

저수조의 효율적 관리를 위한 수질실태에 관한 연구

박현건 · 류승철* · 전수임**

진주산업대학교 환경공학과, *진주산업대학교 수질검사센터, **진주보건소 보건행정과
(2009년 3월 27일 접수; 2009년 11월 11일 수정; 2009년 12월 1일 채택)

A Study on the Water Quality for Efficient Management in the Water Tanks

Hyun-Geoun Park, Seung-Chul Ryu* and Soo-Im Jun**

Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

*Water Quality Research Center, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

**Public Health Administration, Jinju Community Health Center, Jinju 660-030, Korea

(Manuscript received 27 March, 2009; revised 11 November, 2009; accepted 1 December, 2009)

Abstract

This study tried to investigate and analyze the actual state such as the regional, classified, and material characteristics of the water quality in order to research the several factors by which the filtrated water of the total 250 cases can be polluted in the water tank. The 215 points (86%) clean the water tanks twice a year regularly and J-city has done the best job of cleaning the water tanks. The fifty points (20%) of the total 250 investigation points examine the water quality of the water tanks every year, however, the 175 investigation points (70%) do not execute the inspection of water quality. In the case of the regional characteristics in the water quality, the 23 points (46%) in H-county, the 17 points (34%) in S-county, and the 16 points (32%) in G-city are incongruent in the standard, and the incongruity ratio of the water quality in J-city is the lowest. The result of the classified incongruity shows that total coliforms were found at the 61 investigation points, mesophilic bacteria were found at the 27 points, and turbidity was found at the 12 points. In the case of the material incongruity, concrete was found at the 63 investigation points as the most distinguished factor, and FRP (fiberglass reinforced plastic) at the 23 points, SMC (sheet molding compound) at the 12 points, and stainless steel was found at the 2 points.

Key Words : Water tank, Regional, Classified, Material, Total coliforms, Mesophilic bacteria

1. 서 론

우리가 마시고 있는 수돗물은 정수처리과정을 거쳐 생산되는데 취수, 도수, 정수, 송수, 배수, 급수시

설 및 저수조를 통하여 공급되며 이 과정에서 급배수관의 노후로 인한 중금속류 및 미생물 등의 오염과 누수배관을 통한 토사유입 또는 토양오염물질의 오염과 저수조의 위생 상태에 따라 수질변화의 가능성을 내재하고 있다. 특히, 저수조는 공급수압이 낮거나 물 공급이 불안정할 경우 출수불량 문제를 완화시키는 중요한 수단이 되지만 12시간에서 장시간 동안 물이 체류할 수 밖에 없는 시스템적 측면에

Corresponding Author : Hyun-Geoun Park, Department of Environmental Engineering, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea
Phone: +82-55-751-3344
E-mail: hgpark@jinju.ac.kr

서 보면 수질에 큰 영향을 미치기도 하며 저수조의 구조나 설치 위치 그리고 청소 및 위생 상태에 따라 수질이 저하될 가능성은 늘 내재되고 있다¹⁾. 이런 의미에서 1991년 12월 15일 보사부령으로 공중위생법상 “위생관리용역업”이 발효된 이래 여러 차례 수도법 및 저수조 관련법이 개정되어 왔고 또한 저수조 설치기준 및 위생관리 기준을 마련하여 저수조 위생관리를 제고하는 계기와 밀거름이 되었다^{2,3)}.

그러나 안전성 있는 수돗물 공급을 위한 정부의 먹는물 관리대책의 지속적인 추진으로 수돗물의 수질은 향상되었지만 국민들의 수돗물에 대한 불신과 불안감은 여전한데, 이는 상수 원수의 오염과 수돗물 생산 과정상의 문제점과 더불어 급배수 과정 및 저수조 등에서 발생하는 수돗물의 2차 오염 문제가 야기되고 있기 때문이다. 정부에서도 최근 저수조의 수질악화 문제를 해결하기 위하여 6개월에 1회 이상 청소를 하도록 하고 관리자나 건물주가 법정 교육을 이수하도록 규정하였지만, 이를 감독하고 관리할 수 있는 인력의 부재로 감독자체를 할 수 없는 실정이다^{4,5)}. 또한, 대부분 영세규모의 전문성 없는 저수조 청소업자의 난립 등으로 인한 부실 청소와 소독실시 미흡 등으로 오히려 수질악화를 초래하는 경우도 있다. 그리고 기존 저수조에 대한 구조적, 재질적 한계로 저수조에서 발생하는 수돗물 2차 오염을 현 상태에서 개선할 수 있는 가능성은 매우 어려운 실정이다^{6~8)}.

특히, 저수조를 중심으로 발생하고 있는 수질악화에 대한 조사 연구가 부진한 실정이며 대부분의 연구가 저수조의 외부오염 현황과 주변 환경에만 치중하고 있고 이러한 수돗물의 2차 오염문제를 해결하기 위해서는 급수관 교체, 저수조 재질 및 구조 등의 시설개선과 이들 시설의 체계적인 관리가 필요하지만 현 제도상으로 어려운 실정에 있다^{9~11)}. 그리고 저수조의 청소 및 수질검사 관리의무대상시설에서 제외되었던 소형저수조에 대해서도 관리기준을 마련하여 효율적 관리방안이 요구되고 있다.

본 연구는 저수조의 효율적인 유지관리를 위해 조사지점의 실태조사와 수질변화 조사를 통하여 수돗물이 공급되는 과정에서 발생할 수 있는 2차 오염을 사전 예방하고 수돗물에 대한 불신감 해소를 목적으로 하고 있다.

2. 조사 및 방법

2.1. 조사기간 및 대상

2007년 7월부터 2008년 6월까지 경남지역 5개 시, 군의 정수장에서 공급되는 대형 건축물 및 공동주택단지 각각 50개소의 조사지점을 선정하여 총 250건을 대상으로 수질실태를 조사하였다. 시료 채취는 이화학 분석용 2 L 용량의 무균 채수병과 미생물 분석용 1 L 용량의 무균 채수병에 저수조 또는 저수조에서 가장 가까운 수도꼭지에서 채수하였으며 시료의 채취와 보존은 먹는물 수질공정시험방법에 준하여 실시하였다¹²⁾.

2.2. 분석방법

2.2.1. 저수조의 기본항목 분석

먹는물 관리법 제6조에 따라 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 제2조에 따른 먹는물 수질기준 항목 등에 대한 저수조의 수질검사를 먹는물 수질공정시험방법에 준하여 실시하였고 pH는 pH meter(250A, Thermo Orion), 탁도는 Turbidimeter(2100N, HACH) 그리고 잔류염소 분석은 Residual chlorine meter(Tintometer GmbH, 44287 Dortmund, Lovibond)를 사용하였으며 검사항목 및 기준은 Table 1에 나타내었다.

2.2.2. 저수조내 미생물상 관찰

저수조 내에서 관찰되는 미생물상은 저수조 저질의 상태와 저수조 표면의 생물막 부착상태를 현미경 사진으로 나타내었으며 광학 현미경(Optical microscope, Nikon Eclipse 009)과 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscope, Jeol Instrument JSM-5600LV)을 사용하여 미생물 서식상태를 관찰하였다¹³⁾.

2.2.3. 저수조내 침전물 분석

저수조내 침전물 시료 채취는 저수조의 청소시기에 맞추어 지하 및 고가수조를 포함한 10개 지점을 선정하여 시료 채취를 하였고 침전물에 대한 금속성 물질과 원소 성분 분석을 수행하여 저수조의 수질 변화에 영향을 미치는지 조사하기 위해 ICP/MS(inductively coupled plasma mass spectrometer, HP-4500, Agilent)와 Elemental analyzer(EA 1110, CE Instruments)를 사용하여 침전물의 구성성분을 분석하였다.

Table 1. The inspection items and drinking water quality standards of water tank

Sorts	Microorganisms			Disinfectant	Aesthetic substances	
Number	3			1	2	
Item	Mesophilic bacteria	Total coliforms	Fecal coliforms	Residual chlorine	pH	Turbidity
Standard	100 CFU/mL below	N.D/100mL	N.D/100mL	4.0 mg/L below	5.8~8.5	0.5 NTU below

Note) CFU (colony forming unit), N.D (not detected), NTU (nephelometric turbidity unit)

3. 결과 및 고찰

3.1. 저수조의 실태조사

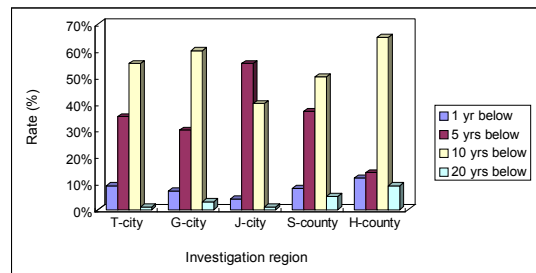
대형 건축물 및 공동 주택단지의 저수조 시설관리 상태를 조사한 결과는 다음과 같다. Fig. 1(a)의 경우 저수조 설치 후 경과년도는 대부분 5년 이상 10년 이하의 경우가 총 250개소 중 135개 지점(54%)로 나타났으며 H군, G시 및 T시가 높은 순으로 조사되었다. Fig. 1(b)의 경우 저수조의 청소는 청소 및 소독관리를 확인하기 위해 조사하였으며 2회/년 정기적으로 관리하고 있는 지역은 215개 지점(86%)이며 J시가 가장 높은 것으로 나타났고 1회/년 청소를 하는 곳은 30개 지점(11.9%)로 조사되었다. Fig. 1(c)는 저수조의 수질검사를 1회/년 정기적으로 실시하고 있는지의 여부를 조사한 결과 250개소 중 50개 지점(20%)가 정기적으로 실시하고 있었으며 대부분 175개 지점(70%)가 수질검사를 하고 있지 않는 것으로 조사되었다. 이번 저수조의 실태조사 결과, 저수조 청소대상시설의 주기적 관리가 비교적 높은 비율을 보이는 반면에 위생관리 및 설치상태가 불량한 곳이 많았고 정기적 수질검사에 대한 주민들의 인식도 부족한 것으로 판단되었다.

Fig. 2(a)와 2(b)의 경우 지하 저수조 및 고가수조의 재질에 대한 조사는 지하 저수조의 경우 250개소 중 228개 지점(91%)가 대부분 콘크리트 재질이며 T시가 가장 높은 것으로 나타났고 13개 지점(5.1%)가 SMC 재질로 8개 지점(3.3%)는 FRP 재질로 조사되었다.

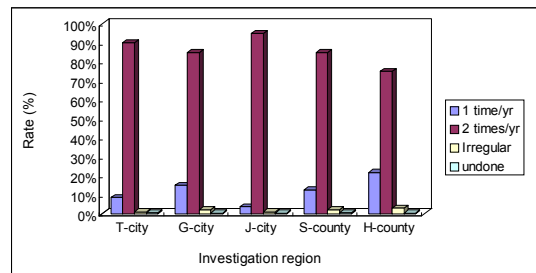
고가수조의 경우 250개 중 177개 지점(70.8%)가 FRP 재질, 32개 지점(12.6%)가 SMC 재질 그리고 26개 지점(10.4%)가 콘크리트 재질로 조사되었고 FRP 재질은 J시와 H군이 높은 곳으로 조사되었다.

3.2. 조사대상 수질현황

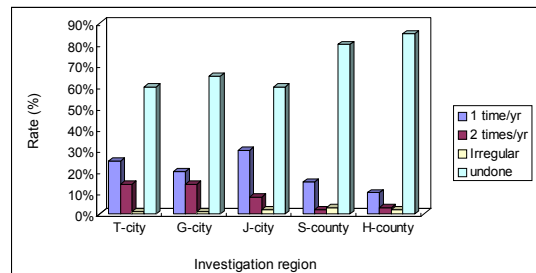
경남지역 저수조의 조사지점에 대한 수질검사 결



(a) The year elapsed after installation



(b) The cleaning cycles of water tank



(c) The inspection cycles of water quality

Fig. 1. The actual state investigation of water tank for water quality management.

과는 총 250개소 중 174건(69.6%)가 수질기준에 적합한 것으로 나타났고 76건(30.4%)는 수질 기준에 부적합한 것으로 조사되었다.

지역별로 부적합 수질검사 결과를 보면 Fig. 3과

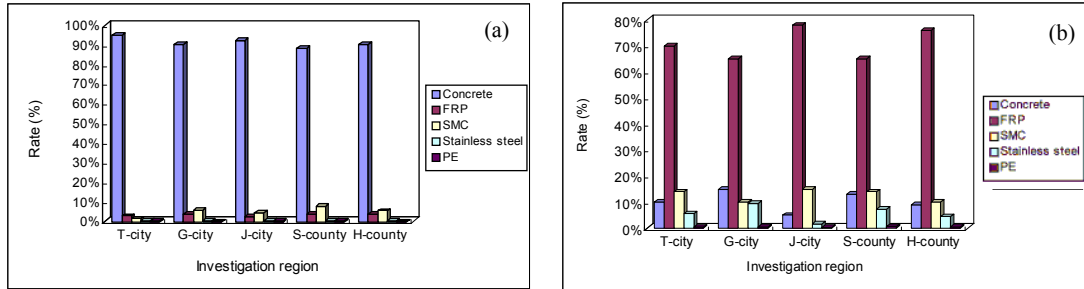


Fig. 2. Investigation on the material quality of (a) underground and (b) highest water tank as to regions.

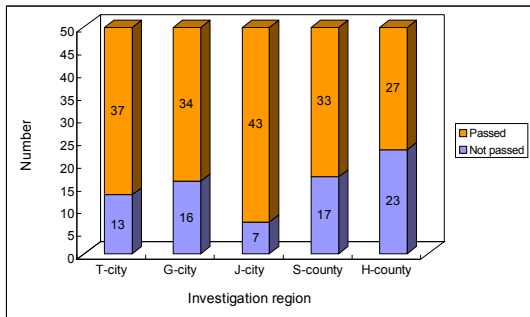


Fig. 3. Regional status of water quality as to investigation points.

같이 H군 23건(46%), S군 17건(34%) 및 G시 16건(32%) 순으로 나타났고 J시가 가장 낮은 것으로 조사되었다. Fig. 4(a)와 4(b)의 경우 저수조의 항목별 및 재질별 수질검사 결과는 항목별 부적합의 경우 총대장균군이 61건으로 가장 많았고 일반세균 27건 및 탁도 12건 순으로 나타났으며 재질별 부적합의 경우 콘크리트 재질이 63건으로 가장 많았고 FRP 23건, SMC 12건 및 스테인리스(Stainless steel) 2건

순으로 조사되었다.

3.3. 저수조의 지역별 수질특성

저수조의 지역별 수질특성을 보면 Table 2에서 지역별로 pH, 일반세균, 탁도 및 잔류염소 항목에 대하여 최소에서 최대까지의 농도범위와 평균을 나타내었고 지역별 항목에 대한 수질 특성은 다음과 같다.

pH는 정수장 먹는물 수질기준과 비교했을 때 범위를 벗어나는 지역은 없었으며 각 지역의 평균이 6.8에서 7.4까지 안정적으로 나타났다. 일반세균은 지역별로 평균이 102~405 CFU/mL까지 수질기준을 초과하는 것으로 나타났으며 H군, S군 및 G시가 다른 지역에 비해 비교적 높게 나타난 것으로 분석되었다. 탁도는 각 지역의 평균이 0.38~0.95 NTU까지 나타났고 S군, G시 및 H군은 수질기준을 초과하는 것으로 분석되었다. 그리고 잔류염소는 지역별로 평균이 0.25~0.63 mg/L까지 나타났고 수질기준을 초과하는 지역은 없었으며 H군과 S군이 다른 지역에 비해 잔류염소 농도가 낮은 것으로 분석되었다.

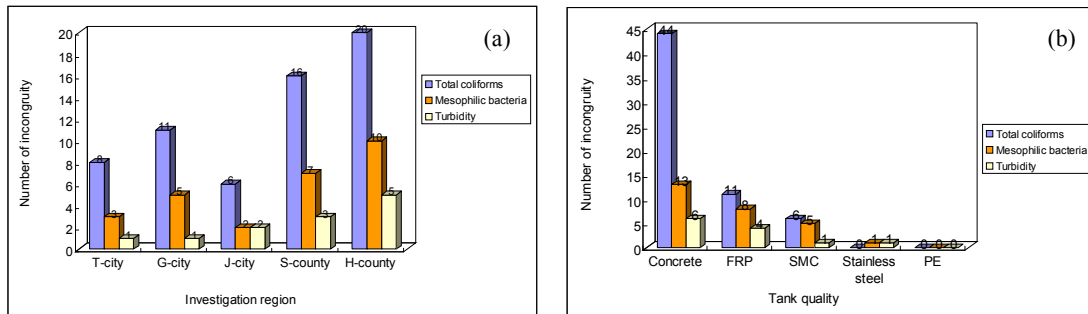


Fig. 4. Incongruent status on the inspection of water quality as to items by (a) regions and (b) water tank materials.

Table 2. Regional characteristics of water quality as to items in the water tank

	T-city	G-city	J-city	S-county	H-county
pH (5.8~8.5 below)	6.5~7.8 (6.9)	6.8~8.1 (7.4)	6.4~8.0 (7.2)	6.2~7.5 (6.8)	6.7~7.9 (7.0)
Mesophilic bacteria (100 CFU/mL below)	0~958 (204)	0~1112 (280)	0~884 (102)	0~1222 (314)	0~1525 (405)
Turbidity (0.5 NTU below)	0.07~2.04 (0.43)	0.07~4.10 (0.75)	0.08~1.54 (0.38)	0.08~6.18 (0.95)	0.07~3.16 (0.54)
Residual chlorine (4.0 mg/L below)	0~2.0 (0.51)	0~2.4 (0.42)	0~1.4 (0.63)	0~1.5 (0.34)	0~2.5 (0.25)

3.4. 저수조의 항목별 수질특성

pH, 총대장균군, 일반세균, 탁도 및 잔류염소의 농도범위에 따른 검출건수와 검출빈도를 Fig. 5에 나타내었고 항목별 수질특성은 다음과 같다.

Fig. 5(a)의 경우 pH는 5.8~7.0 사이 범위가 54.4%, 7.0~8.5 범위는 45.6%이며 정수장 먹는물 수질기준을 초과하는 것은 없는 것으로 나타났다. 총대장균군은 불검출이 75.6%에 189건이며 검출은 24.4%에 61건으로 분석되었다. Fig. 5(b)의 경우 일반세균은 불검출이 16.7%, 1~50 CFU/mL는 25.4% 그리고 50~100 CFU/mL는 47.1%로 나타났고 수질기준인 100 CFU/mL 이하를 초과하는 비율도 10.8%에 27건으로 분석되었다. Fig. 5(c)의 경우 탁도는 0.1~0.3

NTU가 60.5%, 0.3~0.5 NTU는 20%이며 정수장 먹는물 수질기준인 0.5 NTU를 초과하는 비율도 4.8%에 12건으로 나타났다. Fig. 5(d)의 경우 잔류염소는 0.2~2.0 mg/L가 35.9%, 2.0~4.0 mg/L는 9.6%이며 수질기준을 초과하는 것은 없었으며 0.2 mg/L 이하의 낮은 농도 비율도 54.5%에 136건으로 나타났다. 잔류염소 농도가 0.1 mg/L 이하 또는 0.2 mg/L 미만인 경우 잔류염소의 소독력을 감소시켜 미생물의 활성을 증가시키거나 미생물이 부활 재생장하는 것으로 생각되었다.

3.5. 저수조의 재질별 수질특성

저수조의 재질별 수질특성을 보면 Table 3에서

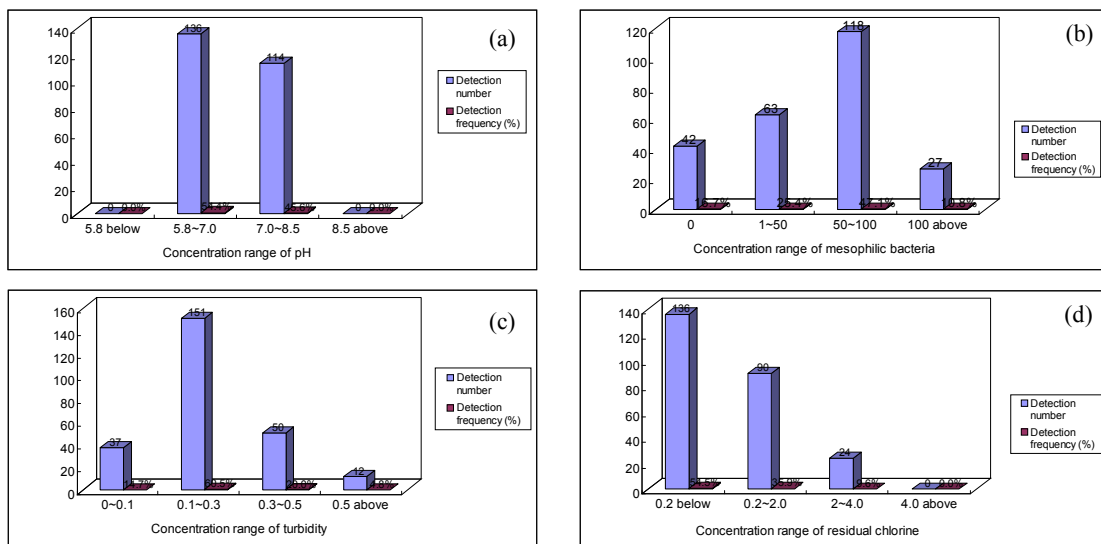


Fig. 5. Detection number and frequency rate as to the concentration range of items in the water tank: (a) pH, (b) mesophilic bacteria, (c) turbidity and (d) residual chlorine.

Table 3. Material characteristics of water quality as to items in the water tank

	Concrete	FRP	SMC	Stainless steel	PE
pH (5.8~8.5 below)	6.2~7.5 (6.7)	6.7~8.1 (7.1)	6.8~8.0 (7.2)	6.4~7.9 (6.9)	6.5~7.8 (6.8)
Mesophilic bacteria (100 CFU/mL below)	0~1525 (365)	0~1222 (301)	0~884 (113)	0~958 (88)	0~98 (72)
Turbidity (0.5 NTU below)	0.08~6.18 (0.98)	0.07~3.16 (0.62)	0.07~1.54 (0.41)	0.08~2.04 (0.45)	0.08~0.49 (0.38)
Residual chlorine (4.0 mg/L below)	0~2.4 (0.34)	0~1.5 (0.41)	0~2.5 (0.68)	0~2.0 (0.45)	0~1.4 (0.35)

재질별로 pH, 일반세균, 탁도 및 잔류염소 항목에 대하여 최소에서 최대까지의 농도범위와 평균을 나타내었고 재질별 항목에 대한 수질 특성은 다음과 같다.

pH는 재질별로 많은 차이를 보이지 않았고 수질 기준을 초과하지 않는 것으로 나타났으며 각 재질의 평균이 6.7~7.2까지 안정적인 것으로 분석되었다. 일반세균은 재질별로 평균이 72~365 CFU/mL이며 콘크리트, FRP 및 SMC 재질은 수질기준을 초과하는 것으로 나타났고 콘크리트와 FRP 재질이 다른 재질에 비해 비교적 높게 나타났다. 그리고 스테인리스와 PE 재질이 저수조의 재질에 따른 시설수가 상대적으로 다른 재질에 비해 적었음을 감안한다면 수질기준을 초과하지는 않았지만 수치가 높은 것으로 생각되었다. 탁도는 각 재질의 평균이 0.38~0.98 NTU까지 나타났고 콘크리트와 FRP 재질은 수질기준을 초과하는 것으로 나타났으며 PE 재질이 가장 낮게 분석되었다. 그리고 SMC, 스테인리스 및 PE(poly ethylene) 재질은 농도의 큰 차이를 보이지 않았지만 수질기준과 비교했을 때 높은 것으로 판단되었다. 그리고 잔류염소는 재질별로 평균이 0.34~0.68 mg/L이며 수질기준을 초과하는 재질은 없는 것으로 나타났다.

본 지하 저수조와 고가수조의 재질에 대한 조사 및 분석결과, 콘크리트와 FRP 재질이 많았고 다른 재질에 비하여 수질기준을 초과하거나 비교적 높게 나타났다.

콘크리트와 FRP 저수조는 방수를 목적으로 사용되는 벽면 내부 도장재 및 코팅재의 탈리와 저수조 재질에 의한 용출이 수질오염에 영향을 미칠 수 있다. 그리고 SMC 저수조는 FRP의 일종이나 원료의

금형작업에 의해 고온에서 성형압출시켜 제조하므로 불포화 폴리에스테르수지 함유량이 기존 수작업 FRP보다 많고 상대적으로 유리섬유 함유량이 적어 내면이 매끄럽고 깨끗하며 유리섬유 용출 가능성이 적다. 또한 스테인리스 저수조는 초기 투자비가 다소 고가이나 스테인리스는 그 자체가 녹이 슬지 않는 것이 아니라 그 표면에 생기는 산화피막에 의하여 공기 중에 존재하는 산소와 산화물의 침입을 방지하여 더 이상의 산화를 진행시키지 못하게 하는 재질로서 내식성이 우수하고 위해성이 적은 것으로 알려져 있다¹¹⁾. SMC 및 스테인리스 재질을 사용하여 저수조의 재질에 대한 시설개선을 할 경우 수돗물의 수질관리에 기여할 것으로 생각된다. 따라서, 기존 저수조 시설의 문제점을 보완 및 개선하고 저수조의 재질은 수질관리에 상당부분 영향을 미치게 됨으로 저수조의 재질로는 어떤 재질이 내식성이 강하고 위생적이며 그리고 구조적 안정성 및 경제성을 갖춘 친환경적인 재질인가에 대한 지속적인 조사연구가 필요하다고 판단되었다.

3.6. 저수조내 일반세균 및 총대장균군 분석결과
일반세균의 시험은 접종한 시료를 35°C, incubator에서 48시간 배양하여 형성된 집락의 수를 계산하였고 대조군 시험은 시료 시험법과 동일하게 실험한 결과, 대조군은 PCA(plate count agar) medium에서 집락 형성을 볼 수 없었고 부적합 시료는 일반세균 수질기준 100 CFU/mL 이상의 colony 형성을 볼 수 있었다(Fig. 6).

먹는물 수질기준상 일반세균은 물 속의 모든 세균을 지칭하는 것은 아니며 표준한천배지(PCA)에서 35°C에 48시간 배양하였을 때 집락을 형성하는

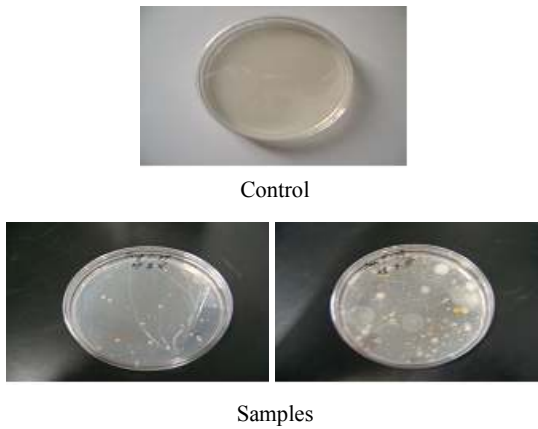


Fig. 6. Photographs of mesophilic bacteria colony on the PCA medium.

호기성, 통성 혐기성 등의 중속영양의 중온균 (Mesophilic bacteria)을 말하며 응집, 여과, 소독과정 등 정수처리공정의 처리효율에 대한 지표가 되고 있다¹⁴⁾.

총대장균군의 시험은 추정 및 확정시험의 2단계로 시험하였다. 추정시험은 시료를 LB(lactose bile) medium에 접종하여 35℃에서 24시간 배양한 다음 가스가 발생하면 추정시험 positive로 판정하고 확정 시험을 실시하였고 배양 24시간 경과 후 어느 시험 관에서도 가스가 발생하지 않으면 동일한 조건으로

48시간까지 배양하여 가스발생이 없을 때에는 추정 시험 negative로 판정하고, 하나 이상의 가스발생이 관찰되었을 때에는 확정시험을 실시하였다. 확정시험은 가스가 발생한 모든 시험관으로부터 배양액을 1백금이씩 취하여 BGLB(brilliant green lactose bile) medium에 접종시켜 35℃에서 48시간 배양한다. 이때 가스가 발생하지 않으면 총대장균군 확정시험 음성으로 판정하고 가스발생이 관찰되었을 때는 총대장균군 양성으로 판정하였다. 대조군 시험은 시료 시험법과 동일하게 실험한 결과 대조군에서는 gas 발생을 볼 수 없었고 부적합 시료는 추정 및 확정시험 모두에서 gas 발생을 볼 수 있었다(Fig. 7). 총대장균군은 lactose를 분해하여 산과 가스를 발생하는 그람음성, 무아포성 간균으로 호기성 및 통성 혐기성균을 말하며 총대장균군 자체는 인체에 유해하지 않지만 분변 오염의 지표가 되고 있고 저항성이 병원균과 비슷하거나 강해서 장관계 병원성 대장균 등 일부는 병원성을 나타낼 수 있다고 알려져 있다^{15,16)}.

3.7. 저수조내 미생물상 관찰

저수조에 침전된 저질의 상태와 저수조 표면의 생물막 부착상태에 대해 광학 현미경과 주자전자현미경(SEM)을 사용하여 현미경 사진으로 관찰한 결

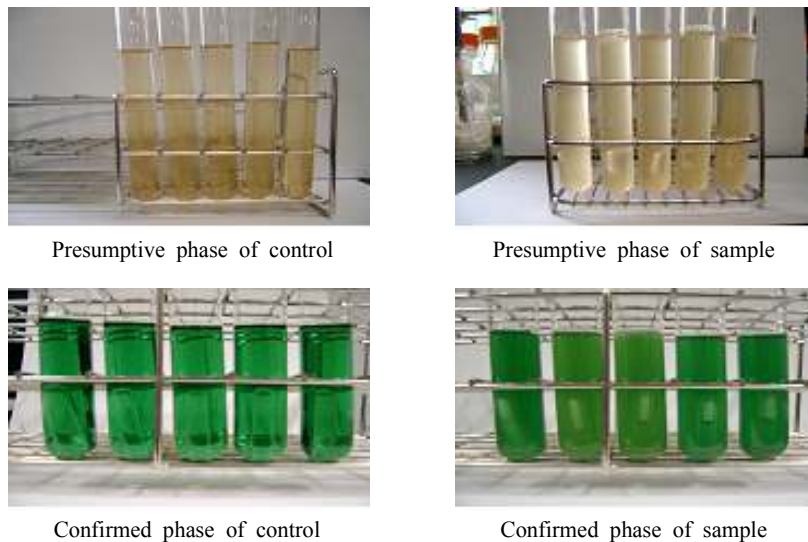


Fig. 7. Photographs of total coliforms about gas produced in fermentation tubes of the LB and BGLB medium.

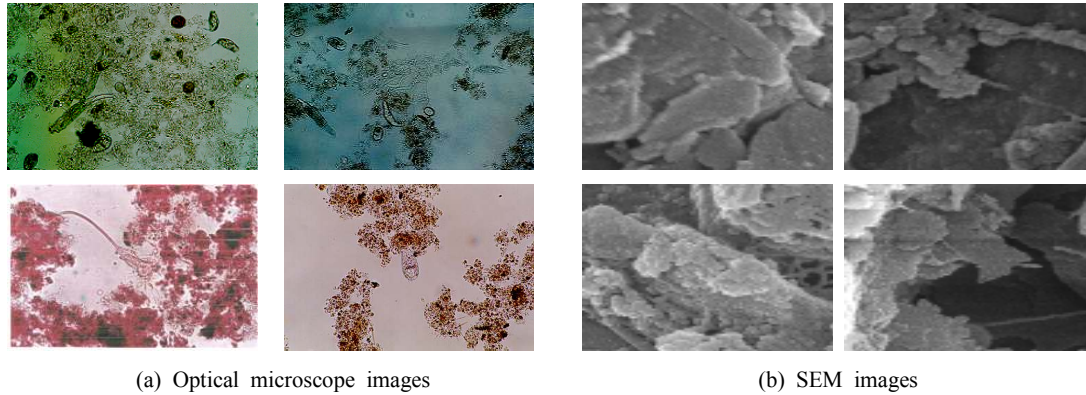


Fig. 8. Optical and scanning electron microscopic photographs of microorganisms in the water tank.

과를 Fig. 8(a)와 8(b)에 나타내었다. 저수조 내부의 침전물은 미생물학적 관점에서 보면 박테리아, 원생동물, 진균 및 조류 등의 생물대사 작용에 의한 부산물이 생성되는 저질로서 침전한다¹⁷⁾. 미생물은 적당한 영양분과 온도, pH 등 조건이 알맞게 되면 순식간에 증식될 수 있으며 재질에 따라 철박테리아는 철을 부식시키고 유황박테리아는 콘크리트 부식에 관계가 있다¹⁵⁾.

저수조내 미생물 문제는 염소소독과 관계가 있으므로 잔류염소 농도가 0.2 mg/L 이상 유지된다면 미생물의 증식을 감소시키거나 부활 재성장은 정지된다고 본다. 따라서, 저수조 내부에 침전물이 많이 보일 경우 미생물의 활성에 의한 증식의 가능성이 높으므로 조기 발견하여 정기적인 관리가 요구되는 것으로 생각되었다.

3.8. 저수조내 침전물 분석결과

침전물의 원소 및 무기물질 분석결과는 C, H, O, N 및 S가 34.8%이며 대부분 금속성 무기물질이 65.2%로 금속성 무기물질의 구성비가 훨씬 높은 것으로 분석되었다. 침전물을 구성하는 기본원소의 구성비는 O가 28.0%로 다른 성분에 비해 높은 값을 나타내었으며 C 3.4%, H 2.0%, N 1.2% 그리고 S 0.2%의 순으로 분석되었다. 금속성 무기물질의 경우는 Fe가 37.1%로 가장 높게 나타났으며 이외 주요 구성성분으로는 Si 9.4%, Al 6.8%, Zn 5.5%, Ca 2.1%, Mn 1.7% 및 Cu 1.4%의 순으로 분석되었다.

저수조내 침전물의 구성성분으로 살펴본 침전물

발생 원인은 저수조내 철제 부속시설의 산화로 인한 녹물 발생, 정수장 수돗물의 이송과정에서 아연 및 주철관의 침식 그리고 부식된 성분의 저수조에 서의 체류시간 동안 산화 및 퇴적, 정수장에서 사용한 잔류 응집제 성분에 의한 화학적 침전 형성, 저수조 벽면 도장재 및 코팅재 탈리와 저수조 재질에 의한 용출 그리고 관의 접합부 또는 저수조 외부 환기구를 통한 이물질의 혼입 등 복합적 원인에 의해 침전물이 발생하는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구는 2007년 7월부터 2008년 6월까지 경남 지역 5개 시, 군의 정수장에서 공급되는 대형 건축물 및 공동 주택단지 각각 50개소의 조사지점을 선정하여 총 250건을 대상으로 정수된 수돗물이 저수조에서 오염될 수 있는 각종 요인을 조사하기 위해 저수조의 지역별 및 항목별 수질특성과 재질에 따른 수질특성 등 수질실태를 조사 및 분석하였고, 저수조내 pH, 탁도, 잔류염소, 총대장균군, 일반세균 및 침전물을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 저수조의 시설관리 상태에 대한 조사결과를 보면 저수조 설치 후 경과년도는 대부분 5년 이상 10년 이하의 경우가 총 250개소 중 135개 지점(54%)로 나타났으며 H군, G시 및 T시가 높은 순으로 조사되었고, 저수조의 청소는 2회/년 정기적으로 관리하고 있는 지역은 215개 지점(86%)이며 J시가 가장 높은 것으로 나타났으며 저수조의 수질검사를 1회/

년 정기적으로 실시하고 있는지의 여부를 조사한 결과 250개소 중 50개 지점 (20%)가 정기적으로 실시하고 있었으며 대부분 175개 지점(70%)가 수질검사를 하고 있지 않는 것으로 조사되었다.

2) 경남지역 저수조의 조사지점에 대한 수질검사 결과는 총 250개소 중 174건(69.6%)가 수질기준에 적합한 것으로 나타났고 76건(30.4%)는 수질 기준에 부적합한 것으로 조사 되었다.

3) 저수조의 지역별 항목에 대한 수질특성의 경우 총대장균군은 부적합 61건중 H군(20건), S군(16건) 및 G시(11건) 순으로 나타났고 일반세균은 지역별로 평균이 102~405 CFU/mL까지 수질기준을 초과하는 것으로 나타났으며 H군, S군 및 G시가 다른 지역에 비해 비교적 높게 나타난 것으로 분석되었고, 탁도는 각 지역의 평균이 0.38~0.95 NTU까지 나타났고 S군, G시 및 H군은 수질기준을 초과하는 것으로 분석되었다.

4) 저수조의 항목별 농도범위에 따른 검출건수와 검출빈도의 경우 총대장균군은 불검출이 75.6%에 189건이며 검출은 24.4%에 61건으로 분석되었다. 일반세균은 불검출이 16.7%, 1~50 CFU/mL는 25.4% 그리고 50~100 CFU/mL는 47.1%로 나타났고 수질기준인 100 CFU/mL 이하를 초과하는 비율도 10.8%(27건)으로 분석되었고, 탁도는 0.1~0.3 NTU가 60.5%, 0.3~0.5 NTU는 20%이며 정수장 먹는물 수질기준인 0.5 NTU를 초과하는 비율도 4.8%(12건)으로 나타났다.

5) 저수조의 재질별 항목에 대한 수질 특성은 다음과 같다. 총대장균군은 콘크리트(4건), FRP(11건) 및 SMC 재질(6건)으로 검출되었고 콘크리트가 다른 재질에 비해 비교적 높게 나타났으며 스테인리스와 PE 재질에서는 검출되지 않았다. 일반세균은 재질별로 평균이 72~365 CFU/mL이며 콘크리트, FRP 및 SMC 재질은 수질기준을 초과하는 것으로 나타났고 콘크리트와 FRP 재질이 다른 재질에 비해 비교적 높게 나타났다. 탁도는 각 재질의 평균이 0.38~0.98 NTU까지 나타났고 콘크리트와 FRP 재질은 수질 기준을 초과하는 것으로 분석되었다.

6) 침전물의 원소 및 무기물질 분석결과는 C, H, O, N 및 S가 34.8%이며 대부분 금속성 무기물질이 65.2%로 금속성 무기물질의 구성비가 훨씬 높은 것

으로 분석되었다.

저수조의 청소, 위생관리 및 설치상태 그리고 저수조의 재질에 따라 물과 침전물에 미량유해오염물질이 존재할 가능성을 내재하고 있기 때문에 VOCs(volatile organic compounds), 중금속류 및 이온성 무기물질에 대한 미량농도물질의 분석도 저수조의 먹는물 수질검사에 기본항목과 함께 포함시켜 수행되어야 할 것이며 이들 성분에 대한 위해성을 평가하고 효율적인 수질관리를 통하여 체계적이고 과학적인 관리 시스템을 확립하는 지속적인 조사연구가 필요할 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

- 1) 한국건설기술연구원, 2007, 소형저수조의 효율적 관리방안 연구보고서, 한국상하수도협회, 105pp.
- 2) 환경부, 2008, 먹는물 수질관리지침서.
- 3) 환경부, 2005, 급수장치 및 저수조 위생관리 지침.
- 4) 박병운, 1995, 저수조내에서 수질의 경시적 변화에 관한 연구, 한국환경과학회지, 4(1), 81-89.
- 5) 이현동, 배철호, 김정현, 황대운, 홍성호, 2005, 지하저수조의 수리적 거동과 수질변화특성 평가, 한국물환경학회지, 21(3), 52-58.
- 6) <http://www.kowata.or.kr/main.htm>.
- 7) 최승일, 2004, 저수조와 옥내급수관 수질개선을 위한 제도적 관리방안, 환경미디어, 186, 74-77.
- 8) 환경부, 2002, 저수조 및 옥내급수관 관리개선 연구.
- 9) 이현동, 박필재, 심유섭, 고형찬, 2006, 소형저수조의 실태조사와 효율적 관리방안, 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집, 1264-1269.
- 10) 이지현, 이해훈, 김환범, 안길원, 박귀님, 김양기, 배주순, 문희, 서윤규, 2000, 대형건축물 저수조의 수질실태 및 개선방안에 관한 연구, 대한위생학회지, 15(4), 59-77.
- 11) 수자원환경신문사, 환경미디어, 2004, 저수조 시설 기준 개정과 운영관리, 한국급수장치협회, 251pp.
- 12) 환경부, 2007, 먹는물수질공정시험방법.
- 13) 조용운, 김홍출, 갈상완, 이상원, 1998, 미생물공학 실험서, 진주산업대학교 출판부, 375pp.
- 14) 이기창, 2007, 저수조의 수질실태 및 개선방안에 관한 연구, 석사학위논문, 환경공학과, 충남대학교.
- 15) 米田 周平, 2003, 貯水槽維持管理に 關する 基礎的研究, 碩士論文, 工學研究科, 高知工科大学大學院.
- 16) 한무영, 1999, WHO 음용수 수질 가이드라인, 제2판 제1권, 대한상하수도학회 수도연구회, 208pp.
- 17) 안재찬, 박창민, 구자용, 2005, 배급수계통에서 잔류염소 감소 특성 및 적용연구, 상하수도학회지, 19(4), 487-496.