

# 전기방전코팅층과 고체윤활제를 도포한 복합층의 마찰마모특성연구

## The study on the tribological characteristics of the Electro Spark Alloyed Layer and Solid lubricant

\*유인석, 류병진, 김성규, 양승호, 유영석  
삼성중공업 건기연구소 소재연구파트

고하중, 저속에서의 마찰마모특징을 나타내는 건설기계의 작업장치 연결부의 핀/부싱 조인트의 개발 적용성 검토를 위해 기존의 사용방법인 표면경화처리 후 그리이스 급유하는 경우와 ESA(전기방전코팅)처리후 고체윤활제를 도포한 경우의 마찰마모특징을 시험 분석하여 기존 방법보다 ESA 처리후 고체윤활제를 도포하는 경우의 마찰마모 특성이 매우 우수한 것을 확인하였다.

### 1. 서론

암반, 사질, 해수 등 가혹한 작업환경에서 사용중인 굴삭기, 로더, 도자 등의 건설기계는 굴삭, 인양, 파쇄작업 같은 매우 다양한 작업에 활용되고 있다. 일반기계에 비하여 건설기계는 가혹하고, 다양한 작업조건에 적합하도록 대체적으로 높은 안전율로 설계되어지고 있는 실정이다. 그 중에서도 작업장치는 최적의 작업효율을 이루기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 건설기계의 작업장치는 가혹하고 다양한 작업환경 및 고하중, 저속의 작업조건에 적합하도록 구조적으로 구성되어 있기 때문에 작업장치 연결부에는 높은 응력이 작용하고 저속의 미끄럼속도로 인하여 윤활의 효과를 얻기가 힘들다. 현재의 연결부의 핀/부싱 조인트는 핀과 부싱의 표면경화처리를 통하여 경도와 강도를 향상시키고, 그리스를 이용하여 윤활 구동하도록 하여 작업장치의 연결부를 설계하고 있으나, 연결부에서의 그리스의 스크워지로 인한 누유 때문에 그리스를 계속 공급해야 하는 부담을 안고 있다. 이런 문제를 해결하기 위하여 실링(sealing), 오일레스베어링(oiless bearing) 등의 개발이 활발히 이루어져 오고 있다. 그러나 기존에 개발 시판되고 있는 오일레스베어링(oiless bearing)을 건설기계의 작업장치 연결부에 적용하기에는 하중조건, 미끄럼속도, 내마모성 등에 한계가 있기 때문에 건설기계에 적용은 적당하지 않다. 당사에서는 수년전부터 이러한 문제를 극복할 수 있는 윤활시스템개발을 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 본 논문에서는 표면경화기술을 적용한 그리스 윤활상태와 ESA(전기방전코팅, Electro Spark Alloying)처리한 후 고체윤활제를 도포한 시편과의 고하중, 저속에서의 마찰마모특성을 비교하고자 하였다.

### 2. 시험

#### 2-1 시편준비

본 연구에서는 링 온 디스크(ring-on-disk) 마찰마모시험기를 사용하여 마찰마모특성을 평가하였다. 시편의 형상과 치수는 그림1 과 같다. 링의 경우 중탄소강을 고주파 표면경화처리하여 마찰면의 표면경도를 HRC 60 으로 조정하였고, 표면을 연마하여 표면조도를 Ra 0.32 - 0.48  $\mu\text{m}$ 로 조절하였다. 디스크의 경우 중탄소강을 열처리하여 모재로 사용하였다. 디스크의 시편의 종류로는 그리스 윤활시험을 위하여 침탄경화처리 시편 그리고 고체윤활제의 시험을 위하여 ESA 처리후 MoS<sub>2</sub> 고체윤활제 도포한 시편과 SP(shot peening)처리후 고체윤활제 도포한 시편 등 3가지로 하였다. ESA 처리시 사용한 코팅용 용접봉은 구리합금을 사용하였고, 이의 화학성분은 표1 과 같다. ESA 코팅후 초음파세척기로 세척 후 MoS<sub>2</sub> 고체윤활제를 도포하였다. 이때 사용된 고체윤활제의 성분은 표2 와 같다. 또 기존의 고체윤활제 도포방법인 shot peening 한 후의 표면에 고체윤활제를 도포하여 시편을 제작하였다. 표3 에 시편의 종류와 특징을 나타내었다.

## 2-2 시험방법

그림 1 에는 시험에 사용된 시험기의 개략도를 나타내었다. 본 시험에서는 ELT(한계내구시험, endurance limited test)를 수행하였으며, 시험조건은 수직하중을 800 kgf(4 kgf/mm<sup>2</sup>)로 하였으며, 회전속도는 26rpm(30 mm/s)으로 하였다. 마찰계수는 토크메타의 측정값으로부터 계산하였으며, 마찰마모시험후 광학현미경으로 마모흔을 관찰하였으며, 마모량은 형상측정기를 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2 에는 각 디스크 시편에 따른 정상상태에서의 마찰계수의 값을 나타내었다. 고체윤활제가 도포되어 있는 시편의 경우와 표면침탄처리후, 그리스 공급으로 윤활을 시킨 시편의 경우에 있어서 마찰계수의 값은 비슷하였다. 그림 3 는 ELT 에서의 마찰계수의 급격한 변화까지의 천이시간을 나타내었다. ESA + MoS<sub>2</sub> 시편의 경우가 SP + MoS<sub>2</sub> 시편의 경우와 표면침탄처리후 그리스를 사용한 시편(Carburized + Grease - 공급, 최소량)의 경우보다 우수한 마찰마모 특성을 나타낸다고 사료된다. 그림 4 는 ELT에서의 LINEAR WEAR INTENSITY 값을 비교하였다. ESA + MoS<sub>2</sub> 시편의 경우의 내마모성이 SP + MoS<sub>2</sub> 시편의 경우보다 우수함을 살펴볼 수 있었다. 이는 고체윤활제의 윤활특성과 고체윤활제와 모재 계면의 접착력의 향상에 그 원인이 있는 것으로 추측된다. ESA에 의한 코팅표면에 의한 요철부는 고체윤활제와의 계면접촉 면적을 넓힘으로 이탈에 소요되는 저항 에너지가 많이 요구되기 때문에 결국 내마모성을 증가시킨 것으로 판단된다. 초기 작용하중의 영향으로 고체윤활제층이 압축되고 마모된 입자의 영향으로 인해 마찰현상을 과도하게 변화시키다가 안정되고 이러한 현상이 반복되다가 고체윤활제의 마모가 서서히 진행되어 결국 ESA층이 마찰면에 나타남으로 인해 마찰계수는 급격하게 상승하게 되며 SCORING이 발생하게 되는 과정을 거치는 것으로 추측된다. 이상의 결과를 통하여 MoS<sub>2</sub> 고체윤활제를 이용하여 기존의 표면경화처리후 그리스 주유하는

방법을 대체할 수 있을 것으로 판단되며, MoS<sub>2</sub> 고체윤활제를 사용할 경우에는 Shot peening 등의 전처리를 한후 MoS<sub>2</sub> 고체윤활제를 도포하는 경우보다 전처리로서 ESA(전기방전코팅, electro spark alloying)시행한 후 MoS<sub>2</sub> 고체윤활제를 도포하는 것이 더욱 우수한 내마모 특성을 가진다고 생각된다.

#### 4. 결론

ESA처리한 후 고체윤활제를 도포한 시편에서의 마찰계수, 전이시간 등 마찰마모특성이 기존 표면경화처리한후 그리이스를 급유하여 시험한 결과와 비교하여 만족스러운 결과를 나타내므로 고하중, 저속의 마찰마모부위에의 대체 가능성을 확인하였다.

MoS<sub>2</sub> 고체윤활제를 사용하는 경우 Shot peening 등의 전처리를 하는 것보다, ESA(전기방전코팅, electro spark alloying)을 시행하는 것이 마찰마모의 내구수명(WEAR INTENSITY)면에서 우수한 특징을 나타냄을 확인하였다.

#### 5. 참고문헌

- (1) 류병진, 양승호, 김성규, 유영석, 유인석, “고체윤활용 MoS<sub>2</sub> Bonded Film의 마찰마모특성연구”, 제23회 춘계학술대회(1996), pp122-12

표 1. ESA(electro spark alloying)의 용접봉 성분

재질	성분
Bronze	Cu : Bal. Mn : 2.30 Cr : 0.0087 Al, Fe, Ni 미량포함

표 2. MoS<sub>2</sub> 고체윤활제의 조성

물질	함량 (wt%)	분석기기	성분
Solid	30	XRD, XRF	MoS <sub>2</sub>
Polymer	20	FT-IR	Epoxy resin Polypropylen Glycol
Liquid	50	FT-IR, FT-NMR	2-Ethoxyethanol

표 3. 시험시편의 종류

Specimen	Dimension (mm)	Materials
Ring	Diameter d <sub>1</sub> : 45.6 d <sub>2</sub> : 40.0	SM45C Induction Hardened (Hardness HRC : 60)
Disk	Diameter : 55	SM 20C Carburized (Hardness HRC : 55) + Grease(공급)
		SM 20C Carburized (Hardness HRC : 55) + Grease(최소량)
		ESA(electro spark alloy) + MoS <sub>2</sub>
		Shot Peening + MoS <sub>2</sub>

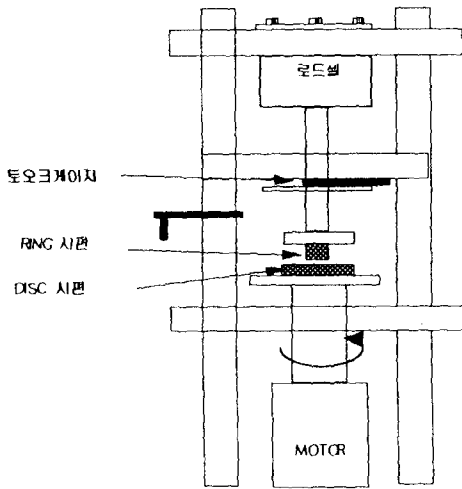


그림 1. 마찰마모시험기의 개략도

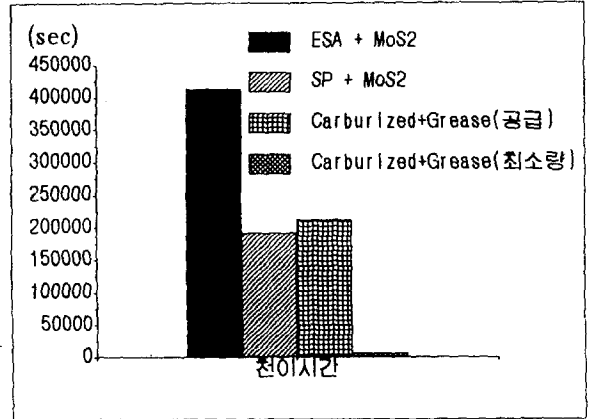


그림 3. 각 시편의 ELT에서의 평균천이시간 (sec)

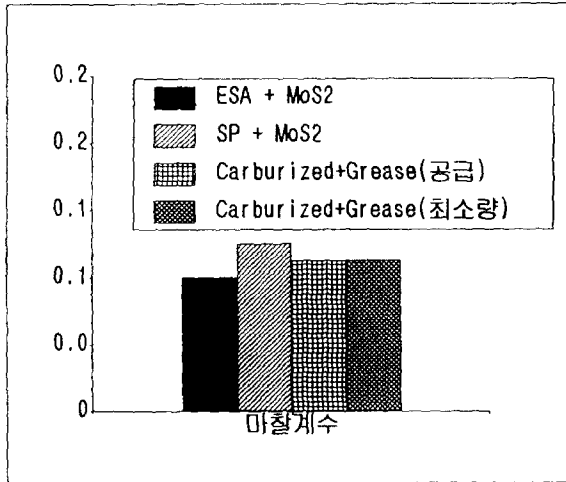


그림 2. 각 시편의 정상상태에서의 평균마찰계수

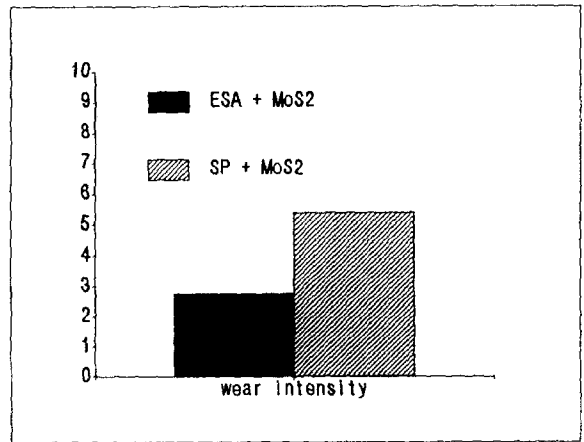


그림 4. ESA+MoS2 시편과 SP+MoS2 시편의 linear wear intensity 비교