

## 수중 경화형도료의 부식특성에 관한 전기화학적 고찰

문경만\* · 오민석\* · 이명훈\*\* · 이성렬\* · 김윤해\*

\*한국해양대학교 조선기자재공학부

\*\*한국해양대학교 기관시스템공학부

## Evaluation of Corrosion Characteristics of Underwater Hardening Paint

Kyung-Man Moon\*, Min-Seok Oh\*, Myung-Hoon Lee\*\*, Syung-Yul Lee\* and Yun-Hae Kim\*

\*Dept. of Marine Equipment Engineering, Korea Maritime Univ., Busan, Korea

\*\*Dept. of Marine System Engineering, Korea Maritime Univ., Busan, Korea

**KEY WORDS:** Corrosion resistance 내식성, Underwater hardening paints 수중경화형도료, Electrochemical methods 전기화학적방법, Resin series 수지계열, Diffusion limiting current density 확산한계전류밀도

**ABSTRACT:** Many protection methods such as surface coating, electric protection, or other methods have been applied to the numerous steel structures widely used in continental and marine areas to control their corrosion, which is done from an economic point of view. Most of these steel structures are primarily protected by coating methods. However, some steel piles under seawater are protected by the electric protection method, that is, either using an impressed current or a sacrificial anode method. Furthermore, environmental contamination may cause a severely corrosive environment, which, in turn, causes the accelerated corrosion of steel structures. Subsequently, coated steel structures could deteriorate more rapidly than the designed lifetime because of the acid rain caused by air pollution, etc. Therefore, a coating of marine paint exposed to seawater, that is, underwater hardening painting, is increasingly required to be fast drying as well as highly corrosion resistant. In this study, five types of underwater hardening paints were prepared with different resin series and additives. Their corrosion and water resistances were investigated using electrochemical methods such as corrosion potential, polarization curves, impedance and cyclic voltammogram measurements, etc. Even though it is generally accepted that the corrosion resistance of bare steel tends to increase with a shift of the corrosion potential in the noble direction, the corrosion resistance of a sample with a coating exhibited a relatively better tendency when it had a lower corrosion potential in this study. The corrosion current density was also decreased with a decrease in the diffusion limiting current density, which may mean that there is some relationship between corrosion and water resistance. The S sample of the ceramic resin series showed the relatively best corrosion and water resistance among those of samples, while the worst corrosion and water resistance were observed for the R sample of the epoxy resin series. The corrosion and water resistance of those samples tended to deteriorate with an increase in the immersion days, and their corrosion and water resistances were considered to be apparently improved by the types of resin and additives.

### 1. 서 론

최근 산업사회의 급격한 발전은 환경오염의 증대를 가속화시키고 이로 인해서 육. 해상의 강구조물 등은 가혹한 부식 환경에 노출되어 있다고 해도 과언이 아니다. 다시 말해서 대기오염의 증대는 산성비의 원인이 되고 산업폐기물의 해양유입은 해양오염을 증대시키며 또한 이들 물질 등은 육. 해상의 구조물 등의 부식을 더욱 촉진시키는 촉매 역할을 하게 된다. 따라서 전술한 강구조물 등은 장기간의 내구 수명을 위해 적절한 방법으로 방지하지 않으면 안된다. 예를 들면 육·해상의 강교, 부두크레인 등의 구조물 등은 도장에 의해서 방지되고 있으며 부두의 수중 강파일 등은 전기방식법으로 방지되고 있다(Compton, 1961; Talati et al., 1984; Gartland et al., 1984; Jones and Nair,

1985; Newman, 1991; Cicognami, 1990; Hiramatsi et al., 1996; OCIDI of Japan, 1998). 그리고 일본의 한 보고서에 의하면 각종 강구조물의 방식대책비용 중 표면도장에 의한 경비가 약 63%를 차지하고 있는 것으로 보고 되고 있다. (부식손실조사보고서, 1977) 우리나라의 경우에도 일본과 비슷한 지리적 환경적 여건을 감안 할 때 표면도장에 의한 방식대책비용이 큰 비중을 차지하리라 생각된다. 따라서 해양오염에 의한 가혹한 부식환경에 노출되어 있는 이들 구조물에 대한 철저한 방식대책은 안전재해 예방과 경제적인 측면에서 중요한 사안이라 할 수 있을 것이다.

최근 들어 석유시추선 등의 해양플랜트 구조물의 사용빈도가 점차 증가하고 있으며 특히 이들 구조물들은 심한 파도와 조류에 노출되어 있는 즉 주위의 가혹한 부식환경으로 인하여 전술

한 전기방식법으로 완전방식이 어려운 경우가 많다. 따라서 방청도장에 의한 방식이 매우 중요하며 이 경우 초기의 방청목적 외에 부착성, 습기에 대한 안전성, 내수성, 도막강도, 굴곡성 및 친환경 코팅제로서의 기능을 발휘하는 수중 경화형 도료의 개발에 관심이 점차 고조되고 있다. 뿐만 아니라 환경오염의 예방 차원에서 플랜트 구조물의 유지보수를 위한 방청도장은 속건성 경화형 및 긴수명의 내구성을 가지는 수중경화형 도료의 사용과 개발이 필수 불가결한 사안이라 할 수 있을 것이다. 지금까지 외국산의 수중 경화형 도료가 국내에서 주로 사용되고 있으나 이들 도료의 현장적용에 대한 구체적인 물성평가는 없는 실정이다. 전보 (성호진 등, 2005; 문경만 등, 2007)에서는 몇 종류의 에폭시계통의 중방식 도료 및 중방식도료에 몇 종류의 첨가제를 첨가한 경우에 대한 상대적 내식성평가를 전기화학적인 측면에서 고찰해 보았다.

본 연구에서는 수지의 종류와 첨가제를 달리한 다섯 종류의 수중 경화형 도료를 제작하고 전기화학적인 실험방법으로 내식성과 내수성의 상대적 비교평가를 실시하였다. 본 연구 결과는 수중 경화형 도료의 내식성 및 내수성을 간편한 전기화학적인 방법으로 평가할 수 있다는 이점과 또한 수지의 종류와 첨가제가 수중 경화형 도료의 내식성과 내수성을 개선할 수 있다는 정보를 제공함으로써 미래의 우수한 수중 경화형 도료 개발에 좋은 참고 자료가 되리라 기대 된다.

### 2. 시험편제작 및 실험방법

일반구조용 SS401강을 30×200×3mm 규격의 시험편을 제작한 후 표면에 잔류해 있는 유분, 그리스분 및 기타 오염물질을 용제 세척하여 제거하고 연마제 브라스트 세척법으로 Sa2 1/2 (순백색 금속면) 까지 탈청하였다. 그리고 표면의 평균조도 (Ra)가 12.5~20µm 이내가 되도록 하였으며, 노즐 분사압 125기압의 에어리스 스프레이로 기온 21°C, 상대습도 65~70% 조건에서 도장 하였다. 이때의 도막두께 (DFT)는 40µm로 하였다. 그리고 자체 제작된 도료의 종류는 에폭시수지계열 3종류(R, G 및 B)와 세라믹수지계열 2종류(N, S)의 다섯 종류로 하였으며 도료의 종류에 대한 주요성분은 Table 1과 같다. 그리고 5종류의 시험편을 3cm×2cm 의 크기로 절단한 후 가장자리 중앙부에 구멍을 뚫어 동선을 연결한 후 표면적 1cm<sup>2</sup>를 제외한 나머지 부분은 에폭시로 절연 시켰다. 그리고 각각의 시험편을 천연해수의 유

동상태(3cm/s의 유동속도 : PIV(Particle image velocimetry)로 측정)에 침지하여 부식전위와 사이클릭 볼타모그램은 침지 3일 후와 35일이 경과한 후에, 양극 및 음극 분극곡선은 침지 3일, 20일 및 35일 후에 측정하였으며 타펠외삽법에 의해서 부식전류밀도를 구하였다(동일 종류의 시험편을 동시에 침지한 후 침지일수에 따라 각각의 시험편에 대해서 측정을 하였음). 그리고 침지 3일과 35일 후의 사이클릭선도 측정 후의 표면을 영상 현미경(Sometech사, Model:SV35)으로 표면상태를 관찰 하였다. 그리고 별도로 음극분극곡선을 측정한 후 분극곡선상의 확산한계영역(O<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>O+4e=4OH<sup>-</sup>의 용존산소 환원반응에 따른 농도분극영역)에 있는 일정 분극전위 즉 -0.7V(SCE)에서의 음극전류밀도(확산한계전류밀도)의 침지일수에 따른 변화를 측정하고 이들 값과 부식전류밀도 변화의 상관관계를 비교 고찰 하였다. 실험에 사용된 분극곡선 측정장치는 Won, A. Tech사의 CMS-100 프로그램이며 주사속도는 1mV/s, 대극은 백금, 그리고 기준전극은 SCE 전극이다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 수지의 종류와 첨가제를 달리한 5종류의 수중경화형 도료의 시험편을 천연해수용액에 침지하여 침지 3일 후에 측정 한 부식전위의 변화를 보여주고 있다.

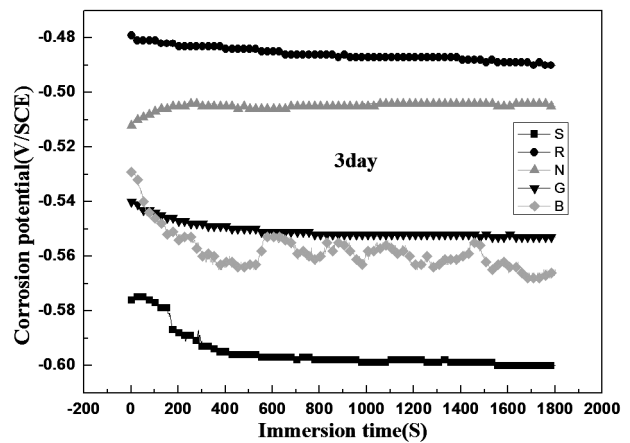


Fig. 1 Time dependence of corrosion potentials after immersed for 3day in seawater solution

Table 1 Chemical compositions of various types of coating specimens (wt%)

	Ceramic binder	Epoxy binder	Color Pigment	Ceramic Pigment	Filler	Dispersion agent	Anti-foaming agent	Additives	Non reactive diluent	Ceramic curing agent	Polymide curing agent
S	42		2	17	10	0.8	0.5	5.7	2	20	
R		40	4	14	16	0.8	0.6	4.6	5		15
N	40		2	20	12	0.8	0.7	2.5	2	20	
G		40	4	17	15	0.8	0.6	3.6	4		15
B		39	5	14	13	0.7	0.3	3	5		20

Fig. 1에서 알 수 있듯이 에폭시수지계의 R시험편이 가장 높은 부식전위를 나타내고 있으며 세라믹수지계의 N시험편, 에폭시수지계의 G 및 B시험편 순으로 낮은 전위를 나타내고 가장 낮은 부식전위는 세라믹수지계의 S시험편 이었다. Fig. 2는 침지 35일 후의 부식전위의 변화를 나타내고 있다. 침지 35일 후에도 에폭시계의 R시험편이 가장 높은 부식전위를 나타내고 있으며 침지 3일 후에 두 번째로 높은 부식전위를 나타내었던 N 시험편이 침지 35일 후에는 가장 낮은 부식전위값을 나타 내었다. 그리고 S시험편은 침지 3일과 35일에서 비교적 가장 비한 부식전위 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 침지일수에 따라 부식전위가 변하는 것은 수지의 종류와 첨가성분 및 성분함량 등의 영향으로 시험편의 양극과 음극의 분극정도의 차이에 기 인하는 것으로 생각된다. 그러나 이들의 부식전위변화 만으로 도료의 어떤 특수성, 예를 들면, 내식성과 내수성과의 상관관계 등을 규명하기에는 어려우며 다음의 실험결과와 연계시켜 토론 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Fig. 3은 침지 3일 후의 각 시험편의 양극 및 음극분극곡선을 나타내고 있다. Fig. 1과 Fig. 2에서 부식전위가 가장 높았던

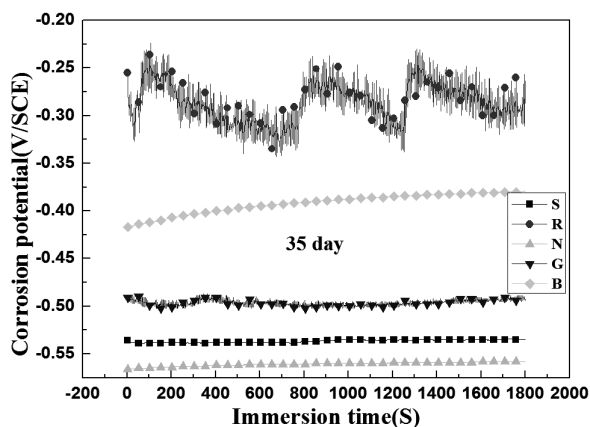


Fig. 2 Time dependence of corrosion potentials after immersed for 35day in seawater solution

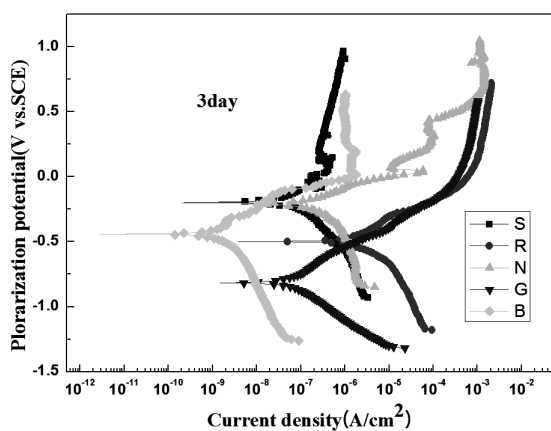


Fig. 3 Variation of cathodic and anodic polarization curves after immersed for 3day in seawater solution

R시험편이 가장 내식성이 좋지 않은 경향을 나타내었으며, 그리고 비교적 낮은 전위 값을 나타 내었던 S시험편의 내식성이 좋은 경향을 정성적으로 알 수 있다. 그리고 Fig. 4의 침지 35일 후의 분극곡선에서도 R시험편은 역시 가장 내식성이 떨어지는 경향을 나타내었으며 또한 S시험편은 두 번째로 내식성이 좋은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. Table 2는 Fig. 3과 Fig. 4의 분극곡선에서 타펠의삽법에 의해서 구한 부식전류밀도를 정리하였으며 Fig. 5는 Table 2의 부식전류밀도를 알기 쉽게

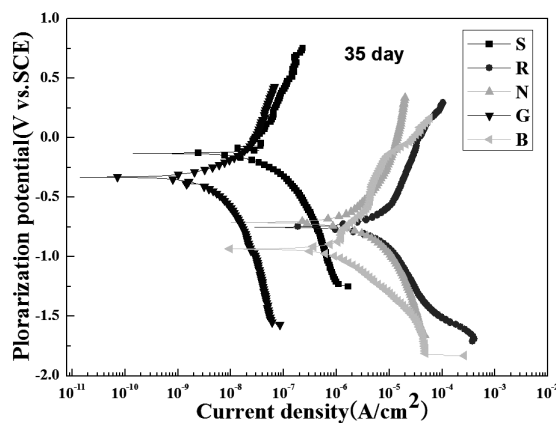


Fig. 4 Variation of cathodic and anodic polarization curves after immersed for 35day in seawater solution

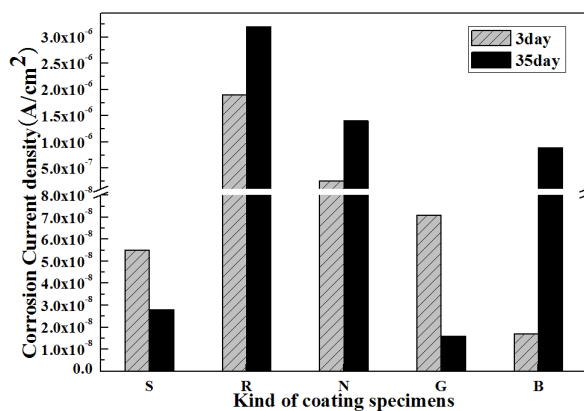


Fig. 5 Comparison of corrosion current densities with immersion days for various coating specimens

Table 2 Corrosion current densities with immersion days obtained from Tafel fitting method from polarization curves of Fig. 3 and Fig. 4

	Corrosion current density (A/cm <sup>2</sup> )	
	3day	35day
S	0.55×10 <sup>-7</sup>	0.28×10 <sup>-7</sup>
R	19×10 <sup>-7</sup>	32×10 <sup>-7</sup>
N	2.6×10 <sup>-7</sup>	14×10 <sup>-7</sup>
G	0.71×10 <sup>-7</sup>	0.16×10 <sup>-7</sup>
B	0.17×10 <sup>-7</sup>	8.9×10 <sup>-7</sup>

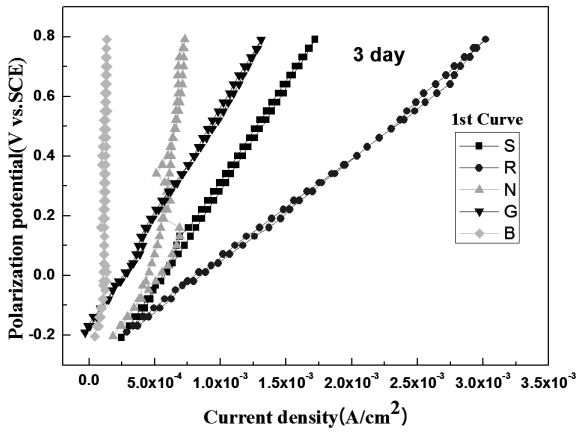


Fig. 6 Cyclic voltammogram curves of 1st cycle after immersed for 3day in seawater solution

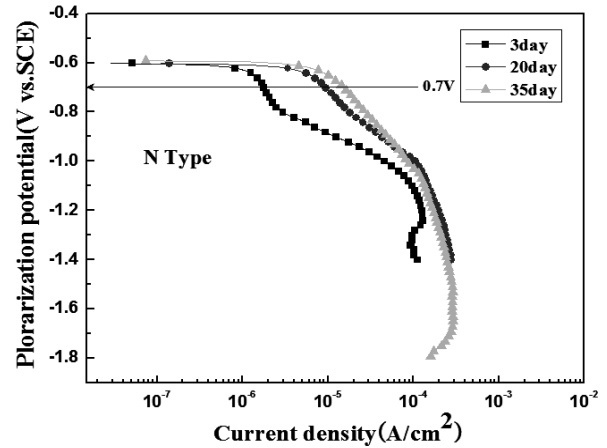


Fig. 8 Variation of cathodic polarization curves with immersion days in seawater solution

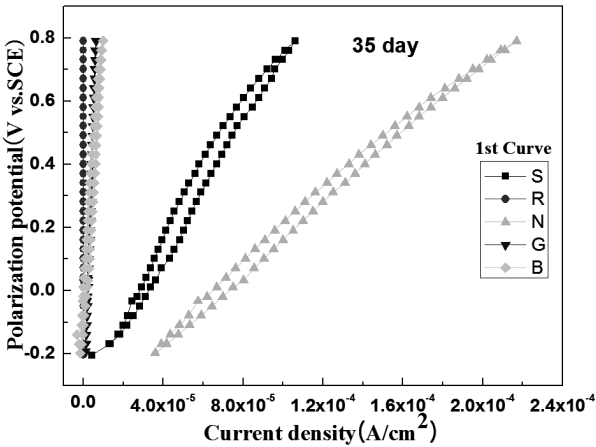


Fig. 7 Cyclic voltammogram curves of 1st cycle after immersed for 35day in seawater solution

그래프로 나타내고 있다. 일반적으로 나강판의 경우 표면의 산화막에 의해서 양극분극이 큰 즉 양극지배에 의해서 부식전위가 높을수록 내식성이 좋은 경향을, 그리고 부식전위가 낮을수록 내식성이 떨어지는 것으로 평가되고 있다. 그러나 본 실험의 경우 부식전위가 높은 R시험편이 오히려 내식성이 떨어지는 즉 부식전류밀도가 큰 값을, 부식전위가 낮은 S시험편이 역으로 내식성이 좋은 부식전류밀도가 적은 값을 나타내었다. 이처럼 도장된 시험편의 경우 나강판의 전기화학적 부식거동과 다르게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 즉 도장된 R시험편의 경우 양극분극에 비해서 음극분극이 적은, 즉 도막의 상태가 치밀하지 못하여 물과 용존산소의 침입이 용이하여 용존산소의 환원반응에 의한 농도분극이 적어 형성된 부식전위가 귀한 값을 나타내어도 부식전류밀도는 오히려 큰 값을 나타내는 것으로 생각되며, 그리고 S시험편은 치밀한 도막에 의해서 용존산소와 물의 침입이 어려워 음극의 농도분극의 증대에 의한 음극지배형으로 비한 부식전위가 형성되나 내식성은 오히려 좋아지는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 침지 3일 후의 첫번째 사이클릭 볼타모그램 선도변

화를 보여주고 있다. B시험편의 선도가 가장 왼쪽에 위치하고 있으며 시험편 N, G, B 순으로 오른쪽으로 이행하고 그리고 R 시험편이 가장 오른쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 사이클릭선도가 왼쪽에 위치할수록 분극저항이 크므로 내식성이 좋은 경향을 나타내는 것으로 평가하며, 오른쪽에 위치할수록 분극저항이 적어 내식성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. Fig. 3과 Fig. 5에서 침지 3일 후에 R시험편의 내식성이 가장 열악하고 B시험편의 내식성이 가장 좋은 실험결과와 Fig. 6에서 가장 왼쪽과 오른쪽에 B와 R시험편의 선도가 각각 위치하고 있는 경향은 내식성과 사이클릭선도 위치사이에 서로 상관성이 있는 것으로 생각된다. 그러나 침지 35일 후의 Fig. 7의 선도변화에서는 R시험편의 선도가 가장 왼쪽으로 이동하였으며 N 시험편이 가장 오른쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 그리고 R과 B 시험편이 가장 왼쪽에 위치하고 있음에도 불구하고 Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이 이들의 내식성은 오히려 좋지 않은 경향을 알 수 있다. 따라서 침지 35일 후의 선도위치와 내식성의 상관관계는 일치하지 않음을 알 수 있다. 이것은 침지 일수가 증가함에 따라 내식성이 열악한 도막의 경우 부식된 도막의 산화물이 한시적이지만 저항분극으로 작용하여 사이클릭선도의 위치가 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 N시험편의 침지일수 변화에 따른 음극분극곡선의 변화를 보여주고 있다. 침지일수가 증가할수록 분극곡선은 오른쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있으며, 본 실험의 결과 다른 종류의 모든 시험편에서 같은 경향을 나타내었다. 도장된 시험편의 경우 도막이 물과 염소이온의 도막내부로의 침입을 방해함에 따라 음극분극시 용존산소의 환원반응 ( $O_2+2H_2O+4e=4OH^-$ )에 따른 농도분극이 나강판에 비해서 심하게 일어나게 된다. 따라서 Fig. 8의 -0.7V(SCE)의 분극전위는 농도분극 영역에 있으므로 이 분극전위에서 공급된 음극전류밀도는 확산한계전류밀도값으로 간주 할 수 있다. 그리고 침지일수가 3일에서 20일 및 35일로 증가함에 따라서 확산한계전류밀도는 점차 증가하는 경향을 알 수 있다. 그 원인은 다음의 공식에서 고찰 할 수 있다고 사료된다. 즉 음극분극곡선상의 확산한계전류밀도( $i_L$ )는 다음의

(1)식으로 나타낼 수 있다(문경만, 1999).

$$i_L = \frac{nFDC}{\delta} \quad (1)$$

(F: Faraday상수, D: 확산계수, C: 용존산소농도,  $\delta$ : 확산층)

상기 (1)식의 공식에서 도막의 두께를 확산층으로 간주 하였을 경우 침지 초기에는 치밀한 방청도막의 형성에 의해서 물과 산소의 도막내부로의 확산이 어렵기 때문에 산소확산계수(D)가 적으므로, 분극곡선상의  $i_L$ 가 적은 것으로 생각된다. 그리고 침지일수가 증가 함에 따라 염소이온 등에 의한 피막의 파괴와 삼투압에 의해서 물과 용존산소의 도막내부로의 침입이 용이하게 됨에 따라 산소확산계수(D) 역시 큰 값을 가지게되어 분극곡선상의  $i_L$ 가 큰 값을 나타내는 것으로 사료된다. 따라서 확산한계전류밀도가 침지일수의 증가에 따라 커지는 것은 물의 침입이 용이한 즉 도막의 내수성이 떨어지는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 9는 침지 20일 후에 각 시험편에 대한 음극분극곡선을 나타내고 있다. S시험편이 가장 왼쪽에 위치하고 있으며 나머지 시험편은 거의 모두가 오른쪽에 위치하고 있으며 근소하지만 R 시험편이 가장 오른쪽에 위치하고 있음을 알 수 있다. 그리고 Table 3은 침지일수에 따른 확산한계전류밀도의 변화를 각 시험편에 대해서 정리하였으며 Fig. 10은 이들의 데이터를 알기 쉽게 그래프로 나타 내었다. 침지일수가 증가할수록 모든 시험편의 확산한계전류밀도값은 증가하고 있으며 S시험편이 가장 적은 값을 R과 G시험편이 비교적 큰 값을 나타내고 있다. 세라믹수지계의 S와 에폭시 수지계의 R시험편의 경우 Table 2와 Fig. 5의 내식 특성과 Table 3과 Fig. 10의 확산한계전류밀도값과 비교적 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 확산한계전류밀도가 적은 즉 내수성이 좋으면 내식성도 좋아지는 것을 알 수 있었다. 이것은 내수성이 좋을수록 즉, 도막이 치밀할수록 물과 용존산소 및 염소이온이 도막을 통하여 금속면까지 도달하는 확산속도는 감소하게 되며, 또한 금속면의 양극과 음극의 분극은 증대하고 동시에 치밀한 도막에 의한 회로저항(양극과 음극사이의 도막저항) 증대 하여 양극의 산화반응에 의한 금속의 부식속도는 감소하는 것으로 생각된다(Steinsmo et al., 1989a; 1989b). 그리고 R시험편은 충전제와 첨가제가 다소 다른 에폭시계열(G와 B시험편)보다 많이 함유되어 있으며 S시험편은 다른 세라믹계열 N시험편보다 세라믹수지와 첨가제가 다소 많이 함유되어 있다. 따라서 이들의 성분과 함량이 내수성과 내식성에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

Fig. 11은 침지일수에 따른 각 시험편에 대해서 사이클릭선도 측정 후의 표면상태를 영상현미경으로 관찰한 결과이다. 침지 3일 후의 사이클릭선도 측정 후의 표면상태는 S시험편과 N시험편의 경우 표면상태가 다소 거친 느낌이 있으나 비교적 평활한 양상을 나타내고 있다. 그리고 침지 35일 후에는 전체적으로 표면상태가 거친 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 R시험편의 경우가 현저하게 거친 모습을 나타내었으며 B시험편도 다소 거친 모습을 보였다. 그리고 S시험편의 경우 침지 3일 보다 침지 35일후의 표면에는 붉은 반점이 오히려 적게 관찰되었다.

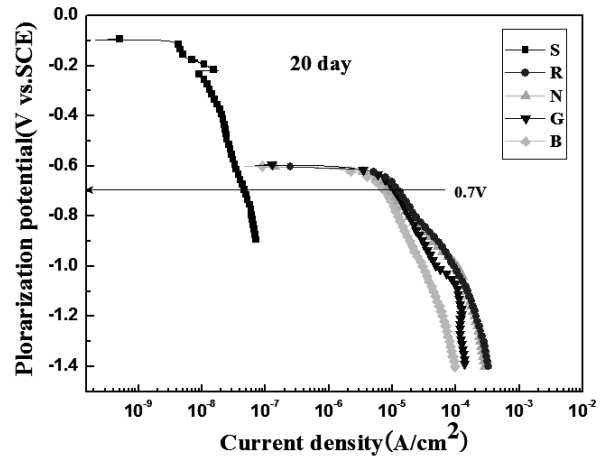


Fig. 9 Cathodic polarization curves after immersed for 20day in seawater solution

Table 3 Diffusion limiting current densities with immersion days at -0.7V(SCE)

	Diffusion limiting current density( $i_L$ ) (A/cm <sup>2</sup> )		
-0.7V	3day	20day	35day
Type			
S	$9.1 \times 10^{-8}$	$4.9 \times 10^{-8}$	$7.0 \times 10^{-8}$
R	$1.1 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$3.1 \times 10^{-5}$
N	$1.6 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-5}$
G	$1.2 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-5}$	$2.7 \times 10^{-5}$
B	$5.9 \times 10^{-6}$	$8.7 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}$

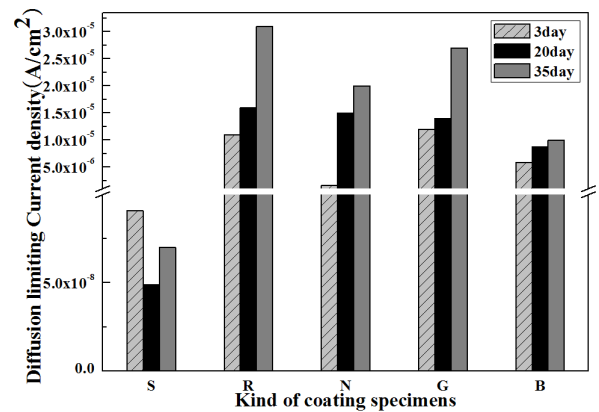


Fig. 10 Comparison of diffusion limiting current densities with immersion days

도막의 표면은 침지일수가 증가할수록 염소이온이 도막내로 침투하여 도막의 표면을 끊임없이 파괴하고 동시에 물과 용존산소의 침투는 계속되어 표면은 점차 거칠어지는 것으로 생각된다. 그리고 S시험편의 경우 침지 일수가 35일인 경우가 오히려 붉은 반점이 적은 것은 Fig. 5와 Fig. 10에서 알 수 있듯이 내식성과 내수성이 침지일수가 증가할수록 오히려 좋아진 실험결과

에 기인하는 것으로 판단된다. 즉 S시험편의 경우 도막표면의 수지와 첨가제가 해수용액과의 계면에서 침지시간의 경과에 따라 오히려 다른 도막에 비해서 내수성을 향상시키는 일종의 산화막을 형성하여 내수성과 내식성을 개선시킨 것으로 생각된다.

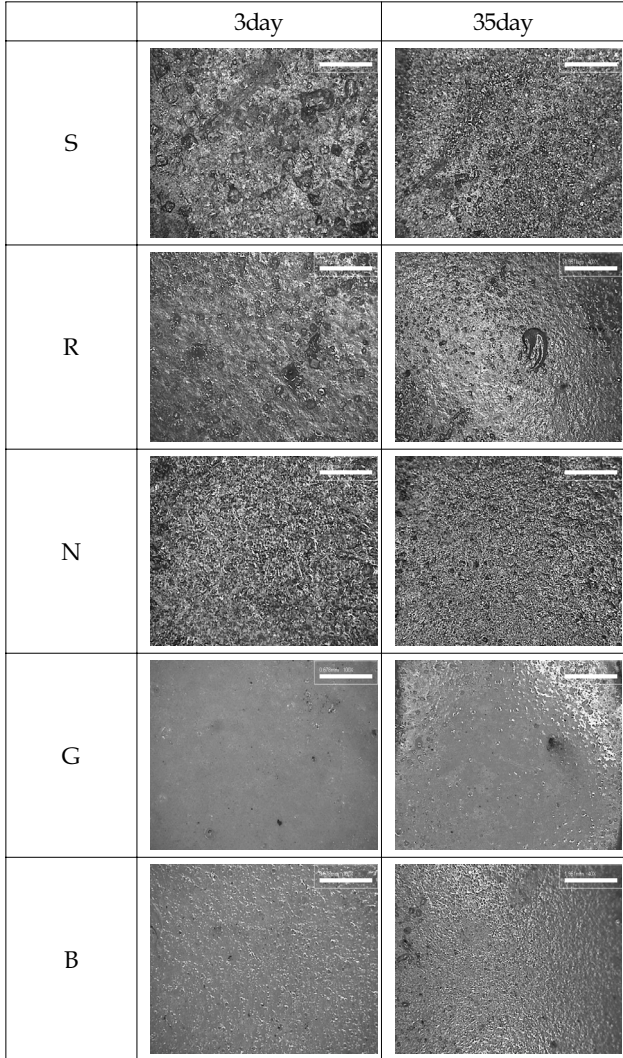


Fig. 11 Surface morphology of corroded surface after drawing cyclic voltammogram curves with immersion days(x200)

#### 4. 결 론

수지의 종류와 첨가제를 달리한 5종류의 수중경화형 도료에 대해서 전기화학적 방법으로 내식성평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 부식전위와 내식성의 상관관계는 나강판의 전기화학적 부식거동과 일치하지 않았으며 오히려 부식전위가 낮을수록 내식성이 좋은 경향을 나타내었다.

(2) 내식성과 내수성이 우수한 도료는 세라믹 수지계열의 S시험편이었으며 가장 좋지 않은 도료는 에폭시 수지계열의 R시험편이었다.

(3) 확산한계전류밀도값이 적은 즉 내수성이 좋을수록 내식성이 개선된 부식전류밀도값도 적은 경향을 나타내었다.

(4) 침지 일수가 증가할수록 내수성과 내식성은 나빠지는 경향이 있었으나 S시험편의 경우는 오히려 다소 좋아지는 결과를 얻을 수 있었다.

(5) 결과적으로 수중경화형 도료의 성능은 수지와 첨가제의 종류 및 그 함량비에 의해서 달라지는 실험결과를 얻을 수 있었다.

#### 후 기

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

#### 참 고 문 헌

문경만 (1999). 알기쉬운 문답식 실용전기화학, 효성출판사, pp 106-148.

문경만, 조황래, 이명훈, 김현명, 이인원, 전호환 (2007). “중방식 도료의 내식성에 미치는 첨가제의 영향”, 한국해양공학회지, 제21권, 제3호, pp 65-70.

부식손실조사보고서 (1977). 일본방식기술협회.

성호진, 김진경, 이명훈, 김기준, 문경만 (2005). “중방식도료의 내식성에 관한 전기화학적 평가”, 한국마린엔지니어링학회지, 제29권, 제5호, pp 519-525.

Compton, K.G. (1961). “Factor Involved in Corrosion of Lead Cable Sheath”, CORROSION, Vol 17, pp 115-118.

Gartland, P.O., Bardel, E., Andresen, R.E. and Johnson, R. (1984). “Effect of Flow on the Cathodic Protection of a Steel Cylinder in Sea Water”, CORROSION, Vol 40, No 3, pp 127-133.

Hiramatsi, M., Hino, M. and Omi, T. (1996). “Current Trend in Development of Corrosion Protective Plating”, Zairo-to-Kankyo, Vol 45, No 1, pp 33-41.

Cicognami, P. (1990). “Application of the Boundary-Element Method to Offshore Cathodic Protection Modeling”, J. Electrochem. Soc., Vol 137, No 6, pp 1689-1695.

Jones, D.A. and Nair, N.R. (1985). “Electrochemical Corrosion Studies on Zinc-Coated Steel”, CORROSION, Vol 41, No 6, pp 357-362.

Newman, J. (1991). “Cathodic Protection with Parrel Cylinders”, J. Electrochem. Soc., Vol 130, No 12, pp 3554-3559.

Steinsmo, U. and Bardal, E. (1989a). “Factors Limiting the Cathodic Current on Painted Steel”, J. Electrochem. Soc., Vol 136, No 12, pp 3588-3594.

Steinsmo, U., Ska, J.I., and Bardal, E. (1989b). “The Effect of the Dry Film Thickness, Temperature, and Electrolyte on the Cathodic Current of Painted Steel”, J. Electrochem.

Soc., Vol 136, No 12, pp 3383-3587.

Talati, J.D., Patel, G.A. and Gandhi, D.K. (1984). "Maximum Utilization Current Density", CORROSION, Vol 40, No 2, pp 88-91.

The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, (1998). "Corrosion Protection and Repair Manual for Port

and Harbor Steel Structures", pp 27-96.

---

2011년 3월 17일 원고 접수

2011년 4월 4일 심사 완료

2011년 4월 22일 게재 확정