

## 장기간 자연 부식된 항만부두 강구조물의 방식특성 연구

김 기 준\* · 최 영 선\*\*

On the Corrosion Protection Characteristics of Port Steel Structures  
Corroded Naturally for a Long Period of Time

*K. J. Kim · Y. S. Choi*

**Key Words** : 부식(corrosion), 해수(sea water), 강(steel), 방식(corrosion protection or corrosion control), 음극방식법(cathodic protection), 희생양극법(sacrificial anode method), 분극(polarization), 전기화학적 임피던스 분광법(electrochemical impedance spectroscopy)

### Abstract

Protection characteristics of the corroded steel pile which was served as a pier structure over 8 years in seawater have been examined in terms of corrosion potential, electrochemical impedance spectroscopy(EIS) and anodic/cathodic polarization curves. The steel structure was sectioned into two parts, waterline(splash zone, just above the seawater surface) and in-water(underwater), and protection characteristics for the two parts were investigated with the application of cathodic protection(CP) by sacrificial anodes using Zn and Al alloys. The main results obtained were as follows; (1) The corrosion potential of waterline zone was higher than that of in-water, which implied that the corrosion of waterline was more severe than that of in-water, (2) As a result of EIS examination, the transition period from the apparent CP to the substantial CP took about twenty to thirty days according to the corrosion condition.

---

\* 정희원, 한국해양대학교 기관공학부 교수

\*\* 한국선급

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

항만의 연안구조물이나 해저 자원을 개발하기 위한 해양구조물의 대부분은 철강(Steel)으로 제작된다. 이들 철강구조물은 부식성이 매우 높은 해양분위기에서 사용되기 때문에 적절히 방지하지 않으면 부식으로 인해 장기간 사용이 어렵다. 항만의 철강부식율은 해면으로부터 수심에 따라 상이한 특성을 나타낸다.<sup>1,2)</sup> 가장 부식이 심한 부분은 해수 방울로 항상 젖어 있는 수면 바로 위의 일명 비말대(Splash Zone)이며, 저수위 바로 아래부분의 부식이 다음으로 심하다.

해수중 철강의 방식(Corrosion Protection)에는 피복(Coating)과 함께 전기화학적 방식법으로 잘 알려진 음극방식법(Cathodic Protection, CP)<sup>3)</sup>이 널리 사용되어 왔다. 이 음극방식법은 크게 두 종류로 세분되는데, 이것은 외부전원법(Impressed Current Method)과 희생양극법(Sacrificial Anode Method)이다. 이 두 방식법은 서로 상반된 장단점이 있는데 이중 희생양극법은 방식시설이 간단하고, 사용상 위험이 적기 때문에 전원을 얻기 어려운 장소나 소형시설 등에 유리하여 지금까지 항만, 선박 및 해양구조물 등에 많이 이용되어 왔다.<sup>4)</sup> 희생양극법의 양극으로는 일반적으로 아연(Zn), 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg)이 합금 형태로 사용되고 있는데 이중 해수의 철강 방식에는 아연과 알루미늄이 주로 쓰이고 있다.

현재 우리나라의 방식 실태를 보면 선박의 경우는 오래전부터 선박전조시 방식시설이 국제적으로 의무화되어 있고, 또한 입거검사 등 선급검사에 의해 관리되어 왔기 때문에 비교적 문제가 적은 편이다. 그러나 항만 또는 연안 구조물의 경우는 한정된 대형 시설물을 제외하고는 방식시설이 갖추어지지 못한 곳이 많으며 설치되었다 하여도 정상적으로 관리되지 못해온 것이 사실이다. 현재 우리나라에는 무방식 상태로 방치되고 있는 상당수 구조물들이 있으며 이들에 대하여 부식으로 인한 막대한 경제적 손

실을 막고, 나가서 안전사고 예방을 위해 더 이상 그대로 방치해서는 안될 것이다.

본 연구는 장기간 해수중에서 자연부식 상태로 방치되어온 강구조물에 새로이 방식을 적용했을 때, 방식효과가 얼마나 빨리 또한 어떻게 나타날 것인가 하는 점에 초점을 맞추었다. 즉, 방식을 개시했을 때 부식되던 강의 표면상태가 전기화학적으로 어떻게 변화될 것인가, 그리고 부식상태로 부터 방식상태로 전환되는데 얼마의 시간이 걸릴 것인가 등의 의문점을 구명하려는 것이다. 본 연구대상 구조물로는 약 8년간 실제 항만부두 시설물로 사용되면서 자연부식된 강파일을 사용하였으며, 아연과 알루미늄 합금양극을 이용하여 음극방식을 시작한 후 일정기간마다 전기화학적특성을 조사하여 방식상태로의 전환거동을 연구하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 시험편

시험편은 약 8년간 해수중에서 자연부식된 ㄷ자형 강파일을 사용하였다. 이 파일은 수심 약 5m의 항만부두 시설물에서 취회한 것으로 탄소함량이 약 0.2%의 보통 탄소강이었다. 파일을 수면부(Waterline, 약자 WL)와 수중부(In-water, 약자 IW)로 나누어 시험편을 채취하였는데 여기에서 수면부(WL)는 만조선 바로 위의 비말대(Splash Zone)이고, 수중부(IW)는 간만의 최저수면이하로 계속해서 해수에 잠겨있던 부분이다.

총길이 약 7m의 강파일을 부위별로 길이 10cm씩 절단하여 알루미늄양극과 아연양극 방식용으로 각 6개씩 총 12개의 시험편을 제작하였다. 그리고 자연부식 표면특성조사와 강파일 원 재료의 전기화학적 특성조사를 시험편은 따로 준비하였다. 해수중 음극방식용 시험편은 각 시험편마다 1.5mm의 드릴링을 하여 측정용 동선을 연결하였으며 자연부식된 원래의 표면만을 남기고 절단부분과 리드선 연결부분 등 가공부분은 모두 에폭시로 피복하였다.

2.2 실험 장치

Fig. 1은 본 실험의 전체 시스템을 보여 주는 개요도이다. 해수중 자연전위 측정용 고저항 전위차계로는 Fluke 87 RMS Multimeter와 기준전극으로 포화카로멜전극을 사용하였다. 분극시험은 미국 Gamy사의 CMS100 포텐쇼스타트(Potentiostat)를 사용하였는데 이 장치는 Windows OS상에서 전 실험과정이 자동으로 수행되도록 개발된 전기화학적 부식시험 시스템이다.<sup>5,6)</sup> 전기화학적 임피던스 분광법(Electro-chemical Impedance Spectroscopy, EIS)실험도 상기 포텐쇼스타트와 함께 Lock-In Amplifier(Stanford Research Systems사, Model SR810 DSP)를 사용하였다. 본 실험의 전기화학적 실험 시스템은 포텐쇼스

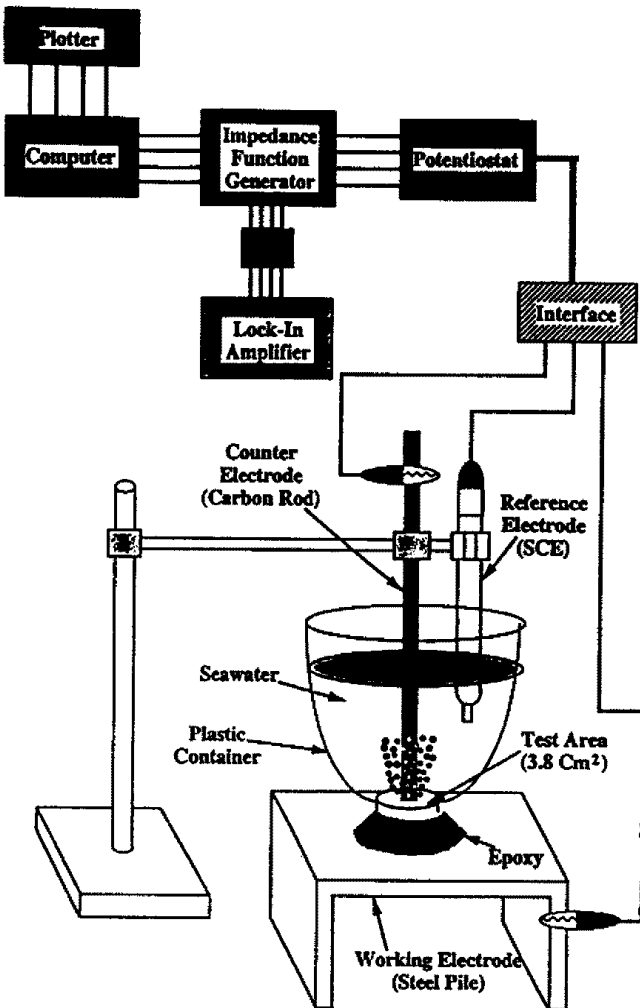


Fig. 1 Test equipment and specimen set-up

타트와 임피던스 계수 발생기(Impedance Function Generator)가 컴퓨터에 연결되어 시험기기 작동 및 데이터 출력을 자동으로 수행하며 포텐쇼스타트에는 3전극(Three Electrodes)인 시험편(WE), 대응전극(CE), 기준전극(RE)이 연결되어 있다.<sup>7)</sup>

2.3 실험 방법

자연전위 측정은 강파일 시험편을 절단, 제작한 후 다시 해수중에 담그어 실시하였다. 음극방식시험은 시험편을 6개씩 시험조에 나누어 알루미늄 및 아연 양극과 쌍을 이루게 연결하여 실시하였다. 음극방식중 분극전위 측정은 방식개시후 처음 2일간은 수차례 측정하였으며 3일째부터는 1일 1회씩 총 50일간 측정하였다.

전기화학적 임피던스 분광법(Electrochemical Impedance Spectroscopy, 이하 EIS)이란 금속의 표면특성을 조사하는 방법의 하나이다.<sup>8-10)</sup> EIS는 일명 교류 임피던스법(AC Impedance Method)이라고도 알려져 있는데 넓은 범위의 주파수대에 걸친 작은 진폭의 교류신호를 부식 금속(시험편)의 표면에 주사한 후 반응하여 되돌아오는 응답신호를 비교함으로써 표면특성을 조사하는 방법이다. 금속 또는 용액의 종류나 농도 등 전기화학적 특성이 달라짐에 따라 반향되어오는 신호의 크기와 형상 또는 시간적 지연 등이 변화한다.

시험편은 Fig. 1에서와 같이 노출면적 3.8cm<sup>2</sup>만을 남기고 에폭시로 절연하였으며 대응전극인 탄소봉을 시험편 중앙에 위치하게 하여 시험중 공급전류 분포가 가능한 한 균일하게 되도록 하였다. 기준전극으로는 포화카로멜전극을 사용하였으며, EIS의 신호진폭은 시험편의 손상을 최소화 하기 위해 ± 10mV의 사인파를 적용하였다. 실험에 사용된 주파수 범위는 일반적인 EIS시험에서 많이 채용하고 있는 64KHz에서 0.05Hz까지로 하였으며 기타 시험방법은 ASTM 표준시험규정(G106)을 따랐다.<sup>11)</sup>

분극시험<sup>12)</sup>은 비교적 표면손상이 적은 음극분극 시험을 먼저 실시하였고, 시험후 전위의 안정을 기다렸다가 최종 양극분극시험을 수행하였으며 측정 시간을 단축할 수 있는 동전위법을 채택하였다. 분극시험과정은 실험 개시후 일정 시간동안 개로전위를 측정하면서 초기전위가 안정될 때까지 기다렸다가 이를 확인한 후 분극시험이 시작되도록 하였다. 분극시 주사속도(Scan Rate)는 5 mV/sec로 하였으며 기타 시험방법은 ASTM 시험규정[G5]에 따랐다.<sup>13)</sup>

음극방식중 전기화학특성조사에는 음극방식 개시 후 10일, 20일, 30일 그리고 50일째에 각각 EIS 시험과 음극, 양극분극시험을 차례로 실시하였으며, 이들 결과를 방식 개시전과 비교, 검토하였다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 3.1 전위 측정 결과

12개의 음극방식용 시험편에 대한 음극방식전 측정된 자연전위 즉, 개로전위(Open Circuit Potential)는 Fig. 2와 같다. 시험편은 수면부(WL)와 수중부(IW)로 나누어 표시하였다. 전체적으로 약 -500 mV/SCE(Saturated Calomel Electrode, 이하 SCE) 부근으로 부터 완만히 감소하였으며 5일째부터는 거의 일정한 상태를 나타내었다. 이것은 시험편 가공중 교란되었던 표면이 약 5일이 지나면서부터 원 상태로 회복되고 있음을 보여주는 것이다. 점선으로 표시된 -770 mV선은 보통 철강의 음극방식을 위해 필요한 최소 분극전위선이며, -1,000 mV선은 본 실험에 사용된 아연과 알루미늄양극에 의해 분극되는 대략적인 전위선이다. 전위가 안정된 5일째부터 음극방식 개시 전까지 수면부(WL)와 수중부(IW)의 각 6개 시험편에 대한 평균전위가 -587 mV와 -613 mV였으며, 수면부가 26 mV 높았다. 강의 자연 부식이 진행됨에 따라 전위가 서서히 상승하였고, 두 부분의 전위 차로부터 수면부 즉, 비말대의 부식이 수중부보다 상대적으로 많이 진행되었음을 알 수 있었다. 이것

은 서론에서 언급했던 수심에 따른 강파일의 부식속도 비교에서 비말대(수면부)가 최대치를 나타낸 것과 일치하는 결과이다.

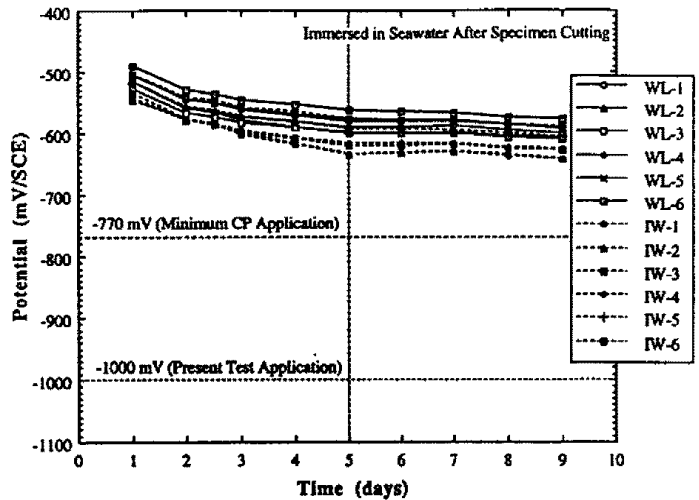


Fig. 2 Variation of open circuit potentials with time after specimen immersion in seawater

Fig. 3은 상기 시험편들에 대하여 아연양극과 알루미늄양극에 의해 음극방식후 측정된 분극전위의 변화이다. 방식초기에는 자연전위로 부터 급격히 음분극하였으며 약 2일이 지나면서부터 점차 안정된 분극전위를 형성해 가고 있다. 아연양극과 알루미늄양극에 의한 분극전위는 전체적으로 균일한 차를 보이고 있는데 이 차는 두합금양극간의 고유 전위차(순 아연: 약 -1.03 V, 순 알루미늄: 약 -1.08 V)에 기인한 것이다. 처음 2일 이후 알루미늄양극과 아연양극에 의한 분극전위의 평균치는 -1,066 mV과 -1,025 mV로 아연양극 쪽이 41 mV 높았다. Table 1은 음극방식 전후의 전위차를 비교한 것이다. 수면부 및 수중부에 대하여 알루미늄과 아연양극에 의한 전체 시험편의 음분극전위가 414-479mV 범위였다. 이 정도의 음분극전위는 일반적인 철강방식에 적용되는 적정 방식전위(-850~-950mV/SCE)를 고려하면 약간의 과방식이나,<sup>14)</sup> 희생양극법의 채용으로는 피할 수 없는 현상이며 그 차이가 크지 않기 때문에 실용상 문제는 없는 것으로 알려져 있다.

Table 1. Potential difference between before and after CP

mV(SCE)		
	Waterline	In-Water
Potential before CP	-587	-613
Potential after CP		
Al Anode	-1066	-1066
Zn Anode	-1023	-1027
Polarization Potential for CP		
Al Anode	-479	-436
Zn Anode	-414	-453

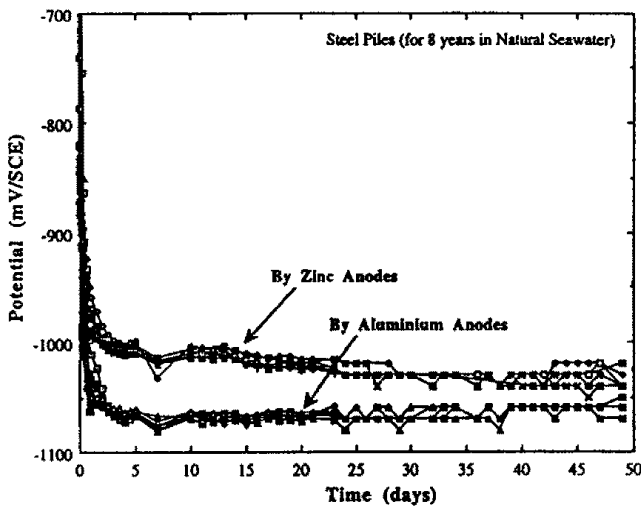


Fig. 3 Potential variation after cathodic polarization by zinc and aluminium sacrificial anodes

3.2 EIS 실험결과

앞에서 언급한 바와 같이 수면부(WL)와 수중부(IW)에서 채취된 6개씩의 시험편에 대하여 음극방식을 실시하였으며, 각 시험편에 대한 EIS의 특성 변화를 음극방식 개시전을 포함하여 개시후 10일, 20일, 30일 그리고 50일에 대하여 비교하였다. Fig. 4는 수면부(WL)시험편의 EIS시험에 대한

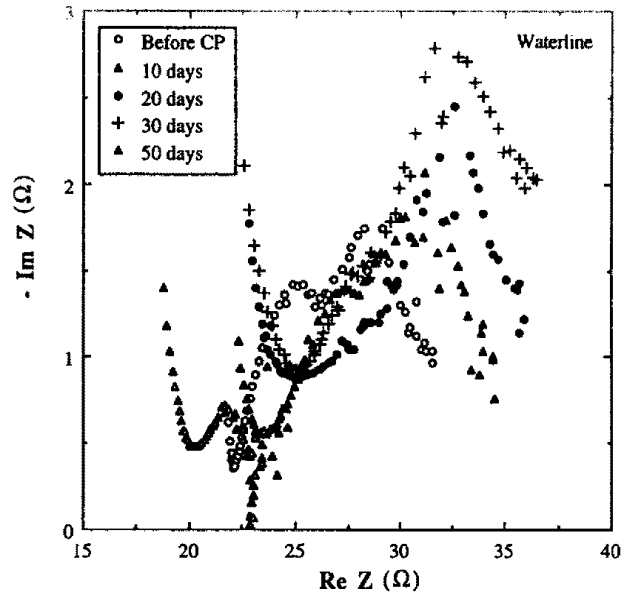


Fig. 4 Nyquist plot for the waterline specimens with CP

Nyquist선도이다. Nyquist선도를 포함한 EIS에 대한 이론적 설명은 앞에서 언급한 바와 같이 문헌 7-10에 상세히 수록되어 있으므로 여기에서는 설명을 약한다. 이 그래프에서 측정데이터는 비교하기 어려울 정도로 산만한 상태를 보이고 있다. 이들의 정량적인 분석을 위하여 단순 부식계에서 Nyquist선도에 나타나는 반원형의 양 끝단에 해당되는 각 데이터의 좌우 최저 y값(y=0)에 대한 x축값(Re Z)을 구하여 그 차(반원의 지름에 해당)인 분극저항( $R_p$ )을 구하였다. Fig. 5는 이 정량적 분석에 의해 구한  $R_p$ 와 반원의 정점(최대  $-Im Z$ 값)을 음극방식 기간에 따라 비교한 것이다. 이 결과를 보면 음극방식 개시 30일째에 분극저항( $R_p$ )과  $-Im Z$ (y축)값이 동시에 최대가 됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 음극분극에 의해 장기간 부식되었던 강 표면의 부식저항력이 점차 회복되어 감을 의미하는 것이며, 30일이 지나면서부터 분극저항이 작아지는 것은 장기간에 걸쳐 형성되었던 산화물피막이 강 표면으로부터 전기화학적으로 분리 또는 환원상태로 전환됨을 의미하는 것이다.

이와 같은 경향은 수중부(IW)시험편에서도 동일

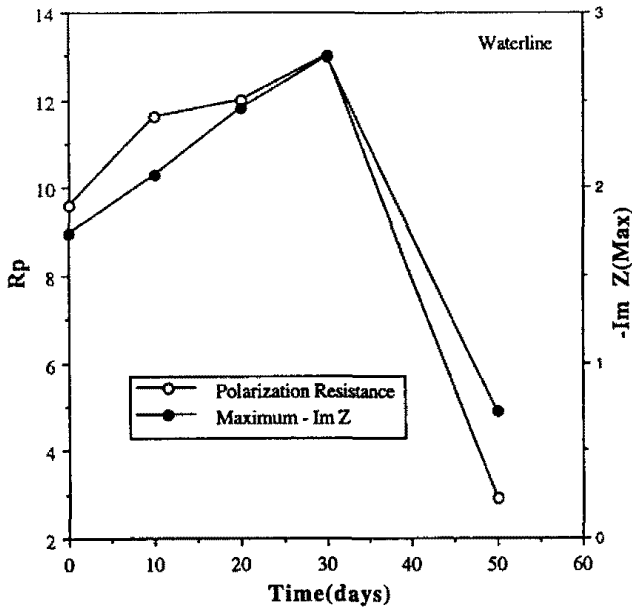


Fig. 5 Polarization resistance and max.  $-Im Z$  with time for the waterline specimens with CP

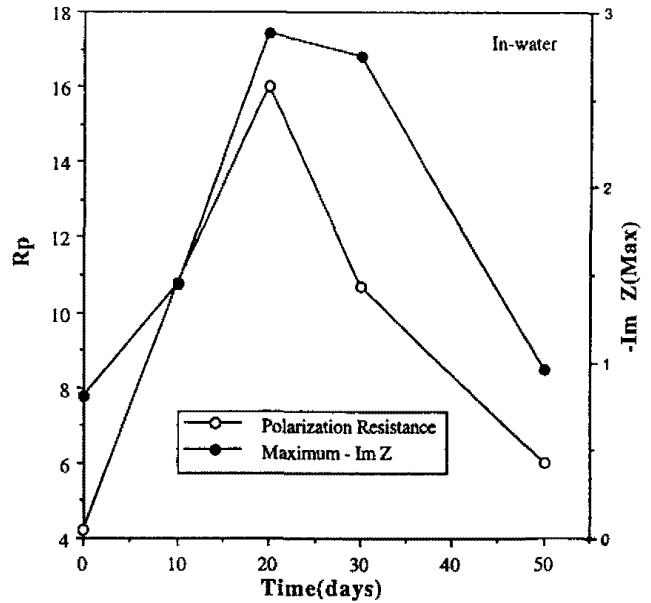


Fig. 6 Polarization resistance and max.  $-Im Z$  with time for the in-water specimens with CP

하였으며 단지 분극저항의 변환기간에만 차이가 있었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이  $R_p$ 와  $-Im Z(Max)$  값이 음극방식 20일째에서 최대치를 나타내고 있다. 앞의 수면부(WL)에서와 마찬가지로 부식되었던 표면이 음극방식에 의해 부식저항력을 점차 회복하고 있음을 알 수 있다. 그러나 음극방식에 의한 표면산화물의 이탈이라 추정되는  $R_p$  값의 전환(최대치로부터 감소)이 수면부의 30일째 보다 약간 빠른 20일경에 일어났다. 이것은 수중부(IW)의 부식상태가 수면부(WL)보다는 상대적으로 심하지 않았기 때문인 것으로 추측되며, 이것은 수심에 따른 강파일의 부식상태비교에서 수면부인 비말대의 부식이 가장 심하다는 일반적인 결과와 일치하는 것이다.

Fig. 7은 수면부와 수중부의  $|Z|$ -f선도로부터 얻은  $R_p$  값을 비교한 그래프이다.  $|Z|$ -f의 최후 끝단점의 차  $((R_o + R_p) - R_o = R_p)$ 에 해당되는 분극저항( $R_p$ )이 수면부(WL)에서는 음극방식 기간에 따라 완만히 증가하다가 30일이 지나면서 부터 감소 방향으로 변환되기 시작하였으며, 수중부(IW)에서는 20일째 최대치를 이룬 후 감소하였다. 또한 최

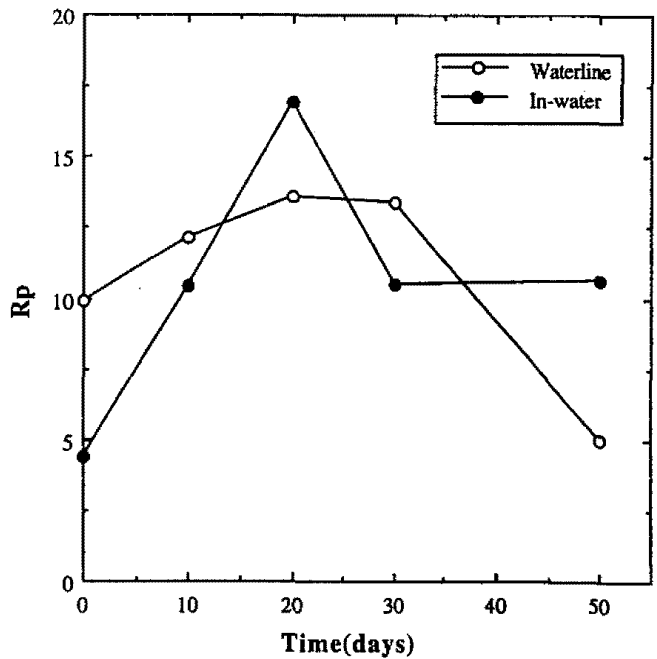


Fig. 7 Comparison of polarization resistance with CP time between waterline and in-water specimens

대 위상각( $\phi$ )을 비교한 Fig. 8에서도 마찬가지로 수면부에서 30일 그리고 수중부에서 20일째에 최대치를 이룬 후 감소하고 있다. 이것은 앞의 Nyquist선도 결과와 일치하는 것으로, 수면부인 비말대의 부식상

태가 수중부보다 심했음을 확인하는 것이며, 음극방식 적용후 전기화학적으로 실질적인 음극방식이 이루어지는 산화-환원 전환에 부식이 심했던 수면부에서 약 30일, 상대적으로 부식이 약했던 수중부에서 약 20일정도 소요됨을 의미하는 것이다.

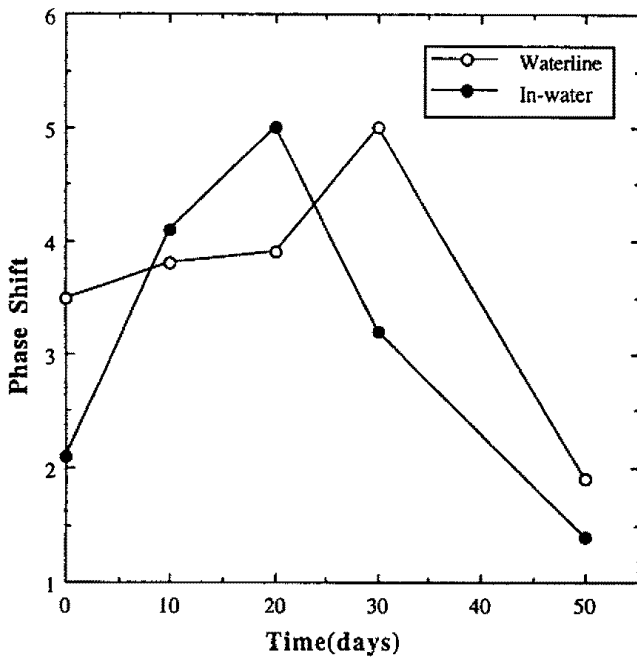


Fig. 8 Comparison of phase shift with CP time between waterline and in-water specimens

### 3.3 분극시험 결과

Fig. 9는 수면부(WL)와 수중부(IW)의 부식(Rusted) 시험편에 대한 음극분극곡선을 비교한 것이다. 수면부 시험편의 자연전위가 수중부보다 높은 개로전위로 부터 분극이 시작되고 있으며 -0.9 ~ -1.0 V/SCE 부근에서 전류밀도가 같아지고 있다. 자연부식의 정도가 심하다고 판단되는 수면부의 개로전위가 수중부보다 높은 것은 예상했던 것이었으며 그 외의 특이한 경향은 발견되지 않았다.

음극방식 기간별로 수행된 분극시험 결과는 시험 조건에 따라 전체적인 경향을 비교하기 위하여 노멀라이제이션(Normalization, 초기전위값을 일치시켜 데이터를 상하로 이동시키는 방법)하였다. Fig. 10은 수면부(WL)에 대한 음극분극시험 결과이다.

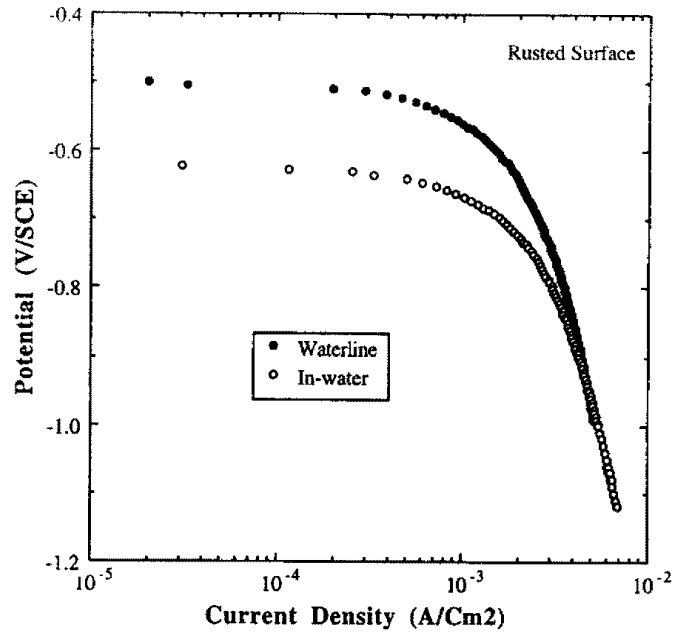


Fig. 9 Cathodic polarization diagram for the rusted specimens in waterline and in-water conditions

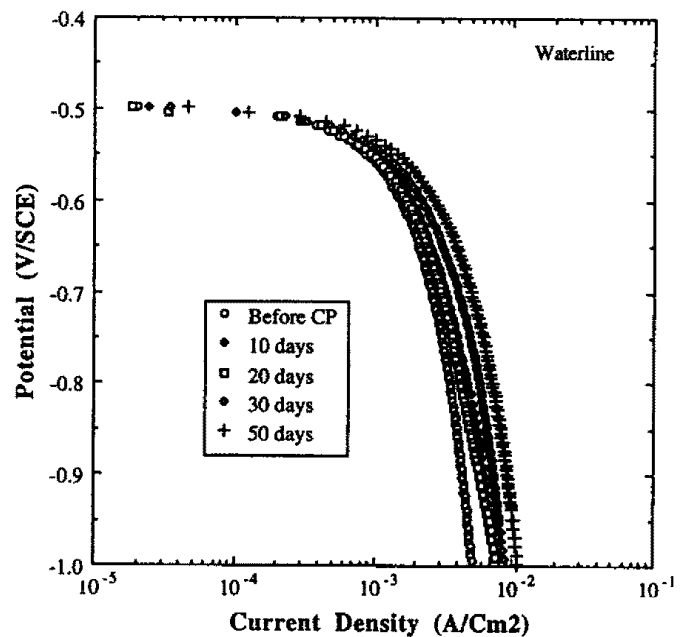


Fig. 10 Normalized cathodic polarization data for Waterline specimens

방식 적용 전 데이터에 비하여 음극방식후의 전류밀도가 미소한 증가 경향을 보이고는 있으나, 큰 차 없이 비교적 유사함을 나타냈다. 일반적으로 수면부의 부식이 강파일 전 구간중 가장 심하다는

점을 고려하면 부식에 의해 강파일 표면에 강하게 붙어 있던 산화물의 결합력이 음극방식에 의해 약화되는 것으로 판단된다. 수중부(IW) 시험편에서도 Fig. 11에서 보는바와 같이 음극방식 기간에 따른 별다른 경향을 발견할 수 없었다. 이 수중부(IW) 강파일은 계속적으로 해수에 잠겨 있던 곳으로 산소공급이 충분한 수면부에 비하여 상대적인 산화정도가 적어 전기화학적 특성변화도 크지 않았거나, 분극시험 자체가 부식면에서의 전기화학적 미세특성 차이를 감지할 만큼 충분히 민감하지 못했던 것으로 생각된다. 양극분극시험도 Fig. 12에서 보는 바와 같이 음극분극시험과 유사한 결과를 나타내었다. 그리고 이러한 현상은 Fig. 13의 수중부(IW)에서도 전반적으로 비슷하게 나타났다.

따라서 장기간 자연부식된 강파일의 음극방식 적용에 따라 실시된 음극분극과 양극분극 곡선에 의한 전기화학적 특성변화는 개로전위의 상대적인 차는 있지만 전체적으로 거의 유사한 분극거동을 나타냈음을 알 수 있었으며, 부가하여 분극시험 자체가 EIS에 비해 부식면에서의 미세한 전기화학적 현상을 가시화할 수 있을 만큼 충분히 예민하지 못함을 알 수 있었다.

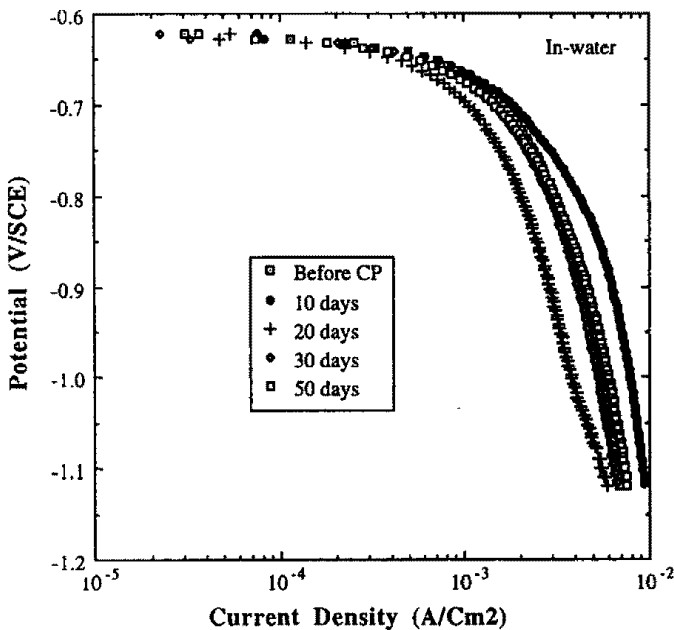


Fig. 11 Normalized cathodic polarization data for In-water specimens

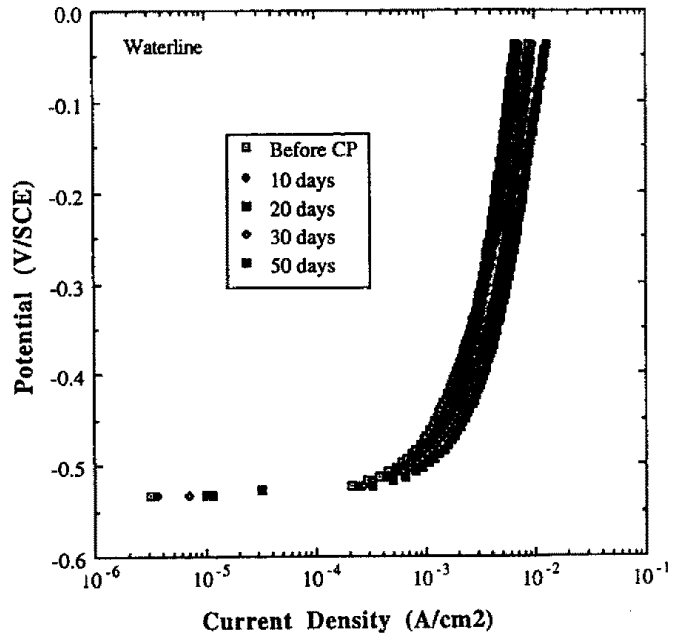


Fig. 12 Normalized anodic polarization data for Waterline specimens

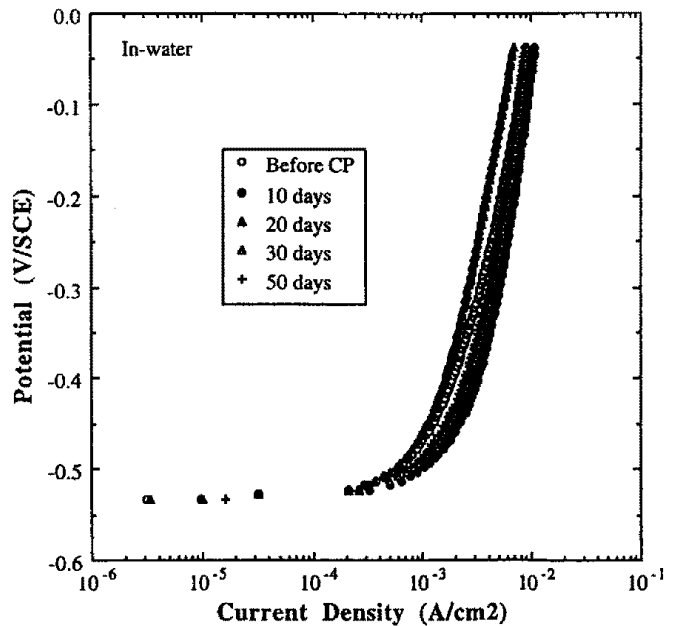


Fig. 13 Normalized anodic polarization data for In-water specimens

### 3.4 종합 평가

부식계의 전기화학적 특성을 조사하기 위하여 자연전위측정, 전기화학적 임피던스 분광법, 양극/음극분극시험 등의 방법을 통하여 약 8년간 천연해수



중에서 자연부식된 강과일을 대상으로 음극방식(희생양극법)을 적용하였을 때, 표면에서의 전기화학적 특성변화를 조사, 연구하였다. 부식전위에 의한 수면부와 수중부의 부식특성 비교에서 두 부분이 모두 부식영역에 있음을 확인하였으며, 수면부가 수중부보다 26 mV 높은 전위를 나타낸 것으로 보아 수면부가 수중부보다 상대적으로 많이 부식되었음을 알 수 있었다. 알루미늄양극과 아연양극에 의한 음극방식에서 분극전위가 -400 mV를 넘었으며, 수면부와 수중부의 평균 자연전위차(26 mV)는 훨씬 큰 음극분극전위에 상대적으로 묻혀 전위변화에 의한 특징이 거의 나타나지 않았다. 또한 음극방식에 의해 모든 시험편의 분극전위는 2일 이내에 -1,000 mV/SCE이하의 충분한 음극방식 전위를 보였다. 그러나 이들 시험편에 대한 EIS시험결과, 이와 같은 빠른 걸보기 음극분극전위의 변화에도 불구하고 수면부(WL)의 경우, 실질적인 방식상태로 돌입하는 것으로 판단되는 전기화학적 분극저항의 분기점이 나타나는데 약 30일이 소요되었으며, 이보다 부식이 상대적으로 적은 수중부(IW)에서는 약 20일이 걸렸다. 이것은 지금까지 음극방식시 측정된 분극전위(보통 -770 mV/SCE 이하)만으로 방식유무를 판단하는 것이 실제의 방식상태를 과대평가할 가능성이 있음을 의미하는 것이다. 더욱이 실제 항만 또는 해양 구조물의 경우, 약간의 과방식상태였던 이번 실험에서 보다 경제적 설계측면에서 더 적은 크기와 수량의 희생양극을 사용하게 될 경우 실질적인 방식상태로의 전환에는 본 실험결과보다 더 긴 기간이 걸릴 것으로 판단된다.

부식면의 음극방식에 의한 전기화학적 특성변화를 조사하기 위한 시험법으로 양극과 음극분극시험은 그 예민성이 떨어지는 것으로 판단되며, 이를 극복하기 위해서는 EIS에 의한 평가가 더 적합하다고 판단된다. 그러나 지금까지의 실험결과는 한정된 시험편에 대해 단기간에 얻어진 결과이므로 보다 정밀하고 정량적인 분석과 메카니즘의 규명을 위해서는 더욱 광범위한 조사가 필요하다

고 생각한다.

#### 4. 결 론

약 8년간 해수중에서 자연부식된 강과일에 대하여 수면부(비말대) 및 수중부로 나누어 희생양극(알루미늄 및 아연합금양극)에 의한 음극방식 적용후 방식기간에 따른 전기화학적 특성을 자연전위 측정법, 전기화학적 임피던스 분광법(EIS), 양극/음극분극시험법에 의해 조사한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 비말대인 수면부와 수중부에 대한 평균 자연부식 전위는 각각 -587mV/SCE 및 -613mV/SCE로 모두 부식영역에 있음을 확인하였으며, 수면부가 26 mV 높은 전위로 충분한 산소공급으로 인하여 수중부보다 부식정도가 심하다는 일반적인 연구결과를 확인하였다.
- 2) 아연과 알루미늄합금 희생양극에 의한 음극방식 전위는 약 2일만에 각각의 평균전위, -1.025 mV와 -1.066 mV까지 분극되었으며, 이때의 분극전위량은 개로전위로 부터 414~479mV 범위였다.
- 3) 전기화학적 임피던스 분광법(EIS)은 장기간 부식된 철강 표면의 음극방식 특성조사에서 양극/음극분극시험법에 비하여 예민하며 더 유효한 방법임을 알았다.
- 4) EIS 시험결과 부식면이 실질적인 음극방식상태로 전환되는데 수중부는 약 20일, 비말대인 수면부는 약 30일정도가 소요되었으며, 따라서 음극방식시 분극전위만으로 방식여부를 판단하는 것은 실제와 다른 평가가 될 수 있음을 알았다.

#### 참고문헌

- 1) R. S. Treseder, NACE Corrosion Engineer's Reference Book, 2nd ed., NACE, p. 90 (1991)
- 2) F. L. LaQue, Marine Corrosion Causes and

- Prevention, John Wiley & Sons, p. 116 (1975)
- 3) Morgan, Cathodic Protection, 2nd ed., NACE, Houston, Texas, pp. 1-26 (1987)
  - 4) H. H. Uhlig, & R. W. Revie, Corrosion and Corrosion Control, 3rd ed., John Wiley & Sons, pp. 217-232 (1985)
  - 5) CMS100 Operator's Manual, Gamry Instruments, Inc. (1994)
  - 6) CMS300 Electrochemical Impedance System, Operator's Manual, Gamry Instruments, Inc. (1994)
  - 7) 최영선, "해수중 장기간 자연부식된 강파일의 음극방식에 의한 전기화학적 특성 연구", 한국해양대학교 석사학위논문 (1995)
  - 8) D. C. Silverman, Primer on the AC Impedance Technique, Electrochemical Techniques for Corrosion Engineering, pp. 73-79 (1986)
  - 9) D. C. Silverman, & J. E. Carrico, Electrochemical Impedance Technique - A Practical Tool for Corrosion Prediction, Corrosion-NACE, pp. 280-287 (1987)
  - 10) C. Gabrielli, Identification of Electrochemical Processes by Frequency Response Analysis, Solartron Instrumental Manual, Solartron Electronic Group Ltd. (1980)
  - 11) Annual Book of ASTM Standards G106, Vol. 03.02, pp. 440-450 (1994)
  - 12) F. Mansfeld, Electrochemical Techniques for Corrosion, pp. 18-26 (1977)
  - 13) Annual Book of ASTM Standards G5, Vol. 03.02, pp. 63-73 (1994)
  - 14) V. Ashworth, & C. J. L. Booker, Cathodic Protection: Theory and Practice, Ellis Horwood Limited, pp. 15-30 (1986)