

국내 전기방식 시스템의 성능평가를 위한 시험방법에 대한 표준화 연구

■ 배정호, 이지인, 하태현, 이현구, 김대경 / 한국전기연구원 지중시스템연구그룹

서론

산업의 발달과 함께 금속시설물이 크게 증가하고 있으며, 이와 함께 기간시설물의 부식(腐蝕)으로 인한 대형사고(가스배관 폭발사고, 송유관 누유에 의한 토양오염, 상수도관 및 열배관 누수사고, 지중 POF 송전선의 단전사고, 대형 철골건물의 붕괴, 인?축의 안전사고 발생 등)의 위험이 점차 증가함에 따라 시설물소유자들은 이러한 대형사고를 미연에 방지하기 위해 부식방지를 위한 전기방식설비(電氣防蝕設備)를 갖추고 있다.

선진국에서는 일찍이 전기방식설비의 개발과 개발에 필요한 규격들을 정비하여 적용하고 있어 전기방식설비의 신뢰성을 확보하고 있다. 그러나 국내에서는 전기방식설비에서 가장 범용적인 희생양극은 물론, 외부전원설비의 양극으로 가장 많이 사용되고 있는 불용성 양극에 대한 성능규격과 시험평가방법에 대한 규격이 없을 뿐만 아니라, 전기방식용 정류기는 한전 표준규격(ESB 157)의 충전장치에 준하여 시험을 하고 있는 실정이다. 그리고 적용하는 회사마다 전기방식설비의 사양이나 특성이 다르며, 발주처에서 적용할 수 있는 규정이 없어 해외의 규정을 무분별하게 준용하거나 설계여유를 과도하게 두어 경제적인 낭비를 초래하고 있는 실정이다.

또한 시험평가방법이 표준화되어 있지 않고 범용적인 시험평가의 의무가 없으므로 질 낮은 전기방식시스템의 설치로 인한 대형사고의 위험이 상존하고 있다.

본 연구에서는 전기방식용 정류기, 배류기, 각종 양극 등과 같은 전기방식설비에 대한 국제 규격을 조사하였을 뿐만 아니라, 전기방식법의 표준화를 위해 국내 방식업체에서 가장 많이 사용하고 있는 전기방식설비들을 조사하고 분석하였다. 이를 통해 국내 실정에 적합한 전기방식설비에 대한 성능을 평가하는 방법에 대하여 국내 표준(안)을 제시하였다.[1, 2, 3]

전기방식설비

전기방식설비에는 방식방법에 따라 여러 가지가 있을 수 있다. 여기서 일반적으로 널리 사용되고 있는 전기방식설비를 정리하면 아래와 같다.

① 양극

- 희생양극 : 알루미늄(Al), 아연(Zn), 마그네슘(Mg)
- 불용성 양극 : 고규소철(HSCI), 연은(Pb-Ag), 백금티타늄(Pt-Ti)

② 전기방식용 정류기

- 수동 정류기

- 자동/수동 정류기
- ③ 전기방식용 배류기
 - 선택 배류기
 - 강제 배류기
- ④ 부속설비
 - 코크브리지(Coke breeze)
 - 마그네슘 양극의 백필(Backfill)재
 - 양극 인출선

국내 전기방식 적용 현황

국내에 전기방식법이 실질적으로 도입되어 산업현장에 적용된 시기는 1960년대 후반으로 볼 수 있지만, 그 이전에도 학계나 산업계에서는 나름대로 선진국으로부터 여러 가지 경로를 통하여 전기방식법을 접하고 있었다.

제1,2차 경제개발 5개년 계획(1962~1971)의 공업입국(工業立國)에 발맞추어 발전소, 제철소, 정유공장 및 석유화학공장 뿐만 아니라 항만 설비 등 산업전반에 걸쳐서 대형시설물들이 건설되기 시작하였고, 전기방식에 대한 관심도 자연스럽게 고조되기 시작하였다.

초창기의 방식대책은 대부분 외국기술이나 외국의 기술진에 의존하는 실정이었다. 더욱이 전기방식에 대한 이해와 자료의 부족 등으로 인하여 전기방식법이 적용된 곳은 부식조건이 가혹한 해양구조물이나 해수를 이용하는 시설 등 일부에 국한되었으며, 전기방식을 전문업종으로 하는 전기방식 전문회사도 극소수에 불과하였다. 이후 1970년대와 1980년대를 거치면서 국내의 산업도 급속한 발전을 하게 되고, 더불어 전기방식분야도 학계나 산업계에서 꾸준히 연구개발이 시도되어 상당한 진척을 가져왔다.

현재 국내 전기방식기술은 기술의 유아기 수준은 탈피하였지만 아직 미흡한 부분이 있다고 볼 수 있다. 한편, 국내의 국가기간시설물들은 대부분 전기방식시설이 적용되어 있다고 해도

과언이 아니다. 따라서 모든 분야를 언급하기에는 지면이 부족하므로 전기분야에 초점을 맞추었고, 대표적으로 발전소에 적용된 전기방식법에 대하여 정리하였다. 국내에서 전기방식법이 최초로 적용된 시설물은 발전소로써 미국에서 희생양극을 취부한 채로 수입 건설된 부산화력 발전소 1,2호기의 취수설비(Band Screen)에 적용된 것이 최초이다. 그리고 그 이후 부산화력 발전소 3,4호기의 해수취수설비 및 복수기도 동일에서 외부전원법이 적용된 채로 수입 건설되었다.

이와 같이 1960년대 말까지는 발전소 설비에 전기방식법이 적용되어 사용되기는 하였지만, 전기방식설비는 수입기자재에 포함되어 외국기술진의 주도하에 건설되었기 때문에 방식대책은 대부분 외국기술이나 외국의 기술진에 의존하는 실정이었다.

1960년대 중반이후 국내 학계에서는 전기방식이 학문으로서 강의가 처음 개설되었고, 소수 이기는 하지만 국내학자들의 연구논문 및 조사 보고서 등이 발표되기 시작하였을 뿐만 아니라, 국내 최초의 전기방식 전문회사도 설립되었다.

1970년대에 들어서는 화력발전소는 물론 국내 최초의 원자력발전소인 고리원자력발전소에도 외부전원법이 적용된 채로 수입 건설되었다. 즉, 울산화력발전소 1호기의 복수기에는 Pt-Ti 양극, 냉각기에는 아연 양극이 적용되었으며, 영남화력발전소 2호기의 취수로에는 Pt-Ti 양극이 적용되었다. 그리고 1978년에는 고리원자력 제1발전소용 냉각수도수로의 Steel Sheet Pile, 주복수기, 열교환기, 기기 냉각수 해수배관 내부 등에 미국에서 수입한 외부전원 설비를 적용하였다.

1980년대에는 화력발전소는 물론 원자력 발전소를 포함한 거의 모든 발전소의 해수취수설비와 지하매설 배관, 냉각수 계통 설비 및 탱크(Tank)류, 선박 접안설비의 파일 등에 희생양극

법이나 외부전원법이 적용되었다. 그리고 방식 전위를 자동 제어할 수 있는 자동형 정류기를 사용하기 시작하였으나, 정류기가 설치되어 있는 지점에 직접 가서 방식상태를 감시하여야 하는 불편함이 있었다. 최근에는 방식 상태의 유무를 중앙감시반에서 확인할 수 있도록 한 설비가 적용될 정도로 상당한 발전을 가져 왔다.

전기방식설비의 성능시험평가방법 표준(안)

선진국의 시험평가방법

선진국에서는 1970년대 말에 이미 전기방식용 양극의 성능에 대하여 시험평가방법을 정립하고 시행해 오고 있다. 선진국의 각 방법에 대한 특

표 1 선진국의 희생양극 시험법에 대한 비교표

국가	방법	양극	시험액	전류밀도	시험시간	측정·계산	비교
호 주	정전류법	Al(주기)	0.3($\Omega \cdot m$)이하 20°C 청정해수, ASTM 인공해수, 0.1Ah/l 마다 갱신, 교반	0.5~0.7	10일 이상	AH: kg/Ay E: 1시간 간격의 최종 3회 연속 안정치	AS-2239-1979
미 국	정전류법	Mg	포화황산칼슘-수산화 마그네슘 용액, 22±5°C	0.1	14일	E: 1일, 7일, 2주. AH: Ah/kg	ASTM G 97-89
노르웨이	정전류법 (단기간)	Al	자연해수, ASTM 인공해수, 3% NaCl 용액, 20±3°C 산소포화	1일: 1.5 2일: 0.4 3일: 4.0 4일: 1.5	96±4시간	E: 각시험기간 말에 3점의 평균 AH: Ah/kg,	DNV RP B401 1993
	정전류법 (단기간)	Zn	염도 30% 이상의 청정 자연해수, 갱신(1 l/분), 7~20°C, 산소포화.	1.0	12월 이상	E: 초기2주간은 5일/주 이상, 1회/일 이상, 이후는 1회/주 이상 AH: Ah/kg,	
일 본	정전류법	Al, Zn 주조면 (주기)	ASTM 인공해수, 청정천연해수, 시판인공해수, 20~30°C, 도중의 pH 조절과 갱신 불필요	1.0	168시간	E: mV/SCE 중요직전의 정상치 AH: Ah/kg Eff: %	JSCE S-9301
		Mg 240 연마	ASTM 인공해수에 Mg(OH) ₂ 포화, 20~30°C가 적당, 도중의 pH조절과 갱신 불필요	0.1	240시간		
미 국	전위법	Al (화학 처리)	ASTM 인공해수, 4~5일마다 갱신, 실온(23°C)	0.62 (4mA/in ²)	14일	E: 3시간, 1일, 2일, 3일, 2주 AH: Ah/lb 또는 Ah/kg	NACE Stand. TM 0190-90
	중량감법						
	수소 발생법					Eff: %	

주) E: 양극전위, AH: 유효전기량, Eff: 전류효율

표 2 양극전류밀도 및 시험시간

통전조건 \ 양극	알루미늄계	아연계	마그네슘계
전류밀도[mA/cm ²]	1.0	1.0	0.1
시험시간[h]	168	169	240

징을 비교분석하면 표 1과 같다.[4, 5, 6, 7, 8]

국내 평가방법 표준(안)

희생양극의 성능평가방법

현재 국내 대부분의 수요자들이 주로 JSCE S-9301 혹은 DNV RP B401에 의거하여, 제작사의 자체시험실이나 또는 기술표준원에서 시험한 성적서를 요구하고 있다. 각각을 검토한 결과 국내에서 적용하기 적합한 규격은 JSCE S-9301(Laboratory Test Method of Galvanic Anodes for Cathodic Protection(1993)이었으며, 그 내용을 요약하면 아래와 같다.

㉓ 적용범위

희생양극으로 사용되어지는 알루미늄계 및 아연계 양극의 경우에는 해수 속에서의 성능을 평가하기 위한 것이며, 마그네슘계 양극인 경우에는 백필 중에서 그 성능을 평가하기 위한 시험법에 대하여 규정함

㉔ 개요

① 실용에 가까운 사용조건하에서 희생양극의 성능을 판정하기 위한 정전류 시험법을 사용함

② 일정한 조건 아래에서 외부로부터 전류를 흘려, 양극의 유효전기량(발생전기량)과 전류효율(효율) 및 양극전위를 측정함

③ 음극은 스테인레스강으로 제작된 직경 90[mm], 높이 130[mm] 크기의 원통을 사용함

④ 시험편(양극)

- 크기 : 직경 15 ~ 20[mm]의 둥근 봉
- 시험면적

- 알루미늄계 및 아연계 양극 : 20[cm]

- 마그네슘계 양극 : 40[cm]

⑤ 시험용액 : 1L - 시험기간 중 시험용액의 pH를 조절하거나 용액을 바꿀 필요가 없으며, 온도는 20~30°C로 유지함. 알루미늄계 및 아연계 양극인 경우 인공해수(ASTM) 혹은 깨끗한 천연해수를 사용하며, 마그네슘계 양극인 경우에는 상기 시험용액에 수산화 마그네슘을 포화시켜 사용함

⑥ 시험조건 : 양극전류밀도와 시험시간은 표 2와 같다.

⑦ 전위 측정 :

- 자연전위측정 : 시험용액 속에 시험편을 담근 1시간 후에 측정
- 양극전위측정 : 통전 중 매일 1회 측정

⑧ 결과의 표시 :

- 최종양극전위 : 시험종료 직전의 양극전위 정상치를 표시함

- 유효전기량[Ah/kg]=

$$\frac{\text{전량계로부터구한전기량}(A \cdot h) \times 1,000}{\text{양극감량}[g]} \quad (1)$$

- 전류효율[%] =

$$\frac{\text{유효전기량}(A \cdot h/kg) \times 1,000}{\text{이론 전기량}(A \cdot h/kg)} \quad (2)$$

주조형 양극의 검사방법

희생양극의 성능과 성분 이외의 기타 항목에 대한 검사방법을 요약하면 아래와 같다.[9]

① 치수공차

- 길이 : ±3%
- 두께 : ±10%

- 폭 : ±5%
- 직경 : ±7.5%

② 중량공차

- 개별양극 : ±3% 이내(50kg 미만은 ±4%)
- 총중량: 개별양극의 표준중량의 합계 중량이상

③ 주물재의 균열

- 양극둘레의 2/3를 초과하는 균열이 없을 것
- 작은 균열이라도 내부 철심이 보여서는 안됨

④ 기타

정류기에 대한 시험평가방법

자동/수동 정류기에 대한 평가방법을 요약하면 아래와 같다.

- ① 구조 및 외관 검사 : 각부의 구조와 치수, 부품의 조립상태 및 취부방법, 도장상태, 명판기재사항, 단자기호 및 배선상태 등을 평가하여 기준치에 적합하여야 함
- ② 온도상승 시험 : 정류기의 출력단자에 저항 부하를 접속하여 직류측의 정격출력전압과 정격출력전류를 흘려서, 정류기 각부의 온도가 포화(온도상승변화가 시간당 1℃ 이하)될 때까지 각부의 온도를 측정하여 기준치보다 이하하여야 함
- ③ 상용주파 내전압 시험 : 상용 주파수의 교류전압 2,000V(실효치)를 1분간 인가할 때 견뎌야 함
- ④ 절연저항 시험 : 500V 절연저항계로 측정하였을 때 각 부분의 절연저항 기준치 이상이어야 함
- ⑤ 과전류내량 시험 : 정격출력전압에서 정격출력전류의 120%를 저항부하에 2시간동안 통전하였을 때 내구성을 가져야 함
- ⑥ 효율 및 역률 시험 :
 - 효율 시험 : 교류정격전압과 정격주파수 및 정격출력(저항부하)상태에서 교류 입력전력을 측정하여 다음 식으로 효율을 산출하였을 때 기준치 이상이어야 함

$$\eta = \frac{E_d \times I_d}{P} \times 100 \% \quad (3)$$

여기서 η : 효율(%)

E_d : 정격 직류전압[V]

I_d : 정격 직류전류[A]

P : 교류 입력전력[W]

- 역률 측정 : 효율시험과 동시에 실시하고, 역률계(KS C1303-5)로 측정함

⑦ 출력전압 제어시험 :

- 수동운전 시 : 가변저항에 의하여 출력전압을 조정할 경우에는 최대출력전압까지 연속적으로 비례하여 조정되어야 함
- 자동운전 시 : 기준전극에 의하여 기준방식전위를 설정하면, 피방식체의 방식전위가 이 기준방식전위의 ±2% 범위 내에서 연속적으로 유지되도록 출력전압이 제어되어야 함

⑧ 수하특성 시험 : 자동제어장치는 부하전류가 정격을 초과하여 정격전류의 120% 이상이 흐르게 되면 자동적으로 빠르게 출력단자전압을 강하하여 부하전류의 증가를 억제하는 수하특성을 가져야 함

⑨ 소음레벨 시험 : 정격운전상태에서 정류기로부터 1[m] 떨어진 거리의 높이 1[m] 지점에서 소음레벨을 보통 소음계(KS C 1502)로 측정하였을 때 기준치 이하하여야 함

⑩ 종합동작 시험 : 종합동작 시험은 다음사항에 대하여 이상이 없는가를 조사함

- 표시등의 점멸 상태
- 계기류의 지시 상태
- 개폐기등의 개폐동작 상태
- 각종 경보장치의 동작 상태
- 자동제어 종합동작 상태 : 다수 회로의 경우는 실험실에서 현장여건을 조성하기가 어려우므로 현장에 정류기를 설치한 다음에 평가함

결 론

국내의 전기방식 적용현황에 대하여 조사하고 선진국에서 시행하고 있는 전기방식용 양극의 시험평가방법에 대하여 비교·분석하였다. 그리고 희생양극과 수동/자동 정류기에 대한 국내 시험평가방법의 표준안을 제시하였다. 여기서 언급되지 않은 외부전원용 양극에 대한 시험평가방법은 현재 검토 중에 있으며, 배류기에 대한 시험평가방법은 맥동률을 제외한 대부분의 항목이 정류기의 시험평가방법과 유사하다.

여기서 얻어진 결과는 향후 한국산업규격(KS)의 기초자료로 활용될 것이며 국내 전기방식설비의 질적인 향상을 유도하게 될 것이다. 이를 통해 부식으로 인한 대형사고를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 국내 전기방식설비의 개발시험에 귀중한 지침서로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] “국내 전기방식 시스템 및 시험방법에 대한 표준화 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권 663~665pp, 2001.07
- [2] “국내 전기방식 설비의 실태 조사 및 표준화 연구”, 대한전기학회 합동 추계학술대회 논문집 104~107pp, 2001.11
- [3] “A Study in the Standardization for Cathodic Protection System and its Testing Method in Korea”, The 12th APCCC 2001, Vol 2, 977~982pp, 2001.10

- [4] Australian Standard, “Galvanic(sacrificial) Anodes for Cathodic Protection” AS 2239, 1993
- [5] Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.02 Wear and Erosion; Metal Corrosion, “ASTM Designation : 97-89. Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Magnesium Sacrificial Anode Test Specimens for Underground Applications”, 1994
- [6] Det Norske Veritas Industry AS “Cathodic Protection Design” Recommended Practice RP B 401, 1993
- [7] 社團法人 腐食防蝕協會編, “流電陽極試驗法”, JSCE S-9301, 1993
- [8] National Association of Corrosion Engineers, “Standard Test Method, Impressed Current Test Method for Laboratory Testing of Aluminum Anodes” NACE Standard TM0190-90, 1990
- [9] 한국산업규격 “방식용 마그네슘 양극” KS D 7031, 1997
- [10] IEEE Power Engineering Society “IEEE Standard Practices and Requirements for Semiconductor Power Rectifier Transformers” IEEE Std C57_18_10, 1998
- [11] “JEC 半導・整流裝置(その2)(シリコンおよびゲルマム整流裝置)” JEC-178(1977), 사이타變換裝置 JEC-188(1977)