

## 해양환경 중에서 Glass Flake 라이닝 강재의 부식방지에 관한 연구†

임 우 조 · 김 성 훈

(부경대학교)

### 1. 서 론

최근 공업의 급격한 발전에 따라 철강재로 제작되는 기계장치와 각종 설비들은 고속, 고출력, 경량화 되어가고 있으며, 이들 기계장치와 각종 설비들이 사용되고 있는 환경은 산업발전 및 소득 증가에 따른 석유, 가스 등의 화석에너지 소비량의 증가와 더불어 발생하는 각종 대기오염물질인  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $H_2S$ ,  $CO$ ,  $NO$  및  $NO_2$ 에 의해 다양화 및 가혹화 되고 있다. 특히, 해양환경 중에서 사용되는 항만시설과 해양구조물 등을 비롯하여 철강재로 제작되는 각종 구조물, 공업용수배관, 발전설비, 열교환기, 선박 등의 기계장치나 각종설비는 해염인자에 의해 부식이 발생되고 있다.<sup>1~2)</sup>

또한 기계부재의 사용 환경이 다양해지고 오염되면서 침식은 부식성 환경조건에서 많이 발생하고 있다. 특히, 강전해질의 해양환경 중에서 기계적인 충격 침식과 더불어 전기화학적 부식이 중첩하여 일어나는 경우에는 침식과 부식이 상호간에 가속하는 상승효과 때문에 기계장치의 수명에 치명적인 영향을 미친다.<sup>3~6)</sup>

특히, 해양환경 중에서 사용되는 펌프의 임펠러, 항만시설과 해양구조물, 공업용수배관, 발전설비, 열교환기, 선박의 프로펠러 등의 기계장치나 각종 설비는 해염인자에 의해 부식이 발생되고 있다.<sup>7)</sup> 또한 우리나라의 공업지역은 대부분 해안부근에 건설됨으로서 공업단지의 공해물질과 해안의 해염인자인 Cl<sup>-</sup>의 영향으로 부식이 가속화되며 상승적인 부식손상을 받는다.<sup>8)</sup>

해양환경 중에서 철강재의 부식방지용으로 에폭시 도료를 많이 이용하고 있다. 그러나 해양·항만 시설들은 발전소의 취수로와 같은 정적 설비 뿐만 아니라 각종 순환수 펌프, 복수기 등의 동적 설비와 용수배관도 있다. 이들 설비들은 해수의 와류현상에 의한 빠른 유속으로 인한 충격 침식 손상이나 캐비테이션 침식 손상, 어패류의 부착과 각종 침전물에 의한 Deposit Attack 등의 손상이 있으므로, 에폭시 도료만으로는 이러한 침식과

† 이 논문은 2000년도 (주)경한산업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

부식 손상을 방지 할 수 없다. 이러한 상태에서 모든 해양구조물, 항만과 해양설비 등은 내구성, 시공성 및 경제성이 우수한 방식대책이 요구되고 있으므로 신소재 복합 라이닝 재의 개발이 절실히 요구되고 있다.<sup>9)</sup>

따라서 본 연구에서는 해양환경 중에서 신소재 복합 라이닝재인 Glass Flake 라이닝에 의한 연강재의 침식과 부식 방지에 관한 연구를 하기 위하여, Polyester Glass Flake 라이닝 강재 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재와 에폭시 도막에 대해 천연해수 중에서 Potentiometer /Galvanostat 시험장치로 분극시험 그리고, 충격-캐비테이션 침식 시험장치에 의해 침식-부식 시험을 실시하여, 라이닝 강재와 에폭시 피복강재의 부식거동, 분극거동, 침식-부식거동을 고찰함으로써 해양환경 중에서 기계장치나 각종 해양설비의 부식손상에 대한 설계, 제작 및 보수 유지의 기초자료로 활용하는데 기여하고자 한다.

## II. 실험방법

### 1. 시험편

본 실험에 사용된 시험재료는 두께 6.0 mm인 연강재인 SS 400이며 이 시험재료의 화학적 성분과 기계적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1과 같은 화학적 성분 및 기계적 특성을 가진 일반구조용 압연강재인 SS400 시험재료로부터 절취하여 제작·가공하였으며, 이 시험편의 전표면을 사포 #400~1200 번까지 연마한 후, 아세톤으로 탈지하여 건조시킨 충격-캐비테이션 침식 부식 시험편의 형상은 Fig. 1과 같다. 주 라이닝재료인 Polyester Glass Flake와 Vinylester Glass Flake로 라이닝하고, 에폭시 피복하였으며, 라이닝과 피복의 두께는 0.5 mm 하였다. 또한 전기화학적 부식 시험을 위하여 직경 2 mm의 피복동선을 삽입하여 고정 하였다.

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of used material (SS 400)

Chemical composition (wt %)	C	Si	Mn	P	Ni	Cr
	0.18	0.34	0.9	0.024	0.04	0.02
Mechanical properties	Tensile strength (MPa)		Yield strength (MPa)		Elongation (%)	
	465.5		318.5		30	

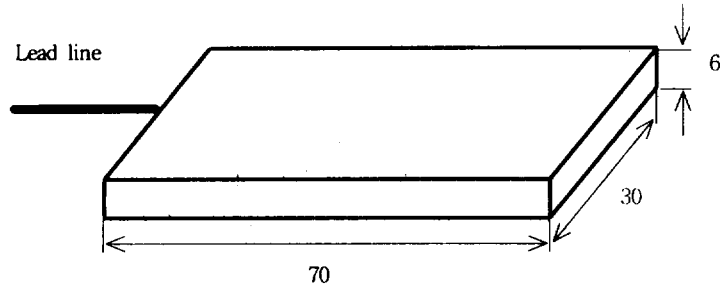


Fig. 1. Dimension of test specimen (unit:mm).

## 2. 전기화학적 분극시험

본 실험에 사용된 전기 화학적 분극시험은 다른 부식 평가법보다 실험시간이 짧게 되고, 비파괴적으로 실시할 수 있기 때문에 부식 평가법으로 많이 이용되고 있는 Potentiostat /Galvanostat 시험장치를 이용하여, 분극시험을 실시하였다. 여기서 기준전극은 포화칼로멜전극(saturated calomel electrode, SCE), 보조전극(counter electrode)으로는 백금을 사용하였다.

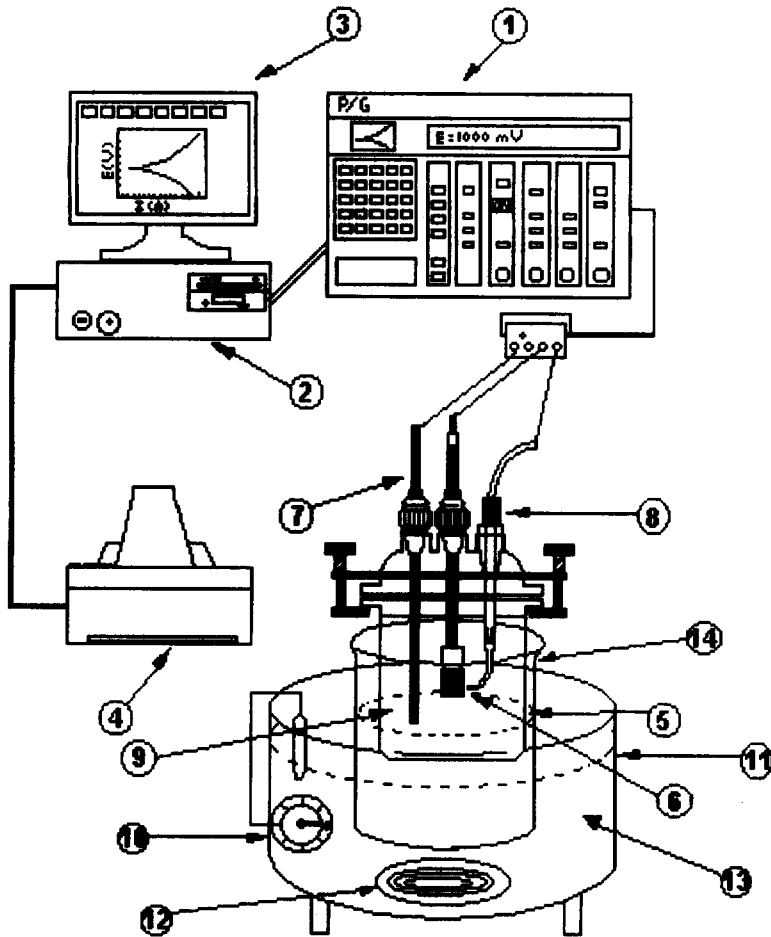
Table 2. Experimental condition of the polarization test

Instrument	EG & G Model 273A
Electrolyte	sea water
Material	SS 400, Epoxy coated steel Polyester Glass coated steel Vinylester Glass coated steel
Area of specimen	30 cm <sup>2</sup>
Temperature	25±1 ℃
Polarization test	Linear Polarization Test Tafel Polarization Test Cyclic Polarization Test Potentiodynamic Polarization Test

전기화학적 분극시험은 Fig. 1의 시험편에서 모재, 라이닝 강재 및 피복강재의 표면을 유효노출면적 30 cm<sup>2</sup> 만을 남기고 절연테이프로 절연하여, Fig. 2의 분극시험장치의 회로도와 같이 배선하였다. 분극시험은 시험편을 부식환경조에 침지한 후, 부식전위에서 10분간 안정시키고 난 후 실시하였다. 분극시험은 부식환경조내의 천연해수 중에서 Fig. 2의 분극시험장치에서 시험편, 기준전극 및 보조전극의 부식반응을 EG & G사의 Model 273A Potentiostat/Galvanostat → personal computer(M 352/252

corrosion software 장착)→ Monitor 등을 거쳐서 Printer에서 분극곡선, 부식반응선도 및 부식 Data가 기록되도록 하였다.

이와같은 전기화학적 분극실험은 Linear 분극실험, Tafel 분극실험, Cyclic 분극실험, Potentiodynamic 분극실험을 실시하였다. 여기서 Table 2는 분극시험의 조건을 나타낸 것이다.



- |                            |                       |                |
|----------------------------|-----------------------|----------------|
| ① Potentiostat/Galvanostat | ② Personal computer   | ③ Monitor      |
| ④ Printer                  | ⑤ Corrosion cell      | ⑥ Specimen     |
| ⑦ Counter electrode        | ⑧ Reference electrode | ⑨ Electrolyte  |
| ⑩ Temperature controller   | ⑪ Heater body         | ⑫ Heating coil |
| ⑬ Oil bath                 | ⑭ Heating beaker      |                |

Fig. 2. Schematic diagram of potentiodynamic polarization equipment.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 자연전위하에서 라이닝 및 피복강재의 분극거동

Fig. 3은 천연해수 중에서 에폭시 피복강재, Polyester Glass Flake 라이닝 강재 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전류밀도 변화를 시간경과에 따라 나타낸 것이다.

에폭시 피복강재의 부식전류밀도는 Polyester Glass Flake 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전류밀도보다 더 많이 배류된다. 그리고 Polyester Glass Flake와 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전류밀도는 서로 교차하면서 거의 같게 배류되고 있지만, 이들 부식전류밀도는 부식공학 측면에서 무시할 수 있을 정도로 작게 배류되고 있다.

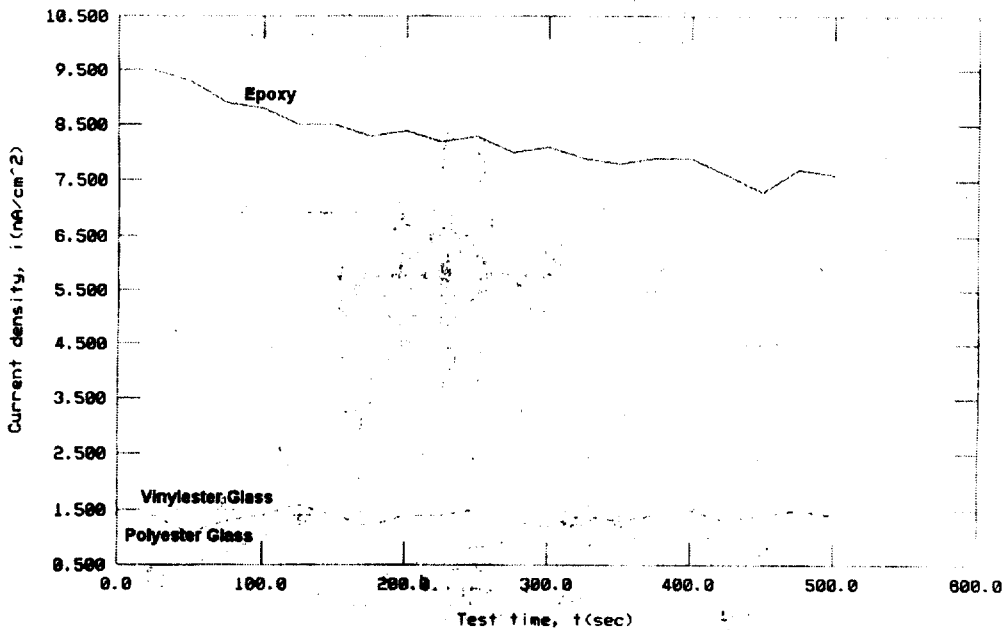


Fig. 3. Current density of polyester glass flake lining, vinylester glass flake lining and epoxy coating for SS 400 under natural potential in sea water.

Fig. 4는 천연해수 중에서 에폭시 피복강재, Polyester Glass Flake 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 Potentiodynamic 분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다

에폭시 피복강재에서는 양극전위가 높아질수록 전류지만 Potentiodynamic 분극곡선을 어느 정도 나타내고 있다. 그러나 Polyester Glass Flake 및 Vinylester Glass

Flake 라이닝 강재에서는 양극전위가 상승하여도 양극분극곡선이 형태가 나타나고 있지 않다. 이와 같이 Polyester Glass Flake 라이닝 강재 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 Potentiodynamic 분극곡선이 나타나지 아니하는 이유는 Fig. 3에서 고찰된 바와 같이 전류밀도가 1.5 nA/cm<sup>2</sup>이하의 단위로서 무시할 수 있을 정도로 작기 때문인 것으로 사료된다.

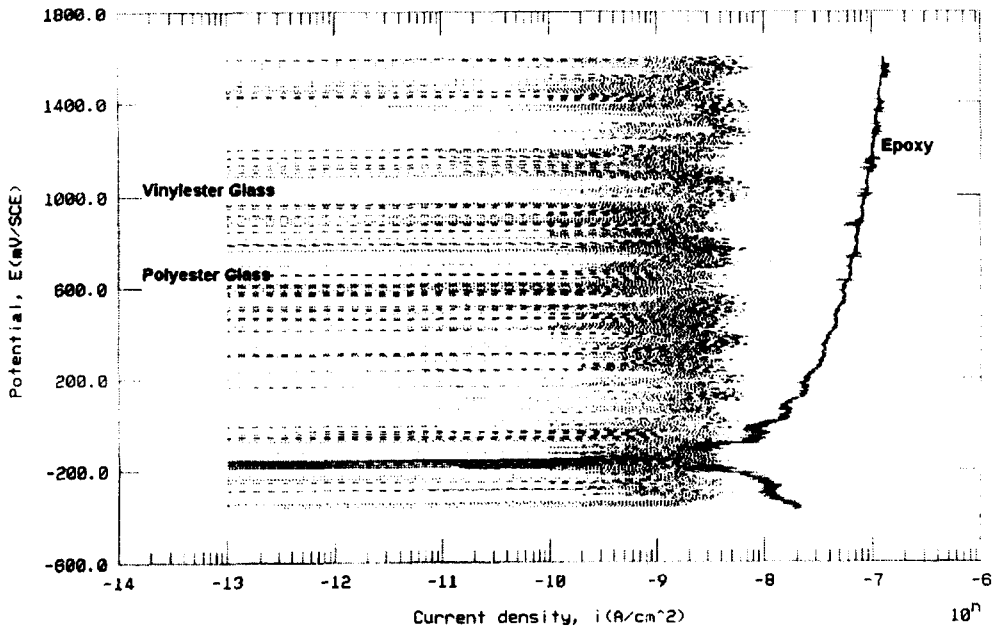


Fig. 4. Potentiodynamic polarization curves of polyester glass flake lining, vinylester glass flake lining and epoxy coating for SS 400 in sea water.

## 2. 침식-부식 실험후의 피복 및 라이닝 강재의 전기화학적 분극거동

Fig. 5는 120 시간 동안 충격-캐비테이션 침식 부식 실험후 Polyester Glass Flake 라이닝 강재 및 에폭시 피복강재에 대한 자연전위하에서의 시간에 따른 부식전류 밀도 변화를 나타낸 것이다.

Polyester Glass Flake 라이닝 강재와 에폭시 피복강재는 처음 100초 동안에 전류 밀도가 급격히 증가하다가 안정되는 경향을 나타내고 있다. Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도는 에폭시 피복강재의 전류밀도 보다 더 억제되고 있다.

Fig. 6은 천연해수 중에서 120 시간 동안 충격-캐비테이션 침식 부식 실험후의 Polyester Glass Flake 라이닝 강재와 에폭시 피복강재에 대한 Linear 분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

초기전위에서 최종전위까지 인가한 전위범위에서 에폭시 피복강재의 전류밀도는 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도보다 더 증가하고 있다.

해양환경 중에서 Glass Flake 라이닝 강재의 부식방지에 관한 연구

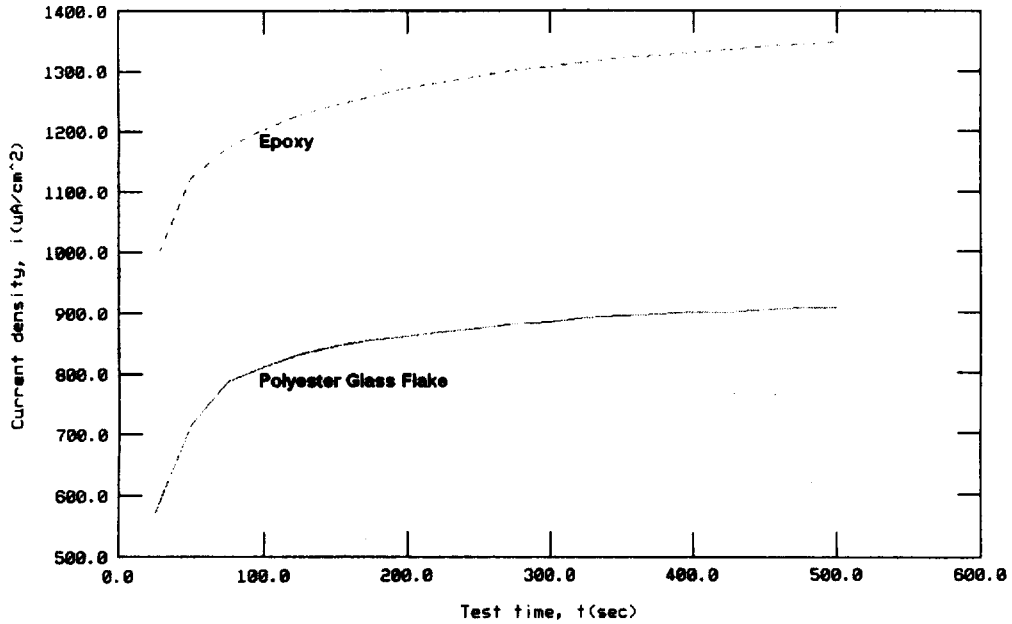


Fig. 5. Current density vs. test time polyester glass flake lining and epoxy coating after impingement-cavitation erosion test in sea water.

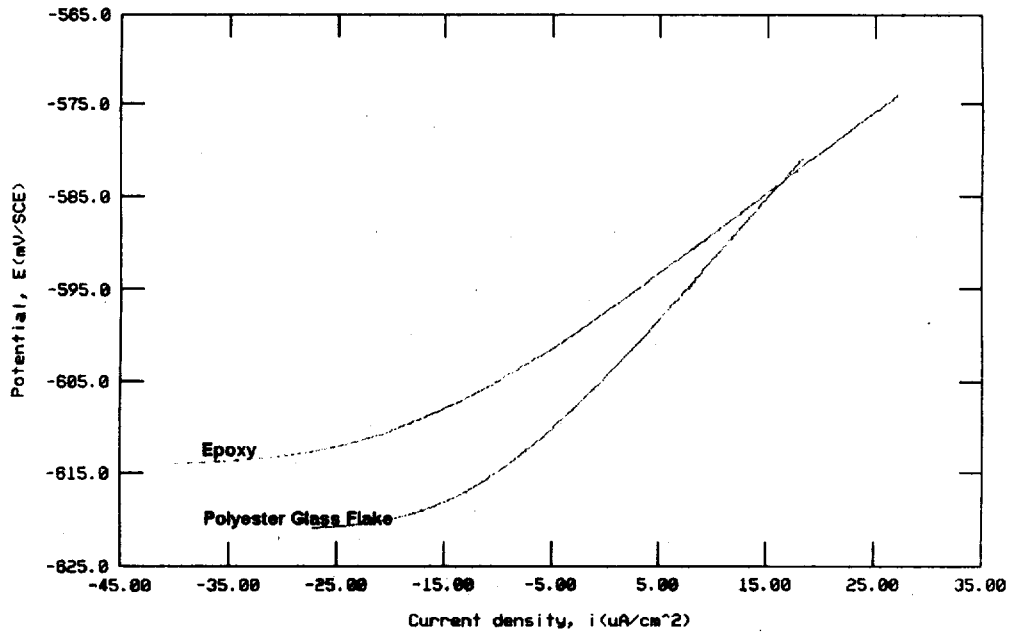


Fig. 6. Linear polarization curves of polyester glass flake lining and epoxy coating after impingement-cavitation erosion test in sea water.

Fig. 7은 천연해수 중에서 120 시간 동안 충격-캐비테이션 침식 부식 실험후의 모재(SS 400), 에폭시 도막 및 Polyester Glass Flake 도막의 Tafel 분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

Polyester Glass Flake 라이닝 강재 및 에폭시 피복강재의 부식전위는 모재의 부식전위보다 더 비전위화되는 경향을 나타내고 있으며, 모재인 SS 400의 전류밀도가 에폭시 피복강재나 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도보다 많이 배류되고 있고, 특히 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도가 가장 억제되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 여러 겹의 유리 입자층이 형성되기 때문에 부식과 침식 방지 효과가 뛰어난 것으로 판단된다.

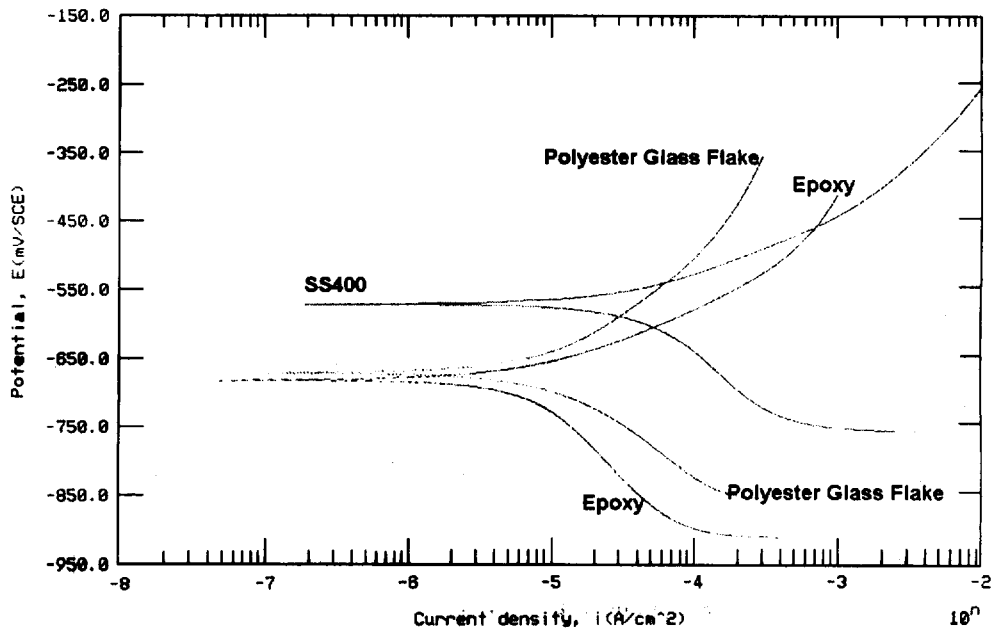


Fig. 7. Tafel polarization curves of SS 400, epoxy coating and polyester glass flake lining after impingement-cavitation erosion test in sea water.

### 3. 침식-부식 실험후의 라이닝 강재의 전기화학적 분극거동

Fig. 8은 120 시간 동안 충격-캐비테이션 침식 부식 실험후 Polyester Glass Flake 라이닝 강재 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재에 대한 자연전위하에서의 시간에 따른 부식전류밀도를 나타낸 것이다.

Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도는 초기에는 증가하다가 시간이 경과하면서 안정되는 경향을 나타내고 있다. 또한 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도는 초기시간에서 최종시간까지 안정적인 경향을 나타내고 있다. 3회 코팅을 실시한 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도가 같은 방식으로 2회 코팅



을 실시한 Polyester Glass Flake 라이닝 강재 보다 전류밀도가 억제되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 3회 코팅을 실시한 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재가 2회 코팅을 실시한 Polyester Glass Flake 라이닝 강재보다 미세 pin hole의 형성이 감소되기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 9는 천연해수 중에서 120 시간 동안 충격-캐비테이션 침식 부식 실험후의 Polyester Glass Flake 라이닝 강재와 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재에 대한 Linear 분극곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

초기전위에서 최종전위까지 인가한 전위범위에서 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재에서 배류되는 전류밀도는 거의 무시할 정도로 적기 때문에 초기전위에서부터 최종전위까지 인가한 전위범위에서 거의 직선적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 Polyester Glass Flake 라이닝 강재는 초기전위로부터 전위가 상승하면서 전류밀도는 증가하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 10에 천연해수 중에서 Polyester Glass Flake 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 충격-캐비테이션 침식 부식 실험을 실시한 후 Tafel 분극곡선을 나타내었다.

Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전위는 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전위보다 더 귀전위화되는 경향을 나타내고 있으며, 개로전위하에서 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전류밀도는 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 부식전류밀도 보다 더 억제되고 있음을 알 수 있다.

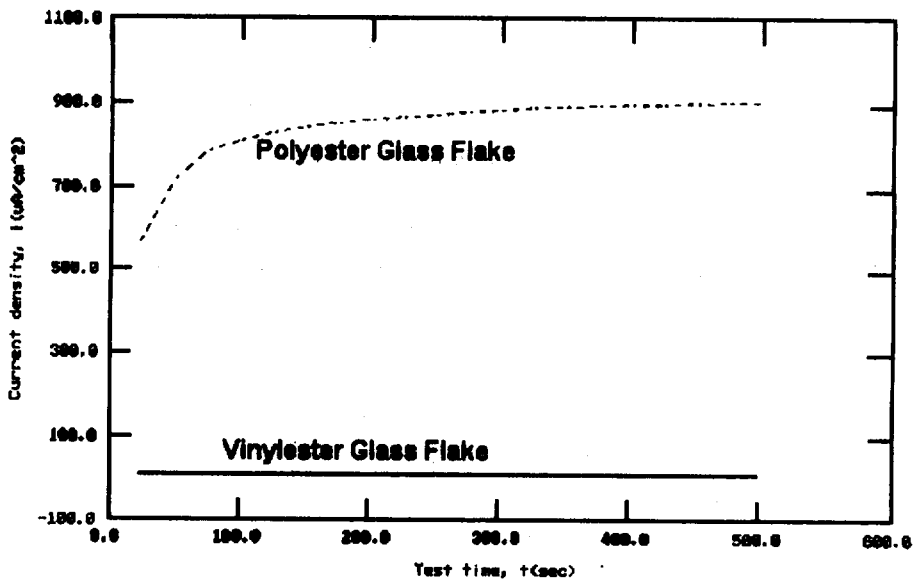


Fig. 8. Current density vs. test time polyester glass flake lining and vinylester glass flake lining after impingement-cavitation erosion test in sea water.

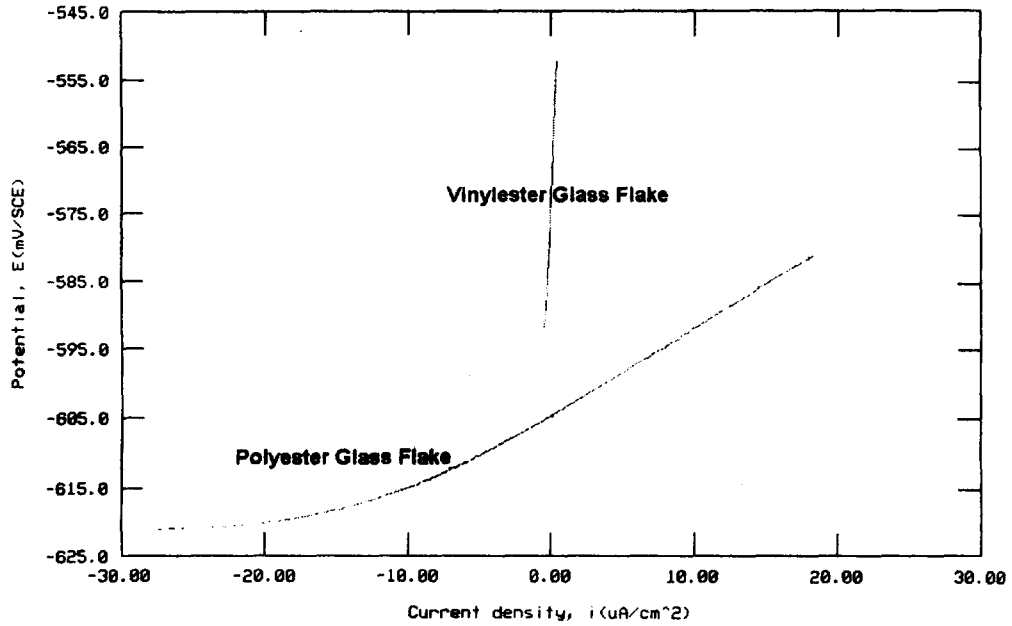


Fig. 9. Linear polarization curves of polyester glass flake coating and vinylester glass flake coating after impingement-cavitation erosion test in sea water.

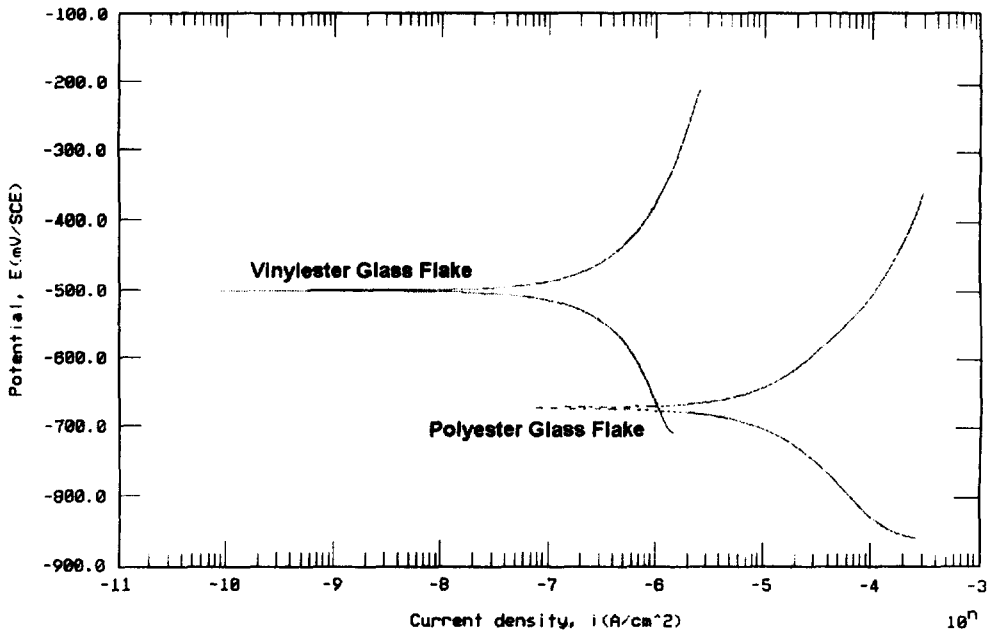


Fig. 10. Tafel polarization curves of polyester glass flake lining and vinylester glass flake lining in sea water.

#### IV. 결 론

해양환경 중에서 Polyester Glass Flake 및 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재와 에폭시 피복강재의 부식 방지에 대해서 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 에폭시 피복강재는 Potentiodynamic 분극거동이 어느 정도 나타나지만, Polyester Glass Flake 피복강재 및 Vinylester Glass Flake 피복강재는 Potentiodynamic 분극거동이 나타나지 않았다.
- 2) 천연해수 중에서 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 개로전위는 에폭시 피복강재의 개로전위 보다 더 귀전위화되고, Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도가 에폭시 피복강재의 전류밀도보다 적게 배류되었다.
- 3) 천연해수 중에서 Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 개로전위는 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 개로전위보다 더 귀전위화되고, Vinylester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도는 Polyester Glass Flake 라이닝 강재의 전류밀도 보다 적게 배류되었다.

#### V. 참고문헌

1. 임우조, 이진열, 양학회, 인현만 : 부식과 방식, 원창출판사, 1994, pp. 1~4.
2. 本島 茂 : 防蝕工學, 日本日刊工業新聞社, 1987, p. 196.
3. 황재호, 임우조 : 진동 캐비테이션 침식-부식 손상에 미치는 유속의 영향, 한국부식학회지, 1996, Vol. 25, No. 3, pp. 317~326.
4. Kenneth R. Tretheway and John Chamberlain, Corrosion, Longman Scientific & Technical, 1998, p. 153.
5. 松材倉信, 岡 良則, 腐蝕 に及ぼすエロシヨソの 影響, 日本防蝕技術, 1982, 31卷, p. 67.
6. Denny A. Jones, Principle and Prevention of corrosion, Macmillan publishing company, 1991, p. 342.
7. Herbt H. Uligh and r. Winston Revie, "Corrosion and Corrosion Control", John Willey & Sons, 1985, p. 217.
8. 大谷南海男 : 金屬表面工學 日本日刊工業新聞社, 1993, pp. 249 ~ 250.
9. 山本隆, 小田光之, 森田超夫, 石原幕孝, 肥後清彰 : 海洋構造物に適用さらに重防蝕塗膜の壽命豫測法, 日本防蝕技術, 1986, Vol. 35, No. 1, pp. 3~5.

## A Study on the Corrosion Control of Glass Flake Lining for Mild Steel in Marine Environment

Uh-Joh LIM · Seong-Hoon KIM

(Pukyong National University)

### Abstract

Port facilities and marine structures used in marine environment were encountered to corrosion damages because of the influence of Cl<sup>-</sup>. Generally, to protect these accidents, anti-corrosion paint and epoxy coating have been used. But they were still remained erosion-corrosion damage like impingement erosion, cavitation erosion and deposit attack. It is necessary to develop the new composite lining material in order to protective those corrosion damages.

In this paper, polyester glass flake, vinylester glass flake lining and epoxy coating for SS400 were investigated by the electrochemical polarization test and the impingement-cavitation erosion test for corrosion behaviour under the sea water.

The main results obtained are as follows ;

- 1) Epoxy coating appear potentiodynamic polarization behaviour, but polyester glass flake and vinylester glass flake lining do not appear potentiodynamic polarization behaviour.
- 2) Open circuit potential of polyester glass flake lining is more noble than that of epoxy coating and corrosion current density of polyester glass flake lining is less drained than that of epoxy coating in sea water.
- 3) Open circuit potential of vinylester glass flake lining is more noble than that of polyester glass flake lining and corrosion current density of vinylester glass flake lining is less drained than that of polyester glass flake lining in the sea water.