나타났다.

3.1.3 온도 변화와 마찰 특성

상온에서 40℃, 60℃, 80℃범위에서 온도별 정적 마찰계수와 동적 마찰계수 s/d와 노이즈와는 동적 마찰계수는 상온대비 80℃에서 88-90% 수준으로 유사하게 감소하였으며 정적 마찰계수는 매우 유사한 경향으로 나타났다. Noise는 KF1, KF2가 양호하게 나타났으

며 KF3, KF4는 noise가 발생하는 것으로 나타났으며 결과는 표4와 같다.

μ_s/μ_d 변화는 그림5에서 윤활유에 대해 noise 발생여부는 KF1 및 KF2가 μ_s/μ_d 값이

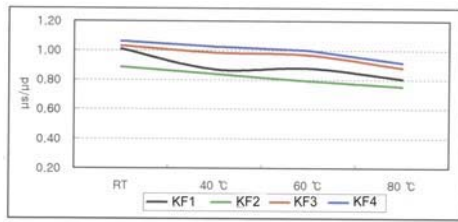
Table 4. Friction characteristics at specific temperatures.

온도	oil			KF1			KF2			KF3			KF4		
	μ_s	μ_d	μ_s/μ_d	μ_s	μ_d	μ_s/μ_d	μ_s	μ_d	μ_s/μ_d	μ_s	μ_d	μ_s/μ_d			
R.T.	0.132	0.131	1.010	0.116	0.131	0.890	0.136	0.132	1.020	0.138	0.130	1.060			
40°C	0.114	0.131	0.870	0.109	0.130	0.840	0.127	0.129	0.980	0.129	0.126	1.020			
60°C	0.109	0.124	0.880	0.098	0.124	0.790	0.119	0.123	0.970	0.123	0.123	1.000			
80°C	0.095	0.118	0.810	0.088	0.117	0.750	0.102	0.116	0.880	0.107	0.117	0.910			

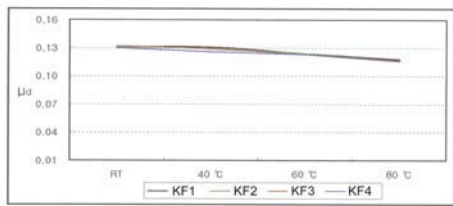
정적마찰계수 변화는 그림4(a)에서 윤활유의 마찰계수 산포가 매우 크며 상온 대비 80°C의 정적 마찰계수는 70% 수준까지 감소하는 경향으로 나타났으며, 동적마찰계수 변화는 그림4(b)에서 윤활유의 마찰계수는 매우 유사했으며 상온 대비 80°C의 동적 마찰계수는 88-99%로 큰 감소 없이 유사한 것으로 나타났다.

1이하로 소음이 발생치 않았으며 KF3, KF4에서는 1이상인 구역에서 소음이 많이 발생하였다.

Dynamic torque wave는 KF1에 대해 상온에서부터 80°C까지 온도별 torque파형에 대한 실험에서 상온과 40°C에서 초기 약간의 pick torque가 발생하였으나 사용상 소음 관련 이상이 없으며 실제로 기계 사용 온도인 60°C, 80°C에서는 매우 안정되게 나타났다.



(a)



(b)

Fig. 4. Dynamic friction coefficient at the specific temperatures.

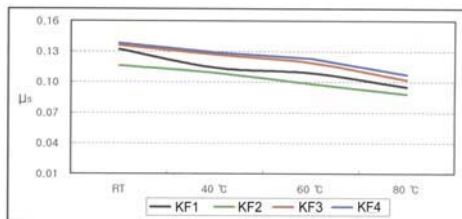


Fig. 5. Static friction coefficient at the specific temperatures.

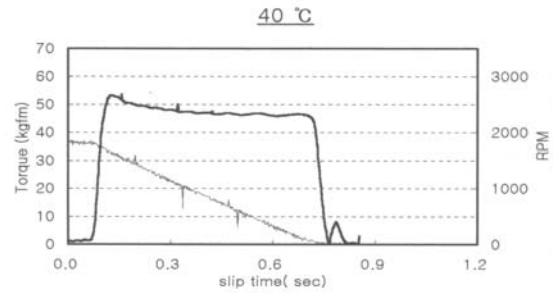


Fig. 6. Dynamic torque wave of KF1 at 40°C.

KF1에서 torque 파형은 그림6은 KF1은 초기의 pick torque가 약간 발생하나 실제 사용상 안정적이며 온도가 상승하면서 초기 pick torque도 작아지면서 실제 사용상 안정적인 파형으로 나타났다.

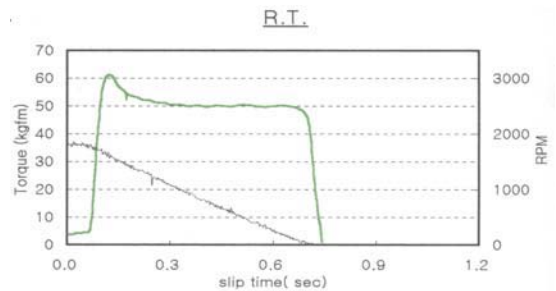


Fig. 7. Dynamic torque wave of KF2 at R.T.

KF2에서 torque 파형은 그림7에서와 같이 KF2에 대해 상온에서부터 80℃까지 온도별 torque파형에 대한 실험에서 상온과 40℃에서 pick torque가 발생하여 급 meeting 현상이 발생할 수 있으며 온도가 상승되면서 파형이 전체적으로 안정화되었다

초기 pick torque가 크게 나타나 급 meeting 현상이 발생하지만 소음은 크게 나타나지 않음을 보여주고 있다.

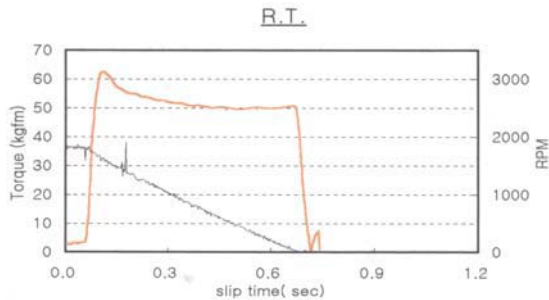


Fig. 8. Dynamic torque wave of KF3 at R.T.

KF3에서 torque 파형은 KF3에 대해 상온에서부터 80℃까지 온도별 torque파형에 대한 실험에서 상온과 40℃에서 pick torque가 및 꼬리 파형이 매끄럽지 못해 noise가 크게 발생되며 60℃, 80℃에서도 초기 및 꼬리부 파형이 안정되지 못해 noise가 발생하였다.

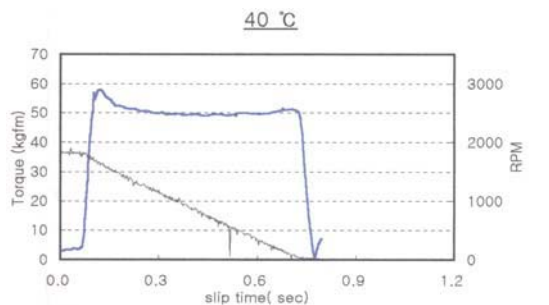


Fig. 9. Dynamic torque wave of KF4 at R.T.

파형을 보면 초기 pick torque가 크게 나타나 급 meeting 현상이 발생하였고 꼬리 부분 파형도 매끄럽지 못하며, 소음도 많이 나타났습니다.

KF4에서는 torque 파형은 KF4에 대해 상온에서부터 80℃까지 온도별 torque파형에 대한 실험에서 상온과 40℃에서 pick torque가 및 꼬리 파형이 매끄럽지 못해 noise가 크게 발생되며 60℃, 80℃에서도 초기 및 꼬리부 파형이 안정되지 못해 noise가 발생하였다.

파형을 보면 초기 pick torque가 크게 나타나 급 meeting 현상이 발생하였고 꼬리 부분 파형도 매끄럽지 못해 소음이 나타났으며, 초기 pick torque가 크게 나타나 급 meeting 현상이 발생하였고 꼬리 부분 파형도 매끄럽지 못해 소음이 나타났음을 보여주고 있다.

온도증가에 따라 pick torque 파형 및 꼬리 부분의 파형이 상온에 비해서는 안정적이거나 소음이 발생하였고, 초기 pick torque 파형 및 꼬리 부분의 파형이 상온에 비해서는 안정적이거나 소음이 발생하였다.

3.2 마찰 특성 변화

재료 물성은 표5와 같이 일반 paper계 재질의 일반적인 물적 특성을 만족시키는 사양으로 제작하였으며 기공율에서 약간 큰 것은 실험의 면압조건 대비 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 5. Characteristics of materials.

항목	마찰관	비고
경도(Hrl)	88.5~89.7	80~95
밀도(g/cm^3)	0.786~0.802	0.7~0.9
기공율	29.86~30.98	20 %

운용조건 중에서 작동 소음, 진동이 발생하지 않고 내열도 및 내마모성이 우수하여야 하고 장시간 사용에도 큰 변화는 없는 것으로 나타났다.

Engaging 회수에 따른 마찰 특성변화는 그림 10과 같이 engaging 회수에 따른 동마찰 계수와 정마찰 계수의 변화를 보여주고 있다.

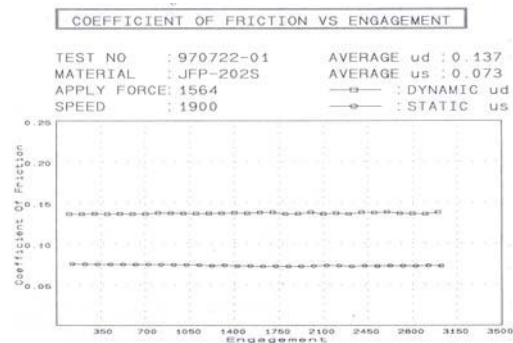


Fig. 10. Coefficient of friction vs engagement.

1800rpm에서부터 1564kgf의 힘을 작용시켜 3000rpm까지 engaging 중 100 회 단위로 측

정한 결과, 평균 동마찰 계수가 0.137, 평균 정마찰 계수가 0.073으로 나타났으며 두 마찰 계수 모두 초기와 말기에 큰 변화 없이 안정적으로 나타났다.

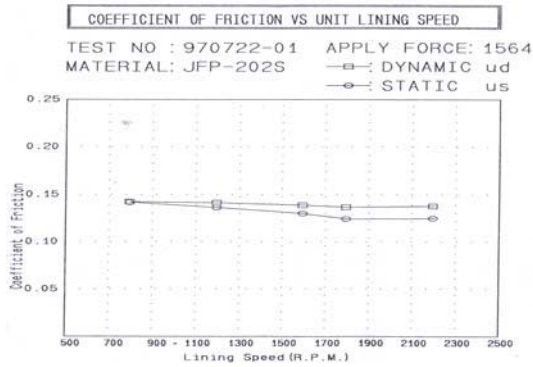


Fig. 11. Coefficient of friction vs unit lining speed.

면압조건 변화에 따른 마찰특성은 그림 11에서와 같이 디스크에 1900rpm의 조건에서 면압을 19.5 kgf/cm²까지 증대시키면서 동마찰계수의 변화는 초기에 비해 동마찰 계수가 0.137에서 0.125로 저하하였으나 매우 안정적인 감소를 보이며 소음과 진동에 있어 상당히 양호하게 나타났다.

3.3 속도에 따른 마찰특성

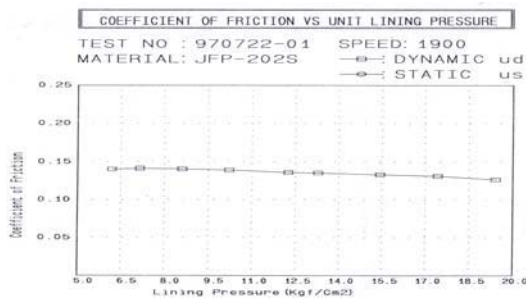


Fig. 12. Coefficient of friction vs unit lining pressure.

속도변화에 따른 마찰특성 변화를 1564kgf 조건에서 2200rpm으로 증가시키며 rpm 별 동마찰 및 정마찰 계수 변화는 그림 12에서와 같이 동마찰 계수는 0.14 수준에서 큰 변화가 없었으며 정마찰 계수는 rpm의 증가에 따라 0.145 수준에서 0.13으로 저하하는 현상을 보였으나 소음 및 진동을 수반치 않은 안정된 경향을 보이고 있다.

3.4 마찰재 마모량

조건 변화에 따른 마찰재 마모 표6에서와 같이 Engaging 3000회를 실시하여 실험 전 후 두께의 변화를 측정하였다. 시험전 4.72 mm에서 시험 후 4.68 mm로 0.04 mm의 마모가 나타났으며 5000회 시험 후 0.05 mm 이내 마모되어 매우 양호한 상태를 나타냈으며, 유효 총두께는 70%까지는 사용할 수 있었다. 사용빈도에 따른 마모 증가량은 초기상태에서 적정 마모까지 진행되다가 정상조건에서 더 이상의 마모는 없으며 마모량 측정 결과는 우수한 것으로 나타났다.

Table 6. Wear measurement of test pieces.

WEAR MEASUREMENT							
Test Piece 1			Test Piece 2				
No	B.T.	A.T.	Wear	No.	B.T.	A.T.	Wear
1	4.72	4.68	0.04	1	0.00	0.00	0.00
2	4.72	4.67	0.05	2	0.00	0.00	0.00
3	4.72	4.69	0.04	3	0.00	0.00	0.00
4	4.72	4.68	0.04	4	0.00	0.00	0.00
X	4.72	4.68	0.04	X	0.00	0.00	0.00

3.5 시험 회수별 마찰특성

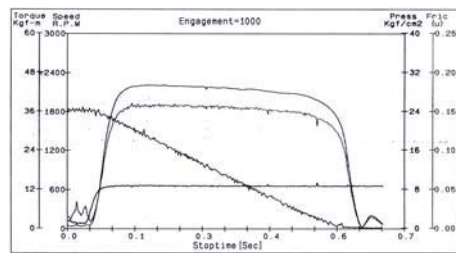


Fig. 13. Friction characteristics curve at 1000 cycles.

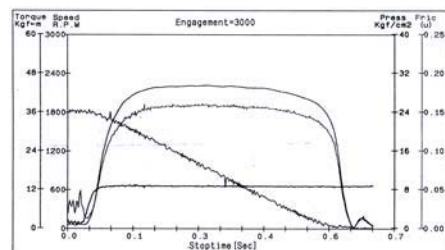


Fig. 14. Friction characteristics curve at 3000 cycles.

동마찰 특성에서 engaging 시 1000cycles에서 마찰특성은 그림 13과 같이 1900rpm의 속도와 $9\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 압력 조건에서 토오크 파형은 매우 안정되는 것으로 나타났으며, 3000회 engaging 시 마찰 특성은 그림 14와 같이 1900rpm의 속도와 $9\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 압력조건에서 토오크 파형은 매우 안정되게 나타났으나 1520회와 3020회에서는 특성은 변화가 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 각기 마찰특성이 다른 4종류의 KF1에서 4까지 Oil 시료를 개발하여 1단계로 Oil 별 마찰 특성, noise 관계, 윤활유 온도 변화에 따른 마찰 특성을 검토하였으며, 마찰 특성은 양호하나 소포성 등이 불량하게 나타났다.

시험결과 engaging 회수, 면압조건 변화, 속도조건에 따른 마찰특성 변화에서 동마찰 계수가 0.13, 정마찰 계수가 0.07~0.08 사이로 1단계 선정 시 대비 안정적으로 저하되었고, 3000회 시험 후 마모량은 0.04 mm로, 마모 분석 결과는 초기상태의 적정마모까지 진행되지만 더 이상 마모진행은 없는 것으로 판단되었다. 본 결과를 종합하면 다음과 같다.

1. KF1에서 KF4까지의 윤활유는 온도별 동적 마찰계수의 변화가 상온대비 80℃에서 90% 수준으로 감소했으며, 마찰계수는 0.13인 것으로 나타났다.
2. KF1에서 KF4까지의 윤활유는 온도별 정적 마찰계수의 변화가 상온대비 80℃에서 70% 까지 산포가 매우 크고 다양한 비율로 감소하였으며 마찰계수가 0.1이하 수준의 윤활유가 좋은 것으로 나타났다.

3. $\mu\text{s}/\mu\text{d}$ 값이 적을수록 토크 파형이 이상적으로 나타나고 소음이 적었다. 시험결과 s/d 값을 0.8 이하로 유지할 때 저소음 운전이 가능한 것으로 판단되었다.

참고문헌

- 1) Wills, George J., Lubrication Fundamentals, Marcel Dekker, Inc. ISBN 0-8247-6976-7
- 2) Rigney, Dabid, Editor, Fundamentals of Friction and Wear of Materials, American Society for Metals, ISBN 0-87170-115-4
- 3) M. A. Anleitner, Friction Material Failure Modes in Oil Immersed Multiple Disc Brake, SAE Paper 841604
- 4) Osanai, Ikeda and Kato, Relations Between Temperature in Friction Surface and Degradation of Friction Materials During Engaging of Wet Friction Paper, SAE Paper 900553
- 5) J. Briant, J. Demis, G. Parc, Theological Properties of Lubricants, SAE Publications B-602
- 6) Robert W. Miller, Lubricants and Their Applications, SAE Publications B-610
- 7) P. Zagrodski Influence of Design & Material Factors on Thermal Stresses in Multiple Disc Wet Clutches & Brakes, SAE Paper 911883

(2004년 11월 24일 접수, 2005년 6월 20일 채택)