

가스배관의 교류부식 특성에 관한 연구

† 배 정 효 · 하 태 현 · 이 현 구 · 김 대 경

한국전기연구원

(2001년 8월 30일 접수, 2001년 9월 12일 채택)

A Study on the Characteristics for AC Corrosion of Gas Pipelines

Jeong-Hyo, Bae · Tae-Hyun, Ha · Hyun-Goo, Lee and Dae-Kyeong, Kim

KERI, 28-1, Seongju-Dong, Changwon 641-120, Republic of Korea

(Received 30 August 2001 ; Accepted 12 September 2001)

요 약

부·방식분야에서 직류부식은 많이 연구되어 왔지만, 교류부식은 직류에 비해 부식률이 매우 낮다는 이유로 소홀히 연구되어 왔다. 그러나 최근 유럽을 비롯한 북미에서도 교류부식에 의한 사고가 빈발하게 발생하기 시작하였다.

따라서 본 논문에서는 가스배관의 교류부식에 대한 특성을 실험실 시험과 현장에서 실 사례 연구를 통하여 규명하였다.

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 Words : 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 등 몇몇 국가에서 이상 부식 형태를 발견하게 되었다.^{1,2)} 이

때까지만 해도 교류(Alternating Current)는 부식에 거의 영향을 미치는 않는 것으로 알고 있었기 때문에 AC에 대해서는 별도의 대책을 마련하지 않고 있었다.³⁾ 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 중성점 다중 접지방식을 채택하고 있어, 상간 불평형으로 인한 AC의 저항성 유도에 의한 교류부식의 발생 가능성이 매우 높으므로 이에 대한 연구가 시급하다고 사료된다.^{4),12)}

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. 실험 배경 및 방법

1980년대에 부식사고 중 AC가 원인이 되어서 발생한 사고이후로 다각도로 AC의 특성과 방지 대책을 찾기 위해서 노력해 왔으나 아직 까지도 명확하게 AC 부식에 대해서는 설명되지 않고 있는 실정이다. 본 논문에서는 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 AC 부식 특성은 AC의 전류밀도가 $100[A/m^2]$ 초과 할 경우와 코팅 결함의 크기가 $1[cm^2] \sim 3[cm^2]$ 일 때가 AC 부식이 일어날 수 있는 최적의 조건으로 알려져 있다.²⁾ 이때 간헐적으로 굉장히 큰 전압이 걸리면 부식이 증가하고, 비교적 토양의 비저항이 낮은 곳에서 부식이 발생한다고 하였다. 이외에도 주파수의 영향^{5)~7)}, 환경의 영향^{5),8),9)}, 온도¹⁰⁾, 시간¹¹⁾ 등 많은 영향인자가 있지만, 본 논문에서는 직류와 대비가 되는 교류부식의 정성적인 특성에 중점을 두어 연구하였다.

2.2. 실험실 및 야외 시험

2.2.1 야외 시험

AC 부식과 DC부식의 특성을 알아보기 위해서 실험실과 야외에서 부식 실험을 실시하였는

데 시험편은 Fig. 2.1에서 보는 것과 같이 고강도 탄소강의 노출 면적을 $5 \times 10^{-4}[m^2]$ 로 제작해서 사용하였다.

2.2.1.1 DC에 의한 부식특성 시험

먼저 DC에 의한 부식특성을 확인하기 위해서 Fig. 2.2와 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.

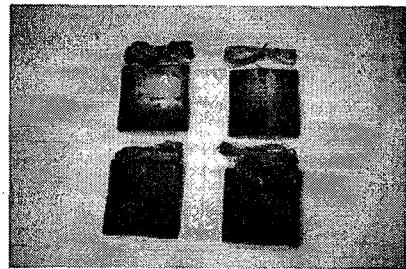


Fig. 2.1 Specimens.

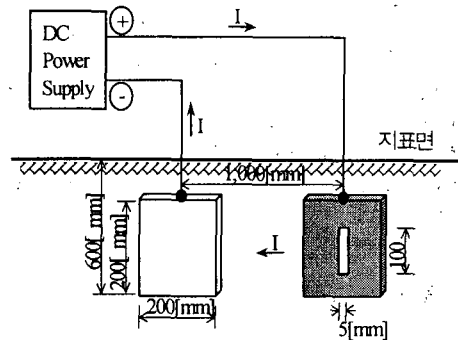


Fig. 2.2 Schematic of the DC applied experiment.

2.2.1.2 AC에 의한 부식특성 시험

AC에 의한 부식률은 일반적으로 DC에 의한 부식률의 1% 정도로 비교적 낮다고 알려져 있다. 따라서 단기간 내에 가속실험을 하기 위해서 Fig. 2.3과 같이 노출 면적이 $5 \times 10^{-4}[m^2]$ 인 시험편(Anode)과 건물 접지망(Cathode)으로 회로를 구성하여 토양에 묻었으며, 부식 속

도를 더욱 가속시키기 위하여 Fig. 2.4와 같은 간헐적으로 큰 AC 전원(2초 : 220Vac, 10초 : 24Vac) 을 인가하였다. 시험편의 전류와 전위는 DC 시험과 같은 방법으로 측정하였다.

했을 때의 방식전위를 Digital Oscilloscope로 측정 한 파형을 나타낸 것이다.

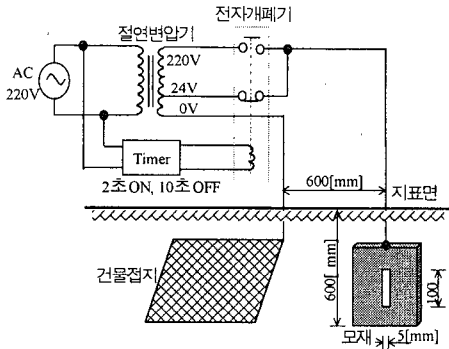


Fig. 2.3 Schematic of the AC corrosion experiment.

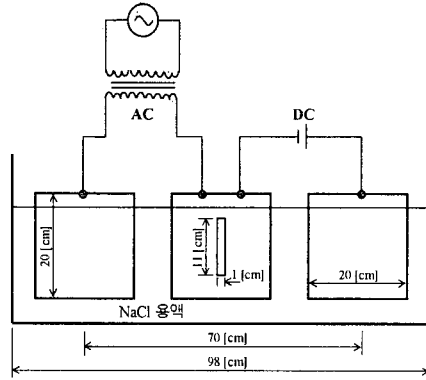


Fig. 2.5 Schematic of the AC and DC corrosion experiment.

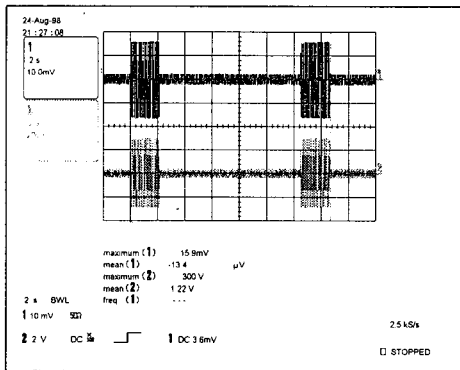


Fig. 2.4 AC source in AC Corrosion experiment.

Table 2.1 Value of the DC and AC source

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

2.2.2 실험실 실험

2.2.1.1 DC와 AC의 혼합 부식특성 시험

방식상태에서의 교류부식에 대한 특성을 알아보기 위해, Fig. 2.5와 같이 실험 회로를 구성하여 방식 전위를 유지하고 있는 모재 시험편에 AC 전류를 인가하여 시험을 수행하였다. Table 2.1은 시험편에 인가한 DC 및 AC값을 나타낸 것이며, 이때 DC값은 시험편(Cathode)의 방식 전위가 각각 1,500 [mV/CSE]일 때의 값이다. Fig. 2.6과 Fig. 2.7은 DC를 인가했을 때와 DC+AC를 인가

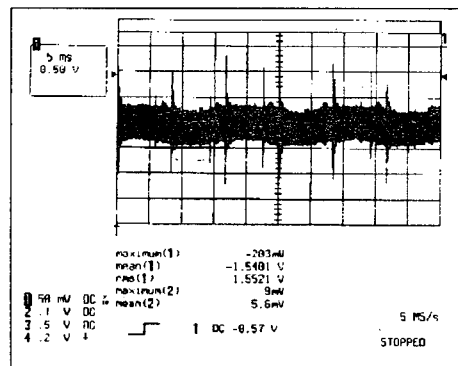


Fig. 2.6 Cathodic polarization potential in DC corrosion experiment.

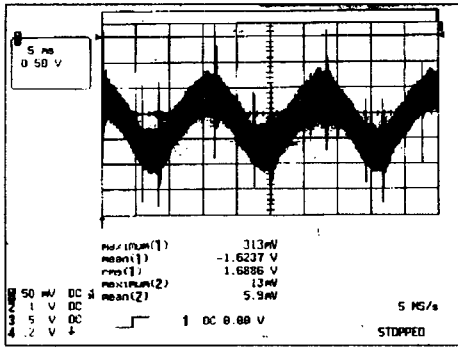


Fig. 2.7 Cathodic polarization potential in DC and AC corrosion experiment.

2.3 실 사례 연구

2.3.1 이상 부식 형태

실 사례 연구에서는 전기방식시설이 설치되어 있어 정상적으로 방식전위가 측정되었음에도 불구하고 Fig. 2.9와 같이 이상부식이 발생한 경우에 대하여 연구하였다. 연구결과, MIC에 의한 부식과 교류부식에 의한 것으로 판명되었으며, 본 논문에서는 교류부식에 대한 결과분석에 대하여 상세히 기술하였다.

이상부식이 발생한 지점에 매설되어 있는 가스배관의 단면도는 Fig. 2.8과 같고, 가스배관의 주요 제원은 Table 2.2와 같다.

부식 사고 조사 지역에서의 코팅 손상부는 총 5 개소이며 이중 모재 손상부는 총 15 지점이다. Fig. 2.9은 모재 손상부 중의 한 곳이다.

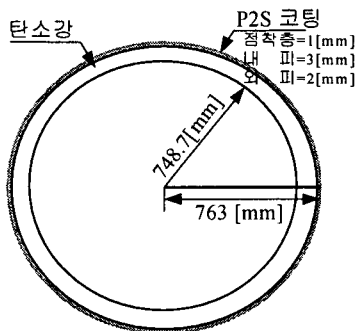


Fig. 2.8 Cross section of the P2S coating gas pipe.

Table 2.2 Specifications of the pipeline.

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]	

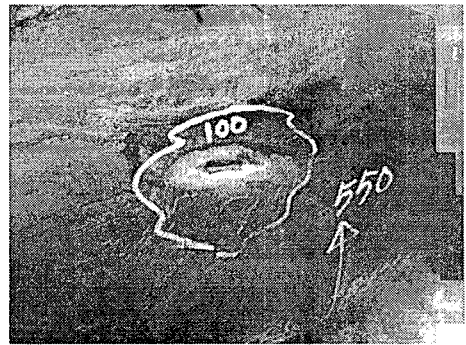


Fig. 2.9 Corrosion surface of pipe in the field.

사고 지역의 토양비저항은 110~5.28 [$k\Omega \cdot cm$] 이었고, pH 및 습도는 5.1~6.8, 30~60% 였다. 여기서 토양 비저항은 토양비저항 측정기(Model Nilsson 400)와 Soil Box를 이용하여 측정하였으며, 모래가 있는 지점의 토양 비저항은 매우 높았고, 수분이 있는 지점의 토양 비저항은 비교적 낮았다. 그리고 pH 및 습도는 pH/습도 측정기(Model EM System Soil Tester)를 사용하여 측정하였다.

2.3.2 부식 원인 조사

본 논문에서는 정확한 부식 원인을 알아내기 위하여 Fig. 2.10과 같은 순서로 모든 부식원인에 대하여 분석하였다. 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 그 결과를 종합 분석하여 부식 원인을 규명하기로 하였다.

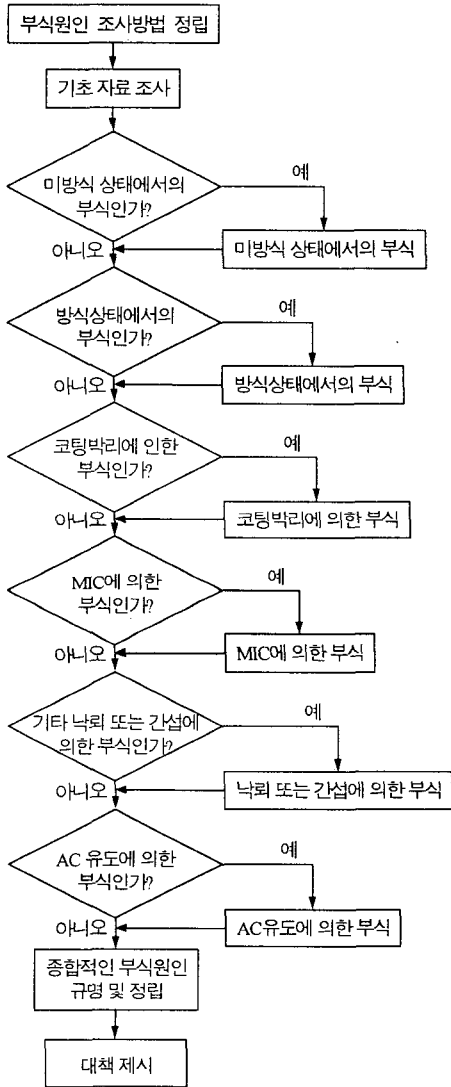


Fig. 2.10 Flow chart of the inspection.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 실험실 및 야외 실험

가스배관 모재 시편에 46일 동안 평균 $76[A/m^2]$ 의 DC 전류와 평균 $500[A/m^2]$

($220[Vac]$ 인가 시) 및 $54[A/m^2]$ ($24[Vac]$ 인가 시)의 AC 전류를 인가하였을 때 다음과 같은 결과를 얻었다. DC에 의한 부식특성은 Fig. 3.1과 같이 부식된 시편 표면에 광택이 나고 부식이 많이 진행되었으며, 부식 생성물은 흐르는 물에도 씻겨 나갈 정도로 쉽게 제거되었다. AC에 의한 부식은 Fig. 3.2와 같이 시편 표면에 검은 부식 생성물이 생기고 부식 속도는 DC에 비하여 매우 느리며, 부식 생성물은 인위적으로 제거하려 하여도 쉽게 제거되지 않았다.



Fig. 3.1 Surface of the specimen in DC corrosion experiment.



Fig. 3.2 Surface of the specimen in AC corrosion experiment.

3.2. 실 사례 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 부식원인에서 제외할 수 있었

다. 그러나 MIC(Microbiologically Influenced Corrosion)에 의한 영향을 고려해 볼 때, 부식 사고 현장의 배관이 항상 물에 잠겨있는 것으로 조사되었고, 상기 부식이 가스배관 코팅의 결합부에서 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(Sulfite Reducing Bacteria) 분석 결과 MIC에 의한 것으로 판명되었다.

그리고 코팅 결합부의 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 부식된 시편을 SEM 장비를 이용하여 분석한 결과, 교류부식의 특성인 부식생성물이 표면에서 발견되었다.

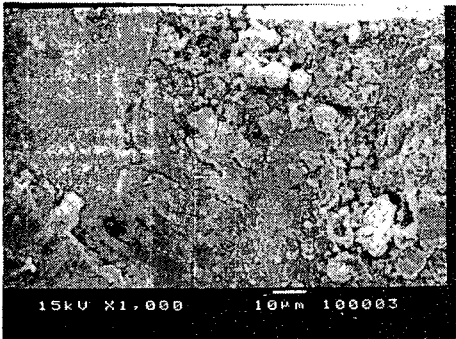


Fig. 3.3 Surface of a corrosion specimen in the field(Example I)

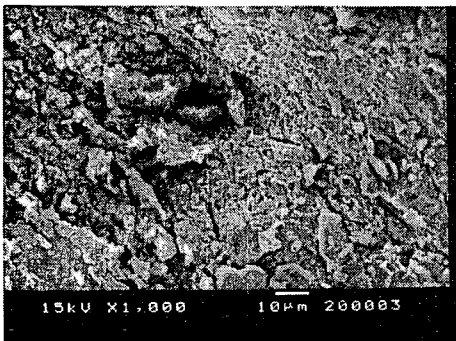


Fig. 3.4 Surface of a corrosion specimen in the field(Example II)

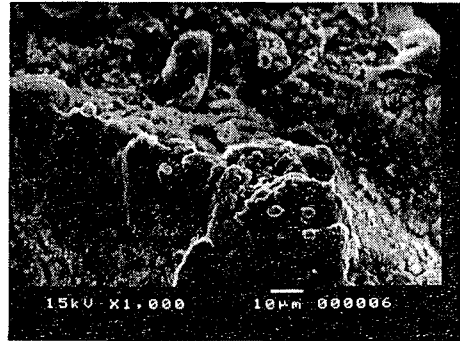


Fig. 3.5 Surface of the anode specimen in AC corrosion experiment

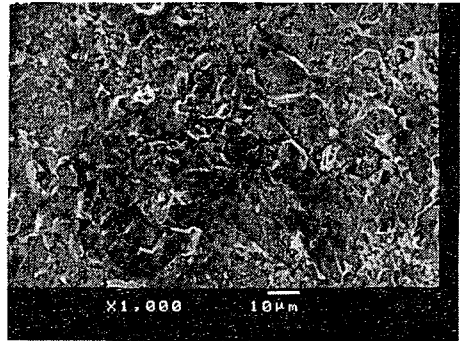


Fig. 3.6 Surface of the anode specimen in DC corrosion experiment

즉, 실 사례의 부식현장에서 채취한 시편들은 Fig. 3.3과 Fig. 3.4 에서 보는 바와 같이 부식 생성물이 부식표면에 부착되어 있었다. 그리고 실험실에서 AC를 인가한 시험편은 Fig. 3.5와 같았으며, 부식현장에서 채취한 시편들과 같은 형태의 부식 생성물이 형성되어 있음을 확인할 수 있었다. 이것으로 판단해 볼 때 현장에서의 부식원인은 AC에 의한 것임을 알 수 있었다. 한편, DC를 인가한 시험편에서는 Fig. 3.6과 같이 부식생성물이 거의 없어 비교적 깨끗한 표면임을 알 수 있었다.

4. 결 론

1. DC에 의한 부식은 시편 표면에 광택이 나고, 부식 속도가 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 점착된 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 교류시험 방법과 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] R. G. Wakelin, R. A. Gummow, and S.M. Segall "AC Corrosion-Case histories, & Mitigation" NACE International Conference CORROSION/98, San Diego, March 1998, Paper No. 565
- [3] 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
- [4] 이학렬, 김원녕, 김기준, 문경만, 김광근, 이재욱 "방식기술편람 제5권" 건설교통부 pp.99~106(1999)
- [5] 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)
- [6] 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,
- [7] Lalavni, S. B. and Zhang, G., "The Corrosion of Carbon Steel in a Chloride Environment Due to periodic Voltage Modulation : Part1", Corrosion Science , Vol. 37, No. 10, 1995, pp. 1572
- [8] Johes, D. A., "Effect of Alternating Current on corrosion of Low Allow and Carbon Steels", CORROSION, Vol.24, NO, 12, pp. 428~433, Dec. 1978,
- [9] Bertocci, U., "AC INduced Corrosion-The effect of an Alternating Voltage on Electrodes Under charge-Transfer Control" CORROSION, Vol.35, No.5, pp.211~215, May 1979
- [10] Pookote, S. R and Chin, D-T "Effect of Alternating current on the Underground corrosion of Steels", Materials Performance, Vol. 17(3), pp.9~15, March 1978,
- [11] J.F. Williams "Corrosion of metals under the influence of alternating current" Materials Protection, vol.5(2), pp. 52~53(1966)
- [12] 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),