

컴퓨터 Simulation을 통한 선체 음극방식(ICCP)의 방식전위분포해석

임관진⁺·김기준⁺⁺·이명훈⁺⁺·문경만⁺⁺

An Analysis of the Protective Potential Distribution against Corrosion for Hull ICCP with Computer simulation

Gwan-Jin Im⁺, Ki-Joon Kim⁺⁺, Myung-Hoon Lee⁺⁺, Kyung-Man Moon⁺⁺

Abstract : The ship hull part is always exposed to severe corrosive environments. Therefore, it should be protected in appropriate ways to reduce corrosion problems. So there are two effective methods in order to protect the corrosion of ship hull. One is the paint coating as a barrier between steel and electrolyte (seawater) and the other is the cathodic protection(CP) supplying protection current. In the conventional design process of the cathodic protection system the required current densities of protected materials have been used. However, the anode position of field or laboratory experiment for obtaining the required current density for CP is significantly different from anode position for real structures. Therefore, the recent CP design must consider the optimum anode position for potential distribution equally over the ship hull. The CP design companies in the advanced countries can obtain the potential distribution results on the cathodic materials by using the computer analysis module. This study would show how to approach the potential analysis in the field of corrosion engineering. The computer program can predict the under protection area on the structure when the boundary condition and analysis procedure are reasonable. In this analysis the polarization curve is converted to the boundary condition in material data.

Key words : Ship hull (선체), Cathodic protection(음극방식), Required current density(소요전류밀도), Boundary condition(경계조건), Polarization curve(분극곡선), Material data(물성자료).

1. 서 론

선박의 부식방지 기술에는 음극 방식법(Cathodic Protection Methode)이 Paint Coating과 병용하여 널리 사용되고 있다. 음극방식법은 두 가지로 세분할 수 있는데, 희생양극 음극방식법(Sacrificial Anode Cathodic Protection, SACP)과 강제전류 음극방식(Impressed Current Cathodic Protection, ICCP)이다. 이 두 방식법은 사용 환경과 경제성에 따라 그 적용 조건과 범위가 달라진다. 지금까지 음극방식의 설계는 이론적 근거와 실용적 기술개발에 의해 많은 발전이 있었으며, 계속해서 선박과 해양구조물의 규모가 대형화되면서 이들 구조물에 대해 더욱 신뢰성 있는 방식설계가 요구되고 있다. 기존의 음극방식 설계과정 중 가장 취약점 중의 하나는 설계상 방식전류의 분포가 균일한가 하는 것이었다. 기존의 방식설계에서는 1m²의 피방식체를 방식하는데 소요되는 전류밀도를 통한 수계산으로 방식설계를 하여 왔다[3]. 그러나 아직도 균일한 방식전류의 분포와 이를 위한 양극의 적정 위치의 결정은 개선되어야 할 항목의 하나이다.

⁺ 한국해양대학교 대학원, E-mail : kjkim@bada.hhu.ac.kr, Tel : 051)410-4870

⁺⁺ 한국해양대학교

근년에 들어와 컴퓨터 기술의 발달로 BEM(Boundary Element Methode)에 근거한 음극방식의 Simulation이 적용되기 시작했으며 최적방식을 위한 여러 가지 시도가 이루어지고 있다. 본 연구는 대표적인 상업용 BEM 프로그램을 이용한 해상구조물의 ICCP방식에 대한 방식설계 개선의 일환으로 대형 FPSO의 방식전위 분포를 해석하였다.

2. 해석 이론

2.1 전해질내 갈바닉 전류밀도 분포

초기 정지 상태 전류 밀도는 양극과 음극 표면의 전위차와 전해질 저항의 관계에 따라 분포된다[4]. 예를 들어 철과 알루미늄은 같은 전해질 내에서 다른 부식 전위를 나타내기 때문에 두 금속에 전기적으로 연결이 된다면 전해질을 통하여 전류가 흐르게 된다. 전해질내 전류와 전위 분포 지배 방정식은 연속 방정식(전하보존법칙)으로 유도 될 수 있고, 전하 q와 영역내의 단위면적당 전류의 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$-\nabla I = \frac{\partial q}{\partial t} \quad (1)$$

여기에서 정지 상태란 $\partial q / \partial t = 0$ 일 때를 말한다. (1)식을 전기장 세기 E의 관계식,

$$E = -\nabla \Phi, \quad (2)$$

과 옴 법칙

$$I = KE, \quad (3)$$

(K는 전해질의 전도도)에 대입하게 되면, 연속방정식은

$$\nabla K \nabla \Phi = 0 \quad (4)$$

으로 변환된다. 균일한 전해질 내에서는 등방성의 전도도 K는 상수이다. 따라서

$$\nabla^2 \Phi = 0, \quad (5)$$

으로 정리된다. 그러므로 전도도가 균일한 전해질 내에서는 전위는 식 (5)인 라플라스 방정식을 따르게 된다. 전해질내 어느점의 전류밀도는 다음의 식으로 계산된다.

$$I_{Xi} = -K \frac{\partial \Phi}{\partial X_i} \quad (6)$$

I_{xi} 은 X_i 방향의 전류밀도이고, Φ 는 전위이다.

3. 수치해석 방법

3.1 주요 가정

본 해석을 위해 구조물이 위치하는 전해질의 Conductivity는 균일하고, 양극에서 공급하는 모든 전류는 음극에서 반응하며 전해질의 공간은 무한으로 라플라스 방정식을 만족하도록 해석 영역을 설정하였다.

3.2 해석 방법

3.2.1 기초 해석 검증

방식 전위를 전산 수치해석을 적용하여 알아보기 위한 기초 검증 실험으로 기존의 방식 설계 기초 실험인 소요 전류밀도 시험을 컴퓨터 프로그램으로 해석하고 비교하여 이를 대형구조물에 적용하였다. 소요전류밀도 실험의 시편으로 양극은 13.2cm×13.6cm×2mm의 강철편을 사용하였고, 음극은 100cm×100cm×2mm의 강판을 사용하였다. 음극과 양극의 위치는 음극시편 한변 길이의 2배를 띄운 2m로 하였으며 양극과 음극은 양면을 모두 전해질에 노출시켰다. 시편의 대략도는 Fig.1과 같다.

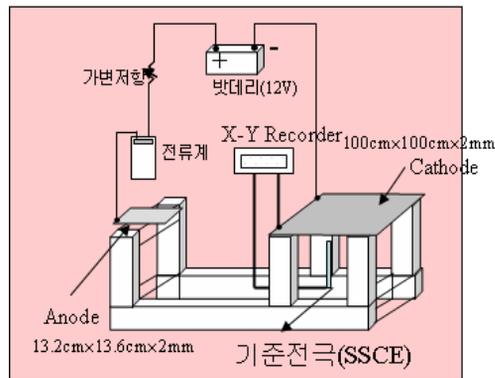


Fig. 1 Schematic of Required Current Density Experiment

음극시편의 정중앙에 기준전극을 위치하여 그곳의 전위가 -800mV(음극방식 적정 전위)가 되도록 양극에서 음극으로 전류를 인가하였고, 시간에 따라 변하는 전류를 측정하여 음극의 면적으로 나누어 소요전류밀도로 환산 하였다.

3.2.2 선체 음극방식 전위 해석

기초 해석 결과를 바탕으로 실구조물의 방식전위를 해석하였다. 실구조물로는 ICCP를 음극방식법으로 사용하는 FPSO(Floating Production, Storage and Off-loading vessel)호의 방식전위를 해석하여 양극의 위치 타당성과 미방식 영역을 조사하였다. 경계조건으로 사용하는 음극의 소요전류밀도는 DNV 선급[1]에서 명시하고 있는 Coating Breakdown Rate를 반영하여 Paint Coating된 선체의 소요전류밀도를 산출하였다. 선체의 총 방식 면적은 45,684m²이었고 양극의 면적은 0.5m²로 양극의 수는 총 12개로 ICCP해석 Data로 사용하였다. Table 1 은 해석에 적용한 기초 Data이다.

Table. 1 Basic Data for FPSO Analysis

Required Current Density	Mean Bare Steel : 90mA/m ² ICCP Design : 26mA/m ² (ab.30%)
Coating Breakdown Rate	- Initial : 2 % - Mean : 15% - Final : 25%
Seawater Resistivity	0.20Ωm at 24℃
Design Life	20 years
Anode Shield Dimension	Side : 10 ×10 m Buttom : 10 ×7.5 m

3.2.3 Coating Breakdown Rate

Paint Coating은 해수와 선체강판의 접촉을 막는 작용을 한다. 그러나 시간이 지남에 따라 Coating이 열화되므로 방식에 필요한 소요전류밀도는 증가하게 된다. 따라서 음극의 경제조건에도 Coating Breakdown[5]을 고려한 부식 거동을 입력해야 한다.

$$Coating\ Breakdown = \frac{current\ density\ on\ coated\ steel}{current\ density\ on\ bare\ steel} \times 100 \quad (7)$$

DNV선급에서는 Coating Breakdown Rate 식(7)을 선형적으로 정의하고 있다. 이는 물리적인 손상, Cathodic disbonding, Blistering 등을 고려한 안전율을 적용한 것이다. Coating Breakdown을 고려한 소요전류밀도는 Table 2와 같다.

Table. 2 Design Required Current Densities with Life Times

Coating Breakdown Rate (%)	Calculation	Design Current Density (A/m ²)
Initial (2%)	$\frac{x\ mA}{90\ mA} \times 100 = 2\%$	2.0
1 yr (3%)	$\frac{x\ mA}{90\ mA} \times 100 = 3\%$	3.0
5 yr (8%)	$\frac{x\ mA}{90\ mA} \times 100 = 8\%$	7.0
10 yr (15%)	$\frac{x\ mA}{90\ mA} \times 100 = 15\%$	13.5
15 yr (20%)	$\frac{x\ mA}{90\ mA} \times 100 = 20\%$	18.0
20 yr (25%)	$\frac{x\ mA}{90\ mA} \times 100 = 25\%$	22.5

4. 해석 결과

4.1 기초해석 검증 결과

시편의 해수 침지 초기에는 450mA/m²로 높은 전류밀도를 나타내지만, 철판의 분극이 진행되고 표면에 전해 생성물이 형성됨에 따라 소요전류밀도는 감소하여 약 20일이 지나면서 90mA/m²로 일정해진다. 컴퓨터 Simulation 결과도 방식전위가 약 -820~-830mV로 실험에서 나타난 -800mV와 거의 유사하였다. 음극판과 전극의 위치가 다소 가까웠던 것을 감안한다면, Simulation 결과는 상당히 일치한다고 판단된다. Fig.2는 소요전류밀도실험 결과와 해석 결과를 비교하였다.

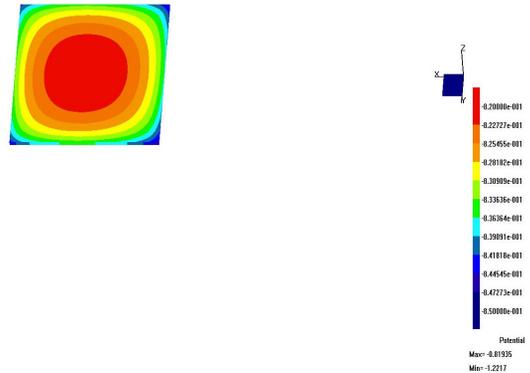
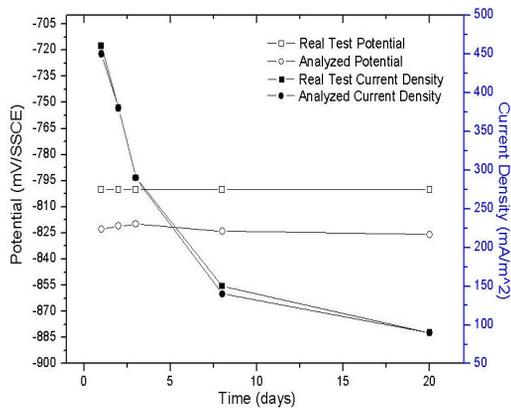


Fig. 2 Comparison of Real test and Analysis result

Fig. 3 Potential level on Cathode Steel Surface

4.2 선체음극방식 전위 해석

실제 선박에서 사용되고 있는 ICCP의 방식전위 분포 해석한 결과 ICCP 설계업체에서 제시하고 있는 설계 음극 소요전류밀도(26mA/m²)인 경우에는 양극의 위치가 부적당한 것으로 나타났다. Fig. 4와 5는 해석 결과와 미방식 영역 결과이다.

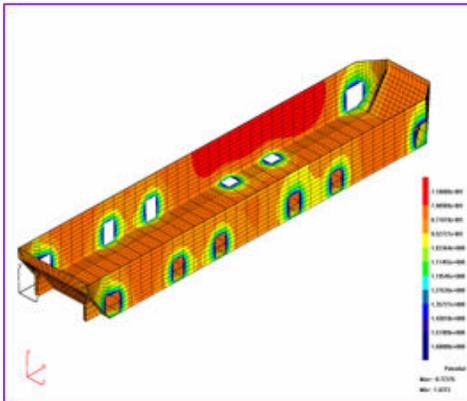


Fig. 4 Potential Distribution at 26mA/m²

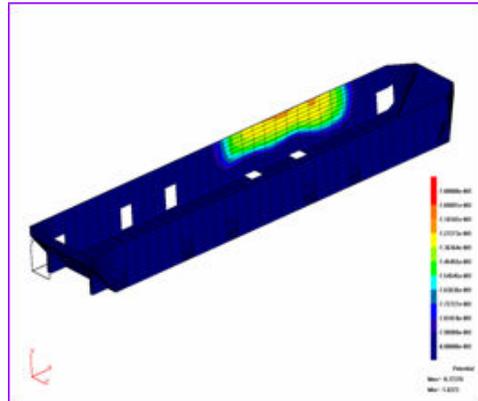


Fig. 5 Under Protection(-800mV) Area Check

그러나 위 결과는 설계 최대 소요전류밀도로 Paint가 손상 되었을 때를 해석한 것이기 때문에 실제 운항중 선체 방식에 필요한 음극소요전류밀도는 이보다 낮은 값이 된다. 이는 운항중인 선박의 ICCP 발생 전류가 설계 전류에 10% 내외인 점이 증거라 하겠다. 따라서 DNV 선급과 NACE Corrosion Engineer's Reference Book에서 명시하고 있는 Coated Steel의 소요전류밀도를 고려하여 재해석하였다. 그 결과 건조 초기에서 사용연도 15년이 경과되는 시점까지는 선체에 -800mV미만인 미방식 영역이 나타나지 않는 완전한 방식 전위를 나타내었다. 그러나 방식전위 하강 곡선 (Fig. 6)을 내삽하여 보면 약 17년이 되는 시점에서는 양극의 위치가 선체 바닥에 위치한 부분의 선체 측면에서 미방식 구간이 발생하여 점차 그 영역이 확대되는 것을 알 수 있다. 미방식 구간이 나타나는 영역은 주변에 부속구들이 많아 양극 설계시 위치를 바닥쪽으로 이동한 것으로 방식 문제보다는 현장 구조물의 설치가 우선이 된 결과라고 하겠다. 사용연수에 따른 방식전위 변화를 Fig.7에 나타내었다.

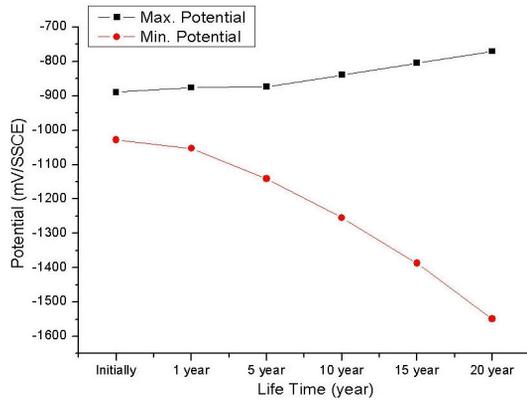


Fig. 6 Variation of Protective Potential with Time

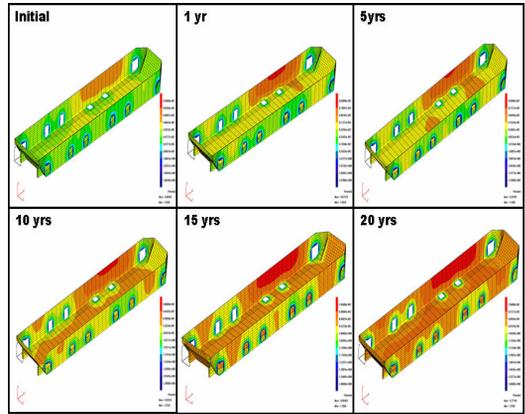


Fig. 7 Contour of Potential Distribution on the hull

4. 결 론

기존 방식설계에 적용된 음극소요전류밀도에 의한 방식 전위분포 해석에선 미방식 영역이 발생하지만, 실제 Coating Breakdown Rate가 작기 때문에 구조물 전체는 방식영역에 속하게 된다. 실험에 의한 Paint 열화율과 관련 기관의 규정에는 차이가 크기 때문에 해석전에 적절한 Coating Breakdown Rate 적용을 고려하여야 한다. 기존의 방식설계 개념을 보완하기 위한 Computer Simulation의 신뢰성을 검증 시험결과 실제 소요전류밀도 실험 결과와 비교적 일치하는 해석결과를 확인하였다. 이 해석 기법으로 현재 운항중인 선박 및 ICCP System을 사용하고 있는 해양 구조물의 방식전위를 해석 할수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] "Recommended Practice DNV-RP-B401" DET NORSKE VERITAS, 2005.
- [2] "Standard Recommended Practice RPO176" NACE International, 2003.
- [3] "防蝕技術便覽 제4, 5권" 한국건설방식 기술연구소 (1995)
- [4] D.A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Maxwell Machilan International Edition (1996)
- [5] Knudsen and Unni Steinsmo "Current Demand for Cathodic Protection of Coated Steel 5 years Data", Paper No. 01512, NACE International 2001.