

# Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZrO<sub>2</sub> 세라믹 용사 코팅재의 마모 특성

김 귀 식\* · 이 봉 길\*\*

## Wear Characteristics of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub> Ceramic Spray Coating Materials

Gui-Shik Kim\* · Bong-Gil Lee\*\*

### ABSTRACT

This paper reports the wear characteristics of two types of coating materials, which are Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub>, coated plasma thermal spray method. The wear test was carried out under air, grease, and bearing fluid conditions. The wear testing machine of a pin-on disk type were used to measure friction coefficients and the weight losses of the coating specimens on the various sliding velocity and loading condition. The wear surface of specimens were observed by scanning electron microscope (SEM) photographs.

**Key Words** : plasma thermal spray, Friction coefficients, Wear, Sliding velocity, Scanning electron microscope

### 1. 서 론

산업이 발전함에 따라 점차적으로 기계부품에는 고온, 고압 및 고부식성 분위기에서 견딜 수 있는 재료가 요구되고 있다. 따라서 종래의 기계구조용 금속 재료로 가혹한 환경 하에서의 사용은 한계가 있으므로 신소재의 개발이 절실히 요구되어 지고 있다[1]. 이러한 연구, 개발의 하나로 최근에는 접촉 운동을 하는 재료 표면의 내마멸성을 향상시키기 위한 방법

으로 세라믹을 재료의 표면에 코팅하는 표면개질법이 많은 연구의 대상이 되고 있다.

표면개질법에는 습식법과 건식법으로 크게 나눌 수 있으며, 건식법에는 화학증착(Cheical Vapor Deposition, CVD)법과 물리증착(Physical Vapor Deposition, PVD)법 및 용사법 등이 있다[2]. 이들 중에서 용사법은 재료의 선택 범위가 다양하고 소재의 형상이나 치수의 제약을 덜 받고, 다른 코팅법에 비해 성분 분해 없이 플라스틱, 금속, 세라믹 등의 용융 물질 대부분을 코팅할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 플라즈마 용사법에 의해 기계구조용 탄소강(S45C)의 표면에 두 종류의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZrO<sub>2</sub>를 코팅하여 일반 대기, 그리스 윤활환경 및 배어링유 윤활환경 하에서 부하 하중 및 미끄럼속도를 달리하여 이에 따른 마찰계수 및 마모량을 조사하였다. 그리고 마모 실험이 끝난 후 주사형 전자 현미경

\* 제주대학교 기계·에너지·생산공학부, 첨단기술연구소  
Faculty of Mechanical, Energy & Production Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

\*\* 제주대학교 산업대학원  
Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.

에 의한 마멸면의 정밀관찰을 행하여 마모기구를 검토하였다.

## II. 실험재료 및 실험 방법

### 2.1. 시험편

시험편은 회전시험편(rotor)과 고정시험편(stator)으로 구성 하였으며, 이들 시험편의 형상과 치수를 Fig. 1에 나타내었다. 회전시험편의 기재는 S45C를 사용했고, 고정시험편인 stator는 5mm  $\phi$ 의 핀(pin)으로서 고탄소 크롬 베어링강 SUJ II를 사용하였다. 그들의 화학적 성분 및 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다. 그리고 모재 표면에 white alumina를 사용하여 블라스팅(blasting)을 하고, 시험편에 Ni-4.5wt%Al 합금분말을 사용하여 본드 코팅을 실시하였다.

상부 탑 코팅 재료는  $Cr_2O_3$ 와  $ZrO_2$ 를 사용하였고, 용사 조건은 Table 2에 나타내었으며, 그리고 플라즈마 용사장비(Metco Inc.)를 사용하였다. 본드 코팅의 두께는 약 100 $\mu$ m, 상부 탑 코팅은 약 200 $\mu$ m로 하였으며, 탑 코팅 분말의 조건과 특성을 Table 3에 나타내었다. 또한 Fig. 2 (a)와 (b)는 상부 탑 코팅을 하는데 사용된 분말의 형상과 크기를 보여주고 있다. Fig. 2 (a)는  $Cr_2O_3$ 의 불규칙한 분말 형상을 보여주고 있다. 반면에 Fig. 2 (b)는  $ZrO_2$  시험편을 코팅하는데 사용한 분말인데 구의 형상을 가지고 있고, 이는 용사시 모재로 분사될 때 공기의 저항력이 감소되어 코팅과 모재간의 접착력을 증가시키는 역할을 한다 [3].

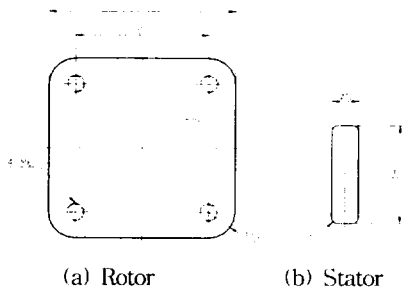


Fig. 1. Shapes and dimension of specimens. (unit: mm)

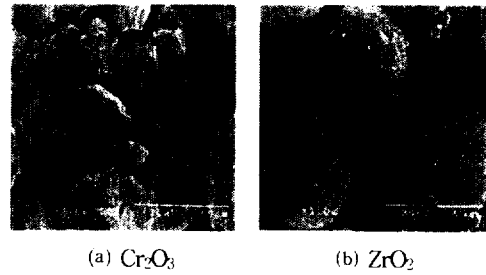


Fig. 2. SEM photograph of  $Cr_2O_3$  and  $ZrO_2$  powders.

Table 1. The chemical composition and mechanical properties of test specimens.

(a) Chemical composition. (wt %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
Rotor (S45C)	0.461 ~ 0.470	0.246 ~ 0.251	0.770 ~ 0.774	0.0154 ~ 0.0162	0.00693 ~ 0.00835	0.02	0.13	0.01
Stator (SUJ II)	0.95~ 1.10	0.15 ~ 0.35	0.5	0.025	0.25	0.25	1.30 ~ 1.60	0.25

(b) Mechanical properties.

	Yield strength (MPa)	Stress (MPa)	Strain (%)	Poisson's ratio	Specific gravity g/cm <sup>3</sup>	Young's modulus GPa
Rotor (S45C)	390	670	25	-	-	-
Stator (SUJ II)	-	1568 - 1960	-	0.3	7.77	208

Table 2. Spraying conditions

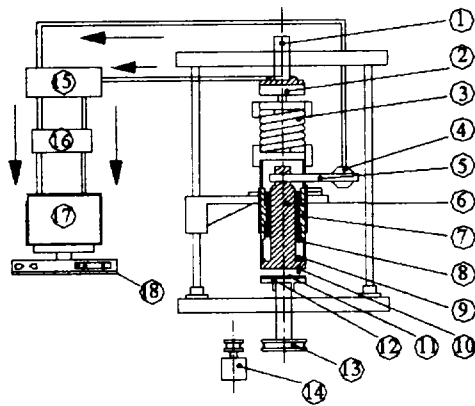
Condition	Type 9MP powder feed Unit		Plasma gas (kg/cm <sup>3</sup> )		DC (A)	DC (V)	Spray distance (mm)
	Flow rate (m <sup>3</sup> /h)	Feed rate (g/min)	Ar	H2			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.38	38	5.62	1.05	500	65-70	65
ZrO <sub>2</sub>	0.38	38	5.62	1.05	500	65-70	75
Ni-4.5wt%Al	0.38	68	5.62	1.05	500	65-70	100-175

Table 3. Powder conditions

Condition Powder	Typical composition	Grain size(μm)	Trade name
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2%TiO <sub>2</sub>	-125+11μm	Metco 106
ZrO <sub>2</sub>	76%ZrO <sub>2</sub> 24%MgO	-90+11μm	Metco 210NS-1

2.2. 실험 방법

시험기는 Fig. 3에 나타난 바와 같은 고정 시험편 (stator)인 핀과 접촉한 회전 시험편(rotor)을 회전시키면서 소정의 하중을 가하는 면 접촉 미끄럼마찰 형식인 Pin on disk 형으로 실온 대기압 및 그리스 윤활환경, 베어링유 윤활환경에서 실험을 실시하였다. 실험 조건을 Table 4에 나타내었다. 하중 조건은 공기 중에서는 100N, 200N으로 미끄럼속도를 0.1 m/s, 0.2 m/s로 하였으며, 윤활환경에서는 하중을 300N, 500N으로 미끄럼속도를 0.1 m/s, 0.2 m/s로 달리해서 실험 하였다. 윤활 환경에서의 실험은 회전 테이블에 챔버(chamber)를 설치하여 회전 시험편과 고정 시험편이 완전히 침지할 수 있도록 하여 회전시켰다.



- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1. Pressure handle   | 2. Load cell         |
| 3. Coil spring       | 4. Load cell         |
| 5. Torque arm        | 6. Torque arm holder |
| 7. Pressure rod      | 8. Pressure ring     |
| 9. Thrust bearing    | 10. Stator           |
| 11. Rotor            | 12. Turning table    |
| 13. Belt pulley      | 14. Motor            |
| 15. Strain amplifier | 16. A/D converter    |
| 17. Monitor          | 18. Computer         |

Fig. 3. Block diagram of friction testing machine

Table 4. Experimental conditions.

Normal load (N)	in air	in lubrication
	100, 200	300, 500
Sliding speed(m/s)	0.1, 0.2	
Sliding times(hours)	2	
Test temperature(°C)	25	
Environment	air, lubrication	

실험과정은 초음파 세척 → 건조 → 무게측정 → 마모 실험 → 초음파 세척 → 건조 → 무게 측정 → SEM 관찰의 순으로 수행하였다.

마모량의 측정은 시험 전후 시험편의 무게 차로 계산하였다. 이때 시험편은 초음파 세척기로 10 분간 초음파 세척, 탈지 및 건조의 과정을 거친 후, 시험편의 무게를 1×10<sup>-3</sup>g까지 측정이 가능한 전자식 저울을 사용하여 5회 측정하여 그 평균값을 중량으로 이용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 하중 및 속도에 따른 마찰계수 변화

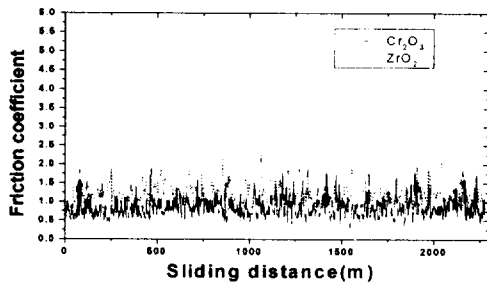
3.1.1. 공기 중 건조 마찰시 마찰계수 변화

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편과 ZrO<sub>2</sub> 코팅시험편을 공기 중에서의 실험을 하여 마찰계수의 변화를 비교하였다.

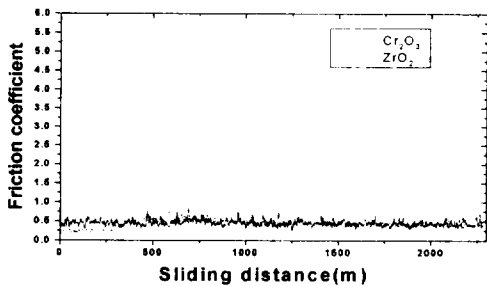
Fig. 4 (a)와 (b)는 부하 하중을 100N, 200N으로 하고 미끄럼속도를 0.2 m/s 로 하였을 때의 그래프이다. Fig. 4 (a)의 그래프는 하중을 100N으로 했을 때인데, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편인 경우 마찰계수는 실험 초기부터 끝까지 0.5에서 1.2정도의 아주 큰 진폭을 보이면서 나타났다. 그리고 실험 도중에 마찰계수가 갑자기 상승했다가 하강되는 복잡한 마찰 거동 현상을 보이고 있는데, 이처럼 복잡한 마모 형태나 마찰 거동을 나타내는 요인으로서 접촉면에 제 3의 개재물에 의한 영향이 고찰되었고 제3의 개재 물은 두 물체간에 접촉된 개재 물에 의한 것이며 [4], 본 연구에서는 마모 분말을 의미한다. ZrO<sub>2</sub>코팅시험편인 경우에는 실험 초기부터 끝까지 0.7에서 1.5정도의

큰 진폭을 보이면서 역시 복잡한 마찰 거동 현상을 보여주고 있다.

Fig. 4 (b)는 하중을 200N으로 했을 때의 그래프이며, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시편인 경우 마찰계수는 0.4에서 0.5 정도로 일정한 진폭을 그리면서 마찰계수의 값이 나타나고 있으나, ZrO<sub>2</sub> 코팅시편인 경우에는 250m까지는 0.25로 진행되어지다 500m지점까지는 0.7까지 상승하고 다시 1000m를 지난 지점부터는 0.5정도의 값을 보이면서 나타나는 아주 복잡한 마찰 거동 현상을 확인할 수 있었다.



(a) load = 100N



(b) load = 200N

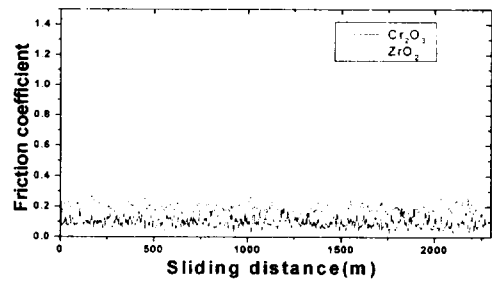
Fig. 4. Friction coefficient of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub> coating specimens.(V=0.2 m/s, in air)

### 3.1.2. 그리스 윤활환경에서의 마찰계수 변화

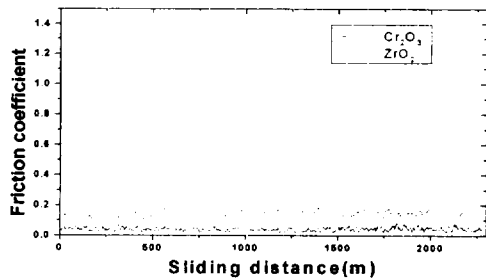
Fig. 5 (a)와 (b)는 하중을 300N, 500N으로 하고 미끄럼속도를 0.2 m/s로 하여 그리스 윤활환경에서 실험을 했을 때의 그래프이다.

Fig. 5(a)는 하중을 300N으로 하고 실험을 했을 때 그래프인데, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 인 경우는 0.08에서 0.12정도의 값으로 나타났으며, ZrO<sub>2</sub> 인 경우는 0.18에서 0.22정도

의 진폭으로 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시편인 경우보다 높은 마찰계수의 값을 나타내고 있다. 하중을 500N으로 실험을 했을 때의 그래프는 Fig. 5 (b)에 나타내고 있는데, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시편인 경우는 마찰계수가 0.05 정도로 나타나며, ZrO<sub>2</sub> 코팅시편을 경우는 0.15 정도로 높게 나타나는데, 하중이 증가할수록 그리스 윤활환경에서 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시편이 ZrO<sub>2</sub> 코팅시편 보다 낮은 마찰계수의 변화를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 하중이 증가할수록 마찰계수가 낮게 나타나는 원인은 높은 하중에 의해 심한 응착마멸에 의한 원인으로 마멸부가 응착이 되면서 마멸면이 매끈하게 되면서 마찰계수가 낮게 발생하는 원인으로 작용하고 있다고 사료된다.



(a) load = 300N



(b) load = 500N

Fig. 5. Friction coefficient of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub> coating specimens.(V=0.2 m/s, in grease)

### 3.3.3. 베어링유 윤활환경에서의 마찰계수 변화

Fig. 6 (a)와 (b)는 부하 하중을 300N, 500N으로 하고 미끄럼속도를 0.2 m/s로 베어링유 윤활환경에서 실험했을 때 그래프이다. Fig. 6 (a)는 하중을 300N으로 했을 때인데, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>코팅시편인 경우는 마찰계

수가 0.1에서 0.15정도의 값으로 나타나며, ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편인 경우는 마찰계수가 0.17에서 0.22로, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편인 경우보다 마찰계수가 높게 나타나며, 하중을 500N으로 했을 때의 그래프는 Fig. 6 (b)에 나타냈는데, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편과 ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편인 경우 0.08에서 0.11정도로 거의 비슷한 마찰계수의 변화를 보여주고 있다.

그리고 부하 하중이 증가할수록 마찰계수의 변화 폭이 작아지는데 이는 높은 하중에서는 실험을 할 때 높은 하중으로 인해 rotor와 stator 사이에 가해지는 압력이 증가하므로 마찰계수의 변화 폭이 낮게 발생하는 반면에 낮은 하중에서는 rotor와 stator 사이에 가해지는 압력이 낮게 작용함으로 인해 마찰계수의 변화 폭이 높게 발생하는 현상이라 사료된다.

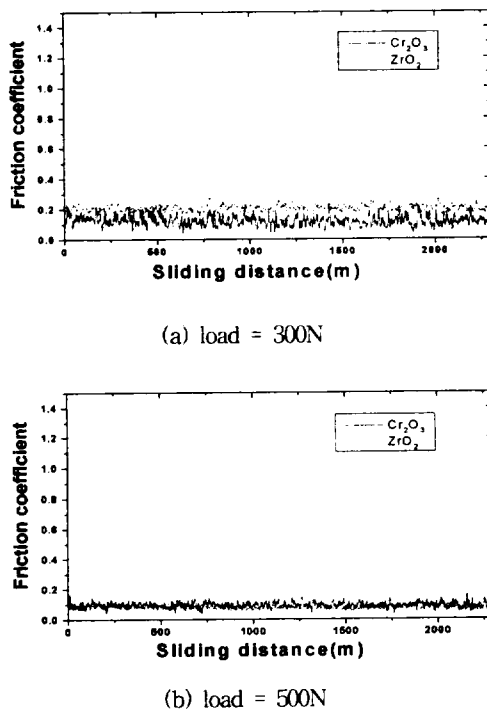


Fig. 6. Friction coefficient of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub> coating specimens. (V=0.2 m/s, in bearing fluid)

### 3.2. 마모량의 변화

Fig. 7은 공기 중에서 실험한 것으로 하중변화에 따른 마모량의 변화를 나타낸 그래프이다. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZrO<sub>2</sub>로 코팅된 하부 시험편 rotor와 상부 시험편 stator인 고탄소 크롬강 SUJ II에 하중을 100N과 200N을 가했다. 그리고 미끄럼속도를 0.2 m/s로 마찰을 시켜 마모량을 측정하여 비교 검토하였다.

ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편은 하중이 100N일 때 0.175g에서 하중이 200N으로 증가했을 때 마모량은 0.219g으로 마모량이 많이 증가하였다. 반면에 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편은 하중이 100N일 때는 0.008g에서 하중이 200N으로 증가했을 때 마모량은 0.019g으로 많은 마모량의 차이가 없었다. 이는 건조 마찰시 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편이 ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편보다 우수한 내마모 특성을 가지고 있다고 예측이 가능하다. 고정 시험편인 stator의 마모량 역시 상대 재료가 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편인 경우에는 하중이 100N일 때는 0.065g에서 하중이 200N으로 증가했을 때 0.098g 정도로 많은 마모량의 증가가 없었으나, ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편인 경우는 부하 하중이 100N일 때는 0.186g에서 하중이 200N으로 증가했을 때 0.205g으로 마모량이 많이 증가한 것을 알 수 있다.

지금까지에 실험 결과를 분석하면, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편인 경우 rotor의 마모량 보다 stator의 마모량이 많이 증가하는 이유는 고탄소 크롬강인 stator 보다 상대 재료인 세라믹 재료가 내마모성이 뛰어나므로 인해 발생하는 원인이라 사료된다. 그리고 ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편인 경우 실험에서는 SEM을 통한 마찰면의 관찰에서도 알 수 있지만 마찰, 마모 실험시 심한 마찰열의 발생과 응착 및 연삭 마모에 의해 세라믹 코팅 층이 벗겨지면서 상대 재료인 고탄소 크롬강인 stator 역시 연삭이 되면서 마모량이 많이 증가하는 원인이라 사료된다.

그리스 윤활환경에서 실험한 결과 마모량의 증가를 비교하기 위해 Fig. 8에 나타내었는데 Fig. 8은 미끄럼속도를 0.2 m/s로 하고 하중을 300N, 500N으로 했을 때 rotor와 stator의 마모량을 비교한 그래프이다. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅 시험편은 하중이 300N일 때는 0.0035g, 500N일 때는 0.0038g으로 많은 마모량의 증가를 보이지 않는 반면에, ZrO<sub>2</sub> 코팅 시험편인 경우는 300N

일 때는 0.0056g, 500N일 때는 0.0738g으로 부하 하중이 증가 할수록 마모량이 많이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. Stator 역시 상대 재료가  $ZrO_2$  코팅시험편인 경우가  $Cr_2O_3$  코팅시험편일 때 보다 마모량이 많이 증가했음을 알 수 있다. 이는 역시 그리스 윤활 환경에서도  $Cr_2O_3$  코팅시험편인 경우  $ZrO_2$  코팅시험편일 때 보다 우수한 내마모 특성을 가지고 있음을 예측할 수 있다.

Fig. 9는 베어링유 윤활환경에서 실험한 결과 마모량을 비교하기 위해 나타난 그래프인데, 하중을 300N, 500N으로 했을 때 rotor와 stator의 마모량을 비교한 그래프이다. 그래프를 보면  $Cr_2O_3$  코팅시험편인 rotor의 경우에는 부하 하중이 300N일 때는 0.0012g이고, 500N일 때 0.0015g으로 많은 마모량의 증가가 나타나지 않았다. 하지만  $ZrO_2$  코팅시험편인 경우는 300N일 때는 0.003g이고, 500N일 때는 0.0055g으로 부하 하중이 증가할수록 마모량이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 역시 베어링 윤활환경에서도  $Cr_2O_3$  코팅시험편인  $ZrO_2$  코팅시험편보다 뛰어난 내마모 특성을 가지고 있음을 예측할 수 있다. 그리고 고정시험편인 stator의 마모량 역시 상대재료가  $Cr_2O_3$  코팅시험편인 경우에는 많은 마모량의 증가가 없는데, 반해  $ZrO_2$  코팅시험편인 경우에는 하중 증가에 따라 마모량이 많이 증가했음을 알 수 있다.

지금까지의 실험 결과에 의하면  $Cr_2O_3$  코팅시험편이  $ZrO_2$  코팅시험편보다 우수한 내마멸, 마모 특성을 가지고 있다고 사료된다.

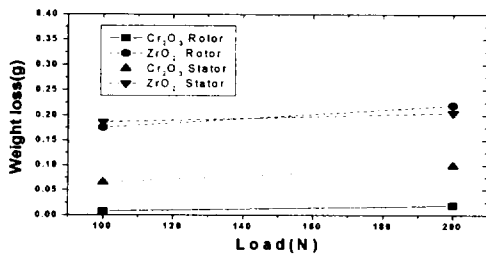


Fig. 7. Relation of weight loss and load. (V=0.2 m/s, in air)

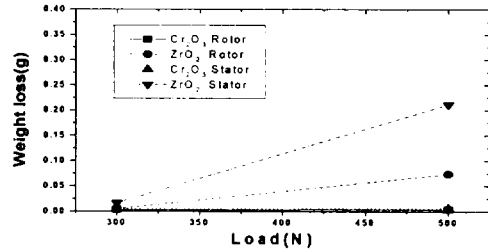


Fig. 8. Relation of weight loss and load. (V=0.2 m/s, in grease)

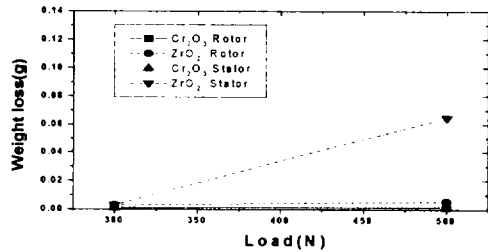


Fig. 9. Relation of weight loss and load. (V=0.2 m/s, in bearing fluid)

### 3.3. 마멸면의 미시적 관찰

Fig. 10 (a)는 실험 후  $Cr_2O_3$  코팅시험편을 하중을 100N으로 공기 중에서 미끄럼속도를 0.2 m/s로 했을 때 SEM 사진이다. 마멸면을 살펴보면 빠른 미끄럼 속도에 의해 발생하는 마찰열로 인해 심하게 융착되면서 마멸되었음을 알 수 있다. 이는 모재에 탄성 및 소성변형이 발생하면서 소성변형에 의해 매끈한 면이 형성된 모습을 보여주고 있다 [5]. 이러한 면이 형성되면 마찰계수의 비교에서 알 수 있듯이 마찰계수를 떨어뜨리는 요인으로 작용하며, 또한 이런 층은 소성 변형과 마멸입자에 의해 압착 층으로 생성되어 마멸을 줄여 주는 원인으로 작용할 것이라고 사료된다. Fig. 10 (b)는  $ZrO_2$  코팅시험편을 하중 100N으로 미끄럼속도를 0.2 m/s로 했을 때 사진인데, 사진을 보면 마멸면의 중심부에 심한 연삭(abrasive) 마멸이 진행되었음을 알 수가 있는데 그 이유는 사진에서 마멸면의 중앙에 스크래치 흔적이 있는 것을 보면 알 수 있는데 코팅 층이 마멸로 스프레이트가 벗겨지고 새로운 스프레이트 면이 나타나는 것을 사진으로 확

인 할 수 있다.

Fig. 11 (a)와 (b)의 SEM 사진은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편과 ZrO<sub>2</sub> 코팅시험편을 하중을 300N으로 하고 미끄럼속도를 0.1 m/s로 했을 때 그리스 윤활환경에서 실험을 한 마멸면의 사진인데, 전체적으로 마일드(mild)한 용착마멸을 확인 할 수 있었다.

Fig. 11 (a)는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편의 마멸면 사진인데, 전체적으로 마일드한 용착마멸이 발생함을 알 수 있으며, 일부분에서는 스플레이트들이 미소한 범위에지만 탈락된 것을 확인 할 수 있다. Fig. 11 (b)는 동일한 조건에서 ZrO<sub>2</sub> 코팅시험편을 가지고 실험한 사진인데 스플레이트 사이사이에 기공이 산재해 있음을 알 수 있고, 스플레이트들이 하중에 의해 눌러져 용착되면서 마멸됨을 알 수 있다.

Fig. 12 (a)와 (b)는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편과 ZrO<sub>2</sub> 코팅시험편을 베어링유 윤활환경에서 하중을 300N으로 미끄럼 속도를 0.1 m/s로 했을 때 실험한 마멸면의 사진이다.

두 시험편 모두 용착 마멸 면이 넓게 분포되어지고 있음을 알 수 있다. 그리고 또한 스플레이트들의 탈락되는 부분이 넓게 분포됨을 알 수 가 있다. 이는 스플레이트들이 밀리다가 결국 탈락되는 소성변형에 의한 것이라고 사료된다. 위 사진들을 비교해 보면 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편이 ZrO<sub>2</sub> 코팅시험편 보다 우수한 내마멸 특성을 지니고 있음을 예측할 수 있으며 이는 지금까지 마찰계수의 비교 및 마모량의 변화 비교에서도 확인 할 수 있었던 사실이다.

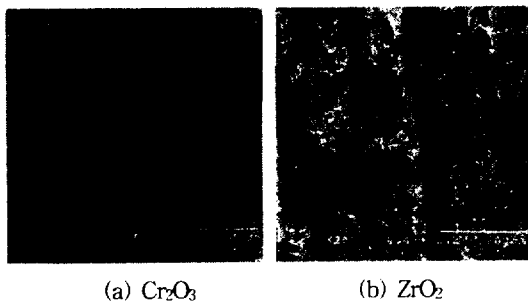


Fig. 10. Wear surfaces (load=100N, V=0.2 m/s, in air )

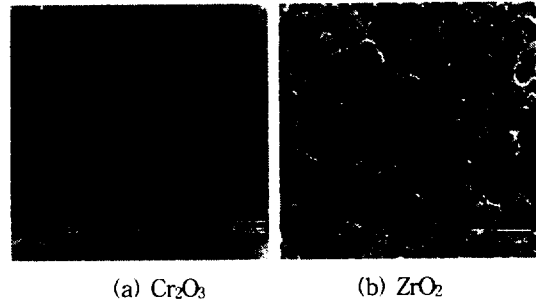


Fig. 11 Wear surfaces (load=300N, V=0.1 m/s, in grease)

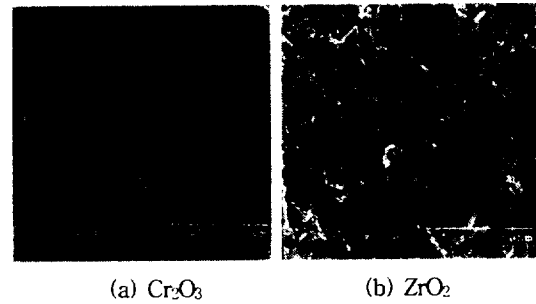


Fig. 12 Wear surfaces (load=300N, V=0.1 m/s, in bearing fluid)

#### IV. 결 론

본 연구는 플라즈마 용사에 의한 내마모성 세라믹 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 ZrO<sub>2</sub> 코팅재의 마모특성을 조사하기 위하여, 일반 대기 중에서와 그리스 윤활환경 및 베어링유 윤활환경에서 마모실험을 하였다. 마모시험기는 Pin on disk형 마모 시험기를 이용하여, 미끄럼속도 및 부하 하중의 변화에 따른 마찰계수, Stator 및 Rotor의 마모량을 조사하였다. 그리고 SEM 사진에 의한 마멸면을 정밀 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. 건조 마찰시 하중 및 속도 증가에 따른 마찰계수의 변화를 살펴 본 결과, 동일한 실험조건에서는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅시험편의 마모 특성이 ZrO<sub>2</sub> 코팅시험편 보다 우수하다.
2. 마찰계수는 저 하중과 저 미끄럼속도에서는 마찰계수가 크고, 고 하중과 고 미끄럼속도에서는 마

찰계수가 작다.

3. 부하 하중과 미끄럼속도 변화에 따른 회전시험편과 고정시험편의 마모량은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅재가  $\text{ZrO}_2$  코팅재 보다 작다.
4. 마모면 관찰결과 건조 마찰의 경우,  $\text{ZrO}_2$  코팅시험편인 경우 미끄럼속도가 0.2 m/s에서는 연삭마모로 나타난다. 윤활환경에서는 두 종류의 코팅재 모두 응착마모로 나타나며, 마모입자들은 소성변형에 의해 탈락된다.

## V. 참고문헌

- 1) 冲猛雄, 1990, 表面改質による材料の高性能化 技術, Boshoku Gijutsu 39권, 4호, pp. 201-210.
- 2) 채영훈, 박영희, 1999,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{NiCr}$  코팅의 미끄럼 마멸 특성, 大韓機械學會論文集 A권 제23권, 제7호.
- 3) L. Pawlowski, 1995, The science and engineering of thermal spray coatings, JOHN WILEY & SONS.
- 4) 久野正人, 出水 敬, 石神逸男, 三浦健一, 網 二, 1993, ホウ 素イオン 注入處理を施した SUS304,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , WC-9%Coの摩擦摩耗特性評価.[材料] Vol. 42, No. 473, pp.202-208.
- 5) 서보현, 김태형, 김석삼, 2001,  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{TiO}_2$ 가 첨가된  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  용사 코팅의 마찰·마멸 특성, 한국 윤활학회 추계학술대회, pp.69-77.