

실내 가속부식시험을 통한 해양 강관합성 말뚝의 방식 기법 수명 평가

박종원^{†,1}·이종구²·이경황¹·김진홍¹·정문경³·이주형³

¹포항산업과학연구원 재료공정연구소 울산산업기술연구본부

²포항산업과학연구원 강구조연구소 토목연구본부, ³한국건설기술연구원 지반연구실
(2009년 12월 7일 접수, 2009년 12월 29일 수정, 2009년 12월 29일 채택)

Evaluation of Life Time for Anti-Corrosive Methods for Marine Steel Sheet by Cyclic Corrosion Test

J.W. Park^{†,1}, J.G. Lee², K.W. Lee¹, J.H. Kim¹, M.K. Jung³, and J.H. Lee³

¹Research Institute of Industrial Science & Technology, Ulsan Laboratory, Ulsan 683-420, Korea

²Research Institute of Industrial Science & Technology, Steel Structural Laboratory, Hwasungsi, 445-813, Korea

³Korea Institute of Construction Technology, Earth Structure & Foundation Engineering Research Division,
Goyangsi, 411-712, Korea

(Received December 7, 2009; Revised December 29, 2009; Accepted December 29, 2009)

When a steel sheet pipe applied to marine environment, an anti-corrosive coating should be treated to obtain long-term life-time for steels, especially, splash zone. Although anti-corrosive property of coatings is required to be tested in real marine environment, it is difficult because of long test time such as 20 years or more time. Therefore, we used cyclic corrosion tester in a laboratory, which has similar conditions with salt-dry-wet process such as real marine environment. Anti-corrosive properties of the coatings and two steels were tested their anti-corrosive properties under cyclic corrosion test conditions(KS D ISO 14993) and the results were compared with estimate life-time in real marine environment. According to cyclic corrosion test, accelerated corrosive factor of each anti-corrosive coating was investigated accelerated corrosive factor from impedance with EIS method. Accelerated corrosive factor of type SS400 carbon steel and A690 was also investigated their accelerated corrosive factor from the regression curves of weigh loss results. One of the anti-corrosive coatings showed about 50 years life-time compared with standard sample life-time. Carbon steel SS400 showed from 0.1 mm/yr to 0.06 mm/yr as its corrosion rate.

Keywords : cyclic corrosion test, anti-corrosive coating, EIS, accelerated corrosion factor, estimate life-time

1. 서 론

강관말뚝은 수평하중에 대한 저항력이 뛰어나며 용접에 의하여 쉽게 연결할 수 있기 때문에 항만 구조물 및 교량 기초로 꾸준히 사용하고 있다. 강관말뚝이 해양에 적용될 경우 육상과는 비교할 수 없을 정도로 심한 부식 환경을 가지고 있어 해양의 염수 환경에 의한 부식으로부터 강재를 보호하여 수명 저하를 방지하고자 다양한 방식 기법들이 적용되고 있다. 특히 해양 환경 중 비말대(splash zone)는 강재의 부식 속도가 연간 0.6~0.8 mm에 이를 정도 매우 높아 피복 방식 기법의 적용이 필수적이다.¹⁾

강재를 해수 부식 환경으로부터 보호하기 위해 사용되는 방식 기법으로는 크게 음극 방식, 피복 방식, 내식 소재 등을

들 수 있다. 음극 방식은 철의 전기화학적 부식 특성을 이용한 방식 기법으로 외부 전원을 인가하거나(외부 전원법, Impressed Current Cathodic Protection Method, ICCP법), 아연, 알루미늄 등 저전위 금속을 연결시켜(희생 양극법, Sacrificial Anode Cathodic Protection Method, SACP법) 전위를 불활성 영역으로 이동시키는 방법이다.^{2),3),4)} 피복 방식법은 강재 표면에 유기소재 도장/라이닝 또는 내부식 금속 코팅/클래딩 등을 실시하여 강재 표면과 해수의 접촉을 차단함으로써 강재를 부식으로부터 보호하는 방법이다. 내식 소재는 강재에 크롬, 니켈 등 내식 특성이 우수한 소재를 첨가하는 방법으로 강재 자체의 해수에 대한 부식 저항성을 향상시키는 방식 기법이다. 이러한 다양한 방식 기법 중에 해수에 직접적으로 접촉하게 되는 비말대나 간만 부위에는 지속적인 파랑, 물보라 등의 영향을 받아서 부식이 가장 극심한 반면 보수 작업이 곤란하므로, 내구성이

[†] Corresponding author: jw.park@rist.re.kr

뛰어난 방식 기법이 적용될 필요가 있으므로 피복 방식과 내식 소재의 적용이 가장 현실적인 대안이다.⁵⁾

일본의 경우, 해수 구조물 방식을 위해 유기 라이닝을 가장 광범위하게 사용하고 있다. 초기 투자비가 비교적 저가이면서도 내구성이 우수한 폴리에틸렌 (polyethylene) 또는 폴리우레탄 (polyurethane)을 이용한 후막형 라이닝 방법과 FRP (Fiber reinforced polymer) 커버를 이용한 tape 방식을 가장 많이 적용한다. 이중, 2001년 신일본 제철에서 개발된 고강도 고내식성 중방식 피복 방식은 기존의 폴리에틸렌 또는 우레탄 피복강관말뚝을 적용하였으나 delivery에 의한 피복의 상처 및 강관말뚝 시공 중 피복에 상처가 발생하는 문제를 개선하기 위해 개발된 방식으로 기존 피복층 위에 FRP (fiber reinforced plastics) 층을 추가하여 내충격성 및 표면강도를 향상시킨 방식이다. 미국과 유럽의 경우, petrolatum tape 방식을 가장 많이 사용하고 있으며, 후막형 coating 방식도 많이 사용하고 있다. 또한, Zn과 Al을 이용한 금속 용사 코팅도 적용 되고 있으며, 이와 관련된 규정이 제정되어 있다.⁶⁾

강관합성 말뚝 적용을 위한 최적의 피복 방식 기법 선정시 고려해야할 사항은 다음과 같다. 첫째, 대형 해양 구조물의 기초를 보호하는 기법으로서 해양 구조물의 구조적 수명과 동등 수준 이상의 우수한 방식 수명을 가져야 하며 그 성능에 대한 신뢰성 및 안전성을 확보하여야 한다. 둘째 고려 사항은 경제성이다. 이는 방식 처리 비용이 희생 강관을 구조용 부재로 활용함으로써 얻어지는 경제적인 이익을 넘어서는 안 되기 때문이다. 특히 대면적 방식 시공시의 품질 신뢰성 및 시공성, 경제성 등을 고려할 때 강관 말뚝 타설 후의 수중 시공보다는 항타 시공 전 육상에서의 방식 처리가 바람직하므로, 강관합성 말뚝 적용을 위한 피복 방식 기법은 현장 타설 시공 및 이송 시 가해지는 기계적 충격 및 손상, 마모 등에 대한 우수한 내구성을 갖추어야 한다.

본 연구에서는 비말대 환경을 잘 모사할 수 있는 실내가속 부식 시험을 통해 해양 비말대에 적용될 강재의 부식속도 평가와 강재의 표면에 피복되어 부식을 억제 하는 역할을 하는 다양한 기법에 대한 내구성 및 내식성 평가를 동시에 진행하여 신뢰성 있는 실험 결과를 도출하고 경제성 평가를 하여 향후 강관합성 말뚝 적용을 위한 신규 방식 기법 개발 및 최적화에 활용하고자 하였다.

2. 실험 개요

2.1 방식 기법 시험 시편 제작

피복 방식 시편으로는 Table 1과 같은 다양한 방식 기법을 선정하여 시편을 제작 하였다. (주)포항제철에서 생산하는 common carbon steel인 SS400 모재에 대해 6가지의 방식 기법을 적용하고, 시편은 110x160x9t(mm)로 제작

Table 1. 강관합성 말뚝 방식용 시험 시편 종류

Sample	내 용	두께 (um)	실제 환경 수명 평가 결과
1	후막형 Glass flake 함침형 epoxy 도료	496	20년
2	후막형 하도 + 내후성 상도 도료	580	-
3	후막형 Glass flake 함침형 epoxy 도료 + 내후성 상도 도료	488	-
4	내마모성 후막형 도료	385	-
5	후막형 초미세 Glass flake 함침형 epoxy 도료	404	-

하여 시험 평가를 진행하였다. 방식 기법의 정밀성 및 상용성을 검토하기 위해, 중방식 도료 시편은 국내 대표적 전문 기업에게 의뢰하여 제작하였다. 시편의 두께 및 층 구성은 현재 해양 구조물에 적용되는 사양으로 제작 하였으며,¹⁰⁾ 시편 측면 부위는 실내가속부식시험 등의 내식성 검토를 위해 epoxy bonding 처리를 하였다.

Sample 1의 경우 후막형 glass flake 함침형 에폭시 수지계 도막으로 실제 환경에서 장기폭로 시험을 거쳐 실제 수명이 20년으로 판명이 된 도료 사양으로서¹⁰⁾ 실내가속부식시험을 통한 수명 환산을 위한 기준시편으로 사용하였다. Sample 2의 경우 내마모 특성 향상을 위해 후막형 하도 및 내후성 상도, 그리고 Sample 3의 경우 내후성 도료를 제외하고 Sample 1과 같은 구조를 가지는 도막을 시공하였다. Sample 4는 내마모성 후막형 으로 제작 되었고, sample 5는 초미세 glass flake로 구성된 후막형 도장으로 제작 하였다.

2.2 방식 기법 내식성 시험법

도막은 다양한 사용 환경 조건에 폭로되어 산화분해, 가수분해, 기체, 액체의 투과와 확산 및 그에 따른 소지의 열화 및 밀착성 저해, 기계적인 힘에 의한 피로파괴, 충격파괴, 부착력의 저하 등 열화현상이 동시 복합적으로 진행된다. 그 결과, 도막은 방식 기능을 잃고 이른바 수명에 달하게 된다. 도막의 방식 내구성은 실제 환경에 폭로해 평가하는 것이 가장 바람직하지만, 결과를 얻기까지 장기간이 요구되므로 일반적으로는 각종 촉진열화시험 및 대응특성시험으로 평가되고 있다.

유기도막의 물성 평가는 시험방법들이 여러 기관에서 발표되고 있으며, 대표적인 시험법들은 다음과 같다. ISO 7235 염수분무 시험방법의 경우는 부식에 대한 유기 도막의 방청성능을 평가하는 가장 일반적인 방법으로 사용되고 있으나 많은 연구자들이 실제 환경조건과의 상호 호환성 부족을 지적하고 있다.¹¹⁾ 또 다른 표준평가 방법인 Norsok M501 cycle 시험법은 염수분무시험, 대기건조, 자외선 가

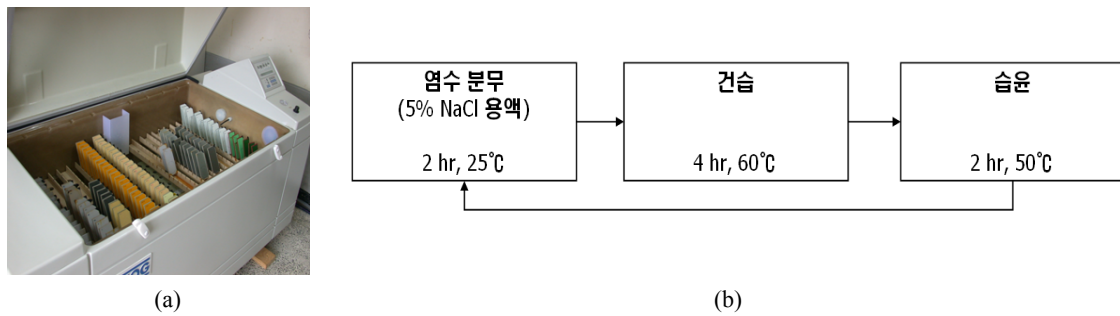


Fig. 1. 실내가속부식시험 장비(a) 및 시험 사이클(b)

속 조사기(QUV)를 반복하는 시험법으로서 해상 구조물의 도막 평가에 적용되고 있다. 그러나 이런 가속시험 역시 수 천 시간 또는 더 이상의 장시간이 요구되는 단점이 있다. 따라서 보다 짧은 시간과 정량적인 방법을 이용한 가속시험이 필요하다.

이에 따라, 재현성이 우수하며 시험 재료결과 값의 분별이 가능하며 더불어 실제 환경 조건을 매우 유사하게 모사할 수 있는 실내가속부식시험법이 활발하게 적용 추진되고 있다. 상기의 방법은 염수분무와 건조 및 습윤 단계를 하나의 사이클화 하여 적정시간 반복하여 시험체를 가속 부식 시키는 평가 방법으로서 실제 환경에서의 부식 시험 결과와 매우 유사한 상관관계를 가지는 것으로 보고되어지고 있으므로,¹¹⁾ 본 연구에서도 KS D ISO 14993 규격에 의거하여 하기와 같은 실험 조건으로 방식 기법들의 수명을 평가하였다. (Fig. 1 참조)

2.3 방식 기법 수명 정량화 방법

도막의 방식성과 물 흡수 특성은 매우 밀접한 상관관계가 있으며, 이 상관관계를 임피던스법의 측정 성분 중 도막저항 및 정전용량을 이용하여 측정할 수 있다. 임피던스법은 다음과 같은 몇 가지의 목적으로 사용된다. 첫째, 반응을 통한 변화를 감지, 둘째, 방식에 따른 도막 수명 예측, 셋째, 결함을 통한 부식과정의 모니터링, 넷째, 도료 내구성의 평가, 다섯째, 도막을 통한 물 흡수량 측정, 여섯째, 부식에 따른 도막/금속 계면의 변화 측정 등을 들 수 있다. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS)는 금속에 대한 유기 도막, 즉 도료를 평가하는 빠르고 편리한 기술을 제공한다. EIS는 유기 도막이 갖는 특별한 파라미터를 얻을 수 있는 확실한 도구로 알려져 있다.¹²⁾ 따라서 이 기술은 도료를 개발하고 개선하는데 있어서 매우 유용한 속도론과 메카니즘에 관한 정량적 data를 제공한다. 일반적으로 도장물의 전기 저항은 도장 상태를 평가하는 indicator이다. 초기 저항이 $10^8 \Omega/\text{cm}^2$ 이상이면 우수한 내식성을 가진다고 하고, $10^6 \Omega/\text{cm}^2$ 이하이면 쉽게 부식이 일어난다고 평가한다.⁵⁾ 이처럼 도막의 저항은 시간에 따라 감소하고, 이것은 도막을 통

한 물이나 이온의 투과, 그리고 금속과 도막의 계면 사이에서 일어나는 부식반응과 관계된다.

2.4 방식 기법 수명 환산 방법

EIS 기법에 의하여 도막의 방식 수명을 평가할 경우 최대한 낮은 Hz에서의 $|Z|$ 값을 사용하여 정량화하는 것이 필요하다. 각각의 시편이 실내가속부식시험에 의해 가속 부식이 진행되고 이것을 EIS 기법에 의해 수명 정도를 정량화한다면, 각 시험편들은 실내가속부식시험에 대해 각각 다른 부식 촉진배율을 가지게 된다. 부식 촉진 배율을 계산하는 방법은 다음의 식과 같다.

$$|Z|_{(t)} = |Z|_m + (|Z|_0 - |Z|_m) \exp\left(\frac{-t}{\theta}\right) \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{|Z|_{(t)} - |Z|_m}{|Z|_0 - |Z|_m}\right) = -\frac{t}{\theta} \quad (2)$$

여기서, $|Z|_m$ 은 적용 강재의 제한 임피던스 값, $|Z|_0$ 는 초기의 도막의 임피던스 값, $|Z|_t$ 는 특정 시간에서의 임피던스 값을 나타내며, θ 는 주어진 환경 하에서 도막의 부식 촉진 배율 상수이다.⁸⁾

각각의 시편에 대해서 부식 촉진배율 상수를 구한 후 이미 장기폭로시험에 의해 수명을 알고 있는 기준시편 (sample 1)의 수명과 촉진배율 상수를 통해 각각의 시편의 실제 환경에서의 수명을 예측할 수 있다.

2.5 해양 강관합성 말뚝 적용 내식성 강재의 부식 속도 측정

장수명을 가지는 해양 구조물 강관합성의 확보를 위해 가장 중요한 요소가 어떠한 강재를 사용할 것이며, 사용되는 강재에 어떠한 방식 기법을 적용할 것인가가 핵심이라고 할 수 있다. 다양한 방식 기법을 적용하여 그 내구수명 평가를 통해 초장수명을 가지는 해양 강관합성 말뚝을 설계하기 이전에 선행되어야 할 것은 적용하는 강재의 해양에서의 부식

Table 2. SS400과 A690 강재의 화학조성 비교

구분	화 학 성 분 (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
SS400	-	-	-	>0.050	>0.050	-	-
A690	0.22	0.1	0.6~0.9	0.08~0.15	0.05	0.5	0.4~0.75

Table 3. SS400과 A690 강재의 기계적 성질 비교

구분	화 학 성 분 (%)			
	항복 강도 (kg/mm ²)	인장 강도 (kg/mm ²)	연 신 율	
			게이지 길이 (in)	%
SS400	25이상	41~52	5	21
A690	35.2이상	49.5이상	8	18

속도를 측정하여 강제 자체의 수명을 평가 하고 향후 더해지는 방식 기법과의 수명을 합하여, 내구연한 100년 이상의 장수명 해양 강관합성 말뚝 설계의 기초자료의 확보이다. 따라서, 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되는 일반구조용 강재인 SS400과 Cr 성분 고 함유에 따라 해수 중에서 내식 특성을 가지는 것으로 보고되는 A690강재를 해양 환경을 모사한 실내 복합가속부식시험을 통해 각각의 부식 속도를 비교하고 향후 해양 강관합성 말뚝 설계의 기초자료를 확보하고자 하였다.

상기 강재의 부식 속도는 KS D ISO 14993 규격을 기준으로 복합가속부식시험을 통해 측정하였다. 시험 시편은 각 강재별로 110(mm) x 75(mm) x 9 mm의 크기로 각 12개씩 가공하였으며, 시편의 전처리에는 표면부의 유기 오염 물질 등을 제거하기 위해 아세톤 침적 후 초음파 세척기에서 10분간 세척하였다. 그리고 시편의 측면부 또는 후면부를 통해 진행될 수 있는 pitting corrosion 등에 의해 시험 결과의 신뢰성이 저하 될 수 있으므로, 규격에 따라 측면과 후면의 tape sealing을 통해 표면부에서의 부식 속도만을 측정할 수 있도록 시편을 준비하였다. 전체 평가 시간은 120 cycle (960 hr)로 진행하였으며, 30, 60, 90, 120 cycle 별로 시편을 채취하여, 염산과 삼산화안티몬 용액을 통한 부식 scale의 제거 후 무게를 측정하여 초기 시험편 무게와의 비교를 통해 각 강재별로 부식 속도를 계산하였다.

각 사이클 별로 부식 시험이 끝난 후 측정된 무게 감량의 차이를 기준으로 하기와 같은 수식을 통해 강재별 부식 속도를 정량화 하였다.

$$mm/yr = 87.6 \times \frac{W}{DAT} \quad (3)$$

여기서 W는 무게 감량으로 W_0 (초기무게) - W_1 (시험후

무게) (mg)를 나타내며, D는 금속의 비중으로 SS400과 A690은 7.85 (g/cm³)의 밀도이다. 그리고, A는 시험편 면적으로 82.5 (cm²)이며, T는 시험 시간을 나타낸다.

3. 실험 결과

3.1 방식 기법의 내식성 평가

각각의 시험편은 실내가속부식시험에 의해 실제 해양의 비말대 부분과 유사한 환경을 모사하여 가속 부식 시험을 진행하고, 초기, 33일, 66일, 99일, 132일에 시험편을 채취하여 순수로 표면 세정 및 건조 후 도막의 임피던스 값을 측정하였다. Fig. 2는 가속부식 시간에 따른 각각의 시험편에 대한 임피던스 값의 변화를 나타내었다. 모든 시편은 초기 제작 되었을 때 임피던스 값이 10⁹Ω이상으로 모재인 SS400과의 밀착력이 우수한 것으로 보이며, Sample 1의 경우는 시험 시간이 99일 경과 후 도막의 밀착성이 떨어져서 최저 주파수 대역인 0.012 Hz에서 저항 값인 임피던스 값이 10⁸Ω이하로 떨어지는 현상을 나타내며, 132일 경과 후 10⁵Ω이하로 저하되어 해양 환경으로부터 강재를 보호하는 기능을 상실한 것으로 나타난다. Sample 2의 경우는 33일 이후부터 급격하게 임피던스 값이 감소하여 수명을 다하는 것을 알 수 있다. 또한, Sample 3의 경우 132일 이후에도 10⁷Ω이상의 비교적 우수한 수명을 나타냄을 알 수 있고, Sample 4의 경우는 132일 이후에 10⁷Ω이하로 임피던스 값이 감소함을 나타내었다. 마지막으로 Sample 5의 경우는 전체 실험 기간 중 거의 임피던스 값의 저하가 나타나지 않으며 132일 이후에 약간의 임피던스 값 저하만이 발생하고 있다.

3.2 방식 기법의 수명 평가 결과에 의한 수명 환산

실내가속부식시험에 의해 시간에 따른 각 시험편의 수명의 정량화가 가능하였다. 이에 따라, 각 시험편이 실제 환경에서 어느 정도의 예상 수명을 가질 수 있는지를 식 2의 θ 값 (부식 촉진배율)을 계산하였다. 각 시험편들의 임피던스 값을 기준으로 가속 부식 시간별 $|Z|_{0.012\text{Hz}}$ 의 값으로 도식화한 후 각각의 값에 대해 회귀 분석을 실시하여 θ 값을 확보하였다. Fig. 3은 시간별 $|Z|_{0.012\text{Hz}}$ 의 값을 도식화한 그래프이다.

Fig. 3을 이용하여 θ 값을 도출 후 이미 수명을 알고 있는 기준시편인 Sample 1의 수명을 20년으로 기준하여 각 시편에 대한 촉진배율을 적용하여 시험편별 예상 수명을 계산하였다. 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4의 결과는 Fig. 2에서의 각 시험편별 실내가속부식시험결과와 매우 유사한 결과를 나타낸다. Sample 5의 경우 가장 완만한 기울기를 나타내며 이는 가속 환경에 따른 부식 촉진이 매우 완만하게 발생함을 알 수 있으며, 이에

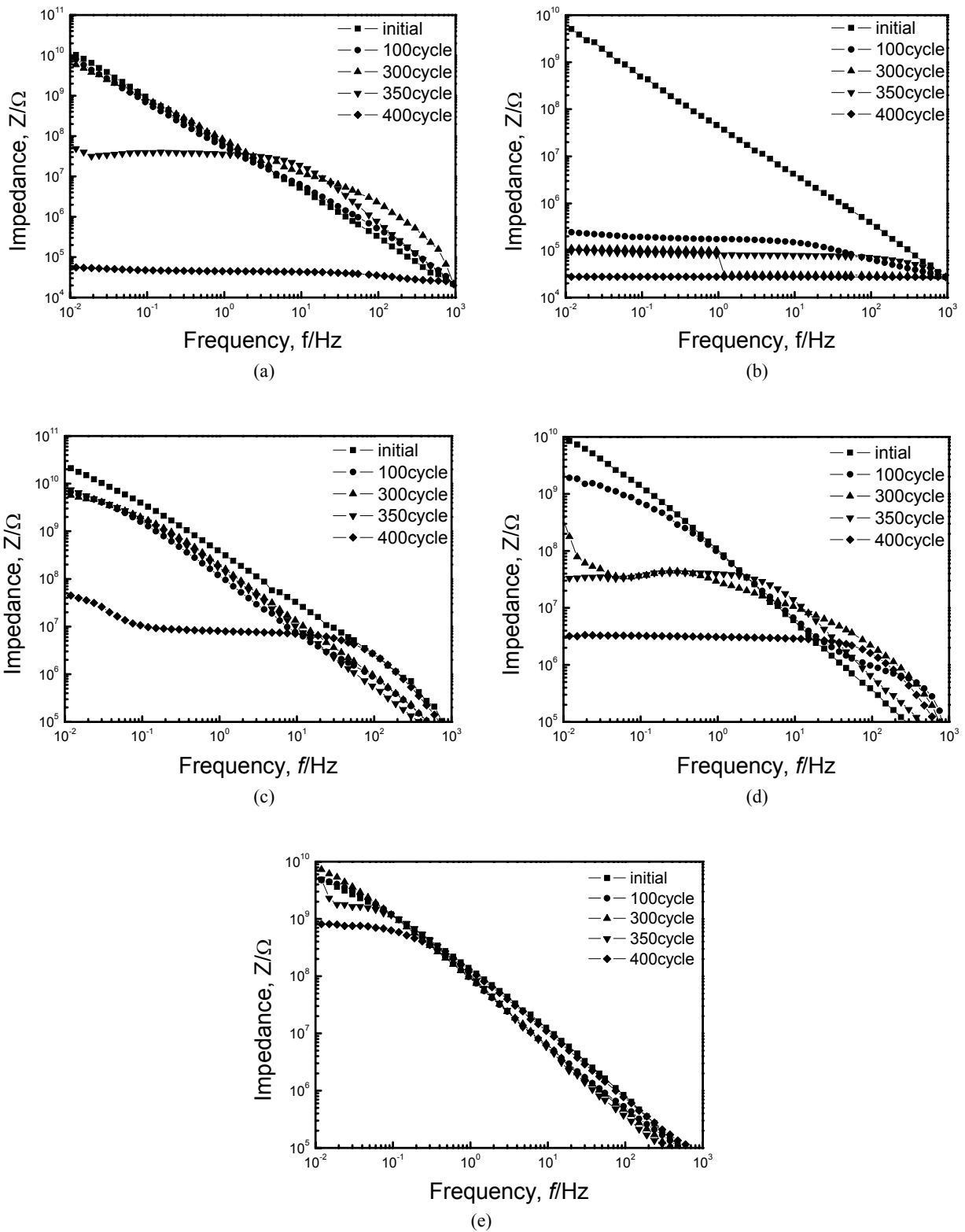


Fig. 2. 가속부식 시험 시간에 따른 유기 도장 시편의 임피던스 값 변화: (a)Sample 1, (b)Sample 2, (c)Sample 3, (d)Sample 4, (e)Sample 5.

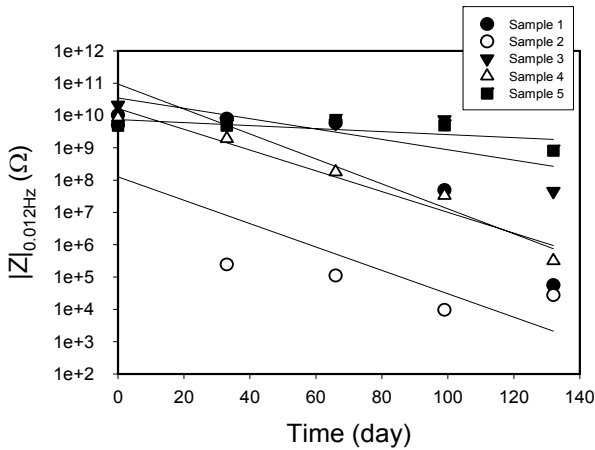


Fig. 3. 가속 부식 시험 시간에 따른 시험편별 $|Z|_{0.012\text{Hz}}$ 값의 분포

Table 4. 각 시험편별 θ 값에 따른 예상 수명 환산

구 분	$-1/\theta$ 값	θ 값	예상 수명 (년)
Sample 1	-0.04	25.91	20.00
Sample 2	-4.65	0.22	0.17
Sample 3	-0.03	31.15	24.05
Sample 4	-0.04	27.62	21.33
Sample 5	-0.02	62.11	47.95

다른 예상 수명도 기준 시편과 비교해 볼 때 거의 50년 가까운 내식 수명을 가짐을 알 수 있다. 방식 피막이 노화되어 blister를 형성하는 이유는 수분 및 산소의 침투가 가장 큰 원인이다. 이를 방지하기 위해 화학적으로는 방식 피막을 형성하는 고분자의 경화 밀도를 높여서 수분 침투를 막는 방법 등이 연구되어 왔고, 물리적으로 glass flake 등을 방식 피막 내에 삽입하여 수분의 침투 경로를 길게하여 방식 피막의 수명을 향상시키는 노력들이 진행되어 왔다. Sample 5의 경우는 초미세 glass flake를 삽입하여 방식 피막 내 glass flake 함침량을 극대화 하였으며, 매우 고밀도로 함침되어 있어 기존의 고경화 레진 적용 및 glass flake 함침형 방식 피막보다 수분 침투를 억제 시키는 능력이 뛰어나 피막 자체의 수명이 매우 증가한 것으로 판단된다. 본 시험 방법을 통해 해양 환경에 적용되는 유기 피막의 내식 수명을 실제 환경의 수명으로 환산하여 유추할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

3.3 내식 강재의 수명 평가

해양 환경에 적용하기 위한 내식성 강재의 내식성을 검토하기 위하여 실내가속부식시험에 의하여 가속 환경 하에서의 중량감소의 변화를 측정하였다.

실제 환경에서의 부식에 의한 강재의 중량감소량과 시간

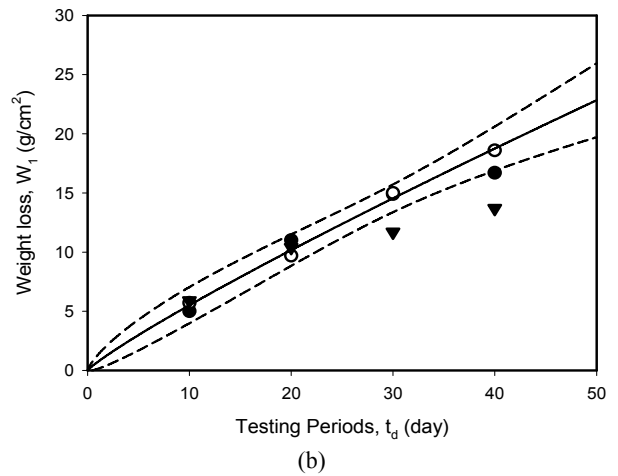
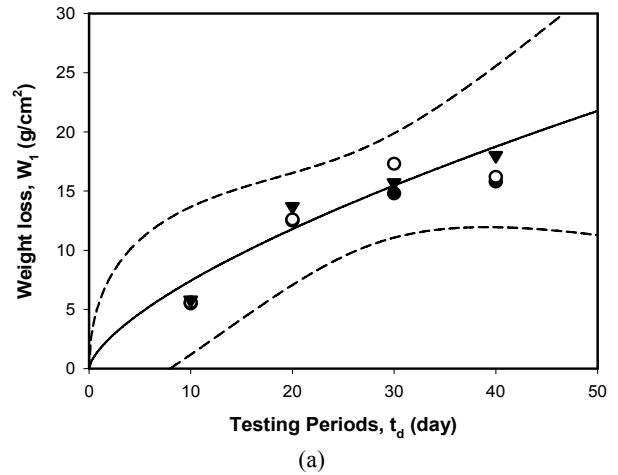


Fig. 4. 실내가속부식시험에 의한 강재별 중량감소량의 변화; $\circ, \blacktriangledown, \bullet$ (test 시간별 무게감량, $n = 3$)
 (a) SS400($W_1 = 1.5890t^{0.6691}$, $R^2 = 0.95$),
 (b) A690($W_1 = 0.7225t^{0.8827}$, $R^2 = 0.95$).

과의 관계는 식 (4)으로 나타낼 수 있다.

$$W = a * t^b \quad (4)$$

여기서 W 는 중량감소량 (g/cm^2), t 는 시간(년), a 와 b 는 정수이다.

실험 개시 후 10, 20, 30, 40일간의 실험종료 후의 중량감소량을 Fig. 4에 나타냈다. 식 (4)의 t (년) 대신에 실험기간 t_d (일)을 사용하여, 본 실험에서 산출된 중량감소량 W_1 과 실험기간과의 관계를 Fig. 4에서 실선의 회귀곡선으로 나타내었다. 그리고 $m \pm 2s$ (m :평균값, s :표준편차)의 회귀곡선을 점선으로 나타내었다. 여기서 R^2 는 결정계수를 나타낸다.

부식에 의한 중량감소량은 실험기간의 증가와 더불어 증가하지만, 각 실험기간 간의 증가량은 감소하는 경향이 있음

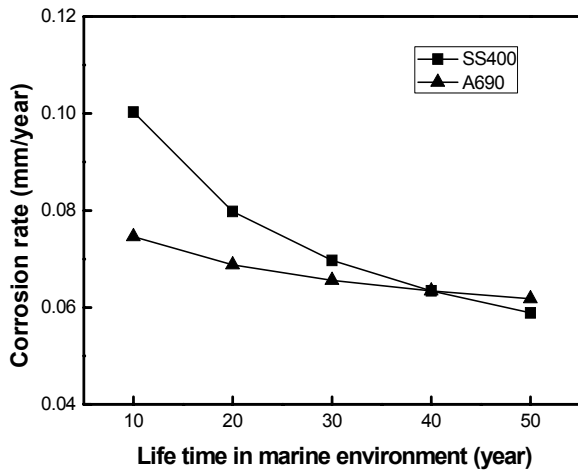


Fig. 5. 내식성 강재의 수명 환산식에 의한 시간별 연간 부식속도

을 알 수 있다. 이는 전면부식이 발생하는 강재의 표면에 발생하는 scale이 부식을 억제시키는 부동태 피막화 되기 때문인 것으로 생각된다. 그리고, 실내가속부식시험에 의해 구한 내식성 강재의 중량감소량은 실제 환경 노출 실험 결과와 동일하게 식 (4)으로 정도 높게 정식화할 수 있음을 알 수 있다. 식 (4)에 따라 각 강재에 대한 회귀식은 Fig. 4에 표기하였다.

식 (4)를 이용하면, 해양에 적용된 강재의 t년 후의 중량 감소량 W를 계산할 수 있다. 이 식은 하기와 같이 표현할 수 있다.

$$\text{SS400} : W = 1.5890 * t^{0.6691} \quad (6)$$

$$\text{A690} : W = 0.7225 * t^{0.8827} \quad (7)$$

식 (6)와 식 (7)에 의해 계산된 실제 환경에서의 예상 수명을 Fig. 5에 나타내었다. SS400의 경우 50년 후에는 21.77 g/cm²의 부식이 발생되어 연간 부식속도가 0.0589 mm/year 정도가 될 것으로 예상되며, A690 강재의 경우 50년 후 22.83 g/cm²의 부식량에 0.0618 mm/year의 연간 부식속도가 산출되었다. Fig. 5를 보면 알 수 있듯이, 초기의 부식 속도는 SS400의 경우가 A690보다는 훨씬 크나, 시간이 흐르면 흐를수록 두 강재의 부식 속도는 유사해 짐을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 강관합성말뚝의 해양 적용에 있어 심각한 부식 환경에 노출되는 비말대 부분에 있어 부식으로부터 모재를 보호하기 위해 적용되어지는 각종 유기 중방식 도장과 내식성 강재의 부식 속도를 실내가속부식시험을 통해 가속

부식 시험을 진행하고 그 결과로부터 실제 환경에서의 수명을 검토하였다.

본 연구에서 얻어진 주요 결과를 정리하면 아래와 같다.

1) 실내가속부식시험 하에서 유기 중방식 도장의 수명은 EIS를 기반으로 한 임피던스 측정으로 정량화 할 수 있었으며, $|Z|_{0.012\text{Hz}}$ 에서의 임피던스 값을 기준으로 시편별 비교 상대 수명은 sample 5 > sample 4 > sample 1 > sample 3 > sample 2의 순서였다.

2) 실내가속부식시험을 통해 얻어진 결과를 기초로 시간별 $|Z|_{0.012\text{Hz}}$ 값을 통해 각 시험편별 부식 촉진배율을 도출하였고, 이미 실제 환경에서의 수명을 알고 있는 기준시편을 통해 각 시험편별 실제 환경에서의 예상 수명을 환산 할 수 있었다.

3) 내식성 강재의 부식 속도를 계산하기 위해 실내가속부식시험을 통해 강재의 가속 부식을 진행 후, 중량감소량을 계산하여 각 강재별 가속 환경 하에서의 시간과 중량감소량의 상관 함수를 도출하였다. 참고 문헌의 실제 환경에서의 비례염분량에 대한 촉진 배수를 고려하여 실제 환경 하에서 시간에 따른 중량감소량을 예측할 수 있는 수식을 도출 하였다. 이 식을 기준으로 SS400과 A690의 시간에 따른 부식 속도를 계산 할 수 있었다.

본 연구는 강관합성말뚝의 해양 적용 시 적용되는 유기 중방식 도장 및 내식성 강재에 대해 부식 내구성 및 노화수명을 정량화하는 것이 최종적인 목적으로, 그 첫 단계로서 실내가속부식시험을 통해 실제 비말대 환경과 유사한 환경을 모사하고, 비전도성인 유기 도장에 대해서는 EIS 기법과 전도성인 내식성 강재에 대해서는 중량감소량 측정의 방법을 적용하여 각각 회귀분석을 통해 실제 환경에서의 수명을 정량화 할 수 있는 수식을 도출하여 예상 수명을 정량화 할 수 있었다. 향후 본 연구결과를 바탕으로 강관합성말뚝의 해양 적용 시 수명과 경제성을 고려한 최적의 방식 기법 선정에 도움이 될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 “고효율 하이브리드 대형 기초 공법 개발(II)” 과제의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. L. G. S. Gray and B. R. Appleman, *J. Protective Coatings and Linings*, **20**, 70 (2003).
2. B. Stratman, *Encyclopedia of electrochemistry*, Wiley-VCH Weinheim, **11**, 502 (2001).
3. C. H. Hare, *SSPC*, 231, 240-241, 249, 254 (2001).
4. L. G. S. Gray and B. R. Appleman, *ICC Proceedings*,

- 209 (2002).
5. C. G. Munger, *NACE*, 2nd ed., p. 381, Houston, Texas, 1986.
 6. B. R. Appleman, *J. Coatings Technology*, **62**, 57 (1990).
 7. KS D ISO 14993, Korean Standards Association (2003).
 8. G. Bierwagen et. al., *Prog. Org. Coat.*, **46**, 148 (2003).
 9. 藤原 博, 田原 芳雄, *土木學會論文集*, **563**, 39 (1997).
 10. J. Andrews, *J. Coatings Technology*, **66**, 837 (1994).
 11. T. Tomita and N. Kashino, *J. Struct. Constr. Eng.*, **551**, 39 (1998).
 12. K. Paik, *Corrosion and Protection*, **4**, 46 (2005).