

## Ni-4.5%Al 피복강재의 마모특성

김 귀 식\* · 오 맹 중\*\* · 김 성 익\*\* · 고 장 권\*

## Wear Characteristics of Ni-4.5%Al Sprayed Coating Steel

Gui-Shik Kim\*, Maeng-Jong Oh\*\*, Sung-Ik Kim\*\* and Jang-Gwon Koh\*

### ABSTRACT

The pin-on-disk type wear testing machine was manufactured using a personal computer, load cell and reduction motor. The tribological properties of Ni-4.5%Al coating steel by flame spray were investigated using this test machine.

The experimental result has shown that the wear amount of coating steel was remarkably decreased than the S45C material. In the lubrication environment the wear amount was much less.

The friction coefficient of S45C and coating material was respectively 0.4, 0.29 in the air, and it has respectively shown 0.18, 0.24 in the lubrication.

Increase of load didn't have effect on the change of the friction coefficient at all.

**Key words** : Pin-on-disk type wear testing machine, Tribological properties, Flame spray, Ni-4.5%Al coating steel.

### 1. 서 론

최근 우주 항공·원자력 등의 공업기술이 발달함에 따라 고온, 부식, 마모 등이 복합적으로 작용하는 가혹한 환경 중에서 사용되는 산업기 계류가 증가하고 있으며, 이러한 가혹한 환경에

종래에 사용해오던 금속재료로 대처하기에는 한계가 있으므로 신소재의 개발이 요구되고 있다. 재료가 사용환경에 직접적으로 작용하는 부분은 표면이므로 기계적 강도가 보장되어 있는 금속재료의 표면에 내열, 내식, 내마모 등의 환경특성이 우수한 세라믹을 코팅하는 표면개질이 이 종재료의 복합화 기술로 신소재 개발의 한 분야로 연구되고 있다.<sup>1)</sup>

표면개질 기술은 크게 도금법, 화학증착법, (CVD), 물리증착법(PVD), 고상접합법, 용사

\* 제주대학교 기계공학과  
Dept. of Mechanical Eng., Cheju Nat'l Univ.  
\*\* 제주대학교 대학원  
Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

법 등이 있는데 이중 용사법은 액체미립자의 적층에 의해 피막을 형성하는 방법으로 다른 표면 개질 기술에 비해 소재 및 용사재의 선택범위가 넓고, 소재의 형상과 치수의 제약이 적으며, 설비가 간단하고 작업 공정이 빠른 특징을 갖고 있으므로 공업적으로 응용범위가 넓다.

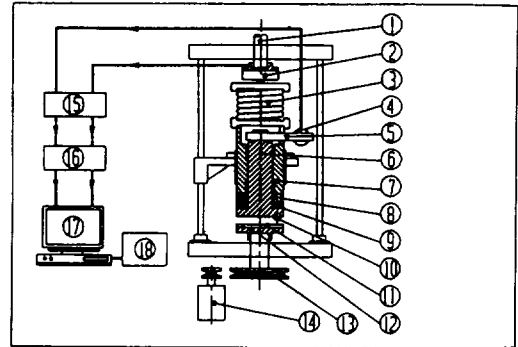
금속, 세라믹, 플라스틱 등 대부분의 공업재료가 용사에 응용될 수 있으며 이중 세라믹은 뛰어난 열적, 기계적 특성으로 인하여 그 자체로도 기계구조용 재료로 이용되고 있으며 금속 재료와의 복합화에 의한 이중 접합재료로서 각광을 받고 있다.<sup>2)</sup>

용사 코팅의 이용은 용사피막에 의해 기계구조용 부재의 내식성, 내마모성 등이 비약적으로 향상되기 때문에 중공업 제품을 비롯하여 폭넓은 분야에서 실용화되고 있다. 그러나 최근 들어서 가동중인 부재의 용사피막에 피로균열이 발생하여 기계기능이 정지되는 등의 문제가 제기되고 있어서 용사기술을 폭넓게 실용화하기 위해서는 내식성, 내마모성, 내열성의 평가와 더불어 피로특성을 명확히 규명할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 세라믹 코팅재의 마모특성을 규명하기 위한 전 단계로써 Ni-4.5%Al 코팅재를 기계구조용 탄소강 S45C에 플레임 용사에 의해 코팅하고 80486계열의 CPU를 사용한 PC와 2MHz의 A/D컨버터, 5KN급 LCW형 로드셀 등을 장착한 pin on disk형 마모시험기를 설계, 제작하고, 마찰 마모실험을 행하여 TiO<sub>2</sub>의 미끄럼 마찰에 의해 트라이블로지 특성을 검토하였다.

## II. 마모 시험기 제작

### 2.1 시험기의 구성

본 연구에서 제작한 마모 시험기 구성도를 Fig. 1에 나타낸다. Fig. 1에서 가압하중과 마찰력을 Load cell 2, 4에서 검출하고 A/D 변환기가 디지털 신호로 전환하여 퍼스널 컴퓨터가 프로그램에 의해 처리하고 모니터와 프린터를 통해 출력할 수 있도록 구성하였으며 주요부



- |                    |                  |                      |
|--------------------|------------------|----------------------|
| 1. Pressure handle | 2. Load cell     | 3. 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. Table            |
| 13. Belt pulley    | 14. Motor        | 15. Strain amplifier |
| 16. A/D converter  | 17. Computer     | 18. Printer          |

Fig. 1 Block diagram of wear testing machine

Table 1 Principal part of wear testing machine

NAME	MODEL	MANUFACTURER	NOTE
Load cell	LCW-500KG F	NTS	Cap. 5KN 2 EA
A/D, D/A Converter	PCL-812PG	ADVANTCH CO.	12-bit
P C	80486	DAE WOO	66 MHz
Electric motor	GM0200	Shin myoung Electric MFG LTD	62 rpm Gear ratio 0:1/30
Printer	LASER ART	Ssang Yong	
Strain amplifier	DPM-612A	KYOWA	±5V

품의 사양을 Table 1에 나타내었다. 시험기의 동력원으로 사용된 전동기는 신명전자에서 제작된 감속 모터로서 기어 감속비가 1 : 30으로 회전수가 60 rpm이며 정격출력은 0.5 kw이다. 제어기로는 80486 마이크로프로세서 (microprocessor)를 내장한 퍼스널 컴퓨터를 사용했으며, 연속계 신호와 이산계 신호를 연결시켜 주는 A/D 및 D/A변환기는 12비트의 분

해능력을 가진 Advantch 사의 PCL-812PG 를 사용했다. 하중과 마찰력을 감지하는 로드셀 은 NTS사 제품인 LCW-500K 형으로 정격용 량이 5KN 이다. 로드셀에서 검출한 스트레인을 증폭해주는 스트레인 앰플리파이어는 KOYWA사 제품으로 DPM-612형으로  $\pm 5V$  의 용량을 가진다.

## 2.2 시험기의 운용

시험기의 작동은 Fig. 1에서 모터 14가 회전 하게 되면 V벨트 풀리에 의해 동력이 전달되어 회전 테이블 12가 회전 하게되고 회전 테이블 12와 볼트로 고정된 회전 시험편인 11도 회전 하게 된다. 한편 가압 핸들 1로부터 가해진 하 중은 로드셀 2를 통해 상부 스프링 시트와 스프링 3을 통하여 가압봉 가이드 안에서 슬라이딩 운동하는 가압봉 7로 전달된다. 하중은 최종 적으로 가압링 8이 드러스트 베어링 9를 사이 에 두고 토크암 홀더 6에 장착된 고정 시험편 10에 전달되어 회전시험편 11과 맞물려서 회 전하려는 힘 즉, 토크가 발생되고 이 토크가 마찰력이 된다. 이 마찰력은 다시 토크암 홀더를 통해 토크암 5에 전달되어 마찰력 검출기 4가 감지하게 된다. 토크를 최대한 손실되지 않도록 하기 위해 토크암 홀더 상, 하부에 니들 베어링 과 드러스트 베어링 9를 부착 시켰다. 가압력 검출기 2에서 감지된 가압하중과 마찰력검출기 4에서 감지된 마찰력 값은 스트레인 증폭기 15 와 연결되어 증폭되어서 A/D변환기 16으로 입 력되면 퍼스널 컴퓨터 17이 데이터를 처리하여 마찰계수와 마찰거리 등을 산출하고 모니터에서 실험 종료 후 실험의 전 과정을 모니터링하고 프린터 18에서 출력하게 된다. 데이터는 하드 디스크에 저장할 수도 있고 직접 프린터로 출력 할 수 있도록 하였다.

프로그램의 구성은 Fig. 2에 나타냈으며 내 용은 다음과 같다.

- (1) 정수와 변수의 정의
- (2) A/D Converter의 초기화
- (3) 실행과 함께 아날로그 신호를 디지털 신

## 호로 전환

- (4) 하중과 마찰력 감지
- (5) 마찰계수와 마찰거리 계산
- (6) 데이터 저장
- (7) 모니터링 및 프린터 출력

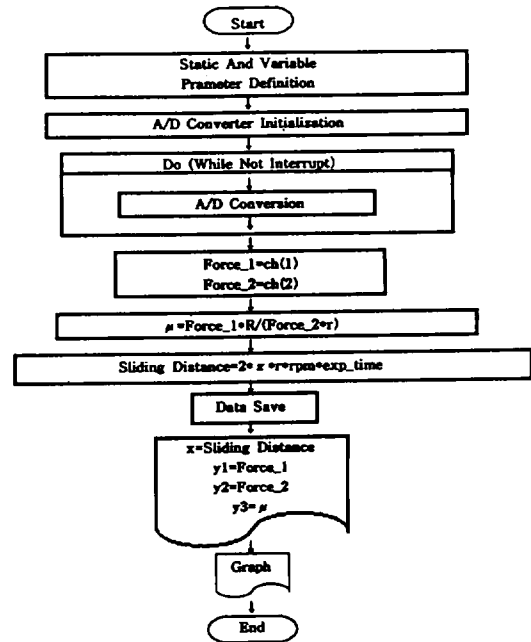


Fig. 2 Flow chart of control system

## III. 실험 재료 및 방법

### 3.1 시험편

시험에 사용된 고정편과 시험편의 형상과 치 수를 Fig. 3에 나타낸다. 고정편은 직경 5의 고탄소 크롬 몰리브덴강(SUJ II)을 사용하였고 시험편의 표면과 면 접촉할 수 있도록 하였다. 시험편은 기계 구조용 탄소강 S45C이며 직경 90 mm, 두께 5 mm의 원판형으로 M10 텀볼트 구멍을 네 군데에 설치하여 시험기의 회전 테이블에 고정되어 회전할 수 있도록 하였다. 회전 시험편의 경우 접촉면을 연삭 가공하여 실제 접촉면(real contact area)을 좋게 하였다. 실험에 사용한 시험편과 고정편의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다.

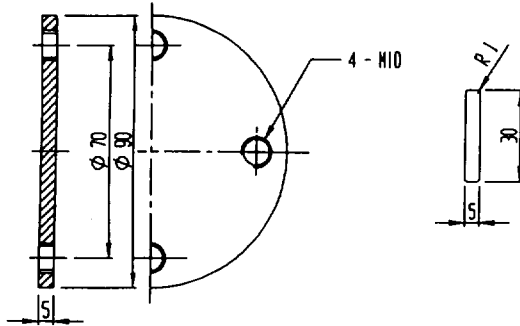
**Table 2** The chemical composition and mechanical properties of specimens

(a) Chemical composition (wt. %)

	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Cu	Fe
rotor	0.45	0.21	0.75	0.02 6	0.02	0.13	0.01	Bal
stator	0.95 - 1.10	0.15 - 0.35	0.5	0.25	0.25	1.3 - 1.60	0.25	

(b) Mechanical properties

	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_T$ (MPa)	$\delta$ (%)	$\nu$	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	E (GPa)
rotor	675	760	12.1	-	-	-
stator	-	1568 -1960	-	0.3	7.77	208



**Fig. 3** Dimension of specimens

### 3.2 코팅재의 제작

코팅재는 S45C재를 화염용사(flame spray)에 의해 Ni-4.5%Al을 용사하여 제작하였다. 용사기는 METCO INC에서 제작한 TYPE 5P-II이다. 블라스팅 및 용사조건은 Table 3에 나타낸다. 블라스팅에 사용한 그릿은 알루미늄으로 크기는 15~53 $\mu$ m이다. 용사코팅시의 산소압력은 1.4atm, 아세틸렌의 압력은 1atm, 용사거리는 150mm이다. 용사 후 평면연삭기에 의해 표면가공하고 정세 연마하여 표면조도가 0.05 $\mu$ m R<sub>max</sub>가 되도록 하였다. 용사피막의 두께는 400 $\mu$ m으로 하였다.

**Table 3** Spraying conditions.<sup>3)</sup>

	Blasting process	Under coating	Top coating
material composition	W A	Ni-4.5%Al	TiO <sub>2</sub>
powder size( $\mu$ m)	15~53	45~90	10~53
Air pres. (atm)	3	-	3.7
Spraying distance (mm)	50~100	150	60~70
Oxy. gas pressure (atm)	-	1.4	1
Ace.gas pressure (atm)	-	1	1

### 3.3 실험방법

마찰 형태는 고정편에 접촉한 시험편을 회전시키면서 소정의 하중을 가하는 면접촉 미끄럼 마찰 형식인 pin on disk형으로 상은 상압하에서 실험을 실시하였으며 실험 조건은 Table 4에 나타낸다. 가압하중은 50N, 100N, 150N, 200N, 300N이며, 미끄럼 속도(v)를 0.1830 m/s로 항상 일정하게 유지하였다. 마찰거리(L)는 1350 m, 시험시간은 2시간이다. 실험 환경은 공기중과 윤활 환경에서 실험하였다. 윤활중 실험은 회전 테이블 주변에 회전 테이블과 같이 회전할 수 있는 윤활유 챔버를 부착하여 윤활유 중에 시험편과 고정편이 완전히 침지 될 수 있도록 하였다. 사용한 윤활유는 API SG, SAE 10W/40으로 양질의 윤활유를 사용하였고 매 실험마다 윤활유를 교체하고 적정 윤활이 되도록 보충했다. 한편 마찰력과 마찰계수의 산출을 위한 개념도를 Fig. 4에 나타내었다. 마찰력 검출을 위한 로드셀과 시험편 중심간의 거리 ob = R, b점의 힘을 F, 회전 시험편의 평균 반경 oa = r, a점의 마찰력을 f라고 하면

$$f = F \times R / r$$

의 관계가 성립되며 F, r 및 R에 의해 f가 산출된다. 따라서 마찰계수는 다음 식에 의해서 결정할 수 있다.

$$\mu = f / W = F \times R / W \times r$$

여기에서 W는 가압하중이다.

마모량의 측정은 마모시험 실시전 후의 시험편과 고정편을 아세톤으로 30분 동안 초음파 세정, 탈지를 행하고 드라이어로 완전 건조 시켜 10mg까지 측정할 수 있는 정밀 천칭으로 5회 측정한 평균값에 의해 마모량을 산출하였다. 실험 후 주사형 전자 현미경(SEM)으로 마찰면의 마모 양상을 관찰하였다.

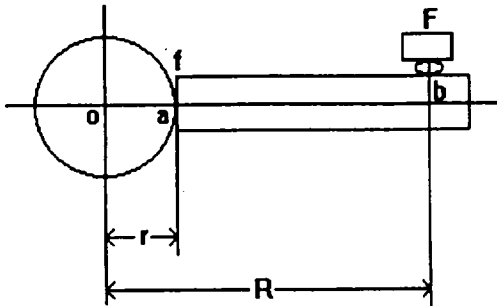


Fig. 4 Calibration of friction force

Table 4 Experimental conditions

Normal load (N)	50, 100, 150, 200, 300.
Sliding speed (m/s)	0.183
Sliding distance (m)	1350
Test temp (°C)	25
Environment	in air, in lubricating

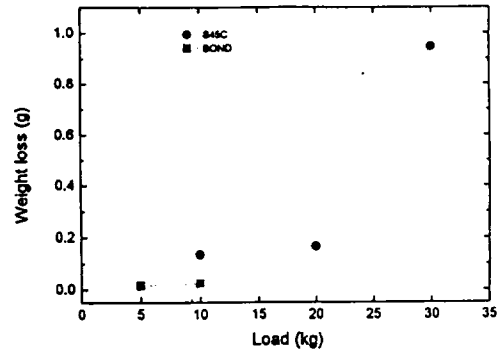
#### IV. 결과 및 고찰

##### 4.1 하중에 따른 마모량의 변화

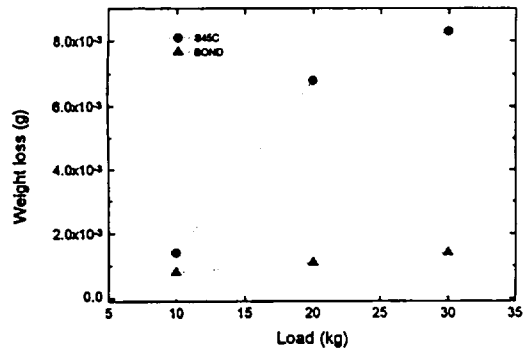
Fig. 5는 각각의 시험편에 있어서 하중과 마모량의 관계를 나타낸 것이다. (a)는 공기 중에서의 실험 결과인데 마찰 거리 1350m에서의 하중 조건은 S45C재의 경우는 100N, 200N, 300N의 하중에서 실험하였고, 코팅재(BOND)는 50N과 100N, 200N, 300N에서 실험하였다.

100N의 하중에서 S45C재는 135.9mg, 코팅

재는 21.4mg의 마모량을 나타내주고 있어서 코팅재가 S45C재에 비해 양호한 트라이볼로지



(a) in air



(b) in lubrication

Fig. 5 Relation between load and weight loss of S45C and coating material. (distance 1350m, velocity: 0.183 m/s)

(tribology) 특성의 하나인 저 마모의 현상을 보인다. 부하하중의 영향에 대해서는 S45C재의 경우 200N의 하중을 기점으로 하여 마멸곡선이 급격히 상승하는 천이점이 되고 있음을 볼 때 마모 특성에서의 하중 의존성이 매우 커서 棚木敏幸의 보고<sup>1)</sup>와도 일치하고 있으나 코팅재의 경우 하중의 영향은 거의 없고 마모량도 적다. Fig. 5(b)는 윤활중에서의 마모 실험 결과를 나타낸다. 공기 중에서의 실험 결과와 비교해 보면 300N의 하중에서의 S45C재는 8.3mg

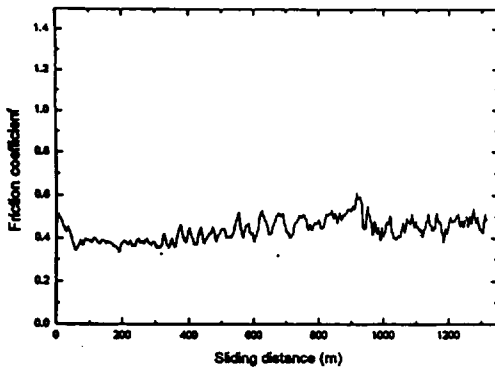
으로 공기 중에서의 147.1mg보다 마모량이 극히 적은 저마모 현상을 보이고 있으며, 코팅재 역시 마모량이 극히 적어서 마찰 마모에 대한 적절한 윤활은 양호한 트라이볼로지의 특성으로 개선할 수 있음을 보여주고 있다.

#### 4.2 하중에 따른 마찰계수의 변화

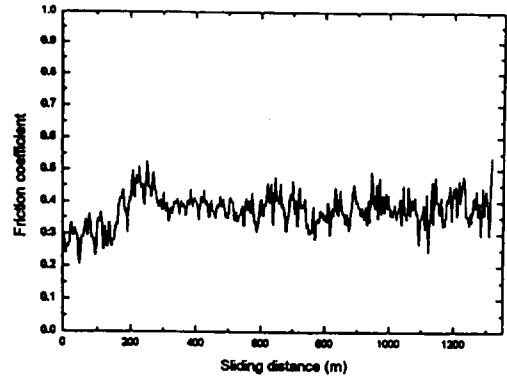
S45C재와 코팅재의 공기 중과 윤활유 중의 마찰계수의 변화를 Fig. 6에 나타낸다.

Fig. 6의 (I)에서 마찰계수는 마찰거리 증가에 관계없이 공기 중에서는 약 0.4의 값을 보이고 있고 윤활 환경에서는 0.18정도의 값을 보이고 있다. 윤활 환경에서 200N의 하중에서

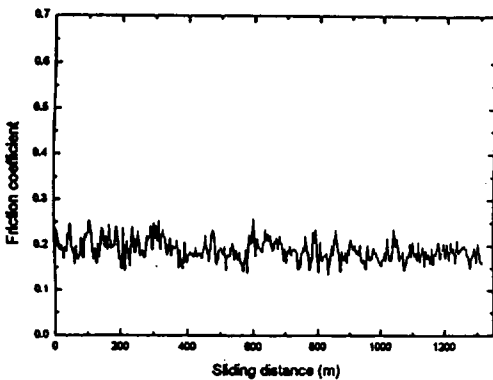
보다 300N의 하중에서 0.03정도로 마찰계수가 감소하는 것은 윤활 환경에서 미끄럼 마찰일 때 고하중에서 보다 안정된 값을 보이고 있는 것으로 하중의 증가에 의해 마찰계수가 크게 변화하고 있는 것은 아니라고 사료된다. 이것은 하중의 증가와 함께 마찰력도 증가한다는 쿨롱의 법칙<sup>5)</sup>에 적용되는 것이다. 하중이 증가한 만큼 마찰력도 같이 증가함으로써 마찰계수의 값에는 거의 영향을 주지 못하고 있다는 것을 설명해 주고 있는 것이다. 한편 그림에서 보는 바와 같이 공기 중에서도 윤활 환경에서의 마찰계수가 1/2정도로 감소되고 있어서 윤활작용에 의한 마찰계수의 감소 현상을 명확히 알 수



(a) in air

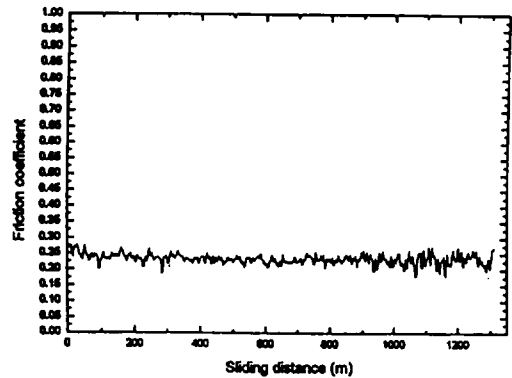


(a) in air



(b) in lubrication

(I) S45C



(b) in lubrication

(II) Coating specimen

Fig. 6 Effect of load on friction coefficient (Sliding distance 1350m, load 200N, sliding velocity 0.183m/s)

있다. Fig. 6의 (II)는 코팅재의 하중에 따른 마찰계수의 변화를 공기중과 윤활 환경에서 실험한 것을 나타낸다. 실험한 결과 마찰계수는 약 0.29 정도의 값을 보이고 있고 윤활 환경 중에서는 0.24 정도의 값을 보이고 있어서 윤활 환경 중에서의 저마찰 현상은 앞에서 밝힌 바와 같다. 공기 중에서의 윤활 환경에서의 마찰계수의 값이 큰 차이가 없는 것은 코팅재의 재료 특성에 의한 것으로서 강에 비해 알루미늄이 재질적으로 부드럽고 연한 성질에 기인한다고 본다.

한편 Fig. 7은 S45C재, 코팅재를 공기 중에서 100N의 하중에서의 마찰계수를 비교한 것을 보인 것이다. 여기에서 마찰계수의 평균치는 S45C재가 0.37, 코팅재가 0.29로 모재보다는 코팅재의 마찰계수가 감소하고 있음을 나타내고 있다. 이것은 Ni-4.5%Al만으로도 용사코팅에 의해 내마모성을 개선할 수 있다는 것을 의미하고 있다.

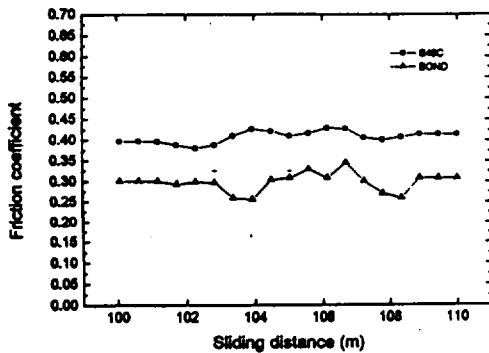
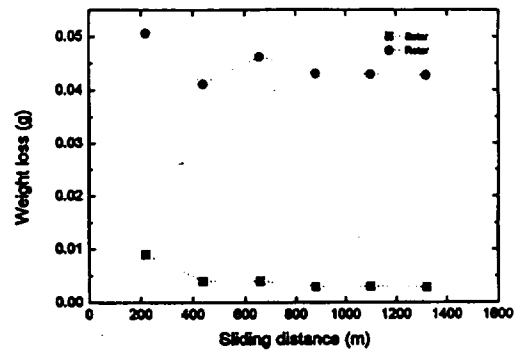


Fig. 7 Relation between friction coefficient and sliding distance (in air, load 100N, velocity 0.183m/s)

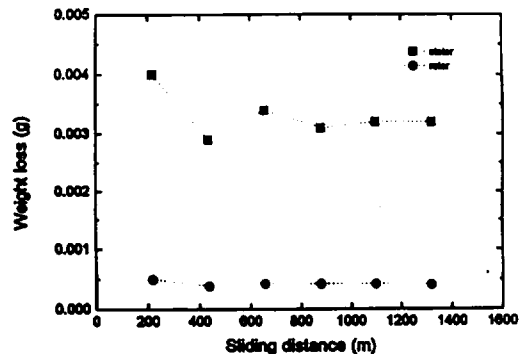
#### 4.3 시험편과 고정편의 마모량 비교

Fig. 8은 마찰거리에 따른 시험편과 고정편의 마모량의 변화를 나타낸다. S45C재를 150N의 하중을 가한 상태에서 미끄럼 마찰을 시켜 마찰거리 220m마다의 마모량을 측정하였다. 공기중과 윤활 환경 하에서 실험하여 그 마

모양을 비교 검토하였다. 실험 전에 시험편을 30분 동안 아세톤으로 초음파 세척을 실시하고 완전히 건조시킨 후 100mg까지 측정 가능한 정밀 천칭으로 5회 측정하고 그 평균값을 실험 전 중량으로 하였다. 실험 후에도 같은 방법으로 중량을 측정하여 그 차이를 마모량으로 하여 비교, 검토하였다.



(a) in air



(b) in lubrication

Fig. 8 Relation of weight loss and sliding distance (load 150N, S45C)

Fig. 8(a)은 공기 중에서의 실험 결과에서 마찰 초기 220m동안의 시험편의 마모량은 50.6mg이고 고정편의 마모량은 0.9mg으로 다른 구간에서 보다 마모량이 가장 많았다. 440m를 지나면 마모량은 최저로 낮아 졌다가 660m

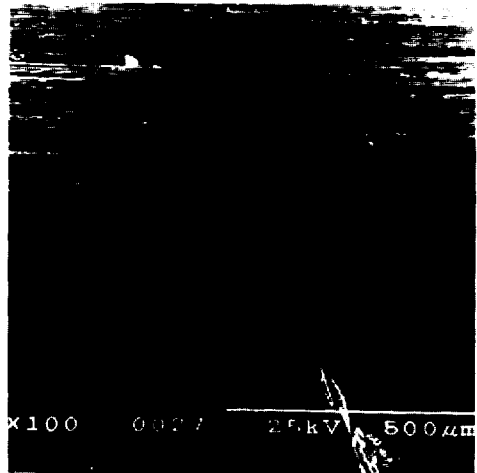
를 경과하면서 일정한 마모량 값을 나타내고 있다. 마찰면상의 미소 돌기가 상호 작용하여 응착되고 이 응착부가 탈락하고 전이되는 것으로 인해 생기는 마모를 응착마모라고 하는데 이때의 마모량은 하중에 비례하고 경도에 반비례한다는 것은 일찍이 Holm<sup>6)</sup>에 의해서 보고된 바

있다. 마모 초기에 있어서 마모량이 급증하는 것은 상대 마찰면 사이에 친화력이 없는 상태였다가 마모가 진행되면서 발생한 마모 분말에 의한 것으로 생각되며 또 상대 마모면의 미소 돌기가 절삭 작용을 하는 것 때문이라고 생각된다.

마찰거리가 길어지면서 마모량이 다소 작아지

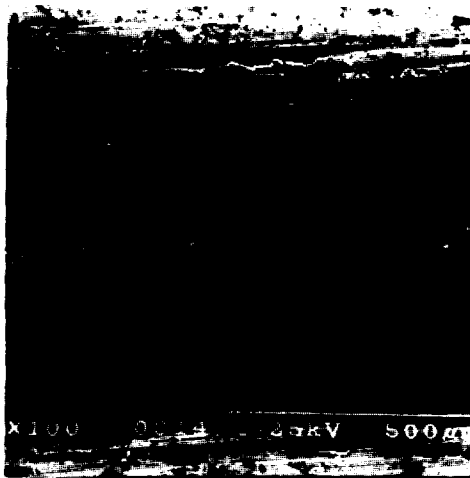


(a) in air, load : 300N

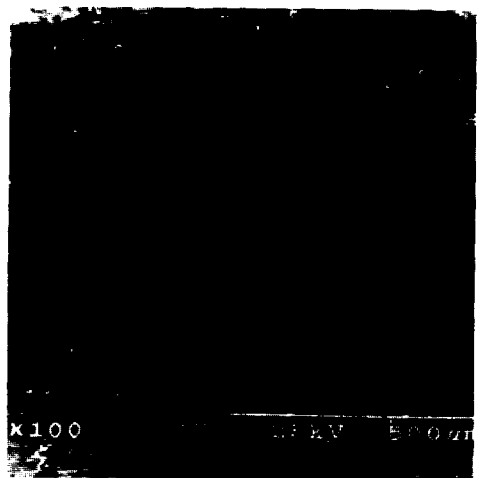


(b) in lubrication, load : 300N

(I) S45C



(a) in air, load : 100N



(b) in lubrication, load : 300N

(II) Coating specimen

Fig. 9 Wear surfaces



고 어느 정도 그 마모되는 정도가 일정하게 유지되는 것은 마찰면 사이에 발생된 마모 분말의 자기 윤활 작용 및 산화에 의한 것이라고 생각된다. 마찰거리가 300m정도 지날 때의 마모 분말의 색깔도 검정색으로 변해 산화가 진행되었음을 알 수 있었다. 이것은 마모가 진행되면서 마찰면 사이에서의 온도가 점점 상승하게되고 따라서 마모 분말이 고온 산화되기 때문이라고 생각된다.

Fig. 8(b)은 윤활 환경에서의 실험 결과를 나타낸 것으로 시험편이나 고정편의 마모량은 공기 중에서 보다 훨씬 적은 양을 보이고 있다. 윤활유의 윤활작용에 의해 고체마찰 상태를 경계마찰 상태로 변화시켜 줌으로 인해 마모량이 적어졌다고 생각된다.

#### 4.4 SEM 관찰

Fig. 9는 공기 중에서도와 윤활환경에서의 마모면의 형상을 나타낸다. (I)는 S45C재의 마모면, (II)은 코팅재의 마모면 양상이다.

Fig. 9 (I)의 (a)인 S45C재의 공기 중에서 마모면의 형상은 육안으로도 매우 거칠었으며, 마모가 진행되면서 상대재와의 웅착과 탈락으로 마모입자들이 생성되고 이 입자들에 의한 입자 마모로 굵은 줄무늬와 함께 뜯겨나가거나 파여진 흔적이 산재하여 있고 홈(groove)과 골(ploughing)에 마모된 파편들이 누적되어 있음을 확인할 수 있다. 이것은 덩어리 상태(cluster)의 입자들과 개개의 입자들이 활발히 이동하면서 흙이나 골을 형성하는 것으로 사료된다. 이러한 마모면의 형상은 경도가 약한 S45C재의 마모를 촉진시키는 것으로 생각된다. 그러나 Fig. 9(I)(b)의 윤활환경에서는 가늘고 연속적인 줄무늬만 관찰되고 있다. 마모 초기에서부터 접촉면이 윤활작용에 의해 웅착이 일어나기 어렵고 또한 마모입자의 생성도 어려웠기 때문이라고 생각된다. 기체에서의 입자 탈락이라는 현상도 없기 때문에 상대적으로 경도가 높은 고정편과의 접촉에 의해서만 마찰이 이루어지고 있으므로 입자에 의한 연삭작용이 전혀 없는 것으로 사료된다. 한편, Fig. 9(II)

코팅재의 경우 (a)는 공기 중 100N의 하중에서 실험한 것이고 (b)는 윤활환경, 300N의 하중하의 마모면이다. 공기 중에서도와 윤활환경에서의 마모면의 양상을 비교해 보면 공기 중에서의 하중이 윤활환경에서의 하중보다 1/3정도 적은데도 공기 중에서의 마모가 오히려 심하게 일어나고 있다. 공기중에서의 마모는 Ni-4.5% Al의 우수한 전, 연성으로 인하여 강보다 마모는 적지만 표면에 찢긴 듯한 흔적이 연속적으로 보이고 있다. 그러나 윤활 환경에서는 하중이 증가했음에도 연마효과를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 윤활작용에 의해 마모가 억제 또는 방지되고 있음을 설명해 주고 있다.

## V. 결 론

퍼스널 컴퓨터와 A/D컨버터 및 스트레인 증폭기 등을 사용하여 Pin-on-disk형 마모시험기를 제작하여 공기 중 및 윤활 환경 하에서 S45C재와 화염용사에 의해 Ni-4.5%Al을 코팅한 코팅재에 대하여 마모 특성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 제작한 Pin on disk형 마모시험기는 데이터를 컴퓨터에 의해 처리하며, Ball on disk형 시험 및 윤활 환경, 부식 환경에서의 실험을 할 수 있다.
2. 하중에 비례하여 마모량이 증가하였으며, 마모량은 코팅재가 S45C재보다 적고 특히 윤활 환경에서 효과가 크다.
3. 하중이 증가하면 마찰력도 증가하여 마찰계수는 일정하게 된다.
4. 마모량은 마찰초기에 현저하게 증가하였으며, 시간이 경과함에 따라서 마모량은 감소하다가 일정하게 유지되었다.
5. 마모면의 양상은 공기 중은 웅착에 의해 급격한 마모가 일어나고 있음이 관찰되었고, 윤활 환경에서는 윤활에 의한 웅착의 저하로 인하여 접촉 마모 현상만 관찰되었다.

참고문헌

- 1) 沖猛雄, 1990, "表面改質による材料の高性能化 技術", Boshoku Gijutsu, 39, 4, 201-210.
- 2) 足立幸志, 加藤康司, 井上英治, 鍵本良實, 1995, "アルミナセラミックスのトライボロジー特性に及ぼす温度の影響(磨耗特性とトベイボフィルム形成の関係)", 日本機械學會論文集(C編), 61, 586, 2553-2558.
- 3) METCO : THERMAL SPRAY COATINGS
- 4) 棚木敏幸, 湯淺 眞, 關根 功, 1995, "TiNで皮覆した合金工具鋼(SKD 11)食塩水中での腐食磨耗", Zairyo to Kankyo, 44, 72-79.
- 5) 권오관, 김형선, 1993, "알루미늄 합금표면에 코팅된 세라믹재의 마찰마멸 특성", 大韓機械學會論文集, 17, 12, 3083-3093.
- 6) 松原清, 1993, "トライボロジー(摩擦, 磨耗, 潤滑の科學と技術)", 産業圖書株式會社.