

알루미나 세라믹스의 분위기 변화에 따른 Tribology 특성

진동규* · 박홍식 · 전태욱 · 이광영
(부산전문대) (동아대) (경상대)

Abstract

This study was undertaken to investigate tribology characteristics of the alumina ceramics(Al_2O_3) for the variation of ambient condition such as air and distilled water. The results obtained were as follows. As the sliding speed increases, the friction coefficient in the air decreased due to the reduction of shearing stress caused by the heat accumulation of contact interface. And the friction coefficient in the distilled water decreased due to an activation of the tribochemical reaction. As the contact load increases, the friction coefficient is small in the air due to temperature rise of the contact interface. However, at the low speed side in the distilled water, the friction coefficient holds a large value due to decrease of the tribochemical reaction. The friction surface of ceramics can be protected in the air by the influence of the oxides transferred from STB2 and also in the distilled water by the influence of the corrosive productive hydroxides.

1. 서 론

기계문명의 발달에 따라 새로운 기능을 가진 기계구조물 등이 많이 만들어지고 있다. 또한 사용기계의 고하중화, 고속화에 부응하기 위하여 경량화가 요구되고 있다. 이와 함께 기계에서 요구되는 정밀도는 향상되고, 기계의 사용환경의 가혹화에 수반하여 새로운 기계구조재료로서 세라믹스가 최근 널리 주목을 받고 있다.¹⁾ 이에 세라믹스는 내식성, 내열성, 저밀도, 내마멸성 등의 우수한 특성을 가지고 있기 때문이며, 특히 고온 경도가 높아 마멸하기 어렵다고 하는 성질은 내마멸재료로서 최적이며, 이들 성질을 이용하여 기어, 베어링, 노즐 및 mechanical seal 등 기계의 운동부품 및 자동차 엔진 등의 재료로서 기대되고 있다. 이에 수반하여 각종 분위기에 대한 세라믹스의 Tribology에 관한 연구도 증가되고 있지만, 그 기초적연구는 금속에 비하여 훨씬 적고 마찰기구나 그 마멸특성에는 아직 불분명한 점이 많다.²⁾ 이것은 세라믹스가 그 종류도 많고 각각의 재질에 따라서 表面吸着層 및 기계적 특성이 다르기 때문에 마찰변형특성도 서로 다르게 되기 때문이라고 생각된다.

지금까지 대기중에서의 세라믹스 또는 세라믹스와 금속과의 마찰·마멸에 대한 연구를 살펴보면,

復本³⁾은 마찰재료로서의 세라믹스에 관한 기초적인 연구를 하였으며, Ajayi⁴⁾는 구조용 세라믹스인 SiC와 Al_2O_3 의 마멸 mode에 미치는 현미경조직의 효과에 대하여 연구한 결과, 약한 결성입계를 가진 재료가 강한 입계를 가진 것보다 훨씬 손상의 영향이 크다고 하였다. 그리고 수중에서의 대표적인 연구로서 石垣⁵⁾은 각종 세라믹스에 관한 대기중 및 습도의 영향에 대하여 서술하고 있으며, Sasaki⁶⁾는 세라믹스의 마찰·마멸에 미치는 분위기 습도 및 수분의 영향에 대한 연구로서 마찰면에 형성된 물의 흡착층 및 수산화물이 마찰에 큰 영향을 미친다고 보고하고 있다. 이처럼 세라믹스에 관한 연구는 Al_2O_3 , ZrO_2 , SiC 및 Si_3N_4 등의 각종 세라믹스의 재질을 달리한 경우의 제특성을 규명하였다.

그러나 사용 기계의 고속화, 경량화, 경제성 및 사용환경의 가혹화 등에 부응하기 위한 재료로서 각종의 세라믹스가 많이 사용되고 개발이 되고 있지만, 무엇보다 고순도화 및 경제성 등에서 유리하여 가장 널리 이용될 가능성이 있는 것은 알루미나 세라믹스가 적절하다고 생각된다.

그러나 지금까지 전자, 기계부품 및 자동차 부품 등의 구조용 세라믹스로 널리 사용되는 알루미나 세라믹스의 트라이볼로지 특성에 대한 연구는 아

직까지 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 알루미늄 세라믹스를 실험 재료로 하고, 베어링강을 상대재료로 사용하여 분위기 변화 즉, 공기중 및 증류수중에서 미끄럼속도, 작용하중 등의 마찰조건을 변화시켜 미끄럼 마찰실험을 수행하여 이들 분위기중에서의 마찰계수, 마찰량 및 마찰면의 표면관찰을 통하여 알루미늄 세라믹스의 트라이볼로지 특성을 조사하였으며, 또한 분위기에 따른 상호간의 특성 비교를 통하여 분위기에 대한 마찰특성을 상세히 조사하였다. 이들 결과를 통하여 각종 분위기중에서 사용되는 기계부품 및 자동차 부품의 트라이볼로지 설계에 대한 기초 자료를 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2-1. 실험재료

본 연구에 사용한 실험재료는 소결한 순도 95% 알루미늄 세라믹스이며, 상대재는 시판의 베어링강 (STB2)을 선택하였으며, Table 1에는 알루미늄 세라믹스 및 베어링강의 물리적 및 기계적 성질을 표시하였다.

Table 2에는 알루미늄 세라믹스의 화학적 성분을 나타내었다. 여기서 알루미늄 세라믹스의 불순물로서 대부분이 SiO_2 임을 볼 수 있다.

세라믹스 재료는 일반적으로 가공이 곤란하므로 시험편의 형상은 단순한 것이 요망된다. 따라서 시험편은 Fig. 1과 같이 외徑 22mm, 內徑 15mm로 하였으며, 마찰면은 링상이며, 실험전 시험편은 마찰면 엷지부가 실험중 치핑으로 인한 중량감소를 줄이기 위하여 다이아몬드 줄로 라운딩을 준 후, emery paper #1200으로 연마하여 그 표면조도를 $R_{max} = 2\mu m$ 로 일정하게 하였다. 그리고 마찰 형태는 평면과 평면의 미끄럼 마찰이 되도록 하였다.

Fig. 1과 같이 링형의 시험편으로 실험을 하는 경우, 마찰면 전체에 균일한 접선력이 작용한다고 하여도 발생하는 토크는 회전반경에 따라 다르므로 추정되는 토크는 이들의 적분치가 되므로 접선력을 면밀하게 구할 수는 없다. 따라서 축하중이 마찰면에 균등하게 작용하며, 반경방향으로의 상대 미끄럼속도의 차의 영향도 무시하고 접선력이 마

찰면 전체에 균일하게 작용한다고 하면 계속된 토크로부터 접선력을 다음과 같이 계산할 수 있다.

Fig. 2에 표시한 바와 같이 내반경을 r_1 , 외반경을 r_2 라 하고, 마찰계수를 μ , 접촉압력을 P 로 하면 마찰면 전체에서 발생하는 토크 T 는 식 (1) 과 같이 표시할 수 있다.

$$T = \int_{r_1}^{r_2} \mu P r (2\pi r) dr \quad (1)$$

여기서 작용하중 P 는

$$P = \int_{r_1}^{r_2} P (2\pi r) dr \quad (2)$$

가 되며, μ 는 마찰면 전체에서 일정치를 취한다고 가정하면

$$\mu = [T \int_{r_1}^{r_2} r dr] / [P \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr] \quad (3)$$

으로 표시할 수 있다. 이것을 일반의 마찰계수 $\mu = F/P$ 와 비교하면 접선력 F 는

$$F = T/r_{eq} \quad (4)$$

이 된다. 여기서

$$r_{eq} = [\int_{r_1}^{r_2} r^2 dr] / [\int_{r_1}^{r_2} r dr] \quad (5)$$

이다. 이것은 측정된 토크를 r_{eq} 로 나누면 접선력이 얻어진다는 것을 표시하고 있다. 따라서 본 실험에서 미끄럼속도와 미끄럼거리에 따라 마찰계수 μ 는 모두 반경 r_{eq} 에 대하여 계산한 값으로 하였다.

Table 1. Physical and mechanical properties of 95% alumina ceramics and STB2

Properties	Alumina ceramics and STB2	95% ceramics	STB2
Specific gravity		3.7	7.8
Bending strength (MPa)		313.6	—
Compressive strength (MPa)		2450	2352
Young's modulus ($\times 10^6$ MPa)		3.14	1.90
Vickers hardness		1400	825
Thermal conductivity (cal · cm/cm ² · sec · °C)		0.06	0.13

Table 2. Chemical compositions of 95% alumina ceramics

Chemical compositions (wt.%)					
Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O
95.2	3.53	0.27	0.05	0.05	0.25

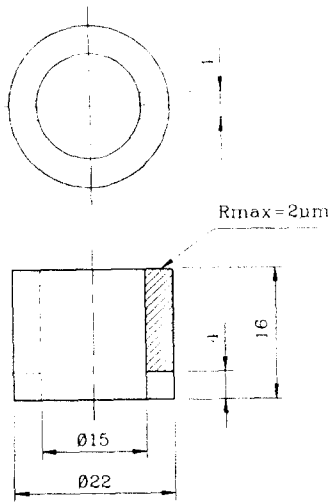


Fig. 1. Shape and dimension of specimen

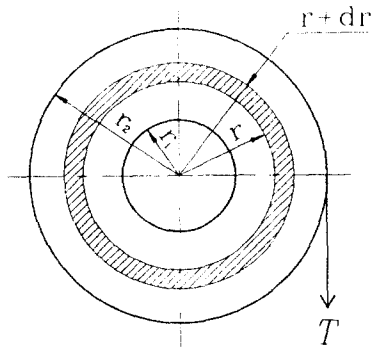


Fig. 2. Torque generated on the frictional surface

2-2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 3은 공기중 및 증류수중에서 마찰실험을 하기 위하여 직접 설계, 제작한 시험기의 개요도를 나타낸 것이다. 그리고 증류수중에서는 실험중 마찰온도의 상승을 억제하기 위하여 시험액조는 0.3ℓ 크기의 아크릴수지를 사용하였고, 또한 30ℓ 크기의 아크릴수지 탱크를 설치하여, 2ℓ/min 용량의 순환 펌프를 사용하여 계속적으로 증류수를 순환시켰다.

여기서 고정부에 부착한 上部시험편은 상대재료인 베이링강을, 회전부에 부착한 下部시험편에는 실험재료인 알루미나 세라믹스를 장착하여 각 실험조건에 따라 마찰실험을 행하였다. 이때의 마찰력은 스트레인 게이지가 부착된 板스프링을 통하여 증폭기로 증폭하여 선형 가측기로 그 출력파형을 검출하여 산출하였다. 그리고 회전 속도변환은 모터를 이용하여 V-벨트로 구동시기를 이를 인버터로 무단구동시기 변환하였다. 실험조건으로서 미끄럼속도를 0.1m/sec~0.7m/sec까지 변화시켰으며, 미끄럼거리: 1km 로 하였다. 접촉하중은 중산층에 靜荷重을 가하여 공기중에서는 40N~98N까지 24.5N 씩 상승시켰으며, 증류수중에서는 98N~196N까지 49N 씩 상승시켰다. 여기서 미끄럼속도를 0.7m/sec까지 한것은 이 이상의 속도에서는 워젯형상으로 불안정한 마찰이 진행되었기 때문이다. 또한 시험편 및 베이링강의 경도치는 마이크로 비커스 경도계를 이용하였으며, 주사전자현미경을 사용하여 각 실험조건에 따른 마찰면을 관찰하였다. 실험후 마멸체적(mm³)은 0.1mg 의 정도를 가진 디지털천칭을 사용하여 실험전후의 중량감소량을 측정하고 이를 시험편의 비중을 이용하여 환산하였다. 여기서 실험재인 세라믹스에는 상대재료인 鋼의 전이가 발생하여, 마찰표면에 유색의 산화물이 산적하여⁶⁾ 오히려 세라믹스의 중량이 증가하였기 때문에 세라믹스의 마멸체적은 나타내지 않았다.

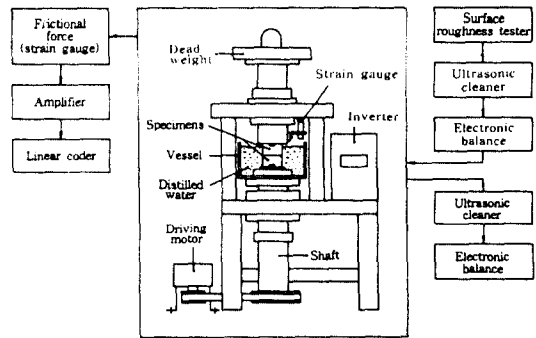


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 공기중에서의 Tribology 특성

Fig. 4는 접촉하중 P 를 49N, 73.5N 및 98N으로 하고 미끄럼거리 L 을 1km로 일정하게 하였을 때, 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 마찰계수 μ 를 나타낸 것이다. 여기서 마찰계수는 실험중 각 미끄럼속도에서 진폭의 최대치와 최소치가 불규칙하게 나타났지만 본 실험에서는 실험종료 직전에 측정된 값의 평균치를 찾아 이를 이용하여 식 (4)에서 구한 마찰력을 접촉하중으로 나눈 값으로 하였다. 그림에서 V 및 P 의 증가에 따라 μ 는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 V 증가에 따라 마찰면에 발생하는 발생열의 증가에 기인하며, P 의 증가에 따라 실제 접촉점이 증가하고 이로 인하여 마찰면 온도의 상승으로 응착면의 전단강도의 저하가 크기 때문이며, 알루미늄 세라믹스의 경우 온도가 상승할 수록 열전도율이 저하하여⁷⁾ 열축삭에 의한 현상에도 기인한다고 생각된다. 또한 ZrO_2 와 tempering 鋼의 마찰실험⁸⁾에서도 미끄럼속도의 증가에 따라 마찰계수의 감소는 마찰면 온도 상승으로 인하여 접촉면의 전단강도의 저하에 기인한다는 것에도 일치하는 현상이다.

Fig. 5은 Fig. 4와 동일한 실험조건에서의 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 상대재인 베어링강의 마멸체적 W 를 나타낸 것이다. 그림에서 치밀 W 는 P 가 49N에서는 0.4m³/sec, 73.5N 및 98N은 0.2m³/sec까지는 감소 하지만, 그 이상의 속도영역에서는 서서히 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 P 의 증가와 함께 W 는 급격히 증가 하지만, W 의 감소치를 나타내는 V 는 대체로 저속속도로 이행하는 것을 알 수 있다. 또한 실험 후 실험재인 알루미늄 세라믹스의 마찰면상에는 V 및 P 의 증가에 따라서 유색의 산화물이 赤褐色에서 黑褐色으로 변화하는 경향으로 나타났으며, 이의 수성분은 Fe_2O_3 및 Fe_3O_4 이라고 생각된다.^{9,10)} 이런 현상은 세라믹스와 강 마찰시 마멸은 전단강도가 작은 鋼쪽에서 마멸이 진행되므로 마찰표면에 집적한 산화물은 鋼에서 탈락한 마멸분이 마찰면 온도의 상승으로 산화가 진행되었기 때문이다.¹⁰⁾

각 P 에 따라 W 의 감소치를 나타내는 V 이하의 속도영역에서는 상대재인 鋼에서 탈락된 미세

한 마멸분이 즉시 산화하여 이것이 세라믹스의 표면으로 이착되어 랩재와 같은 역할을 하는 연삭마멸¹¹⁾을 하기 때문이라 생각된다. 그리고 그 이상의 속도영역에서 W 가 증가하는 것은 강의 표면에서 세라믹스의 표면으로 이착된 산화물은 V 의 증가에 따라 마찰면 온도의 상승으로 서로 着着하여 세라믹스의 표면에서 탈락하기 어렵게되고, 이후 계속적인 마찰로 인한 마찰열의 증대로 강의 표면을 연화시켜 열연화에 의한 마멸이 진행되기 때문이라 생각된다. 그리고 각 P 에서 W 의 감소치를 나타내는 V 에서는 마찰초기 연삭마멸의 형태로 진행되지만, 그 이하의 속도영역보다 마찰면 온도의 증가로 표면응착력이 증대하고, 이로 인하여 마멸분의 배제가 어렵게 되어 접촉계면에 생성된 산화물이 마찰표면을 분리시켜 유효작용¹¹⁾을 하기 때문이라 생각된다. 그러나 상대재 및 실험재를 鋼으로 하였을 때, 林¹²⁾ 및 文¹³⁾의 연구에서는 전술한 내용과 반대의 현상이 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 저속의 영역에서는 赤褐色의 산화물이, 고속의 영역에서는 黑色의 산화물이 발생하여 마찰면의 직접접촉을 방지하기 때문에 輕磨減¹⁴⁾로 되며, 또한 중간속도의 영역에서는 마멸속도가 산화반응속도보다 빠르게 진행되어 산화물의 생성이 극히 적고, 이로 인하여 응착마멸과 연삭마멸이 지배적으로 작용하는 重磨減¹⁴⁾이 된다고 서술하고 있다.

Fig. 6은 접촉하중 P 를 49N, 미끄럼거리 L 을 1km로 하였을 때, 실험재인 세라믹스의 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 (a) 미끄럼속도가 0.2m³/sec, (b) 0.4m³/sec 및 (c) 0.6m³/sec의 경우 마찰면 표면전체에 미세한 산화물의 입자를 볼 수 있으며, 또한 미끄럼속도의 증가에 따라서 산화물 입자의 용착이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 마멸분의 형상은 (a)의 경우에는 강에서 탈락한 직경 약 0.2 μ m 정도의 미세한 마멸분을, (c)에서는 (a) 보다 2~3 배 정도 큰 粒狀과 큰 피상의 마멸분을, 중간속도인 (b)에서는 (a)와 (b)의 혼합상을 볼 수 가 있다. 이처럼 세라믹스의 마멸기구: 전술한 바와 같이 마멸체적의 감소치를 나타내는 미끄럼속도 이전의 속도영역에서는 연삭마멸을, 이후의 속도영역에서는 열연화에 의한 마멸이 지배한다고 생각된다.

Fig. 7은 Fig. 6과와 동일한 조건하에서 상대재인 베어링상의 마찰면을 나타낸 것으로서 (a) 미끄럼속도가 0.2m/sec의 경우는 부분적으로 赤褐色의 산화물층이 보이지만 대체로 마찰면에는 연삭마멸이 지배적으로 작용하며, (b) 미끄럼속도가 0.4m/sec의 경우는 마찰표면에는 연삭마멸의 흔적을 일부 관찰 할 수 있지만 대체로 산화물이 마찰표면에 형성되어 있는 것을 볼 수 있으며, (c) 미끄럼속도가 0.6m/sec에서는 열연화에 의한 溶着마멸로 마찰표면에는 심한 Groove 가 나타나 있는 것을 볼 수 있다.

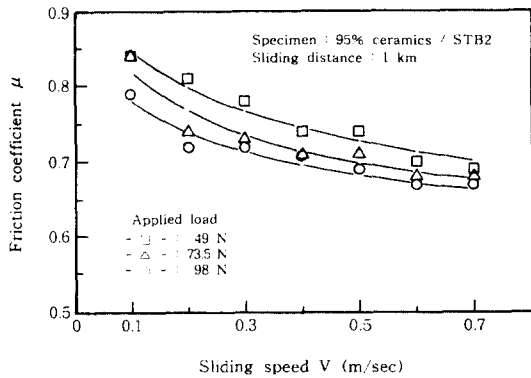


Fig. 4. Effect of sliding speed on the friction coefficient in air

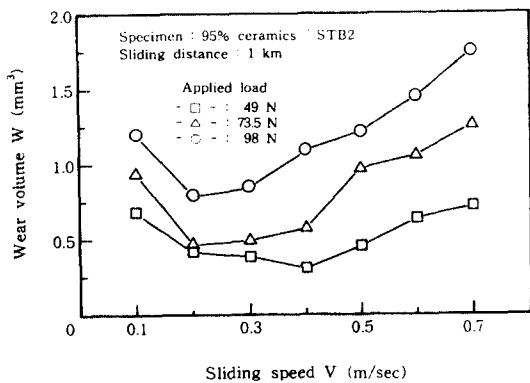


Fig. 5. Relation between wear volume of STB2 and sliding speed in air

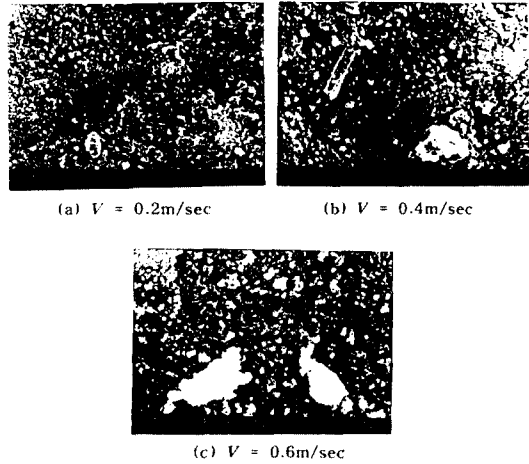


Fig. 6. Photographs of the rubbed surface for the 95% ceramics (Mate specimen: STB2, $P = 49N$, $L = 1km$)

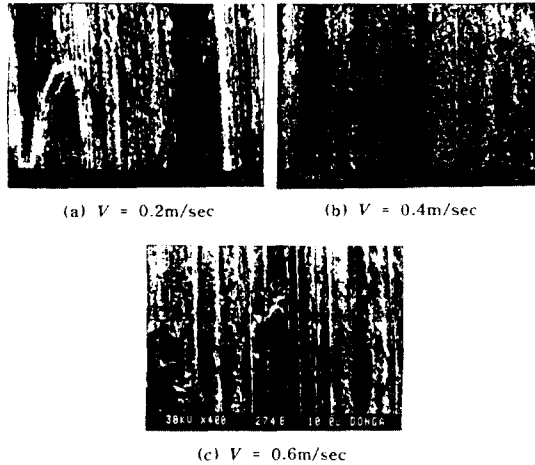
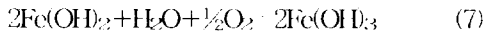


Fig. 7. Photographs of the rubbed surface for the STB2 (Specimen: 95% ceramics, $P = 49N$, $L = 1km$)

3-2. 증류수중에서의 Tribology 특성

Fig. 8은 접촉하중 P 를 98N, 147N 및 196N으로 하고 미끄럼거리 L 를 1km로 일정하게 하였을 때, 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 마찰계수 μ 를 나타낸 것이다. 그림에서 V 의 증가에 따라 μ 는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 저속역에서 P 의 증가에 따른 μ 의 차는 크게 나타나고, 또한 V 의 증가에 따라 고하중인 196N의 마찰계수의 감소는 크다는 것을 알 수 있다.

실험 후 실험재료의 마찰면상에는 유색의 반응 생성물이 표면전체에 분포되어 있었으며, 이의 주 성분으로 생각되는 $Fe(OH)_3$ 에 대하여 보면



이 된다.¹⁴⁾ 이는 세라믹스와 강의 마찰시 마멸은 전단강도가 작은 강측에서 마멸이 진행되기 때문에 마찰표면에 집적된 반응생성물은 강에서 탈락한 마멸분이 주성분이 되어 $Fe(OH)_3$ 의 생성기구를 지배한다고 생각된다.

V 및 P 의 증가에 따라 μ 가 감소하는 것은 세라믹스와 강의 마멸이 tribo 부식마멸기구에 의하여 큰 영향을 받게 된다. tribo 부식마멸은 트라이보케미칼반응에 의하여 마찰면에 생성한, 식 (7)과 같은 Fe 의 수산화물과 알루미늄 수산화물 또는 불의 흡착층이 양 시험편의 실제 접촉부에서 고체접촉을 방지하여 마찰을 저하시켜 양 시험편 모재표면의 전단응력이 완화됨과 함께 국부적인 응력집중이 회피되기 쉽기 때문이라고 생각된다. 그리고 저속영역에서 P 의 증가에 따라 μ 가 큰 것은 알루미늄의 평형수증기압이 10^{-4} mmHg 정도로 매우 낮다¹⁵⁾는 사실에서도 알 수 있는 바와 같이 알루미늄 수분의 흡착성이 매우 뛰어나므로 마찰실험 전에 폴리싱 등의 표면가공시에 이미 표면에 강고한 수분의 흡착층 또는 수산화물이 형성되어 이것이 P 의 증가에 따라 그 영향의 차이라고 생각된다. 따라서 P 가 증가함에 따라 접촉면적이 증대하게 되고 이로 인한 접촉부에 생성된 수분의 흡착층 또는 수산화물 등의 층이 조속히 파괴되며, 그리고 계속되는 마찰에 의하여 세라믹스의 기공주위에서 탈락된 입자의 미세돌기부에 의한 베어링강의 연삭작용의 마찰이 작용하기 때문이라고 생각된다.

Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 실험조건에서의 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 상대재인 베어링강의 마멸체적 W 를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 W 는 P 가 98N 및 147N은 $0.6m/sec$, 196N에서는 $0.5m/sec$ 까지는 감소 하지만, 그 이상의 속도영역에서는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 P 의 증가와 함께 W 는 급격히 증가 하지만, W 의 극소치를 나타내는 V 는 대체로 저속측으로 이행하

는 것을 알 수 있다.

각 V 에서 마찰초기에는 양 시험편의 직접접촉에 의한 연삭작용의 마찰이 지배적으로 작용하며, 각 P 에 따라 W 의 극소치를 나타내는 V 이하의 속도영역에서는 V 의 감소에 따라 접촉면에서 발생하는 마찰열의 발생은 적으므로 트라이보케미칼반응이 보다 천천히 일어나 반응생성물은 적으므로 베어링강의 연삭작용의 마찰이 보다 지속이 되었기 때문이며, 그 이상의 속도영역에서는 V 의 증가에 따라 접촉면에서 발생하는 마찰열의 발생은 많으므로 트라이보케미칼반응이 활성화 되고 tribo 부식마멸이 보다 활성화 되었기 때문이라고 생각된다.

Fig. 10은 접촉하중 P 가 196N에서의 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 세라믹스의 마찰면을 나타낸 것이다. 그림에서 저속역인 (a) V 가 $0.2m/sec$ 에서는 기공주위에서 탈락한 미세한 세라믹스의 마멸입자 및 상대재인 강의 마멸분이 표면에 산재하여 있고, 입상의 형태로 나타나 있는 것을 볼 수가 있다. (c) V 가 $0.7m/sec$ 는 트라이보케미칼반응의 활성화로 반응생성물이 두껍게 형성되어 있고, 또한 이 생성물이 서로 응착되어 마찰면은 평탄화가 진행되어 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 (b) V 가 $0.5m/sec$ 에서는 마멸분 및 반응생성물이 혼합된 형상을 볼 수 있으며, 즉 (a)와 (b)의 혼합상을 볼 수가 있다.

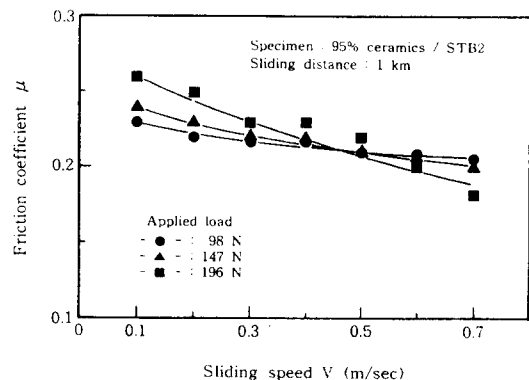


Fig. 8. Effect of sliding speed on the friction coefficient in distilled water

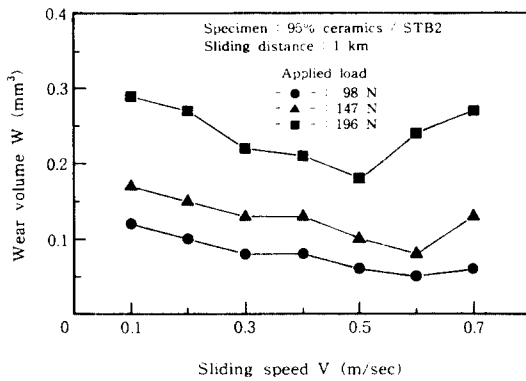


Fig. 9. Relation between wear volume of STB2 and sliding speed in distilled water

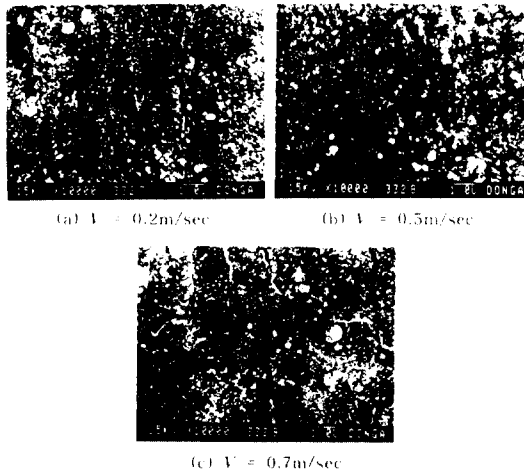


Fig. 10. Photographs of the rubbed surface for the 95% ceramics (Mate specimen : STB2, $P = 196N$, $l = 1km$)

3-3. 공기중 및 증류수중에서의 Tribology 특성

Fig. 11은 접촉하중 P 를 98N으로 하고 미끄럼 거리 l 을 1km 로 일정하게 하였을 때, 미끄럼 속도 V 의 변화에 따른 공기중 및 증류수중에서의 마찰계수 μ 를 나타낸 것이다. 그림에서 공기중에서는 대체로 V 의 증가에 따라 μ 는 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 증류수중에서는 거의 일정한 것을 볼 수 있다. 그리고 공기중에서의 μ 는 0.7~0.8 정도이며, 증류수중에서는 약 0.2 정도로 거의 일정한 것을 볼 수 있다.

공기중에서 V 의 증가에 따라 μ 는 감소하는 경향을 나타내는 것은 전술한바와 같으며, 증류수중에서 거의 일정한 값을 가지는 것은 증류수에 의한 냉각작용이 원활하게 되었기 때문이라고 생각된다. 그리고 공기중에서의 μ 와 증류수중에서의 μ 가 차이가 나는것은 마찰시 발생하는 생성물의 차이에 기인하며, 즉 공기중에서는 마찰면에 발생하는 생성물인 산화물 등의 영향이며, 증류수중에서는 트라이보케미칼반응으로 생성된 수산화물 등의 작용이라고 생각된다.

Fig. 12는 Fig. 11과 동일한 실험조건에서의 공기중 및 증류수중에서의 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 상대재인 베어링강의 마멸체적 W 를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 W 는 공기중에서는 0.2m/sec까지는 감소 하지만, 그 이상의 속도영역에서는 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 증류수중에서는 대체로 감소하는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다. 그리고 공기중보다 증류수중에서의 W 가 적은 것을 나타내는 것을 볼 수 있다.

공기중 및 증류수중에서 각 V 에 대한 W 의 경향은 전술한 바와 같으며, 공기중보다 증류수중에서의 W 가 적은 것은 증류수에 의한 냉각작용으로 인한 강도의 저하에도 기인하지만 무엇보다도 트라이보케미칼반응으로 생성된 수산화물 등의 작용으로 원활한 윤활작용이 되었기 때문이라고 생각된다.

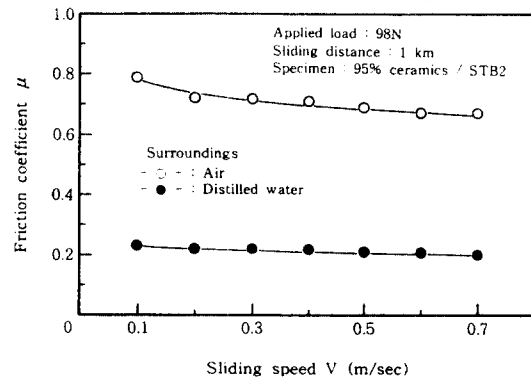


Fig. 11. Effect of sliding distance on the friction coefficient

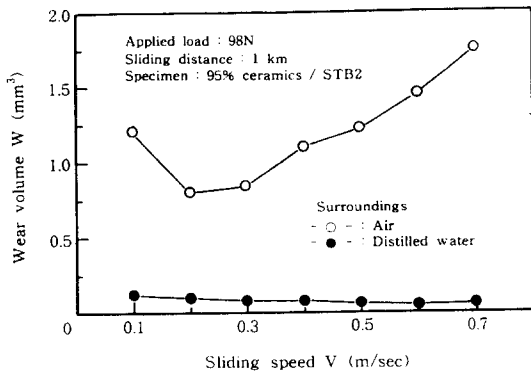


Fig. 12. Relation between wear volume of STB2 and sliding distance

4. 결 론

실험재료를 95% 알루미늄 세라믹스로 하고 베어링강을 상대재료로 하여 분위기 변화 즉, 공기 중 및 증류수중에서의 트라이볼로지 특성을 알기 위하여 미끄럼속도, 접촉하중을 변화시켜 링상의 시험편으로 미끄럼 마찰실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미끄럼속도가 증가할 수록 공기중에서는 접촉계면의 열충격에 의한 전단응력의 감소로, 증류수중에서는 트라이보케미칼반응의 활성화로 인하여 마찰계수는 감소한다.
2. 접촉하중의 증가에 따라 공기중에서는 접촉계면의 온도상승으로 마찰계수는 작지만 증류수중에서는 저속영역에서는 트라이보케미칼반응의 감소로 마찰계수는 큰 값을 가진다.
3. 세라믹스의 마찰표면은 공기중의 경우는 상대재인 강에서 이착된 산화물의 영향으로, 증류수중에서는 부식생성물인 수산화물의 영향으로 보호된다.
4. 공기중의 마찰시 생성하는 산화물보다, 증류수중에서 발생하는 수산화물이 우수한 윤활작용을 한다.

참 고 문 헌

- 1) 金石三, 加藤康司, 堀切川一男, "알루미나 세라믹스의焼けきと摩耗特性", 潤滑, 第31卷, 第5號, pp.329~335, (1986)
- 2) 石垣博行, "セラミックの摩擦について", 潤滑, 第30卷, 第9號, pp. 627~632, (1985)

- 3) 復本祐嗣, "摩擦材としてのセラミックス", 潤滑, 第31卷, 第12號, pp. 855~861, (1986)
- 4) O. O. Ajayi and K.C. Ludema, "the Effect of Microstructure on Wear Modes of Ceramic Materials", Wear, 154, pp.371~385, (1992)
- 5) S. Sasaki, "The Effects of Water on Friction and Wear of Ceramics", JSLE, 33, 8, pp.620~628, (1978)
- 6) Y. Enomoto and K. Mizuhara, "Characterization of Wear Behavior of Steel and Ceramics in the AMAS Round Robin Tests", Wear, 162-164, pp.162~164, (1993)
- 7) 宇佐美初彦, 般橋鉦一, 中村 隆, 馬淵英二, "セラミックの摩擦實驗(第1報)", トライボロジスト, 第34卷, 第6號, pp.458~464, (1989)
- 8) 宇佐美初彦, 般橋鉦一, 中村隆, 馬淵英二, "セラミックの摩擦實驗(第3報)", トライボロジスト, 第36卷, 第4號, pp.327~334, (1991)
- 9) 宇佐美初彦, 般橋鉦一, 中村 隆, 馬淵英二, "セラミックの摩擦實驗(第2報)", トライボロジスト, 第35卷, 第3號, pp.195~201, (1990)
- 10) 復本明弘, 平塚健一, 笹田直, "アルミナ對金屬の摩擦・摩耗に對する 金屬の酸化活性の影響と雰圍氣酸素の效果", トライボロジスト, 第36卷, 第1號, pp.51~56, (1990)
- 11) M. G. Gee, C. S. Mathuaru, T. S. Eyre, "The Measurement of Sliding Friction and Wear of Ceramics at High Temperature", Wear, 138, pp.169~187, (1990)
- 12) 朴興植, "오스텝퍼링 한 低合金球狀黑鉛鑄鐵의 機械的性質 및 磨滅特性에 관한 研究", 漢陽大學校 大學院 博士學位論文, (1989)
- 13) 文炳柱, "플라스틱成形用 金型鋼의 磨滅特性 및 이의 機構에 관한 研究", 東亞大學校 大學院 碩士學位論文, (1991)
- 14) M.G.Fontana, "Corrosion Engineering", 3th, McGraw-Hill, New York, p.17, (1986)
- 15) 久門輝正, 猿谷信之, "高速摩擦におけるセラミックの摩耗特性", トライボロジスト, 第37卷, 第5號, pp.397~404, (1992)