

상·하수 배관재의 수 환경에서 부식진전도 연구

박경동*, 기우태**, 유형주***, 김동욱#

Research of Corrosion Growth Degree According in Liquid Environment of Waterworks and Sewer Piping Material

Kyeong-Dong Park*, Woo-Tae Ki**, Hyeong-Ju Yu***, Dong-Uk Kim#

ABSTRACT

The quality of the supply water which is supplied to consumer is not the thing of water after filtrating but the thing of water from faucet through pipe. As a result, heavy metals and microorganism, that is the major materials, which cause the distrust of the supply water is generated by supply process. Especially, the heavy metal is generated by the corrosion of waterworks. Besides, rupture by corrosion of pipe becomes the factor of supply water's pollution in waterworks and the factor of pollution of the soil and environment in drain pipe.

Therefore, this research examined the weight reduction electric potential measure to measure the corrosion degree of piping materials after testing the corrosion of piping materials(Copper Pipe, Galvanized Steel Pipe, Stainless Steel Pipe) which is generally used at the moment in various corrosion environments(subterranean water, supply water, 3.5% NaCl, 3.5% HNO₃). And let me show basic design data about problem occurrence such as leakage water, rust water, inside and outside corrosion from this.

Key Words : Corrosion Environment(부식 환경), Piping Material(배관재), Waterworks(상수도), Rupture(파괴), Environment(환경)

1. 서 론

수요자가 공급받고 체감하는 수도물의 수질은 정수처리이후의 물이 아니라 관망을 거쳐 수도꼭지에 나 나온 물의 수질이다. 2003년 한국소비자생활연구

원에서 서울 시내 거주자를 대상으로 한 면접설문조사에서 수도물에 대하여 우려하는 물질을 보면, 중금속이 37.0%를 가장 높았고, 다음으로 세균과 미생물(33%), 유해화학물질과 환경호르몬(각각 14%, 13%) 순으로 나타났다. 일반 시민이 감각적으로 우려하고 있고 결과적으로 수도물 불신을 초래하는 원인물질인 중금속과 미생물은 모두 정수 처리장에서는 문제가 되지 않으나, 배급수 과정을 통하여 발생하는 2차 오염 물질이라 할 수 있다. 그리고 수도물 불신의 가장 큰 원인인 중금속은 상수관로의 부식으로 인한 것이다. 상수관로의 부식은 수도물 중 적수, 탁수발생,

* 부경대학교 기계공학부

** 부경대학교 기계설계학전공

*** 부경대학교 기계설계학전공

교신저자 : 부경대학교 대학원 기계설계학전공

E-mail : galmaegi05@nate.com

맛, 냄새유발 등 심미적인 요인뿐만 아니라, 실제로 인체에 유해한 중금속이 기준치 이상으로 용출될 우려가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 정부에서는 매설한지 16년 이상된 관을 노후관으로 분류하고 1997년부터 2011년까지 3조원 8,319억원을 투자하여 총 42,757 km를 교체할 계획을 수립하여 진행 중에 있다.^[1]

선진외국에서는 관망시스템에서 현장실사 및 상태평가를 통하여 시설의 효율적 유지관리를 수행하고 있으며, 개량대상 관로에 대한 상태평가의 결과를 반영하여 경제성분석 및 적절한 갱생 공법의 선정을 통하여 관로보강 및 통수능을 향상시키고 있다. 따라서 관로 상태평가에 영향을 미치는 수리, 수질인자 및 시설 인자간의 상관관계를 규명하고, 노후도 평가결과에 따라 갱생 또는 교체 등 개량을 위한 적정 기준을 수립하고, 개량을 위한 계획이 수립되어야 한다.

이에, 본 실험은 각종 환경에 따른 배관재의 부식 정도를 측정하기 위해 현재 많이 사용되는 배관재료(아연도강관, 동관, 스테인레스관)를 각종 부식 환경(지하수, 수돗물, 3.5% NaCl, 3.5% HNO₃)에서 부식 진행 정도를 측정하여 누수사고, 녹물출수 및 내·외 부식 등 문제발생으로 인한 손실을 줄이고자 실험하였다. 따라서 본 연구는 환경에 따른 배관재의 부식 진행을 알아보기 위해 무게감소량과 전위차를 조사하여 부식에 대한 보다 효율적인 설계 및 정비 계획의 자료를 제시하고자 한다.

2. 시험편 및 시험방법

2.1 시험편

본 연구에 사용된 재료는 주로 상하수도 배관재에 사용되는 아연도강관, 동관, 스테인레스강관으로서 그 기계적 성질과 화학적 성분을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 실험에 사용된 관 재료의 호칭 치수는 15mm, 25mm, 32mm로 하였으며, 각각 세 가지 상하수도 배관재의 형상 및 직경을 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of piping material

Materials	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (MHv)
Galvanized Steel Pipe	355	46.4	110
copper pipe	247	53	64
Stainless Steel Pipe	767	55	190

Table 2 Chemical composition of piping material(wt, %)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Galvanized Steel Pipe	-	-	-	0.040 이하	0.040 이하	-	-	-
Copper pipe	-	-	-	0.015 ~ 0.040	-	-	-	99.90 이상
Stainless Steel Pipe	0.08 이하	1.00 이하	2.00 이하	0.040 이하	0.030 이하	18.00 ~ 20.00	8.00~ 11.00	-



(a) Copper pipe



(b) Galvanized Steel Pipe



(c) Stainless Steel Pipe

Fig. 1 Form of piping material

여러 가지 조건의 수용액에서 침지를 시키기 전에 무게감소량의 변화를 알아보기 위해 실험 전 각종 배관재를 미소전자저울(SHIMADZU-BX6200)로 측정하였다. 또한 Table 3과 같이 ASTM (American Society of Testing Materials, 미국 재료 시험 협회)에 따라 시편 세척을 하였다.

그리고 각종 수용액별 부식 무게감소량 및 전위를 측정하였으며, 이 재료를 다시 재료별로 구분하여 자료를 정리한 다음 평균값을 설정해 도표 하였다.

Table 3 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	1ℓ
	Temperature	room
	Time	several minutes
Copper	Dip in :	
	Hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19)	500ml
	Water to make	1ℓ
	Temperature	room
	Time	1 to 3min
Stainless steel	Dip in :	
	Nitric acid (HNO ₃ , sp gr 1.42)	100ml
	Water to make	1ℓ
	Temperature	60℃ (140F)
	Time	20min

2.2 실험방법

수용액별 부식특성은 4가지 수용액(지하수, 수돗물, 3.5% NaCl, 3.5% HNO₃)을 용존산소를 제거하지 않고 전위차와 무게감소량을 측정하였다. 지하수, 수돗물, 3.5% NaCl은 수소이온농도(pH) 7~9를 유지하였으며, 3.5% HNO₃는 수소이온농도(pH)를 2~4를 일정하게 유지시켜서 측정하였다. 그리고 모든 수용액의 온도는 12~13℃를 일정하게 유지하여 측정하였다.

Fig. 2은 시험편을 용액별, 배관 재료별, 배관 직경별로 분리하여 두개의 같은 시험편을 한 시험용기에 침지시켰다. 무게감소량은 침지시험 후 30일 간격으로 5개월 동안 측정하였고 부식전위측정은 염화은전극을 기준전극(reference electrode)으로 시험편을 작업전극(working electrode)으로 하여 150일 동안 10일 간격으로 측정하였다.



Fig. 2 Immersion form of piping material

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수용액별 무게감소량

3.1.1 지하수에서의 무게감소량

Table 4와 Fig. 3은 스테인레스강관, 동관, 아연도강관을 지하수에서 150일 동안 침지시켜 30일 간격으로 무게감소량을 측정하여 나타낸 것이다. 지하수는 비나 눈으로 지표면에 내린 물이 지표 위를 흐르는 동안 일부는 지하로 스며들어가 토양이나 암석 사이의 틈을 채우고 있는데, 이를 지하수라고 한다. 지하수에는 이산화탄소와 여러 가지 광물질이 녹아있어서 중성을 띤다. 이런 지하수에서의 무게 감소량을 비교해보면 아연도강관에서 가장 높은 무게감소량을 나타내었다. 하지만 수돗물, 3.5% NaCl, 3.5% HNO₃와 비교했을 때는 중성으로 인해 전체적으로 모든 배관재가 낮은 무게감소량을 나타내었다.

Table 4 Weight loss in subterranean water

specimen	30day (mg)	60day (mg)	90day (mg)	120day (mg)	150day (mg)
Stainless Steel Pipe	4	5.3	6	6.7	7
Copper Pipe	8	14	16	17	20
Galvanized Steel Pipe	18	31	34	36	40

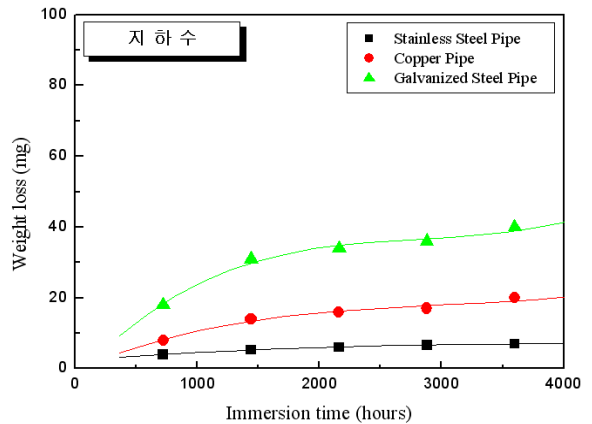


Fig. 3 Weight loss in subterranean water

3.1.2 수돗물에서의 무게감소량

오래된 건물에는 종종 수돗물을 틀었을 때 부식으로 인한 검은 가루가 나오는 현상을 볼 수 있다. 이는 철이 산소와 결합하여 산화철이 되기 때문에 수돗물에 있는 용존 산소와 염소이온 때문에 녹이 잘 생기게 된다.^[2] Table 5와 Fig. 4에서 보듯 150일 까지는 큰 변화가 일어나지 않지만 차후 배관이 녹슬면서 부식이 급격히 진행될 것으로 판단된다.

Table 5 Weight loss in supply water

specimen	30day (mg)	60day (mg)	90day (mg)	120day (mg)	150day (mg)
Stainless Steel Pipe	3.3	7	10.5	11	11.8
Copper Pipe	6	15	17	19.6	24.6
Galvanized Steel Pipe	17	33	35	40	47

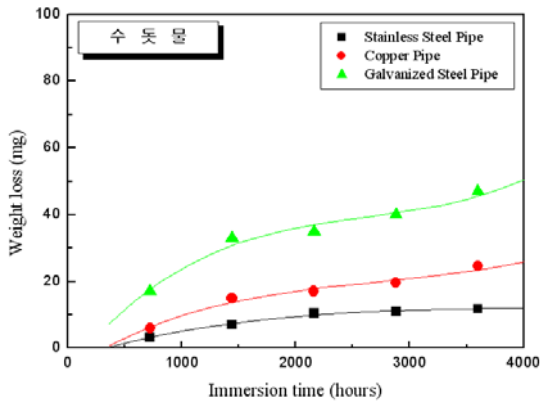


Fig. 4 Weight loss in supply water

3.1.3 3.5% NaCl에서의 무게감소량

물에 식염을 첨가하면, 약 1~5%에서 부식속도가 극대로 나타난다. 해수의 식염농도는 약 3%이므로, 해수는 자연환경 속에서도 부식성이 강한 환경이다. 그러므로 천연해수의 부식성을 근사할 수 있는 인공 해수(artificial sea water)가 고려되어 JIS K 2510에 규정되어 있다. 해수의 성분은 장소에 의해 차이가 있으나 그 부식성은 생물의 영향을 제외하고는 어디서든 거의 유사한 것이라고 하고 있다.^[3]

Table 6 Weight loss in 3.5% NaCl

specimen	30day (mg)	60day (mg)	90day (mg)	120day (mg)	150day (mg)
Stainless Steel Pipe	9	13.4	13.7	15.6	17
Copper Pipe	16	24	30	34	41
Galvanized Steel Pipe	24	36	44	56.4	68.4

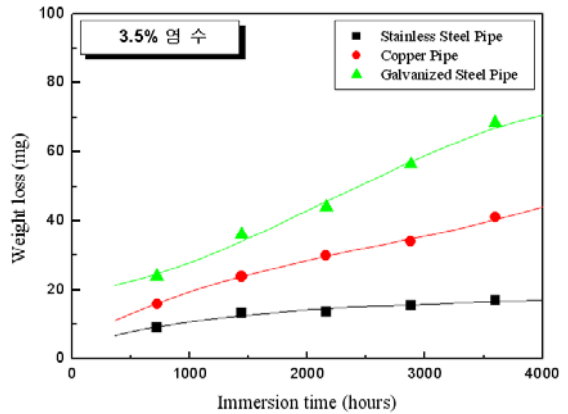


Fig. 5 Weight loss in 3.5% NaCl

3.5% NaCl 수용액을 부식환경조에 시험편을 침지시키고, 시험편을 고정시켜 각 시험편이 겹치지 않도록 하여, 세 가지 종류의 배관재를 30일, 60일, 90일, 120일, 150일 기간동안 침지시켜 얻어진 무게 감소량을 Table 6과 Fig. 5에 나타내었다. 실험 결과를 보면 아연도강관의 경우 90일부터 급격한 변화를 보였지만 스테인레스강관과 아연도강관의 경우는 서서히 증가함을 알 수 있었다. 이는 아연도강관의 부식이 주로 pH와 유속에 의해 좌우되는데 아연층이 부식되면 아연-철합금층의 부식이 진행되고 최종적으로 철 소지층에 도달하여 급속히 부식된다는 점에 의해서 무게감소량의 변화를 판단할 수 있다.^[4]

3.1.4 3.5% HNO₃에서의 무게감소량

질산(HNO₃)은 물에 녹으면 수소이온을 내놓는 성질이 있기 때문에 용액의 산성도를 증가시킨다. 공업용 폐수나 탄광 폐수에 SO₄²⁻, PO₄³⁻, CO₃²⁻, NO₃⁻ 이온 등을 함유하는 금속염들이 존재하기 때문에 폐수의

pH가 낮은 경우가 많다. 만일 물의 pH가 4보다 낮아지면 대부분의 미생물, 박테리아, 수중식물, 물고기 등이 서식할 수 없게 된다^[5]. 특히 제철 공업에서는 강한 산을 이용하여 철의 표면을 세척하는 경우가 많아 이러한 폐수가 흘러들어가는 관의 경우를 보면 부식이 더 촉진되는 것을 볼 수 있다. 이에 3.5% HNO₃은 이런 환경에서의 배관부식을 알아볼 수 있는 적합한 용액이다.

Table 7 Weight loss in subterranean water

specimen	30day (mg)	60day (mg)	90day (mg)	120day (mg)	150day (mg)
Stainless Steel Pipe	13	16	23	31	39
Copper Pipe	95	102	153	216	297
Galvanized Steel Pipe	327	431	463	529	572

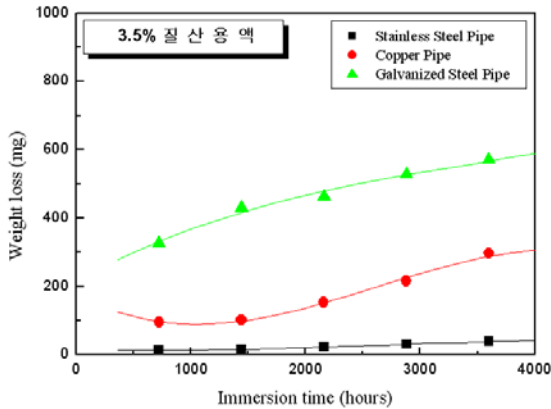


Fig. 6 Weight loss in 3.5% HNO₃

Table 7과 Fig. 6에서는 3.5% HNO₃의 무게감소량의 변화를 알아보았다. 3.5% HNO₃는 스테인레스강관을 제외하고는 다른 용액에 비해 10배 정도의 많은 무게감소량이 나타나고 있으며 시간이 경과 할수록 그 차는 더 커지고 있다. 그러므로 공업지역의 폐수가 많이 나오는 경우 주위 환경의 오염으로 상·하수관의 누수의 위험이 있으므로 비용이 많이 들어도 스테인레스강관을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

3.2 재료별 무게감소량

3.2.1 스테인레스강관의 무게감소량

스테인레스강관은 일반적으로 녹이 슬거나 부식되지 않는 것으로 인식되어 왔으나 실제로는 대상 수질이나 시공상태에 따라서 부식이 발생한다. 특히, 수중의 염소이온은 금속의 보호피막(부동태피막)을 파괴하는 성질이 있어 부식발생에 매우 위험한 요소이며 일단 부식이 발생하면 급속도로 진행되어 단기간에 누수가 발생할 가능성이 있다.

Fig. 7은 스테인레스강관의 수용액별 무게감소를 비교한 것으로 3.5% HNO₃에서 다른 용액에 비해 2배에서 많게는 7배 이상 높은 감소를 보임을 알 수 있었다.

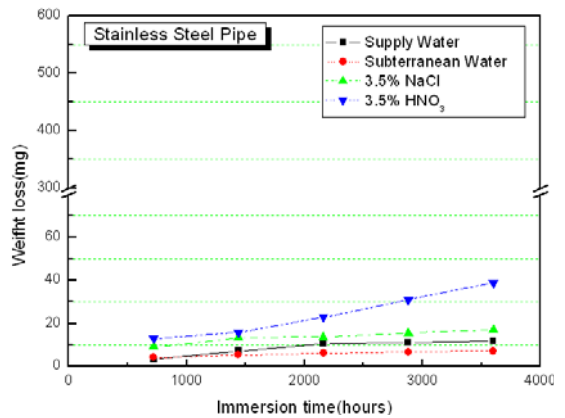


Fig. 7 Weight loss of stainless steel pipe

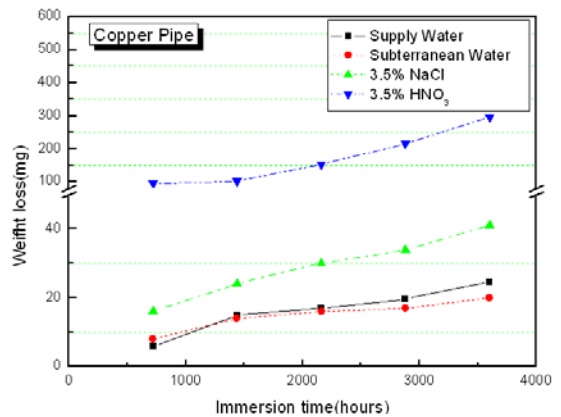


Fig. 8 Weight loss of copper pipe

3.2.2 동관의 무게감소량

동은 옅은 붉은색을 가지며 연성과 전성이 뛰어난 재료로써 전기전도와 열전도가 높고 부식에 대한 저항이 매우 높다. 그러나 해수나 오염 환경과 밀접한 경우 Fig. 8과 같이 인공해수에서는 다른 환경에 비해 약 2, 3배의 부식을 3.5% HNO₃에서는 인공해수에 비해 7배 이상의 부식으로 인한 무게감소를 확인할 수 있었다.

3.2.3 아연도강관의 무게감소량

산화환원반응의 열역학적인 면만을 고려하면 아연은 철에 비하여 활성이 더 강한 전위를 갖기 때문에 철보다 빠르게 부식되어 단기간에 음극보호의 이점이 없어진다. 그러므로 아연도강의 예상 수명을 알게 되면, 아연이 철에 얼마만큼의 보호작용을 할 수 있는지를 평가할 수 있다.

Fig. 9는 아연도강관의 환경에 따른 무게감소를 나타내고 있다. 전체적으로 아연도강관은 스테인레스나 동관에 비해 많은 무게감소를 보이고 있다. 또한 시간이 경과함에 따라 인공해수의 무게감소가 24mg < 36mg < 44mg < 56.4mg < 68.4mg로 다른 용액에 비해 크게 상승하고 있음을 볼 수 있다.

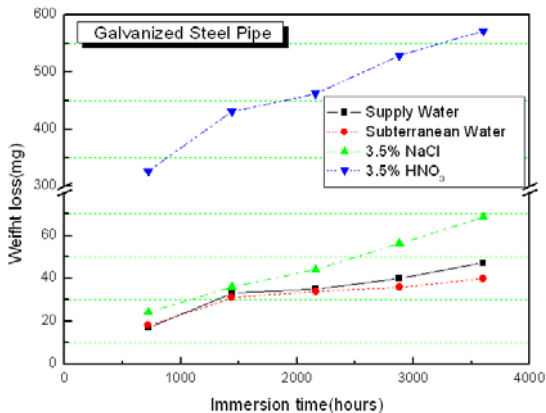


Fig. 9 Weight loss of galvanized steel pipe

3.3 수용액에서의 부식전위의 변화

Fig. 10~13은 지하수, 수돗물, 3.5% NaCl, 3.5% HNO₃에서 스테인레스강관, 동관, 아연도강관의 전위

차를 측정하는 것이다.

수용액에서 부식속도에 영향을 미치는 환경요인은 부식액의 pH, 용존산소, 용존이온의 영향, 중성염 농도의 영향, 농담전지작용 등을 들 수 있다. 여기에서 사용된 부식전위의 측정법은 금속표면 및 환경 측 인자의 불균일성 및 변화에 따라서 영향을 받게 되므로, 금속표면상태 및 금속성의 특징을 조사한 후에 시간적 변화를 측정하였다. 그리고 측정결과에 따라 직접 부식속도를 알 수는 없지만, 사전에 전기화학적 특성을 구하므로 앞에서 측정하는 무게감소량의 데이터와 비교하여 부식상태를 추정하고자 측정하였다.

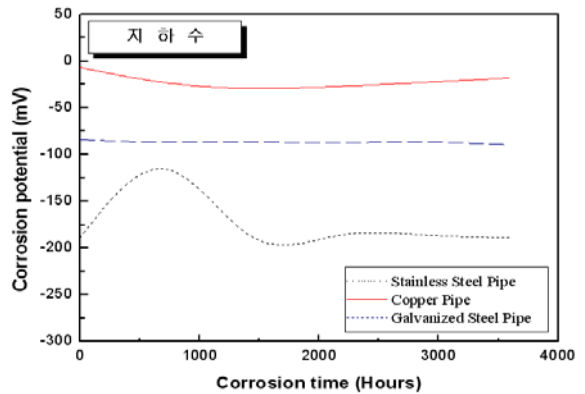


Fig. 10 Corrosion potential versus immersion time of specimens in subterranean water solution

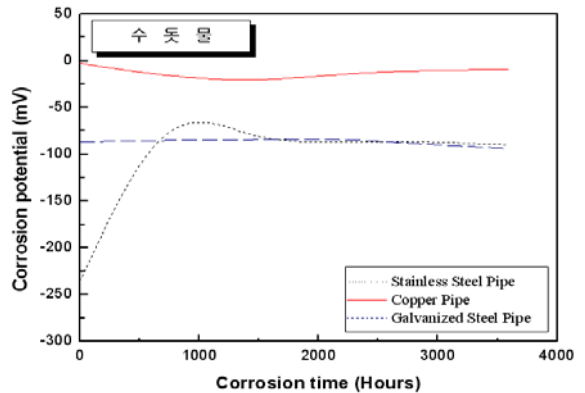


Fig. 11 Corrosion potential versus immersion time of specimens in supply water solution

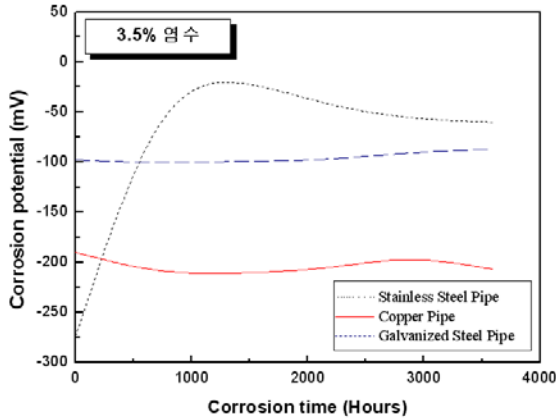


Fig. 12 Corrosion potential versus immersion time of specimens in 3.5% NaCl solution

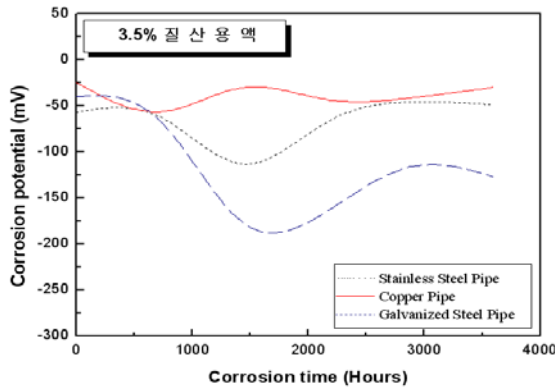


Fig. 13 Corrosion potential versus immersion time of specimens in 3.5% HNO₃ solution

먼저 동관의 경우 3.5% NaCl용액에서 낮은 전위를 보였으며, 아연도강관의 경우는 3.5% HNO₃에서 큰 폭의 변화를 보였고 스테인레스강관의 경우 처음에 낮은 전위에서 점차 일정하게 안정화되어가는 전위차를 보였다. 이는 3.5% NaCl용액에서 동관은 Cl⁻에 의한 피막의 파괴로 인한 부식진전으로 보이며, 아연도강관의 경우 pH와 유속의 가장 큰 영향을 받으므로 pH4이하인 3.5% HNO₃에서는 수소발생형 부식 (hydrogen evolution type corrosion)에 의해 부식진행이 증가함을 알 수 있었다. 또한 다른 수용액에서와 다르게 3.5% HNO₃용액에서 스테인레스강관의 전위차

변화는 국부부식형태인 공식으로 인한 부식진행으로 판단된다.

5. 결 론

상하수도 배관재의 부식진전을 조사하기 위해 스테인레스강관, 동관, 아연도강관의 시간에 따른 무게감소량과 전위차를 측정하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 150일 동안의 수용액별(지하수, 수돗물, 3.5%NaCl, 3.5HNO₃) 부식 특성을 살펴보면, 무게 감소량에 있어 3.5HNO₃수용액에서 아연도강관의 경우 스테인레스강관 비해 20배, 동관에 비해 10배의 감소량을 보였다. 그리고 다른 수용액에서는 스테인레스강관에 비해 8배, 동관에 비해 2배 정도의 아연도강관의 무게감량을 볼 수 있었다.
2. 재료별 무게감소량의 비교에 있어 스테인레스강관의 경우 3.5% HNO₃에서 다른 용액에 비해 2배에서 많게는 7배 이상 높은 감소를 보였고 동관의 경우 인공해수에서 다른 환경에 비해 약 2, 3배의 부식을 3.5% HNO₃에서는 인공해수에 비해 7배 이상의 무게감소를 보였다. 또한 아연도강관의 경우 전체적으로 스테인레스나 동관에 비해 많은 무게감소를 보이고 있고 시간이 경과함에 따라 인공해수의 무게감소가 24mg < 36mg < 44mg < 56.4mg < 68.4mg로 다른 용액에 비해 크게 상승하고 있음을 볼 수 있다.
3. 수용액에서의 전위측정 결과 동관의 3.5% NaCl용액에서 낮은 전위를 보였으며, 아연도강관의 경우는 3.5% HNO₃에서 큰 폭의 변화를 보였고 스테인레스강관의 경우 처음에 낮은 전위에서 점차 일정하게 안정화되어가는 전위차를 보였다.

마지막으로 이번연구에서는 환경에 따른 각종 배관재의 특성과 부식 환경에 대한 무게감량 및 전위차를 비교하고 분석하였지만 다음연구에서는 보다 정확한 환경에 따른 관의 수명을 판단할 수 있도록 관의 부식표면관찰과 각 배관재의 부식 형태별 변화를 통한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 먹는물 수질검사결과(상반기, 하반기), 환경부, 2004년
2. 최연정, 박종웅, 옥치상, 노후 상수도관중 잔류염소가 음용수 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 289~298, 1992.
3. 임우조, 양학회, 인현만, 이진열, 부식과 방식, 원창출판사, pp. 311~312, 1996.
4. 경희대학교 환경연구소, 수도관의 부식과 방식 대책 1996년. 9월
5. 박길용, 환경문제의 제사상, 다산출판사, 2002.
6. 최연정, 노후상수도관중 잔류염소가 음용수 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 289~298, 1992.