

초고진공중에 있어서 Tribo-Coating 막의 윤활특성

김형자* 加藤康司** 전태욱***박홍식***

* 부산공업대학 1공학부 기계설계학과

** 동북대학 공학부 기계공학과

*** 동아대학교 공과대학 기계공학과

1. 서론

초고진공중에 있어서의 기계, 기기의 설계에 있어서 마찰의 제어는 가장 중요한 과제의 하나이다. 지금까지 그 마찰면의 윤활을 위해서는 고체 윤활제로서 Au, Ag 등 MoS₂ 피막이 많이 쓰여져 왔다. (1)-(8)

또한 그것들의 피막 형성법으로서 Plasma Coating, Sputtering 및 Ion-Plating 등의 여러가지 피막형성법이 개발되어 왔다.

그러나 어느 경우도 형성된 수μm의 피막의 마모에 의한 유한의 수명이 존재하고, 마찰계수의 면에서도 아직 충분하다고 말할수 없는 것이 현상이다.

이것에 대하여 필자들은 우주에 있어서 사용을 목적으로 새로운 피막 형성법으로서 Tribo-Coating법을 개발하여 그 유효성을 나타내어 왔다. (9)-(10)

본 연구에서는 초고진공중에 있어서 Tribo-Coating법에 의한 In막의 윤활 특성에 영향을 미치는 지배적 제인자의 역할을 밝히 고저한다.

2. 실험방법

Fig. 1에 Tribo-Coating장치 및 Pin-On-Disk형 마찰장치의 개략을 나타 내었다.

이 장치는(10⁻⁶) Pa 의 초고진공 장치내에 설치되어 있다.

Al₂O₃ Crucible은 피막재료를 내장 해 두어 Mo Heater의 통전 가열에 의해 Disk의 마찰면에 피막재료를 증발시켜 Tribo-Coating을 형성 시킬 수가 있다.

수직하중 W 및 마찰속도 V 는 각각 10N, 24 mm/sec 로 일정 하게했다.

마찰력은 판 스프링에 부착된 스트레인 게이지에 의해 리얼타임으로써 측정되어 마찰계수로 환산하였다.

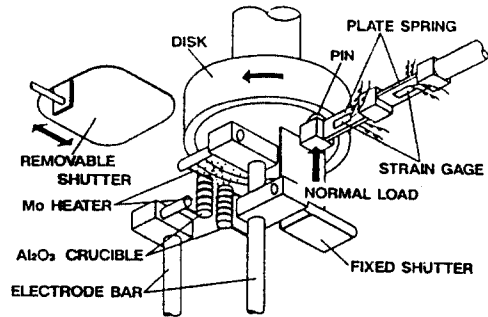


Fig. 1 Tribo-Coating장치 및 마찰장치 개략도

피막의 수명 Nc는 마찰계수가 0.15에 도달 할 때까지의 반복마찰 횟수로 하였다.

Pin의 시편은 직경 8 mm 의 질화 규소구 (Si₃N₄)를, Disk시험편은 담금질을 실시한 SUS440C를 사용하였다. Pin 및 Disk 시험편의 제특성을 표 1 에 나타내었다.

표1 Pin 및 disk의 제 특성

	Disk	Pin
Material	Quenched SUS440C	Cold pressed Si ₃ N ₄
Vickers hardness Hv, kgf/mm ²	800	1652
Surface roughness R _{max} , μm	0.07	0.02
Elastic modulus E, GPa	204	320
Poisson's ratio ν	0.3	0.27
Density ρ, X 10 ³ kg/m ³	8.00	3.24
Thermal conductivity λ, W/mK	29	28
Thermal diffusivity a, X 10 ⁶ m ² /s	12.2	10.1
Fracture toughness K _{IC} , MPa·m ^{1/2}	—	5.2

피막재료로서는 99.99%의 In을 사용하였다. 또한 피막 공급시간 Δt_h 는 2min으로 일정하게 하고 피막공급량은 피막공급속도 \dot{h} 에 의해 변환 시켰다. In의 제특성을 표2에 나타내었다.

표2 피막재료의 제 특성

Film material	In
Vickers hardness Hv, kgf/mm ²	1.0
Melting point T _m , K	430
Boiling point T _b , K	2286
Elastic modulus E, GPa	11
Density $\rho, \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	7.31
Thermal conductivity $\lambda, \text{ W/mK}$	25
Thermal diffusivity $a, \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$	14.3
Saturated vapor pressure at 300K P _{f300} , Pa	7.3 $\times 10^{-32}$

이와같이 마찰계수가 0.15이상으로 급증할때의 마찰반복횟수를 피막의 수명 N_c로 한다. Fig.3에는 disk의 표면조도(R_{max})가 0.035 μm 의 경우에 있어서 피막공급량과 일정하게 되었을 때의 마찰계수 μ 및 피막수명의 관계를 나타내었다.

이 결과로 부터 피막공급량이 마찰계수와 마찰수명에 미치는 영향은 피막공급량 $\dot{h}=30\text{mm/min}$ 이상에서는 적은것을 알수 있다.

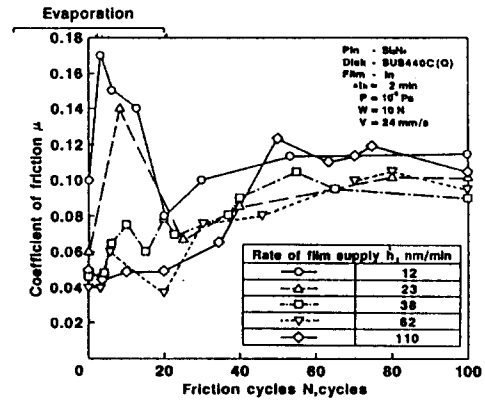


Fig.2 피막공급량의 마찰계수 변화에 미치는 영향

3. 실험결과

3-1 마찰계수 및 피막수명에 미치는 피막공급량의 영향

Fig.2에 피막공급량이 마찰의 반복과 더불어 마찰계수변환에 미치는 영향을 나타내었다.

마찰 초기에 있어서 마찰계수는 공급량이 많을수록 낮은것을 알 수 있다. 또한 어느것의 피막공급량에서도 마찰계수는 마찰초기(50회전 이하)에 있어서 크나큰 변동이 보이지만 50회전이후에 있어서는 여전히 마찰계수는 높지만 변동은 진정되어짐을 보여주고 있다.

그 후 마찰을 반복시키면 Fig.4에서 볼 수 있는 것과 같이 제조조건에 따라 차이는 있지만 약200회전 이후에 있어서 마찰계수는 거의 일정하게 되고 어떤 한계의 반복횟수에 있어서 급증한다.

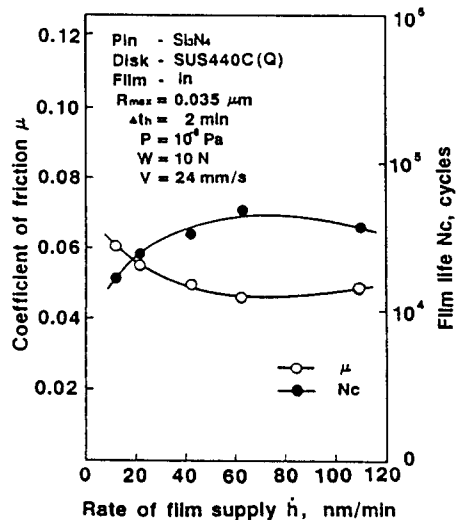


Fig.3 피막공급량과 마찰계수 및 피막수명의 관계

3-2 마찰계수 및 피삭수명에 미치는 disk 표면조도의 영향

Fig.4에 3종류의 표면조도를 가진 disk에 있어서의 마찰반복 횟수와 함께 마찰계수의 변화를 나타내었다.

어느것의 disk표면조도에서도 마찰계수는 마찰초기에 있어서 큰 변동과 높은 마찰계수를 보내주고 있다.

마찰반복 횟수가 약 2000회전 이후가 되면 마찰계수는 각각의 조건에 따른 거의 일정 값 (μ : 정상상태의 마찰계수)을 수명이다 할 때까지 유지함을 알 수 있다.

Fig.5에 disk표면조도와 정상상태에 있어서의 마찰계수 μ 및 피삭수명 N_c 의 관계를

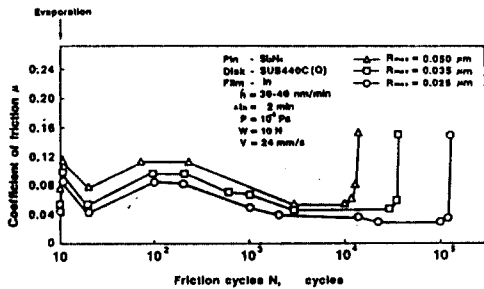


Fig. 4 Disk표면조도의 마찰계수 변화에 미치는 영향

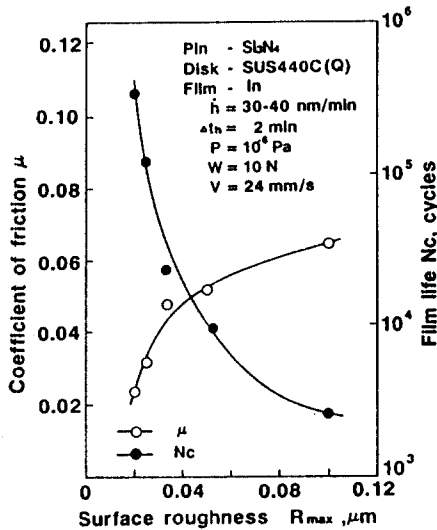


Fig.5 Disk표면조도와 마찰계수 및 피삭수명의 관계

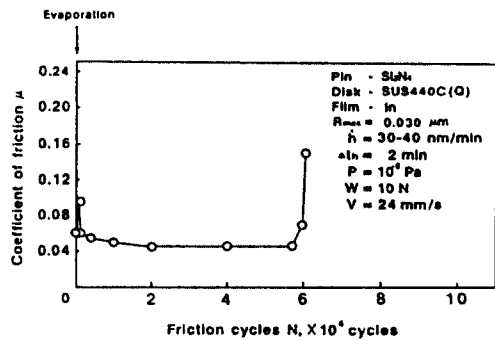
나타내었다. 이 그림에서 disk표면조도의 감소와 함께 마찰계수가 0.065에서 0.022까지 감소하고 피삭수명이 약 100배 이상 증가하는 것을 알 수 있다.

3-3. 피삭수명에 미치는 재 Tribo-Coating의 영향

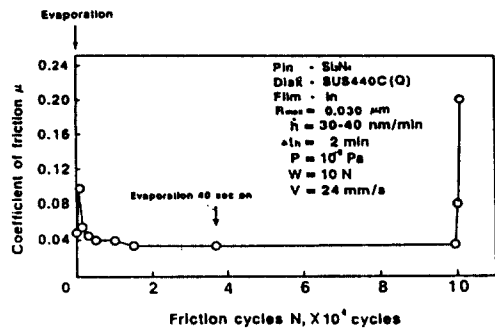
Fig.6 (a)(b)는 마찰개시시에 Tribo-Coating을 1회만 실시한 것(Fig.6(a))과 정상 상태시에 재 Tribo-Coating을 실시 한 것(Fig.6(b))에 있어서 마찰반복 횟수와 더불어 마찰계수의 변화를 나타 내고있다.

이들 그림으로부터 정상상태시의 재 Tribo-Coating을 행함으로써 피삭수명이 약 2배 증가하는것을 알 수 있다.

이것으로부터 재 Tribo-Coating의 반복에 의해 반영구적인 수명연장이 가능하다고 생각 할 수 있다.



(a) 마찰개시시에 Tribo-Coating을 1회만 실시



(b) 정상상태시에 재 Tribo-Coating을 실시

Fig.6 재 Tribo-Coating의 피삭수명에 미치는 영향

4 고찰

4-1 마찰면의 XMA분석

Photo 1 및 Photo 2에 Disk 및 Pin의 마찰면의 XMA분석을 나타내고있다.

이것들의 Photo으로부터 In피막 재료는 Disk의 마찰면내에는 거의 존재하지 않고 (Photo.1) Pin의 마찰면내에서만 대부분 존재하고있는 (Photo.2)것을 알 수있다. 이것은 Pin에 부착한 In에 의해 윤활작용이 이루어지고 있는것을 나타내고있다.

여기서 In막의 윤활기구를 Photo.1,2를 근거로하여 Fig.7에 나타낸것과 같이 Pin과 Disk의 접촉부에 있어서 In막을 흡입파서 일으키고 이들 파괴된 In막이 Pin선단부에 부착하게되고 이 부착된 In에 의해 윤활된다고 생각된다.

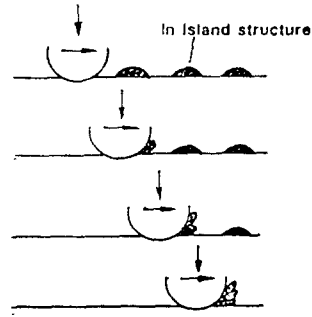


Fig.7 In의 윤활기구

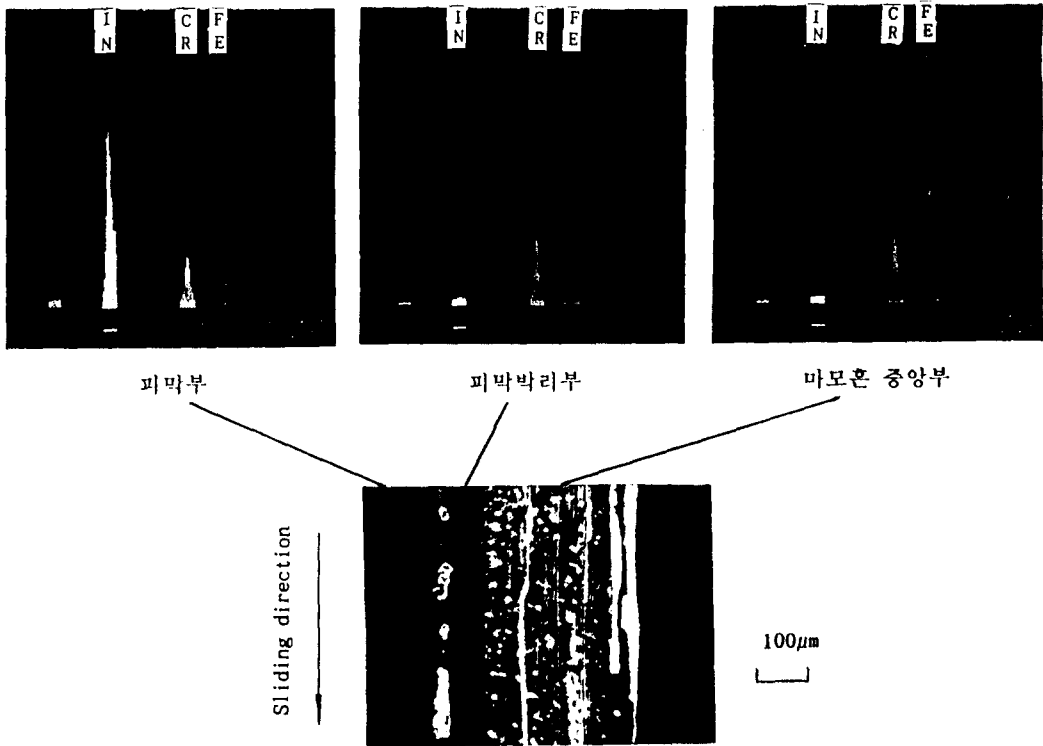


Photo1, Tribo-Coating In막의 disk의 마모흔의 XMA분석

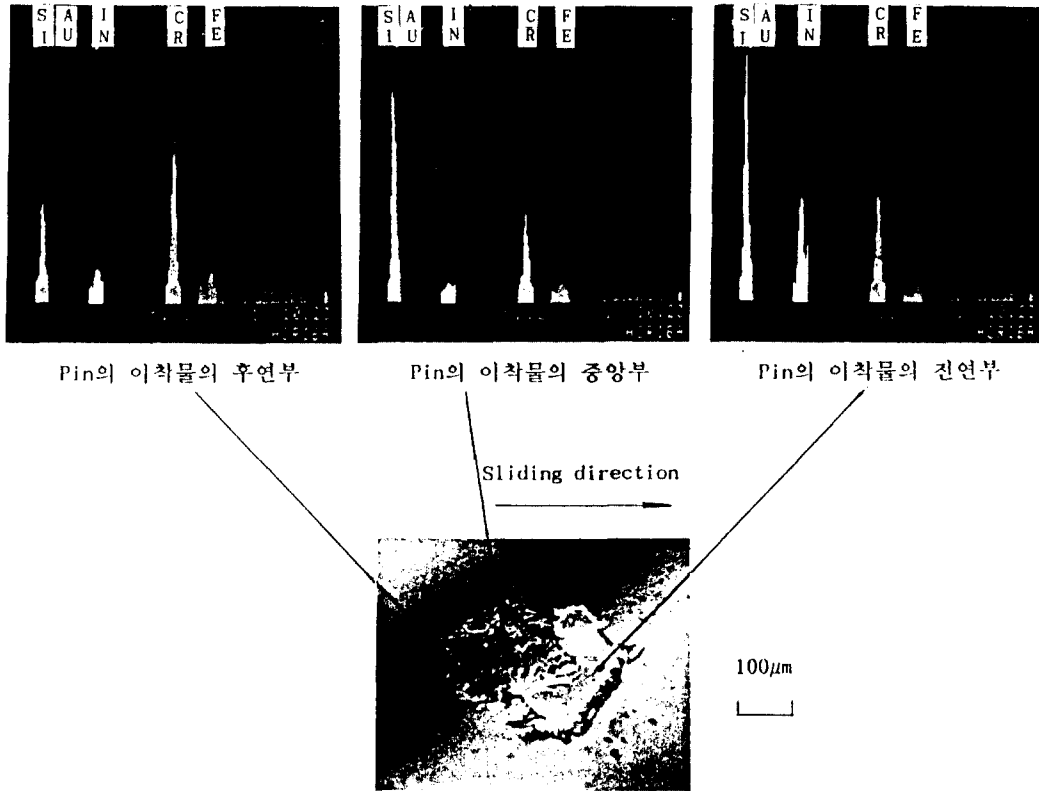


Photo2, Tribo-Coating In막의 Pin의 이착물의 XMA분석

4-2 마찰계수와 피막수명의 관계

Fig. 5로부터 피막수명의 증가를 마찰계수의 감소의 결과로 생각 할 수가 있다. 여기서 Fig. 8에 본 실험 결과 및 그외의 여러 가지 실험조건에 있어서의 실험결과를 포함하여 정상상태에 있어서의 마찰계수 μ 와 피막수명 N_c 의 관계를 나타내었다.

이그림으로부터 마찰계수의 감소에 의해 피막수명이 증가하는 관계를 명확하게 볼 수가 있다. 또한 이 상관관계는 실험식으로 나타내수가 있다.

$$N_c = A \times B^\mu \quad (1)$$

이거서 N_c : 피막수명
 μ : 정상상태의 마찰계수
 A, B : 실험정수

$$(A=3.1 \times 10^6, B=2.6 \times 10^{-43})$$

식(1)은 피막수명의 예측에 대단히 유효한 것이라고 생각된다.

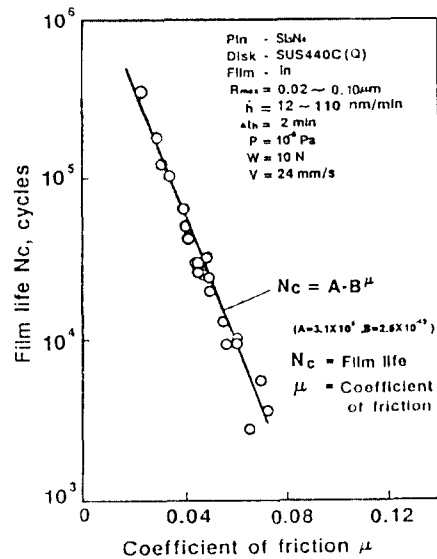


Fig. 8 마찰계수와 피막수명의 관계

5 결론

피막재료로서 In을 취급하여 초고진공중의 Tribo-Coating막의 윤활특성의 향상을 목적으로 하여, 피막공급량, Disk표면조도 및 재 Tribo-Coating의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Disk의 최대거칠기 R_{max} 를 $0.1\mu\text{m}$ 부터 $0.02\mu\text{m}$ 까지 감소시키면 마찰 계수는 0.065 부터 0.022 까지 감소하고 피막수명은 2.5×10^3 Cycles부터 3.5×10^5 Cycles까지 증가했다.
2. 피막의 수명은 정상상태시에 있어서 재 Tribo-Coating에 의해 약2배로 증가했다.

3. 피막수명 N_c 와 마찰계수 μ 의 관계를 다음 식으로 표시할 수가 있었다.

$$N_c = A \times B^\mu \quad (A = 3.1 \times 10^6, B = 2.6 \times 10^{-43})$$

사사

본 연구에 협력해 주신 日立製作所(株)에 감사드립니다.

특히 직접담당하신 日立製作所(株) 機械研究所의 水本宗男씨에게 감사드립니다.

또한 유효한 토론을 하여 주신 東北大學의 梅原得次씨, 足立幸志씨에게 감사드립니다.

참고문헌

- (1) F. P. Bowden and Tabor: The Friction and Lubrication of Solids, clarendonpress, oxford(1954)
- (2) Y. Tsuya and R. Takagi: Wear, 7(1964)131
- (3) C. Dayson: ASLE Transactions, 14(1970)105-115
- (4) Y. Shimura, T. Ito, Y. Taga and K. Nakajima: Wear, 49(1978)179
- (5) J. Gerken: Wear, 102(1985)241
- (6) K. Kato and H. Osaki: Tribology Transaction, 32, 1(1989)42
- (7) 加藤, 中島: 日本潤滑学会第33期全国大会(岡山)予稿集, (1988)9-12
- (8) 加藤, 中島, 費場: 日本潤滑学会第33期全国大会(岡山)予稿集, (1988)521-524
- (9) K. Kato, H. Furuyama and M. Mizumoto: Proc. Japan Int. Trib. Conf. Nagoya, (1990)261-266
- (10) 加藤, 今田, 水本: 摩擦'91存(東京)予稿集, (1991)15-18