

BEM(경계요소법)을 이용한 양극형상 설계 연구

이현구, 배정호, 김대경, 하태현, 최상봉, 정성환
한국전기연구소 지중시스템연구그룹

A Study on the Design of Anode Shape using BEM

H.G. Lee, J.H. Bae, D.K. Kim, T.H. Ha, S.B. Choi, S.H. Jeong
KERI

Abstract - Most metal structures such as gas pipelines, oil pipelines, hot water pipelines and power cables etc. are buried in underground. Normally, metal structures corrode in underground by the electrochemical reaction. Then, metal structures need to be protected against corrosion. Cathodic protection is one of useful methods to protect metal structures against corrosion.

In this paper we do the design of anode shape using Boundary Element Method. So we analysis the current density of anode surface and the potential distribution in the electrolyte. Therefore we seek to maximize the anode life and the safety of metal structures.

1. 서론

지하에 매설된 금속시설물의 부식을 방지하기 위하여 도장, 코팅 그리고 전기방식 등의 방식법을 채택하고 있다. 이중 전기방식법은 금속시설물을 대신하여 부식대체물인 양극을 전기적으로 연결하여 부식을 방지하는 방법으로 코팅과 병용하여 널리 이용되고 있다.

이때 전기방식용 양극이 국부적으로 소모되어 떨어질 경우 설계수명만큼 시설물을 방식시킬 수 없게 되며 이로 인해 가스폭발 사고, 구조물 붕괴사고 등의 대형사고를 초래할 수 있지만, 국내에서는 양극의 형상 설계 등에 대한 연구가 미비한 실정이다.[1,2]

본 논문에서는 경계요소법(Boundary Element Method)을 이용하여 양극 형상의 설계를 수행하였다. 즉 양극 표면의 전류밀도와 전해질에서의 전위분포를 해석하였다. 이를 통해 양극수명을 극대화할 수 있으며, 시설물의 안정적인 유지관리를 도모할 수 있다.

2. 양극형상 설계를 위한 수치해석법

2.1 개요

모든 금속은 각각의 고유한 전위를 갖고 있으며, 갈바닉(galvanic) 부식은 서로 다른 두 금속이 동일한 전해질 내에서 전기적으로 연결될 경우 낮은 전위를 갖는 금속이

속이 급격히 부식되는 것이다. 이때 급격히 부식되는 금속을 양극(anode)이라고 하며, 양극형상 설계는 갈바닉 부식 해석과 같다. 갈바닉 부식의 개념도는 그림 1과 같다.

수치해석법을 이용하여 갈바닉 부식과 전기방식을 해석한 사례를 살펴보면 1950년대 Wagner와 Waber가 푸리에 급수(Fourier series)를 이용한 해석적 방법을 활용한 것을 시작으로 1979년에는 Doig와 Flewitt가 유한차분법(Finite Difference Method)을 활용하였고, 1981년에는 Forrest와 Bicichi가 유한요소법(Finite Element Method)을 활용한 예가 있다. 최근에는 경계에만 요소분할을 하여 해석하는 경계요소법(Boundary Element Method)을 활용하는 사례가 많아지고 있다.

2.2 경계요소법

경계요소법은 미분방정식에 대한 그린함수(Green's function)를 이용하여 매질 경계의 상태변수만으로 전체 시스템을 해석할 수 있는 방법으로 경계에만 요소분할을 하여 경계면의 해만 얻기 때문에 미지점의 수가 크게 줄어드는 장점이 있다. 또한, 필요한 경우 원하는 지점에 내부점(internal points)을 설정하여 해를 구할 수도 있다. 그러므로 구조물에 비해 거의 무한대에 가까운 전해질로 구성되는 전기방식 관련 해석에서는 가장 효율적이고 정확하다. 하지만, 복잡한 구조에서의 그린함수 계산, 비균등 매질의 처리, 일반화된 프로그램으로의 구현성 등에서는 아직 문제점이 남아 있다.[3]

3. 양극재료 특성

3.1 분극특성

전기방식 분야에서 상용되고 있는 양극과 음극 재료에는 마그네슘(Mg), 흑연(Graphite), SUS316, 황동(Brass), 티타늄(Ti), 철(Steel), 강철(Cast iron), Al2024 그리고 청동(Bronze) 등이 있다. 각각의 재료에 대하여 분극 실험을 수행하였다. 실험 장비로는 Gamry사의 Potentiostat CMS100을 사용하였으며 실험 조건은 표 1과 같다.[4]

표 1 분극 실험 조건

항 목	내 용
Scan	-0.6 ~ 1.6 [V]
시편 면적	1.389 [cm ²]
전 극	6 [gm/cm ³]
Delay Time	3.600 [sec]
IR Comp.	Off
전해질	1N H ₂ SO ₄ Solution

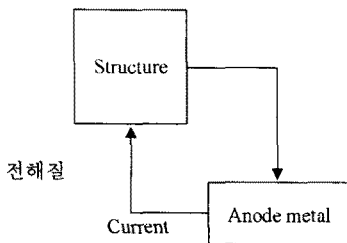


그림 1 갈바닉 부식 개념도

각각의 재료에 대하여 표 1의 같은 조건에서 분극특성 실험을 수행하였으며, 그림 2는 각각의 재료별로 실험한 분극곡선 중 흑연(Graphite)에 대한 측정결과를 대표적으로 도시한 것이다.

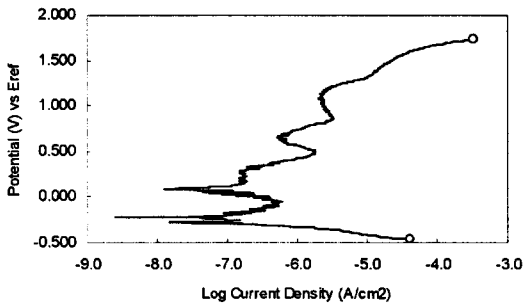


그림 2 흑연의 분극곡선

3.2 갈바닉 부식실험

분극 실험을 실시한 각각의 재료에 대하여, 갈바닉 부식 실험을 실시하였다.

전위가 가장 낮은 마그네슘(Mg)을 양극으로 갈바닉 쌍을 만들어 각각에 대하여 전위와 전류 밀도의 변화를 측정하였다. 실험 장비는 분극 실험에 사용한 Gamry사의 Potentiostat CMS100을 사용하였으며, 황산(H₂SO₄) 수용액에서 이온화 경향이 큰 마그네슘(Mg)의 특성을 고려하여 측정 시간은 10분으로 하였다.

표 2는 각 쌍에 대한 갈바닉 부식 실험 결과이다. 전위와 전류 밀도 모두 시작값과 최종값을 비교하여 그 특성을 조사하였다. 그 결과 전위차와 전류 밀도 모두 흑연과 마그네슘 쌍의 특성이 가장 우수했으며, SUS316과 마그네슘 쌍의 특성도 경제성과 제작의 용이성을 포함할 경우 양호한 특성을 보였다.

표 2 갈바닉 부식실험 결과

시 편	Potential [mV/NHE]	Log Current Density [A/cm ²]
Graphite - Mg	-2,003/-1,983	-1.1/-1.2
Ti - Mg	-1,756/-1,713	-0.9/-0.8
Al2024 - Mg	-1,321/-1,324	-0.9/-0.9
Al - Mg	-1,034/-1,088	-0.8/-0.8
SUS316 - Mg	-1,933/-1,944	-0.7/-0.7
Brass - Mg	-1,506/-1,525	-0.9/-0.9
Bronze - Mg	-1,484/-1,523	-0.8/-0.9
Cast Iron - Mg	-1,159/-1,154	-1.0/-0.9
Steel - Mg	-930/-924	-0.9/-0.9
Zn - Mg	-569/-558	-0.9/-0.9

그림 3은 SUS316과 마그네슘 쌍의 갈바닉 부식 실험 결과이다. 측정 시간은 10분이며 시편의 단면적은 1.389(cm²)이다. 전류 제한치는 1[A]로 하였으며, 1초 간격으로 측정하였다. 그리고, 전위와 전류 밀도 특성이 가장 우수한 흑연과 마그네슘 쌍에 대해서는 6시간 동안 갈바닉 부식 실험을 실시하였다. 전류 제한치와 시편의 단면적은 동일하게 하고, 5.5초 간격으로 측정 한 결과를 그림 4에 도시하였다.

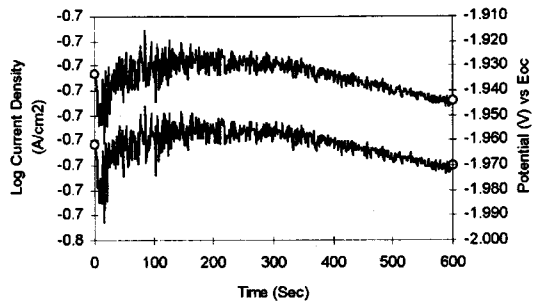


그림 3 SUS316-Mg 갈바닉 부식실험 결과

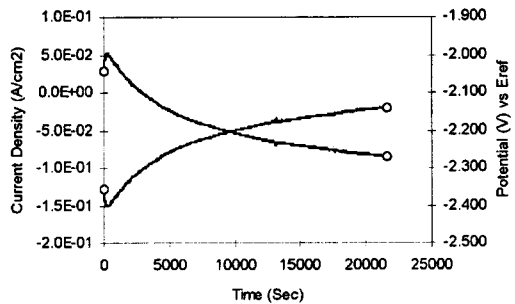


그림 4 Graphite-Mg 갈바닉 부식실험 결과

4. BEM을 이용한 양극형상 설계

4.1 해석모델

직경 1[cm]의 마그네슘(Mg)과 흑연(Graphite) 시편에 대한 갈바닉 부식을 해석하였다. 가로, 세로 길이가 각각 30, 20[cm]인 용기에 1N 황산(H₂SO₄) 수용액을 전해질로 해석하였다. 경계요소법(Boundary Element Method)을 이용한 갈바닉 부식 해석 모델의 개략도는 그림 5와 같다.

여기서, 황산 수용액을 전해질로 사용한 이유는 토양의 비균등성 때문에 일반적으로 실험실에서 재료의 분극 특성 시험에 활용되는 황산 수용액을 전해질로 사용하였다. 해석에 사용된 파라미터 중 음극(흑연) 재료의 분극 특성은 앞장의 분극실험 데이터를 활용하였으며, 마그네슘 전위는 -1,900[mV]를 사용하였다.[5]

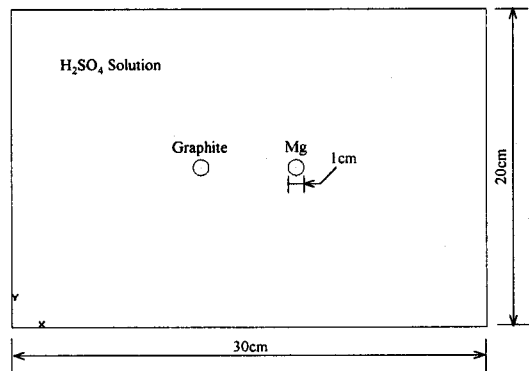


그림 5 갈바닉 부식 해석모델 개략도

4.2 해석결과

마그네슘과 흑연간의 갈바닉 부식을 해석한 결과는 다음과 같다. 전해질 내에서의 전위 분포는 그림 6과 같다. 흑연 표면에서 약 -1.037[mV] 의 전위 값이 계산되었다. 그림 7은 마그네슘 표면의 전류 밀도 크기를 그래프로 나타낸 것으로, 흑연과 가장 가까운 부분의 값이 가장 크게 계산되었다.

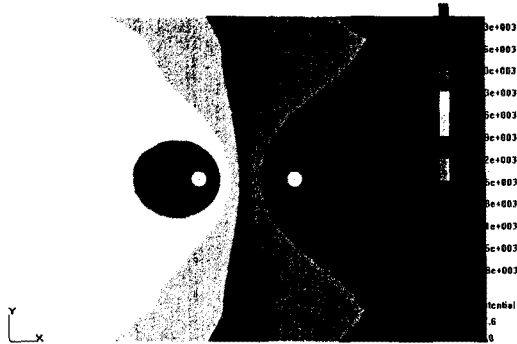


그림 6 전해질에서의 전위 분포

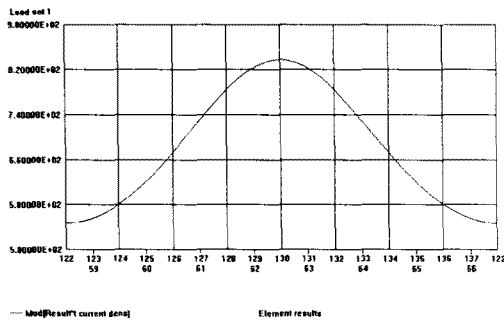


그림 7 Mg 양극 표면의 전류밀도

5. 결 론

본 논문에서는 전기방식 분야에서 상용되고 있는 재료에 대한 분극실험을 수행하였으며, 전위가 가장 낮은 마그네슘을 양극으로 갈바닉 쌍을 만들어 각각에 대한 전위와 전류밀도 변화를 측정하는 갈바닉 부식 실험을 수행하였다. 그 결과 흑연과 마그네슘 쌍의 특성이 가장 우수했으며, SUS316과 마그네슘 쌍의 특성도 경계성과 제작의 용이성을 포함할 경우 양호한 특성을 보였다.

이 결과를 토대로 경계요소법을 이용한 양극 형상 설계를 수행하였다. 즉 양극 표면의 전류밀도와 전해질에서의 전위분포를 해석하였다. 이를 통해 양극수명을 극대화할 수 있으며, 시설물의 안정적인 유지관리를 도모할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. Morgan, "Cathodic Protection". 2nd Edition, NACE, 1993
- [2] D.A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Prentice Hall, 1997
- [3] C.A. Brebbia, "Topics in Boundary Element Research Vol. 7 Electrical Engineering Applications", Springer-Verlag, 1984
- [4] H.P. Hack, "Galvanic Corrosion Test Methods", NACE International, 1993
- [5] "BEASY User Guide, Volume 2 Corrosion and CP Guide", Computational Mechanics BEASY Ltd, 1998