

국내 전기방식용 정류기의 성능평가 시험 방법에 대한 표준화 연구

배정호°, 하태현, 이현구, 김대경, 이지인
한국전기연구원

A Study on the Standardization of Performance Test Method for CP Rectifier in Korea

Jeong-Hyo Bae°, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim, Ji-In Lee

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 rectifier to apply in Korea.

Key Words: KS, Cathodic Protection, Rectifier, Test Method

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. 전기방식 설비중 일정한 전류를 발생시킬 수 있는 전기방식용 정류기의 역할은 매우 중요하며 효율을 비롯한 다양한 기능을 개선하려는 연구들이 활발히 진행되고 있는 추세이다.

선진국에서는 일찍이 전기방식시설의 개발과 개발에 필요한 규격들을 정비하여 적용하고 있어 전기방식시설의 신뢰성을 확보하고 있다.

그러나 국내 전기방식용 정류기는 한전 표준규격(ESB 157)의 충전장치(Battery Charger)에 준하여 시험을 하고 있는 실정이다. 그리고 적용하는 회사마다 전기방식 시설의 사양이나 특성이 다르며, 발주처에서 적용할 수 있는 규정이 없어 해외의 규정을 무분별하게 준용하거나 여유를 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.

따라서, 본 논문에서는 전기방식시스템 중 방식용 정류기에 대한 표준안과 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 다음과 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. 전기방식용 정류기 현황

현재 국내 전기방식분야에서 방식대상물(가스배관, 송유관, 상하수도관, Tank, 열교환기, 복수기, 부두강관 파이프, 기타 지하 및 수중 금속대상물 등)을 소유하고 이는 소유자는 방식대상물에 대한 부식방지를 위하여 전기방식을 적용하고 있다. 특히 도시가스사업자는 의무적으로 방식대상물에 대한 전기방식설비를 갖추고 정기적인 방식점검활동 결과를 보고(산업자원부 고시 제1993- 44)하도록 되어 있다.

이러한 전기방식시설 중 별도의 전원을 필요로 하는 외부전원식 방법에 정류기가 설치된다. 현재 사용 중인 전기방식용 정류기는 탭 조정 또는 위상제어형 정류기를 사용하고 있으며, 이로 인하여 저 효율에 따른 전력의 낭비가 많고 크기가 크고 중량이 무거워 설치 및 운영에 어려움이 많다.

3.1 탭 조정형 정류기

탭 조정형 정류기는 그림 1과 같이 변압기와 정류기로 구성되어 간단하고 매우 견고하다. 출력전압의 조정은 '탭'이라는 변압기의 여러 개 독립권선을 선택하는 스위치를 사용하여 행한다.

변압기로부터 감소된 교류전압은 브리지 회로를 통해 전류가 정류되어 직류출력으로 변환된다. 변압기와 정류기로 구성된 장치로부터 나온 출력은 순수한 직류가 아니라 정류된 교류이므로 매우 낮은 전압에서도 감전의 위험이 있으므로 주의해야 한다.

일반적으로 양극 재질은 리플이 많은 전류를 흘릴수록 부식이 빨리 진행 된다고 알려져 있다. 따라서 허용 리플의 양은 전기방식용 정류기의 중요한 특성이므로 사양에 명시하고 있다.

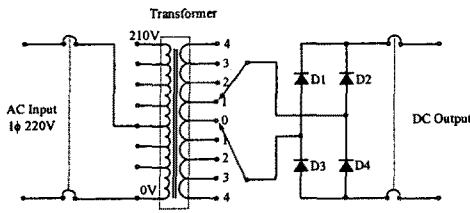


그림 1 탭 조정형 정류기 회로도

3.2 위상제어형 정류기

현재 가장 일반적으로 사용되는 전기방식용 정류기는 위상을 제어하는 방식이며, 이러한 위상제어형 정류기는 전기방식 시스템에 공급하는 전류와 전압을 조정하기 위하여 피드백 제어가 가능하다. 또한 위상제어형 정류기에 일반적으로 사용되는 반도체 소자로는 SCR (Silicon Controlled Rectifier)이며 위상을 제어하는데 있어서 SCR은 스위치 역할을 한다. SCR이 정류기의 입력단자와 출력부단자 사이에 삽입되어 부하에 공급되는 에너지량을 임의의 설정 값으로 공급되도록 하며, 부하에 공급되는 에너지량은 SCR이 도통되는 시간에 비례하므로 SCR의 게이트 신호를 위상에 따라 변화시키면 부하에 공급되는 전력 또는 에너지량은 변화한다.

위상제어형 정류기는 그림 2와 같이 입력전원은 변압기를 거쳐 일정 전압으로 강압된 후 SCR과 Reactor를 통하여 직류출력으로 변환된다.

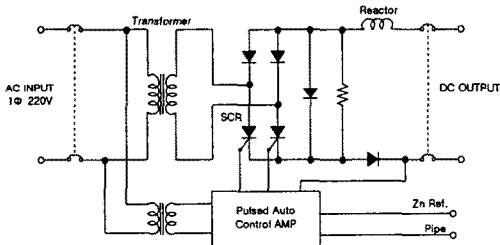


그림 2 위상제어형 정류기 회로도

위상제어형 정류기가 가지는 중대한 결점으로써, 도통기간이 길 때 펄스는 깨끗하게 필터링 되어지지만 도통기간이 짧을 때는 펄스가 깨끗하게 필터링 되어지지 않는다. 따라서 필터가 정상적으로 동작하면서 원하는 직류출력전압을 얻기 위해서는 입력전압이 높아야되고 한정된 제어범위를 가질 수밖에 없다. 결국 전압이 높아야 피드백제어가 안정화되므로 이러한 위상제어형 정류기는 낮은 전류와 전압을 제어하는데는 적절하지 않다.

위상제어형 정류기의 장단점은 다음과 같다.

<장점>

- ① 수 백 kW 용량까지 제작이 가능하며 대용량에 유리하다.
- ② 일반적으로 널리 보급된 기술로 범용화되어 제작이 용이하다.

<단점>

- ① 외형이 커서 기기 설치공간이 많이 소요되며 중량이 무거워 취급 시 많은 인력과 장비가 소요되고 설치비용도 많이 든다.
- ② 대용량의 기기는 비교적 효율이 높으나 소용량에 맞는 기기는 효율이 낮다.
 - 단상 : 60% 이하

- 삼상 : 75% 이하
- ③ 역률이 낮다.
 - 단상 : 90% 이하
 - 삼상 : 90% 이하
 - ④ 소자 및 제어특성에 한계가 있어 정밀도가 낮다.
 - ⑤ DC 출력 형태가 맥류에 가까워 양질화에 한계가 있다.
 - ⑥ 주파수 및 소재에 한계가 있어 소형화가 불가능하다.
 - ⑦ 발열과 저 효율로 인한 전력소모가 많다.
 - ⑧ 기술개발에 한계가 있다.

3.3 고속 스위칭형 정류기

스위칭모드 전원공급장치는 지난 20년 이상 모든 컴퓨터, 텔레비전, 육군, 항공 및 전자장비에 사용되어 광범위하게 발전되었고 정밀해졌다. 현재 변압기의 코어 재료는 200kHz 이상의 주파수에도 동작되도록 만들어져 있다. 고주파를 사용하는 변압기는 60kHz를 사용하는 변압기보다 크기가 작고 무게도 상대적으로 매우 작다(전력 대비 약 1/10 이하) 고주파를 사용하는 고속 스위칭형 정류기는 이러한 점에서 유리하다.

스위칭 기술은 본래 DC 축전지 공급으로 작동되고 태양열, 바람 및 열에 의해서도 작동되므로, 선박에서 사용하는 24V DC 시스템에도 작동하고 선박이 항구에 정박하여 엔진이 꺼졌을 때에도 전기방식을 할 수 있다.

고속 스위칭형 정류기의 장단점은 다음과 같다.

<장점>

- ① 외형이 작아 기기 설치공간이 적게 소요되며 중량이 가벼워 취급 시 적은 인력과 장비가 소요되고 설치비용도 적게 든다.
- ② 효율이 높다
 - 단상 : 80% 이상
 - 삼상 : 80% 이상
- ③ 역률이 높다.
 - 단상 : 90% 이상
 - 삼상 : 90% 이상
- ④ 소자 및 제어특성이 우수하여 정밀도가 높다.
- ⑤ 출력파형이 평탄한 직류에 가깝다.
- ⑥ 주파수 선택이 용이하며, Packing화 및 Module화 위상제어형에 비해 1/10까지 소형화가 가능하다.
- ⑦ 발열이 작고 고효율로 인하여 전력소모가 적다.
- ⑧ 지속적인 기술개발 가능성이 있다.

<단점>

- ① 대용량 제작시 비용이 많이 상승하며 소재가 보편화되어 있지 않아 대용량에는 부적합하다.
- ② 특정분야 기술로 전문성이 요구된다.

4. 전기방식설비의 성능시험평가방법 표준(안)

4.1 평가방법의 국내의 현황

선진국에서는 1970년대말에 이미 전기방식용 양극의 성능에 대하여 시험평가방법을 정립하고 시행해 오고 있다.

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 - 20mmø의 둥근 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 포함시켜 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

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

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

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 윗면, 아랫면, 높이, 길이의 ±2%이내.

③철심(Sheet Flat Bar) : 두께, 폭, 길이:±2%이내

▶중량공차

①개별양극: ±2%이내 (30kg미만은±4%).

②총중량: 개별양극의 표준중량의 합계 중량이상.

▶주물재의 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 시간당 1℃ 이하)될 때까지 각부의 온도를 측정하여 기준치보다 이하여야 함

③상용주파 내전압 시험 : 상용 주파수의 교류전압 2,000V(실치)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 :

-수동운전시 : 가변저항에 의하여 출력전압을 조정할 경우에는 최대출력전압까지 연속적으로 비례하여 조정되어야 함.

-자동운전시 : 기준전극(Reference Electrode)에 의하여 기준방식전위를 설정하면, 피방식체의 방식전위가 이 기준방식전위의 ±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

국내의 전기방식용 정류기의 현황에 대하여 조사하고, 선진국에서 시행해 오고 있는 전기방식설비의 시험평가 방법에 대하여 비교·분석을 한 결과를 토대로, 본 논문에서는 지면관계상 전기방식설비 중 전기방식용 정류기에 대한 성능평가방법에 대하여 비교적 상세하게 기술하였다.

본 논문의 결과는 향후 전기방식용 정류기의 KS 제정에 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 "방식기술 편람 제2권 방식기술" 건설교통부, 1998