22.9kV 배전선로 주변의 지하 가스배관에 대한 교류부식 특성 연구

°배정효*, 하태현*, 이현구*, 김대경*, 최상봉*, 정성환*, 김기준**
한국전기연구소*, 한국해양대학교**

A Study on the AC Corrosion Characteristics for Underground Gas Pipeline near by 22.9kV D/L

°Jeong Hyo, Bae*, Tae Hyun Ha*, Hyun Goo Lee*, Dae Kyeong Kim*, Sang Bong Choi*, Seong Hwan Jeong*, ki Joon Kim**

Abstract - *Direct current corrosion have being investigated by lots of scientists but Alternating current corrosion was ignored because the corrosion rate by AC was very small. Recently however, AC corrosion accidents have been reported in many other countries. So the study of AC corrosion is to be necessary in these days. In this paper, several experiments which intentionally imposed the AC or DC to the specimens also imposed AC and DC at the same time was carried out in the laboratory to examine the AC corrosion characteristics and in addition applied the same way in the field. Moreover, while the field investigations of the abnormal corrosion failures, It was the AC that caused one of corrosion failures.*
Key Word : Direct current(D.C.), Alternating current(A.C.), Corrosion

1. 서 론

일반적으로 부식에 대한 연구는 1900년대부터 활발히 진행되어 왔으며 여러 가지 큰 성과들도 이루어왔다. 이러한 결과들은 대부분 직류부식에 대한 것들이며 교류부식은 직류에 비해 부식률이 매우 낮아 무시되어 왔다. 그러나 1980년대 이후에 독일과 캐나다[1] 등 몇몇 국가에서 이상 부식 형태를 발견하게 되었다. 이때까지만 해도 교류(Alternating Current)는 부식에 거의 영향을 미치는 않는 것으로[2] 알고 있었기 때문에 AC에 대해서는 별도의 대책을 마련하지 않고 있었다. 그러나 연구가 계속됨에 따라 몇몇 이상부식의 원인이 AC에 의한 것으로 판명되었다. 이후 AC에 의한 부식사고가 계속 보고됨에 따라 AC에 의한 부식이 새롭게 관심을 모으기 시작했다. 또한 최근 전력설비의 대용량화와 AC 고속전철 건설 등의 AC에 의한 부식 가능성이 점차 늘어나고 있는 실정이다. 특히, 우리나라는 전력설비의 배전계통인 22.9 [kV] 의 중성점을 다중 접지방식을 채택하고 있어, 상간 불평형으로 인한 AC의 저항성 유도의한[3] 교류부식의 발생 가능성이 매우 높으므로 이에 대한 연구가 시급하다고 사료된다.

따라서 본 논문에서는 교류부식의 부식 특성을 규명하기 위해 실험실에서 각각 직류와 교류를 인가하고 부식률을 비교 실험하였으며, 직류와 교류 신호를 동시에 인가하고 부식양태를 실험하였다. 이 실험을 야외에서도 실험을 하였으며, 실 사례 연구에서는 전기방식상태임에도 불구하고 이상부식이 발생한 가스배관에 대하여 여러 가지 부식원인을 규명한 결과 MIC과 교류부식에 의한 것으로 판명되었다. 본 논문에서는 그 원인들 중 교류부식관점에서 SEM 분석 결과에 대하여 상세히 기술하였다.

2. 실험배경 및 방법

1980년대에 부식사고 중 AC가 원인이 되어서 발생한 사고이후로 다각도로 AC의 특성과 방지 대책을 찾기 위해서 노력해 왔으나 아직까지도 명확하게 AC 부식에 대해서는 설명되지 않은 가운데 AC의 특성을 보다 쉽게 이해하기 위해서, 같은 조건에서 DC를 인가하여 실험을 실시하고 아울러 DC와 AC를 동시에 시험편에 인가해서 순수한 AC부식의 특성을 확인할 수 있도록 하였다. 일반적으로 알려진 AC의 부식의 특성은[4)~5)] AC의 전류밀도가 100[A/m^2][2] 초과 할 경우와 코팅 결함의 크기가 1[cm^2] ~ 3[cm^2]일 때가 AC 부식이 일어날 수 있는 최적의 조건으로 알려져 있다. 이때 간헐적으로 굉장히 큰 전압이 걸리면 부식이 증가하고, 비교적 토양의 비저항이 낮은 곳에서 부식이 발생한다고 하였다.

2.2 실험실 및 야외 시험

2.2.1 야외시험

AC 부식과 DC부식의 특성을 알아보기 위해서 실험실과 야외에서 부식 시험을 실시하였는데 시험편은 그림 1에서 보는 것과 같이 고강도 탄소강의 노출 면적을 5 ×10-4[m^2]로 제작해서 사용하였다.

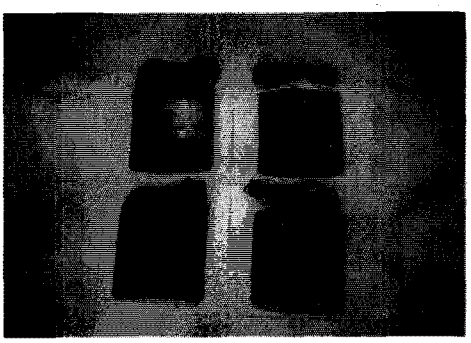

그림 1. 부식실험 시편

① DC에 의한 부식특성 시험

먼저 DC에 의한 부식특성을 확인하기 위해서 그림 2와 같이 회로를 구성한 후 제작된 배관 모재 시험편을 토양에 묻고, AC 전류에 의한 부식과 상대 비교하기 위해 46일 동안 계속해서 DC 전류를 50[A/m^2]의 전류를 인가하였다. Anode와 Cathode의 전위 및 부식 전류의 변화 추이는 Multi Tester (FLUKE 867B) 및

황산동(Cu/CuSO4) 기준전극을 이용하여 측정하였다.

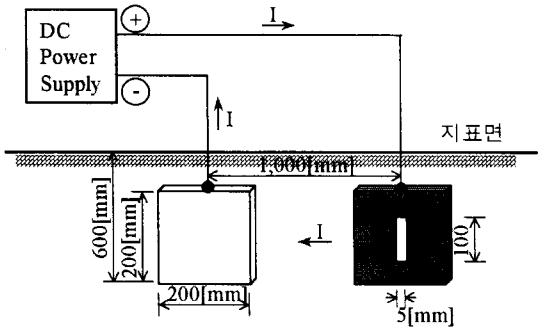

그림 2. DC에 의한 부식실험 장치의 개념도

② AC에 의한 부식특성 시험

AC에 의한 부식은 DC에 의한 부식보다 부식 속도가 같은 량의 DC 부식량의 1% 정도로 낮다. 따라서 단기간 내에 가속실험을 하기 위해서 그림 3과 같이 노출 면적이 5×10-4[m^2]인 시험편(Anode)과 건물 접지망(Cathode)으로 회로를 구성하여 토양에 묻었으며, 부식 속도를 더욱 가속시키기 위하여 간헐적으로 큰 AC 전원(2초 : 220Vac, 10초 : 24Vac) 을 인가하였다. 시험편의 전류와 전위는 DC 시험과 같은 방법으로 측정하였다.

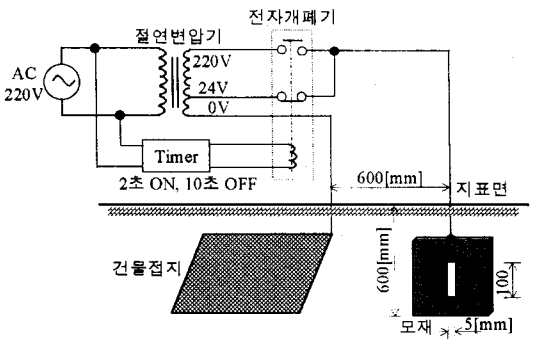

그림 3. AC에 의한 부식실험 장치의 개념도

2.2.2 실험실 실험

① DC와 AC의 혼합 부식특성 시험

방식상태에서의 교류부식에 대한 특성을 알아보기 위해, 방식 전위를 유지하고 있는 모재 시편에 AC 전류를 동시에 인가하여 시험을 수행하였다. 표 1은 시편에 인가한 DC 및 AC값을 나타낸 것이며, 이때 DC값은 시편(Cathode)의 방식 전위가 1,500 [mV/CSE]일 때의 값이다. 그림 4와 그림 5는 DC를 인가했을 때와 DC+AC를 인가했을 때의 방식전위를 Digital Oscilloscope로 측정한 파형을 나타낸 것이다.

표 1. 시편에 가한 DC와 AC 전류값

DC 값	1.444[V], 198.9[mA]
AC 값	2.23[V], 2.1[A], 60[Hz]

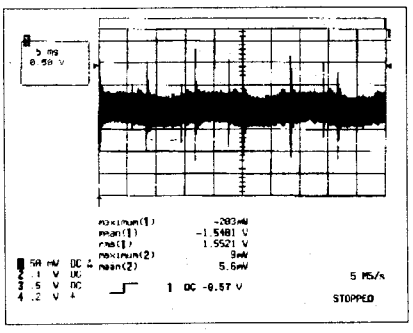

그림 4. 시편의 전위 파형(DC 부식실험)

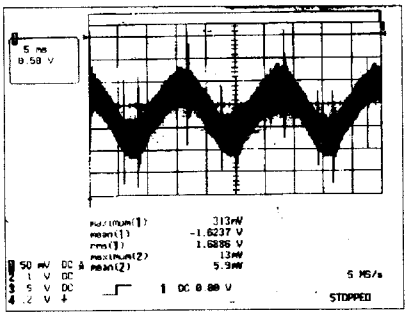

그림 5. 시편의 전위 파형(DC +AC부식실험)

2.3 실 사례 연구

2.3.1 이상 부식 형태

실 사례 연구에서는 전기방식시설이 설치되어 있어 정상적으로 방식전위가 측정되었음에도 불구하고 그림 6과 같이 이상부식이 발생하여 이에 대한 원인규명 결과를 기술한다. 원인 규명결과, MIC에 의한 부식과 교류부식에 의한 것으로 판명되었으며, 본 논문에서는 교류부식에 대한 결과분석에 대하여 상세히 기술하였다.

이상부식이 발생한 지점에서의 가스배관의 주요 제원은 표 2와 같다.

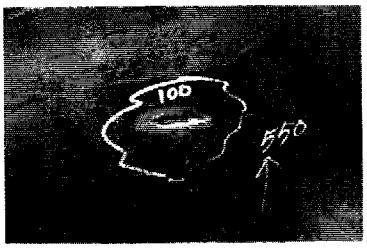

그림 6. 실제로 부식된 가스배관의 부식 장면

표 2. 가스배관 주요 제원

항 목		사 양	비 고
피복	PE	고밀도 Poly Ethylen	
	점착층	Asphalt: 10~13% S.B.S Thermo Plastic Rubber: 87~90%	
항복강도		최소 65,000[psi]	
인 장 력		최소 77,000[psi]	

사고 지역의 토양비저항은 110~5.28 [kΩ·cm] 이었고, pH 및 습도는 5.1~6.8, 30~60% 였다. 여기서 토양 비저항은 토양비저항 측정기(Model Nilsson 400)와 Soil Box를 이용하여 측정하였고, pH 및 습도는 pH/습도 측정기(Model EM System Soil Tester)를 사용하여 측정하였다.

2.3.2 22.9[kV] D/L의 접지전류 측정

저항성 유도에 의한 부식 가능성을 조사하기 위하여 부식현장 주변의 22.9[kV] 배전선 다중접지에 대한 접지전류를 측정하였다. 다중접지선의 전류를 측정하기 위하여 가스배관과 인접해 있는 전주의 현황을 조사한 결과는 표 3과 같다. 접지전류는 고조파분석기(FLUKE 41B)를 사용하여 측정하였으며, 그림 7은 부식현장에서 접지전류를 측정하는 장면이다.

표 3. 가스배관 주변의 22.9[kV] D/L 전주의 현황

기 호	전 주 번 호	시 설 현 황	비 고
P1G	67431 332 265	접지	
P2G	67431 434 266	접지, COS(3), 단상TR(?)	
P3	67431 433 267	-	
P4	67431 421 268	-	
P5G	67431 521 269	접지, COS(1), 단상TR(1)	
P6	67431 512 270	-	
P7	67431 511 271	-	
P8	67431 502 272	-	
P9G	67431 501 273	접지, COS(3), 단상TR(3)	
P10	67431 504 274	-	
P11	67433 692 275	-	
P12	67433 694	-	
P13G	67433 685 277R 3R1	접지, COS(3), 단상TR(3)	
P14G	67433 852 286 -5	접지, COS(?), 단상TR(?)	

그림 7. 22.9[kV] 배전선 다중접지선의 접지전류 측정 장면

부식 현장 주변에 위치한 22.9[kV] 배전선 다중접지선의 접지전류는 2회에 걸쳐 측정하였으며, 그 결과는 표 4와 같다. 여기서 접지전류 측정 시 ×100 Probe를 사용하였다.

표 4. 22.9[kV] 배전선 다중접지선의 접지전류 측정 결과

	Total [A]	주파수 [Hz]	기본파	3고조파	5고조파	7고조파	측정일	비고
P1G	1.19	60	1.15	0.26	0.03	0.09	6/25	
	1.13	60	1.11	0.19	0.04	0.05	8/11	
P2G	0.21	60	0.20	0.01	0.06	-	6/25	
	0.23	60	0.21	0.05	0.03	-	6/27	
P5G	4.24	60	4.02	1.14	0.20	0.44	6/25	
	7.73	60	7.63	1.09	0.24	0.19	8/11	
P9G	0.10	12	-	-	-	-	6/25	
P13G	4.30	60	4.14	0.82	0.36	0.34	6/27	
	6.99	60	6.85	0.82	-	0.21	8/11	
P14G	2.60	60	2.31	0.59	0.82	0.24	6/27	

측정결과, 22.9[kV] 배전선 다중 접지선의 접지전류 값은 최고 77.3[mA]까지 측정되었다.

2.3.3 부식 원인 조사

먼저, 부식원인의 가능성을 여러 가지로 상정하고 각각에 대하여 조사를 해보기로 하였다. 즉, MIC(Microbiologically Influenced Corrosion)의 영향에 대하여 고려해보고, 배관 시공 당시의 미방식 기간 존재 여부, 현재 배관이 실제 방식 상태에 있는지 여부, 코팅박리에 의한 부식과 기타 낙뢰, 타 시설물로 인한 간섭에 의한 부식 등 다양한 가능성을 조사하고 모든 가능성이 결여되면 AC에 의한 부식으로 규명하기로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험실 및 야외 실험

배관 모재 시편에 46일 동안 평균 76[A/m2]의 DC 전류와 평균 500[A/m2] (220[Vac] 인가 시) 및 54[A/m2] (24[Vac] 인가 시)의 AC 전류를 인가하였을 때 다음과 같은 결과를 얻었다. DC에 의한 부식은 그림 8과 같이 시편 표면에 광택이 나고 부식이 많이 진행되었으며, 부식 생성물은 흐르는 물에도 씻겨 나갈 정도로 쉽게 제거되었다. AC에 의한 부식은 그림 9와 같이 시편 표면에 검은 부식 생성물이 생기고 부식 속도는 DC에 비하여 매우 느리며, 부식 생성물은 인위적으로 제거하려 하여도 쉽게 제거되지 않았다.

그림 8. 시편의 부식장면(DC 부식실험)

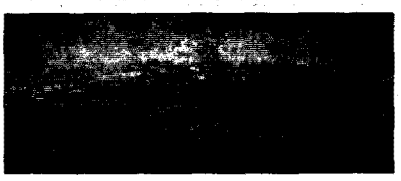

그림 9. 시편의 부식장면(AC 부식실험)

3.2 실사례 연구

배관은 적절한 방식 설비를 갖추고 있었고, -850 [mV/CSE] 의 방식기준에 적합하게 측정되었다. 그리고 코팅박리에 의한 부식 여부는, 다른 코팅 박리된 부분에서는 부식이 발견되지 않았기 때문에 부식원에서 제외할 수 있다. 그러나 MIC(Microbiologically Influenced Corrosion)에 의한 영향을 고려해 볼 때, 부식 사고 현장의 배관이 항상 물에 잠겨있는 것으로 조사되었고, 상기 부식이 가스배관 코팅의 결함부에서 발생한 점 및 배관의 코팅 점착층이 아스팔트와 열 가소성(Thermoplastic) 고무(Rubber)로 구성되어 있으므로 양호한 박테리아의 서식 환경이 될 수 있다는 점을 감안하여 MIC에 의한 부식의 가능성이 아주 높은 것으로 판단되었으며, 시편의 배양법을 통한 SRB(Surfite Reducing Bacteria) 분석 결과 MIC에 의한 것으로 판명되었다.

그리고 코팅 결함부의 배관 모재 부식 형태가 검은 부식 생성물을 가지고 있고 쉽게 제거되지 않은 점으로 미루어 보아 앞의 실험실과 야외 실험을 통해서 확인된 AC 부식의 특징과 유사하였다. 그리고 최종적으로 부식 시편의 SEM 장비를 이용하여 분석한 결과, 교류부식의 특성인 부식생성물이 표면에서 발견되었다.

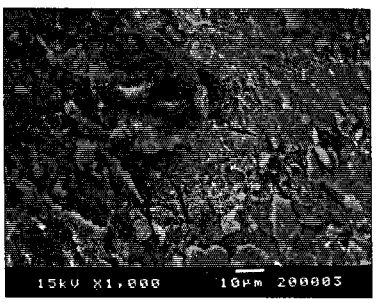

그림 10. 시편의 SEM 분석장면(실 사례)

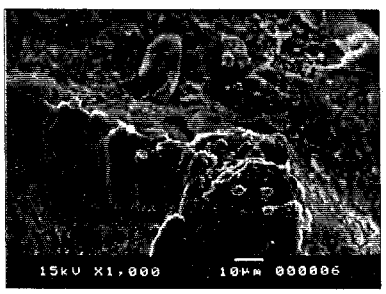

그림 11. 시편의 SEM 분석장면(AC부식실험)

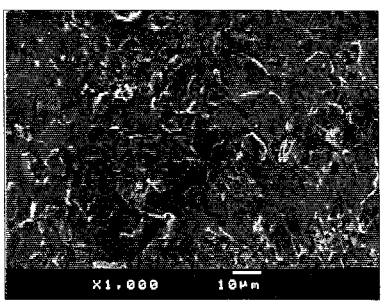

그림 12. 시편의 SEM 분석장면(DC 부식실험)

즉, 그림 10 에서 보는 바와 같이 부식 생성물이 부식표면에 부착되어 있어 있고, 실험실에서 AC를 인가한 시험편인 그림 11에서도 엮시 비슷한 형태의 부식생성물을 확인할 수 있었다. 그러나 DC가 인가된 시험편에서는 그림 12와 같이 부식생성물이 거의 없었다.

4. 결론

① DC에 의한 부식은 시편 표면에 광택이 나고, 부식속도가 빠르며, 부식 생성물은 흐르는 물에도 씻겨 나갈 정도로 쉽게 제거되었다.

② AC에 의한 부식은 시편 표면에 검은 부식 생성물이 생기고, 부식 속도가 DC에 비하여 매우 느리며, 시편 표면에 정착된 부식 생성물은 인위적으로 제거하려 하여도 쉽게 제거되지 않았다.

③ SEM을 이용한 모재 분석한 결과, DC에 의한 부식 시편 표면에는 부식생성물이 적은 반면 AC에 의한 부식시편 표면에는 점착성이 매우 강한 부식생성물이 비교적 많이 존재함을 볼 수 있다.

따라서 본 논문의 결과는 이상부식의 원인 규명시에 AC에 의한 부식인지를 분명하게 구별하게 해주는 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

[1]R. G. Wakelin, R. A. Gummow, and S.M. Segall "AC Corrosion-A New Challenge to Pipeline Integrity" NACE International Conference CORROSION/98, San Die해, March 1998, Paper No. 566

[2]Marvin J. Frazier, Thomas J. Barlo "Influence of AC from Power LINes on the Cathodic Protection of steel in Groundwater Solutions" NACE International Conference CORROSION/96, Paper No. 210

[3]배정효, 김대경, 하태현, 이현구, 최상봉, 정성환 "도심지 지하 배관 상시 유기 전압 원인 및 원인 조사 방법(안)" 대한 전기 학회 B권 pp.814~816, (1994),

[4]Helm, G., Heim, th., Heinzen, H., and Schwenk, W.,, "Investigations of Corrosion of Cathodically Protected Steel Subjected to Alternating Currents", 3R International, 32, Issue 5, pp.246~249, May 1993(in German)

[5]McCollum, B. and Ahlborn, G. H., "Influence of Frequence of Alternating or IN frequently Reversed Current on Electrolytic Corrosion", Technologic Papers of the Bureau of Standards, Dept. of Commerce, No. 72. 1916.