

DVGW이론에 따른 상수관망의 부식방지에 관한 연구

Corrosion Reduction Techniques of Pipe Line Net Using DVGW

추태호*, 김하일**, 옥치율*, 제성진*
부산대학교 산업토목학과*, 부산시 상수도사업본부**

Tai-Ho Choo(thchoo@pusan.ac.kr)*, Ha-Il Kim(gs4697@busan.go.kr)**,
Chi-Youl Ok(cyok@pusan.ac.kr)*, Sung-Jin Je(hasijin@naver.com)*

요약

상수도관망에서 발생하는 누수현상은 수자원의 손실뿐만 아니라 압력손실로 인한 추가적 가압 설비의 필요성 및 누수 되는 관로 주변의 토질의 약화 등을 초래하여 관망의 유지관리를 어렵게 하고, 심각한 경제적 손실을 야기하고 있다. 본 연구는 구역고립으로 인한 수압과 유량 등을 상시 모니터링 하여 누수사고의 적극적인 대처와 누수발생을 미연에 방지함으로써 유수율을 향상시킬 수 있다. 실제 구역고립 후 계속되는 수압조절 및 유입유량의 모니터링에 의하여 구역 내 유수율 산정결과 평균 유수율은 88.94%로서 부산광역시 2003년도의 유수율 79.5%보다 9.44% 높게 조사되었다.

■ 중심어 : □상수도 관망 | 누수현상 | 모니터링□

Abstract

Leakage of waterworks pipe line net cause loss of water resources, additional foundation of pressurization facilities from pressure loss and soil weakening near leaked pipe line, etc.. This makes it difficult to maintain and manage waterworks pipe line net and so cause serious economic loss. The rate of accounted water can be improved by monitoring always water pressure and flux, and so on, from isolated region, preparing positively against leakage accident and preventing leakage from occurring. Actually after isolating region, average rate of accounted water in this region went up 88.94% by continuously monitoring control of water pressure and inflow rate. It is about 9.44% higher than that of Busan metropolitan city in 2003, 79.5%.

■ keyword : □Pipe Line Net | Leakage | Monitoring□

1. 서론

최근 증대되고 있는 과학기술에 대한 투자는 측정 기술의 자동화를 통한 비용절감을 목적으로 한 감시체

제의 개발, 원격 모니터링 감시기술의 개발, 사고 감지 및 대응기술의 개발 그리고 시스템의 운영 및 유지관리 최적화 등으로 구체화되어 가고 있다.

누수와 파손의 관계에서 누수율이 높은 지역은 관의

* 본 논문은 부산대학교 자유 과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

접수번호 : #080420-002

접수일자 : 2008년 04월 20일

심사완료일 : 2008년 11월 02일

교신저자 : 옥치율, e-mail : cyok@pusan.ac.kr

파손율이 높은 지역이며 이것은 누수는 빙현상을 야기하여 관 파손을 증가시키는 주요원인이 되며, 관망 자체의 노후화를 촉진시킨다.

이와 관련된, 국내 상수관망의 부식방지 연구 사례를 살펴보면, 서상훈 등(1999)[1]은 CAPP조절과 부식억제에 관해 연구한바 있고 주충남(2003)등은 SCADA시스템에 의한 부식방지법을 제안하였으나, 수압과 유량 등을 상시 모니터링 하여 누수사고의 적극적인 대처와 누수발생을 미연에 방지함으로써 유수 등을 향상시키는 데는 한계성이 있었다.

따라서, 본 연구는 DVGW이론을 이용해 부식정도를 판별하고 누수가 일어날 때 이를 알려주고, 파손된 관로와 정확한 파손위치를 쉽게 파악할 수 있게 하여, 보수 및 교체시기 등을 조기에 세움으로써 누수 및 수돗물 2차 문제를 줄이고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 연구대상지역

본 연구대상지역의 지표고는 GL(+) $19.4m \sim GL(+)$ $68.4m$ 로 구성되어 있으며, 유입부수압이 $5.2kg/cm^2$ 이며 고지대수압이 $1.6kg/cm^2$ 로 수압으로 인한 구역내 누수량의 증가는 없는 것으로 보이니 향후 진행될 수 있는 누수를 사전에 방지하기 위하여 적정수압을 유도하여야 한다. 즉 누수의 주요인자중의 하나가 수압이므로 수압을 적정수압으로 적절히 하향조정함으로써 취할 수 있는 누수량의 절감은 상당한 량이 될 것이다.

본 연구에 사용된 수압계는 자기기록수압계로서 측정지점은 총 5개소로 선정하였으며, 1차와 2차에 걸쳐 수압을 측정하였다. 본 연구에 사용된 수압계는 Vermor-MKXX Data-Logger로서 24시간 자기기록 수압측정을 할 수 있는 기기를 선정·사용하였다.

연구대상가능지역 중 일반적으로 수압분포를 조사하여 균등급수가 가능한지, 분기관에 대한 수요량 분담능력이 있는지, 이에 따른 관경 검토도 가능한지, 지표고 형성에 따른 공급수의 원활한 수류 측정 등이 가능

한 지역을 연구 대상지역으로 선정하였다.

[그림 1]은 위와 같은 조건을 만족하는 연구대상지역의 수압측정지점에 대한 위치도이다.

2. 토양부식성

상수도관로의 외부부식에 영향을 미치는 토양부식성 인자는 토질(종류와 조성), 토양저항율, pH, 함수량, 통기성, 미생물, 용해성분 등이 있으며, 토양부식성 평가법에는 주철관을 대상으로 한 토양 부식성 평가법인 미국국가규격(ANSI)과 강관의 부식방지를 위한 토양 부식성 평가법인 독일가스수도기술자협회(DVGW)법이 있다.



그림 1. 연구대상 지역과 수압측도 위치도

ANSI 평가법의 측정항목은 토양저항율, pH, 산화·환원전위, 수분, 산화물 등 5개이며, 부식성 평가 방법은 10점 이상인 경우 부식성이 있는 것으로 평가하고 있으며, 이 평가법의 사용목적은 주철관중의 폴리에틸렌슬리브 이용여부를 결정하기 위하여 사용한다. [표 1]은 ANSI법을 이용한 토양 부식성 평가법을 나타내었다.

표 1. 부식성 평가

Estimated Value	>0	0~4	-5~-10	<-10
Corrosivity	Very weak	Weak	Middle	Strong

DVGW 평가법의 측정항목은 토질, 함수율, 토양 저항률, pH, 총산도, 총알카리도, 산화·환원전위, 이산화황 및 황화합물, 염소이온, 황산이온 등 10개이며, 부식성 평가 점수는 -10점 이하인 경우 부식성이 있는 것으로 판단하였다. 일본의 경우 ANSI 평가법보다 DVGW 평가법이 실제상황과 관련성이 높다고 많이 사용하는 평가법이다. 따라서 본 연구에서도 독일 DVGW 평가법을 채택 사용하여 토양 부식성을 평가하였다.

3. 수질 부식성

수질 부식성은 부식성지수를 이용하여 간단히 평가할 수 있다. 부식성 지수는 탄산칼슘침전의 원리에 기초를 둔 지수와 다른 수질 화학인자들에 관계되는 부식에 기초를 둔 지수로 분류할 수 있다.

부식성 지수를 이용한 부식의 평가방법은 부식의 발생여부를 예측하고 부식성수질 조절에 대한 정보를 제공하는데 이용되며 관체의 부식에 대한 정보는 제공되지 않는다.

가장 대표적인 부식성 지수는 탄산칼슘포화 즉, 탄산칼슘 침전원리에 근거한 지수들이며, 기타 다른 부식성 지수들은 여러 가지 수질화학 인자들에 관계되는 부식에 기초를 둔다.

III. 적용 및 분석

1. 토양 및 토양부식성 평가

정수장에서 처리된 정수가 각 가정으로 공급되는 과정에서 배·급수관 및 옥내 배관의 부식과 누수로 인한 녹물 출수, 하수 유입 및 이·취미 발생 등 2차 수질 오염과 배·급수관의 수명 단축으로 인하여 수도물의 불신을 초래하고 있는 것이 현재의 실정이다.

배·급수관에 대한 체계적인 조사·연구의 부재로 매년 막대한 노후관 개량 사업비가 소요되는 바, 이들에 대한 체계적인 연구와 부식억제 및 防蝕기법에 대한 연구의 필요성이 대두되어 부산시의 토양을 중심으로 토양오염정도와 부식성을 평가하였다.

토양부식성평가에서 외부부식 영향인자는 전지부식과 미주전류가 있으며, 이는 관의 이음구조 및 매설환경 등의 배관형상, 구조적 관점의 부식형태로 분류하고 있다.

본 연구에서는 적용지역의 토양특성에 따라 평가항목수를 변경할 수 있는 독일 DVGW 평가법의 10개 측정 항목중 6가지만 시험하였으며 이는 샘플채취로 인한 현장조사의 어려움 및 우리시 수질연구소의 측정 가능한 기기활용, 또한 제외 4개 항목은 중요도에서 낮은 항목으로 금회 제외하였다. [그림 2]와 같이 부산광역시 전역의 대표성을 나타낼 수 있는 8개 지점을 선정하여 토양 부식성을 평가하였다.

부산광역시 토양오염조사에 사용된 토양은 모두 배수관을 둘러싸고 있는 토양을 채취하여 분석하였으며, 시멘트라이닝 닥 타일 주철관이 대부분이었으며, 매설연수가 15년 이상 된 관이지만 육안으로 볼 때 관내부와 외부가 비교적 깨끗하였으나, 부식성이 비교적 강하게 나타난 강서구, 동구 및 해운대구의 경우 타 지역보다 외부 표면의 상태가 좋지 않았다.

그러나 관 세정 후 세정수의 색깔은 적색이나 흑색을 띄고 있어, 관내에 부식이 진행됨을 알 수 있었다.

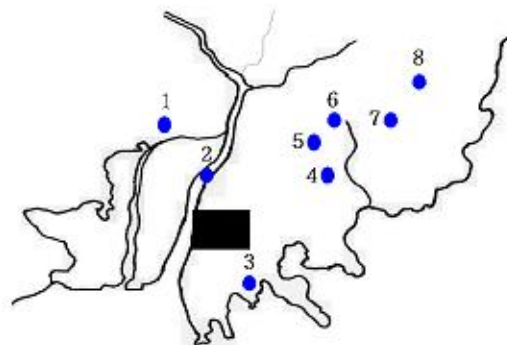


그림 2. 토양 채취 지점

매립지역의 배수관은 토양부식이 심해서 누수의 위험이 크며, 가스관이나 지하철이 지나가는 경우에도 전식 및 공식에 의한 내·외부 부식이 빠르게 진행되고 있는 것으로 판단되었으며 토양 분석결과는 [표 2]와 같이 나타났다.

토양 분석 결과를 DVGW 기준 적용하여 부식성 평가 점수를 산정하였을 경우 매립지(동구), 하천 인접 지역(강서구) 및 해안지역(해운대구)의 외부(토양) 부식성이 강하게 나타나고 있는 것으로 평가되었다.

표 2. 토양분석결과 [단위 : mg/kg]

번호	소재지	pH	알카리도	산도	염소이온	황산이온	함수율(%)
1	강서구 송백마을	7.9	65.8	10.5	98.9	18.3	29.1
2	강서구 동진마을	4.6	0.0	15.4	3.0	108.2	18.2
3	사하구 광림2동	8.9	223.6	18.8	21.1	29.7	24.1
4	동구 범일5동	9.4	584.9	7.8	2202.3	139.8	45.6
5	진구 도림1동	7.8	102.4	9.8	18.5	71.1	25.5
6	진구 초읍동	9.1	160.3	11.1	15.3	46.6	17.7
7	수영구 광안1동	7.6	70.2	8.9	29.9	191.4	21.9
8	해운대구 반여동	7.6	64.2	13.9	24.5	130.4	33.6
9	북부 모래	6.4	5.3	4.4	0.9	15.5	9.4

또한 노후 관 개량과 누수수리 후 환토 및 퇴 메우기를 할 경우 양질의 흙 또는 활성이 없는 무기질의 흙(유기질 함량이 2% 이하)을 사용하도록 "2004년도 부산광역시 상수도공사 설계지침서"에도 서술하고 있으며 [표 3]은 DVGW 기준을 적용하여 부식성 평가 점

수를 산정한 결과로 관의 외부부식을 방지하기 위한 한 방편으로 환토를 할 경우 양질의 흙이나 복토용 모래를 사용하는 것이 효과 적임을 알 수가 있었다.

표 3. 부식성 평가 점수 산정(DVGW 기준 적용)

번호	소재지	pH	알카리도	산도	염소이온	황산이온	함수율(%)	총점	평가
1	강서구 송백마을	0	0	-4	0	0	-1	-5	보통
2	강서구 동진마을	-4	X	-4	0	0	0	-8	보통
3	사하구 광림2동	0	+1	-4	0	0	-1	-4	악함
4	동구 범일5동	0	+1	-2	-4	0	-1	-6	보통
5	진구 도림1동	0	0	-3	0	0	-1	-4	악함
6	진구 초읍동	0	0	-4	0	0	0	-4	악함
7	수영구 광안1동	0	0	-3	0	0	-1	-4	악함
8	해운대구 반여동	0	0	-4	0	0	-1	-5	보통
9	북부 모래	0	0	-1	0	0	0	-1	매우 악함

2. 수질 부식성 평가

본 연구는 낙동강수계인 회명정수장 및 회동수원지의 호소수를 이용하는 명장정수장의 정수인 수돗물의 수질분석결과를 이용하여 수질 부식성을 평가하였다.

[표 4]와 [표 5]는 회명과 회동수원지의 상수원수별 수돗물의 계절별 수질특성을 잘 나타내고 있다.

황산이온 및 염소이온은 부식을 촉진시키는 수질인자로, 경도 및 칼슘은 탄산염의 박막(Carbonate thin film)형성으로 부식을 억제시키는 인자로 작용한다고 알려져 있다.

표 4. 회명 정수의 수질특성 [SO42-, Cl-, DO, Free Cl2(mg/L),[Alkalinity, Ca2+Hardness(mg/L as CaCO3)], [Temp(°C)]

Item	Corrosion acceleration		Corrosion inhibition		Etc.		Corrosion Index	
winter (12~1)	SO42-	60~62	Alkalinity	42.6~47.8	pH	7.1~7.3	LSI LR	-1.23~-1.34 1.39~1.42
	Cl-	31~35	Ca2+Hard	66.7	Temp.	8.8~9.5		
	DO	9.8	TDS	153~155	Free Cl2	0.5		
autumn (9~11)	SO42-	22~55	Alkalinity	25.9~39.8	pH	6.6~6.9	LSI LR	-1.43~-2.14 0.90~1.08
	Cl-	8~25	Ca2+Hard	36.6~74.0	Temp.	17.2~21.1		
	DO	9.4	TDS	91~133	Free Cl2	0.6		
summer (6~8)	SO42-	14~25	Alkalinity	16.5~23.4	pH	6.7~6.7	LSI LR	-1.96~-2.14 0.67~0.79
	Cl-	8~15	Ca2+Hard	42.0~46.0	Temp.	20.5~26.7		
	DO	8.2	TDS	77~94	Free Cl2	0.6~0.8		

표 5. 명칭 정수의 수질특성 [SO4²⁻, Cl⁻, DO, Free Cl2(mg/L)], [Alkalinity, Ca2+Hardness(mg/L as CaCO3)], [Temp (°C)]

Item	Corrosion acceleration		Corrosion inhibition		Etc.		Corrosion Index	
	SO4 ²⁻	Cl ⁻	Alkalinity	Ca2+Hard	PH	Temp.	Free Cl2	LSI LR
winter 11.2~11	10~12	10~15	19.6~23.8	24.4~25.2	7.1~7.9	9.1~9.6	0.4~0.5	-1.30~-1.82 0.82~1.07
	9.7		TDS	49~55				
autumn 19~11	10~11	8~14	16.0~21.4	22.8~30.0	6.6~6.7	16.4~20.9	0.6	-2.28~-2.55 0.74~0.88
	9.2		TDS	55~114				
summer 16~81	10~13	8~13	15.8~21.4	22.0~26.0	6.6~6.7	19.8~25.5	0.6~0.7	-2.28~-2.490.81 ~1.13
	8.4		TDS	74~92				

낙동강수계의 수돗물은 황산이온 및 염소이온과 경도 및 칼슘이 회동수원지 수계의 수돗물에 비하여 높기 때문에, 관로의 내면부식의 측면에서 보면 이 두 가지 인자가 서로 다른 작용을 해서 서로 그 영향력이 상쇄될 것으로 추측되나 이에 대하여는 추가적인 실험을 통한 추후 검증이 필요할 것으로 판단된다.

또한 각 상수원별 수돗물의 부식성 특징 중 계절적인 변화 경향은 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 지표수의 경우 겨울철에 부식성이 약간 컸으며 호소수의 경우 계절변화가 크지 않았다.

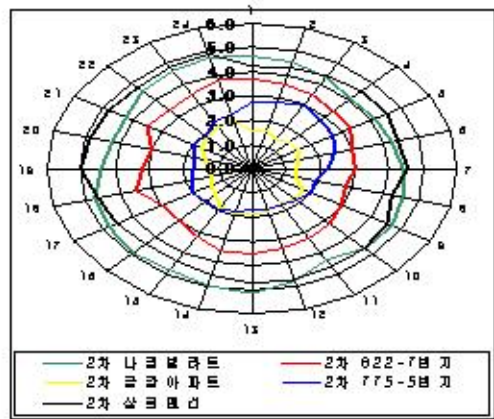


그림 4. 구역교립 후 1차, 2차 수압측정도

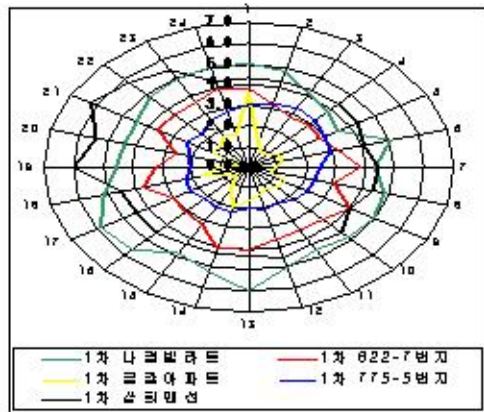


그림 3. 구역교립 전 1차, 2차 수압측정도

IV. 결과 및 고찰

[그림 3]은 구역교립 전 수압을, [그림 4]는 구역교립 후의 수압변화를 나타낸 그래프로서 구역교립 전 이 블록의 유입부분인 삼희 맨션 앞의 수압은 6.0kg/cm²보다 수압이 높게 걸리는 현상이 있었으나, 구역교립 후 5.0kg/cm² 보다 적은 수압이 걸려 적정수압을 유지하는 것으로 조사되었다.

그리고 나경빌라트 앞의 구역교립전 수압은 13:00와 15:00경에는 6.0kg/cm²에 육박하는 수압이 걸렸으나 구

역고립후 5.0kg/cm² 미만의 수압이 걸려 많이 안정화되었음을 보여준다. 이 구역의 관말지점인 금강아파트 앞의 수압은 구역고립전 최소 0.3kg/cm²에서 최고 4.0kg/cm²까지 수압이 걸렸으나, 구역고립후 1.2~2.2kg/cm² 정도의 수압이 걸려 구역고립전보다 안정된 수압을 유지하는 것으로 조사되었다.

[그림 4]의 그래프에서 보듯이 수압측정 5개 지점의 수압차가 일정하여 구역 내 누수로 인한 수압의 불균형은 없는 것으로 사료되며, 본 연구대상지역은 급수관 자체가 내식성 및 내구성이 뛰어난 재질을 이용하여 부설되어 있어 현재 수압으로 인한 누수발생은 적으며 적정수압을 유지하여 안정적인 것으로 나타났다. 또한 구역

내 유수율 산정결과 평균 유수율은 88.94%로서, 부산광역시 2003년도의 유수율 79.5%보다 9.44% 높게 나타났다. 부산광역시 토양오염조사에 사용된 토양은 모두 배수관을 둘러싸고 있는 토양을 채취하여 분석하였으며, 시멘트라이닝 닥 타일 주철관이 대부분이었으며, 매설 년 수가 15년 이상 된 관이지만, 육안으로 볼 때 관 내부와 외부가 비교적 깨끗하였으나, 부식성이 비교적 강하게 나타난 강서구, 동구 및 해운대구의 경우 타 지역보다 외부 표면의 상태가 좋지 않았다.

그러나 관 세정 후 세정수의 색깔은 적색이나 흑색을 띠고 있어, 관내에 부식이 진행됨을 알 수 있었다.

그리고 노후관 개량과 누수수리 후 환도 및 도메우기를 할 경우 양질의 흙 또는 활성이 없는 무기질의 흙(유기질 함량이 2% 이하)을 사용하도록 "2004년도 부산광역시 상수도공사 설계지침서"에도 서술하고 있는바, 관의 외부부식을 방지하기 위한 한 방법으로 환도를 할 경우 반드시 양질의 흙이나 복토용 모래를 사용하여 할 것으로 보인다.

V. 제언

현재 국내에는 부식성 수질제어를 위한 수처리 및 평가 방법이 아직까지 적용되고 있지 않지만 향후에는 많은 연구의 결과로 pH, 알카리도 및 칼슘경도의 조

절, 적절한 부식억제제(방청제)의 투입 등의 방법으로 부식성수질을 제어함으로써 수질적인 측면에서 부식에 의한 금속용출을 억제하여 수돗물에 대한 신뢰감을 높여야 할 것이며, 이에 대한 향후 연구는 지속적으로 모니터링 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 서상훈, 박성호, 최정일, 이지형, 박종일, 김지형, "CCPP 조절과 부식억제에 관한 관부식 방지에 관한 연구," 대한환경공학회 99추계학술연구발표회논문집(1), pp.315-316, 1999.
- [2] 서울시유수율대책백서, 서울특별시 상수도사업본부, 2000.
- [3] 한국건설기술연구원, 상수도관로의 부식 및 노후도예측모델 개발, 2002.
- [4] B. D. Douglas, D. T. Merrill, and J. O. Catlin, "Water quality deterioration from corrosion of cement-mortar linings," Journal AWWA, pp.99-1072, July, 1996.
- [5] D. A. Lytle, M. R. Schock, J. A. Clement, and C. M. Spencer, "Using aeration for corrosion control," Journal AWWA, pp.74-88, Mar, 1996.
- [6] 동경도 수도사업소, Leakage prevention in Tokyo, 2002.

저 자 소 개

추 태 호(Tai-Ho Choo)

종신회원



- 1990년 12월 : 미피츠버그대학교 토목공학과(공학석사)
- 1998년 12월 : 미피츠버그대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 2003년 9월~현재 : 부산대학교 산업토목학과 조교수

<관심분야> : 토목, 방재, 하천복원

김 하 일(Ha-Il Kim)

정회원



- 2004년 2월 : 밀양대학교
토목공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 밀양대학교
토목공학과(공학석사)
- 1985년 6월~현재 : 부산시
상수도사업본부

<관심분야> : 토목, 상수도

옥 치 율(Chi-Youl Ok)

정회원



- 1970년 2월 : 동아대학교
토목공학과(공학사)
- 1976년 2월 : 동아대학교
토목공학과(공학석사)
- 1987년 8월 : 동아대학교
토목공학과(공학박사)

•1977년 3월~2006년 2월 : 밀양대학교 토목공학과 교수

•2006년 3월~현재 : 부산대학교 산업토목학과 교수

<관심분야> : 토목, 수자원, 해안항만

제 성 진(Sung-Jin Je)

준회원



- 2006년 2월 : 밀양대학교
토목공학과(공학사)
 - 2006년 3월~현재 : 부산대학교
산업토목학과 대학원(석사과정)
- <관심분야> : 토목, 수리, 방재