

상·하수도 배관재의 토양환경에서의 부식표준시스템 개발

박경동*, 신영진**, 이주영#

The Development of Corrosion Standard System of Water and Wastewater in Soil Environment

Kyeong-Dong Park*, Yeong-Jin Shin**, Ju-Yeong Lee#

ABSTRACT

Galvanized steel pipe, copper pipe and stainless steel pipe, which is being used in waterworks piping materials. In case of galvanized steel pipe, the precipitation of a product is being generated due to the pollution of the tap water, a white water phenomenon, and various corrosion reaction because a zinc ion is melted by tap water. And in case of a copper pipe, many problems which is harm in sanitation appeared because of a inflow of harmfulness substance by a frequent accident of a water leakage. So, to prevent these problems, it is substituted for stainless steel pipe. However, those problems is still occurring because of badness of welding, a problem of a water leakage in connection part, and a increment of construction expenses. Therefore, this research has examined the laying period according to each piping thickness and a corrosion shape according to each laying depth after laying in various soils(sandy loam, loamy, clay loam, clay) using galvanized steel pipe, copper pipe, and stainless steel pipe. That is, we has studied the data which is necessary for a rational method of preserving the quality of water by examining the corrosion properties of piping materials in the soil environment which waterworks piping materials is being used.

Key Words : Corrosion(부식), Piping material(배관재), Soil environment(토양 환경), Soil corrosion(토중 부식)

1. 서 론

최근 산업이 고도로 발전함에 따라 전국적으로 환경오염의 심각성이 대두되고 있다. 이에 따라 각종공단이나 공업의 밀집지역은 환경의 오염심각성이 심한 실정이고, 특히 오염수의 유입은 상하수도 배관재

의 부식 가속화 요인으로 작용하고 있다. 상수도 배관재의 경우에 관 안쪽으로 음용수나 보일러 온수를 공급하고 외부로는 토양이나 건물내부에 노출되어 있기 때문에 내식성이 우수하고 무엇보다 인체에 대한 위생성이 탁월해야 한다^[1-3].

상하수도 배관재에 주로 사용하고 있는 동관, 아연도강관, 스테인레스강관 중 아연도강관의 경우 아연이온이 수돗물에 녹아나가 수돗물의 오염 및 백수현상과 여러 가지 부식반응에 의한 생성물의 침전이 발생하고 있다. 그리고 동관의 경우 빈번한 누수사고로

* 부경대학교 기계공학부

교신저자 : 부경대학교 대학원 기계설계학전공

E-mail : ljj081@nate.com

인한 외부 유해물질의 유입 등으로 수돗물의 위생성을 해치는 여러 가지 문제점이 나타났다. 따라서 이러한 문제점을 막기 위해 스테인레스강관으로 대체하고 있는 실정이다. 하지만 용접의 불량성, 연결조인트에서의 누수문제, 공사비용의 증액으로 인한 문제점이 발생하고 있다. 그러나 아직 배관재에 관련된 표준화된 자료가 미비한 실정이어서 새로운 공법을 개발하기 위한 표준시스템의 개발이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 상수도 배관재가 사용되는 여러 가지 조건에서의 배관재의 부식특성을 조사함으로써 표준시스템의 개발을 위한 기초 자료를 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 시험편 및 시험방법

2.1 시험편

본 연구에 사용된 재료는 주로 상하수도 배관재에 사용되는 아연도강관, 동관, 스테인레스강관으로 화학적 성분을 Table 1에 표시하였고, Table 2에 기계적 성질을 나타내었다. 실험에 사용된 재료의 직경치는 15mm, 25mm, 32mm로 하였으며 각 세 가지 재료의 상하수도 배관재의 형상 및 직경을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

여러 가지 조건의 토양에 매설시키기 전 무게감소량의 변화를 알아보기 위해 실험 전 각종 배관재를 미소전자저울로 측정하였다.

Table 1 Chemical compositions of base metal(wt.%)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Galvanized Steel pipe				0.04 이하	0.04 이하			
Copper pipe				0.015 ~0.04				99.90 이상
Stainless Steel pipe	0.08 이하	1.00 이하	2.00 이하	0.04 이하	0.03 이하	18.00~20.00	8.00~11.00	

Table 2 Mechanical properties of base metal

Materials	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (MHv)
Galvanized Steel pipe	35.5	46.4	110
Copper pipe	24.7	53	64
Stainless Steel pipe	76.7	55	190



Fig. 1 Shape of piping materials

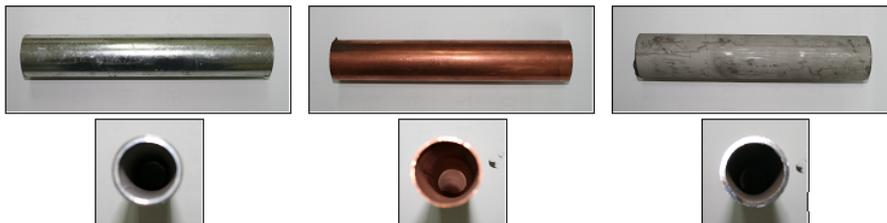


Fig. 2 Diameter of piping materials for water and wastewater

2.2 실험방법

상하수도 배관재의 기간에 따른 부식특성을 조사하여 배관공사시 표준자료로 활용하기 위해 다음과 같이 실험하였다. 먼저 토양은 사양토(Sandy Loam), 양토(Loamy), 식양토(Clay Loam), 점토(Clay)에 따른 부식특성을 조사하기 위한 실험방법으로 각종 토양의 주요원소비율과 입도조성비를 Table 3, 4와 같이 정리하였다. 먼저 부식특성을 조사하기 위한 실험방법으로 배관재 내부로 물을 순환시키는 장치를 만들기 위해 배관재와 호스를 연결시켜 각 토양에 매설시켰다. 토양의 선정은 배관재가 매설되어 있는 산, 가옥, 하수, 공장지역을 기준으로 하였고, 토양의 매설 깊이는 60cm, 120cm로 하여 세 가지 재료와 세 가지 직경의 배관재를 매설시킨 후 호스를 통하여 물을 순환시키도록 장치한 모습을 Fig. 3에 나타내었다.

제작된 금속 시편 및 무게 감량을 측정하기 위해 재질별 시편의 세척법은 Table 5와 같이 ASTM (American Society of Testing Materials, 미국 재료 시험 협회)에 따라 시편 세척을 하였다. 그리고 각종 토양환경별 부식 무게감소량을 측정하였으며, 이 재료를 다시 두께별로 구분하여 자료를 정리한 다음 평균 값을 설정해 도표화 하였다.

Table 5 Washing law of test piece by quality of the material

Material	Chemical
Galvanized steel	Dip in : Ammonium hydroxide (NH ₄ OH, sp gr 0.9) 150ml Water to make 1 l Temperature room Time several minutes
	Then dip in : Chromic acid (CrO ₃) 50g Silver nitrate (AgNO ₃) 10g Water to make 1 l Temperature boiling Time 15 to 20s
Copper	Dip in : Hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) 500ml Water to make 1 l Temperature room Time 1 to 3min
Stainless steel	Dip in : Nitric acid (HNO ₃ , sp gr 1.42) 100ml Water to make 1 l Temperature 60 °C (140F) Time 20min

Table 3 The main elements average (%)

성분 \ 토양	Sandy Loam	Loamy	Clay Loam	Clay
lg-Loss	1.4	3.2	4.1	4.6
SiO ₂	71.6	66.4	67.0	64.7
Al ₂ O ₃	16.7	16.0	14.5	15.3
Fe ₂ O ₃	3.4	6.0	5.5	6.3
CaO	1.5	1.1	1.0	1.2
MgO	0.8	1.3	1.4	1.2
Na ₂ O	1.5	1.1	1.0	0.9
K ₂ O	3.1	2.8	2.7	2.6
기타미량원소	0	2.1	2.8	2.6

Table 4 The formation ratio of grain size (%)

토 양 \ 입도조성비	Sandy Loam	Loamy	Clay Loam	Clay
Sand	77.5	65.4	71.5	41.6
Silt	15.5	23.3	18.9	39.2
Clay	7.0	11.3	9.6	19.2



After underground for 60cm



After underground for 120cm

Fig. 3 Shape of piping material for underground at a surrounding house

3. 실험결과 및 고찰

3.1 토양별 무게감소량

3.1.1 사양토에서의 무게감소량

사양토(Sandy Loam)는 농업지역에 많은 토양으로 Table 3과 같이 입자가 큰 모래가 많으며 수분이 적은 토양이다. Fig. 4는 세 종류의 배관재를 150일 동안 농업지역에 매설시켜 측정된 데이터 값이다. 전체적으로 큰 변화는 없지만 비교적 120cm 깊이의 배관재가 60cm 깊이의 배관재보다 무게감소 값이 많이 나타났다. 이와 같이 산소량이 많을수록 부식은 가속화되지만, 흡속과 같이 산소가 들어가기 어려운 경우에는 부분적인 산소농담이 생기기 쉽고 그 밖에 땅속 박테리아의 작용 및 관내 주변의 토양특성에 의한 미주 전류(Stray Current)의 영향 등으로 인한 현상으로 보여진다⁴⁾. 또한 배관재 종류별로는 아연도강관이 가장 많은 부식감량을 보였으며, 부식측정오차범위(1mg)를 무시한다면 동관, 스테인레스강관의 경우는 거의 변화를 보이지 않았다. 스테인레스강관의 경우 부식의 진행이 없었으며, 아연도강관의 경우 아연피막이 손상되어 부식속도가 증가 된 것으로 판단된다. 동관의 경우 현재 적은 변화를 보이고 있지만 이 역시 부식으로 인한 감량 증가된 것으로 판단된다.

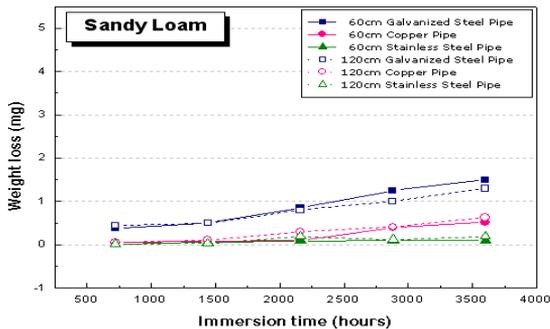


Fig. 4 Weight loss of Sandy Loam

3.1.2 양토에서의 무게감소량

양토(Loamy)는 산지주변에 많은 토양으로 농업지역에 비해 유기물이 다소 많다. 이 지역에 매설한 배관재의 무게감소량 역시 다른 지역과 크게 다르지 않았으며, Fig. 5와 같이 스테인레스강관은 거의 변화가

없고 동관은 감소량이 약간 상승되었다. 그리고 60cm보다 120cm에서 무게감소가 많이 나타나는데 이는 120cm 깊이에 수분이 많이 함유되어있는 Clay성분이 적절히 배관재에 작용함으로써 부식이 증가하는 것으로 판단된다.

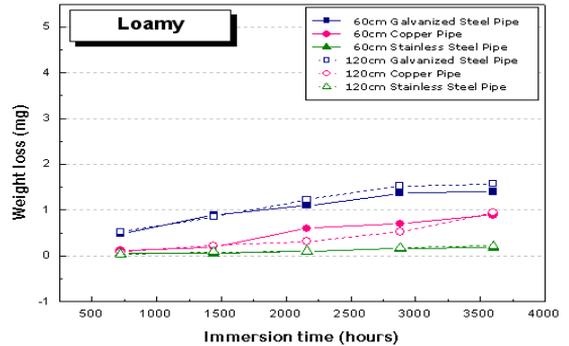


Fig. 5 Weight loss of Loamy

3.1.3 식양토에서의 무게감소량

식양토(Clay Loam)는 가옥주변에 많은 토양으로 농업지역에 비해 유기물함량이 많고 습한 토양이다. 토양 중 가장 많은 부식이 일어났으며 Fig. 6에서와 같이 60일 후부터 부식변화가 활발히 진행되었다. 세 종류의 배관 중 아연도강관의 경우 90일째 120cm보다 60cm에서 더 큰 변화를 보였지만 시간이 지나면서 진행속도가 늦어지는 현상을 보였다. 또한 식양토에서는 입자가 큰 Sand와 Ig-Loss의 영향으로 인한 토양의 밀착으로 기공이 확장되고 산소화산량의 증가로 인해 무게감소량이 증가한 것으로 판단되었다.

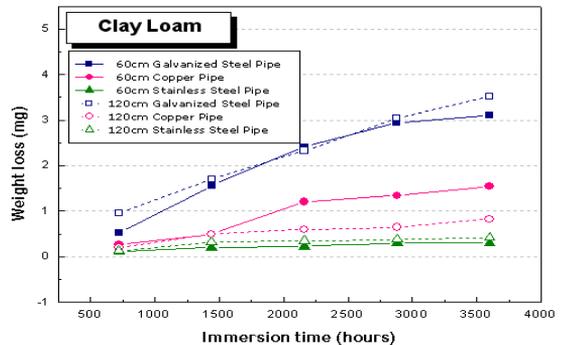


Fig. 6 Weight loss of Clay Loam

3.1.4 점토에서의 무게감소량

점토(Clay)는 하수주변에 많은 토양으로 유기물과 수분이 많다. 토중부식은 습식의 일종으로 얇은 수막에 의한 부식이라는 점에서 수분함량이 많은 점토의 경우 부식 무게 감소량이 많이 일어날 것으로 예상하였다. 하지만 사양토와 양토에 비해서는 부식이 활발히 진행됐지만 Fig. 7의 경우에서 나타난 대로 식양토 비해 특별히 무게 감소량을 보이지 않다가 90일이 지난 후 서서히 진행되는 모습을 보였다. 이는 점토의 가는 입자들이 금속면에 밀착하면서 수분과 산소의 접촉을 방해함¹⁴⁾으로 인해 나타난 현상으로 판단된다. 그러므로 부식의 영향을 미치는 중요한 요인인 금속면에서의 산소화산량이 점토에서는 매우 적게 나타나며 그 결과 부식의 무게 감소량이 크게 나타나지 않은 것으로 판단되었다.

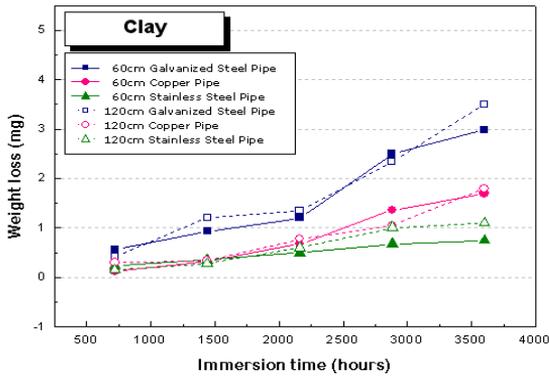


Fig. 7 Weight loss of Clay

3.2 재료별 무게감소량

3.2.1 아연도강관의 무게감소량

아연도강관(Galvanized Steel Pipe)의 경우 피막 상층부부분이나 철강이 물이나 또는 토양에 노출된 부분이 생겼을 때 아연이 부식 용해되어 생긴 부식생성물 $Zn(OH)_2$ 가 상처 부위를 피복하게 되고 서서히 수분과 분리되면 겔(Gel)상으로 변화되어 방식 기능을 한다. 하지만 금속이 부식하는 원리는 이온화 경향에 의한 금속이온의 용출에 의해 결정된다. Fig. 8의 아연도강관은 스테인레스강관, 동관보다 이온화경향이 커서 쉽게 부식이 일어난 것으로 판단된다.

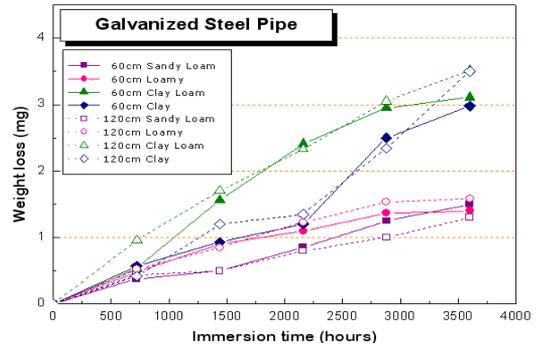


Fig. 8 Weight loss of Galvanized Steel Pipe

3.2.2 동관의 무게감소량

Fig. 9와 같이 동관(Copper Pipe)은 토양에 함유되어 있는 수분과 반응하여 산화피막을 형성하여 부식되지 않도록 보호피막의 역할을 한다. 이 피막이 파괴된 경우나 피막이 형성되기 어려운 토양을 중심으로 부식의 손상이 일어났으며, 관내의 물때와 녹, 이물질 등이 동과 반응하여 청녹이 생기는 청수현상이 나타났다.

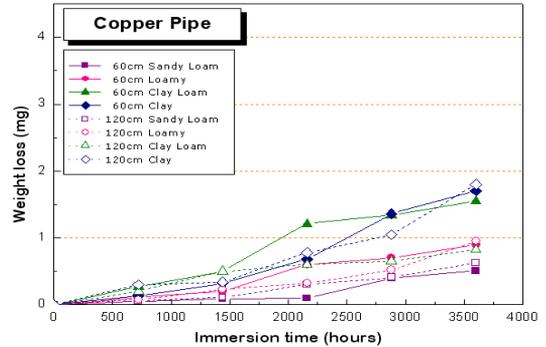


Fig. 9 Weight loss of Copper Pipe

3.2.3 스테인레스강관의 무게감소량

스테인레스강관(Stainless Steel Pipe)의 토양환경에 따른 무게감소는 Fig. 10에 나타내었다. 스테인레스강관은 다른 배관재에 비하여 무게감소가 나타나지 않았으며, 이는 스테인레스에 함유되어 있는 크롬이 산소나 수산기와 결합하여 강의 표면에 얇은 보호피막을 생성시켜 부식 발생을 방지하는 역할¹⁵⁾을 하는 것으로 판단된다.

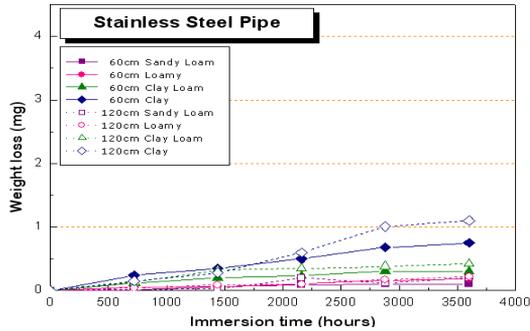


Fig. 10 Weight loss of Stainless Steel Pipe

3.3 표면의 특성

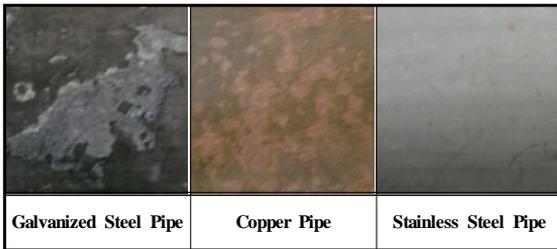


Fig. 11 Corrosion Surface of Piping Material

Fig. 11은 아연도강관, 동관, 스테인레스강관의 실물 사진이다.

아연도강관은 아연이 소모되어 철이 부식되면 철화합물 농도가 증가하게 된다. Fig. 11의 배관재 중 부식의 변화가 많이 일어난 아연도강관은 아연층이 부분적으로 소모되어 아연이 도금되지 않은 강관처럼 변화되어가고 있는 것으로 사료된다. 소모된 부분 즉, 아연피막이 손상된 부분을 중심으로 부식 진행되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 상하수도 배관재의 부식 환경에서의 표준시스템 개발에 관한 연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각종 배관재를 토양별(Sandy Loam, Loamy, Clay Loam, Clay)로 150일 동안 매설 부식한 시험편의

무게감소량은 전반적으로 큰 변화가 없었지만 60cm 깊이의 배관재보다 120cm 깊이의 배관재가 수분의 양과 산소농도 등으로 인해 더 많은 부식 감소량을 보였다.

2. 토양매설 실험결과 스테인레스강관의 경우 미소한 증감을 보이고는 있지만 부식의 진행이라 보기 힘들며, 동관의 경우 사양토에서 부식무게감소가 많이 되는 특성을 보였다. 아연도강관의 경우 이온화 경향으로 부식이 많이 일어나 가장 큰 무게감소량을 보였다.
3. 토양별로는 Clay Loam에서 부식이 가장 많은 변화가 일어났다. 그에 비해 수분함량이 많은 점토의 경우 부식감소량이 많을 것으로 예상했던 것과 같이 초기 큰 변화를 보이지 않다가 90일 후 부식이 서서히 변화가 일어나기 시작했다. 그러나 모래가 많은 Sandy Loam과 Loamy의 경우 부식의 변화가 거의 일어나지 않았다.

참고문헌

1. Kim, W. S. and Go, Y. T., "A Study on Stability Assessment of Gas Pipe (I)," KOSOS Sping Conference Proceedings, pp. 7-12, 2000.
2. 이용복, 김호경, 정진성, "피로해석의 기초," 청문각, pp. 1-31, 1999.
3. Kim, Y. P. and Kim, W. S., "The Fatigue Life Prediction of Defect in Pipeline Weldment", Journal of KWS, Vol. 19, No. 5, October, pp. 460-465, 2001.
4. 임우조, 양학회, 인현만, 이진열, "부식과 방식," 원창출판사, pp. 307-311, 1996.
5. 경희대학교 환경연구소, "수도관의 부식과 방식 대책," pp. 154-166, 1996.