

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 순도에 따른 마찰 마모 특성 연구

전찬열<sup>1</sup>, 오성모<sup>2\*</sup>

## A Study on the Friction and Wear Characteristics with Purity on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ceramic

Chan-Yeal Jeon<sup>1</sup> and Seong-Mo Oh<sup>2\*</sup>

**요 약** 세라믹을 실링, 펌프부품, 미터계 부품 등에 이용할 때 마찰마모 특성은 매우 중요하다. 본 연구에서는 알루미늄을 기계적 및 마찰마모의 특성에 미치는 영향을 고찰 하였다. 미끄럼거리와 미끄럼 속도, 그리고 마모량과 마찰계수 등을 서로 다른 순도에 따라 측정하고, 결정상 분석과 미세구조는 각각 XRD와 SEM으로 조사하였다. 알루미늄의 순도 95%가 상대적으로 마모량이 가장 크고, 순도 99.7%가 마찰계수와 마찰마모 저항성이 우수하였다.

**Abstract** The tribological properties of ceramics are very important in the application to engineering ceramic parts such as seal rings, pump parts, meter parts, and so on. In this study, the effects of each other purity on the mechanical and tribological properties of alumina and zirconia ceramics were investigated. Sliding distance, sliding speed, contact load, friction coefficient, the amount of worn out material at a certain time, and the prepared composites were measured. Crystalline phases and microstructure were examined with XRD and SEM. We obtained the good properties of friction coefficient and wear resistance at the purity 99.7% of alumina. However, The purity 95% were great at the wear amount of worn out material.

**Key Words** : Tribology, Alumina, Ceramics, Friction coefficient, Wear

### 1. 서 론

점차 공학적으로 많이 응용되고 있는 세라믹은 금속이나 폴리머에 비해 상대적으로 밀도가 낮고, 경도가 높으며, 열 및 부식에 대한 저항성이 좋으므로 내식성, 내열성, 내마모성 등의 우수한 특성을 가지고 있다[1-3]. 특히 고온경도가 높아 마모되기 어렵다고 하는 성질은 내마모 재료로서 최적이며, 산화, 질화, 또는 탄소 세라믹의 형태(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC 등)로서 많은 구조용 재료로 각광을 받고 있다[4-6]. 그러므로 이들 성질을 이용하여 기어, 베어링, 노즐 및 메케니컬 실 등의 기계의 운동 부품 재료로서의 수요가 날로 증가하고 있다[7-9]. 이에 수반하여 세라믹의 트라이볼로지(Tribology)에 관한 연구도 증가 되고 있지만 그 기초적 연구는 금속에 비하여 훨씬 적고 마찰기구나 그 마모특성에는 불분명한 점이 많다.

대기 중에서 세라믹의 윤활공학적 특성에 관한 연구들에 의하면 마찰 및 마모거동은 복잡하여 미끄럼 속도, 접촉하중, 습도와 같은 인자들이 마멸거동에 영향을 미치고 [10-12], 온도의 증가와 소성변형, 미소파괴, 산화작용과 같은 여러 가지 다른 메카니즘에 영향을 받는다[13-14]. 이는 세라믹이 그 종류도 많고 각각의 특성이 다르기 때문에 당연히 마찰 변형특성도 서로 다르게 되기 때문이라고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 저가적으로 가장 널리 이용될 가능성이 있는 순도를 달리한 알루미늄 세라믹의 마찰, 마모거동을 상세히 조사하여 각종 미터계부품의 트라이볼로지 설계의 기초 자료를 제시하는 것을 목적으로 하였다.

실험 결과는 비마모량(마모량을 하중과 미끄럼거리로 나눈 값)과 마모율(마모량을 미끄럼 시간으로 나눈 값)에 대해 마찰동력으로 표시가 가능한데, 마찰동력은 하중과 속도, 그리고 마찰계수를 곱한 값으로 미끄럼 운동시 발생하는 마찰로 인한 온도상승과 밀접한 관계가 있는 값이다. 마모실험은 상온에서 수행하였으며, 결정상 분석과

<sup>1</sup>중부대학교 자동차관리학과

<sup>2</sup>원광대학교 기계자동차공학부

\*교신저자: 오성모(tiger@joongbu.ac.kr)

미세구조는 각각 XRD와 SEM등을 이용하여 관찰하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 시험시편

본 연구에 사용한 실험재료는 상압 소결한 알루미나 세라믹이며, 그 순도는 각각 85%, 95% 및 99.7%로 3종류로 하였고, Table 1 에는 이들 시험편의 물리적 및 기계적 성질을 표시하였다. 세라믹 재료는 일반적으로 가공이 곤란하므로 시험편의 형상은 단순한 것이 요망된다. 따라서 시험편은 저널이 끝이 구형태로 지름이 8mm이고, 길이는 60mm이며, 디스크의 외경은 20mm와 두께 5mm로 하였다. 마찰면은 디스크 상이며 마찰형태는 핀과 디스크의 미끄럼마찰이 되도록 하였다.

Table 1. Physical and mechanical properties of ceramic

Item	Alumina		
	85%	95%	99.7%
Purity	85%	95%	99.7%
Specific gravity	3.5	3.7	3.9
Bending strength (kg/mm <sup>2</sup> )	2,000	2,500	2,700
Compressive strength (kg/mm <sup>2</sup> )	130~170	>200	>200
Young's modulus (× 10 <sup>4</sup> kg/mm <sup>2</sup> )	2.1	3.2	4.0
Vickers hardness (kg/mm <sup>2</sup> )	1228	1400	1690
Thermal Conductivity (cal · cm/cm <sup>2</sup> · sec · °C)	0.04	0.06	0.08

### 2.2 시험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 핀 온 디스크형 마찰-마모시험장치로 시험부의 개략도를 Fig. 1에 나타내었으며, Fig. 2에 저널과 디스크 타입의 시편을 확대 도시하였다. 위 마찰력과 마모깊이는 스트레인게이지(strain gage)와 선형위치미터(linear potentiometer)에 의해서 측정되며, 자중은 유압튜브를 통하여 압력으로 전달된다.

### 2.3 시험방법

실험조건으로서 미끄럼속도를 0.1m/sec~0.7m/sec까지 변화시켰으며, 접촉하중은 중심축에 하중을 가하여 50N~100N까지 25N씩 상승시켰다. 또한 미끄럼거리는 100m에서 2km까지 단계적으로 변화시켰다. 여기서 미끄럼속도를 0.7m/sec까지 한 것은 그 이상의 미끄럼속도에서는 열충격에 의한 열점이 생겨 하중에서 시험편의 실

험 중 파손이 일어났기 때문이다.

순도를 달리한 각 시험편의 경도치는 마이크로비커스 경도계를 이용하였으며, 실험 후 마모체적(mm<sup>3</sup>)은 0.1mg의 디지털 천칭을 사용하여 실험 전, 후의 중량감소량을 측정하고 이를 시험편의 비중을 이용하여 환산하였다. 그리고 주사전자현미경을 사용하여 각 실험조건에 따른 마찰면 및 그 수직단면의 마모과정을 자세히 관찰하였다.

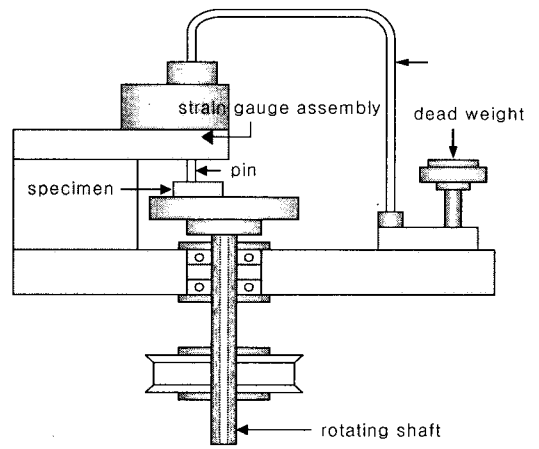


Fig 1. Schematic diagram of test machine.

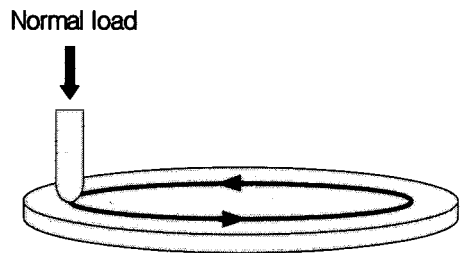
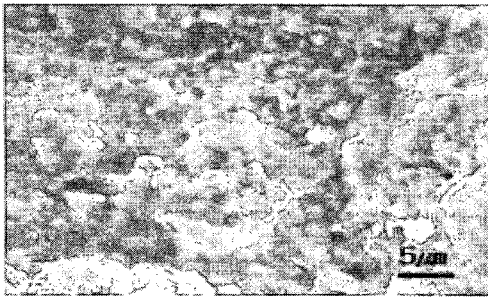


Fig 2. Exploded view of Pin and Disk.

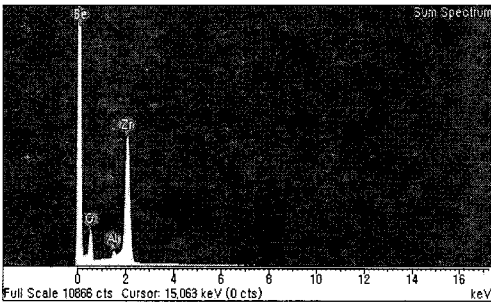
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 미끄럼속도에 의한 마모율 및 마찰계수의 영향

Photo. 1에 실험 전 순도 99.7%의 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 대표적으로 나타내었으며, 이들 세라믹은 폴리싱한 시험편 표면으로서 결정상 분석과 미세구조는 각각 XRD와 SEM등을 이용하여 관찰한 것으로서 표면에 시험편의 제조 및 표면가공에 의한 결함부를 볼 수 있다.



(a)



(b)

Photo 1. SEM and XRD of the Alumina purity 99.7% specimen

Fig. 3은 저널을 순도 99.7%, 디스크를 95%로 한 경우, 미끄럼거리를 2km로 일정하게 하였을 때 미끄럼속도의 변화에 따른 저널과 디스크의 마모량 W[mm]을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 하중 75N에서의 미끄럼속도 변화에 따라 순도 95%인 디스크의 마모량이 저널인 99.7%의 것보다 크게 나타났으나, 하중 100N에서는 75N과는 반대로 디스크보다는 순도가 높은 저널의 마모량이 더 크게 나타났다. 이는 하중이 증가할 때 순도가 높은 저널의 마모입자가 증가되고, 이 마모입자는 순도 95%의 공극사이로 들어가 눈 매움의 형태로 되기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 속도의 증가함에 따라 마모량 또한 0.3m/sec에서 모두 증가 하였지만 접촉하중 100N인 경우는 속도가 0.1m/sec이상의 속도영역에서 마모량이 급격히 증가하고 있다는 것을 알 수 있고, 접촉하중 50N인 경우는 속도가 0.5m/sec이상의 속도영역에서 마모량이 급격히 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 각 접촉하중에 따라 마모량이 서서히 상승하는 이유는 속도영역에서 양 시험편의 접촉부가 소성유동에 의한 윤활효과가 지배적으로 작용하기 때문이며, 마모량이 급격히 상승하는 속도역에서는 마찰속도의 증가에 따른 충격력의 증대 및 마찰면 온도의 상승에 따른 재료의 연화가 진행되었기 때문이라고 생각된다.

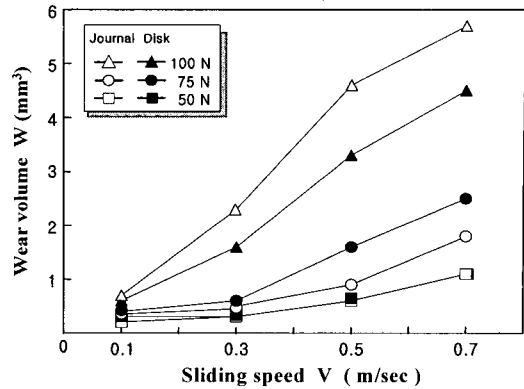


Fig 3. Relation between wear volume and sliding speed (Sliding distance : 2km).

Photo. 2는 접촉하중과 속도를 50N과 0.1m/sec로 하고, 미끄럼거리를 100m로 한 경우 99.7%의 알루미나의 미끄럼속도 변화에 따른 마찰면을 나타낸 것으로서 이 경우는 전 마찰면 표면에는 소성유동이 지배적으로 작용하고 있는 것을 볼 수 있지만, 0.3m/sec의 속도영역부터는 간극이나 표면의 결함으로부터 균열이 발생하여 이것이 마모분으로 탈락된 흔적 및 응착으로 인하여 미끄럼 방향으로 그루브가 형성되어 있다는 것을 알 수 있다.

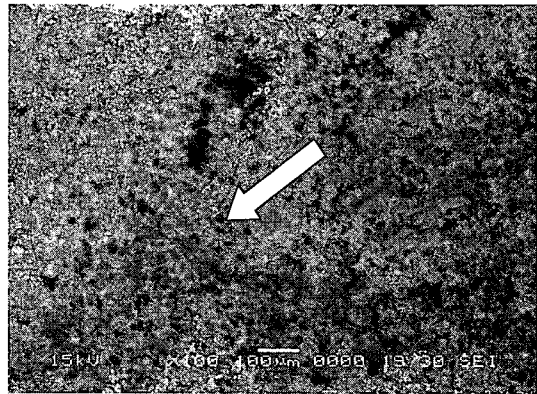


Photo 2. Photographs of the rubbed on surface purity 99.7% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Sliding distance : 1km, Load : 50N).

Table 2와 Photo. 3은 알루미나의 기계적 파괴마모 구간에서의 SEM 및 XRD 분석 결과이다. 이때 실험조건은 접촉하중을 100N으로 일정하게 하고 미끄럼거리를 2km 까지 하여 속도 0.5m/sec의 속도변화에서 마모거동을 나타내었다. Photo. 3은 알루미나의 마모면에 심한 스크래치가 나타나 있는 것으로 보아 기계적 파괴마모이 일어난 것을 보여 준다. 또한 속도가 증가하는 경우 간극이나

표면의 결합부로부터 균열이 발생하여 이것이 마모분으로 탈락된 흔적 및 응착으로 인하여 미끄럼방향으로 그루브가 형성되어 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 입자의 마모분산량 또한 속도가 증가하면 응착마모가 일어나지만 산화마모도 함께 일어난 것을 알 수 있다. Table 2의 XRD 분석 결과 속도의 증가함에 따라 알루미나 입자의 마모분산량이 감소하였으나, Fe은 다른 마모 구간에서 보다 적은 양으로 증가되었으며, 마찰표면에서의 산소 검출량 또한 증가하고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Chemical composition of wear surface Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sliding distance	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	O	Al	Fe	Remainder
2 km	0.3 m/s	3.17	83.47	0.43	12.93
	0.5 m/s	4.27	81.52	0.62	13.59
	0.7 m/s	5.64	80.59	0.76	13.01

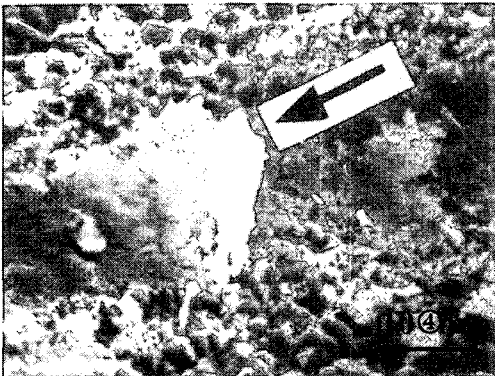


Photo 3. SEM photographs of wear surface at the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Sliding distance : 2km, Load : 100N, Sliding speed : 0.5m/s).

마찰계수는 접촉면의 상태에 대응하여 결정되므로 마찰계수의 급격한 변화는 접촉면의 상태가 급격히 변하고 있다는 것을 표시하고 있다. Fig. 4는 Fig. 3의 실험조건에서의 마찰계수를 나타낸 것이다. 여기서 마찰계수는 실험 중 각 미끄럼속도에서 진폭의 최대치와 최소치가 불규칙하게 나타났지만 본 실험에서는 실험종료 직전에 측정된 값의 평균치를 이용하여 마찰력을 접촉하중으로 나눈 값으로 하였다. 그림에서 알루미나는 접촉하중 하중이 50N인 경우 속도가 0.3m/sec까지의 저속역에서, 75N 및 100N인 경우는 속도가 0.5m/sec까지의 속도역에서는 마찰계수가 증가하고 있지만 그 이상의 속도역에서는 조금씩 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 속도가 0.2m/sec이상의 속도역에서 75N 및 100N의 마찰계수가 50N의 마찰계수 값보다 적은 값을 나타내고 있다. 이것

은 마찰계수가 증가하고 있는 저속역에서는 고속역에서 보다 마찰계수가 적은 값을 나타내는 것은 마찰실험 전에 폴리싱으로 인한 표면가공시 이미 표면에 대기중의 흡착층 또는 수산화물이 형성되어 윤활작용을 하기 때문이라 생각된다. 그리고 하중의 증가에 따라 0.2m/sec이상의 각 속도역에서 마찰계수가 적은 값을 나타내는 것은 하중의 증가에 따라 마찰면 온도의 상승으로 인하여 응착면의 전단강도의 저하가 크기 때문이라 생각된다.

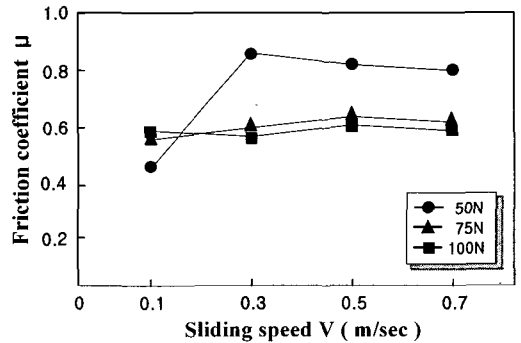


Fig 4. Effect of sliding speed on the friction coefficient (Sliding distance : 2km, Specimen : 95%).

### 3.2 미끄럼 속도에 따른 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 순도특성

Fig. 5는 저널을 순도 99.7%, 디스크는 순도를 달리한 즉 85%, 95% 및 99.7%로 한 경우, 접촉하중을 75N으로 하고 미끄럼거리를 2km로 하였을 때의 미끄럼속도의 변화에 따른 마모량을 나타낸 것이다.

그림에서처럼 저널 및 디스크는 순도에 관계없이 모두 속도의 증가에 따라 증가하며, 디스크의 마모량은 순도가 적을수록 크게 상승한다는 것을 알 수 있다. 본 실험의 경우 순도가 큰 저널의 마모량이 디스크의 마모량 보다 대체로 적게 나타나지만, 순도 85%의 마모량은 저널과 더불어 큰 상승을 보이며, 또한 마모량은 오히려 저널인 순도 99.7%가 디스크보다 크게 나타나 있는 것을 볼 수 있다. 마모량이 순도가 작을수록 크게 증가하는 것은 Table 1에서처럼 탄성계수 및 열전도율이 낮은 시험편 일수록 마찰시 발생하는 열이 방산되기 어려우므로 국부적 및 순간적인 온도상승이 일어나 접촉점이 일정온도에 도달하는데 필요한 단위시간당 발열량이 적게 되어 마찰면의 강도가 저하하기 때문이라고 생각된다. 그리고 순도 85%의 경우, 저널인 99.7%의 마모량이 더 큰 값을 나타내는 것은 순도 85%의 알루미나 세라믹은 순도 99.7%보다 공극 및 제조상의 결함이 99.7%보다 훨씬 크고 그 수가 많기 때문에 저널인 순도 99.7%의 미세한 마모분이

디스크인 순도 85%의 공극 및 결합부로 전이하여 이들을 채우게 되고 또한 이들에 의하여 저널의 마모가 계속 진행되었기 때문이라고 생각된다.

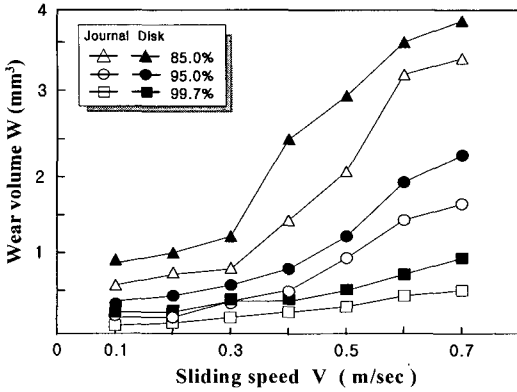


Fig 5. Effect of sliding speed on the friction coefficient (Sliding distance : 2km, Load : 75N).

### 3.3 미끄럼 거리에 따른 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 순도의 마모특성

Fig. 6은 알루미늄의 저널을 순도 99.7%, 디스크는 각 순도를 달리한 즉 85%, 95% 및 99.7%로 하고, 접촉하중을 75N로 하였으며, 미끄럼속도를 0.3m/sec로 하였을 때, 미끄럼거리의 변화에 따른 마모량을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 마모량은 순도를 달리한 각 시험편 모두 미끄럼거리의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하며, 특히 순도 85%의 마모량이 95% 및 99.7%의 마모량 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 순도를 달리한 각 시험편의 마모량이 거리에 따라서 증가하는 것은 전술한 바와 같이 탄소계수 및 열전도율이 적으므로 열 축적에 의한 마모저항이 감소되어 마모를 증대시켜 준 것으로 생각 된다.

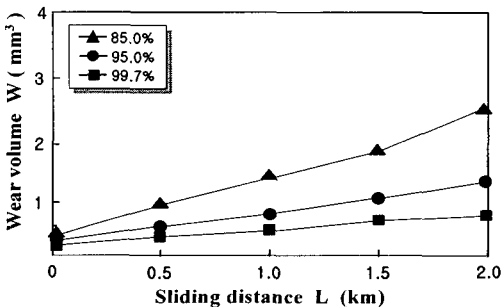


Fig 6. Wear curve in wear volume with sliding distance (Load : 75N, Sliding speed : 0.3 m/sec).

Fig. 7은 Fig. 6와 동일한 조건에서의 거리에 따른 마모계수 K를 나타낸 것이며 마모계수는 다음 식으로 구하였다. 단위 미끄럼거리당 마모체적, 즉 마모율  $V/L$ 은 진실접촉면적  $A_r$ ( $\sim W/H$ )에 각각 마모 메카니즘의 특징적인 어떤 두께  $\xi$ 와 탈락 확률인자  $\kappa$ 를 이용한 형태로 표현할 수 있다.

$$\text{즉, } \frac{V}{L} = \kappa A_r \xi \quad (1)$$

진실접촉영역에서 소성변형이 있다면,  $A_r = W/H$ 로 쓸 수 있다.

$$\frac{V}{L} = K(\xi) \frac{W}{H} \quad (2)$$

여기에서  $K(\xi)$ 을 마모계수(Wear factor)로 칭한다.

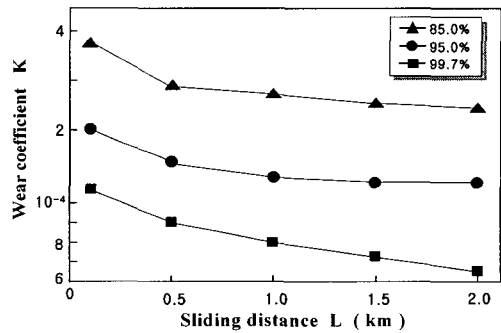


Fig 7. Effect of sliding distance on the wear coefficient (Load : 75N, Sliding speed : 0.3 m/sec).

Fig. 7에서 마모계수는 거리의 증가와 함께 감소하고 있지만 순도 99.7%가 그 경향이 크다는 것을 볼 수 있다. 이것은 진실접촉점에서의 온도상승으로 인하여 부분적인 용융을 포함한 잔류마모본의 재소결의 가능성으로 생각되지만 확실하지는 않다.

Fig. 8은 미끄럼거리에 따른 마찰계수를 나타낸 것이다. 마찰계수는 각 알루미늄의 순도에 따라 미끄럼거리의 초기단계에서는 0.87~0.66정도의 큰 값을 나타내지만 거리의 증가와 함께 서서히 감소하며, 실험이 종료되는 미끄럼거리에서는 0.5~0.61정도의 값을 나타내고 있다. 그리고 순도 85%의 시험편의 마찰계수가 초기에는 대체로 큰 값을 나타냈으나, 미끄럼거리가 900m 이상에서는 순도 85%의 시험편이 오히려 순도 95% 및 99.7%보다 작다는 것을 볼 수 있다. 각 시험편에 있어서 마찰 초기 단계에서 마찰계수가 큰 값을 나타내는 것은 이 단계에서 마찰일의 크기에 의존하여 마찰면 온도가 낮기 때문

에 마찰면의 강도저하는 적다고 추정된다. 이결과 응착면의 전단강도가 크며, 또한 이 단계에서는 진실접촉 면적도 작아 진실접촉부의 접촉압력이 극히 높아 이로 인하여 응착면에서 작용하는 전단응력이 크기 때문이라고 생각된다. 그리고 미끄럼거리의 증가와 함께 마찰계수가 감소하는 것은 거리의 증가와 더불어 마찰면의 온도가 상승하여 응착면의 전단강도를 저하시켜 마찰면 근방의 유동층의 영향이 작용했기 때문이라 생각된다.

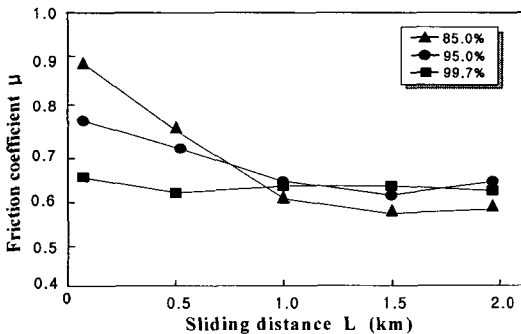


Fig 8. Effect of sliding distance on the friction coefficient (Load : 75N, Sliding speed : 0.3 m/sec).

#### 4. 결론

순도를 달리한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 마찰 마모특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 순도특성은 미끄럼속도가 증가 할수록 마모량은 증가하지만, 상대적으로 순도가 증가 할수록 마모량은 적다. 하지만 순도 85%의 경우 순도 99.7%보다 마모량이 적고, 순도 95%의 경우는 마모량이 급속히 증가하는 속도구역이 존재함으로서 마모량이 가장 크다.
2. 미끄럼거리에 따른 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 마찰특성은 미끄럼 거리가 증가 할수록 거의 비례적으로 증가하고, 그 중 순도 85%가 탄성계수 및 열전도율의 저하로 마찰계수가 가장 적다.
3. 마모특성에서 알루미늄이나 미끄럼 초기단계에서 마모계수는 큰 값을 나타내지만 미끄럼거리의 증가에 따라 응착면의 전단강도 저하로 마모계수는 감소하고, 순도가 증가 할수록 마모저항성은 우수하였다.

#### 참고문헌

1. K.H. Zum Gahr, "Sliding wear of ceramic-ceramic, ceramic-steel, and steel-steel pairs in lubricated and

- lubricated contact," *Wear*, 133, pp.1-22, 1989
2. J.P. Singh, "Effect of flaws on the fracture behavior of structural ceramics : a review," *Adv. Ceram. Mater.*,3, pp.18-27, 1998
3. K.H. Lee and K.W. Kim, "Effects of humidity and sliding speed on wear properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ceramics," *Materials Science and Engineering*, A186, pp.185-191, 1994
4. M.G. Gee, C.S. Matharu, E.A. Almond and T.S. Eyre, "The measurement of sliding friction and wear of ceramics at high temperature," *Wear*, 138, pp.169-187, 1990.
5. T.E. Fisher and H. Tomizawa, "Interaction of tribochemistry and microfracture in the friction and wear of silicon nitride," *Wear*, 105, pp.29-45, 1985.
6. H.G. Scott, "Friction and wear of zirconia at very low sliding speeds. In K. C. Ludema (ed.), *Wear of materials*, 1985," ASME, New York, pp.8-12, 1985
7. P. Andersson and K. Holmberg, "Limitation on the use of ceramics in unlubricated sliding applications due to transfer layer formation," *Wear*, 175, pp.1-8, 1994
8. Shinya Sasaki, "The effects of the surrounding atmosphere on the friction and wear of alumina, zirconia, silicon carbide and silicon nitride," *Wear*, 134, pp. 185-200, 1989
9. A.S. Grot and J.K.Martyn, "Behavior of Plasma Sprayed Ceramic Thermal Barrier Coatings for Gas Turbine Applications," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, Vol.60, N8, pp.807-811, 1981
10. K.Tsukuma, and Y.Kubota, "Thermal and Mechanical Properties of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Stabilized Tetragonal Zirconia, *Advances in Ceramics*, Vol.12, pp.391-398, 1984
11. S.G.Seshadri, and S.M.Kune, "Mechanical Behavior of PSZ at Elevated Temperatures," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, Vol.7,pp. 784-794, 1987
12. T.Sato, S.Ohtaki, and M.Shimada, "Transformation of Yttria Partially Stabilized Zirconia by Low Temperature Annealing in Air," *J. Mater. Sci.*,Vol.20, pp.1466-1470, 1985
13. A.Lerliche, G.Moorthat, and F.Cambier, "Preparation and Microstructure of Zirconia-Toughened Alumina Ceramics," in *Science and Technology of Zirconia*, *Advances in Ceramics*, Vol.24B, pp.1033-1041, 1988
14. G.Orange, and G.Fantozzir, "Thermomechanical Properties of Zirconia-Toughened Alumina Materials : Effect of Microstructure and Temperature on Toughening Mechanism," in *Ceramics Vol.24B*, pp.1075-1082, 1988

전 찬 열(Chan-Yeal Jeon)

[정회원]



- 한양대학교 기계공학과 (공학사)
- 단국대학교 기계공학과 (공학석사)
- 단국대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 중부대학교 자동차관리학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM, 열유체, 자동차관리

오 성 모(Seong-Mo Oh)

[정회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 기계자동차공학부 강사

<관심분야>

Tribology, micro/nano Tribology