

국내 전력설비에 대한 전기방식 기술 적용 현황

■ 배 정 호 / 한국전기연구원 지중시스템연구그룹 책임연구원

서 론

최근 우리나라의 국가 기간시설물(가스관, 송유관, 상하수도관, 철골구조물, 철교량, 전력설비, 화학플랜트, 철근 콘크리트 건물 등)의 부식으로 인한 직·간접적인 손실은 연간 약 20조원(2000년 GNP의 4% 기준) 상회하고 있으나, 정책입안자 뿐만 아니라 전기분야를 포함한 실제 피해 당사자들조차도 정확한 그 피해 규모나 대책의 필요성을 인지하지 못하고 있는 것이 심각한 문제점으로 대두되고 있다.

선진국에서는 일찍이 부식 피해의 정량적인 결과인 부식비용에 대하여 조사·연구해 왔다. 이런 부식비용은 부·방식분야에서 관련 정책입안과 연구를 위한 귀중한 자료로서 없어서는 안될 정보임에도 불구하고, 조사대상 자료의 방대함과 조사·연구인력 및 재원 마련의 어려움 때문에 국내에서는 엄두조차 낼 수 없는 실정이다. 이 분야에서 기술적으로서 선도를 하고 있는 미국에서는 1940년대 후반에 Uhlig가 처음으로 부식 비용의 평가 자료를 발표한 이후, 최근 NACE(National Association of Corrosion Engineers) International에서는 2002년 6월에 미국

산업전반에 걸쳐 부식비용이 어느 규모인지를 방식업체를 포함한 관련 여러 기관과 협조하여 그 결과를 발표하였다.

따라서 본 글에서는 NACE에서 발표한 자료를 바탕으로 미국의 부식비용에 대한 사례들 중 전력설비에 대하여 비교적 상세히 소개하기로 한다. 그리고 국내의 전력설비에 대하여 부식을 방지하기 위한 전기방식기술적용에 대한 현황을 소개하여 국내 관련 분야 종사자들에게 도움을 주고자 한다.

부식 비용(Corrosion Cost)

최근 부식 비용(Corrosion Cost)은 부식으로 인한 직·간접 손실을 모두 포함한 비용으로 산출하고 있으나, 초창기인 1940년대 후반에 미국의 Uhlig는 부식 비용을 직접적인 부식손실비용의 합산에만 중점을 두어 조사하였다. 그후, 미국에서는 1975년 National Bureau of Standards 와 Battelle Columbus 연구소가 공동으로 연구한 결과, 부식으로 인한 직·간접적인 손실이 GNP의 약 3~5% 인 것으로 조사되었다. 또한 미국에서는 1999년부터 EPRI(Electric Power Research Institute)를 중심으로 에너지 설비

에 대한 부식손실을 조사하여 2001년 10월에 그 결과를 발표하였다. 그리고 일본에서는 1977년에 부식손실 비용에 관한 첫 보고서에 부식으로 인한 직접적인 손실만 GNP의 1~2%가 된다고 보고하였으며, 1999년 4월에 JSCE(Japan Society of Corrosion Engineering)와 JACC(Japan Association of Corrosion Control)가 협동으로 위원회를 구성하여, 부식손실 비용에 대한 결과를 2001년 3월에 발표하였다. 최근 NACE(National Association of Corrosion Engineers) International에서는 2002년 6월에 미국 산업전반에 걸쳐 부식비용이 어느 규모인지를 방산업체를 포함한 관련 여러 기관과 협조하여 그 결과를 발표하였다.

이때 연구 조사의 주축이었던 CC Technologies Laboratories, Inc는 "미국 내에서의 부식 비용과 방식 전략"이라는 제목으로 1999년에서부터 2001까지 FHAW와 NACE의 지원하에 수행을 하였다. 이 연구의 주된 목적은 부식 제어 방법과 제어 서비스 비용의 결정, 특정 산업 분야에서의 부식으로 인한 경제적 손실의 결정, 각 분야의 비용들에서 국가적 총 부식비용의 산정, 최적화된 부식 제어 기술의 효과적인 이행의 평가, 비용 절약 전략 및 실행 방안 등에 대하여 결과를 도출하는 것이다. 연구결과, 미국 전체의 직접적인 부식비용은 연간 총 2,760억 달러(국내총생산(GDP)의 약 3.1%) 규모였다. 그리고 비록 부식 관리(Management)는 과거 몇 10년 동안 많이 개선되었으나, 최적 부식 제어 기술을 개발, 재정 지원, 실행 등을 위해 좀 더 나은 방법을 찾아야 하는 것

으로 평가되었다. 이 연구에서 미국의 산업을 5개 부문인 사회 간접 시설, 공공시설, 운송시설, 생산과 제조시설, 정부시설로 분류하여 각각에 대하여 부식비용을 산출한 결과 (그림 1)과 같이 5개 산업분야의 직접적인 총 부식비용은 1,379억 달러로 산출되었다.

이중 전력설비가 포함되어 있는 공공시설(Uilities)은 전체 34.7%인 \$47.9 Billion 달러로 가장 큰 부분에 해당하였다.

공공 시설에 대한 상세한 부식비용을 살펴 보면 다음과 같다.

① Gas Distribution

미국 내의 천연가스 배관망은 상대적으로 작은 직경 관 2,785,000km, 주 배관 1,739,000km 와 공급관 1,046,000km을 포함한 저압 파이프를 보유하고 있다. 많은 주 배관들 (57%)와 공급 파이프라인 (46%)는 부식과 연관되는 철강, 주철, 또는 구리로 되어있으며 연간 총 부식비용은 50억 달러로 평가되었다.

② Drinking Water and Sewer Systems

American Water-works Association (AWWA)의 자료에 따르면, 대략 미국 내에 상수도 파이프는 1,483,000km에 달하며, 하수 시스템은 하루에 오수 1억55백만 m³ (410억 gal) 방류하는 16,400개소의 공공처리 시설로 구성되어 있다. 오래된 시설의 교체, 파손 부분으로부터의 물 손실, 부식 억제제 첨가, 내부 mortar 처리, 외부 코팅, 전기 방식을 포함한 상·하수도의 총 부식비용은 360억 달러로 평가 되었다.

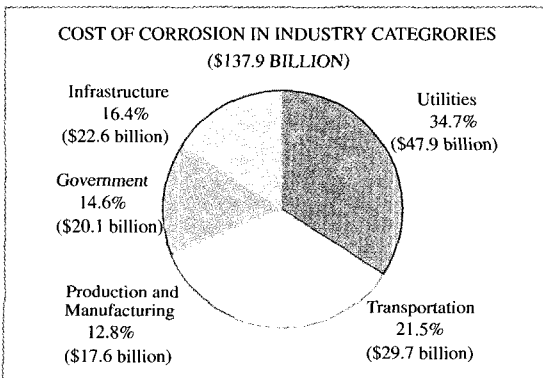


그림 1 5개 분야의 부식비용 구성표

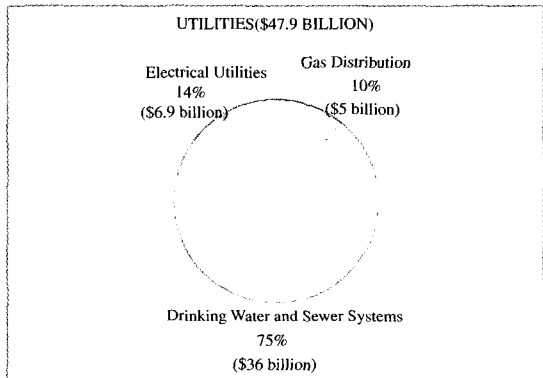


그림 2 공공시설의 부식비용 구성표

③ Electrical Utilities

발전소는 화력, 원자력, 수력, 폐기물 재활용, 지열, 태양열, 풍력 등 7가지로 분류된다. 미국 내 발전은 대부분 화력과 원자력에 의존한다. 전력설비의 전체의 부식 비용은 (그림 2)와 같이 69억 달러로써, 원자력이 42억 달러로 가장 큰 부분을 차지하고, 화력이 19억 달러, 수력과 기타 발전이 1억 5천만 달러, 송전과 배전 시설이 6억 달러 순이다.

④ Telecommunications

통신 시설은 장비 보관소와 안테나, 전송장치, 리시버, 텔레비전과 전화시스템을 설치하기 위한 타워뿐만 아니라 전자, 컴퓨터, 데이터 전송장치와 같은 하드웨어를 포함한다. 통신시설의 부식비용은 매설 구리 접지 시설의 부식과 매설 철강 구조물의 갈바닉 부식과 관련되나 통신분야는 그 산업의 변화가 매우 빠르고 구성 성분들의 기술이 너무 빨리 쇠퇴하여 파손도 되기 전에 교체되기 때문에 부식비용을 결정할 수 없었다.

국내 전력설비에 대한 전기방식 시스템

1. 개요

우리나라에서 전력설비분야의 부식손실을 직접 계산한 사례는 없으나 선진국의 사례(미국 National Association of Corrosion Engineers)를 근거로 계산해 볼 경우 GNP의 약 0.15%(2000년 기준 7,500억원)에 이르는 것으로 추정되고 있다.

아울러 부식사고는 이러한 경제적인 손실 뿐만 아니라 가스폭발, 정전사고 등 금액으로 환산할 수 없는 막대한 피해를 초래하기도 한다. 따라서 최근에는 이러한 부식의 중요성을 깨닫고 부식을 방지하고자하는 설비투자가 증가 추세에 있다.

이 글에서는 전력설비에 적용하고 있는 부식방지설비인 전기방식 시스템의 기본 원리와 설비별 전기방식 시스템 적용 현황과 국내의

부식방지 기술의 변화 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 전기방식법

1) 전기방식 기술 개요

방식기술(防蝕技術) 분야에는 재료 선택, 화학적 처리 및 코팅 처리 기술 등이 있다. 이 중에서 전기방식 기술은 코팅방법과 함께 사용될 경우에는 일반적으로 가장 경제적인 방법으로 알려져 있다. 전기방식기술의 종류에는 금속의 전기화학적 전위(Electrochemical Potential)를 금속 고유의 자연전위(Natural Potential)보다 올려서 부식을 방지하는 양극방식법(Anodic Protection)과 자연전위보다 전위를 내려서 부식을 방지하는 음극방식법(Cathodic Protection)이 있으며, 이 중 음극방식법이 적용의 편리함, 경제성 등의 관점에서 가장 보편적으로 사용되고 있다. 그리고 전기방식법에는 아래와 같이 서로 다른 금속의 전위차를 이용한 희생양극법과 외부에서 전원을 공급하여 전기적으로 부식을 시키는 외부전원법이 있다.

전기방식법은 원리적으로 양극의 표면에서 전류가 전해질로 유출하는 지점에서 산화반응이 일어나면서 부식하므로, 회로적으로 방식대상물 표면에 전류를 전해질을 통해 유입시켜서 산화반응을 멈추게 하여 부식이 일어나지 않도록 하는 방법을 말한다.

① 희생양극법

토양이나 해수 등과 같은 전해질 속에 있는 피방식

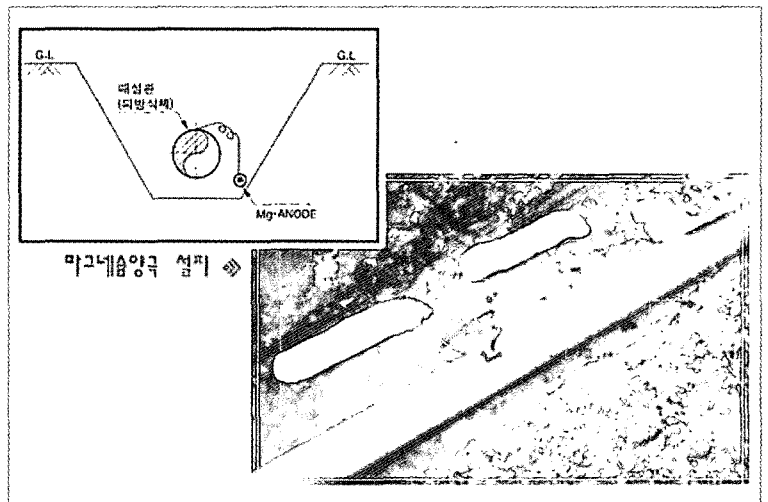


그림 3 희생양극법 개요도

체보다 더 전위가 낮은 금속(마그네슘, 아연, 알루미늄 등의 양극)을 전기적으로 연결하여 방식시키는 방법이다.

② 외부전원법

해수나 토양 등의 전해질 내에 불용성 양극을 직류 전원장치의 (+)단자에 연결하고 피방식체에는 (-)단자를 연결하여 양극으로부터 전해질(토양)을 통하여 피방식체 표면으로 방식전류가 흐르게 하여 방식시키는 방법이다.

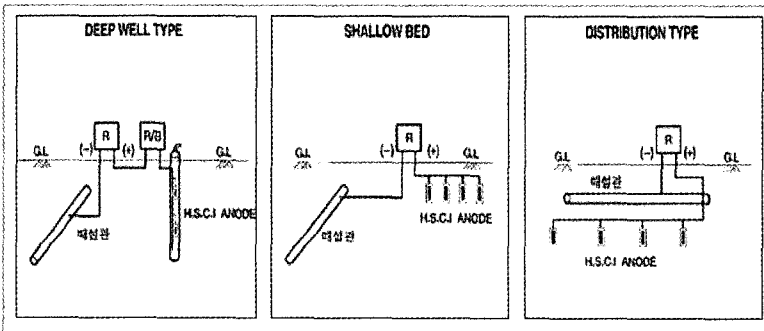


그림 4 외부전원법 개요도

3. 전력설비별 전기방식 시스템 적용 현황

우리 나라에서는 1960년대 말까지는 발전소를 비롯한 산업설비에 전기방식법(Cathodic Protection System)이 적용되기는 하였지만, 전기방식 설비는 수입기에 포함되어 외국 기술진의 주도하에 건설되었기 때문에 국내 기술진에서는 전기방식에 대하여 잘

알지 못하였다. 전기방식법이 구체적으로 현장에 적용된 것은 국내 중소기업인 전기방식 업체에 의해 시작되었다. 이렇게 태동한 전기방식 기술은 어언 30년의 역사를 가지고 있다.

최근의 전기방식기술은 가스배관을 비롯한 지중에 매설되어 있는 국가기간시설물 뿐만 아니라 발전소, 화학플랜트, 철근 콘크리트 건물, 해양구조물 등 적용 범위는 매우 광범위하다.

특히 전력설비에 대한 전기방식법은 <표 1>에서 <표 3>까지와 같이 광범위하게 적용하고 있고, 발전소에서 기타 송배전설비 등으로 확대되고 있는 추세에 있다.

4. 부식방지기술의 변화

국내 전기방식분야에서는 <표 4>에서와 같이 80년대 수동으로 전위를 측정하거나 관련 계측기들을 전량 외국에서 수입하여 사용해오다가 90년대 수반부터 자동화 및 기자재 국산화로 인해 상당부분 기술이 선진국수준에

뒤떨어 지지 않는 수준에 이르렀다.

맺음말

부·방식기술은 그 중요성에 비추어 볼 때 아직까지 대 국민 인식 제고 혹은 정부의 관심도는 아직 미흡하다고 볼 수 있다. 그러나 현재 부·방식관련 학계 산업

표 1 전력설비별 전기방식법 및 적용 양극 설비 현황(화력 발전소)

	방식 대상	전기방식법	적용 양극
해수측	INTAKE	희생양극법	Al-Alloy
	해수배관(취수측)	외부전원법	Pb-Ag/Pt-Ti
	복수기	외부전원법	Pb-Ag/Pt-Ti
	열교환기	외부전원법	Pb-Ag/Pt-Ti
	해수배관(배수측)	외부전원법	Pb-Ag/Pt-Ti
Underground	방수로	희생양극법	Al-Alloy
	지하배관	외부전원법	HSCI Anode
	Tank 바닥	외부전원법	HSCI Anode
기타	집지	외부전원법	HSCI Anode
	Main Transformer / Overhead Crane	Rust Arrestor	

표 2 전력설비별 전기방식법 및 적용 양극 설비 현황(원자력 발전소)

	방식 대상	전기방식법	적용 양극
경수로	화력발전소와 유사한 부분	화력발전소에 적용한 방법과 동일	
	원자로	외부전원법	HSCI Anode
	INTAKE 콘크리트구조물	외부전원법	HSCI Anode
중수로	화력발전소와 유사한 부분	화력발전소에 적용한 방법과 동일	

표 3 전력설비별 전기방식법 및 적용 양극 설비 현황(송배전설비)

	방식 대상	전기방식법	적용 양극
송전선로	POF Cable의 가관	외부전원법	HSCI Anode
	철탑기초	희생양극법	Mg Anode
배전선로 ¹⁾	중선선 접지	희생양극법	Mg Anode
	변전소 접지	외부전원법	HSCI Anode

주¹⁾: 현재 계획 중

표 4 분야별 국내 부식방지 기술의 현황

구분	1980년대	1990년대 초	1990년대 후반
전위측정	<ul style="list-style-type: none"> EPR(Electronic Poly Recorder) 사용 단속적인 측적으로 방식전위 분석이 어려움 측정의 인위적인 오차 발생 비경제적, 비효율적임 사고발생 위험 상존 	<ul style="list-style-type: none"> Data Logger 사용 일정 기간 연속 측정 가능 Test Box 내에 설치 및 회수 작업이 다소 번거로움 	<ul style="list-style-type: none"> 유·무선 원격 부식감시 및 제어 실시간 On-Line 감시 및 제어를 통해 안전성과 편의성 증대 최소 인원으로 시설물 유지·관리 데이터 분석의 신뢰성 확보
부식률 측정	<ul style="list-style-type: none"> 측정하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 외국에서 전량수입 	<ul style="list-style-type: none"> 부식률 측정 쿠폰(Coupon) 이용 ER(Electrical Resistance) 센서 개발
부식방지 설계	<ul style="list-style-type: none"> 외국설계 자료 모방 국내 현실과 상이 비경제적인 방법 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 표준설계법 적용 경제적인 방법 적용 국내 현실 보완 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 수치해석법 적용 최적 설계 가능
부식방지 설비 국산화	<ul style="list-style-type: none"> 외국에서 전량 수입 	<ul style="list-style-type: none"> 희생양극 개발 Mg Zn Al 전기방식용 정류기 개발 SCR 방법 	<ul style="list-style-type: none"> 불용성양극 개발 HSCI Pt-Ti Pb-Ag 전기방식용 정류기 개발 고속 스위칭 방법
부식감시 장치 국산화	<ul style="list-style-type: none"> 외국에서 전량 수입 	<ul style="list-style-type: none"> Data Logger 개발 MODEL: SACORM 일본의 Frog Boy 와 유사 	<ul style="list-style-type: none"> 원격부식감시장치개발 유·무선 원격부식감시 장치개발(TRS 외) 누설전류측정치 개발(SCL)

계 연구계 등이 관련기술개발에 박차를 가하고 있으며, 국내 방식업체와 시설물 소유자들도 점진적으로 부·방식기술에 대하여 관심을 높여가고 있는 것은 고

무적이라 할 수 있다.

그러나 선진국에서는 NACE(National Association of Corrosion Engineers) International 에서 관련 기술 개

발 및 표준화에 앞장서고 있으며, 일본의 전식방지연구위원회와 같은 협의체 등을 운용하여 효율적으로 전기방식기술을 현장에 적용하고 있으며, 전 세계적으로 신기술개발 및 신제품 개발에 혈안이 되어 있는 점은 국내의 관련 기술자들에게 여러면에서 지표가 될 것이다.

따라서 국내에서도 전기방식 기술의 제고에 관심을 기울려 부식으로 인한 경제적인 손실, 환경오염 및 대형사고를 예방함은 물론 국민복지 증진에 이바지하여야 할 것이다. 특히 최근 전력 IT 기술개발에 즈음하여 전력설비의 부식예방으로 안정성 확보 및 신뢰성 제고에 한몫하기를 기대한다.

[참고 문헌]

[1] "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" 한국가스공사, 1995. 5
 [2] 전식방지연구위원회, "신관 전식, 토양부식핸드북", 전기학회, 1988.
 [3] "부식과 방식기술(기초과정 I, III)" 한국건설방식기술연구소,
 [4] "전기방식 정밀 진단 용역(1)", 한국가스공사, 1996. 3

[5] R. Srinivasant, J.C. Murphy, "Fundamental Advances for Characterizing Cathodic Protection Systems", GRI-92/0630, 1962.
 [6] A.A. Sauges, et al., "Characterization of a solid reference electrode for corrosion measurements of steel in concrete", Proceedings of the first Mexican Symposium on Metallic Corrosion, 7-11 March, 1994, pp.43-52.
 [7] S.J. Pawel, R.J. Lopez, E. Ondak, "Chemical and environmental influences on copper/copper sulfate reference electrode half cell potential", Materials Performance, May, 1998, pp.24-29.
 [8] Michael J.Szeliga, 외 2명 "Stray Current Control Washington Metropolitan Area Transit Authority's A-Route" CCI, 1990.
 [9] John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, January 1993.
 [10] "Cathodic Protection Interference Training Guide", The Gas Company Bill Graves Local Distribution Services Technical Consultant, February 1996.
 [11] 배정효, 하윤철, 하태현, 이현구, 김대경 "지하철 누설전류의 실시간 무선 원격 감시 시스템용 매설형 기준전극", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2005.