

수도꼭지에서 미생물 검사 목적의 샘플링 방법 개선 연구

Improvement of sampling method for bacteriological test in tap water

이은숙* · 이동식 · 이목영 · 이만호 · 한선희

Eun-Sook Lee* · Dong-Sik Lee · Mok-Young Lee · Man-Ho Lee · Sun-Hee Han

서울시 상수도연구원

(2011년 6월 10일 접수 ; 2011년 7월 18일 수정 , 2011년 8월 2일 채택)

Abstract

We studied on the effect of faucet cleanliness, faucet conditions (screen, mixing faucet), and flushing time for bacterial detection in tap water. As results, tap water should be left to run to waste for 2 to 3 minutes and if a questionable cleanliness is questionable, disinfect the faucet by using flaming or other methods before sampling. We proposed sampling method to decrease effect of factors associated with bacterial detection in tap water and contributed to be evaluated more accurate water quality.

Key words : disinfection, faucet cleanliness, faucet conditions, flushing time, sampling method

주제어 : 소독처리, 수도꼭지 청결, 수도꼭지 상태, 퇴수시간, 시료채취방법

1. 서론

서울시 수도물은 한강원수를 취수하여 정수처리공정을 거쳐 송배수시설, 그리고 수요가내 옥내급수관, 저수조 등의 다양한 급수시설을 거쳐 수요자에게 공급된다. 이러한 과정을 거치는 동안 수질은 계속 변화하므로 최종 수요자에게 도달하는 수도물까지 안전하게 유지되도록 하기 위해서는 수도물이 공급되는 각 단계마다 정기적인 수질검사와 적절한 수질관리가 필요하다. 특히 수요자가 직접 사용하는 최종 수도꼭지에서의 수도물 수질검사는 매우 중요한 일이다. 우리나라 「먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙(환경부)」에 따르면, 수도사업자는 매일 1회 이상 급수인구 규모에 따라 적정한 수의 수도꼭지에 대하여 일반세균, 총대장균군, 대장균(또는 분원성대장균군) 및 잔류염소를 검사하도록 하고 있다(환경부, 2007b).

따라서, 서울시에서는 수도사업자의 의무사항으로서 공급된 수도물 수질의 기준적합여부를 판정하기 위해 매일 640점의 수도꼭지 수질검사를 하고 있다. 이를 위해 매일 20~40점의 수도물을 채취하고, 같은 날 동일수계의 수도물을 검사하면서 해당지점의 수도물 시료와 인근건물의 수도물 시료를 함께 채취하여 공급된 물의 수질이상 유무를 매일 점검하고 있다.

그러나 실제 수도꼭지 수질검사에서는 공급된 물에 이상이 없음에도 일반세균, 총대장균군이 검출되는 경우가 간혹 발생한다. 2008년 법정수도꼭지 수질검사 결과, 총 6,049점의 수도물 시료 중 총대장균군은 9점(양성율 : 0.15%)에서 검출되었고 일반세균은 기준초과된 경우는 없었지만 319점의 시료에서 수질기준 이내로 검출되었다. 인근건물의 수도물에서는 미생물이 검출되지 않아 공급된 물에는 이상이 없고, 또 총대장균군 검출이 바로 수질 부적합으로 연

* Corresponding author Tel:+82-2-3146-1787, Fax:+82-2-3146-1876, E-mail: leuns21@seoul.go.kr(Lee, E.)

결되지 않으며, 일반세균이 건강에 위해하지는 않지만 시민들에게 양질의 수도물을 공급하고 적절한 수질관리를 하기 위해서는 공급된 물에 이상이 없음에도 세균이 검출되는 원인을 밝혀내는 것은 매우 중요한 문제이다 (WHO, 2003; 환경부, 2007b).

본 연구에서는 수도꼭지 청결여부, 수도꼭지 상태, 퇴수 시간과 같은 시료채취방법을 수도물에서 미생물이 검출되는 하나의 영향요인으로 생각하고 이러한 요인들에 의한 미생물 검출영향을 조사하였다. 이러한 영향요인의 조사를 통해 보다 개선된 미생물 검사를 위한 시료채취방법을 제안함으로써 정확한 시료채취와 수도꼭지 미생물 분석결과의 신뢰도 향상에 기여하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 수도꼭지 미생물 검출 영향요인 조사

2009년 5월부터 10월까지 서울시내 건물 100개소를 무작위로 선정하여 건물 내 수도꼭지를 조사대상으로 하였다. 수도꼭지 상태에 따른 미생물학적 수질영향을 평가하기 위해 냉수전용 수도꼭지와 냉온수 겸용 수도꼭지를 각각 52개소와 48개소로 구분하여 선정하였다. 아울러 수도꼭지 형태, 즉 수도꼭지 말단부위의 스크린 부착여부를 구분하고자 스크린 설치 수도꼭지와 미설치 수도꼭지 각 49개소와 51개소가 포함되도록 하였으나, 스크린 설치 지점은 주로 냉·온수 겸용이었고 미설치 지점은 주로 냉수 전용 수도꼭지이었다.

시료채취시 수도꼭지 부위의 청결여부가 수도물 수질검사 결과에 영향을 미치는지를 평가하기 위해, 수도꼭지 부위의 소독처리 전·후의 수질을 비교하였다. 이 때 소독처리는 화염 소독 방법을 사용하였다. 먼저 각 조사대상 건물의 수도꼭지 부위를 면봉으로 문질러 스왑(swab) 시료를 채취하였다. 이어 수도꼭지를 화염 소독한 후, 2~3분간 물을 흘려보낸 다음 다시 스왑시료와 수도물 시료를 채취하였다. 아울러 각 건물에 공급된 수도물 자체에서 기인하는 미생물 검출인지를 확인하기 위해, 각 조사대상 인근 직결급수 건물의 수도물 시료도 수도꼭지 부위를 화염 소독하고 2~3분간 퇴수한 후 채취하여 함께 시험하였다. 채취된 스왑시료와 수도물 시료에 대해서는 일반세균, 총대장균군 및 대장균을 검사하였으며, 수도꼭지 소독처리 후 채취된 수도물 시료와 인근건물의 수도물 시료에 대해서는 잔류염소, 탁도 및 pH도 측정하였다.

시료채취 전 퇴수정도에 따른 수질변화를 조사하기 위해서 서울시내 건물 수도꼭지 40개소를 선정하였다. 시료채취 전 각각 0분, 1분, 2분, 3분 후 시료를 채취하여 탁도,

잔류염소, 수온 및 일반세균의 변화를 알아보았다.

모든 수도물 시료채취시 퇴수조건은 수도물이 튀지 않는 완만한 속도로 물을 흘려보내는 것으로 하였다. 냉온수 겸용의 수도꼭지의 경우, 냉수 또는 온수 시료채취시 냉수 또는 온수 방향으로 손잡이를 완전히 돌린 상태에서 시료를 채취하였다. 퇴수정도에 따른 수질변화를 조사하고자 하는 시료를 제외한 모든 시료는 먹는물수질공정시험방법 (환경부, 2007)의 시료채취방법에 따라 채취되었다. 탁도와 pH는 먹는물수질공정시험방법 (환경부, 2007)에 따라서 분석하였고, 잔류염소농도는 휴대용 잔류염소계 (Hach DPD Colorimeter, USA)를 사용하여 DPD (N-N-dimethylparaphenylene diamine)법으로 측정하였다.

2.2 미생물 검사

수도물 시료의 일반세균 (중속영양세균, Heterotrophic plate count; HPC)은 표준한천배지(Plate count agar; Difco, USA)와 m-HPC (Difco, USA)에 접종하여 (35 ± 0.5) °C, (48 ± 2) 시간 배양한 후에 계수하였다. 총대장균군과 대장균은 효소기질이용법을 적용하여 시료 100 mL에 대하여 상품화된 배지(IDEXX, USA)를 넣고 완전히 용해되도록 섞은 후, (35 ± 0.5) °C, (24 ± 2) 시간 배양한 후 색깔의 변화를 관찰하였다. 노랗게 변하면 총대장균군 양성으로 판정하였고 자외선 램프 (366 nm)를 사용하여 형광이 관찰되면 대장균 양성으로 판정하였다. 수도꼭지의 오염정도를 알아보기 위해 스왑테스트 (swab test buffer set; Millipore, USA)를 사용하여 수도꼭지 입구 부위를 문지르고 인산완충용액에 담아 부유시킨 후, HPC sampler (Millipore, USA)를 사용하여 일반세균을 실험하고 (35 ± 0.5) °C, (48 ± 2) 시간 배양한 후에 계수하였다. 스왑시료의 총대장균군과 대장균 검사는 수도물 시료와 같이 효소기질이용법을 사용하였다.

2.3 미생물 동정

수도물 시료와 수도꼭지 부위의 스왑시료에서 분리된 일반세균을 Tryptic soy agar (Difco)에 계대배양하여 얻어진 84개 집락을 대상으로 중합효소연쇄반응 (Polymerase chain reaction, PCR) 및 염기서열분석을 하였다. DNA는 InstaGene matrix kit (Bio-Rad, USA)을 사용하여 추출하였고 프라이머 27F (5'-AGAGT TTGATCCTGGCTCAG-3')와 1492R (5'-GGTTAC CTTGTTACGACTT-3')을 사용하여 PCR (ABI 9700, Biometra)을 하였다. PCR 조건은 95°C, 5분, 30 cycles (94°C, 1분; 55°C, 1분; 72°C, 1분); 72°C, 7분으로 하였다. 증폭된 유전자는 SUPREC-02™ (Takara, Japan)를 사용

하여 정제하였다. 정제된 PCR 산물은 BigDye terminator cycle sequencing ready kit (Applied Biosystems, USA)을 사용하여 제조사의 지시에 따라 염기서열분석 (ABI Prism 3100 Genetic Analyzer, Applied Biosystems)을 하였다. 결정된 염기서열은 NCBI Genbank database의 Blast search program을 이용하여 분석하였다. 총대장균군은 API 20E kit (bioMerieux, France)를 사용하여 동정하였다.

2.4 염소소독 실험

수도꼭지 부위의 스왑시료와 수도물시료에서 분리된 일반세균 중 검출빈도가 가장 높았던 세균 3종을 순수 배양하여 약 $10^5 \sim 10^8$ CFU/mL 농도로 준비하고 잔류염소 농도가 0.3 ~ 0.4 mg/L인 수도물에 배양액을 넣고 교반하면서 5분 동안 접촉시켰다. 시료를 취하여 3% 티오황산나트륨 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, Sigma 7143)용액을 주입하여 미리 멸균 처리한 시험관으로 옮긴 후, 주입평판법에 따라 표준화천배지에 접종하였다. (35 ± 0.5) °C에서 (48 ± 2) 시간 동안 배양하여 세균 잔존량을 측정하였다.

3. 결 과

3.1 수도꼭지 미생물 검출 영향요인 조사 결과

3.1.1 수도꼭지 부위의 청결 여부

수도꼭지 부위의 청결여부가 미생물 검출에 영향을 미치는지를 평가하기 위해 수도꼭지 부위를 화염 소독처리 하기 전과 후를 비교하였다. 조사대상 건물 100개소에 공급된 수도물 수질을 확인하기 위해 조사대상의 인근건물 수도꼭지에서 채취한 수도물의 수질을 측정하였다. pH 6.8 ~ 7.5 (평균 7.2), 탁도 0.054 ~ 0.178 NTU (평균 0.100 NTU), 잔류염소 불검출 ~ 0.65 mg/L (평균 0.35 mg/L)로 모두 먹는물 수질기준을 만족하였다. 일반세균은 시료 1mL에서 모두 불검출 되었고 총대장균군 및 대장균도 시료 100mL에서 모두 불검출 되었다.

조사대상 건물에서 충분한 소독처리 및 3분 퇴수 후 채취한 수도물 시료 또한 이와 유사한 수질을 보였는데, pH 6.8 ~ 7.5 (평균 7.2), 탁도 0.060 ~ 0.435 NTU (평균 0.107 NTU)로 유사하였고 잔류염소는 저수조 사용 건물이 포함되어 평균 0.30 mg/L로 다소 낮았다. 일반세균은 0 ~ 28 CFU/mL (평균 0.4 CFU/mL)으로 먹는물 수질기준 (100 CFU/mL) 미만의 검출건수가 4건이었고, 총대장균군 및 대장균은 모두 불검출 되었다. 이러한 결과는 조사대상 건물에 공급된 수도물에 미생물학적 수질이상이 없었음을 보여준다.

소독처리 유무에 따른 일반세균 검출농도는 수도꼭지 스왑시료 ($p < 0.0001$)와 수도물 시료 ($p = 0.0003$) 모두에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 소독처리 전 수도꼭지 스왑시료의 경우 49개소에서 일반세균 (47개소) 또는 총대장균군 (4개소)이 검출되었는데, 이 중 2개소는 일반세균과 총대장균군이 동시에 관찰되었다. 22개소에서는 수도물 시료에서도 일반세균 또는 총대장균군이 검출되어 수도꼭지 부위의 미생물 오염이 수도물 시료 채수시 영향을 끼친 것으로 나타났다 (Table 1). 소독처리 후에는 수도꼭지 스왑시료에서 일반세균 검출건수가 12개소로 감소하고 총대장균군은 모두 불검출 되었다. 또한 수도물 시료의 일반세균 검출건수도 소독처리 전 22건에서 소독처리 후 4건으로 감소되고 총대장균군 검출건수도 3건에서 0건으로 감소되었다 (Table 1).

3.1.2 수도꼭지 상태

냉수 전용 수도꼭지와 냉·온수 겸용 수도꼭지에 따른 미생물 검출빈도에는 큰 차이가 없었다. 소독처리 전의 스왑시료의 경우, 일반세균 검출농도가 냉수 전용 수도꼭지 보다 냉·온수 겸용 수도꼭지에서 유의하게 ($p = 0.0394$) 높게 검출되었다 (Table 2).

수도꼭지 내부의 스크린 여부 또한 냉수 및 냉·온수 겸용 수도꼭지에 대한 실험결과와 유사하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다 (Table 3).

Table 1. The detection number and density of bacteria according to disinfection or not

	수도꼭지 부위 스왑시료		수도물 시료	
	소독처리 전	소독처리 후	소독처리 전	소독처리 후
일반세균 검출건수	47	12	22	4
일반세균 검출농도	90 (0~3,000)*	7 (0~145)	10 (0~300)	0 (0~28)
총대장균군 검출건수	4	0	3	0

* 평균 (최소값~최대값), 단위 : CFU/mL

Table 2. The detection number of bacteria according to cold faucet or mixing faucet

		수도꼭지 스웽시료		수돗물 시료	
		소독처리 전	소독처리 후	소독처리 전	소독처리 후
냉수 전용 수도꼭지	일반세균 검출건수	26/52	3/52	10/52	2/52
	검출농도	46(0~560)*	2(0~105)	2(0~35)	0(0~28)
	총대장균군 검출건수	1/52	0/52	0/52	0/52
냉·온수 겸용 수도꼭지	일반세균 검출건수	21/48	9/48	12/48	2/48
	검출농도	95(0~3,000)	9(0~310)	17(0~470)	3(0~220)
	총대장균군 검출건수	3/48	0/48	3/48	0/48

* 평균 (최소값~최대값), 단위 : CFU/mL

Table 3. The detection number of bacteria according to screen or not

		수도꼭지 스웽시료		수돗물 시료	
		소독처리 전	소독처리 후	소독처리 전	소독처리 후
스크린 없는 수도꼭지	일반세균 검출건수	25/51	6/51	10/51	2/51
	검출농도	60(0~560)*	10(0~310)	14(0~470)	4(0~220)
	총대장균군 검출건수	1/51	0/51	0/51	0/51
스크린 있는 수도꼭지	일반세균 검출건수	22/49	6/49	12/49	2/49
	검출농도	110(0~3,000)	6(0~144)	14(0~300)	0(0~28)
	총대장균군 검출건수	3/49	0/49	3/49	0/49

* 평균 (최소값~최대값), 단위 : CFU/mL

3.1.3 수돗물 퇴수시간

조사대상 40개소 건물의 수도꼭지에서 시료채취 전 퇴수 시간을 달리하여 잔류염소, 탁도, 수온을 측정하고 일반세균을 검사하였다. 그 결과, 퇴수시간이 경과함에 따라 탁도와 일반세균 농도는 감소하였고 잔류염소 농도는 증가하였으며, 이는 통계적으로 유의한 차이였다(탁도, $p=0.0146$; 잔류염소, $p=0.0023$; 일반세균, $p=0.0248$).

수돗물 퇴수 전에는 40점의 시료 중 11점에서 일반세균이 검출 (1 ~ 187 CFU/mL)되었고, 1분 퇴수 후에는 6점 (1 ~ 44 CFU/mL), 2분 퇴수 후에는 5점 (1 ~ 4 CFU/mL), 3분 퇴수 후에는 2점이 검출 (1 CFU/mL)되어 퇴수시간이 경과함에 따라 일반세균 검출건수가 감소하였다. 또한 퇴수 전에는 2점의 시료에서 일반세균이 100 CFU/mL를 초과하여 검출되었으나 1분 퇴수 이후 기준이 내었다.

탁도는 물의 탁한 정도를 나타내는 지표로서 원인물질로는 무기유기 부유물, 미생물 및 토사 등으로 미생물 검출과 밀접한 관련이 있는 항목이다. 먹는물 수질기준에서는 탁도를 0.5 NTU 이하로 유지하도록 규정하고 있다. 수돗물 퇴수 전에는 평균 0.115 NTU (0.068 ~ 0.293 NTU) 이었고, 1분 퇴수 후에는 0.103 NTU (0.068 ~ 0.185 NTU), 2분 퇴수 후에는 0.099 NTU (0.064 ~ 0.180 NTU), 3분 퇴수 후에는 0.093 NTU (0.059 ~ 0.161 NTU)로 퇴수시간이 경과함에 따라 탁도가 감소하였다 (Fig. 1).

잔류염소는 미생물학적으로 안전한 수돗물 공급에 기본이 되는 먹는물 수질기준 항목으로 4.0 mg/L 이하로 유지하도록 규정하고 있다. 수돗물 퇴수 전에는 잔류염소가 평균 0.26 mg/L (0.45 ~ 0.04 mg/L) 이었고, 1분 퇴수 후에는 0.33 mg/L (0.60 ~ 0.07 mg/L), 2분 퇴수 후에는 0.35 mg/L (0.61 ~ 0.03 mg/L), 3분 퇴수 후에는 0.36 mg/L (0.64 ~ 0.03 mg/L)로 퇴수시간이 경과함에 따라

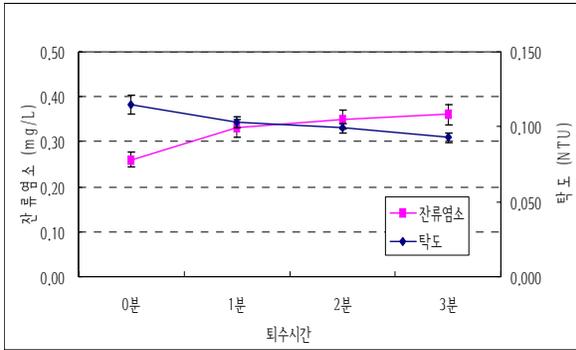


Fig. 1. Change of residual chlorine and turbidity of tap water according to flushing time.

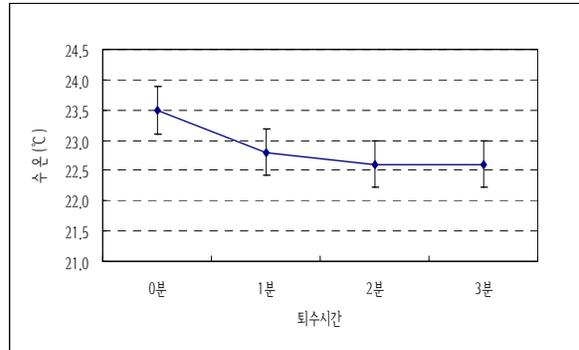


Fig. 2. Change of water temperature of tap water according to flushing time.

잔류염소 농도가 증가하였다 (Fig. 1).

수온은 먹는물 수질기준 항목은 아니지만, 여러 수질항목에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 특히 수온이 높으면 미생물 번식이 왕성해져 미생물 검출에 영향을 줄 수 있다. 수온은 퇴수시간에 따라 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나, 수돗물 퇴수 전에는 23.5 °C (19 ~ 28 °C) 이었고, 1분 퇴수 후에는 22.8 °C (18.5 ~ 26.7 °C)로 감소하였고 2분과 3분 퇴수 후에는 22.6 °C (18.5 ~ 26.5 °C)로 유지되었다. 시료 채취가 5월 ~ 10월에 이루어져서 전반적으로 수온이 높은 편 이었다 (Fig. 2).

3.2 미생물 동정 결과

3.2.1 총대장균군

총대장균군은 수도꼭지 부위의 스웽시료에서 4점, 소독처리 전 수돗물 시료에서 3점이 검출되었고 소독처리를 한 수돗물 시료에서는 검출되지 않았다. 총대장균군이 검출된 스웽시료는 *Pantoea spp.* 1점, *Enterobacter amnigenus* 1점, *Enterobacter cloacae*는 2점 검출되었고 수돗물 시료 3점은 각각 *Enterobacter amnigenus*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae* 로 동정되었다.

3.2.2 일반세균

수도꼭지 입구 부위의 세균 분포를 알아보기 위해 스웽테스트를 사용하여 일반세균을 검사하였다. 소독처리 전의 스웽시료에서는 100점의 시료 중 47점의 시료에서 일반세균이 검출되었고 검출범위는 1 ~ 3,000 CFU 이었다. 이 중 36개 집락에 대해서 동정한 결과, *Staphylococcus* 속(9건, 25%), *Sphingomonas* 속(3건, 8%), *Enterobacter* 속(3건, 8%), *Acinetobacter* 속(2건, 6%), *Chryseobacterium* 속(2건, 6%), *Acidovorax* 속(2건, 6%), *Bacillus* 속(2건, 6%), *Kocuria* 속(2건, 6%),

Brevibacillus 속(2건, 6%), *Microbacterium* 속(2건, 6%), *Pseudomonas* 속(2건, 6%), *Stenotrophomonas* 속(2건, 6%)이 검출되었고 *Spirosoma* 속, *Roseomonas* 속, *Leptothrix qinsensolis* 이 1점씩 분리되어 15종류의 미생물이 검출되었다. 소독처리 후의 스웽시료에서는 100점의 분석시료 중 12점의 시료에서 1 ~ 310 CFU 범위로 일반세균이 검출되었고, 이 중 6개 집락에 대해서 동정하였다. *Staphylococcus* 속(2건), *Sphingomonas* 속(1건), *Enterobacter* 속(1건), *Acinetobacter* 속(1건), *Chryseobacterium* 속(1건)의 5종류의 미생물이 검출되어 소독처리가 완벽하지는 않지만 수도꼭지 부위의 미생물 오염을 감소시키는데 효과적임을 알 수 있었다 (Fig. 3). 소독처리를 한 161점의 수돗물 시료 중 136점에서는 일반세균이 불검출되었고 25점의 시료에서 일반세균이 1 ~ 34 CFU/mL 범위로 검출되었다. 이들 시료의 일반세균 검사패지에서 성장한 42개의 집락에 대해서 동정한 결과, 42점 중 10점이 *Staphylococcus* 속 (24%)으로 가장 많이 검출되었고 *Micrococcus* 속 (21%), *Sphingomonas* 속 (14%), *Brevundimonas* 속(10%), *Bacillus* 속(7%)이 검출되었다. *Klebsiella pneumoniae*, *Kocuria rhizophila* 도 각각 5%씩 검출되었다. 이외에도 *Acidovorax* 속, *Microbacterium* 속, *Delftia* 속, *Moraxella* 속, *Rhodofera* 속, *Stenotrophomonas* 속이 1점씩 분리되었다.

Staphylococcus 속, *Sphingomonas* 속, *Bacillus* 속, *Kocuria* 속, *Microbacterium* 속, *Acidovorax* 속, *Stenotrophomonas* 속은 수돗물 시료와 수도꼭지 스웽시료에 공통적으로 존재하였고, 이 중 *Staphylococcus* 속은 수돗물 시료(24%)와 수도꼭지 부위 스웽시료(25%)에서 가장 많이 분리되었다. 수돗물 시료에서 분리되었던 *Micrococcus* 속, *Brevundimonas* 속, *Klebsiella pneumoniae*, *Delftia* 속, *Moraxella* 속, *Rhodofera* 속은

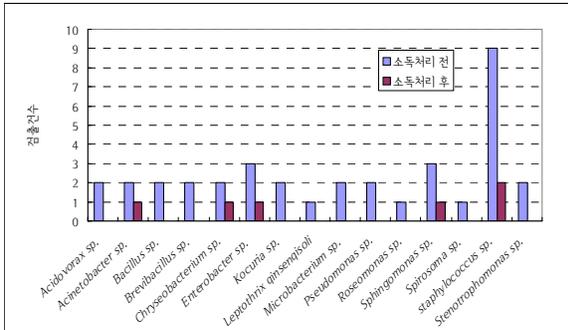


Fig. 3. Distribution of bacteria in swab samples according to disinfection or not.

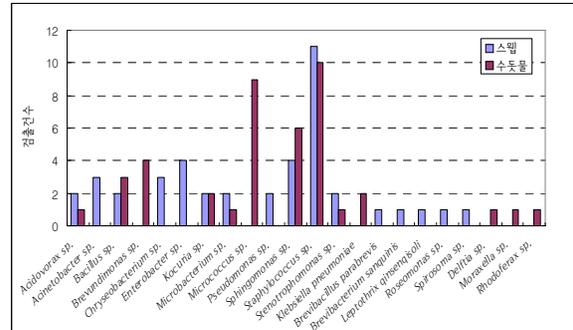


Fig. 4. Distribution of bacteria in swab samples and tap water samples

수도꼭지 스왑시료에서 분리되지 않았으며, 수도꼭지 스왑 시료에서 분리된 *Acinetobacter* 속, *Chryseobacterium* 속, *Enterobacter* 속, *Pseudomonas* 속, *Spirosoma* 속, *Roseomonas* 속, *Brevibacillus* 속, *Leptothrix qinsensiboli*, *Brevibacterium sanquinis* 은 수돗물 시료에서 분리되지 않았다 (Fig. 4).

3.2.3 염소소독 실험결과

수도꼭지 부위의 스왑시료와 수돗물 시료에서 간헐적으로 발견되는 일반세균의 주종인 *Micrococcus* 속, *Sphingomonas* 속, *Staphylococcus* 속을 대상으로 염소소독 실험을 한 결과, *Micrococcus* 속은 CT값이 0.05 mg-min/L일 때 5로그 이상이 제거되었으나, *Staphylococcus* 속은 CT값이 1.7 mg-min/L일 때, 1.2로그만이 불활성화되었고 *Sphingomonas* 속은 CT값이 1.4 mg-min/L일 때, 0.1로그만이 불활성화 되어 염소에 강한 저항성을 나타내었다.

4. 고 찰

본 연구결과, 수도꼭지 부위의 미생물 오염과 수돗물 시료 채취시 퇴수시간이 미생물 검출에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 미생물 검사용 시료채취시 최소 2 ~ 3분의 퇴수시간과 수도꼭지 부위의 위생상태가 의심될 경우에는 소독처리가 필요할 것으로 생각된다. 수돗물 시료와 수도꼭지 부위의 스왑시료에서 분리한 일반세균을 동정한 결과, 세균 구성은 전반적으로 유사하였다. 오염된 수도꼭지 부위에 존재하던 세균이 수돗물 시료 채수시 포함되었는지는 정확히 단정 지을 수는 없으나, 수돗물 시료 채취시 오염된 수도꼭지의 경우 수도꼭지 부위의 청결에 보다 주의가 필요할 것으로 생각된다. 특히 *Staphylococcus* 속과 *Sphingomonas* 속은 염소에 강한 저항성을 나타내었고 수

도꼭지 부위의 소독처리로도 완벽하게 제거되지 않으므로 잔류염소가 일정수준 유지되고 있는 수돗물에서도 검출될 수 있을 것으로 생각된다.

냉수전용과 냉·온수겸용 수도꼭지 및 스크린 여부와 같은 수도꼭지 상태는 미생물 검출빈도에 큰 영향을 주지는 않았으나, 냉·온수겸용 수도꼭지에서 소독처리 전의 일반세균 농도가 냉수전용 수도꼭지 보다 유의하게 높게 검출되었으므로 더 많은 시료에 대해 추가 조사할 필요가 있다고 생각된다.

2010년 7월 이전까지 우리나라 먹는물수질공정시험방법에서는 수도꼭지에서 미생물 시료를 채취하기 위해서는 '수도꼭지를 틀어 2 ~ 3분간 흘려보낸 후 시료를 채취한다.' 라고 매우 간단하게 설명되어 있어 정확한 시료채취에 실질적 도움이 되지 않았다 (환경부, 2007). 세계보건기구에서는 수도꼭지 부착물 제거에서부터 수도꼭지 외부의 오염물 제거, 1 ~ 2분간 수돗물 퇴수, 수도꼭지 화염멸균, 시료채취까지 단계적인 미생물 검사용 시료의 시료채취방법을 제시하고 있다 (WHO, 2006). 영국에서도 수도꼭지 부착물 제거, 최소 2분간의 수돗물 퇴수, 수도꼭지 소독과 같은 시료채취 단계를 자세하게 제시하고 있으며, 미생물 검사를 위한 수돗물 시료 채취시 시료채취 전 수도꼭지 소독을 강조하고 있다 (UK Environmental agency, 2002). 또한 미국에서도 2 ~ 3분간 수돗물 퇴수, 수도꼭지 청결 의심시 소독을 하는 시료채취 단계를 제시하고 있으며, 특히 냉·온수 겸용 수도꼭지에서 수돗물을 채취할 경우에는 스크린이나 물튀김막이 (splash guard)와 같은 수도꼭지 부착물을 제거하고 2분간 온수를 퇴수하고 2 ~ 3분간 냉수를 퇴수한다고 따로 명시하고 있다 (APHA, 2005).

앞서 설명한 선진 외국과 같이 우리나라에서도 수도꼭지에서 미생물 시료를 채취하기 위한 보다 개선된 시료채취방법이 요구된다고 생각하고 본 연구결과의 내용을 제안한 결

과, '수도꼭지에 연결된 부착물이 있다면 이를 제거하고, 필요에 따라 가스버너 등을 이용하여 수도꼭지 입구를 충분히 소독할 수 있다' 는 내용이 먹는물수질공정시험기준 (환경부 고시 제2010-88호, '10.7.14 전부개정)에 반영되었다.

본 연구는 수도물 수질검사를 수행하는데 있어서 가장 기본이라고 할 수 있는 시료채취방법에 대한 중요성을 인식하고, 수도꼭지에서 미생물 검사용 시료채취시 수질검사결과에 영향을 미칠 수 있는 요인을 조사하여 시료채취방법의 표준화를 위한 노력을 시작하였다는 점에서 그 의의가 있다고 생각된다. 향후 조사대상 확대, 영향요인 심층조사 등 더 보완된 연구와 시료채취자의 먹는물수질공정시험기준의 시료채취방법 준수 및 가장 양질의 수도물을 생산하고자 하는 수도사업자의 노력이 계속된다면 보다 정확한 수도물 수질의 평가와 양질의 수도물을 수요가에 공급하는데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

- 1) 수도꼭지 부위의 청결상태, 수도꼭지 상태 및 수도물 시료 채취시 퇴수시간이 수도물의 미생물 검출에 영향을 미치는 것으로 나타났다.
 - 따라서 수도꼭지 부위의 위생상태가 의심되는 경우, 수도꼭지 부위의 미생물 오염을 배제하기 위해서 수도물 시료채취 전 소독처리가 필요한 것으로 판단되었다.
 - 또한 수도꼭지에서 수도물 시료채취 전 퇴수시간에 따라 일반세균 농도뿐만 아니라 미생물 검출에 영향을 주는 탁도, 잔류염소에도 영향을 미치므로 수도물 시료채취 전 최소 2 ~ 3분의 퇴수시간이 필요할 것으로 판단되었다.

- 2) 수도꼭지 스웽시료와 수도물 시료에서 주로 발견되는 *Micrococcus* 속, *Sphingomonas* 속, *Staphylococcus* 속을 대상으로 염소소독실험을 한 결과, 염소에 강한 저항성을 나타내어 일정한 잔류염소가 유지되고 있는 수도물 시료에서 검출된 것으로 판단되었다.
- 3) 먹는물수질공정시험기준의 수도꼭지에서 미생물 검사용 시료채취방법을 준수함으로써, 보다 정확한 수도물 수질을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

APHA (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed.* American public Health Association, Washington, D. C.

UK Environmental agency (2002) *Methods for the examination of waters and associated materials.* UK Environmental agency.

WHO (2003) *Heterotrophic plate counts and drinking water safety.* World Health Organization, Geneva.

WHO (2006) *Guidelines on standard operating procedures for microbiology.* World Health Organization, Geneva.

환경부 (2007a) 먹는물수질공정시험법.

환경부 (2007b) 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙.

환경부 (2006) 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙.

환경부 (2008) 수질오염공정시험기준.

환경부 (2010) 먹는물수질공정시험기준.