

# 운할조건에 따른 미끄럼표면의 소성변형량에 의한 스커팅수명 연구

김병주 · 이영제\*

성균관대학교 대학원  
\*성균관대학교 기계공학부

## A Study on Scuffing Life by the Plastic Strain on Sliding Surfaces under Miscellaneous Lubricated Conditions

Byung-Ju Kim, Young-Ze Lee\*

Graduate School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University  
\*School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University

**Abstract**-A correlation between the low-cycle fatigue life and the scuffing-failure life is demonstrated using the plastic strain in boundary lubricated sliding. Loadings proportional to hardness with three different lubricated conditions were used to evaluate the plastic strain. As the results of scuffing tests using vacuum pump oils in nitrogen gas, plastic strain shows 0.0062, and In the mineral oils and commercial engine oils in air, plastic strain show 0.0042 and 0.00092. Those are very useful to describe quantitatively the real lubricated sliding conditions, and are very effective to find the relation between the low-cycle fatigue life and the scuffing life

**Key words** : scuffing, low-cycle fatigue property, plastic strain, wear

### 1. 서론

상대운동을 하는 기계요소는 대부분 경계 운할영역에서 작동을 한다. 이러한 기계 요소들의 표면에 발생하는 문제는 크게 마모에 의한 표면파괴, 그리고 스키핑(Scuffing)에 의한 표면파괴로 볼 수 있다. 마모는 재료의 형상을 변화시켜 기계 요소가 정상적으로 작동을 못하도록 한다. 점차적으로 증가하는 마모에 의해 발생하는 표면파괴의 수명은 예측이 가능하며, 또한 마모를 방지하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다[1,2]. 그러나 스키핑은 점차적으로 발생하는 것이 아니라 두 금

속표면에서 발생하는 갑작스런 표면파괴(Catastrophic surface failure)이다[3]. 스키핑이 발생하면 마찰력이 증가하고 소음과 진동을 동반하며 표면이 거칠어지는 등 많은 영향을 끼치며, 미끄럼 운동을 하는 기계요소가 스키핑 발생후에는 정상적인 작동을 하지 못하게 된다. 스키핑은 캠, 태핏, 피스톤링, 기어등 미끄럼 운동을 하는 기계요소에서 발생하여 중요한 문제를 야기시킨다[4-6]. 이러한 기계요소에서 스키핑손상을 예방하기 위하여 과도하게 설계되거나 비싼 재료나 특수한 공정을 요구하게 된다. 스키핑은 기계적·화학적·열적 작용을

포함하는 등 매우 복잡하여 스커핑 메카니즘에 대한 완전한 정립이 아직 이루어지지 않아 스커핑에 의한 표면파괴를 예측하기 힘들다.

스커핑에 미치는 인자들은 재료의 기계적 물성치, 재료의 열적물성치, 접촉표면의 화학적 인자, 접촉온도, 표면이 받는 하중, 미끄럼속도, 접촉면의 형상, 그리고 외부환경요인 등이 있으며, 스커핑을 예측하고자 하는 연구는 이것들을 측정하여 정량화 하는 것에 집중되어 왔으며[7,8], 이후 접촉표면의 소성변형에 의한 조도의 변화, 표면보호막의 생성과 파괴, 접촉표면의 경도변화등 시간이 경과함에 따라 발생하는 현상들이 연구되고 있다[9,10]. 일반적으로 반복 미끄럼 접촉 하에서 하중이 가해지면 재료의 표면은 주기적으로 많은 소성변형량을 일으키므로 재료의 표면은 저주기피로(Low-Cycle Fatigue)의 영향을 받는다. 재료는 반복접촉의 영향으로 손상을 받고 이렇게 축적된 손상은 결국 표면파괴를 야기시킨다[11-13].

본 연구에서는 외부적인 조건, 즉 하중이나 속도 등에서 재료 및 윤활조건에 따라서는 윤활면에서의 상황은 접촉표면의 변형량으로 정량화 할 수 있다고 보고, 이러한 표면에 반복적으로 가해지는 변형량은 재료 표면의 피로파괴를 야기하며, 이로 인하여 재료표면의 표면변형층, 산화막, 전이층의 변형, 마찰력의 변화 및 온도증가 등의 과정을 거쳐 최종적으로 스커핑이 발생한다고 본다.

그러므로 저주기피로가 스커핑 발생에 중요한 인자로 보고 여러윤활조건에서 재료의 표면에 발생하는 소성변형량을 정량화 하여, 같은 소성변형율에 상응하는 재료의 피로수명과 스커핑 수명과의 상관관계를 규명하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 시편 및 윤활유

본 연구에 사용된 시편은 AISI 1045강을 지름 60mm, 두께 6mm의 디스크형으로 제작하여 사용하였다. 각 시편은 870℃의 전기로에서 1시간동안 가열하여 담금질한 후 템퍼링 온도를 조절하여 브리넬경도로 225, 390, 450, 500 HB인 4종의 시편을 제작하였다. 열처리 후 동일한 조건으로 표면을 연마하여 중심선거칠기( $R_a$ ) 0.3 $\mu$ m로 일정하게 하였으며, 이렇게 얻은 시편의 저주기 피로물성치가 Tabel 1에 나타나 있다.

실험에 사용된 윤활유는 각기 활성이 달라 윤활조건에 따라 보호막 형성이 다르도록 광유, 진공펌프유, 엔진기유(Base engine oil)을 사용하였으며[14,15], 각 윤활유의 대표적인 물성치가 Table 2에 나타나 있다.

### 2.2 실험장치

스커핑실험을 위한 실험장치는 압자와 시험편의 형상을 바꿀 수 있는 Multi-Type (Ball-on-Disc, Cylinder-on-Disc, etc)의 마찰·마모시험기를 이용하였으며, 본 실험에서는 압자와 시험편을 Ball-on-Disc 형으로 하여 사용하였다. 압자로 사용된 볼은 지름이 10mm인 베어링용 재질인 AISI 52100강으로 경도는 62 HRC이며, 스커핑실험장치의 개략도가 Fig. 1에 나타나 있다. 수직하중은 압자에 연결된 스프링을 통해 가해지며, 로드셀을 자료 획득장치에 연결하여 수직하중과 마찰력을 온라인으로 처리할 수 있도록 하였다. 또한 마찰력에 의한 회전 속도의 감소를 최소화 하기 위해 DC모터에 감속기를 연결하여 사용하였다.

### 2.3 실험내용 및 방법

스커핑 실험은 선속도를 0.3m/s(143rpm)으로 일정하게 하였으며, 상온에서 수행하였다. 그리고 시편에 가해지는 하중조건에 따라서 두 종류의 실험을 하였다.

Table 1. Fatigue properties of quenched and tempered AISI1045 steels

Fatigue property	Hardness, HB			
	225	390	450	500
Fatigue ductility coefficient, $\epsilon_f'$	1.00	0.45	0.35	0.25
Fatigue ductility exponent, $c$	-0.66	-0.68	-0.69	-0.68

\* Data from [Technical Report on Fatigue Properties, SAE J1099, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1977]

Table 2. Properties of Lubricants

Lubricant	Property	Density (15°C) g/cm <sup>3</sup>	Flash Point °C	Kinematic
				Viscosity (40°C) cSt
Mineral Oil		0.879	148	9.125
Vacuum Pump Oil		0.831	250	22.0
Engine Oil		0.880	218	63.3

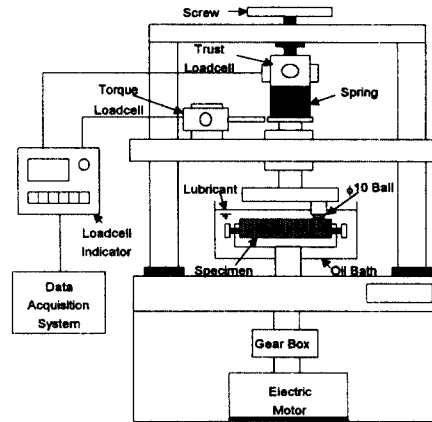
1) 일정 크기의 수직하중 실험

시편의 경도에 상관없이 10kg<sub>f</sub>로 수직하중을 가하여 스키핑 실험을 수행하였다. 윤활조건은 공기중에서 광유를 사용하였다.

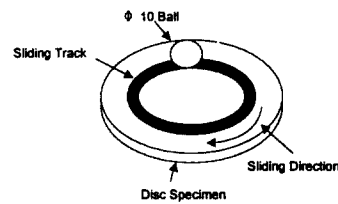
2) 경도에 비례하는 수직하중 실험

각 시편에 가해지는 하중은 Table 3과 같이 경도에 비례하는 하중을 가하여 스키핑 실험을 수행하였다.

경도에 비례하는 수직하중을 줄 경우 재료의 표면에 같은 크기의 소성변형량을 발생시킨다고 보았다. 단순 일축 인장에서 경도가 다른 시편에서 같은 크기의 소성변형량을 발생시키기 위한 하중은 P- $\delta$  선도에서 같은 소성변형량에 대응되는 하중일 것이다. 그러나 미끄럼 운동시 표면의 소성변형은 일축실험과는 다르며 구



(a) Schematic diagram of scuffing tester



(b) Enlarged view of the sliding surface in the oil bath

Fig. 1. Scuffing tester

Table 3. Proportional loading

Hardness, HB	225	390	450	500
Applied load, kg <sub>f</sub>	9	15.6	18	20

를 이용한 압입경도와 유사할 것이다. 경도에 비례하는 수직하중을 줄 경우 재료 표면은 같은 크기의 접촉면적을 갖을 것이며, 같은 크기의 소성변형량이 발생했다고 보아도 타당할 것이다. 윤활유는 공기중에서 광유, 엔진기유를 질소분위기에서 진공펌프유를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 표면 경도변화

운할조건에 따른 미끄럼표면의 소성변형에 의한 경도의 변화를 측정하였다. 경도의 측정은 미세표면경도계(micro-Vickers hardness tester)를 사용하였으며, 50g의 압입하중으로 미끄럼표면에 수직하게 경도를 측정하였다. 접촉 횟수에 따른 미끄럼표면의 표면경도변화가 Fig. 2에 나타나 있으며, 경도 225 HB(237 HV)인 시편을 수직하중 9kgf의 일정하중을 가하였다. 미끄럼표면이 받는 소성변형량의 차이로 인하여 운할조건에 따른 표면경도의 증가 경향은 크게 달랐다. 변화질소분위기의 진공펌프유가 가장 큰 경도증가를 보이며, 광유의 경우는 점진적인 증가를 나타내는 반면, 공기중의 엔진기유는 경도증가가 거의 없었다.

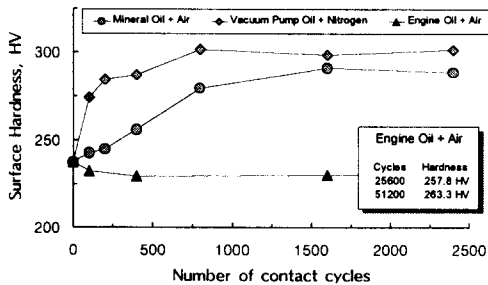


Fig. 2. Surface hardness variation with three lubricated condition.

Table 4. Results of constant loading tests using a mineral oil in air

Hardness, HB	225	390	450	500
The number of cycles to scuffing	337	808	1,554	2,150
Coefficient of friction	0.113	0.108	0.112	0.116
Wear rate, $\times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$	6.284	0.558	0.263	0.247

#### 3.2 일정 크기의 수직하중 실험

시편의 경도에 상관없는 같은 크기의 수직하중을 가하면서 스키핑 실험을 수행하였으며, 윤활유는 공기중에서 광유를 사용하였다. 경도에 따른 스키핑 수명은 다음 Table 4에 나타나 있으며, 2회 이상 실험의 평균값이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 시편의 경도가 증가함에 따라 스키핑 수명이 증가함을 보여주고 있다. Fig. 4는 경도변화의 따른 마찰계수와 마멸량을 수직하중과 미끄럼거리로 나눈 마멸비(wear rate)를 나타내고 있다. 시편의 경도 변화에 따른 마찰계수의 변화는 크지 않으나, 마멸비는 경도가 증가함에 따라 상당히 작은 값을 나타내고 있다. 경도가 증가함에 따라 마찰계수의 변화는 거의 없으나, 스키핑 수명은 증가하며 마멸비는 Archard 마멸법칙[16]에 따라 감소한다. 동일한 운할조건에서 동일한 하중을 받을 경우 경도가 증가함에 따라 스키핑 저항성과 마멸저항성은 동시에 증가함을 알 수 있다. 동일한 하중을 가할 경우 표면이 받는 소성변형량은 다르며, 무른 재료가 같은 하중조건에서 더 큰 소성변형량이 발생하기 때문이며, 소성변형량을 정량화하여 스키핑과 저주기피로와의 관계를 제시하지는 못한다.

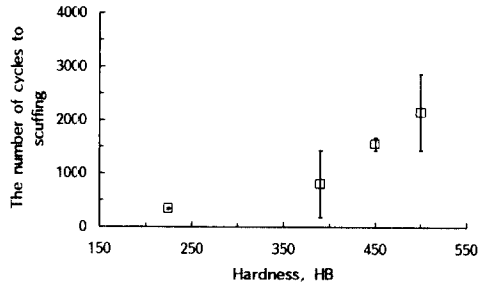


Fig. 3. The number of cycles to scuffing in constant loading tests using a mineral oil in air

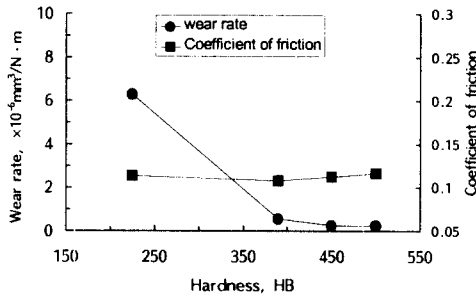


Fig. 4. Wear rates and coefficient of friction in constant loading tests using a mineral oil in air

### 3.3 경도에 비례하는 수직하중 실험

시편의 경도에 비례하는 수직하중을 가하면서 스커핑 실험을 수행하였으며, 윤활유는 공기중에서 광유와 엔진기유, 질소분위기에서 진공펌프유를 사용하여 윤활보호막의 형성이 다르도록 하였다. 윤활조건에 따른 스커핑 수명과 마멸비가 Table 5에 나타나 있으며, 2회 이상 실험의 평균값을 사용하였다. 경도에 따른 마찰계수는 거의 일정하였고, 윤활유에 따라서는 약간의 차이가 있다. Fig. 5는 공기중에서 광유를 사용했을 경우 경도에 따른 스커핑 수명을 나타내고, Fig. 6은 마찰계수와 마멸비를 나타내고 있다. 공기중에서 광유를 사용하여 경도에 비례하는 하중을 가한 경우 경도에 따른 마찰계수는 거의 일정하나 스커핑 수명과 마멸비는 경도가 증가함에 따라서 감소한다.

Fig. 7은 질소분위기에서 진공펌프유를 사용했을 경우의 경도에 따른 스커핑 수명을 나타내고, Fig. 8은 마찰계수와 마멸비를 나타내고 있다. 질소분위기에서 진공펌프유를 사용하여 경도에 비례하는 하중을 가한 경우경도에 따른 마찰계수는

Table 5. Results of proportional loading tests

Lubricated condition	Hardness, HB	The number of cycles to scuffing	Coefficient of friction	Wear rate $\times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$	
Mineral Oil +	225	2,856	0.113	5.943	
	390	372	0.117	0.761	
	450	191	0.125	0.547	
	500	43	0.125	0.161	
Vacuum Pump Oil +	225	1,287	0.100	8.02	
	390	288	0.087	1.539	
	450	63	0.092	0.779	
Nitrogen	500	6	0.106	0.307	
	Engine Oil	450	68,053	0.097	0.105
+	Air	500	63,885	0.091	0.058

거의 일정하나 스커핑 수명과 마멸비는 경도가 증가함에 따라서 감소한다. 경도에 비례하는 수직하중실험에서 윤활조건에 상관없이 경도가 증가함에 따라 스커핑 저항성은 낮아지나, 마멸저항성은 Archard의 관계와 같이 커진다. 마찰계수는 질소분위기의 진공펌프오일이 공기중의 광유에 비해 더 낮은 값을 보여주고 있으나, 공기중의 광유가 스커핑 저항성과 마멸비에서는 더 양호한 성능을 보여주고 있다. 그리고 공기중에 엔진오일을 사용하여 스커핑 실험을 수행한 결과는 Table 5에 나타나 있는 것과 같이 스커핑 수명이 60,000회 이상으로 다른 윤활조건에 비해 월등히 우수한 성능을 보여주고 있다. 이는 외부적으로 가한 수직하중과

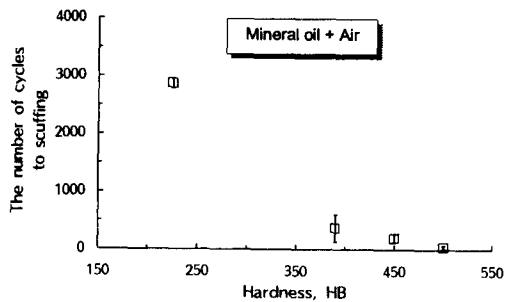


Fig. 5. The number of cycles to scuffing in proportional loading tests using a mineral oil in air

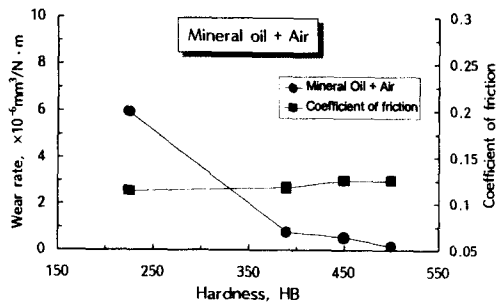


Fig. 6. Wear rates and coefficient of friction in proportional loading tests using a mineral oil in air

그로 인하여 발생한 마찰력으로 세가지 윤활조건 모두 같은 크기의 소성변형량이 가해지도록 하중을 주어 실험을 하였으나, 보호막의 형성으로 인해 실제 표면에 가해진 소성변형량이 커다란 차이가 있었음을 알 수 있다.

3.4 스커핑과 저주기피로와의 상관관계  
저주기피로 물성치인 Fatigue ductility coefficient ( $\epsilon_f'$ ) 에 대한 스커핑 수명이 Fig. 9에 나타나 있으며, 마멸비가 Fig. 10에 나타나 있다. Fatigue ductility coefficient가 증가함에 따라 스커핑 수명과 마멸비가 동시에 증가하는 경향을 보여주고 있다.

스커핑 저항성의 측면에서는 Fatigue

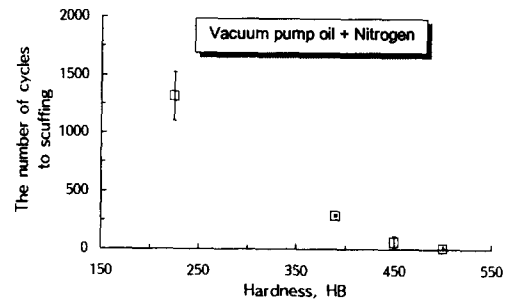


Fig. 7. The number of cycles to scuffing in proportional loading tests using a vacuum pump oil in nitrogen

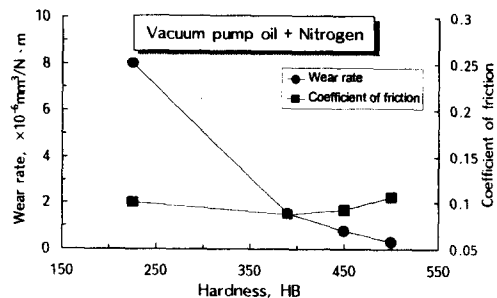


Fig. 8. Wear rates and coefficient of friction in proportional loading tests using a vacuum pump oil in nitrogen

ductility coefficient가 클수록, 마멸저항성 측면에서는 작을수록 유리함을 알 수 있다. 경도에 비례하는 하중으로 실험을 한 경우 윤활조건에 상관없이 스커핑 저항성과 마멸저항성과는 상반된 결과를 나타내고 있다.

저주기피로와 스커핑과의 상관관계는 직접적으로 저주기피로수명과 스커핑수명과 관계일 것이다. 저주기피로에서 Manson과 Hirschberg가 제안한 Strain-life를 이용하여 일정한 소성변형량일 때의 피로수명은 다음과 같다[17].

$$N_f = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{\Delta\epsilon_p}{2\epsilon_f'}\right)^{\frac{1}{c}}$$

위의 식에서 스커핑 실험에서 재료표면이 받는  $\Delta\epsilon_p/2$ 을 대입하여 계산된 저주기피로수명을 스커핑 수명과 비교하면 스커핑과 저주기피로와의 상관관계를 찾을 수 있다. Fig. 11(a)는 공기중의 광유일 경우  $\Delta\epsilon_p/2 = 0.0042$ 로 가정하여 계산된 저주기피로 수명과 실험에서 얻어진 스커핑수명이 나타나 있으며, 질소분위기의 진공펌프유일 경우  $\Delta\epsilon_p/2 = 0.0062$ 로 가정하여 계산된 저주기피로수명과 실험에서 얻어진 스커핑 수명이 Fig. 11(b)에 나타나 있다. 그리고 공기중의 엔진기유의 경우는 수명이 매우 길어 충분한 자료를 얻지는 못하였지만, 대략  $\Delta\epsilon_p/2 = 0.00092$ 일 때 피로수명과 스커핑 수명이 비슷한 관계를 갖는다. Fig. 11과 같이 윤활조건에 상관없이 저주기 피로수명과 스커핑 수명과는 유사한 상관관계를 보여주고 있다 그리고 경도가 낮아질 수록 일정 소성변형량을 가정한 저주기피로수명보다 수명이 더 크게 나타나고 있다. 이는 접촉 횟수가 증가할수록 보호막 형성이 촉진되어 더 긴 수명을 나타내기 때문이다.

경도에 비례하는 하중을 준 경우 각 윤활조건에서 마찰계수는 거의 변화가 없으며

로 외부에서 가해지는 하중과 마찰력은 거의 유사하다고 볼 수 있다. 이러한 외부하중에 의한 소성변형량과 윤활조건에 따라 모재가 실제 받는 소성변형량은 윤활면에 형성되는 보호막의 영향으로 서로 다르다. 각 윤활환경에서의 마멸비를 살펴 볼 때 질소분위기에서의 진공펌프유가 공기중의 광유에 비해 전반적으로 1.7배 수준이며, 그리고 공기중의 엔진기유가 광유에 비해 전반적으로 1/3 정도로 작게 나타났다. 이는 소성변형량의 차이와 매우 유사하다. 윤활환경에 따라 형성된 보호막의 차이를 발생하며, 마멸비가 증가하는 경향은 소성변형량이 증가하는 것과 같은 양상을 나타낸다.

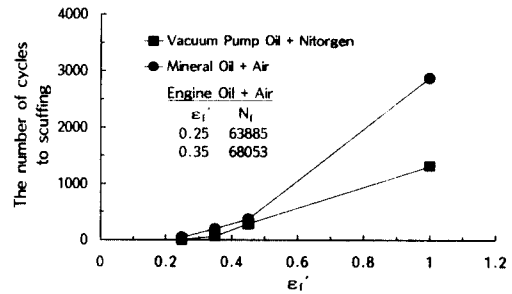


Fig. 9. Correlation between fatigue ductility coefficient and the number of cycles to scuffing for proportional loading tests

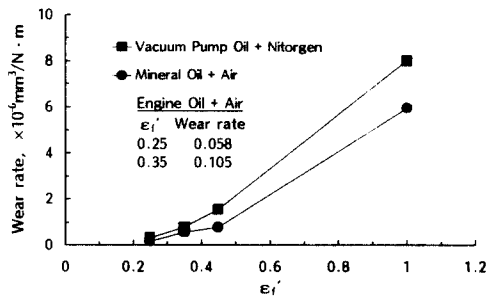
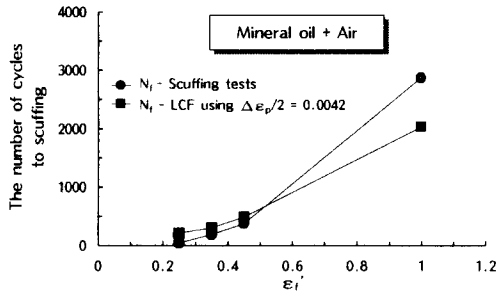
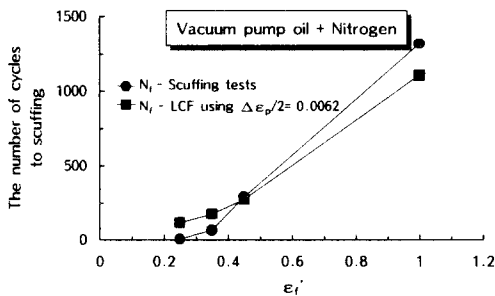


Fig. 10. Correlation between fatigue ductility coefficient and wear rate for proportional loading tests



(a) Using  $\Delta\epsilon_p/2 = 0.0042$  for a mineral oil in air



(b) Using  $\Delta\epsilon_p/2 = 0.0062$  for a vacuum pump oil in nitrogen

Fig. 11. Correlation between  $N_f$ -LCF and the number of cycles to scuffing for proportional loading tests

#### 4. 결론

본 연구에서는 AISI 1045강을 열처리하여 저주기피로물성치가 다른 시편을 여러운활조건에서 스키핑실험을 통해서 얻은 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 일정 크기의 수직하중을 가한 스키핑 실험에서 시편의 경도가 증가함에 따라 재료의 마멸저항성과 스키핑 저항성이 동시에 증가한다. 그러나 재료의 경도에 따른 소성 변형량의 크기가 다르므로 스키핑 저항성과 저주기 피로와의 상관관계

를 얻기엔 적절한 방법이 아니다.

2. 경도에 비례하는 수직하중을 가한 스키핑 실험에서

- 윤활조건에 상관없이 시편의 경도가 작아짐에 따라 즉 저주기피로 물성치인 fatigue ductility coefficient( $\epsilon_f'$ )가 증가함에 따라 마멸저항성은 낮아지나 스키핑 저항성은 증가한다.

- 경도에 비례하는 하중과 세 가지 윤활유를 사용하여, 외부하중 조건은 유사하였지만 각기 다른 윤활조건에서 스키핑 수명까지의 서로 다른 소성변형량을 구하였다. 질소분위기에서 진공펌프유를 사용한 결과 소성변형량은 0.0062 이었고, 공기 중에서 광유를 사용한 경우에는 0.0042, 엔진기유를 사용하여 0.00092의 값을 얻었다. 이는 윤활 표면이 실제로 감당하는 하중이 외부에서 가해지는 하중과 관계없이 윤활조건에 따라 달라지며, 각 소성변형량은 윤활조건을 정량화 하는데 매우 유용한 지표다.

#### 참고문헌

1. H. Czichos and K. Kirschke, "Investigations into Film Failure (Transition Point) of Lubricated Concentrated Contacts", Wear, Vol. 22, pp. 321-336. 1972.
2. C. M. Lossie, J. W. M. Mens, and A. W. J. de Gee, "Practical Applications of the IRG Transition Diagram Technique", Wear, Vol. 129, pp. 173-182. 1989.
3. K. C. Ludema, "A Review of Scuffing and Running-in of Lubricated Surfaces with Asperities and Oxides in Perspective", Wear, Vol. 100, pp. 315-331, 1984.
4. Neale M. J., "Piston Ring Scuffing - A Board Survey of Problems and Practice", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 185, pp. 21-32, (1970-1971).



5. Scott D., Smith A. I., Tait J. and Tremain G. R., "Materials and Metallurgical Aspects of Piston Ring Scuffing - A Literature Survey", *Wear*, Vol. 33, pp. 293-315, 1975.
6. L. L. Ting, "Lubricated Piston Rings and Cylinder Bore Wear", *Wear Control Hand-book*, American Society of Mechanical Engineers, pp. 609-665, 1980.
7. S. C. Lee, H. S. Cheng, "Scuffing Theory Modeling and Experimental Correlations", *ASME Journal of Tribology*, Vol. 113, Apr., pp. 327-334, 1991.
8. J. L. Rhatigan, R. R. Johnson, T. A. Dow, "An Experimental Study of Thermoelastic Effects in Scuffing Failure of Sliding Lubricated Contacts", *ASME Journal of Tribology*, Vol. 111, Jan., pp. 23-28, 1989
9. Young-Ze Lee, K. C. Ledema, "The Effects of Surface Roughening and Protective Film on Scuff Initiation in Boundary Lubrication", *ASME Journal of Tribology*, Vol. 113, No. 2, pp. 295-302, 1991.
10. Jeng Haur Horng, Jen Fin Lin, Ke Yang Li, " Scuffing as Evaluated Film the Viewpoint of Surface Roughness and Friction Energy", *ASME Journal of Tribology*, Vol. 118, July, pp. 669-675, 1996.
11. Rozeanu L., "Fatigue Wear as a Rate Process", *Wear*, Vol. 6, pp. 337-340, 1963.
12. Kimura Y., "An interpretation of Wear as a Fatigue Process", *Proc. JSLE-ASME Int. Lub. Conf.*, Tokyo, p. 67, 1975.
13. A. Kapoor, "Wear by Plastic Ratchetting", *Wear*, Vol. 212, pp. 119-130, 1997.
14. 이영제, "미끄럼운동을 하는 면에 윤활 조건에 따라 발생하는 보호막의 형성과 파괴에 관한 연구" *한국윤활학회*, 제 7 권, 제1호, pp. 16-27, 1991.
15. 이영제, "이중보호막 모델을 이용한 보호막의 형성과 표면파괴에 관한 연구", *한국윤활학회*, 제 8권, 제 2호, pp. 14-19, 1992.
16. J. F. Archard, "Contact and Rubbing of Flat Surfaces", *J. Appl. Phys.*, Vol. 24, p. 981, 1953.
17. Manson S. S., and Hirschberg M. H., "Fatigue An Interdisciplinary Approach", *Syracuse University Press*, Syracuse, NY, p. 133, 1964.