

급수관에서 관재에 따른 부식특성과 미생물 재성장 고찰

김태현·이윤진·이환^{**}·이철효^{***}·안교철^{****}·이우식^{*****}
건국대학교 환경공학과, ^{*}청주대학교 환경공학과,
^{**}서울대학교 지구환경과학부, ^{***}(주)오이코스 연구개발팀,
^{****}경원전문대 건축설비학과, ^{*****}경원전문대 환경과학과
(2006년 9월 9일 접수; 2006년 11월 30일 채택)

Influence of Pipe Materials on Corrosion and Bacteria Regrowth in A Model Home Plumbing System

Tae-Hyun Kim, Yoon-jin Lee^{*}, Hwan Lee^{**}, Cheol-Hyo Lee^{***},
Kyo-chul Ahn^{****} and Woo-sik Lee^{*****}

Department of Environmental Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

^{}Department of Environmental Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea*

*^{**}Department of Earth and Environmental Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

*^{***}Research and Development Team, Oikos. CO. LTD, Seoul 153-775*

*^{****}Department of Architectural Equipment Engineering, Kyungwon College, Seongnam 461-702, Korea*

*^{*****}Department of Environmental Science, Kyungwon College, Seongnam 461-702, Korea*

(Manuscript received 9 September, 2006; accepted 30 November, 2006)

This study performed in order to evaluate the effects of pipe materials on corrosion and bacteria regrowth using a laboratory scale batch test. Two varieties of feed water with different microbial conditions were selected: tap water, surface river water (Han River water), and five pipe materials; carbon steel, copper, galvanized iron, stainless steel, and PVC. Carbon steel and galvanized iron pipes showed higher corrosion rates than other materials. In terms of attached bacterial growth, pipes with PVC and stainless steel showed higher bacteria concentration compared to other materials. *Pseudomonas vesicularis* was the predominant bacteria found on biofilm. The behavior of bacterial growth in the pipes was observed using a scanning electron microscope.

Key Words : Corrosion, Bacterial Regrowth, Water Distribution System, Pipe Material

1. 서론

국내의 상수원은 대부분 지표수를 사용하고 있는데 경도, 알칼리도가 상대적으로 낮고 부식성을 가지고 있는 것으로 평가되고 있다¹⁾. 상수도 배급수시설의 부식은 수도물 중 적수, 탁수, 침전물질 그리고 맛, 냄새 등을 발생시킨다²⁻⁴⁾. 이들 문제뿐만 아니라 철, 구리, 납 등 인체에 유해한 중금속이 용출될 수 있으며, 관 재질의 손상으로 인한 누수 현상 등 위생적 측면에서도 큰 영향을 초래하게 된다⁵⁾. 또한

상수도 시설의 수명 단축을 야기하여 관거 및 시설물의 교체와 관련된 비용도 상당하며 인체에 유해한 물질에 오염되어 공중보건상의 문제점이 발견되기도 한다⁶⁾.

현재 상수도 관망의 부식 문제는 공중 보건위생 및 시설물 관리에 있어 많은 문제점을 야기시키고 있어 학문적, 사회적인 관심이 점차 고조되고 있다. 따라서 이미 이와 관련된 연구는 다수 선행된 바 있으며 특히, 상수관 부식의 반응 특성 및 제어방안에 대해서도 일부 연구자들에 의해 체계적으로 접근되었다^{7,8)}.

먹는 물의 배급수 처리 과정에서 미생물 수가 증가하는 현상을 재성장 혹은 후성장이라 한다. 재성

Corresponding Author : Yoon-jin Lee, Department of Environmental Engineering, Cheongju University,
Phone: +82-43-229-8571
E-mail: yjlee@cju.ac.kr

장이란 미생물이 소독제에 처리후에 손상을 입은 후에 배급수관망에서 다시 회복되는 현상을 의미하며, 외부인자 등으로 인해 관망자체내에서의 미생물의 증식은 후성장을 의미한다. 정수처리를 마친 후에도 배급수시스템에서 관말지점과 같이 소독제의 농도가 감소하는 곳에서 세균수의 증가현상이 보고되고 있다. 따라서, 상수도관망의 효율적인 관리를 위해서는 부식관련 연구뿐만 아니라 물리, 화학적반응에 관여하는 미생물의 거동에 대한 연구가 요구된다. 배급수 시스템으로 유입된 미생물들은 관망이나 저장탱크와 같은 시설의 표면에 부착, 성장하여 관표면에 미생물 층을 형성하게 된다. 이러한 생물막 층은 수도수의 수질을 악화시키며 소독제의 소모량을 증가시키기도 한다. 생물막의 형성은 다양한 인자들의 복합적인 반응에 의해 영향을 받을 수 있는 영양물질, 잔류소독제, 수온, 관의 재질, 유속 등이 주요한 인자로 알려져 있다. 더구나, 최근 아연도강관의 부식문제가 대두되면서 옥내 배관관리에 대한 관심이 더욱 증가하고 있으며 각 배관종에 따른 부식특성 및 관내 미생물학적 위생문제에 관한 연구가 요구된다.

본 연구에서는 관재에 따른 미생물의 재성장 특성을 고찰하였고 그 거동을 관망의 부식현상과 함께 검토하였으며 수질조건에 따른 부식특성을 알아보고 이에 대한 영향인자들에 대해 접근하였다. 또한 수도수중에 부착미생물 중에 우점종을 분리하였으며 미생물의 재성장에 대해 R2A 배지에 의한 일반세균군, ATP에 의해 평가하였다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1. 시료

본 연구에서는 부식거동의 초기 미생물 및 수질 영향인자와의 관계, 관재에 따른 영향 및 미생물의 재성장을 고찰하기 위해 한강수, 수도수를 시수로 이용하였다. 수도수는 건국대학교내의 수도수를 사용 전 약 2-3분간 배출시킨 후 시수로 이용하였다. 연구에 이용된 한강수, 수도수의 특성은 Table 1에서 제시하였다.

2.2. 실험방법

본 실험에서는 Table 2와 같은 특성의 시중에서 판매되고 있는 현재 옥내배관용으로 많이 매설되어 있는 탄소강관, 동관, 아연도강관, 스텐레스 스틸관, PVC를 이용하였다. 관중을 30 cm 길이로 절단하여 시수를 가득 채운 후 고무마개를 이용하여 각 관중의 양 입구를 막고 이후, 과라필름으로 그 외부를 봉하여 부식현상의 대기에 의한 영향을 최소화하였다. 본 연구에서는 온도를 20℃로 일정하게 유지할 수 있는 항온장치를 이용하였다. 시수의 체류시간을 3.5일로 하여 시수를 교체하였다.

관내에 부착미생물의 분석하기 위해서는 Table 2에서 제시한 조건과 동일한 재료의 시편을 선택하였다. 각 관중을 스텐레스 스틸 재질의 절단기로 1 cm의 크기로 잘라 표면을 연마한 후 초음파 세척기를 이용하여 외부를 세척하였다. 이와 같이 준비된 시편을 Fig. 1과 같은 슬리브에 넣은 후 시수로 채워 고무마개를 이용하여 물이 새지 않도록 고정하였다. 본 실험에서도 다른 실험조건과 동일하게

Table 1. Characteristics of feed water quality

Parameters	Tap water	Raw river water
Heterotrophic plate counts (CFU/mL)	<100	$7 \times 10^3 - 5 \times 10^4$
Free residual chlorine (mg as Cl ₂ /L)	0.2-0.5	ND
pH	6.9-7.5	6.9-8.6
Alkalinity (mg as CaCO ₃ /L)	30-40	30-55
Total organic carbon (mg as C/L)	1.2-1.8	1.4-2.8
Turbidity(NTU)	<0.5	2.5-101

Table 2. Characteristics of pipe material

Material	KSD NO.	External diameter (mm)	Thickness (mm)
Copper	5301	22.22	1.65
Carbon steel	3507	21.70	2.65
Galvanized iron	3507	21.70	2.80
Stainless steel	3576	21.70	2.80
PVC	3401	22.00	2.70

Source : <http://www.ks.or.kr/>, March (2006)

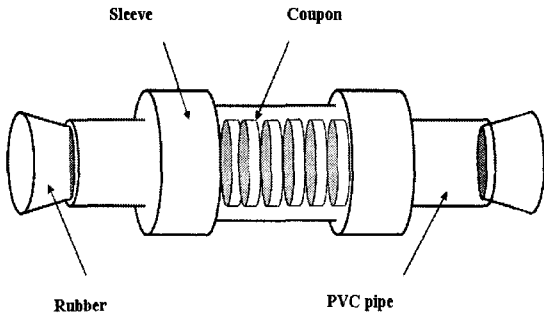


Fig. 1. Schematic diagram of sleeve for coupon test.

20℃의 항온장치에서 3.5일 경과 후 원수를 교체해 주었다.

2.3. 분석 방법

2.3.1. 일반 세균의 측정

중속영양세균 실험을 위해 R2A배지가 이용되었으며 121℃, 15분 동안 멸균하여 제조된 배지에 마이크로피펫을 이용하여 시료를 접종하였고 3 cm의 유리 도말봉을 사용하여 준비된 배지에 도말하였다. 이후 20℃ 인큐베이터에서 배양하였으며 7일 후 30~300개 범위의 배지를 선택하여 콜로니수를 계수하였으며 이를 mL당 CFU(colony forming unit)로 표기하였다⁹⁾.

2.3.2. 부착 미생물

일정 노출시간에 도달한 시편을 꺼내어 시편 내부를 멸균된 면봉(Fisher Scientific)을 사용하여 미생물막을 제거하였다. 멸균 증류수 5 mL를 시험관에 담아 면봉의 손에 닿지 않은 부분을 부러뜨려 증류수와 접촉하게 한 후 볼텍스 믹서(KMC-1300)를 이용하여 혼합시켰으며 이와 같은 동작을 한번 더 실시하였다. 이렇게 만들어진 시료를 R2A배지에 접종하여 HPCs(CFU/cm²)를 분석하였고, 동일시료에 대해 ATP 측정기(AMSA light-III)를 이용하여 ATP(Adenosine triphosphate)를 측정하였다.

2.3.3. 부식 속도

각 실험 조건에 따른 부식 속도는 시편을 이용한 무게 감량법으로 측정하였다. 시편의 초기 무게와 표면적을 측정한 후 일정시간 경과 후에 슬리브에서 시편을 분리시켰다. 멸균된 면봉을 이용하여 부식 생성물을 제거하였고, 초음파 세척기에서 20℃, 30분의 조건에서 세척하여 이물질에 대한 영향을 제거하였다. 이를 3차 증류수로 3회 세척한 후에 건조하여 무게를 측정하였으며 부식속도를 mdd((mg/dm²/day))로 표기하였다.

2.3.4. 수질 측정

관내의 수질에 대해 탁도, SS(Suspended Solid),

DOC 등의 항목을 분석하여 미생물의 성장 및 관부식과의 관계를 고찰하였다. DOC는 시료를 0.45 μm pore size PVDF (Polyvinylidene Fluoride) filter로 여과한 후 combustion / non-dispersive detection 방식인 TOC-analyzer (TOC 5000, SHIMADZU)로 측정하였다. 분석형태는 NPOC (Non-purgeable Organic Carbon) 모드이었으며, 분석시 표준편차 (SD; standard deviation)는 200 (peak 표준면적), coefficient of variation (CV)는 2%로 제한하였다.

BDOC측정을 위한 배양과정은 다음과 같다. 시료 3,500 mL를 0.45 μm Cellulose Nitrate Membrane Filters (Whatman)여지로 미생물을 제거하였으며, 접종액은 한강물을 Whatman No. 42 여지 (pore size 2.5 μm)로 여과하여 원생동물을 제거하였다. 여지는 유기탄소를 제거하기 위해 24 시간 이상 증류수에 넣고 방치한 후, 여과직전에 증류수로 수회 세척하고, 일정량의 접종액으로 세척한 다음 사용하였다. 일정량 (1% V/V)의 접종액을 시료에 접종한 후, 암실에서 20±1℃를 유지하면서 시료를 배양하였다. 배양직후와 7 일 경과에 따라 DOC와 HPC를 측정하였다. BDOC(Biodegradable Dissolved Organic carbon)는 한강원수의 주입 후 초기 DOC와 최저 DOC의 차이를 통하여 분석하였다. 탁도는 Turbidity meter (Hach 2100)를 이용하여 측정하였으며 이 값을 NTU로 표기하였다. 관표면은 SEM (Scanning Electron Microscope, Leika Stereo Scan 440)을 이용하여 3,000배율로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시편을 통한 부식도 분석

초기 미생물 농도 및 관중에 따른 부식의 차이를 확인하기 위하여 시편을 이용한 실험을 수행하였다. Fig. 2는 약 280 일 실험 경과 후 부식도를 제시하

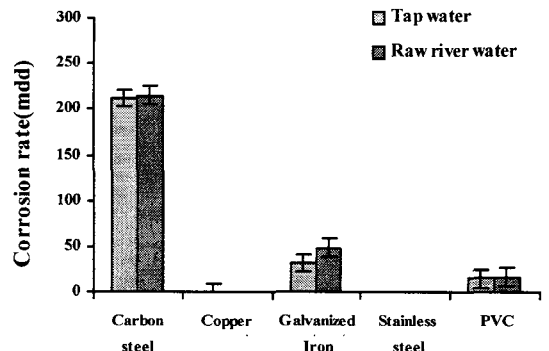


Fig. 2. Corrosion rate of the pipe material based on the coupon test.

였다. 관 재질에 따라서는 탄소강관과 아연도강관의 부식정도가 높게 나타났으며 특히 탄소강관의 부식도는 다른 재질에 비해 매우 높았다. 구리관, 스텔레스관의 경우 해당 접촉시간이후 매우 미미한 부식도를 나타냈다. 수도수에서 탄소강관의 부식도는 아연도강관과 PVC에 비해 각각 30, 14 배 높았다. 우등은 관중에 부식에 대해 탄소강관, 아연도강관, 구리관의 순서로 부식도가 크게 나타났다고 보고하였으며 이는 본 결과와 유사하였다¹¹⁾.

실험원수에 따른 부식도를 비교해 보면, 탄소강관 시험관의 경우 비록 수도수와 지표수 원수의 차이가 명확하게 나타나지는 않았지만 지표수의 부식도가 수도수에 비해 다소 높았으며 보고된 바와 달리 정수처리 중 부식도는 증가되지 않았다.

3.2. 관내 미생물 재생장 검토

본 연구는 관재에 따라 부유 미생물에 대해 재생장 여부를 고찰하기 위해 수행하였으며 이를 위해 관 배출수에 대해 접촉시간에 따른 일반세균 및 ATP를 분석하였다. Fig. 3은 탄소강관에서 관내유출수의 일반세균 거동을 시간 경과에 따라서 도시한 결과이다. 지표수 원수의 경우 초기 미생물 농도는 다른 원수에 비해서 높았으며 운전 130일까지 감소하다가 다시 안정화되는 경향을 나타내었다. 수도수의 경우 실험 초기에는 한강 원수에 비해 상대적으로 낮은 값을 나타냈으나 지표수 원수의 감소경향과 달리 시간에 따라 점차 증가하였으며 200일 이후에는 다소 안정적인 미생물농도를 나타냈다. 특히 초기에 일반세균의 수가 높게 발견되지 않았던 수도수내의 미생물수는 반응시간이 경과함에 따라 지속적으로 증가하여 320일 이후에는 지표수 원수와 큰 차이를 나타내지 않았다.

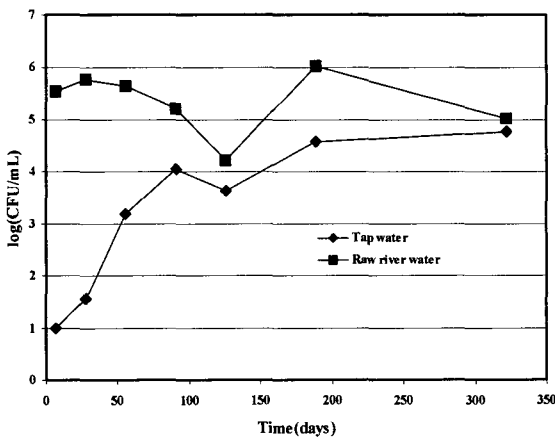


Fig. 3. HPCs in effluent from carbon steel pipes.

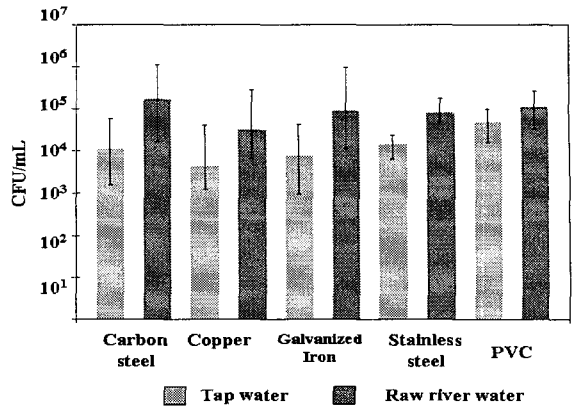


Fig. 4. Effect of pipe materials on the growth of HPCs.

유입 원수 및 관 재질에 따른 관내 미생물의 거동에 대해 알아보기 위하여 실험결과 320일이후 일반세균의 변화는 Fig. 4에 제시하였다. 예상한 바와 같이 모든 관 재질에서 지표수 원수에서의 미생물의 농도가 수도수의 미생물 농도보다 높았다. 각 원수에서 재질별 거동을 살펴보면 다음과 같다. 수도수의 경우에는 동관에서 미생물이 낮게 검출되었고 PVC관, 스텔레스 스틸관에서 상대적으로 높은 일반세균이 검출되었다. 한강 원수는 탄소강관에서 가장 큰 미생물 농도를 나타내었으며 탄소강관, PVC관, 아연도 강관, 스텔레스 스틸관, 동관의 순서로 높게 검출되었다. 이같은 일반 세균의 결과는 관내 총유기물 농도와는 크게 상관성이 없는 것으로 보여진다. 강관은 다른 관 재질에 비해 소독의 효과가 낮으며 상대적으로 미생물 재생장이 용이하다고 알려져 왔다¹⁴⁾. 또한 동관과 플라스틱관의 미생물 재생장에 대해 연구한 결과 플라스틱관보다 동관의 미생물 농도가 낮게 나타난다고 보고한바 있다¹⁵⁾. PVC와 스텔레스 스틸관의 경우 비교적 위생적이며 부식도가 탄소강관과 아연도 강관에 비해 낮아 근래 그 이용이 증가하고 있다. 그러나, 본 연구결과, 미생물 재생장 측면에서는 PVC와 스텔레스 스틸관이 유리하지는 않는 것으로 나타나 이에 대한 관련 연구가 요구된다. 단, 본 연구는 유속 등의 수리학적 특성이 고려되지 않은 실험실규모의 batch상태에서 수행되었으므로 향후 후속되는 연구에서는 이에 대해 보다 복합적인 인자의 고려가 요구된다.

Fig. 5에서 관내 유출수의 ATP(Adenosine Triphosphate)를 제시하였다. Delahaye (2003) 등은 Paris의 배급수관망에 대해 미생물의 거동을 고찰하기 위해 ATP 항목을 적용해 본 결과 R2A agar를 이용한 일반세균의 값과 상관성이 있었다고 보고하

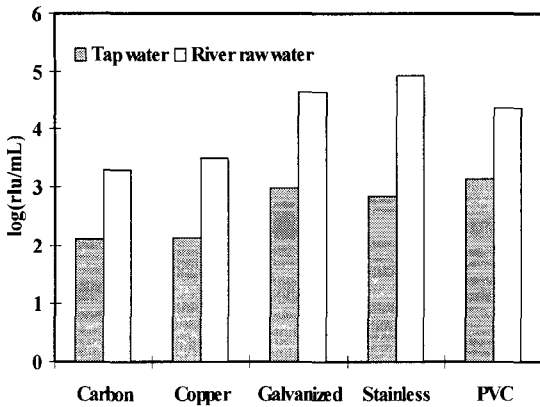


Fig. 5. ATP value for each pipe effluent at 320 days.

였다. 수도수에서 ATP는 PVC관에서 가장 큰 값을 나타냈으며 한강원수의 경우 스테인레스 스틸관, 아연도 강관, PVC관, 동관, 탄소강관의 순서로 높은 값을 나타내었다.

3.3. 관내 부착성 미생물

반응 270일 경과 후 관 재질에 따른 부착 미생물 및 ATP값을 Fig. 6, 7에 제시하였다. 유입 원수에 따른 영향을 살펴보면 탄소강관을 제외한 모든 관 재질에서 한강원수가 수도수에 비해서 큰 값을 나타내었다. 관 재질에 따른 Biofilm의 형성은 스테인레스 스틸관과 PVC관이 다른 관 재질에 비해 높은 값을 나타냈으며 지표수 원수에서 부착미생물과 ATP값은 상당히 유사한 결과를 나타냈다. Lehtola

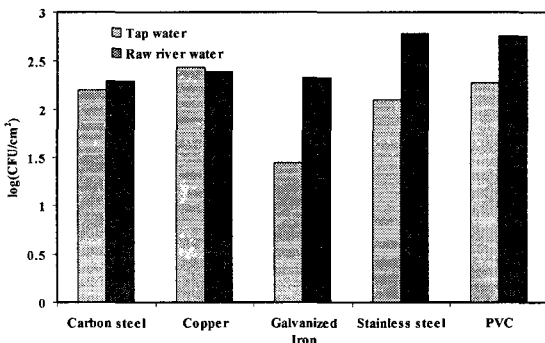


Fig. 6. Attached microorganism on each pipe wall at 270 days.

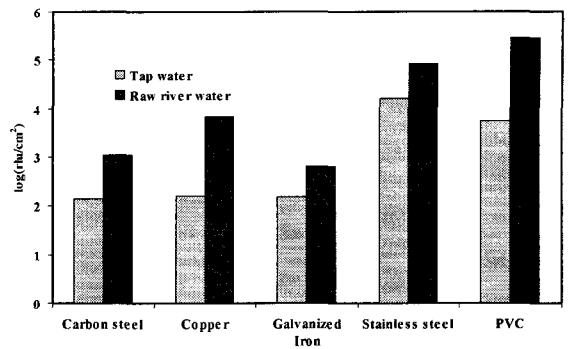


Fig. 7. ATP from biofilm on pipes at 270 days.

등은 동관에 비해 플라스틱 관에서 부착성 미생물이 높게 검출된다고 보고하였으며 그 원인에 대해 플라스틱관에서 인이 용출되기 때문이라고 보고하였다¹⁵⁾. 동관과 스테인레스 스틸관의 부착성 미생물을 측정된 결과 유사한 정도의 미생물 농도를 검출하였다고 보고하였다¹⁷⁾. Hallam 등은 유리, 시멘트, MDPE, PVC에서 부착성 미생물의 측정하였고 PVC, MDPE, 시멘트, 유리의 순서로 부착성 미생물 농도가 높다고 보고하였다⁶⁾. 한강 원수의 ATP는 일반세균의 결과와 비슷한 경향을 나타냈지만 관재에 따라서 명확한 상관성을 보이지는 않았으며 관내 부착 미생물에 대해서는 보다 장기적인 고찰이 필요하다고 생각된다. 본 실험 중 부착 미생물 중 가장 많이 나타났던 우점종을 선택하여 동정한 결과 그람 음성인 *Pseudomonas vesicularis*가 발견되었다.

3.4. 제한인자 검토

본 연구에서는 탄소와 인에 대해 미생물 성장과의 관계를 고찰하였다. 미생물의 성장에 있어 관내 유기물의 농도는 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Chanday(2001)은 Sydney의 배급수관망의 제한 인자는 유기탄소임을 보고하였으며 이같은 결과는 수처리 방법의 선정에 있어 주요한 영향을 미친다고 보고하였다. Table 3에서 유출수의 DOC 농도를 270~450일 동안의 운전기간동안 원수별, 재질별로 6회 측정된 결과를 제시하였다.

유입수에 따른 경향을 고찰하면, 동관을 제외한 경우에서 지표수 원수의 유기물의 농도가 수도수에

Table 3. DOC concentration in pipe effluent

(Unit: mg as C/L)

Source Water	Carbon Steel (Mean±S.D)	Copper (Mean± S.D)	Galvanized Iron (Mean± S.D)	Stainless Steel (Mean± S.D)	PVC (Mean± S.D)
Tap water	1.40±0.19	1.97±0.56	1.23±0.22	1.66±0.23	1.74±0.37
Raw river water	1.47±0.15	1.77±0.27	1.52±0.15	1.86±0.20	2.04±0.41

비해 다소 높았으나 큰 차이를 나타내지 않았다. 유기물의 농도는 수도수의 경우 아연도강관이 가장 낮은 값을 나타내었으며 동관이 가장 높은 값을 나타내었다. 한강원수에서 유기물의 농도는 PVC관에서 가장 높은 값을 나타내었으며 PVC, 스텐인레스스틸관, 동관, 아연도강관, 탄소강관의 순서로 높게 나타났다.

재질에 따른 경향을 살펴보면 탄소강관과 아연도강관이 다른 관 재질에 비해서 대체적으로 낮은 유기물을 나타냈으며 동관과 PVC에서 높은 값을 보였다. 즉, 동일한 원수를 관내로 유입시키더라도 재질에 따라 유출수의 수질이 차이를 보임을 알 수 있었다. 그러나, 상기 고찰한 일반세균의 분포와 용존 유기물의 농도를 비교한 결과 두 인자간의 높은 상관도는 관찰할 수 없었다.

Fig. 8에서 수도수와 멸균한 수도수의 BDOC를 분석하였으며 평균 수도수의 BDOC가 상대적으로

수도수에 비해서 큰 값을 나타냈다. 따라서, 이같은 결과는 수중의 생물학적으로 분해 가능한 유기물의

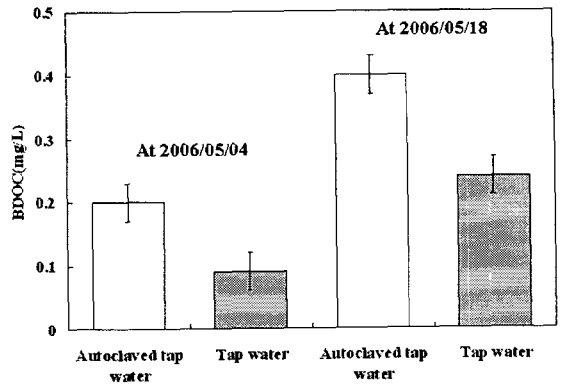
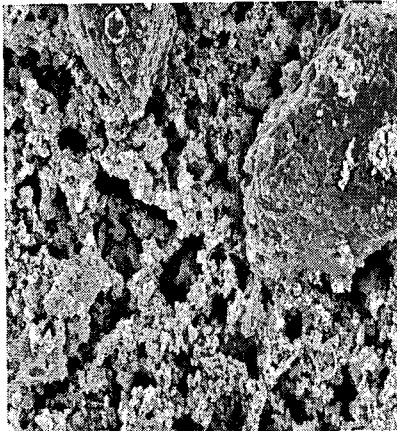


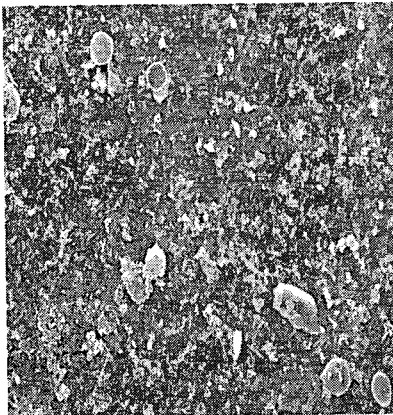
Fig. 8. BDOC for autoclaved tap water and control water.



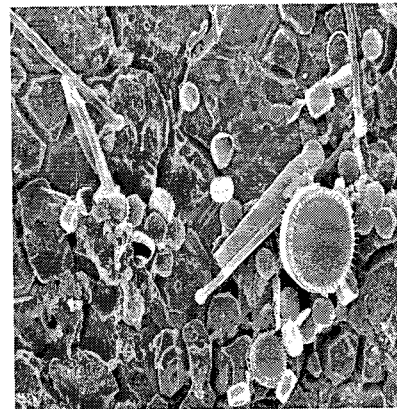
(a) Carbon steel



(b) Galvanized Iron



(c) Copper



(d) Stainlee Steel

Fig. 9. Photographs of scanning electron microscopy for pipe coupons.

양은 미생물 재성장에 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다. Herson 등은 고온과 고압에 의한 멸균시 미생물의 영양 물질이 용이하게 된다고 보고하였다¹³⁾. 이같은 결과는 본 연구에서 용존 유기물의 농도와 미생물 성장과 명확한 상관관계를 나타내지 않았으나 미생물의 영양물질에 대한 이용 용이성에 따라 미생물 성장에 영향을 줄 수 있음을 나타낸다. 또한, 원수와 수도수에 대해 관내 유출수중의 P의 농도를 고찰한 결과 모든 관중에서 흔적 농도로 검출되어 관내 P의 농도에 따른 미생물 거동변화를 관찰할 수 없었다.

3.5. 관벽의 SEM 관찰

Fig. 9에서 본 실험에 이용된 각 시편표면의 변화를 나타내는 전자주사현미경사진을 제시하였다. 수도관 시편의 표면에 침적물의 형성이 관찰되었으며 탄소강관에서는 스케일 층이 다른 관중에 비해 비교적 두껍게 형성되어 시편표면을 거의 관찰할 수 없었다. 동관의 표면은 비교적 손상되지 않은 채로 발견되었고 구형의 미생물이 성장이 확인되었다. 아연도강관의 경우 관표면에 탄소강관과 유사한 형태로 축적물이 형성되어 있는 것이 발견되었다. 스테인레스강관의 경우 시편에 균열에 의한 틈새가 발견되었으며 그 사이에 미생물이 성장이 발견되었으며 축적물과 함께 보다 다양한 종류의 미생물이 존재하는 것이 관찰되어 미생물의 축적이 관내 용이한 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구는 수도수 및 지표수 원수를 대상으로 미생물의 재성장 가능성 및 관망의 부식현상에 대해 고찰하였으며 탄소강관, 아연도강관, PVC관, 동관, 스테인레스스틸관을 대상 관중으로 선정하여 관종별로 부식 및 미생물 거동특성을 고찰하였다. 연구 결과를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

부식속도는 탄소강관, 아연도강관, PVC관의 순으로 높았으며 동관과 스테인레스관에서는 미미하였고, 정수처리 후 부식도의 증가가 발견되지 않았다. 부식속도가 높았던 탄소강관과 아연도강관에서 상당한 침적물을 확인하였다.

관내, 총유기물의 농도 및 P 증가에 따라 미생물의 수는 상관도를 보이지 않았으나 고온과 고압으로 멸균한 수도수에서 BDOC는 증가되었으며 이같은 결과는 미생물의 영양물질의 이용 용이성에 따라 그 성장률에 영향을 줄 수 있음을 나타낸다. 따라서 배급수관 내 미생물 성장을 제어하기 위해서는 관망내 제한 인자에 대한 후속 연구가 요구됨을

시사한다. 관유출수중의 부유 미생물은 관 재질에 따라서는 탄소강관과 PVC관이 타관재에 비해 높은 값을 나타내었다.

Biofilm의 형성은 스테인레스 스틸관과 PVC관이 다른 관 재질에 비해 높은 값을 나타냈으며 SEM관찰을 통해서도 스테인레스 스틸관에서 보다 다양한 종의 미생물종을 확인하였다. 관내 부착성 미생물에 대해서는 보다 장기적인 고찰이 요구되며 현재 우리나라의 신설되는 급수관이 대부분 스텐레스관과 합성수지관이기 때문에 대상 관재에 따른 미생물 재성장에 대한 좀 더 깊은 연구가 필요하다고 판단된다. 본 연구에서 *Pseudomonas vesicularis*이 부착 미생물종의 우점종으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 “유망 여성과학자 경쟁력 강화지원사업(R03)”에 의해 지원을 받아 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 박필재, 이현동, 남상호, 정원식, 2001, 국내수계별 수도물의 부식성 및 금속용출특성평가에 관한 연구, 대한환경공학회지, 23(7), 1195-1203.
- 2) Korshin, G. V. and J. F. Ferguson, 1986, Influence of Natural Organic Matter on Corrosion of Copper in Potable Waters, J of AWWA, 88(7), 36-47.
- 3) 이재인, 김도환, 이지형, 김동윤, 홍순현, 신관세, 2005, 수도관 내부부식방지를 위한 CCPP 조절시정수 공정내에서의 수질변화, 대한환경공학회지, 27(4), 362-368.
- 4) 이광호, 2005, 물리적 이온 수처리 시스템을 이용한 수도관의 부식 및 스케일 제어에 관한 연구, 한국환경분석학회지, 8(1), 27-31.
- 5) Lehtola, M. J., I. T. Miettinen, T. Vartiainen and P. J. Martikainen, 2002, Changes in Content of Microbially Available Phosphorous Assimilable Organic Carbon and Microbial Growth Potential during Drinking Water Treatment Processes, 36, 3681-3690.
- 6) 이현동, 1994, 수도관로의 관리상태와 방안, 수도, 한국수도협회지, 69.
- 7) 최윤석, 신동호, 김상현, 김정구, 2005, 상수도 배관의 부식감지시스템 개발(II), 대한금속 재료학회지, 43(4), 306-317.
- 8) 정원식, 김이태, 유명진, 2005, 국내 상수도 배수

- 시스템 분야의 연구개발 현황 및 제언, 한국 물환경학회 · 대한상하수도학회, 공동춘계학술발표회 논문집, B-14.
- 9) American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington.
 - 10) Bagh, L. K., H. J. Albrechtsena, E. Arvina and K. Ovesen, 2004, Distribution of Bacteria in a Domestic Hot Water System in a Danish Apartment Building, *Water Research*, 38, 225-235.
 - 11) 우달식, 최종현, 구성은, 김주환, 안효원, 남상호, 문광순, 2004, 상수도 모의 배급수관망을 이용한 방청제의 부식특성에 관한 연구, *대한환경공학회지*, 26(3), 347-354.
 - 12) Chandy, J. P. and M. D. Anglis, 2001, Determination of Nutrients Limiting Biofilm Formation and the Subsequent Impact on Disinfectant Decay, *Water Research*, 35(11), 2677-2682.
 - 13) Herson, D. S., D. R. Marshall, K. H. Baker, H. and T. Victoreen, 1991, Association of Microorganisms with Surfaces in Distribution Systems, *J of AWWA*, 83(7), 103-106.
 - 14) Camper, A. K., K. Brastrup, A. Sandvig., J. Clement, C. Spencer and A. J. Capuzzi, 2003, Effect of Distribution System Materials on Bacterial Regrowth, *J of AWWA*, 95(7), 107-121.
 - 15) Lehtola, M. J., T. Ilkka, I. T. Miettinen, M. M. Keinanen, T. K. Kekki, O. Laine, A. Hirvonen, T. Vartiainen and P. J. Martikainen, 2004, Microbiology, Chemistry and Biofilm Development in a Pilot Drinking Water Distribution System with Copper and Plastic Pipes, *Water Research*, 38, 3769 - 3779.
 - 16) Delahaye, E., B. Welté, V. Levi, G. Leblon and A. Montiel, 2003, An ATP-based Method for Monitoring the Microbiological Drinking Water Quility in a Distribution Net Work, *Water Research*, 37, 3689-3696.
 - 17) Van der Kooij, D., H. R. Veenendaal and W. J. H. Scheffer, 2005, Biofilm Formation and Multiplication of Legionella in a Model Warm Water System with Pipes of Copper, Stainless Steel and Cross-linked Polyethylene, *Water Research*, 39, 2789-2798.