

국내 전기방식 시스템의 성능평가를 위한 시험 방법에 대한 표준화 연구

배정호^o, 하태현, 이현구, 김대경, 이지인, 김석원
한국전기연구원

A Study on the Standardization of Performance Test Method for Cathodic Protection System in Korea

Jeong-Hyo Bae^o, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim, Ji-In Lee, Suk-Won Kim

Abstract - Generally, the owners of the facilities adopt CP(Cathodic Protection) Systems to protect the corrosion accidents previously. The developed countries have secured the standard of CP systems through the various researches and consolidation of the rules.

So in the first stage, I had been studied the international standards: JSCE, NACE Standard, ASTM, DNV, Australian Standard etc. and standardized the CP systems about items, performance, specifications and so on.

In this thesis, I have been studying the results of standardization of performance test methods of CP system to apply in Korea.

1. 서 론

최근 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 안전 사고 발생 등)의 위험이 점차 증가하고 있다.

일반적으로 시설물소유자들은 이러한 대형사고를 미연에 방지하기 위해 부식 방지를 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 양극(HSCI)에 대한 성능규격과 시험평가방법에 대한 규격이 없을 뿐만 아니라, 전기방식용 정류기는 한전 표준규격(ESB 157)의 충전장치(Battery Charger)에 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 하고 있는 실정이다. 또한 시험평가방법이 표준화되어 있지 않고 법적인 시험평가의 의무가 없으므로 질 낮은 전기방식시스템의 설치로 인한 대형사고의 위험이 상존하고 있다.

이에, 국내의 관련 연구에서는 전기방식설비(방식용 정류기, 배류기, 각종 양극 등)에 대한 국제 규격(JSCE, NACE Standard, ASTM, DNV, Australian Standard 등)을 조사하였을 뿐만 아니라, 전기방식법의 표준화를 위해 국내 방식업체에서 가장 많이 사용하고 있는 전기방식설비들을 조사하고 분석하여 국내 실정에 적합한 전기방식설비에 대한 표준화안을 제시한 바 있다.

따라서 본 논문에서는 기 연구한 연구결과를 바탕으로 표준화된 전기방식 시스템에 대하여 그 성능을 평가하는 방법에 대하여 국내 표준(안)을 제시하였다.

2. 전기방식설비

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

- ◆ 양 극
 - 희생 양극 : Al, Zn, Mg
 - 불용성 양극 : HSCI, Pb-Ag, Pt-Ti
 - 단, MMO 양극은 현재 국내에서 개발 중에 있으므로, 국산화 개발 완료 후에 표준화 작업이 바람직함.
- ◆ 전기방식용 정류기
 - 자동 / 수동
 - 옥내 / 옥외형
 - 공냉식 / 유압식
- ◆ 전기방식용 배류기
 - 선택 배류기
 - 강제 배류기
- ◆ 부속설비
 - Coke breeze
 - Mg-Anode의 Backfill재

3. 국내 전기방식 적용 현황

우리 나라에 전기방식법이 실질적으로 도입된 시기는 1960년대 후반으로 볼 수 있지만, 그 이전에도 학계나 산업계에서는 나름대로 선진국으로부터 여러 가지 경로를 통하여 전기방식법을 접하게 되었다.

제1.2차 경제개발 5개년 계획(1962-1971)의 공업일국(工業立國)에 발맞추어, 발전소, 제철소, 정유공장 및 석유화학공장은 물론 항만설비 등 산업전반에 걸쳐서 대형시설물들이 건설되기 시작하였고, 전기방식에 대한 관심도 자연스럽게 고조되기 시작하였다.

그러나 초창기의 방식대책은 대부분 외국기술이나 외국의 기술진에 의존하는 실정이었다. 더욱이 전기방식에 대한 이해부족과 Data부족 등으로 인하여, 전기방식법이 적용된 곳은 부식조건이 가혹한 해양구조물이나 해수를 이용하는 시설 등 소수에 불과하였으며, 전기방식을 전문업종으로 하는 전기방식 전문회사도 극소수에 불과하였다. 이후 1970년대와 1980년대를 거치면서 우리나라의 산업도 급속한 발전을 하게되고, 더불어 전기방식분야도 학계나 산업계에서 꾸준히 연구개발이 시도되어 상당한 진척을 가져왔다.

현재 국내 전기방식기술은 기술의 유아가 수준은 탈피하였지만 아직 미흡한 부분이 있다고 볼 수 있다. 한편, 국내의 국가기간시설물들은 대부분 전기방식시설이 적용되어 있다고 해도 과언이 아니다. 따라서 본 논문에서는 모든 분야를 언급하기에는 지면이 부족하므로 전기분야에 초점을 맞추어 기술하기로 하며, 대표적으로 발전소에 적용된 전기방식법에 대하여 기술하기로 한다. 그리고 국내 전기방식법은 우연히도 발전소에 최초로 적용되

기 시작하였다. 즉, 국내 전기방식법이 최초로 부산화력 발전소 1,2호기의 취수설비(Band Screen)에 적용되었으며, 이때 미국에서 희생양극을 취부한 채로 수입 건설되어 적용되었다. 그리고 그 이후 부산화력발전소 3,4호기의 해수취수설비 및 복수기도 독일에서 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, 소수이기는 하지만 국내학자들의 연구논문 및 조사보고서 등이 발표되기 시작하였을 뿐만 아니라, 국내 최초의 전기방식 전문회사도 설립되었다.

1970년대에 들어서는 화력발전소는 물론 우리 나라 최초의 원자력발전소인 고리원자력발전소에도 외부전원법이 적용된 채로 수입 건설되었다. 즉, 울산화력발전소 1호기의 복수기에는 Pt-Ti Anode, Cooler 에는 Zn Anode 및 영남화력발전소 2호기의 취수로는 Pt-Ti Anode가 적용되었으며, 1978년에는 고리원자력 제1발전소용 냉각수도수로의 Steel Sheet Pile, 주 복수기, 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 Tank류, 선박 접안설비의 Pile 등에 희생양극법이나 외부전원법이 적용되었다. 그리고 방식전위를 자동 제어할 수 있는 자동형 정류기를 사용하기 시작하였으나, 정류기 Panel이 설치되어 있는 지점에 직접 가서 방식상태를 감시하여야 하는 불편함이 있었다. 최근 방식 상태의 유·무를 중앙감시실에서 확인할 수 있도록 한 설비가 적용됨으로써, 상당한 발전을 가져 왔다.

4. 전기방식설비의 성능시험평가방법 표준(안)

4.1 평가방법의 국내의 현황

선진국에서는 1970년대말에 이미 전기방식용 양극의 성능에 대하여 시험평가방법을 정립하고 시행해 오고 있다. 선진국의 각 방법에 대한 특징을 비교분석하면 표 2와 같다.

4.2 국내 평가 방법 표준(안)

4.2.1 희생양극의 성능평가방법

현재 국내 대부분의 수요자들이 주로 JSCE S-9301 혹은 DNV RP B401에 의거하여, 제작사의 자체시험실이나 또는 국립기술품질원에서 시험한 성적서를 요구하고 있으며, 본 연구에서 검토한 결과 국내에서 적용하기 적합한 JSCE S-9301(Laboratory Test Method of Galvanic Anodes for Cathodic Protection (1993))을 준용하였으며, 내용을 요약하면 아래와 같다.

㉔. 적용범위

이 규격은 희생양극으로서 사용되어지는 알루미늄계 및 아연계 양극의 경우, 해수 속에서 마그네슘계 양극인 경우에는 Backfill 중에서 그 성능을 평가하기 위한 시험법에 대하여 규정하였다.

㉕. 개요

①실용에 가까운 사용조건하에서 희생양극의 성능을 판정하기 위한 정전류 시험법을 사용함

②일정한 조건아래에서 외부로부터 전류를 흘려, 양극의 유효전기량(발생전기량)과 전류효율(효율) 및 양극 전위를 측정함

③음극은 Stainless Steel계 원통으로서, 직경

90mm, 높이 130mm으로 사용함

④시험편(양극) :

크 기 : 15 - 20mm ϕ 의 등근 봉

시험면적 : 알루미늄계 및 아연계 양극 : 20cm²

마그네슘계 양극 : 40cm²

⑤시험용액 : 1L, 시험기간중 시험용액의 pH 조절이나, 용액을 바꿀 필요없음. 온도는 20 - 30℃으로 유지함, 알루미늄계 및 아연계 양극인 경우 인공해수(ASTM) 혹은 깨끗한 천연해수를 사용하며, 마그네슘계 양극인 경우, 상기 시험용액에 수산화 마그네슘을 포화시켜 사용함

⑥시험조건 : 양극전류밀도와 시험시간은 표 1과 같다.

<표 1 양극전류밀도 및 시험시간>

통전조건 \ 양극	알루미늄계	아 연 계	마그네슘계
전류밀도(mA/cm ²)	1.0	1.0	0.1
시험시간(h)	168	168	240

⑦전위 측정 :

-자연전위측정 : 시험용액 속에 시험편을 담근 1시간 후에 측정함

-양극전위측정 : 통전중 매일 1회 시험편의 양극 전위를 측정함

⑧결과의 표시 :

-최종양극전위 : 시험종료 직전의 양극전위의 정상치를 표시함

$$\text{유효전기량}(A.h/kg) = \frac{\text{전량계로부터구한전기량}(A.h) \times 1,000}{\text{양극감량}(g)}$$

$$\text{전류효율}(\%) = \frac{\text{유효전기량}(A.h/kg) \times 100}{\text{이론전기량}(A.h/kg)}$$

4.2.2 주조형 양극의 검사방법

희생양극 성능 이외의 기타 항목에 대한 검사방법은 KS 7031-97 및 해양수산부의 기준을 준용하기로 하며, 그 내용을 요약하면 아래와 같다.

▶치수공차

①도면치수의 5%이내

②양극의 치수 : 양극 윗변, 아랫변, 높이, 길이의 $\pm 2\%$ 이내.

③철심(Sheet Flat Bar) : 두께, 폭, 길이: $\pm 2\%$ 이내

▶중량공차

①개별양극: $\pm 2\%$ 이내(30kg미만은 $\pm 4\%$).

②총중량: 개별양극의 표준중량의 합계 중량이상.

▶주물개의 균열

①양극둘레의 2/3를 초과하는 균열이 없을 것.

②작은 균열이라도 내부 철심이 보여서는 안됨

▶기타

4.2.3 정류기에 대한 시험 평가 방법

자동/수동 정류기에 대한 국내 평가방법은 ESB - 157를 주로 준용하며, 그 내용을 요약하면 아래와 같다. 아래의 각 기준치들은 참고문헌 1을 참조하기 바란다.

①구조 및 외관 검사 : 각부의 구조와 치수, 부품의 조립상태 및 취부방법, 도장상태, 명판기재사항, 단자 기호 및 배선상태 등을 평가하여 기준치에 적합하여야 함

②온도상승 시험 : 정류기의 출력단자에 저항부하를 접속하여, 직류측의 정격출력전압과 정격출력전류를 흘려서, 정류기 각부의 온도가 포화(온도상승변화가 시간 당 1℃ 이하)될 때까지 각부의 온도를 측정하여 기준치

보다 이하여야 함

③상용주파 내전압 시험 : 상용 주파수의 교류전압 2,000V (실효치)를 1분간 인가할 때 견뎌야 함

④절연저항 시험 : 500V 절연저항계 (500V Megger)로 측정하였을 때 각 부분의 절연 저항 기준치 이상이어야 함

⑤과전류내량 시험 : 정격출력전압에서 정격출력전류의 120%를 저항부하에 2시간동안 통전하였을 때 내구성을 가져야 함

⑥효율 및 역률 시험 :

- 효율 시험 : 교류정격전압과 정격주파수 및 정격출력(저항부하)상태에서, 다음 식으로 효율을 산출하였을 때 기준치 이상이어야 함

$$\eta = \frac{Ed \times Id}{P} \times 100 \%$$

여기에서 η : 효율 (%)

Ed : 정격 직류 전압 (V)

Id : 정격 직류 전류 (A)

P : 교류 입력 전력 (W)

- 역률 측정 : 효율시험과 동시에 실시하고, 역률계로 측정함

⑦출력전압 조정시험 :

- 수동 운전 시 : 가변저항에 의하여 출력전압을 조정할 경우에는 최대출력전압까지 연속적으로 비례하여 조정되어야 함.

- 자동 운전 시 : 기준전극(Reference Electrode)에 의하여 기준방식전위를 설정하면, 피방식체의 방식전위가 이 기준방식전위의 $\pm 2\%$ 범위 내에서 연속적으로 유지되도록 출력전압이 조정(자동제어)되어야 함.

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

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

⑩종합동작 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

5. 결 론

본 논문에서는 국내의 전기방식 적용현황에 대하여 조사하고, 선진국에서 시행해 오고 있는 전기방식설비의 시험평가방법에 대하여 비교·분석을 하였다. 그리고 회생양극에 대한 국내 시험평가방법의 표준안을 제시하였고 수동/자동 정류기에 대한 시험평가방법의 표준안을 제시하였다. 본 논문에서 언급되지 않은 외부전원용 양극에 대한 시험평가방법은 현재 검토 중에 있으며, 배류기에 대한 시험평가방법은 맥동률을 제외한 대부분의 항목이 정류기의 평가방법과 유사하다.

본 논문의 결과는 향후 KS의 기초자료로 활용될 것이며, 국내 전기방식설비의 질적인 향상을 유도하게 될 것이다. 그리고 부식으로 인한 대형사고를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 국내 전기방식설비의 개발시험에 귀중한 지침서로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

[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] 한국전기연구소 "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" 한국가스공사 연구개발원, 1995.
- [5] John Morgan "Cathodic Protection" Second Edition NACE, 1993
- [6] 腐食防食協會 編 "防食技術便覽" 日刊工業新聞社, 1985
- [7] "Standard Specification for Magnesium Alloy Anode for Cathodic Protection" ASTM Designation B843-93, p. 584~585
- [8] 한국산업규격 "방식용 마그네슘 양극" KS D 7031, 1997
- [9] IEEE Power Engineering Society "IEEE Standard Practices and Requirements for Semiconductor Power Rectifier Transformers" IEEE Std C57_18_10, 1998
- [10] Australian Standard "Galvanic(sacrificial)Anodes for Cathodic Protection" AS 2239, 1993
- [11] Det Norske Veritas Industry AS "Cathodic Protection Design" Recommended Practice RP B 401, 1993
- [12] "NACE Standards Related To Cathodic Protection" NACE, 1996
- [13] "JEC 半導体整流装置(その2)(シリコンおよびゲルマム整流装置)" JEC-178 (1977), サイリタ變換装置 JEC-188(1977)
- [14] "1994 Annual Book of ASTM Standard, Wear and Erosion: Metal Corrosion" ASTM Volume 03.02, 1994
- [15] W. v. Baeckmann, W. Schwenk "Handbook of Cathodic Protection The Theory and Practice of Electrochemical Corrosion Protection Techniques" BSI Code of Practice for Cathodic Protection, Portcullis Press LTD, 1975
- [16] 이학렬, 김원녕, 김기준, 문경만, 김광근, 이재욱 "방식 기술편람 제2권 방식기술 건설교통부, 1998

<표 2 선진국의 희생양극 시험법에 대한 비교표>

名稱	方法	陽極	試驗液	電流密度	試驗時間	測定·計算	備考
Australia法	定電流法	Al (鑄肌)	0.3Ω.m以下(20℃)의 淸淨海水, 人工海水(ASTM), 0.1 Ah/ℓ마다 更新, 攪拌.	0.5~0.7 mA/cm ²	10 d 以上	AH ^W : kg/Ay E : 1h 間隔의 最終 3 回連續 安定值	AS-2239-1979
ASTM法	定電流法	Mg	포화황산칼슘-수산화 마그네슘 용액, 22±5℃.	0.1 mA/cm ²	14 d	E : 1d, 7d, 2w. AH : Ah/kg	ASTM G 97-89
DNV法	定電流法 短期間	Al	自然海水, ASTM 人工海水, 3%NaCl 溶液. 20±3℃. 酸素飽和.	1.5mA/cm ² , 24h; 0.4mA/cm ² , 24h; 4.0mA/cm ² , 24h; 1.5mA/cm ² , 24h	24±1 h/d 計96±4h	E : 各試驗期間 末에 3點의 平均. AH : Ah/kg.	DNV RP B401 1993
	定電流法 長期間	Zn	塩度 30% 以上の 淸淨自然海水. 更新, 1ℓ/min. 7~20℃. 酸素飽和.	1.0 mA/cm ²	12 m 以上	E : 初期2週間 은 5d/w以上, 1 回/d以上. 其後 는 1回/w以上. AH : Ah/kg.	
日本 腐蝕防蝕協會 規格法	定電流法	Al, Zn 鑄造面 (鑄肌)	人工海水(ASTM), 淸淨天然海水, 市販人工海水. 20~30℃. 途中의 pH 調節과 更新不要.	1.0 mA/cm ²	168 h	E : mV vs SCE 終了直前의 定常值 AH : Ah/kg Eff. : %	JSCE S-9301
		Mg 240 研磨	人工海水(ASTM)에 Mg(OH) ₂ 飽和. 20~30℃가 적당. 途中의 pH調節과 更新不要.	0.1 mA/cm ²	240 h		
NACE法	電位法	Al (化學處理)	ASTM人工海水, 4~5日마다 更新 (2回/2w), 室溫(23℃).	0.62 mA/cm ² (4 mA/in ²)	14 d	E : 3h, 1, 2, 3d, 2w AH : Ah/lb or Ah/kg	NACE Stand. TM 0190 -90
	重量減法						
	水素發生法					3d 後에 水素發生 Eff. : %	

주) E : 양극전위 AH : 유효전기량 Eff : 전류효율