

## 금속 마그네슘을 이용한 배관 내벽의 스케일 제거 및 억제 효과 연구

### Removal and Restraint Effects by Mg Metal on Scale in Water Pipe

김 정 진 (Kim, Jeong-Jin)<sup>1,\*</sup> · 김 윤 영 (Kim, Yoon-Young)<sup>2</sup> ·  
김 형 수 (Kim, Hyoung-Soo)<sup>3</sup> · 장 윤 득 (Jang, Yun-Deuk)<sup>4</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과  
(Department of Earth & Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

<sup>2</sup>중앙대학교 산업경영연구소  
(Korean Ginseng Institute, Chung-Ang University, Ansong 456-756, Korea)

<sup>3</sup>한국수자원공사 수자원연구원  
(Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 306-711, Korea)

<sup>4</sup>경북대학교 지질학과  
(Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

요약 : 금속 조합을 이용하여 배관내벽에 형성된 스케일의 제거 및 억제 가능성과 광물학적 특성을 연구하기 위하여 주사전자현미경, 쌍안실체현미경, X-선회절분석, 스케일 제거실험을 실시하였다. 배관내벽에 생성된 스케일은 대부분 철광물로 구성되어있으며 약간의 Si와 Ca 광물을 포함하고 있다. 배관내벽의 스케일을 제거하는 데 내부 금속을 Mg, 외부금속을 황동으로 실험하였을 때 가장 좋은 효과를 나타낸다.

주요어 : 스케일, 배관, 철광물, 마그네슘, 황동

**ABSTRACT** : SEM, stereo-microscope, XRD, scale-removal experiment were used for the study of mineralogical characteristics and possibilities of removal and depress of scales in water pipe. Scales are mostly composed mainly of iron minerals with minor Si and Ca containing minerals. This experimental study showed that the combination of Mg and brass was most effective on removing scales.

**Key words** : scale, water pipe, iron mineral, magnesium, brass

\*교신저자: jkim@andong.ac.kr

## 서 론

우리나라에서 사용하고 있는 상수도 배관은 대부분 강관을 사용하고 있지만, 최근 들어 동관이나 스테인레스관으로 시공하거나 교체를 하고 있다. 동관이나 스테인레스관은 배관 자체의 부식에 의한 것은 아니지만 물속에 용해된 성분의 침전에 의하여 스케일이 생성된다.

배관 내벽에 생성된 스케일의 성분은 배관 자체의 산화작용에 의해 생성되는 철광물인 자철석, 적철석, 레피도크로사이트, 침철석과 물속에 용해성분인 칼슘이나 규소 등이 탄산이온과 결합해서 만들어지는 방해석이나 자페아이트(jaffeite:  $\text{Ca}_4(\text{Si}_3\text{O}_7)(\text{OH})_6$ )와 같은 광물로 구성되어 있다(김정진과 김윤영, 2002). 배관 내벽에 생성된 스케일은 배관의 지름을 축소시켜 물의 흐름을 방해할 뿐만 아니라, 녹물로 인한 심미적 불쾌감을 유발시킬 수 있다(이광호, 1997). 스케일이 형성된 배관은 세척해서 깨끗하게 하기보다는 미리 스케일의 생성을 방지하는 것이 시간적·경제적으로 훨씬 더 효과적이기 때문에 인체에 무해하고 시간적·경제적 효율이 높은 새로운 스케일 제거 및 억제 기술 개발이 필요하다.

외국의 경우 수중 용해가 잘되는 물질로 제조한 부식억제제를 광범위하게 사용하고 있다(Edwards, *et al.*, 1999; Edwards, 2002). 국내의 경우 산업용 부식억제제는 널리 사용되고 있으나 상수도의 배급수 시설에서의 부식억제제 도입은 제한적으로 이용되고 있다(우달식 등, 2005). 급배수관에 부식 억제제를 투입할 경우 물의 특성에 따른 용해도 차이에 의한 잔류농도 제어가 어렵고, 부식억제제의 성분에 대한 안정성 문제와 부영양화에 대한 환경적 문제가 발생할 수 있다(안효원과 우달식, 2004). 배관내벽의 스케일에 의해서 형성되는 침전물의 변화를 금속의 특성을 이용할 경우 상당한 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(김정진 등, 2005).

현재까지 관의 부식을 방지하기 위한 접근방법은 내식성이 강한 배급수관 사용하거나 배급수관에 부식방지용 물질을 코팅하는 직접적인 방법과 정수 처리 시 pH, 알칼리도의 조절, 칼슘경도의 첨가, 방식제의 첨가 등 물의 특성을 변화시키는 간접적인 방법이 있다. 그러나 금속 마그네슘을 이용하여 배관내벽의 스케일 제거 및 억제가 가능하다면, 지금까지의 사용해 왔던 화학약품을

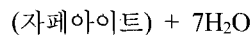
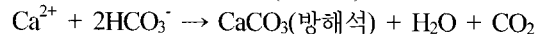
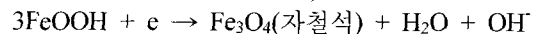
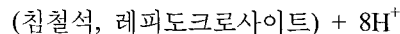
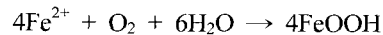
이용한 방법을 대체하고 시간적, 경제적 비용을 현저히 절감시킬 수 있는 친환경적 기술이 될 것이다.

본 연구의 목적은 스케일에 대한 광물학적 특성 및 생성원인에 대한 실험과 금속의 이온화 경향, 마그네슘에 대한 용액 내에서의 거동 등을 이용하여 마그네슘(Mg) 금속에 대한 배관 내벽의 스케일 제거 및 억제 가능성을 밝히는 것이다.

### 스케일 생성, 억제, 제거 원리

#### 스케일의 생성이론

수도관 내의 녹은 물속에 포함된 철 성분이 침전되어서 형성된 것이 아니라 수도관의 재질인 철이 물과 반응하여 생성된 수도관 부식 산물이며, 방해석이나 자페아이트 등에 의해 결합력이 강하게 된다(김정진과 김윤영, 2002). 수도관 내에서 생성되는 스케일의 생성반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



침철석과 레피도크로사이트가 자철석으로 변하는 동안에도 관 부식은 계속되어 수도관내의 스케일의 양은 증가하게 된다.

#### 스케일 제거 및 억제 원리

이온화 에너지가 작은 금속을 희생 양극으로 사용하여 이온화 에너지가 큰 금속의 부식을 방지하는 원리는 다양하게 이용되고 있다. 수도관의 재질인 철보다 이온화 경향이 큰 금속을 이용하면 배관내에 스케일의 생성을 억제할 수 있으며, 마그네슘이 녹을 단단하게 결합시켜주는 탄산염광물의 용해도를 증가시켜 녹의 결합력을 약화시키는 것을 이용하여 배관내벽에 생성된 스케일을 제거할 수 있다.

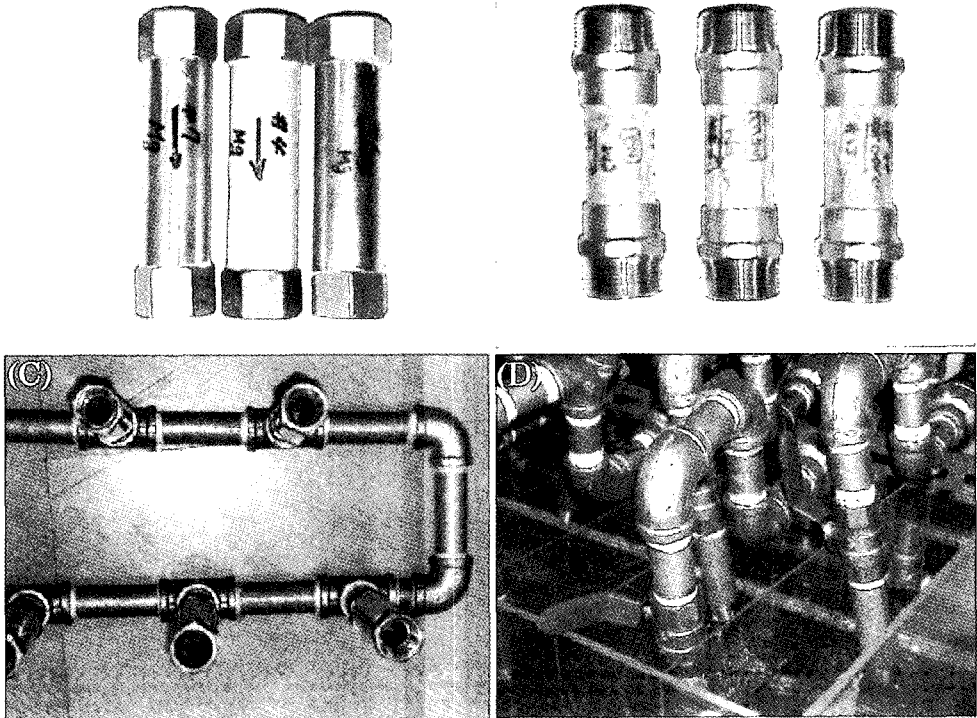
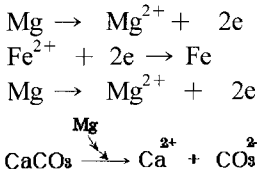


Fig. 1. Equipment of scale removal experiment.



마그네슘의 물속에서의 거동과 실험에서 나타나는 현상들을 이용하여 녹 제거 기술을 개발한다면 그 효과가 클 것으로 기대된다. 물속에서 용출되는 마그네슘의 양은 인체에 전혀 해를 미치지 않은 정도로 극 미량이지만 철 산화물과의 반응 시 결합력을 약화시키는 결과를 나타낸다. 철 산화물 특히 침철석의 경우  $\text{Fe}^{3+}$ 를  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{4+}$  등의 양이온으로 치환하여 결정구조 내부로 들어갈 수 있다(Gerth, 1990; Giovanoli and Cornell, 1992). 철 산화물의  $\text{Fe}^{3+}$ 가 다른 양이온에 의해 치환되더라도 결정구조는 변화하지 않고 물리적 특성만 변하게 된다. 철 산화물의 물리적 특성변화는 철산화물의 결합력을 저하시켜 좀더 쉽게 분리할 수 있다. 실험에 의하면 물속에 마그네슘 이온이 존재할

경우 탄산염광물의 용해도가 증가시켜 철산화물의 결합력을 약화시키는 결과를 가져오게 된다 (김정진과 김윤영, 2002).

## 연구 방법

### 실험 장치 제작

스케일 제거 실험에 사용한 대상 배관은 이미 녹이 생성된 10년 정도 사용한  $\phi 25$  mm 수도용 배관을 약 10 cm 정도의 길이로 절단하여 실험에 사용하였다(그림 1A). 절단한 배관의 무게는 스케일을 포함해서 230~290 g 정도이며 배관 내에 형성된 스케일의 무게는 배관에 따라 차이가 나지만 약 10 g 정도이다. 배관의 스케일 예방 및 제거용 장치로 사용할 외부 금속은  $\varnothing 20$  mm의 황동관(Zn+Cu), 구리관(Cu), 알루미늄관(Al)을 약 20 cm 길이로 절단하여 사용하였으며 내부 금속은 아연(Zn), 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 황동(Cu+Zn), 구리(Cu)를 적당한 크기로 절단하여 사용하고 이들의 조합을 설정하여 실험을

**Table 1.** Chemical compositions of water sample with inner metal (2002/ 08/ 10)

outer metals	inner metals	pH	EC (uS/cm)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	Al (mg/L)	Si (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)
Cu	Mg	7.43	161.8	N.D	13.45	7.10	14.30	8.24	3.54	0.05	0.13	2.73	18.09	0.01	0.02	0.01	0.02
Cu	Al	7.63	162.9	N.D	13.46	7.10	14.32	8.21	3.50	0.06	0.12	2.76	18.22	0.01	0.02	0.04	0.02
Cu	Zn	7.81	163.0	N.D	13.70	7.11	14.37	8.16	3.47	0.05	0.12	2.76	18.22	0.01	0.02	0.08	0.02
CuZn	Mg	7.56	160.4	N.D	13.32	7.12	14.36	8.19	3.48	0.05	0.12	2.77	18.12	0.01	0.02	0.01	0.02
CuZn	Al	7.47	160.2	N.D	13.30	7.15	14.43	8.14	3.43	0.05	0.12	2.73	18.17	0.01	0.02	0.01	0.01
CuZn	Zn	7.46	159.8	N.D	13.29	7.16	14.42	8.14	3.46	0.05	0.12	2.78	18.24	0.01	0.02	0.06	0.01
CuZn	Zn,Mg	7.22	159.4	N.D	13.27	7.20	14.51	8.10	3.46	0.05	0.12	2.84	18.21	0.01	0.02	0.05	0.01
Al	CuZn	7.22	159.4	N.D	13.30	7.19	14.50	8.10	3.45	0.06	0.12	2.86	18.20	0.01	0.02	0.01	0.01
*No	No	7.28	159.3	N.D	13.26	7.20	14.51	8.12	3.45	0.05	0.12	2.87	18.17	0.01	0.02	0.01	0.01

(2002/ 11/ 06)

outer metals	inner metals	pH	EC (uS/cm)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	Al (mg/L)	Si (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)
Cu	Mg	6.98	135.5	N.D	10.88	8.16	11.23	9.22	3.33	0.02	0.65	1.99	15.91	0.00	0.04	0.03	0.01
Cu	Al	6.87	136.6	N.D	10.78	8.19	10.98	9.18	3.11	0.03	0.70	1.96	15.94	0.00	0.05	0.06	0.03
Cu	Zn	7.05	135.5	N.D	10.72	8.11	11.05	9.17	3.16	0.01	0.64	1.95	15.82	0.00	0.01	0.08	0.02
CuZn	Mg	7.09	135.1	N.D	10.48	8.54	11.62	9.28	3.21	0.01	0.64	1.92	15.59	0.00	0.02	0.09	0.01
CuZn	Al	7.03	135.6	N.D	10.76	8.53	11.62	9.25	3.11	0.05	0.70	1.96	15.55	0.00	0.01	0.10	0.02
CuZn	Zn	7.08	136.3	N.D	10.76	8.48	11.42	9.26	3.13	0.02	0.71	1.95	15.38	0.00	0.02	0.11	0.02
CuZn	Zn,Mg	7.19	138.9	N.D	10.37	8.41	11.46	9.22	3.19	0.01	0.71	1.93	15.68	0.00	0.01	0.09	0.02
Al	CuZn	7.20	132.6	N.D	10.78	8.47	11.53	9.19	3.13	0.03	0.71	1.90	15.98	0.00	0.01	0.09	0.01
*No	No	7.03	135.5	N.D	10.45	8.53	11.35	9.25	3.11	0.01	0.70	1.91	16.02	0.00	0.01	0.06	0.02

\*comparative water sample

실시하였다(그림 1B).

녹의 제거정도를 파악하기 위한 비교대상으로 외부금속과 내부금속을 설치하지 않고 녹이 생성된 배관만 설치하여 실험을 실시하였다. 실험이 진행되는 과정 동안 수도물이 항상 배관 내에 흐르도록 장치하고 이때 유속 20 cm/s 정도로 유량은 8.5 m<sup>3</sup>/day로 일반 가정용 상수도에 비해 훨씬 적은 양이 흐르도록 하였지만 모든 장치에 거의 같은 양으로 흐를 수 있도록 조정하여 실험하였다(그림 1C, D). 외부 금속과 내부 금속의 영향에 의해 결합력이 약해진 스케일이 존재한다면 유속에 의해 제거될 수 있을 것으로 생각되어 1주일에 1회씩 밸브를 50 cm/s 정도의 유속으로 물이 흐를 수 있도록 조절하였으며, 일정한 시간 간격으로 장치를 분해하여 장치 및 배관에 나타나는 현상들을 관찰하였다.

**쌍안실체현미경**

스케일제거 실험에 사용한 강관 내벽과 현장적용 시 냉각수 라인 스테인레스강 배관에 생성된 스케일(scale) 시료에 대하여 구성 광물들의 형

태, 광물들의 배열 상태 등을 관찰하기 위하여 서울대학교 지구물질과학 연구실의 SZ-S7 OLYMPUS 쌍안실체현미경 관찰을 실시하였다.

**전자현미경분석**

침전물과 부유물의 미세한 형태에 대한 특성을 연구하기 위하여 한국기초과학지원연구소의 Leo 1455 V 환경주사전자현미경(ESEM)을 이용하여 가속전압 20 kV로 관찰하였으며, 에너지분산 X-선분광기(EDS)를 이용하여 대략적이 성분 분석을 실시하였다.

**X-선 회절분석**

스테인레스강 배관에 형성된 스케일에 대한 X-선회절분석은 서울대학교 지구물질과학 연구실에 설치되어있는 Rigaku Geigerflex RAD3-C X-선분말회절분석기를 이용하여, 분석 조건 CoK $\alpha$ , 40 kV, 35 mA, 주사속도 0.5° 2 $\theta$ /min로 분석을 실시하였다. 시료는 아게이트 모르타르를 이용하여 분말로 만든 후 분말 X-선 회절분석을 실시하였다.

**Table 2.** Variations of scale with inner and outer metal

Number	outer metal	inner metal	initial scale+pipe (g)	after 3month scale+pipe (g)	removal scale (g)
1	Cu	Mg	262.5	257.4	5.1
2	Cu	Al	274.7	273.3	1.4
3	Cu	Zn	290.3	286.7	3.6
4	Al	Mg	243.6	240.3	3.6
5	Al	Cu	258.3	258.5	+0.2
6	Al	Zn	264.2	262.4	1.8
7	Cu-Zn	Mg	253.8	247.8	6.0
8	Cu-Zn	Al	287.4	285.6	1.8
9	Cu-Zn	Zn	254.9	250.3	4.6
10	Cu	Mg,Zn	239.1	233.4	5.5
11	Cu	Al,Zn,Mg	257.5	254.5	3.0
12	Al	Al,Cu,Zn,Mg	246.3	243.6	2.7
13	Al	Cu, Zn	265.7	263.2	2.5
14	CuZn	Zn,Mg	284.6	279.7	4.9
15*	no	no	234.6	234.2	0.4

## 화학분석

스케일 제거실험에 사용한 수돗물과 현장 적용 냉각수에 대해 pH, 온도, 전기전도도(EC) 등을 휴대용 Orion1230 pH측정기로 측정하였으며, 양이온과 음이온 분석은 서울대학교 지구환경공학부 기기분석실의 Perkin-Elmer Optima 3000XL 유도쌍극자플라즈마분광분석(ICP-AES)과 Dionex 400i 이온크로마토그래피(IC)를 이용하여 각각 분석하였다.

## 연구 결과

### 녹 제거장치 실험 결과

녹 제거 실험 장치를 설치 후 수돗물의 화학 성분변화를 알아보기 위하여 2002년 8월부터 2002년 11월에 4회 분석을 실시하였으며, 8월과 11월 분석값은 표 1과 같다. 대부분의 양이온과 음이온의 값은 서로 다른 외부금속과 내부금속을 사용했을 때와 외부와 내부 금속을 사용하지 않고 스케일이 형성된 배관만 사용했을 때 모두 비교대상 시료와 큰 차이가 나타나지 않지만 내부 혹은 외부 금속의 종류에 따라 미소한 값의 변화가 나타나기도 한다. 각 측정시기별로 실험값이 약간의 차이를 나타내는 것은 수돗물 자체의 성분변화에 의해 나타나는 현상으로 사료된다. 8월의 전기전도도(EC)값은 159.3~163.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로

11월의 132.6~138.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 보다 훨씬 높게 나타나는 것은 여름철에 수돗물 속에 용존 물질이 더 많이 존재한다는 것을 의미하며 특히정수과정에 부유물을 침전시킬 때 사용하는 응집제와 관련 있는  $\text{SO}_4$ 와 Al의 함량이 8월에 높게 나타나는 것으로 추정된다.

3개월 후 실험 장치에 나타난 효과 및 결과를 보면 Al을 장치에 사용했을 시 다량의 비정질 Al-수산화물을 형성하여 유체의 흐름을 방해하는 현상이 나타나기 때문에 외부금속이나 내부금속에 Al를 사용하는 것은 불가능한 것으로 판단되었다.

1주일에 1회씩 유속의 흐름을 50 cm/s 정도로 빠르게 하여 결합력이 약해진 스케일이 제거 될 수 있도록 하였다. 유속으로 인한 물리적 힘에 의해 제거되었을 가능성을 확인하기 위하여, 비교대상 배관을 설치하였으나 스케일의 양의 변화는 거의 없었다. 따라서 50 cm/s의 유속에 의해 제거되는 양은 무시할 정도라고 생각된다.

실험 시작 후 약 3개월 동안 사용한 배관의 무게 변화에 따른 스케일 변화량을 보면 외부 금속을 황동, 내부 금속을 Mg를 사용했을 때 제거되는 양이 가장 크며, 외부 금속을 황동이나 구리, 내부금속을 Mg 혹은 Zn을 사용할 경우에도 많이 제거되는 것으로 나타난다(표 2).

육안이나 사진 관독에 의한 스케일 변화에서 가장 큰 감소를 나타내는 금속 조합은 외부금속을 황동이나 구리, 내부 금속을 Mg와 Zn을 사용

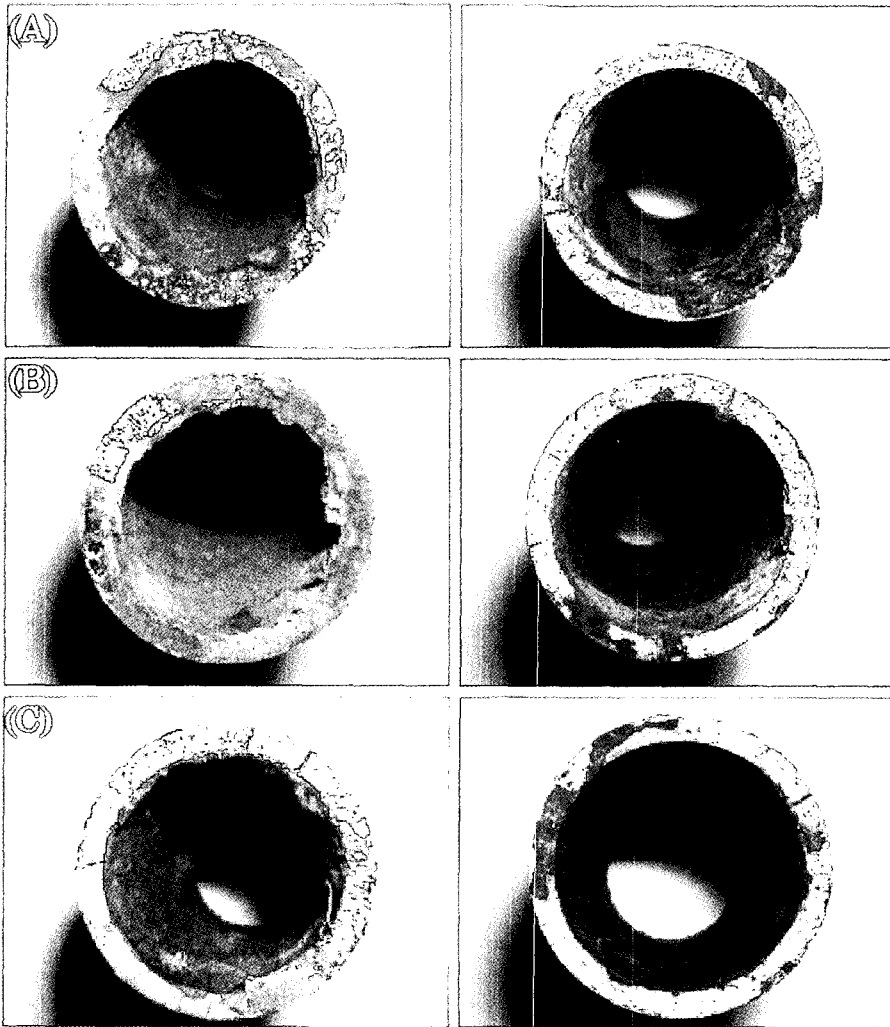


Fig. 2. Removal grade of scale in water pipe with inner and outer metal (A: Mg and brass, B: Mg+Zn and brass, C: Zn and brass).

했을 때이다(그림 2). 따라서 이들 금속 조합이 배관내의 스케일을 제거시키는 데 이용할 경우 큰 효과를 기대할 수 있다.

#### 쌍안실체현미경

수도관내의 스케일의 형태는 다양하게 나타나지만 일반적으로 검은색과 황색의 층상으로 나타나는 것이 대부분이다(그림 3A, B). 배관 내벽의 스케일이 층상으로 나타나는 것은 초기에 주로 레피도크로사이트와 침철석이 생성되지만 시간이 지남에 따라 자철석으로 전이되고 다시 레피

도크로사이트와 침철석이 형성되기 때문이다(김정진과 김윤영, 2002). 검은색을 띠고 있는 스케일은 단단하고 얇으며 황색의 스케일은 느슨하게 결합되어 쉽게 분리 가능하다. 스테인레스강 내벽의 존재하는 스케일은 미세한 철광물뿐만 아니라 이들 사이를 방해석과 같은 다른 광물들로 충전하고 있는 경우가 대부분으로 철 광물 사이의 결합력을 강하게 하는 역할을 한다(그림 3C, D).

#### 전자현미경분석

침전물에 대한 전자현미경 관찰결과 침전물은

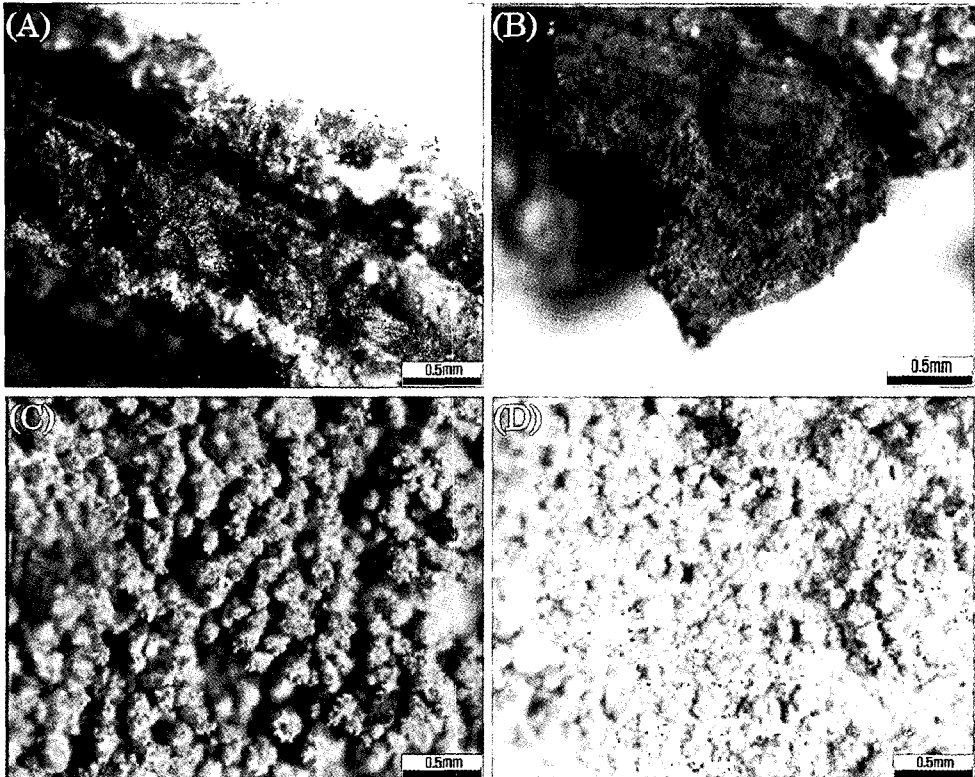


Fig. 3. Stereo-microscopic photographs of scale in water pipe.

직경 1~5  $\mu\text{m}$  정도의 미세입자들의 집합체로 형성된 구형 내지 포도상 형태로 구성되어 있다(그림 4A, B). 전체적으로 구형 내지 포도상의 형태를 나타내지만 확대한 이미지에서는 0.2  $\mu\text{m}$  정도의 막대형으로 나타나며, EDS 분석결과 대부분 Fe로 구성되어있으며 약간의 Si성분을 포함하고 있다(그림 4C, C'). 수돗물 속에는 Fe 성분이 거의 검출되지 않는 것으로 보아 배관 내벽에 형성된 철 산화/수산화 광물로 구성된 스케일은 배관 자체의 부식 혹은 산화작용에 생성되는 것이다. 그러나 스케일에 존재하는 Si나 Ca를 함유한 광물은 배관에 존재하지 않는 성분이기 때문에 물속에 포함된 성분들이 화학적 특성이 변화함에 따라 새로운 광물로 침전되어 형성된 것으로 추정된다. 배관 내벽에 생성되는 철 광물들은 초기에는 막대형으로 성장하지만 시간이 흐를수록 물속에 용해된 물질들이 침전되면서 거의 구형에 가까운 형태로 변화되고 구성 성분도 Si, Ca, Al 등의 함량이 증가한다(Fig 2. D, D').

### Mg 금속을 활용한 현장 적용결과

#### Mg 적용 대상 배관의 특성

스케일 제거 실험에 사용한 배관은 스케일이 많이 형성된 10년 된 배관이지만 실험 결과에서 외부금속을 황동, 내부 금속을 Mg를 적용했을 때 스케일 제거에 가장 좋은 효과를 나타내었다. 외부금속을 황동, 내부금속을 Mg로 제작하여 현장에 적용한 배관은 약 4년간 냉각수 라인으로 사용하던 배관으로 냉각수에는 스케일의 생성을 방지하기 위하여 연수기를 설치하여 운영하고 있었으나 내부에는 상당히 많은 양의 적갈색의 스케일이 형성되어 있다. Mg를 적용한 후 확인구를 만들어 냉각수 라인의 배관내의 스케일의 변화를 관찰해 본 결과 설치하기 전에는 스케일이 배관 내벽에는 스케일이 형성되어 내부가 붉은색이었다. 한달 후 확인구의 배관을 관찰한 결과 붉은 색깔을 나타내던 스케일이 상당히 많이 제거되고 스케일의 색깔도 약간 노란색을 띠고 있

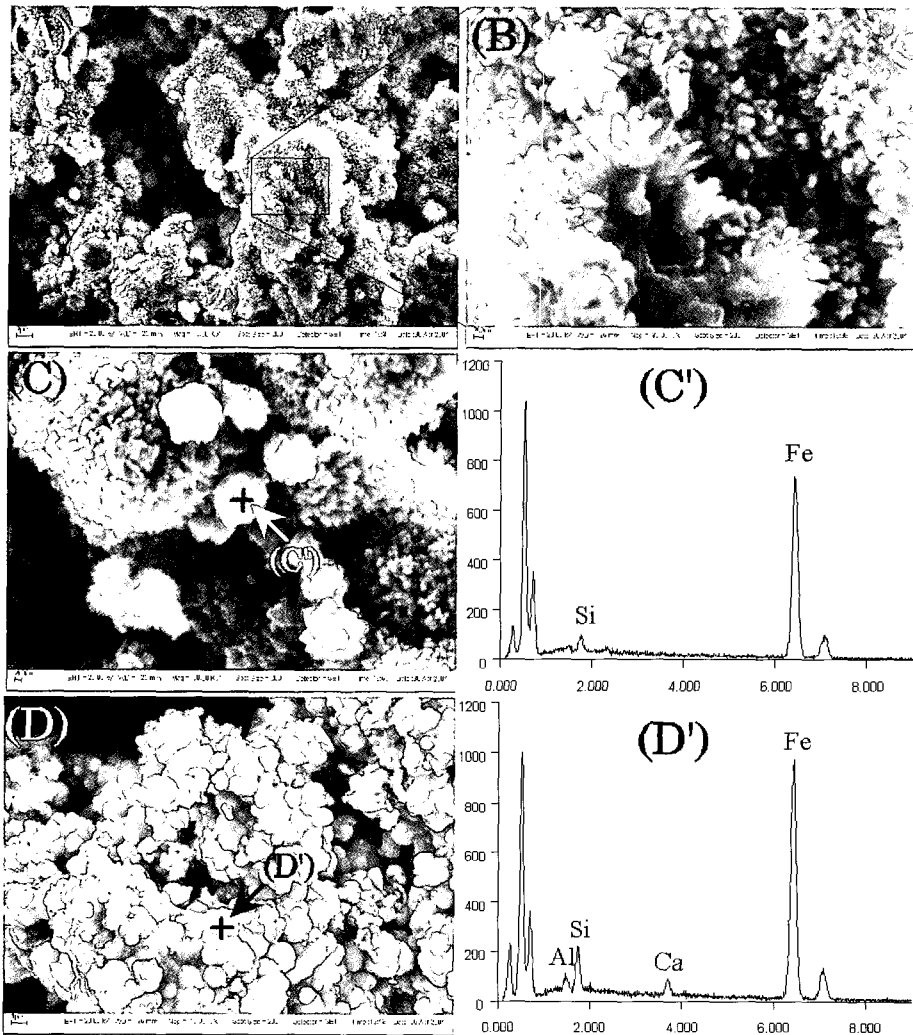


Fig. 4. Microphotographs and EDS patterns of scale in water pipe.

었다. 약 2개월 후 확인구에 대한 육안과 사진 관독에 의하면 설치전과는 비교할 수 없을 정도로 많은 양의 스케일이 제거되었다. 1년 후 배관의 내부는 거의 배관설치 초기상태와 유사한 결과를 나타내었다(그림 5).

냉각수 라인에 사용하고 있는 배관은  $\phi 25$  mm 스테인레스강으로 일반적으로 사용하고 있는 강관에서 배관 자체의 산화에 의해서 형성되는 스케일과는 다른 특성을 갖고 있다. 일반 강관에서 생성되는 스케일의 경우 배관 자체의 산화에 의해 오래된 배관의 경우 검은색의 자철석과 황색의 레피도크로사이트로 구성되어 층상으로 나타난다. 그러나 현장에 적용한 스테인레스

강의 경우 층상의 구조는 나타나지 않고 비정질의 철수산화물과 미세한 방해석 입자들이 0.1 mm 이하의 구과상 형태로 배관내벽에 부착되어 있다. X-선 회절 분석결과 철수산화물의 초기에 형성되는 비정질에서 나타나는 회절선으로 Fe-hydroxide로 구성되어있다(그림 6). 따라서 스테인레스강 배관 내벽에 생성된 스케일은 비정질의 Fe-hydroxide와 미립의 방해석으로 구성된 것으로 결론지을 수 있다. 외관상 스테인레스 배관 내벽의 스케일은 Fe-hydroxide의 영향으로 붉은 색을 띠고 있으며, Fe-hydroxide의 경우 점착력이 약하기 때문에 그 자체만으로 배관의 벽에 침적될 가능성은 적다. 그러나 배관내벽에 스케일



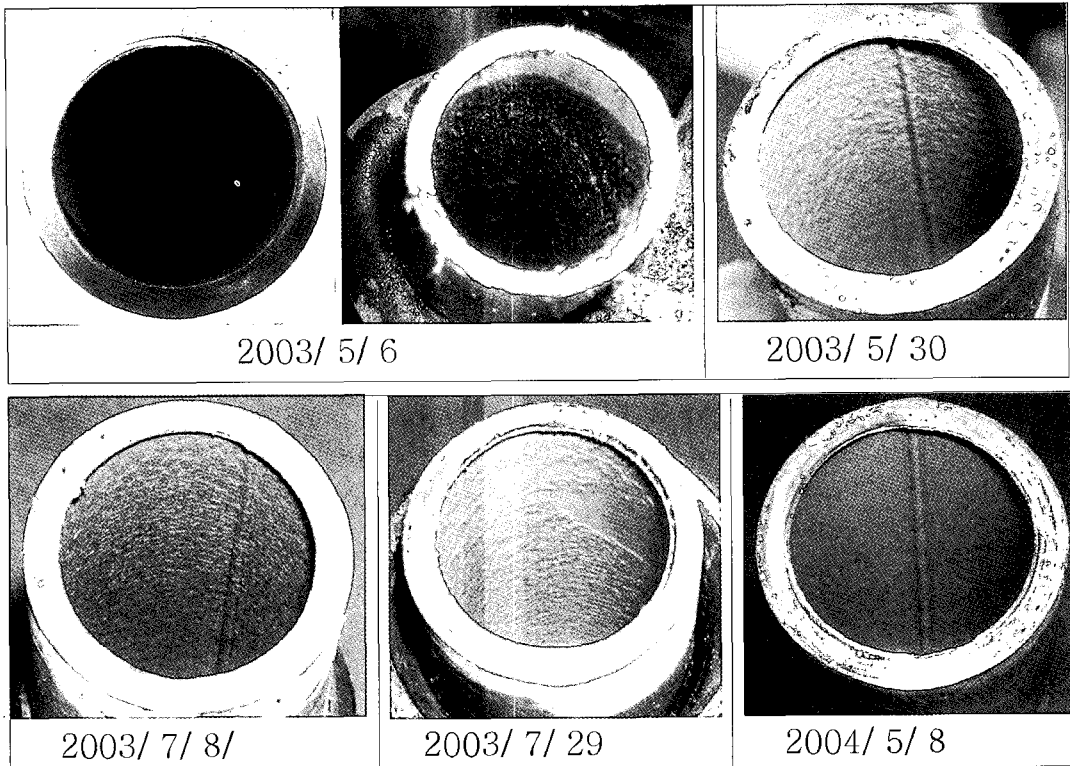


Fig. 5. Scale removal state after application of Mg metal.

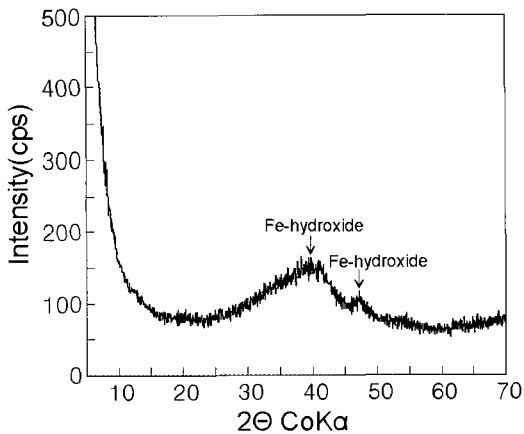


Fig. 6. X-ray diffraction pattern of scale in water pipe.

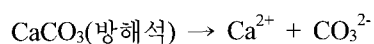
이 형성될 수 있는 것은 Fe-hydroxid를 단단하게 결합시켜 주는 방해석이 존재하기 때문이다. 냉각수로 사용하고 있는 지하수는 Ca값이 일반 수돗물보다 4~5배 정도 높기 때문에 쉽게 물속에 존재하는  $\text{HCO}_3^-$ 와 결합하여 쉽게  $\text{CaCO}_3$  (방해석)

화합물이 형성될 수 있다. 방해석의 영향에 의해 배관 내벽에 스케일이 형성되었다면 Mg를 적용해서 제거될 가능성은 아주 크다.

#### 금속 Mg 적용 전 후의 수질 특성

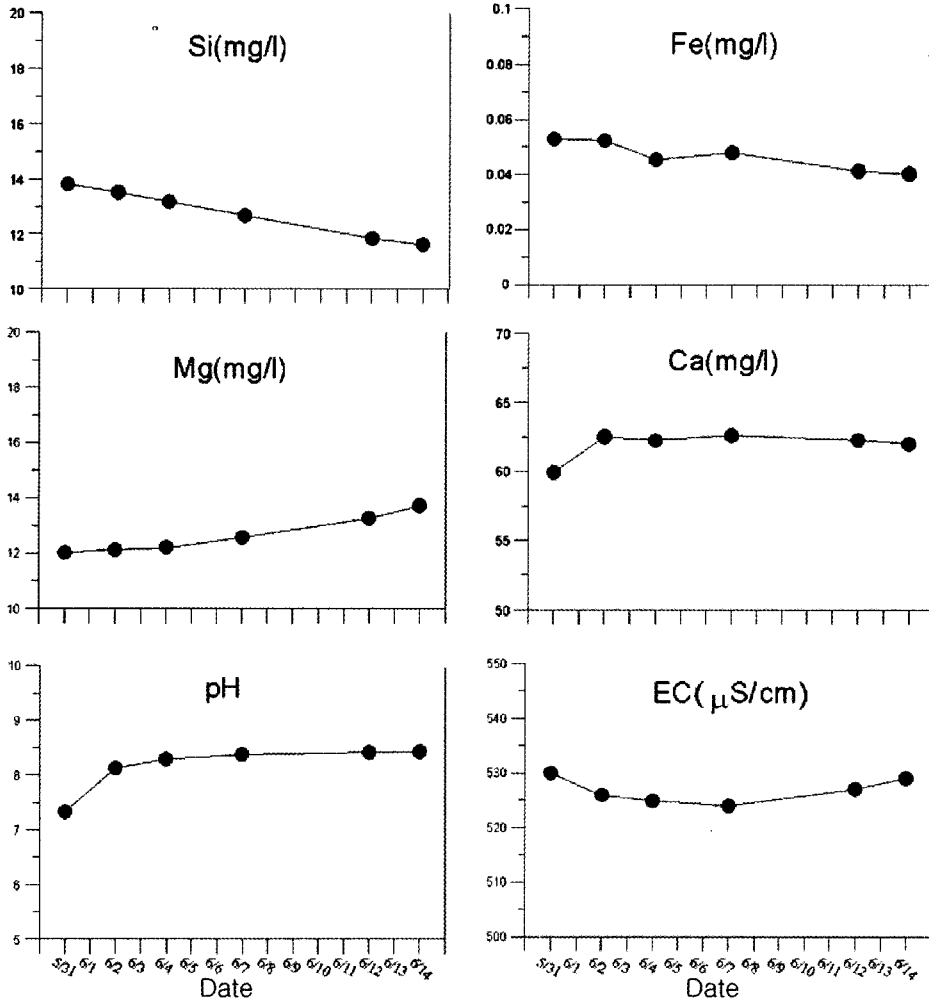
표 3은 금속 Mg 적용 전 후의 수질 특성을 나타낸 것으로 냉각 순환수를 보충수 없이 순환시켜서 2003년 6월 2일부터 14일 까지 분석한 결과이다. 냉각수의 pH값은 지하 원수의 경우 6.94이지만 저수탱크에서는 7.33으로 약간 증가했지만 시간이 지남에 따라 pH값이 크게 증가하는 경향을 나타낸다. 일반적으로 pH 값이 높을 경우 칼슘의 농도가 높더라도 스케일이 형성될 가능성이 줄어든다. pH 값이 증가하는 원인으로는 Mg의 작용에 의해 스케일을 형성하고 있던 방해석의 용해도가 증가한 것에 기인한 것으로 추정된다.

방해석의 용해에 의해 pH값이 증가하는 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

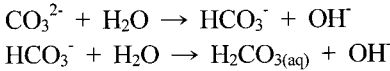


**Table 3.** Variations of chemical compositions with circulation time

Sample No.	pH	EC (uS/cm)	F (mg/L)	Cl (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Na (mg/L)	Mg (mg/L)	Al (mg/L)	Si (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cd (mg/L)
S1(ground water)	6.94	552	0.26	64.79	16.31	45.87	24.29	12.11	0.07	13.49	2.34	69.33	0.02	0.05	0.01	0.00	0.15	0.03
S2(water storage)	7.33	553	0.23	64.57	17.80	47.30	24.54	12.23	0.07	13.69	2.42	69.78	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00	0.03
S3(1 circulation)	7.37	551	0.23	63.36	17.23	46.86	24.42	12.37	0.07	13.74	2.39	69.08	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03
S4(03/05/31)	7.33	530	N.D	68.31	20.02	51.26	20.75	12.02	0.07	13.82	1.87	59.91	0.01	0.05	0.00	0.02	0.02	0.00
S5(03/06/02)	8.13	526	N.D	68.09	19.80	52.91	21.91	12.12	0.05	13.52	2.04	62.51	0.02	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00
S6(03/06/04)	8.29	525	N.D	67.76	19.91	51.37	21.55	12.20	0.06	13.19	1.78	62.25	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00
S7(03/06/07)	8.38	524	N.D	68.97	19.80	51.48	21.37	12.59	0.06	12.67	1.81	62.58	0.01	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00
S8(03/06/12)	8.41	527	N.D	68.75	21.01	52.80	21.48	13.28	0.05	11.85	1.99	62.28	0.01	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00
S9(03/06/14)	8.43	529	N.D	68.64	19.25	52.14	21.13	13.73	0.07	11.63	1.93	62.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00
S10(03/06/02) (duplicate)	8.13	526	N.D	68.04	19.98	52.59	21.80	12.09	0.06	13.54	2.10	62.52	0.02	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00



**Fig. 7.** Variations of chemical composition with circulation time.



전기전도도(EC)는 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  정도로 일반 수돗물(100~200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 보다 높은 값을 나타내는데 이것은 지하수를 냉각수로 사용하기 때문이다. 내부 금속으로 Mg를 사용하였기 때문에 시간이 지남에 따라 순환회수가 증가하게 되어 냉각수 내의 Mg 함량은 증가하게 된다. 12일 동안 순환시켰을 때 약 1.61 mg/L 정도 증가하여 1일 0.134 mg/L 증가하게 된다. 배관의 길이와 냉각수의 순환 시간을 고려하면 1회 순환시 용출되는 Mg의 양을 극 미량이라고 볼 수 있다. Si, Zn, Mn, Fe 등과 같은 금속이온의 함량이 감소하는데 이것은 Mg의 영향으로 다른 형태의 화합물로 냉각수로부터 제거되었을 가능성이 크다. 그림 7에서 Ca의 농도가 초기에는 증가하였으나 점차 감소하는 경향을 보이는 것은 스케일을 형성하고 있던 Ca가 용해도의 증가로 인하여 냉각수에 부가되었으나 시간이 지남에 따라 다른 형태의 Ca 화합물을 형성하여 냉각수로부터 제거되는 것으로 사료된다.

## 결 론

전자현미경(SEM), 쌍안실체현미경(Stereomicroscope), 금속 조합을 이용한 스케일 제거장치 실험, 물 분석, X-선회절 분석 등을 통하여 배관내벽에 생성된 스케일에 대한 광물학적 특성과 스케일 제거 및 억제 가능성과 수질의 특성 변화에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 배관 내벽에 형성된 스케일은 대부분 Fe와 약간의 Ca, Si 등을 포함하고 있으며 구형이나 포도상 형태로 나타난다. 철 광물이 배관내벽에서 성장할 때는 0.2  $\mu\text{m}$  정도의 막대형으로 성장한다. 스케일을 구성하는 성분 중 Fe는 배관 자체의 산화작용에 의해 형성된 것이며 Si나 Ca는 물속에 포함된 성분이 침전된 것이다.

2) 배관내벽에 형성된 스케일을 제거하기 위해서 내부 금속을 Mg, Zn 외부 금속을 황동의 조합을 적용할 경우 가장 좋은 효과를 나타내며, 이 금속 조합을 이용할 경우 배관 내벽을 스케일을 제거할 수 있다.

3) Mg를 냉각 순환수에 적용할 경우 순환 횟수가 증가할수록 냉각수 자체의 Mg 값이 증가하지만 1회 순환 시 증가하는 양은 극 미량으로 인체나 환경에 전형 영향을 미치지 않는다.

## 사 사

본 논문의 질적 향상을 위해 심사과정에 많은 조언과 지적, 수정을 해주신 경상대학교 조현구 교수님과 경북대학교 김영규 교수님께 심심한 사의를 표합니다. 본 연구는 부분적으로 21세기 프런티어 연구개발사업인 “수자원의 지속적 확보기술개발 사업단”의 연구비 지원(세부과제명: 대수층 활용 상수도 공급 시스템 개발, 과제번호 3-4-2)에 의해 수행되었으며, 연구비를 지원해준 사업단과 한국수자원공사에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김정진, 김윤영 (2002) 수도관내의 녹(scale)에 대한 광물학적특성 및 아연의 효과. 상하수도학회지, 16(3), 284-290.
- 김정진, 김윤영, 장세정, 장윤득 (2005) 칠러(Chiller) 냉각장치 침전물에 미치는 마그네슘의 영향에 관한 환경광물학적 연구. 한국광물학회지, 18, 117-125.
- 안효원, 우달식 (2004) 상수도 배급수시설 부식방지를 위한 부식억제제 적용의 현안과 과제. 상하수도협회, 103p.
- 우달식, 구성은, 이병두, 김주화, 문광순 (2005) 배급수계통에서 부식억제제 적용에 따른 부식과 적수와의 상관관계. 상하수도학회지, 19, 68-77.
- 이광호 (1997) 금, 배수관망에서 부식 및 녹물발생의 영향 인자에 관한 연구(I). 대한환경공학회지, 19, 949-958.
- Edwards, M. (2002) US Perspective on Corrosion Inhibitor Use in Potable Water Supplies. International Workshop on Corrosion Inhibitor for Public Water Supply, 64p.
- Edwards, M., Jacobs, S. and Dodrill, D. (1999) Desk-top Guidance for Mitigating Pb and Cu Corrosion By-Products. J. AWWA, 91, 66-77.
- Gerth, J. (1990) Unit-cell dimensions of pure and trace metal-associated goethites. Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 363-371.
- Giovanoli, R. and Cornell, R.M. (1992) Crystallization of metal substituted ferrihydrites. Z. Bodenkn, 155, 455-460.

2006년 6월 12일 원고접수, 2006년 6월 22일 게재승인.