

## 최근 미국의 Tribology 연구현황과 전망에 관하여

-공군사관학교 교수 강석준-

### o. 요약

현재 미국의 Tribology 분야는 일본과의 경쟁의식과 에너지 절약의 측면에서 활발히 연구되고 있고 세라믹을 이용한 마찰 재료의 개발과 특수 윤활유 개발의 두가지 분야로 구분하여 살펴 볼 수 있다.

먼저 마찰 재료 개발은 공업용 세라믹을 마찰 마모 특성에 적합한 재료. 합성 및 제조과정등을 각 대략 금속재료 분야의 학자와 관련회사 중심으로 개발되고 있다.

또 세라믹 특성과 금속의 특성을 함께 이용하기 위한 coating 재료 및 방법이 활발히 연구되어 자동차 엔진의 coating 등 실용화를 위한 시험중에 있다.

각 세라믹의 고유 성질을 합성시키기 위한 세라믹 복합재 개발도 국립연구소 등에서 연구 되고 있고 고속 이온화 코팅방법도 최근 Argonne 등 연구소에서 개발 중이어서 앞으로 실용화 단계에 이를 것으로 예상된다.

윤활유 개발로는 저 마찰 특성을 갖는 첨가제 개발과 세라믹용 윤활유 개발이 진행되고 있고 고속 고온 마찰용 분말 혹은 기체 윤활제가 개발 중에 있다.

따라서 위 내용을 앞으로의 전망과 함께 살펴 보겠다.

- 마찰 재료의 개발
  - 1. 세라믹 개발 연구

마찰 재료 개발은 주로 세라믹 개발에 집중되어  
 있고 내마모성, 내열성, 화학적 안정성의 강점을  
 유지하고 가장 큰 단점인 취성을 어느 정도 제거  
 하므로써 종북에도 강단 세라믹 제조를 위해  
 노력하여 현재 부분적으로 성공하고 있다. 그 방법  
 으로는 결합제의 개발과 세라믹 복합재의 연구로서  
 특히 세라믹 Matrix 와 Fiber 간의 결합  
 특성 향상이 상당한 연구 진척을 보이고 있다.  
 현재 관심의 대상이 되고 있는 것으로는  $Al_2O_3$   
 나  $ZrO_2$  같은 산화물과  $SiC$  와  $Si_3N_4$   
 로써 응용 방법에 따라 각각 장단점을 갖고  
 있다. 또, 세라믹 끼리의 마찰 금속과 세라믹  
 과의 마찰에 관한 실험적인 자료를 바탕으로  
 세라믹의 구성 성분이나 제조방법을 개선하려는 노력도  
 활발히 진행되고 있다. 그러나 아직도 제조 단가  
 가 높고 각 제조 회사간의 물리적 화학적 성질이  
 제각기 다르며 가공 및 윤활제 등 주변 연구의  
 미비로 인하여 수요가 급격히 증가하자는 않을  
 것으로 본다. 그러나 특수 부품에 대한 이용은  
 계속 확대될 전망이다.

## 2. 세라믹의 Coating

세라믹의 특성과 금속의 특성을 함께 고려하여 마찰 재료를 개발하는 방법으로 세라믹 Coating 이 금속의 coating 과 함께 연구 개발되고 있다. Coating 방법으로는 PVD, CVD 등 여러 방법이 이용되지만 그중에서 spray coating 방법이 가장 활발히 연구되고 있다. spray coating 에는 arc flame spray 법, thermo spray (oxy-acetylene) 법, plasma spray 법과 detonation gun (D-gun) 법이 이용되고 각 특징은 아래와 같다.

- a). arc flame spray  
금속간의 도금에 적합하고 세라믹의 도금에는 이용될 수 없다.
- b). thermo spray  
낮은 온도에서 용해되는 분말의 도금에 사용되고 경도가 높은 재료의 도금에는 부적합하다.
- c). plasma spray  
Union Carbide 사에서 1957년에 개발  
실용화한 방법으로 원리는 그림 1.2와 같고  
현재 영국의 Metco 사에서 상업용 spray  
gun과 분말제를 판매하고 있다.  
Coating 두께는 0.002" ~ 0.02"로 임의  
조절이 가능하고 도금용 분말의 산화를 방지  
하여 도금층의 접착력을 높이기 위하여 inert  
gas shroud (Argon) 법 Vacuum 도금법  
을 이용한다.  
Coating 재료는 분말이 용해될 때 degrada-  
tion이 되지 않는 한 어떤 것이든  
가능하여 금속 세라믹 또는 Cermet 의  
Coating에 사용된다.

동도는 마모저항, 산화저항, 부식저항용 Coating 과  
마모 부품 재생 등에 이용되고 세라믹 엔진 개발로서  
시린더를 세라믹으로 도금하는데에 사용된다.  
단점으로는 입자 속도 (음속 전후) 가 작아 porosity (치밀도)  
가 이론치의 70~80% 이고 두꺼운 산화막이 있는 경우  
접착강도가 낮은 점이며 현재 분말의 개발, 혼합비의  
조절 등에 많은 연구를 진행하고 있다.

d) D-Gun spray

1953 년도에 Union Carbide 에서 개발 되어  
아직도 세계에서 독점적으로 생산하고 있다.

원리는 그림 3 과 같고 초당 2-2 회 의

분사 속도로 Coating 두께나 분말에 따라

사용한다. 이 방법은 제트 엔진의 고온 고속

마찰 부품 도금에 많이 사용되며 현재는 그 용도가

넓어져 산업기계에 활용되고 있다.

가장 큰 장점은 음속의 2 배에 가까운 속도로

두꺼운 Coating 분말이 금속 표면에 달라 붙음으로

금속 표면의 산화막을 통과 할 수 있어서 접착 강도가

매우 크고 porosity 도 90~95% 까지 이론 값에

접근시킬 수 있다는 것이다.

역시 연구는 분말 개발과 혼합 방법에 활발 하고

분말 크기가 일정하며 혼합비가 일정 하여야 가장

좋은 Coating 을 할 수 있다.

Plasma 나 D-Gun 방법은 여러종의 Coating

이 가능하고 두께 조절이 용이하며 높은 용점의

재료를 이용할 수 있어 앞으로 활용 분야가 크게

확대되고 연구도 더욱 활발해 질 것으로

기대 된다.

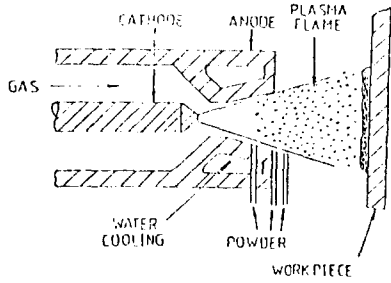
### 3. Ion implantation 의 개발

이것은 음 전하를 띤 도금용 금속에 알곤 같은 불활성 가스의 양이온과 함께 이온화된 원자를 침투시키는 방법이다. 이때 원자는 전기장에서 가속되므로 금속의 침투가 용이해지고 금속 고체운활제, Carbide 같은 단단한 물질의 도금을 쉽게 할 수 있으며 특히 두께가  $500 \text{ \AA} \sim 10,000 \text{ \AA}$  정도인 얇은 도금이 가능하고 표면 조도가 매우 낮아 재 가공이 필요 없다. 용도로는 가스 베어링이나 rolling contact bearing, 또는 절삭공구 용 도금, 인공뼈의 도금으로 사용되며, 마모 수명은 다른 방법보다 10~100 배 이상 증가 가능하다. 진공에서 도금해야 하므로 비용이 많이 들고 크기가 제한되어야 하므로 상업화에는 문제가 있다.

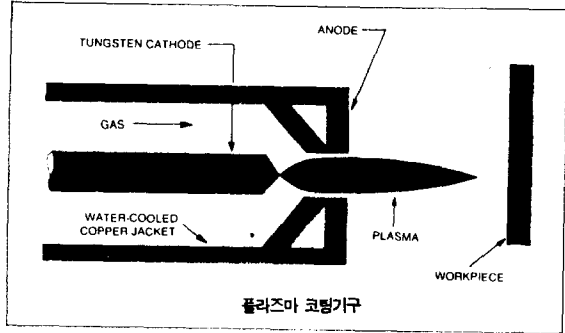
### 4. 기타.

앞으로 가장 기대되는 용도로는 세라믹 엔진으로 개발 과정은 그림 5와 같다. 연료 소모율은 5~10% 감소시킬 수 있으나 고가의 합성 윤활유의 사용, 수명의 문제 또는 종결의 문제등이 남아있고 실용화는 90년대 이후로 추정된다. 현재 윤활제 분야의 연구는 Viscosity 를 낮추기 위한 첨가제 개발에서  $\text{MoS}_2$  같은 고체 윤활제 혼합에 관한 것과 세라믹용 윤활유 개발 그리고 고온 고속에서 사용 가능한 기체 윤활제 개발이 활발히 진행 중에 있다. 또 polymer + metal ) 등에 관심이

얇고 금속 세라믹 폴리머를 같이 사용하여  
 마찰 마모 특성을 향상 시키려는 연구가 진행  
 중에 있다.



Schematic of plasma torch



플라즈마 코팅기구

그림 1

그림 2

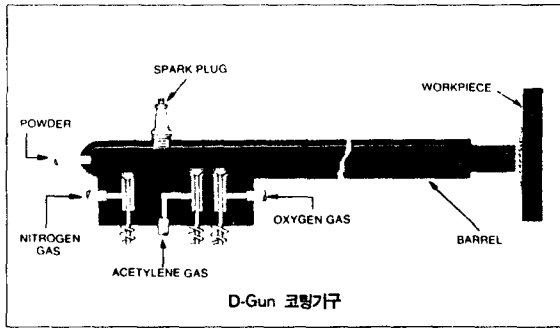


그림 3

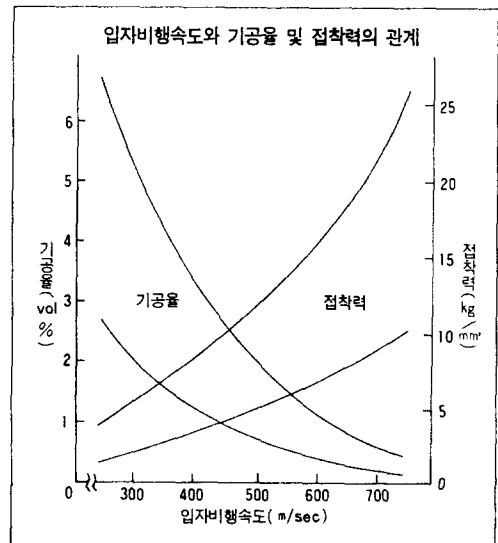


그림 4

### UNCOOLED DIESEL ENGINE DESIGNS

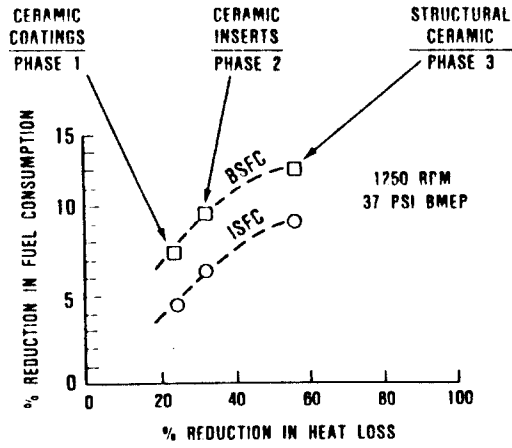
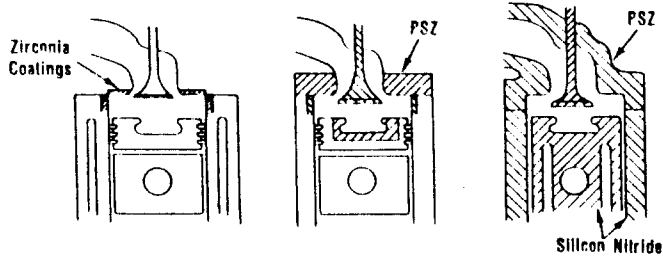


그림 5