Journal of Korean Society on Water Environment, Vol. 40, No. 4, pp. 161-167 (July, 2024)
pISSN 2289-0971 eISSN 2289-098X https://doi.org/10.15681/KSWE.2024.40.4.161

연구논문

비배양식 총세포수 평가를 통한 병물 위생관리 연구

정세영[a] · 양민서[b] · 이은수[c] · 김상엽[d] · 맹승규[e,†]

세종대학교 건설환경공학과

Study on Hygiene Management of Bottled Water through Non-culture-based Total Cell Count

Se Young Jeong[a] · Min Seo Yang[b] · Eun Su Lee[c] · Sang Yeob Kim[d] · Sung Kyu Maeng[e,†]

Department of Civil and Environmental Engineering, Sejong University

(Received 19 April 2024, Revised 31 May 2024, Accepted 4 June 2024)

Abstract

The demand for bottled water in South Korea is steadily increasing, but there are challenges regarding water sources and violations of water quality standards. Consumers struggle to identify products that do not meet these standards, highlighting the need for improved water management. This study aims to investigate the use of flow cytometry to identify microbial behavior in bottled water. Twelve different bottled water brands were selected for this study. A novel non-culture-based analysis method called total cell count via flow cytometry was utilized, which is not commonly used to assess drinking water quality. This method was compared to conventional culture-based methods for heterotrophic plate count and E. coli experiments, in order to introduce new indicators for hygiene management. Adenosine triphosphate analysis was also conducted to assess cell activity, and total organic carbon was measured to determine the presence of organic matter. The total cell counts varied among the different bottled water brands. The adenosine triphosphate levels ranged from 37.1ng/L to 221.7ng/L, while the total organic carbon ranged from 0.4 to 0.6 mg/L. Furthermore, E. coli was not detected in any of the bottled waters, and with the exception of two cases, the levels of heterotrophic bacteria did not exceed the drinking water standard of 100 CFU/mL. This study demonstrated a correlation between total cell count and heterotrophic plate count, suggesting that non-culture-based analysis could be valuable in promptly assessing microbial contamination, in contrast to the conventional methods that require approximately 48 hours for incubation.

Key words : Adenosine triphosphate, Bottled water, Drinking water, Heterotrophic bacteria, Total cell count

[a] 학생(Undergraduate Student), richard0706@naver.com, https://orcid.org/0009-0000-6488-8756
[b] 학생(Undergraduate Student), xominseolu@naver.com, https://orcid.org/0009-0006-6412-1698
[c] 학생(Undergraduate Student), eunsu0880@naver.com, https://orcid.org/0009-0009-3761-1175
[d] 책임연구원(Principal Researcher, Ph.D), sangyeob.kim29@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7898-6744
[e] Corresponding author, 교수(Professor), andrew.maeng@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-6257-1739

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. Introduction

국내 수돗물에 대한 불신으로 병물과 정수기 사업 등이 1970년대부터 활발히 형성되어 왔다(Kim, 2020). 해가 거듭할수록 병물의 수요는 나날이 증가하여 2023년에는 국내 병물 시장 규모가 약 2.5조억에 달하고 있다. 국내 병물 음용률은 2005년도 환경부 조사에 따르면 8.6%에서 2021년에는 32.9%까지 증가했다(Heo et al., 2010; Ministry of Environment, 2021). 이러한 병물 음용률의 증가와는 달리 병물을 취급하는 취수원의 한계와 수질 기준 위반 사례로 지속적인 문제가 발생하고 있다. 최근 3년(2019～2021년)간 먹는 샘물 제조업체 위반 현황을 조사한 결과 수질기준 부적합 적발 사례는 총 72건 중 30건으로 41.7%의 비율로 나타났다(Kim and Jeong, 2022). 이는 다른 위반 사항인 '표시기준 관련 위반'보다 2배이상 높은 비율로 적발된 것을 확인할 수 있었다. 2015년에서 2019년에 적발된 수질위반 사례는 총 119건으로 확인되었다. 그 중 수질기준 부적합의 경우 52건(44%)으로 소비자가 직접 음용하는 병물의 수질기준 부적합이 13건, 나머지 39건은 원수 자체의 수질기준 부적합으로 병물의 수질 기준 위반 사례는 지속적으로 문제가 되어 오고 있었다(Kim and Jeong, 2020).

하지만 수질기준 부적합에 대한 환경부의 처벌 수위는 미미했다. 2015년에서 2019년에 적발된 119건의 위반 사항 가운데 63%에 해당하는 75건의 처분 내역이 경고에 그쳤고 15건은 영업정지 14일～1개월이었지만 이 마저도 과징금으로 대체되는 경우가 많았다. 이 외에도 영업정지 15일에 해당 취수정 정지 1개월 등과 같이 대부분의 처벌이 영업정지 15일에 불과함을 확인할 수 있었다(Kim and Jeong, 2020). 뿐만 아니라 환경부 홈페이지에서 먹는물 영업자 위반현황 행정처분이 공개되지만, 이 또한 3개월만 공개된 뒤 사라진다. 이에 따라 소비자는 수질기준 위반 제품을 확인하기 어렵고 행정처분도 강하지 않아 먹는 물 관리 강화가 필요하다는 지적이 나온다.

국내 병물 대부분은 주문자 생산방식(Original Equipment Manufacturing, OEM)으로 생산돼 하나의 제조업체가 여러 브랜드로 생수를 납품할 때 제조 업체만 공표될 뿐, 소비자는 수질기준을 위반한 브랜드까지 확인하기 어렵다(Kim, 2022). 최근에는 친환경을 고려하는 무라벨 생수병이 늘면서 소비자 입장에서 브랜드는 물론 제조업체에 대한 정보를 정확히 확인하기 더욱 어려워진 실정이다. 라벨의 부재를 틈타 수질 기준 표시기준 위반 및 수질기준 위반 사례가 늘며 수질관리에는 소홀한 모습을 보이고 있는 것이 현실이다.

기존 먹는물 수질 관리 기준 중 미생물에 관한 기준으로 사용되던 집락 형성의 단위(Colony-Forming Unit, CFU)는 배양이 가능한 박테리아나 균류의 집락 숫자를 확인하고 희석배수와 집락 수를 계산하여 단위 부피 또는 무게 당 집락수를 측정하는 것이다. 일반세균과 대장균군 측정과 같은 배양 측정 방법으로 집락 숫자를 측정하는 것은 우리가 측정할 수 있는 세균의 0.1～1% 정도로 매우 적은 양 밖에 측정할 수 없다(Seo et al., 2001). 하지만 비배양 측정 방법, 총세포수 Total Cell Count (TCC)를 이용해 원수의 배양이 가능하지 않은 세균을 측정할 수 있어 다방면에서 병물의 생물학적 안정성을 확인할 수 있다(Safford and Bishel, 2018). 일반적으로 유세포 분석 Flow Cytometry (FCM)은 의학 연구에 사용돼 특정 세포의 활성도 검사 목적으로 사용되어졌다(Ryu et al., 2023). 뿐만 아니라 환경 분야에서는 세포막의 파괴여부에 따른 투과성·불투과성을 이용하여 Intact/Damaged cells의 구분을 통해 먹는 물의 생물학적 활성도 판단을 목적으로 사용되었다(Micheal et al., 2008). 병물과 같이 사람이 섭취하는 치즈, 우유와 같은 발효 유제품의 혼합 배양의 분석에도 사용되고 있다(Chon et al., 2015). FCM을 통한 TCC 분석은 시료의 미생물 특성에 대한 다양한 정보를 제공하는데, 산란 및 형광 데이터는 상대적인 크기, 복잡성, 핵산 함량과 같은 세포 특성을 나타내 시료에 존재하는 미생물 군집의 고유한 세포 특성을 확인 가능(Safford and Bishel, 2018)하여 이 분석법을 병물의 위생 관리 연구에 적용하였다. 이 외에도 Adenosine Triphosphate (ATP)와 총유기탄소 (Total organic carbon, TOC)를 같이 측정함으로써 병물 내 존재하는 미생물의 특성을 확인하였다.

국내에서 처음으로 시중에 판매 중인 수원지가 다른 12개의 병물을 본 연구를 통해 비배양 측정 방법을 활용하여 총세포수(TCC)를 측정하여 병물 위생 관리 기준에 보조 지표로 적용하기 위해 배양 측정 방법(일반세균 및 대장균 배양실험) 결과와 비배양 측정 방법인 TCC의 측정 결과를 비교하였다. 또한 ATP, TOC 측정을 통해 미생물의 활성도와 수질의 안정성을 비교 분석하였다. 이를 통해, 배양 측정과 비배양 측정의 결과 비교를 통해 새로운 병물 위생 관리 기준의 보조지표로 검토하고자 한다. 더 나아가 소비자에게 병물의 수질과 관련된 폭넓은 정보를 신속하게 제공해 보다 안전하고 깨끗한 수질의 병물을 제공할 방안을 찾고자 하였다.

2. Materials and Methods

2.1 시료

본 연구에서는 병물의 위생성을 판단하기 위해 시중에서 판매되고 있는 수원지가 다른 12개 브랜드의 병물을 선정하였다. 12개 브랜드의 병물은 실험 진행 시기 1～2개월 전 제조되었으며, 동일한 판매점에서 일괄 구매한 뒤 판매 유효기간을 확인 후 실험을 진행하였다. 실험 진행 시 냉장 보관한 병물을 상온에 두고 상온 온도에 맞춘 뒤 개봉하여 시료를 필요한 만큼 채취해 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 Total Cell Count, 총 세포수

TCC는 유세포 분석기(BD Accuri C6 Plus, BD Biosciences, USA)를 사용하여 배양이 가능한 세균을 포함 비배양 세균수까지 포함한 총세균수를 측정하였다. FCM이란, 측정하고자 하는 입자나 세포가 기기를 통과할 때 각각의 형광을 측정하여 시료 부피당 총 세포수를 실시간으로 정량화 할 수 있는 분석이다. 각 세포의 특성에 따라 빛이 분산하게 되고,

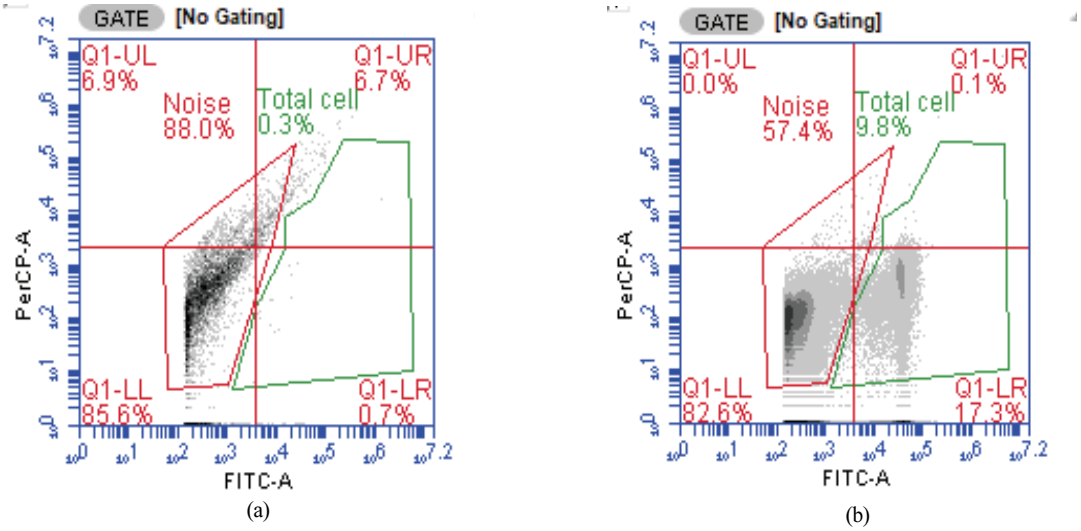

Fig. 1. BD Accuri (Flow Symmetry). (a) Bottle water I and (b) Bottle water K (FITC, Fluorescein isothiocyanate; PerCP, Pericinin-Chlorophyll-protein).

forward scatter (FSC)를 통해 세포의 크기를, side scatter (SSC)를 통해선 세포의 세분화나 내부 복잡성을 확인할 수 있다. 유세포 분석기를 이용해 평판집락법과 같은 기존 유기물 측정법에 비해 소요되는 시간이 약 48시간에서 15~20분으로 빠른 시간에 비배양 세균수를 포함한 넓은 범위의 미생물을 검출할 수 있다(Safford and Bishel, 2018).

본 실험에서는 FCM을 세포수 측정에 사용하기 위해 특정 파장에서 형광을 띄도록 세포막을 통과할 수 있는 염색약인 Syber Green (SYBR® Gold nucleic acid gel stain, Invitrogen, USA)을 사용해 형광염색을 진행하였다. 섭씨 35~36℃에서 10분간의 염색을 통해 염색약이 세포막을 통과하여 DNA에 염색되고 녹색 형광을 띄게 된다. 유세포 분석기를 통해 입자를 노이즈 및 비생물적 입자와 구별하여 총 세포수를 판단한다(Park, 2016). Fig. 1은 실험에 사용한 병물 두 시료의 TCC 측정 값으로 노이즈를 제외한 총세포수로 해석하면 된다.

2.2.2 Adenosine Triphosphate, 아데노신 삼인산

ATP는 루시페린, 루시페라제 등과 반응하여 아데노신 이인산으로 변하면서 에너지를 방출하여 빛을 생성한다. 측정기를 통해 방출하는 빛의 발광량을 측정함으로써 ATP의 양을 알 수 있다. 여과하지 않은 시료를 이용하여 Total ATP를 얻고, 동일한 시료를 0.1 ㎛ PES syringe filter (Sartorius, Germany)로 여과 후 분석하여 박테리아를 제거한 뒤 Free ATP를 측정해 Total ATP에서 Free ATP를 차감한 값을 세포 내부에 갖고 있는 ATP 농도인 intracellular ATP를 계산한다(Nescerecka et al., 2014). ATP 분석은 Luciferase assay 기반의 발광 측정을 통해 농도를 계산하였다. 시료와 BacTiter-Glo 용액을 100 ㎕씩 1:1 비율로 살균 튜브에 주입한 뒤, 혼합하여 섭씨 35~36℃에서 1분간 배양하여 분석하였다. 측정 장비로는 ATP luminometer (GloMax 20/20, Promega, USA)를 사용하여 relative luminescence unit (RLU) 값을 얻고 표준 물질로서 γATP의 농도별 검정곡선에 따라 ng-ATP/L로 환산해 나타냈다(Park, 2016).

2.2.3 Total Organic Carbon (TOC), 총유기탄소

TOC는 유기탄소를 직접 정량해 분석시간이 짧아 실시간으로 분석이 가능하며 재현성이 뛰어나며 산화율이 높아 대부분의 유기물을 측정 가능해 이를 먹는 샘물에도 적용하고자 하였다(Maeng et al.. 2020). TOC 분석은 다음과 같이 진행하였다. 먼저 TOC 측정 장치(TOC-L Series, Shimadzu. Japan)를 통해 시료를 고온으로 산화한다. 산화를 통해 탄소를 CO_2화한 후 이를 적외선 센서로 검출하였다. 검출된 결과는 mg/L 단위로 표시하였다.

2.2.4 Heterotrophic Bacteria/*E.coli*, 일반세균/대장균

현행 먹는 물 관리법상 일반세균과 대장균은 미생물에 관한 기준으로 등록되어 있다. 일반세균의 경우 1mL중 100 CFU를 넘지 않고, 대장균의 경우 100mL에서 검출이 되지 않아야 한다. 이 외에도 분원성연쇄상구균, 녹농균, 아황산환원혐기성포자형성균, 쉬겔라, 살모넬라를 기준항목으로 규정하고 있다. 일반세균 측정에는 표준평판법과 건조필름법 중 건조필름법을 사용해 측정을 진행했다. 건조필름배지(3M Petrifilm Aerobic Count Plates, 3M, USA)는 건조상태의 재적심이 가능한 형태의 배지로 지표세균 및 특정 균을 대상으로 한다. 준비한 샘플을 상위 필름을 올린 중앙에 수직으로 접종을 한 뒤 누름판을 이용해 누른다. 35~36℃로 맞춰진 배양기에 48시간 배양한다. 배양 후 배지 당 30~300개 집락을 생성한 평판을 선택하여 붉은색 집락의 가스가 생성된 집락수를 측정한다(Do et al., 2015). 대장균 실험에는 대장균군용 페트리필름(3M Petrifilm Coliform Count Plates, 3M, USA)를 사용하였다. 대장균 실험은 35℃에서 24~48시간 배양해 배지에 형성되는 집락을 계수하였으며 CFU/mL로 나타냈다(Park, 2009).

3. Results and Discussion

3.1 병물에서의 TCC 결과

본 연구에서는 병물의 위생 관리 정도를 판단하기 위해 병물의 총세균수를 비배양 기법으로 확인함으로써 병물 내에서 미생물의 성장 가능성을 확인하기 위해 유세포 분석을 통해 TCC를 측정하였다. Fig. 2의 결과로 보아 TCC 결과는 12개사의 병물 별 측정 값의 차이를 나타냈다. 그중 I사의 총 세포 수가 가장 낮았다. 반면 K사의 총 세포 수는 I사에 비해 약 2,800배 높았고 A사보다도 약 2배 높은 결과를 보였다. 실험 값의 표준편차 역시 측정값이 낮은 I사와 J사에서 낮았으며, 반대로 K사, A사,그리고 L사의 편차가 크게 나타났다. 이 실험값은 뫼즈강(Meuse, Rotterdam, Netherland)을 원수로 하는 수돗물의 TCC 값이 0.5×10^5 cells/mL ~ 3.2×10^5 cells/mL (Liu et al., 2013)로 I사는 약 5,000배, A사는 약 1.5배 낮았지만 K사는 뫼즈강의 수돗물보다 높은 4.2×10^5 cells/mL로 나타났다. 스위스 수돗물의 TCC 수치 역시 $0.37\sim5.61\times10^5$ cells/mL, 평균 TCC는 $1.49(\pm0.91)\times10^5$ cells/mL(Siebel et al., 2008)로 A사와 K사를 제외한 나머지 10곳의 병물 TCC 값이 더 낮음을 확인할 수 있었다. TCC 값이 낮은 병물에서는 편차가 낮았지만 TCC 값이 커질수록 편차 역시 커짐을 확인할 수 있었다. 이는 측정 시료의 구매 시기 별 총 세포수 편차가 존재하였으며 Fig. 1에서도 확인할 수 있다.

3.2 병물에서의 ATP 결과

본 연구에서는 병물 내 미생물에 대한 활성도를 파악하기 위해 ATP를 통해 미생물의 활성도를 판단해 보기로 했다. Fig. 3의 결과로 보아 병물 간의 ATP 값의 차이는 크지 않음

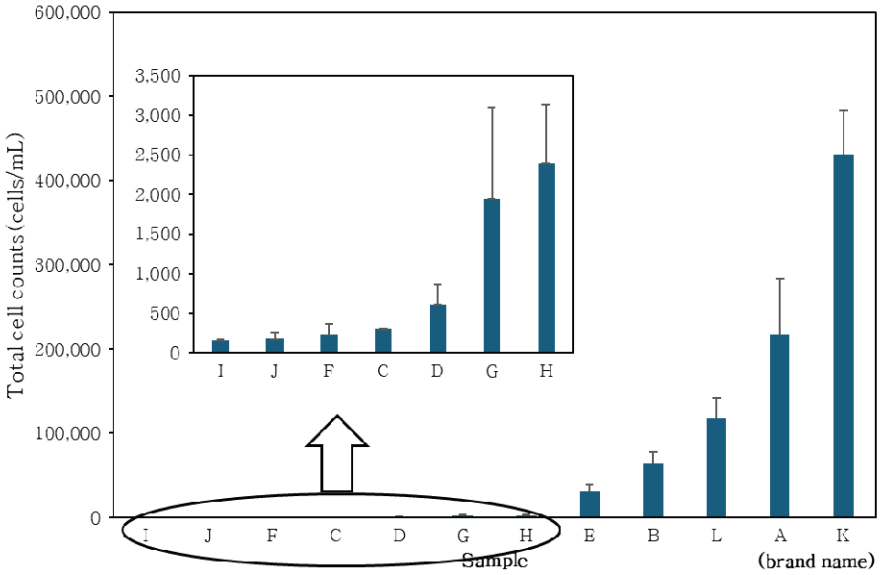

Fig. 2. Total cell counts(TCC) in bottled water (n=3).

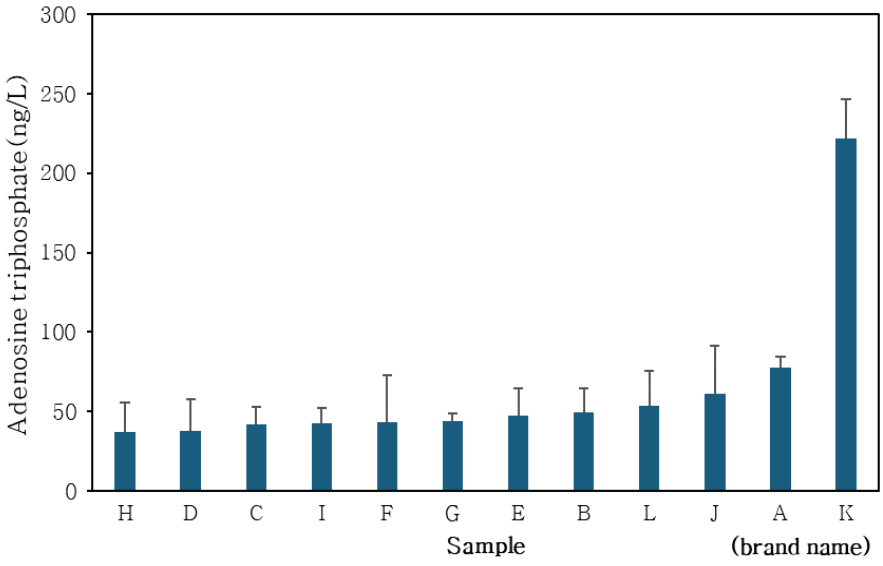

Fig. 3. Adenosine triphosphate(ATP) in bottled water (n=4～7).

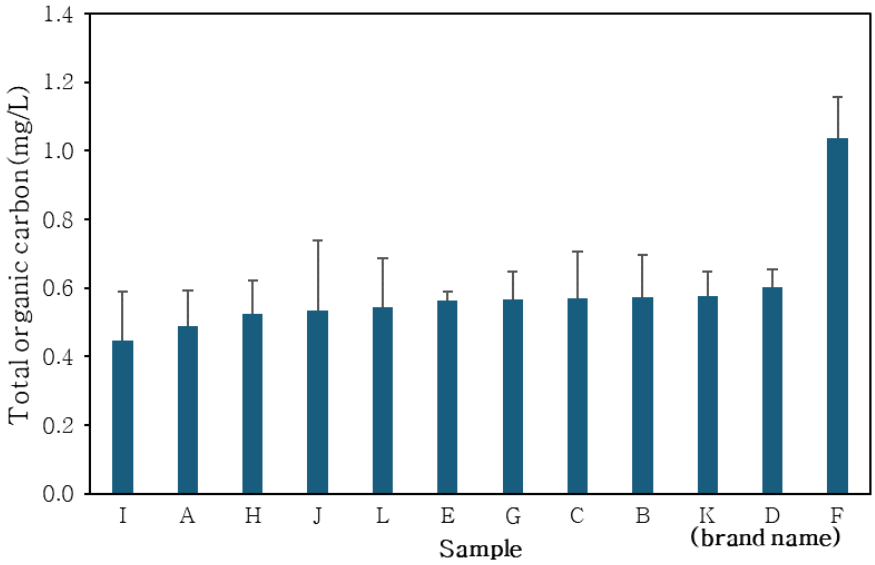

Fig. 4. Total organic carbon(TOC) in bottled water (n=3～4).

을 알 수 있다. 반면 K사의 ATP는 다른 병물들에 4～5배 이상 높았다. 이와 같은 병물들의 ATP 값을 유럽 수돗물들의 ATP 값과 비교해 보았다. 뫼즈강을 원수로 하는 수돗물의 ATP 값이 3 ng/L 미만(Liu et al., 2013)이었으며 스위스 수돗물에서 역시 6.87(±1.42)×10^5 ng/L(Siebel et al., 2008)로 우리나라 병물의 ATP보다 낮았다. ATP 값을 Fig. 2의 TCC 값과 비교해본 결과 총 세포 수가 높았던 K사, A사, 그리고 L사의 미생물 활성도 역시 높게 나타났다. 이를 확인하기 위해 회귀분석과 추세선의 결정계수 R^2을 확인했으며, R^2은 0.76으로 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 위의 스위스 수돗물 TCC와 ATP의 R^2가 0.69(Siebel et al., 2008)로 본 실험에서의 상관관계가 더 높음을 확인할 수 있었다. 그리고 TCC와 ATP의 회귀분석을 진행해 보았고 두 데이터 간 p-value는 4.17×10^{-4}으로 회귀 관계가 매우 유의미함을 확인하였다.

3.3 병물에서의 TOC 결과

TOC는 병물에 포함된 유기 화합물 중 탄소의 총량을 나타낸다. 즉 TOC는 '물의 유기탄소 농도'를 보여주는 수질지표로 이를 통해 시료 속에 존재하는 총유기탄소를 정량할 수 있다. Fig. 4의 결과로 보아 F사에서의 결과값이 다른 병물의 TOC 값보다 2배 가량 높았다. 그 외 병물 간 총 유기 탄소 측정값에는 큰 차이가 존재하지 않았으며 편차 역시 낮아 실험의 재현성이 높음을 확인할 수 있다. 하지만 총 유기탄소가 가장 높았던 F사 역시 1 mg/L로 전체적으로 물의 오염도가 낮음을 확인할 수 있었다. 수돗물의 평균 TOC 농도가 1.54 mg/L(Yoon et al., 2019)로 병물의 TOC 값에 비해 전반적으로 2배 이상 높음을 확인할 수 있었다.

3.4 병물에서의 일반세균 및 대장균 결과

Table 1의 일반세균 결과를 통해 검출이 되지 않은 병물도 있었으며 일반세균이 검출된 병물로는 A사, B사, C사, K사, 그리고 L사가 있다. 먹는 물 일반세균 수질 기준인 100 CFU/mL을 넘는 병물은 A사와 L사 였으며 B사는 수질 기준 이하이지만 68 CFU/mL로 기준치에 근접하는 수치를 보였다. 배양 측정 방법과 비배양 측정 방법의 결과를 비교해 보고 두 실험 간의 연관성을 찾기 위해 일반세균이 검출된 A사, B사, C사, 그리고 L사의 TCC 값과 일반세균 값을 비교해 보았다. 아래 Fig. 5 에서 일반세균이 기준치 이상 검출된 A사와 L사의 경우 TCC 값도 다른 병물들에 비해 높았다. C사의 경우 TCC 값 299.9 cells/mL로 낮은 편에 속했지만 10.7개의 일반세균이 검출되기도 했다. Fig. 5의 두 변수 간의 상관성 파악을 위해 상관계수(R)와 p-value를 확인해 보았다. 먼저 상관계수는 0.82로 양의 상관관계로 일반세균의 수가 증가할수록 TCC 값 역시 높아짐을 확인할 수 있었고 p-value는 0.002로 유의수준인 0.05보다 낮아 두 값의 유의함

Table 1. Heterotrophic plate counts (HPC) in bottled water

Sample	CFU/mL
Brand A	453.9
Brand B	68
Brand C	10.7
Brand D	*N.D.
Brand E	*N.D.
Brand F	*N.D.
Brand G	*N.D.
Brand H	*N.D.
Brand I	*N.D.
Brand J	*N.D.
Brand K	0.1
Brand L	115.5

*N.D. : Not Detected (n=7)

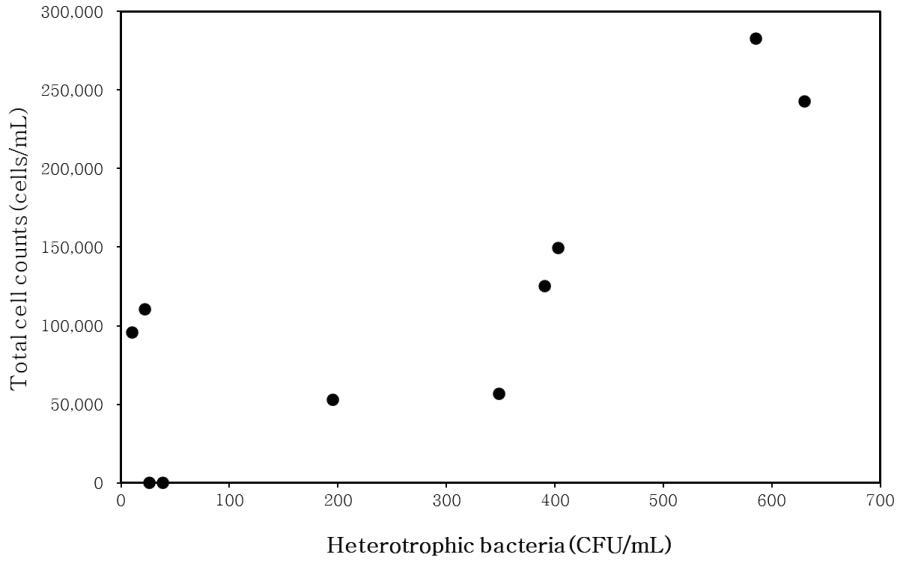

Fig. 5. Total cell counts and heterotrophic bacteria in bottled water.

을 확인하였다. 또 다른 미생물 지표인 ATP와의 상관관계를 확인해 보았고 상관계수는 0.06으로 상관성이 매우 낮음을 확인하였다. 이를 통해 기존 먹는 물 수질 지표인 일반세균과 높은 상관관계를 보여준 TCC 지표가 일반세균과 같이 병물 위생관리 보조 지표로 활용 가능하다는 것을 확인하였다. 대장균군 실험의 경우 12곳의 병물에서 먹는 물 수질기준인 불검출/100mL을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

4. Conclusions

본 연구의 목적이었던 유세포 분석을 먹는 물 수질 분석에 국내에서는 처음으로 판매되는 병물에 적용해 총 세포 수를 측정해보는 것이 기존 일반세균과 같은 배양 기법과 차이가 나는지 확인해 보았다. 시중에서 판매 중인 서로 다른 12개 브랜드의 병물을 대상으로 선정하여 병물의 위생 관리에 대한 정량적인 지표로 검토해 보았다. TCC는 K사, A사, L사 순으로 높았으며 I사, J사, F사 순으로 낮았다. ATP는 K사와 A사가 높았으며 TOC는 F사가 가장 높았다. 일반세균의 경우 A사와 L사는 먹는 물 수질 기준인 100 CFU/mL을 초과하였으며 B사, C사, 그리고 K사에서도 검출되었다. 병물의 총 세포 수에 따른 일반세균 수의 상관관계 결과, 두 변수의 상관계수는 0.82로 양의 상관관계임을 확인하였고, p-value가 0.002로 두 변수가 통계적으로도 유의함을 확인하였다. 이와 같은 결과를 토대로 브랜드 별 수질의 차이가 존재한다는 것을 확인하였으며 현행 먹는 물 수질 관리에서 미생물 관련 기준에 신속하게 검출할 수 있는 비배양 측정 실험을 감시 보조 지표로 도입의 가능성을 확인하였다. 하지만 이번 실험이 여름, 한 계절에만 수행된 점과 미생물의 경우 병물 판매 사업자의 보관 방법(상온 보관 및 햇빛에 노출하여 보관 등)에 따른 차이가 존재하기에 병물 비배양 측정 실험에 관한 지속적인 연구가 요구됨을 시사한다.

Acknowledgement

이 논문은 2022년도 세종대학교 교내연구비 지원에 의한 논문입니다.

References

Chon, J. W., Kim, H. S., Kim, H. S., Kim, D. H., Song, K. Y., Kim, J. H., Choi, D. S., Lim, J. S., Jeong, D. G., Kim, S. K., and Seo, K. H. (2015). Perspective on rapid and selective method for detecting microbiology in dairy industry: A review, *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 33(2), 119-127. [Korean Literature]

DO, H. H., Kim, J. H., Han, H. N., Kim, S. H., Kim, G. J., Eom, S. H., and Kim, Y. M. (2015). Effects of adding oyster Crassostrea gigas shell powder on the food quality of Chinese cabbage kimchi, *Korean Journal of Fisheries Aquatic Sciences* (KFAS), 48(5), 596-603. [Korean Literature] http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0596

Heo, J. R., Kim, Y. K., and Park, S. S. (2010). Comparative analysis of drinking water to improve the drinkability of tap water, *Proceedings of the Korean Society for Environmental Education*, The Korean Society for Environmental Education, 283-284. [Korean Literature]

Kim, A. R. (2022). *Doctor National News (DNN)*, https://mdmorenews.com/news/view.php?bIdx=3278 (accessed September, 2022).

Kim, D. H. (2020*). Explaining the formation and change of product meaning by the social cognitive dynamics theory in a product market: Applying in the bottled water and water purifier product market in Korea*, Ph. D. Dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea, 1-5. [Korean Literature]

Kim, H. G. and Jeong, H. J. (2020). *Citizens United for Consumer*

Sovereignty (CUCS), http://cucs.or.kr/?p=6209 (accessed July, 2020).

Kim, H. G. and Jeong, H. J. (2022). *Citizens United for Consumer Sovereignty (CUCS)*, http://cucs.or.kr/?p=10494 (accessed May, 2022).

Liu, G., Van der Mark, E. J., Verberk, J. Q., and Van Dijk, J. C. (2013). Flow cytometry total cell counts: A field study assessing microbiological water quality and growth in unchlorinated drinking water distribution systems, *Biomed Research International*, 2013, 595872. https://doi.org/10.1155/2013/595872

Maeng, S. K., Lee, J. U., Kwon, J. H., Kim, S. P., No, J. H., Park. J. W., Kim, S. Y., Song, H. T., Hwang, D. H., and Yoon, S. W. (2020). *Research on optimal TOC management for specific wastewater treatment facilities such as the paper industry*, Korea Environment Corporation, 1-5. [Korean Literature]

Michael, B., Marius, V., Iris, H., Hans-Ulrich, W., Thomas, E., and Frederik, H. (2008). Rapid, cultivation-independent assessment of microbial viability in drinking water, *Water Research,* 42(14), 4010-4018. https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.07.017

Ministry of Environment. (2021). *2021 Tap water drinking survey results report,* 11-1480000-001784-12, Korea Water And Wastewater Works Association, 17-28. [Korean Literature]

Nescerecka, A., Rubuilis, J., Vital, M., Juhna, T., and Hammes, F. (2014). Biological instability in a chlorinated drinking water distribution network, *PLoS One*, 9(5), e96354. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096354

Park, H. K. (2009). Evaluation of dry rehydratable film method for detection of coliform bacteria and esherichia coli, *Korean Journal of Food and Nutrition*, 22(4), 696-700. [Korean Literature]

Park, J. W. (2016). *Evaluating organic matter characteristics and biological stability in a drinking water treatment plant*, Master's Thesis, Sejong University, Seoul, Korea, 8-25. [Korean Literature]

Ryu, J. Y., Choi, J. H., Kim, M. Y., Cho, Y. U., Hwang, S. H., Jang, S. S., and Park, C. J. (2023). Suitability of EDTA-anticoagulated blood for natural killer cell activity testing using flow cytometry, *Annals of Laboratory Medicine*, 43(3), 307-309. https://doi.org/10.3343/alm.2023.43.3.307

Safford, H. R. and Bishel, H. N. (2018). Flow cytometry applications in water treatment, distribution, and reuse: A review, *Water Research*, 151, 110-133. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.016

Seo, M. A., Hong. S. H., Kim, D. J., Park, K. M., and Ahn, T. S. (2001). Effect of Salinity on the bacterial community in the sewage treatment system, *Korean Journal of Microbiology*, 37(2), 124-129. [Korean Literature]

Siebel, E., Wang, Y., Egli, T., and Hammes, F. (2008). Correlations between total cell concentration, total adenosine tri-phosphate concentration and heterotrophic plate counts during microbial monitoring of drinking water, *Water Science and Engineering*, 1, 1-6. https://doi.org/10.5194/dwes-1-1-2008

Yoon, S. W., Kang, S. H., Kang, E. H., Maeng, S. K. (2019). Evaluation of organic matter characteristics and disinfection by-product generation capacity to determine water quality stabilization in the Incheon water crisis, *2019 Korean Society of Environmental Engineers(KSEE) National Conferences*, 424-425. [Korean Literature]