XRF, XRD, SEM을 이용한 금속관 부식거동에 관한 연구

황 상 용

동남보건대학

A Study on a corrosion mechanism of watersteel pipes using XRF, XRD, SEM

Sang Yong Hwang

Dong Nam Health College

Abstract

This experiment from March 1, 1998 to August 31, 2001 through XRD, XRF, SEM, EDS had effects as follows.

1. According to the results of test using XRD and EDS, we found that the main ingredients causing corrosion of steel pipe was Fe_2O_3, that of cast iron pipe was $CaCO_3$.

2. The main ingredient of corrosion products in a water pipe was Fe. On an average Fe occuied 93.36% of corrosion products in case of steel pipe while it did 85.47% in case of cast iron pipe.

3. In case of a piped water passed through SCALE BUSTER over 10 times, the corrosion products decreased largely by the galvanic effect and sacrifical anode caused by the concerntration of Zn.

Ⅰ. 서 론

물은 인간의 생존을 위하여 없어서는 아니 될 물질이며 모든 생명체의 구성 물질이다.[1)]

우리나라 상수도는 1903년 12월 9일 미국인 Colbran 과 Bostwick가 고종황제로부터 상수도 시설과 운영에 관한 특허를 받아 5년후 1908년 8월 서울의 뚝도 수원지에서 12,000m^3/day의 정수시설을 갖추기 시작하여 현재 5,798백만 m^3를 생산하고 있다. [2,3)]

그런데 정부는 우리나라의 1인당 1개월 물 사용량이 1,470m^3로 2011년부터 물 부족을 우려해 노후관 교체 등의 물 절약 종합대책을 수립하기로 했다.[4,5)] 정수장에서 깨끗하게 정화된 물은 상수도를 통해 항상 안전하고 깨끗하게 공급해야 하지만 금속재질인 송, 배수관에 의하여 수요자에게 이송되면 수도관의 녹(rust), 스케일(scale), 슬라임(slime)등에 의해 적수가 되어져 국민들의 불신을 받고 있다.[6,9,13)] 그러므로 수도관의 부식과 관내에 생성된 스케일은 수돗물의 수질 저하 물 낭비와 수도관을 막아 결국 수도관을 교체하여야 하는 경우도 있다. [2,3,6,8,14)]

환경부가 발표한 자료에 따르면 물 생산량의 16.1%인 약 9.3억m^3의 물이 관부식 등 으로 관 파손, 배관시스템 등의 미비로 누수가 되고 있어 약 5천억원의 직접적인 손실을 일으키고 있다. [3,8,12)]

수도관은 장기간 지하에 매설되므로서 물과 토양 속의 수분으로 관내외부에 녹이 생성된다. 수도관은 주관(main body)관 부속관이 이음쇠, 밸브 등으로 구성되었으며 수도관의 재질은 주로 회주철관(Cast Iron Pipe)금속 등이어서 부식의 심각한 문제를 갖고 있다. [11)] 부식은 물리학, 화학, 생물학, 전기화학, 야금학적 등의 조합된 현상이다. 일반적으로 수도관 재질이 철(Fe) 부식영향요소는 용존산소, 총미네랄농도(Mg, Ca 등) 수온, 재질의 표면상태, 이온강도, 유속, 박테리아작용, 황산이온 등이다.[12,13)] 일반적으로 여름철에 수돗물에 산소가 부족한 환원상태에서는 유기물의 부패시 생성된 유리탄소(HCO_3^-)의 양이 물 속에 존재하면 다량의 Mn이 존재해도 수돗물의 색깔이 흑수(blcak water)가 된다. 흑수는 주로 여름철에 관로내벽에 침착된 점질성 슬라임(slime)이 두꺼운 층을 이룬다. 이 슬라임 층은 물 사용 peak시 과대유속과 확장공사시 수압증대로 평상시보다 빨라지면서 탈리되어 흑수가 된다. [14,15,26)]

따라서 분 연구는 안전하고 깨끗한 수돗물을 수요자에게 공급하기 위해 사용되어진 수도관내의 생성된 부식과 녹물에 의한 수질변화 영향인자를 분석하고 연구하고자 한다.

Ⅱ. 이론적 배경

우리나라 상수도 관의 현황은 2001년 1월 총연장길이 115,740km로써 관종별 길이는 Fig. 1과 같고 매설 년도별 현황은 Fig 2. 그리고 관종재질별 현황은 Fig 3. 이며 따라서 노후관의 부식에 의한 녹물 발생 및 이 물질유입등에 의해 국민에게 수돗물 불신원인이 되어 2001년 이후 총사업비 2조 9079억원을 투자해 노후수도관 33,230 ㎞ 교체하기로 하였으며 우리나라 정부의 노후 수도관 교체 계획은 Table 1 과 같다. [5)]

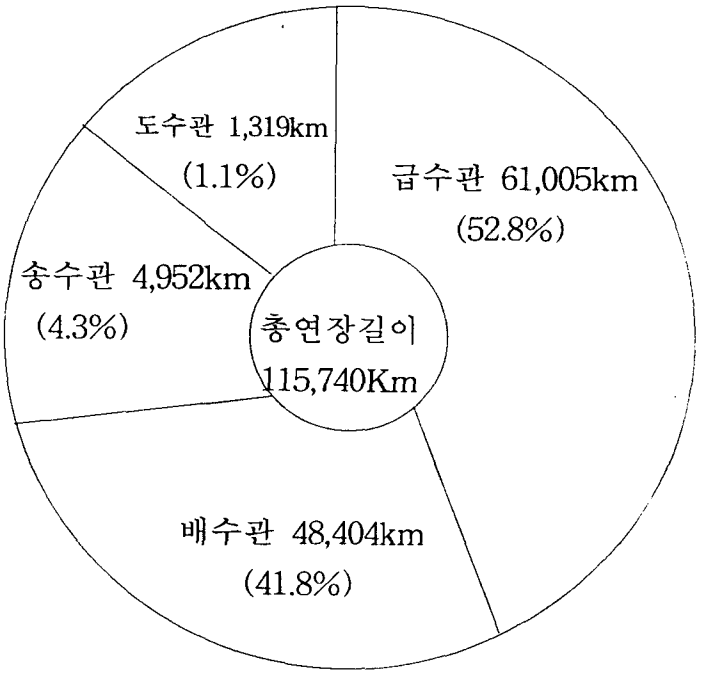


Fig 1. Length state of water pipe

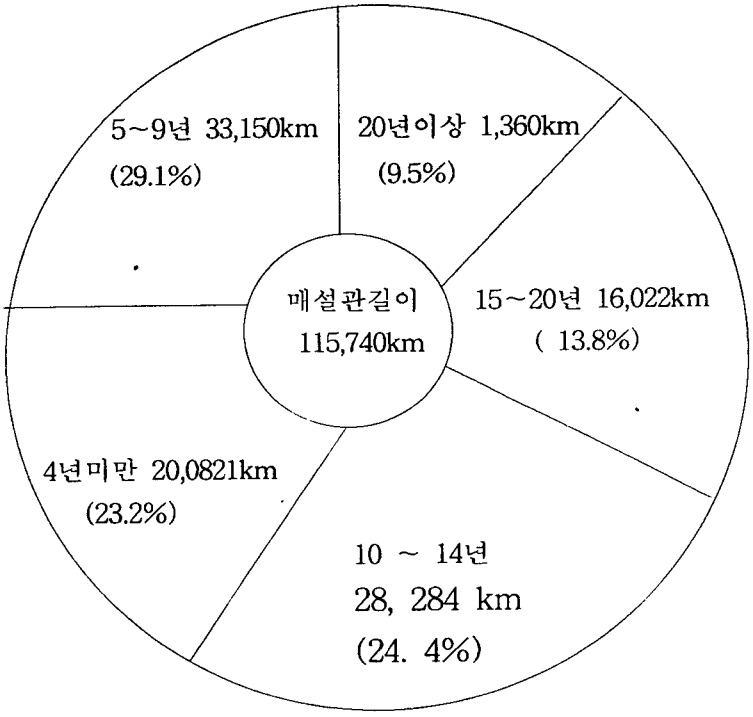


Fig 2 Year of water pipe under the ground

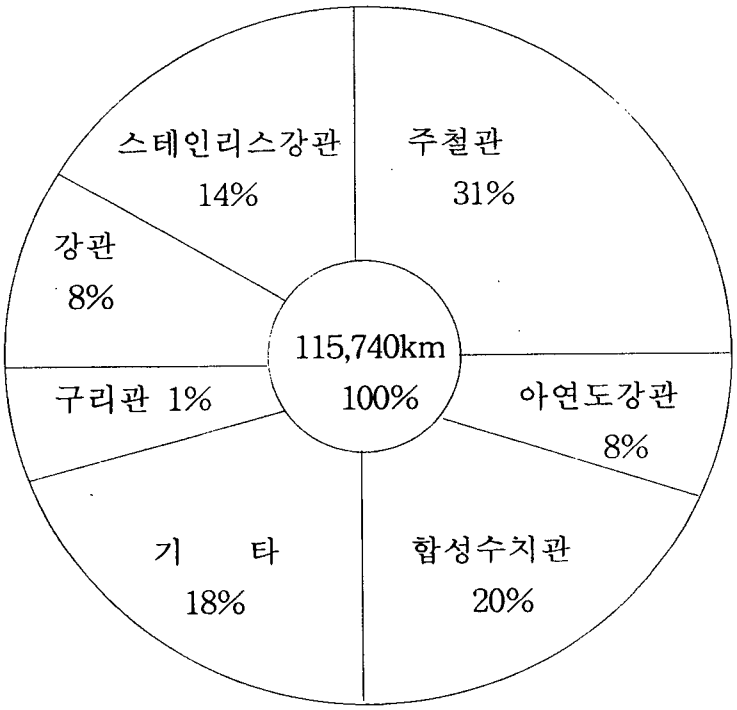


Fig 3 Water pipe material state

Table 1. 연차별 노후관 투자계획

구분	합계	1998년 까지	1999년	2000년	2001년 이후
사업비(억원)	38.319	4.656	2.210	2.374	29.079
사업량(km)	42.757	5.083	1.859	2.585	33.230
단위사업비 (백만원/km)	90	92	119	92	88

상수도 관의 국내외 의 기준을 비교해 보았더니 Table2 . Table3. Table4와 같이 구성되어 있었다.[22,23)]

Table 2 강관의 구성성분

Element	KS b 3583	JISG3457 3443	AWWAC200	ISO559
C	0.25 이하	0.258 이하	0.030 이하	0.021 이하
Si	-	-	-	0.35 이하
Mn	-	-	1.00 이하	0.40~1.20
P	0.040 이하	0.040 이하	0.040 이하	0.045 이하
S	0.040 이하	0.040 이하	0.050 이하	0.045 이하

Table 3 닥터일 주철관의 구성성분

Element	C	Si	Mn	P	S	Mg
KSD4311	2.8 ~ 3.7	1.7 ~ 2.5	0.2 ~ 0.4	0.10 이하	0.015 이하	0.03 이하

Table 4. 스테인리스강관의 구성성분

구 분	명 칭	대 표 강	조 성	금속조직상 분 류
크롬 - 니켈계	18Cr-8Ni 계	STS 304	18% Cr, 8% Ni	오스트 나이트계
		STS 316	18% Cr, 8% Ni2.5%Mo	
	16Cr-7Ni-1Al	STS 631	16% Cr, 7% Ni, 1%Al	석출경화형
크롬계	13Cr 계	STS 410	13%Cr	마르텐 사이트계
	18Cr 계	STS 430	18%Cr	훼라이트계

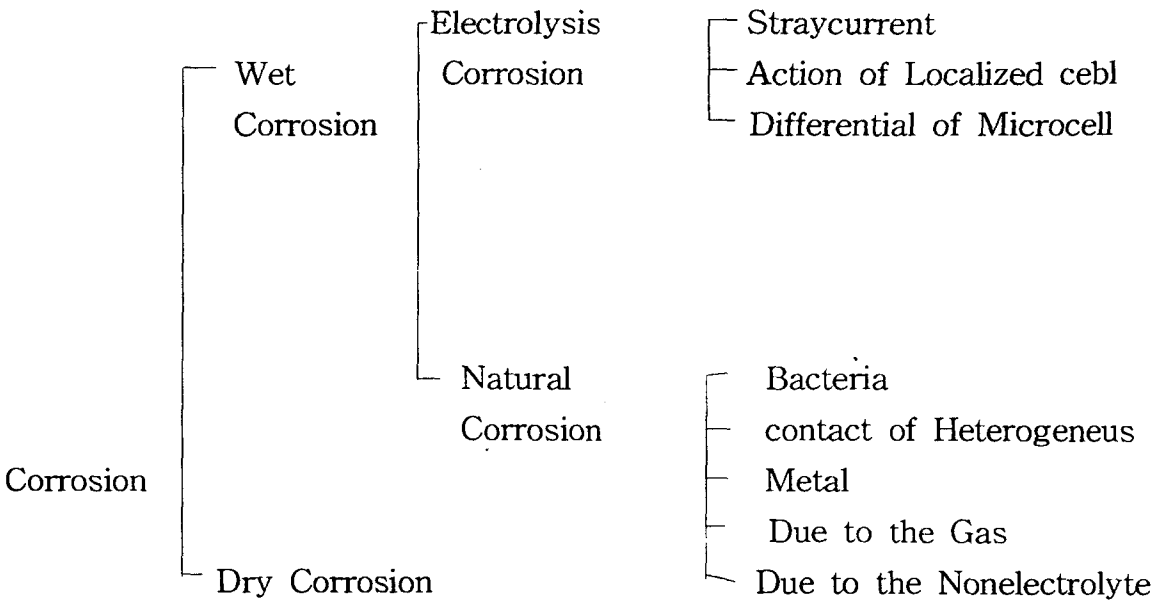


Fig 4. Corrosion classification of drinking water metal pipeline

상수도 금속관 부식의 분류는 Fig. 4와 같이 되며 부식반응식을 산성조건 pH<7 일 때 $M+mH^{+} \rightarrow M^{m+} + \frac{m}{2}H_2$ 이고

중성 또는 알카리일 경우(pH≥7) $M + mH_2O \rightarrow Mm+ + mOH^{-} + \frac{m}{2}H_2O$ 일어나며 금속관의 부식은 재질이 화학적 전기적인 반응에 의해 침식되고 금속과 관주의 토양 매설 환경과의 전기 화학적으로 발생되며 주요부식인자는 금속과 주변 토양간의 갈바닉반응과 미주전류이고 Fig 5와 같이 일어난다.[7,13,16] 물 속에서 철부식 발생기구를 살펴보면 Fig 6과 같이 된다.

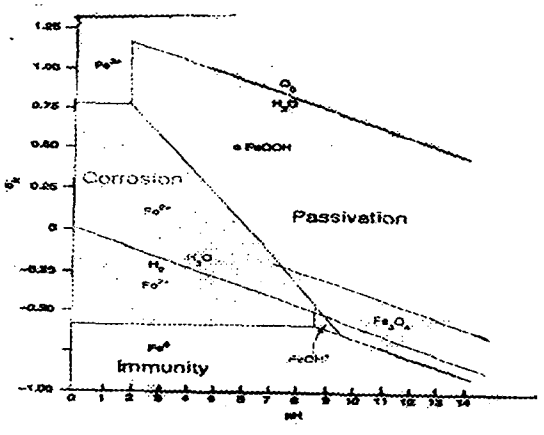


Fig 5. Pourbaix diagram for the iron-water system at 25℃

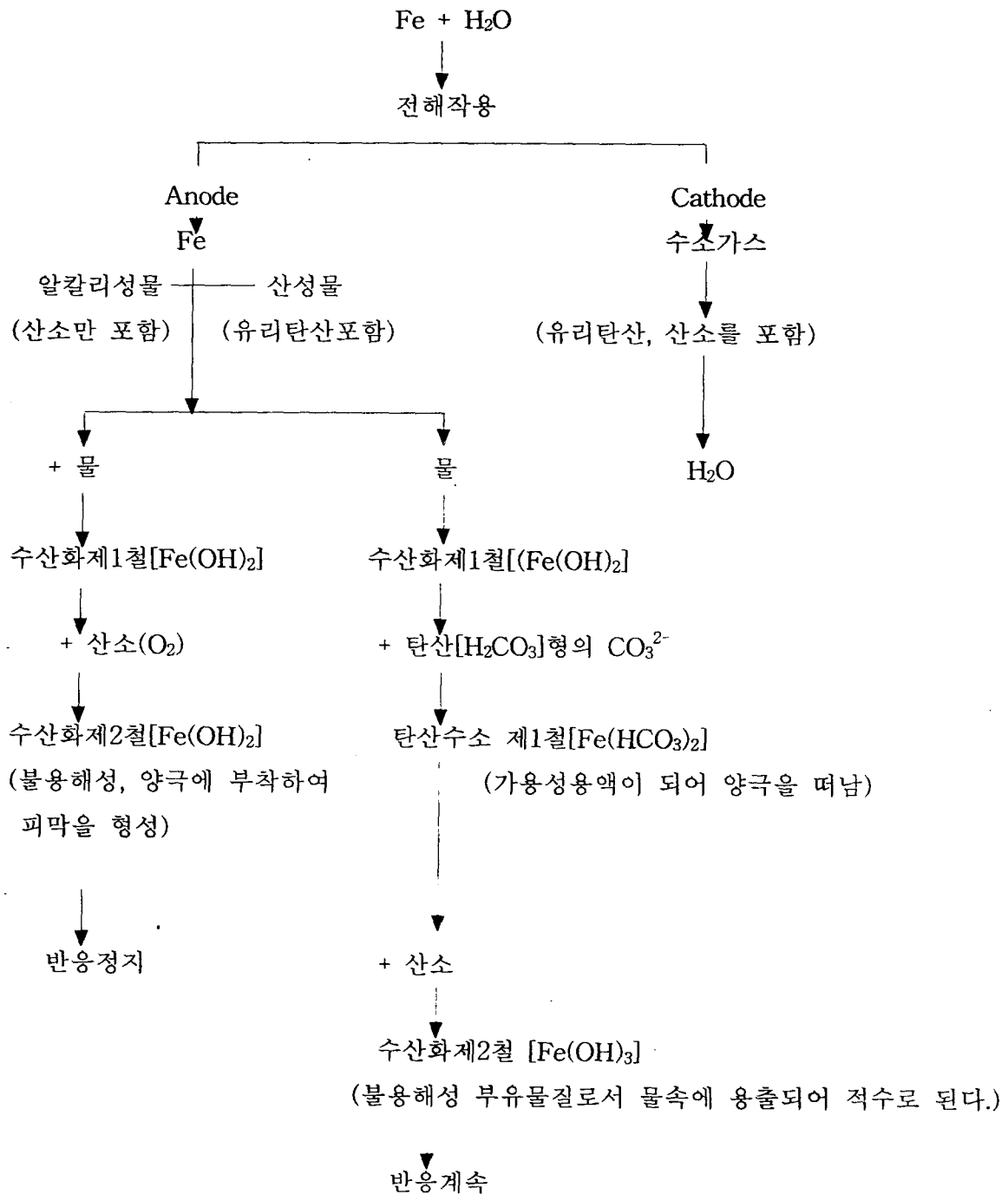


Fig 6 Fe Corrosion mechanism in water

또한 부식 생성물 생성과정은 다음과 같다.[17,21)]

1단계 반응

$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

$2OH^- + 2HCO_3^- \rightarrow 2CO_3^{2-} + 2H_2O$

2단계 반응

Calcite 반응

$2CO_3^{2-} + 2Ca^{2+} \rightarrow 2CaCO_3(s)$

Siderite 생성

$2Fe^{2+} + 2CO_3^{2-} \rightarrow 2FeCO_3(s)$

Geothite 생성

$2Fe^{2+} + \frac{1}{2}O_2 + 4OH^- \rightarrow H_2O + 2FeOOH(s)$

3단계 반응

Geothite pseudomorph 생성

$2FeCO_3(s) + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow 2FeOOH(s) + 3CO_3^{2-}$

Magnetite 생성

$3FeCO_3(s) + 2O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + CO_3^{2-}$

Hematite 생성

$2FeCO_3(s) + \frac{3}{2}O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 2CO_3^{2-}$

관내 부식에 영향을 미치는 인자는 물리·화학·생물학적인 이었다.

물리적 요인은 수돗물의 온도, 유속, 유압 등이며 화학적 요인은 pH, MLDO, CO_3^{2-}, Cl_2 ,전기전도도, 탁도, 경도, SO_4^{2-}, Cl^-, PO_4^{3-}, SiO_2 금속원소 물질 등이고 생물학적 요인은, 효모, 철, 박테리아와 같은 미생물의 성장이다. 그리고 부식억제 수질인자는 알카리도, 경도, 칼슘, 마그네슘 등이다.[25)]

Table 5 와 같이 수질인자별 부식효과를 볼 수 있다.

Table 5 수질인자별 부식에 미치는 영향

인 자	부식효과
pH	낮으면 부식이 증대하고 높으면 감소
알칼리도	낮으면 납과구리의 부식을 증대와 보호피막형성
잔류염소	구리와 철의 금속성 부식속도를 증대
용존산소	금속부식반응속도를 증대
총용존고형물	높으면 부식속도 증대
경 도	부식은 감소와 보호피막현상
잔류염소	높으면 부식층 증대(Fe, Cu, Zn관)
황화수소	높으면 부식 증대
암모니아성질소	낮아도 철과 강관의 부식증대

Ⅲ. 실험기간과 실험재료 및 방법

1. 실험기간 : 1998년 3월 1일 부터 2001년 8월 31일까지

2. 부식실험 대상시료 : Table 6 과 같다.

Table 6 부식실험 대상자료

번호	대상지역	관종	관경	매설년도
A-1	동작구 상도동	강관	30mm	20년이상 상수도관
A-2	동작구 상도동	강관	30mm	20년이상 상수도관
B-1	동대문구 휘경동	강관	60mm	18년된 상수도관
C-1	동작구 상도동	강관	30mm	10년된 상수도관
D-1	광양시 중마 주공 APT	강관	80mm	8년된 냉급수관
E-1	광양시 중마 주공 APT	강관	60mm	8년된 상수도관
F-1	광양시 중마 주공 APT	강관	30mm	방청제 사용 수도관

3. 부식실험 대상시료 가공 및 측정분석 실험방법

본 실험에서 사용한 상수도관 재질은 아연도강관, 회주철관이다.시료는 20년 이상된 30㎜회주철관 , 10년 이상된 회주철관, 18년 이상된 60㎜ 아연도강관 8년이상된 60㎜, 80㎜ 아연도강관 방청제를 사용한 30㎜아연도강관을 사용하여 내외부 부식상태 및 부식 생성물의 성분을 알아보기 위해 관의 부식을 쌍안실체현미경으로 관찰하였다.

특히 부식성이 강한 아연도강관 내외 부의 부식, 스케일 형성의 주성분과 구성 성분을 분석했다.

부식생성물의 화학조성분석은 관로내부에 축적된 녹의 시편을 diamond 톱을 이용해 5cm정도 자른 다음 정사각(10mm × 10mm 이하)되게 시편을 재 가공해 각각 시편에 대해 XRF(x-ray fluore scence 사용한 기기는 Rigaku RIX2100, 일본) 정성분석을 실시했다.[19,20] 이를 토대로 관로별 부식생성물에 대한 정량분석을 실시했다. 시료의 미세조직 관찰은 주사전자현미경 (일본 JEOL CO. Model : JXA-8600)을 이용해서 금속표면내부의 부식된 산화물의 화학조성을 정량적으로 분석하고 금속산화물의 형상을 촬영하기 위해 EDS(Energy Dispersive Sprectro scopy)에너지 분산분광시험 분석장치로 성분분석을 실시했다. 시료는 관체의 미세조직관찰을 위해 관을 다이아몬드톱

으로 절단한 후 이 시편은 마운팅용 재료를 사용해 약 120℃에서 가열한 후에 sic 연마지를 사용해 #600까지 조연마해서 가공된 시편을 다이아몬드 페이스트(paste)사용해 6㎛ 까지 연마 조제한 후 최종적으로 알루미나(Alumina)분말을 이용해 최종 0.05㎛(80mesh)될 때까지 시편에 경면 연마를 실시한 후 꺼내 증류수로 시편을 유기물이 제거되도록 5회 세척후 에칭용액(CH_3OH 100cc와 HNO_3 2cc로 조제)에 25-30초 동안 에칭후 상온에서 건조시킨 후 분석을 실시하였다. [19]

XRD (x-ray diffraction)분석은 철의 부식생성물의 성분을 알아내는데 XRD용 분석 기기(일본 : Rigakuco, RINT/DMAX2500)를 이용했다. 그리고 Graphite mono Chromator를 사용했고 counter는 scintillation Type 으로 특성 x-ray는 Cuka를 이용했으며 운전조건은 가속전압 40kev, Scan speed 10° /min, span step 0.02° 와 scan rang는 5 - 90° 이다. [21]

부식제어 실험방법은 관로속에 축적된 7㎛ 침상구조인 부식생성물을 제어하기 위한 실험을 실시하기 위해서 1998년 독일에서 개발된 ION SCALE BUSTER를 이용해 회주철관과 아연도관을 사용했다.

SCALE BUSTER는 물을 통과하면서 물과 SCALE BUSTER 내부의 PIPE(Polytetra fluoro ethytene)과의 마찰 갈바니 효과에 의해 정전기 발생으로 Anode 극에서 0.76v($Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$: $E^{o}x$)와 Cathode 극에서 +0.34v($Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$: E_oRed)의 1.1volt 자체전압을 발생시켜서 관로벽에 달라붙은 평균 7㎛의 침상구조 결정체를 평균 110㎛의 검정색 Magnetide Fe인 구상구조로 바꾸면서 부식부산물이 약 7-28일 동안 녹이 나오다가 30일 이후부터 서서히 녹아 줄어든다. 이러한 관체인 철, 구리보다 이온화 경향이 큰 SCALE BUSTER에 의해 생성된 아연이 계속 생성되어 이온화됨으로써 아연의 희생양극에 의해 지속적인 전자를 방출해 철의 전자방출을 막게 되어서 철의 산화현상인 부식을 막을 수 있다. 일반적으로 Magnetite의 생성메카니즘과 IONSCALE BUSTER 설치시 수질변화분석을 실시해 설치 전후의 변화를 실험했다. [7,13]

수질변화분석은 pH 전기전도도, 양이온 Na, Mg, Zn, Si, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Al, Cd, Pb, CO, Cr 의 항목을 수질오염공정시험방법인 플라르마 분광법(ICP-AES : 프랑스 Jobin, Yvonco, JY38PLUS)으로 분석했다.

그리고 음이온 F, Cl, NO_3, SO_4 항목은 이온크로마토그래피(IC) 및 원자흡광광도법(AAS : 미국 · Varian co, spectra AA-300PLUS) 방법으로 분석했다. [18,24]

Ⅳ. 결과 및 고찰

쌍안 실체현미경에 의해 상수도 금속관의 부식생성물 형태를 촬영해 관찰하였더니 Fig 7-1, 7-2와 같이 녹이 다양하게 나타났지만 대게 층상의 구형이었다. 구형의 녹은 안쪽에는 회색이 느슨하게 결합한 형태이고 중간은 단단한 검은색과 가장 바깥쪽에는 적색황색(Henatite : α-Fe_2O_3)을 띄고 있음을 알 수 있었다.

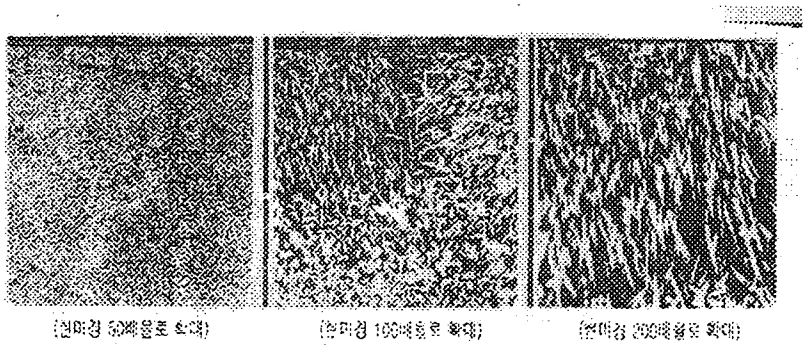
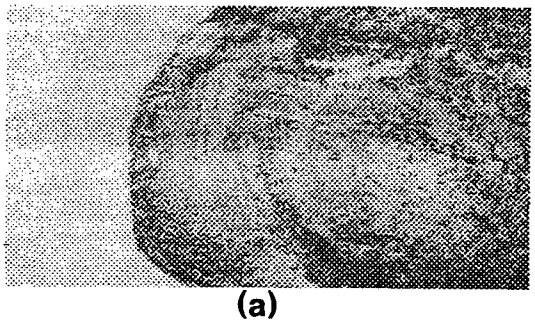
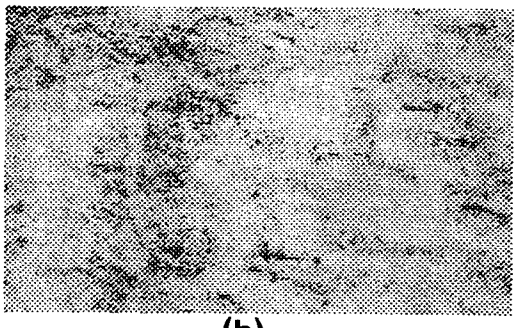


Fig 7-1. Corrosion products type of drinking water metal pipe



(a)



(b)

Fig 7-2. (a), (b) Rust in water pipeline innor in double cycle real microscope

본 실험에서 분석한 XRF 정성분석결과 Table 7에 나타내었다.
분석결과 아연도 강관의 부식생성물 주요 구성원소 순서는 Fe, Si, Al이고 회주철관은 Fe, Si, Al, Ca, Mn이었다.

Table 7. XRF 분석결과

시료명또는 시료 번호	분석시험항목(단위 : wt.% order)					
	Mg	Al	Si	P	S	K
A-1	10^{-2}	10^{0-1}	10^{0-1}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-1-0}
A-2	10^{-2}	100^{-1}	10^{0-1}	-	10^{-1}	10^{-1-0}
B-1	-	10^{-1-0}	10^{-1-0}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-2}
C-1	10^{-3}	10^{-1-0}	10^{0-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-1-0}
D-1	-	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	-
E-1	-	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	-
F-1	10^{-2}	10^{0}	10^{0}	10^{-2}	10^{-1}	10^{-1}
(*)	(XRF)					
	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
A-1	10^{0}	10^{-1-0}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	10^{-3}
A-2	10^{0-1}	10^{-1-0}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	10^{-3}
B-1	10^{-1-0}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	-
C-1	10^{-1-0}	10^{-1}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	10^{-3}
D-1	10^{-1-0}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	-
E-1	10^{-1}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	-
F-1	10^{0}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-2}	10^{0-1}	10^{-3}
(*)	(XRF)					

시료명또는 시료 번호	분석시험항목(단위 : wt.% order)					
	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Zr
A-1	10^{-3}	10^{-1-0}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
A-2	10^{-3}	10^{-1-0}	-	10^{-3}	10^{-1}	10^{-3}
B-1	10^{-3}	10^{-1-0}	-	-	10^{-2}	10^{-3}
C-1	10^{-3}	10^{-1-0}	-	10^{-3}	10^{-2}	10^{-3}
D-1	10^{-2}	10^{-1-0}	-	-	10^{-1}	10^{-3}
E-1	10^{-2}	10^{-1-0}	-	-	10^{-2}	10^{-3}
F-1	10^{-3}	10^{0-1}	-	10^{-3}	10^{-1}	10^{-3}
(*)	(XRF)					
	Pb	Ba	Mo	Cl		
A-1	10^{-3}	10^{-3}	-	-		
A-2	10^{-3}	10^{-3}	-	-		
B-1	10^{-3}	-	10^{-3}	-		
C-1	10^{-3}	-	-	-		
D-1	-	-	-	-		
E-1	-	-	-	-		
F-1	10^{-2}	-	-	10^{-2}		
(*)	(XRF)					

모든시료의 부식생성물에서 Cu는 0.001 ~ 0.01%와 Pb도 0.005~0.02%로 아주 낮게 나타냈으나 Fe 32 ~ 86 %, Si 0.7 ~ 26%, Al 0.2 ~ 21%로 함유되었다. 그리고 아연도 강관은 매설경과년도수가 많을수록 Zn농도가 초기 22%에서 1~3%로 크게 감소했다. 회주철관은 Fe 85% 이고 Si 4% , Al 2% 등이며 아연도강관을 Fe 32~39% 이나 청관제 사용한 경우는 Fe가 85~86 %로 다량 함유되어 있음을 보아 관벽에 침착된 스케일이 많이 제거되었음을 알 수 있었다. XRD기기를 이용해서 분석한 fig8에서 보는 바와 같이 X축에 나타낸 Bragg회절각 20값이 20 ° 근방에 몰려있는 Peak들은 각종 산화물의 Peak이며 40 ° 와 60 ° , 80 ° 근방에 나타난 Peak는 관의 주성분인 철분이다. 금속관의 철부식 생성물은 주로 갈철광(FeO · OH), 능철광($FeCO_3$),녹($Fe(OH)_3$)들이 있다. 회주철관 내부 부식 생성물에 대한 EDS분석 결과는 역시 주철관과 스케일이 계면이 약간 아연도강관보다 떨어지나 뚜렷하게 나타내며 알루미나(Al_2O_3)와 이산화규소(SiO_2), 황화철(FeS)도 복잡하게 산화물형태로 나타냈다. 그리고 회주철관은 Calcite의 탄산칼슘($CaCO_3$)의 침전물로 존재하고 있었다. SEM과 EDS분석 결과는 Fig 9-1, 9-2 와 Table 8에서 나타난 것과 같다. 관내부 부식 생성물의 구성원소는 Table 9와 같으며 Scale Buster를 이용한 부식제어는 Fig 10 의 양이온도 음이온도의 수질개선후와 수질분석 결과 fig 11처럼 상수도 금속관의 부식 생성물이 주로 철화합물이었음에도 수질 분석결과는 매우 양호했다.

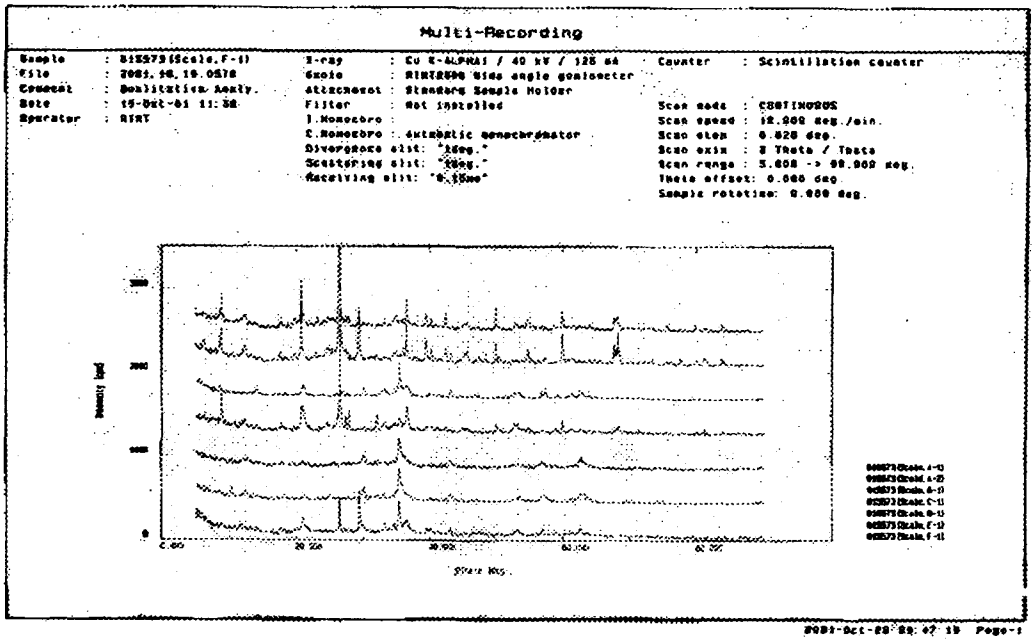


Fig 8. XRD Multi - Recording

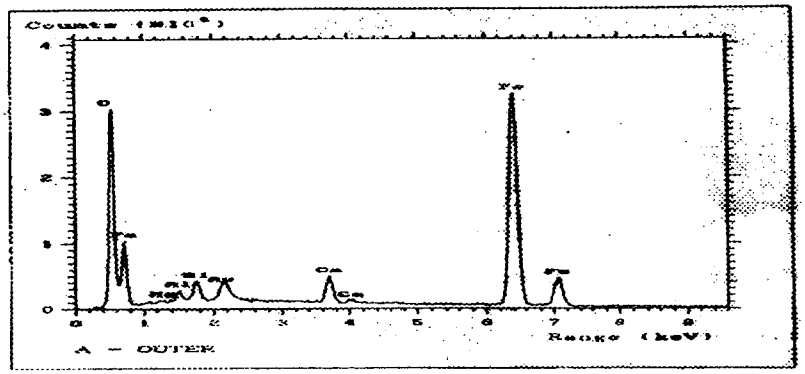


Fig 9 - 1 Chlomatogram of A-1 out EDS

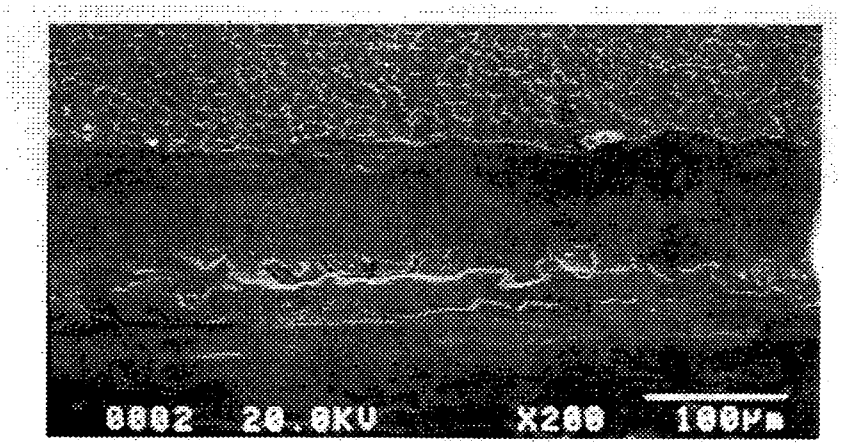


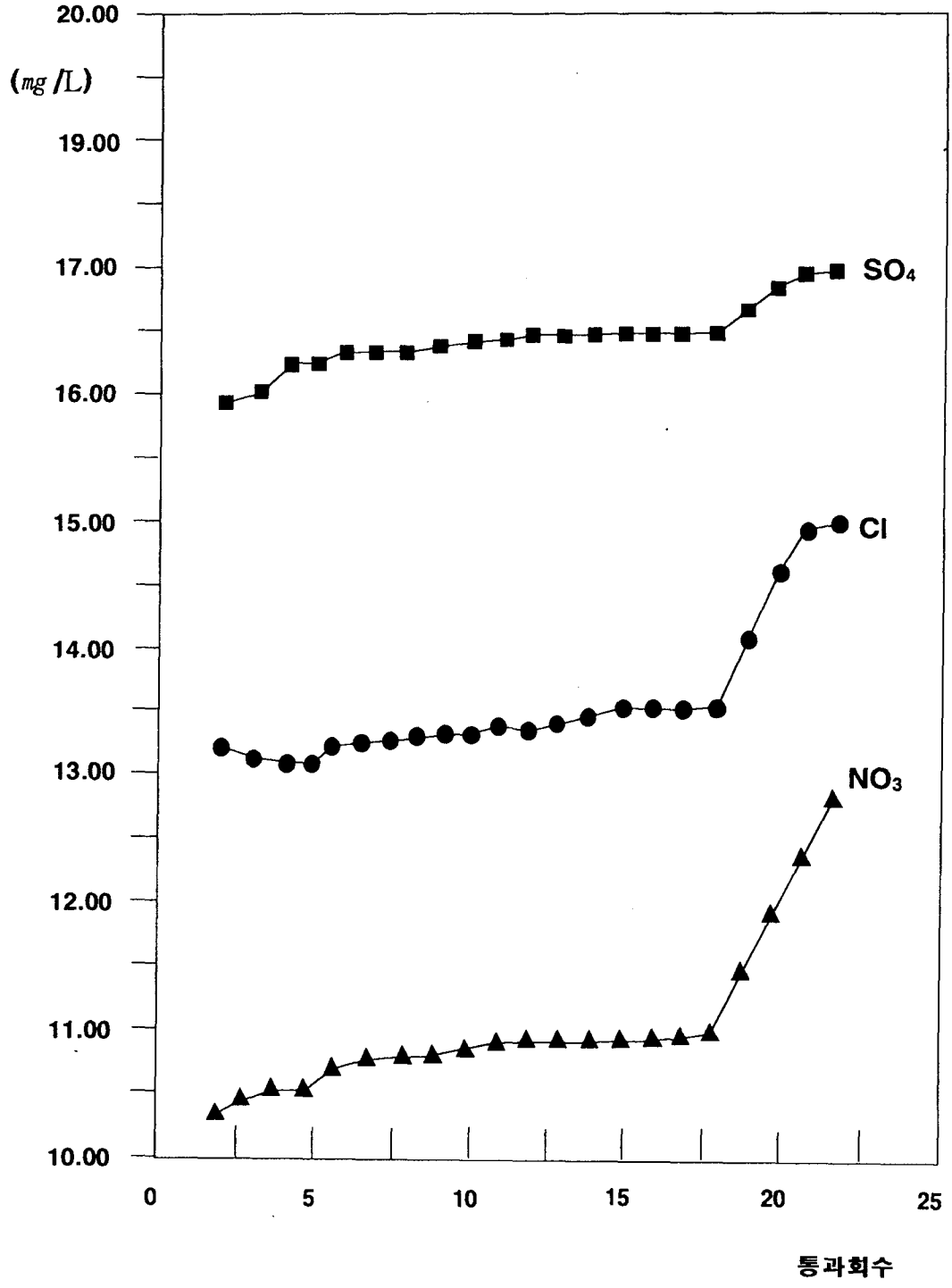
Fig 9 - 2 Result of A -1 SEM

Table 8. A-1 시료의 외부단면조성

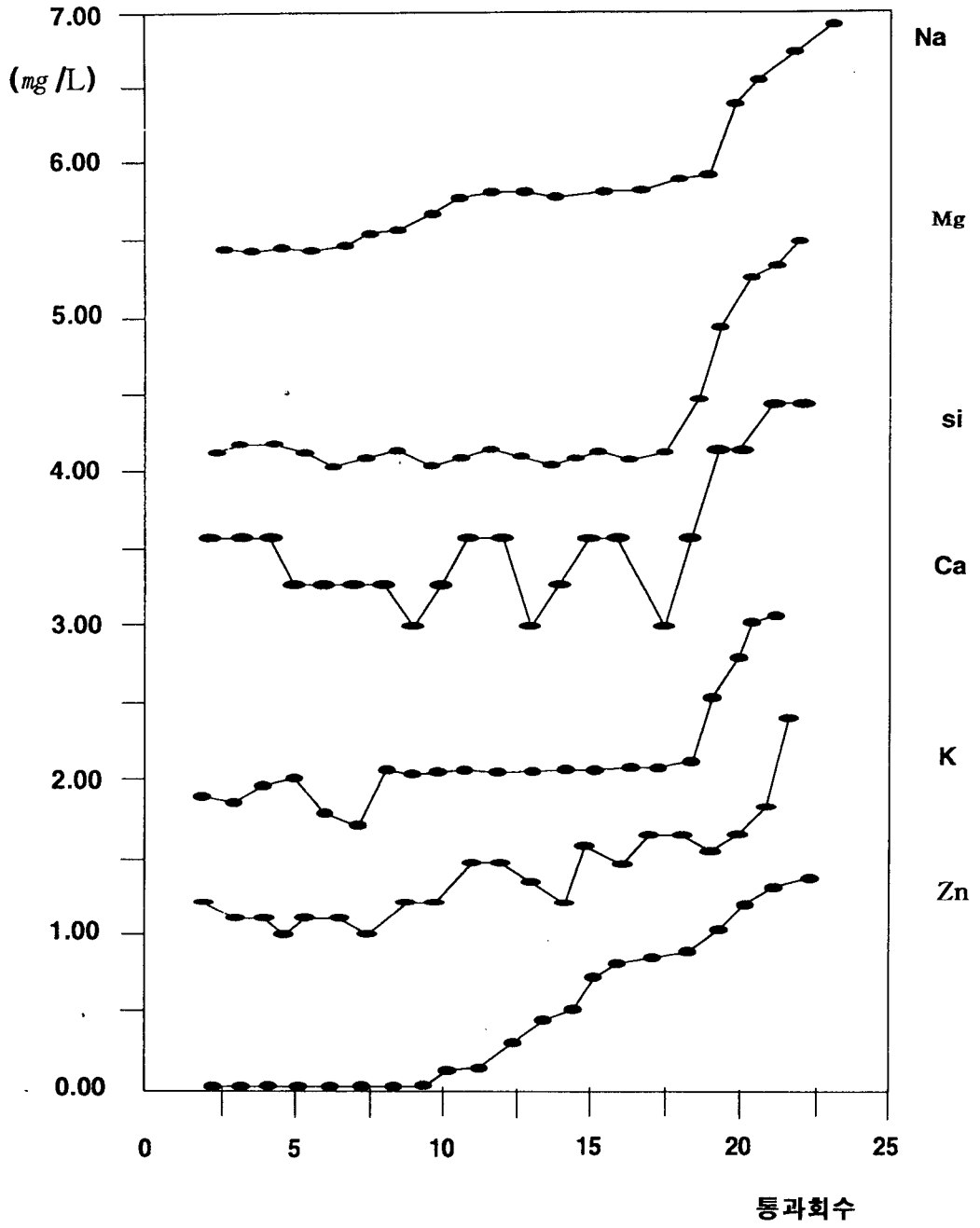
원소	wt%	산화물	oxide (%)
Fe	62.463	Fe_2O_3	89.305
Ca	2.562	CaO	3.585
Mg	0.190	MgO	0.315
Al	1.131	Al_2O_3	2.138
Si	2.178	SiO_2	4.660
O	31.477		

Table 9. 관내부 부식생성물의 구성원소

구 분	Fe	S	Zn	Si	Mg	Ni
아연도 강관	76.49~100 (평균 93.36)	0.75~1.79 (1.27)	3.51~7.71 (5.96)	0.58~3.68 (1.72)	-	0.04~0.14 (0.071)
회주철관	79.13~92.45 (85.47)	-	-	5.55~20.44 (12.66)	1.42~4.77 (3.09)	18.19~18.27 (18.21)
스테인리스강	72.07~72.41 (72.37)	0.03~0.17 (0.14)	-	0.63~0.85 (0.69)	-	7.37~7.80 (7.41)



(a) Negativeion



(b) positiveion

Fig 10. Improvement data of water quality

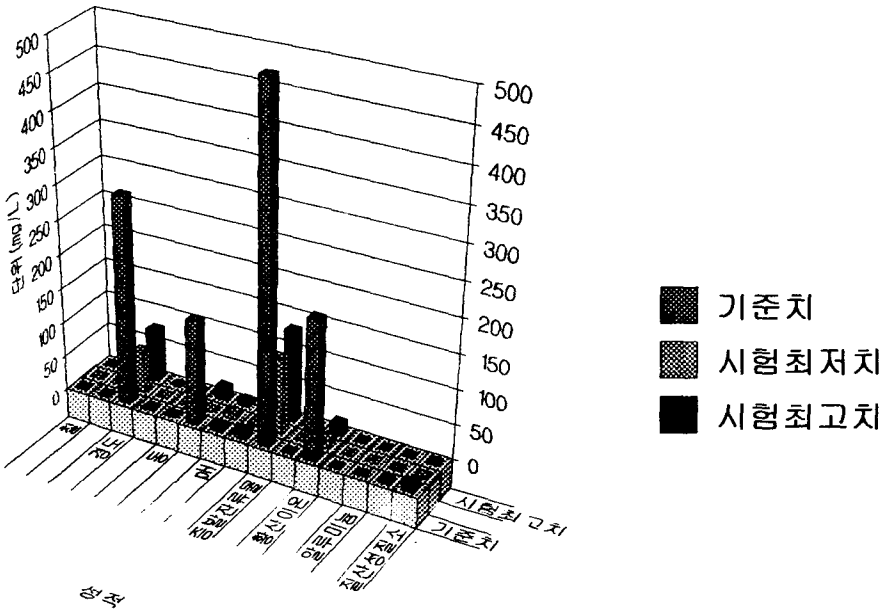


fig11. Comparatian of Water Analyzing

V. 결 론

본 실험에서는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1.XRD실험결과와 EDS분석에서 나타난 각종철 산화물 등에 대한 검증에서 아연도강관의 부식 주요성분 적철광(Fe_2O_3)이고 회주철관은 탄산칼슘($CaCO_3$; calcite) 임을 알 수 있었다.

2.상수도 금속관내 부식생성물의 주성분은 Fe이며 아연도강관일 경우 76.45~100 (평균 93.36)%, 회주철관 73.13~92.45 (평균85.47)%로 나타났다.

3.SCALE BUSTER를 10회 이상 통과한 수돗물은 Zn농도가 증가해 희생양극 및 갈바니 효과에 의한 부식생성물을 크게 감소시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1)이규성 외 5인 : 환경학개론, 형설출판사. 2000. p56

2)이규성외 3인 : 수처리 공학. 형설출판사. 2000. p 478.

3)남궁은 : 환경부.수도 정책과 2001년 상수도 정책방향, 환경타임즈 2001 p 29

4)조기수 : 관종개선에 따른 수자원 절약대책, 삼성지구 환경연구소. 2000. pp83~102

5)환경부, 상수도 통계. 2000. pp 5~6

6)김갑수 등, 상수관 부식방지기법연구, 한국건설기술연구원, 1990. pp 1-2

7)김윤영 : SCALE BUSTER를 이용한 수도관 부식방지 및 실생활 활용 방안연구, (주)디지털워터, 2001. pp 7~12

8)김현태 : 노후 상수도관의 관부식양태, 서울시 수도기술 연구소. 2001. pp 5~15

9)박영복 : 배급수관 성능 및 부식생성물연구, 서울시 수도기술연구소, 1999 pp 1~4

10)강관 HandBook, 동양철관(주), 2000. pp 14-15

11)김정구 : 환경친화성 Bi-황동의 부식특성에 관한 연구, 대한금속재료, 학회지 제38권 제12호. 2000. p1658

12)권혁상 : 수도 및 급탕관 소재의 특성 평가 연구. KIST. 1999. pp 5~34

13)이규성 : 노후배급수관의 SCALE 생성원인 및 용물물질 저감방안연구, 서울시 수도 기술 연구소, 2000. pp 2~8

14)Stinson, Ensuring Water Quality in a Distribution system, Jour. of envir. Eng. Vol. 109(2) pp 289-304. 1983

15)D, Kelly O' day, Organizing and Analyzing leak and break data for waking main replacement decisions, 1982.

16)A · Garcia-Anton, Galvanic Study of zinc and copper in Lithium Bromide Solutions at Pifferent Temperature, CORROSION, vol. 57(6)pp 516 ~ 522. 2001

17)AWWA, Internal Corrosion of Water Distribution system, pp 421-433, 1996

18)Hugh F. Hanson, et al · ,Deterioration of water Quality in Distribution systems, AWWARF, 1987

19)J.F.Michael et al. , Exanination of corrosion Treatment Options at a North Jersey Facility, AWWA, WQTC Proceedings, 1997

20)K.E. Shall, An Experimental Approach to corrosion Control, J. AWWA, 72(5), p 280, 1980

21)S. G. Thomas et al. Evaluation of corrosion control Measures for a Multi - source water utility AWWA WQTC

proceedings, pp 777-797, 1992

22)日本水道管路技術セ 第3會水道管路 國際 シポヅウム 講演集. 1994

23)日本水道管路技術ヒンター, 水道管路に關すゐ調査研究, 技術開發長期計劃, 1989

24)防食技術, 淨水場のおけゐ 給水管材料の水道水腐食試驗, vol 30, 1981.

25)서규태외 4인 : 배수시스템내 부식영향 수질인자의 변화 특성, 대한환경공학회지 Vol. 20(8), 1998. pp 1151~1160

26) Susumu Kawamura, integrated Design of water Treatment Fa・cilities, John willey & sons, Inc. pp 539 - 545, 1997.