

논문

## 해양환경에 적용하기 위한 첨단 복합 방식재의 유효성에 관한 연구

김진우\* · 손춘상\*\* · 김윤해\*\*\*

### A Study on the Effectiveness of Advanced Composite Materials for the Application in Offshore Environments

J. W. Kim\* · C. S. Son\*\* · Y. H. Kim\*\*\*

〈 목 차 〉	
Abstract	
1. 서론	2) 내침투성 시험
2. 실험재료 및 실험방법	3) 내언더컷팅 시험
1) 실험재료	4) 마찰, 마모 시험
2) 실험방법	4. 결론
3. 실험결과 및 고찰	※참고문헌
1) 인장시험	

#### Abstract

The power plants and the ships with sea water cooling system always expose to the oceanic atmosphere, therefore, the prevention methods of corrosion to protect the equipments are very important. To investigate the effectiveness of advanced composite materials for the application in offshore environments, the tensile test, hardness test, undercutting property test, permeance test and friction and wear test were carried out by using various applicable coating materials. The main results obtained can be summarized as follows ;

\* 경한산업(주)  
\*\* 한국해양대학교 대학원  
\*\*\* 한국해양대학교 재료공학과

1. The micro-Hardness of Archcoat 502B showed the highest value.
2. The coefficient of friction of Rigspray coating in the speed of 2.21m/sec showed the lowest value, and that of Archcoat 502B coating in 1.08m/sec and 0.18m/sec indicated the lowest value.
3. The wear mass at the speed of 0.18m/sec and 1.08m/sec in dry condition showed the smallest values.
4. The Archcoat 502B coating is fitted to the dynamic instruments of low speed range and middle speed range, and Rigspray coating is fitted to the dynamic instruments of high speed range.
5. The wear mass of five kinds of coating materials in low speed range was very small, and those of the Archcoat 502B, Archcoat 402B and Rigspray coating in high speed range were quite smaller than those of the Modified Epoxy and Tar Epoxy.

Key Words : Glass fiber reinforced composite materials(유리섬유강화 복합 재료), Friction coefficient(마찰계수), Friction speed(마찰속도), Property of friction and wear(마찰·마모특성)

## 1. 서론

1937년 미국의 철강협회의 조사에 의하면, 1887년에는 철 구조물의 평균수명이 33년이었지만, 50년 후인 1937년에는 약43년으로 연장되었으며 그것은 방청·방식 기술의 진보에 의한 것이라고 얘기되고 있다. 일반적으로 1950년에는 철 구조물의 사용 목표년수가 74년으로 된 것을 보면 오늘날의 철강구조물은 방청·방식에 의해서 반영구적인 사용년수를 갖는 것으로 추정되고 있다. 녹슬어 곤란하다고 얘기되던 鐵도 방청·방식을 하고, 보수를 계속하면 반영구적으로 철제품의 수명을 유지시켜 안전성을 지킬 수 있는 것이다. 방청·방식법은 공업의 발전과 함께 진보해 오고 있지만, 공업만에 그칠 수 없고 모든 산업을 위해서 중요한 것이다.

본 연구는 각종 구조물의 해수냉각설비와 항상 다량의 염분을 포함하는 해풍에 노출된 상태로 해양을 항해하는 선박의 경우, 부식이 심각하게 발생하여 빈번하게 수리하여야 하기 때문에 이들에 대한 가장 효과적이고 경제적인 방식법을 검토하기 위해 기존에 사용되어 왔던 각종 유기라이닝재와 새로이 개발된 최첨단 복합재료를 대상으로 각종 특성치를 비교 검토하여 최적의 방식법을 선택하므로써 부식에 의한 직·간접적인 손실로부터 각종 구조물을 최대한 보호하는 것이 그 목적이다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

### 1) 실험재료

가) ARCHCOAT 502B : 부식성 무기화합물인 산, 알카리, 염제등에 뛰어난 내화학성을 보이며 다만 화학물질의 종류와 농축 정도에 따른 차이는 있다. 내열성은 침전 내열온도가 Max. 85℃, 가스 내열온도가 Max. 140℃이다.

나) ARCHCOAT 402B : 뛰어난 내화학성을 보인다. 화학물질의 종류와 농축정도에 따른 차이는 있으며, 내열성은 침전 내열온도가 Max. 95℃, 가스 내열온도가 Max. 140℃이다.

다) RIGSPRAY : 부식이 심한 해양 환경분야에 집중적으로 사용할 수 있으며 다소 부식성이 덜한 화학물질에도 적용된다. 내열성은 침전 내열온도가 Max. 65℃이다.

라) Modified Epoxy : 특수 변성 에폭시 수지와 변성 아민을 경화제로 한 2액형의 도료로서, 붓, 롤러(Roller), 에어 스프레이(Air Spray)로 작업이 어느 장소에서도 가능하다. 또한, 표면의 어느 부분도 보수가 가능하다는 특징이 있다. 그리고 솔벤트(Solvent) 및 타르(Tar) 성분이 전혀 없어 도장에 대한 작업성 및 검사가 용이하다.

마) Tar Epoxy : 가장 오래된 피복방법의 하나로 후막 도장이 가능하다는 특징이 있다. 도료를 프라이머(Primer) 도막 위에 도장하며, 붓, 롤러, 에어 스프레이로 작업이 어느 장소에서도 가능하다. 해양생물의 부착과 관련되어 손상을 입을 경우 내구성이 약하며, 정기적인 보수 및 비정기적인 보수가 필요하다.

### 2) 실험방법

#### 가) 인장시험

인장시험은 표준 시험방법인 “ASTM D 638-80” 의 ‘Standard Test Method of Tensile Properties of Plastics’ 을 적용하여 인장강도(Tensile Strength)와 연신율(Elongation)을 측정하였다. 시험기는 용량이 5Ton인 Instron사의 ‘Instron 4469’ 모델로 Crosshead Speed가 1 mm/min인 조건으로 시험을 하였다.

#### 나) 마찰·마모시험

본 실험에 사용한 마찰·마모시험기는 Pin on Disc Type 마찰·마모 시험기이다. 인가하중이 Pin에 직접 작용하고, 인가하중 자체만이 Disc에 인가되도록 하기 위해 밸런스(Balance) 바(Bar)를 수평으로 조작하였다. Disc와 Pin의 마찰에 의해 생긴 미끄럼 마찰력이 밸런스 바를 거쳐 Load Measuring Plate로 전달된 후 증폭기(Amplifier)을 통해 증폭되어, 증폭된 힘이 Pen Recorder상에 기록됨으로써 마찰력 및 마찰계수를 측정하였다. 실험 시, 인가하중은 71.43N으로 일정하게 하였고, 속도는 0.18m/sec, 1.08m/sec 그리고 2.21m/sec로 마찰속도를 변화시켜 마찰·마모 시험을 행하였다.

마찰시간은 건식상태에서 각 시편마다 1시간으로 동일하게 마찰·마모시험을 하였다.

다) 미소경도 측정

각 피막 시험편의 경도는 바콜 경도시험기(Barber-Colman Impressor, Colman Co.)를 사용하여 피막 단면부에서 각 피막의 미소경도(micro-Hardness)를 측정하였다.

라) Disc 마모량 측정

Disc의 마모량은 중량측정기(Sartorius 社製 YDK01)를 사용하여 시험전의 디스크 중량과 시험 후의 디스크 중량의 차이를 12회 측정하여 최대값과 최소값을 제외하고, 그 평균값을 마모량으로 하였다. 이때 마모분을 제거하기 위해서 초음파세척기로 세척한 후 중량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

1) 인장시험

Table 1에 인장시험 결과를 나타낸다. Archcoat 402B의 인장강도가 가장 높으며, Tar Epoxy의 인장강도가 가장 낮다. Rigspray는 Archcoat 402B의 인장강도 보다 약14% 정도 낮게 나타나고 있다.

Table 1 Mechanical Properties

Materials Property of mechanics	Archcoat 402B	Archcoat 502B	Rigspray	Modified Epoxy	Tar Epoxy
$\sigma_{uts}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	377	373	323	100	20
$\delta$ (%)	4.9	4.5	4.6	-	-

$\sigma_{uts}$  : Ultimate Tensile Strength ,

$\delta$  : Elongation

2) 내침투성 시험

일반적인 防蝕 시스템(anti-Corrosion System)은 부식성 물질이 보호막을 침투하여 모재까지 도달하는 시간이 짧기 때문에 많은 실패를 거듭해 왔다. 그러나 유리섬유로 보강된 복합유기 피복재는 입자의 미세한 크기와 순도성으로 아주 우수한 내침투성능을 보인다. 즉, 유리입자의 크기가 아주 미세한 3-4  $\mu\text{m}$ 이기 때문에 1mm Lining시 약 150여겹의 유리

입자층이 형성되어 액체 또는 증기의 침투로부터 거의 완벽한 차단효과를 낼 수 있는 것으로 사료된다. 내침투성은 대부분의 방식용 피복재의 수명에 큰 영향을 미치는 요소이므로 Table 2에 각 제품에 대한 내침투성을 비교한 결과를 나타내었다.

Table 2 Results of permeance test

Goods	PERMS	PERMS - INCH
Vinylester resin	0.1195	0.0154
Glass fiber reinforced composites	0.0160	0.0007
Chopped strand laminated composites	0.0909	0.0079
Epoxy-based coating	7.3400	0.0147

### 3) 耐언더컷팅성 시험

일반적인 防蝕 시스템(anti-Corrosion System)은 아주 단단하지만 기계적인 마모가 심한 장소에는 항상 손상의 우려가 있다. 그러나 제품의 우수한 耐언더컷팅(Undercutting)성은 손상 부위를 국한시키는 특성이 있다. 다른 代替 시스템(System)들 즉, 얇은 도막의 코팅(Coating) 또는 고무 라이닝(Rubber Lining) 그리고 시트 라이닝(Sheet Lining)들은 심한 부식성 환경에 견디지 못하고 넓은 부위로 확산되어 탈착되기도 한다. 일반적으로 이러한 점들이 보다 비효율적인 경비지출과 가동 休止기간의 연장을 초래하게 되는 것이다. 유리 입자는 라이닝(Lining)을 보강하고 접착력을 강화시킨다. 鐵표면에 라이닝(Lining)된 시험편을 톱으로 잘라 10,000시간 이상의 염수 분무시험을 실시한 결과, 탈착현상이 없음을 확인할 수 있었다.

### 4) 마찰 · 마모 시험

#### 가) 피막의 경도 특성

Fig. 1은 각 피막의 표면에 대한 미소경도를 측정된 결과를 나타낸 그래프이다. 이 결과에 의하면 Archcoat 502B 피막의 경도가 가장 높고, Archcoat 402B, Rig Spray, Modified Epoxy 그리고 Tar Epoxy 피막 順으로 경도가 낮아짐을 알 수 있다. 여기서 Archcoat

502B, Archcoat 402B, Rig Spray 피막 표면의 경도값이 40을 넘어 매우 경한 표면층임을 알 수 있고 Modified Epoxy, Tar Epoxy 피막 표면의 경도값이 5이하로 아주 연성이 풍부한 표면층임을 알 수 있다.

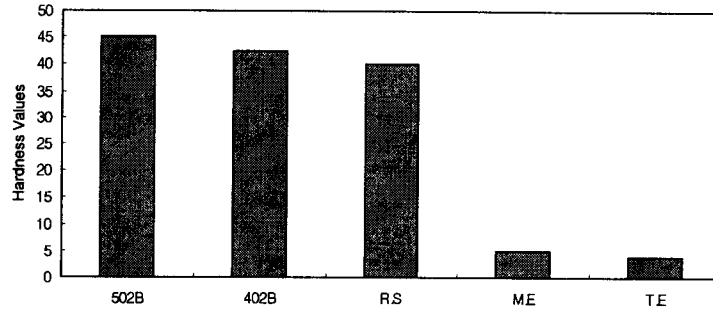


Fig. 1 Results of hardness test

나) 마찰거리에 따른 각 피막의 마찰계수의 특성 변화

Fig. 2~6은 각 표면에 대한 건식조건 下에서, 인가하중 71.43N으로 마찰속도를 0.18m/sec, 1.08m/sec 그리고 2.21m/sec로 변화시켰을 때의 마찰거리에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 결과이다. 이 결과에 의하면 각 피막 시험편에서 마찰초기에는 마찰계수가 심하게 변화하나 마찰거리가 늘어남에 따라 마찰계수가 안정화 되어 가는 것을 알 수 있다.

硬한 표면인 Rigspray는 고속인 2.21m/sec에서 가장 낮은 마찰계수값을 나타내고, Archcoat 502B는 1.08m/sec와 0.18m/sec에서 가장 낮은 마찰계수값을 보이며, Archcoat 402B는 고속인 2.21m/sec의 마찰속도에서 낮은 마찰계수값을 지시함을 알 수 있다. 그리고 Tar Epoxy, Modified Epoxy는 2.21m/sec, 1.08m/sec 그리고 0.18m/sec에서 거의 비슷한 마찰계수값을 나타낸다.

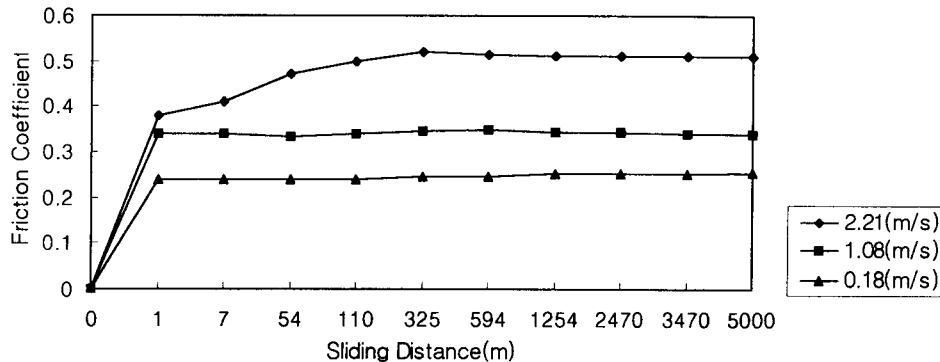


Fig. 2 Effect of friction speed on friction coefficient - Archcoat 502B

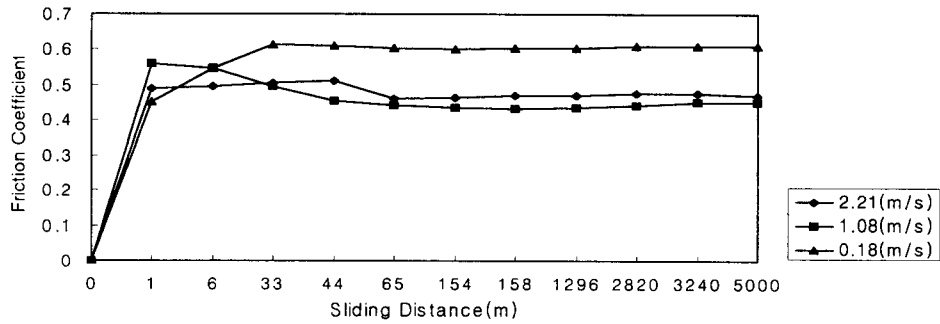


Fig. 3 Effect of friction speed on friction coefficient - Archcoat 402B

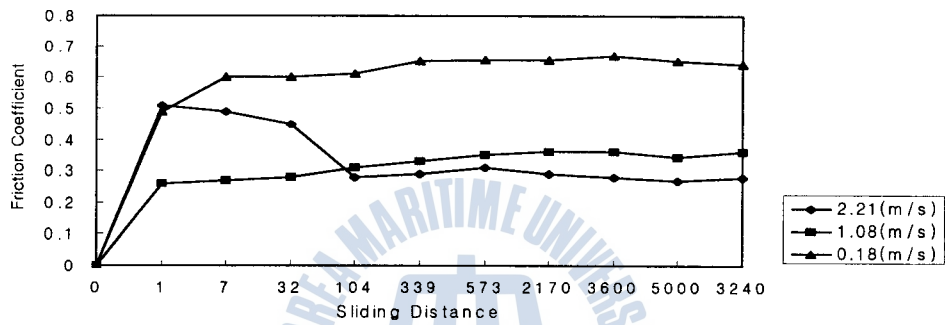


Fig. 4 Effect of friction speed on friction coefficient - Rigspray

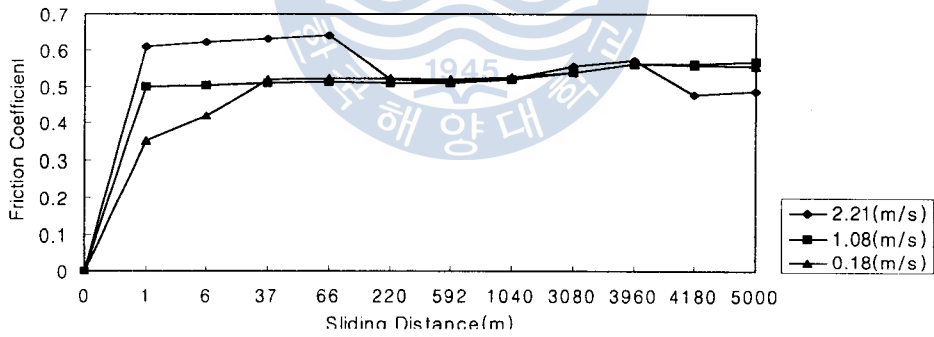


Fig. 5 Effect of friction speed on friction coefficient - Modified Epoxy

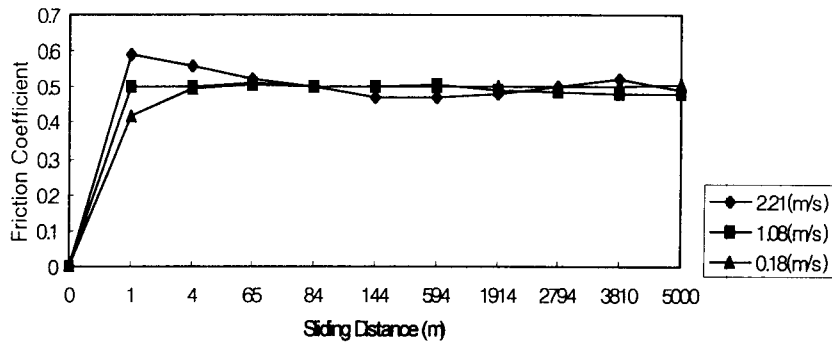


Fig. 6 Effect of friction speed on friction coefficient - Tar Epoxy

Fig. 7~9는 각 피막의 표면에 대한 건식 조건 하에서 인가하중 71.43N으로 실제 상황을 고려한 3가지의 마찰속도 2.21m/sec, 1.08m/sec 그리고 0.18m/sec에 대한 시편의 마찰계수 변화를 나타낸 것이다. 고속인 2.21m/sec에서 Rigspray 와 Archcoat 402B가 가장 낮은 마찰계수 값을 나타낸다.

Modified Epoxy는 2.21m/sec의 속도, 마찰거리 4,000m에서 탈락마모가 발생하여 마찰면적이 감소되었기 때문에 마찰계수가 급격히 떨어짐을 알 수 있었다.

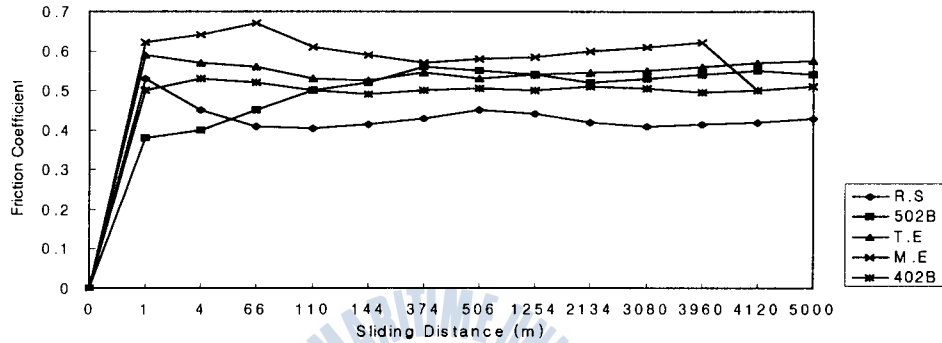


Fig. 7 Relationship between friction coefficient and sliding distance at 2.21m/sec

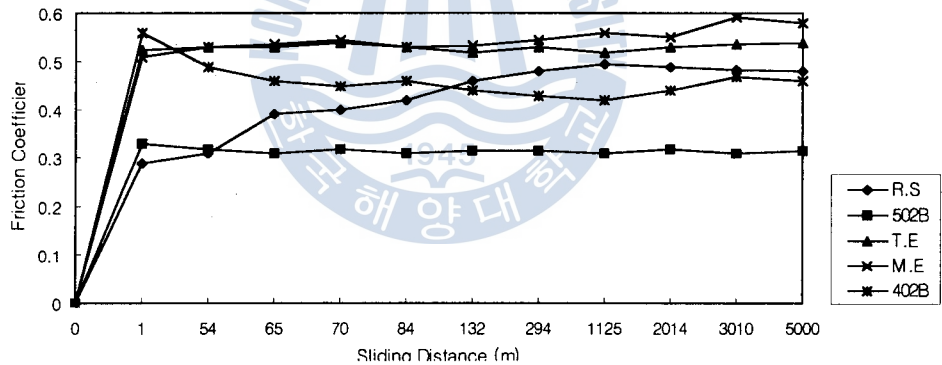


Fig. 8 Relationship between friction coefficient and sliding distance at 1.08m/sec

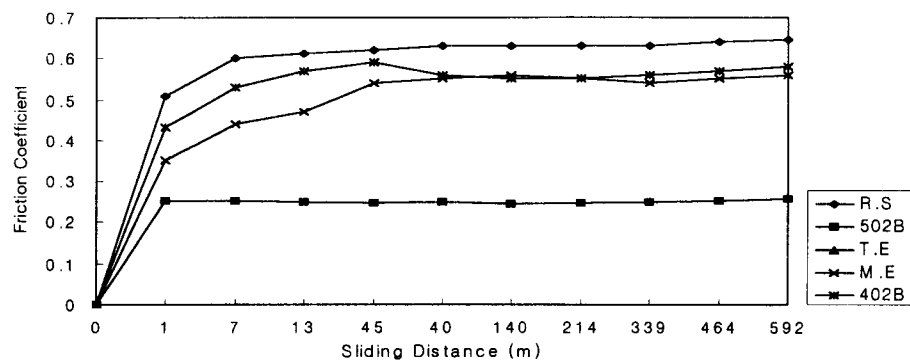


Fig. 9 Relationship between friction coefficient and sliding distance at 0.18m/sec



다) 마찰속도에 따른 피막의 마모량 비교

Fig. 10은 본 실험에 사용된 각 피막을 건식 조건하에서 인가하중 71.43N으로 마찰속도가 2.21m/sec, 1.08m/sec 그리고 0.18m/sec일 때의 마모량을 비교한 결과이다.

硬한 피막이 軟한 피막보다 마모량이 적은 데, 이 결과에 의하면 2.21m/sec에서는 Archcoat 502B, Archcoat 402B 그리고 Rigspray 順으로 마모량이 적음을 알 수 있다. 마찰속도가 1.08m/sec에서도 경한 피막일수록 마모량이 적은 데, Archcoat 502B, Archcoat 402B, Rigspray, Modified Epoxy 그리고 Tar Epoxy 順으로 마모량이 적음을 알 수 있다. 모든 재료는 마찰속도가 2.21m/sec, 1.08m/sec 그리고 0.18m/sec로 줄어들수록 마모량이 감소한다.

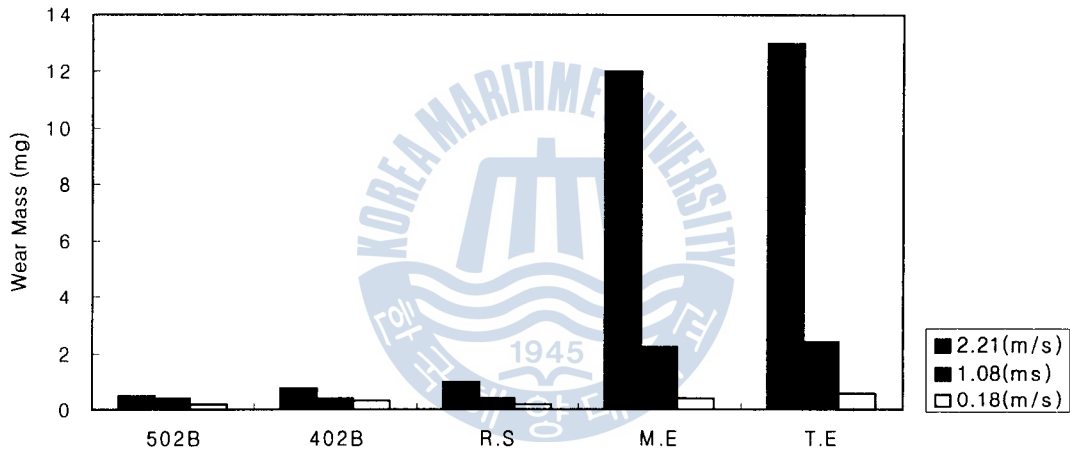


Fig. 10 Effect of friction speed on wear mass

4. 결 론

1. 각 피막들의 경도값을 측정한 결과 Archcoat 502B의 경도값이 가장 높았으며, Archcoat 402B, Rigspray, Modified Epoxy 그리고 Tar Epoxy의 順으로 경도값이 낮아졌다.
2. 건식상태에서 마찰시간에 따른 각 피막의 마찰계수값을 비교한 결과 2.21m/sec에서 Rigspray의 마찰계수값이 가장 낮고, 1.08m/sec 및 0.18m/sec에서는 Archcoat 502B의 마찰계수값이 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.
3. 건식상태에서 마찰속도에 따른 각 피막의 마모량은 0.18m/sec와 1.08m/sec의 마찰속도에서 모두 피막의 마모량이 가장 적고, 2.21m/sec의 마찰속도에서는 피막의 마모량이 가장 많았다. 피복재의 경도와 마모량은 비례관계를 가지고 있다.

4. 경도값, 마모량 그리고 마찰계수값을 모두 비교해 보았을 경우 Archcoat 502B, Archcoat 402B 그리고 Rigspray 피막이 매우 양호한 특성을 나타냄을 알 수 있다.
5. 고속인 2.21m/sec에서 마모량과 마찰계수를 비교한 결과 Rigspray가 내마찰특성이 가장 우수하며, 중속과 저속인 1.08m/sec와 0.18m/sec에서는 Archcoat 502B의 내마찰 특성이 가장 뛰어나다. 따라서, Archcoat 502B의 경우에는 저속영역과 중속영역에 사용하기 적합하며, Rigspray의 경우는 고속영역에 적합한 피복재임을 알 수 있다.
6. 저속인 0.18m/sec에서는 5가지 재료의 마모량이 비슷하지만, 고속에서는 Archcoat 502B, Archcoat 402B 그리고 Rigspray의 마모량이 훨씬 적어진다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T.C.Willis, J. White, R. M. Jordan, and L. R. Hughes : 3rd Int. Conf. on Solidification.
- [2] T. C. Willis : Metals and Material, 4th , 1988, pp.485.
- [3] Stafford, Datta and Googan : Coating and Surface Treatment for Corrosion and Wear Resistance, pp.14~27.
- [4] 相坂 隆行, 坂元 鐵兵 : 耐磨耗性の向上と溶射, 溶射技術, 6月號, 1993.
- [5] 天田重庚 : 溶射皮膜のトライボロジー, トライボロジスト 第40卷8號, 1995.
- [6] Klaus Friedrich : Friction and Wear of Polymer Composites, 1986, pp.1~22.
- [7] 木村 好次, 岡部平八郎, トライボロジー概論, 養賢堂, 1994, pp.175~214.
- [8] 松原 清, トライボロジー, 産業圖書, 1993, pp.1~10.
- [9] 全大熙, 實用防蝕工學, 太化出版社, 1990, pp.8~9.
- [10] 방식코팅방법, 냉동공조기술, Vol 12-5, 1995, pp.57~68.
- [11] Clayton A. May, Epoxy Resins, Chemistry and Technology, Marcel Dekker Inc., 1998, pp.885~926.
- [12] 日本플라스틱 技術協會, 플라스틱 技術, 大阪市工業研究所, 1996, pp.86~92.
- [13] 플라스틱 材料講座[1], 에폭시 樹脂, 大光書林, 1994, pp.13~31.