Korean Journal of Clinical Dental Hygiene

Original Article

치위생학과 실습실 치과용 유니트 수관의 오염도 및 QLF-D 기반 붉은 형광 미생물 탐색적 평가

박성찬[1], 조은비[1], 민지현[2], 강정윤[1,3], 한선영[1,3*]

[1]연세대학교 일반대학원 치위생학과, [2]청주대학교 치위생학과, [3]연세대학교 보건과학대학 치위생학과

Exploratory Evaluation of Dental Unit Waterline Contamination and Red-Fluorescent Microorganisms Using QLF-D in Dental Hygiene Training Laboratories

Received: May 11, 2026
Revised: June 13, 2026
Accepted: June 22, 2026

Seong-Chan Park[1], Eun-Bi Cho[1], Ji-Hyun Min[2], Jung-Yun Kang[1,3], Sun-Young Han[1,3*]

[1]Department of Dental Hygiene, Graduate School, Yonsei University, Wonju, 26493, Korea

[2]Department of Dental Hygiene, College of Health and Medical Sciences, Cheongju University, Cheongju, 28503, Korea

[3]Department of Dental Hygiene, College of Health Sciences, Yonsei University, Wonju, 26493, Korea

[*]**Corresponding Author: 한선영,** (26493) 강원특별자치도 원주시 연세대길 1, 연세대학교 보건과학대학 치위생학과, Tel: (033) 760-5562, Fax: (033) 760-5575, E-mail: syhan0724@yonsei.ac.kr

Abstract

Objective: This study evaluated microbial contamination in dental unit waterlines in dental hygiene training laboratories and investigated red fluorescent microorganisms using Quantitative Light-Induced Fluorescence-Digital (QLF-D). **Methods:** Water samples were collected from dental unit waterlines in five university dental hygiene laboratories. Waterline management practices were assessed using structured questionnaires. Bacterial contamination was evaluated by culture analysis, and red fluorescent colonies detected using QLF-D were identified by 16S rRNA sequencing. **Results:** All five universities had bacterial counts exceeding the recommended level of 100 CFU/mL. The highest contamination levels were observed in 3-way syringes. Institutions with poorer waterline management practices tended to have higher contamination levels, although this association was not consistent across all institutions. QLF-D identified several environmental bacterial genera, including *Novosphingobium* spp., *Sphingomonas* spp., and *Microbacterium* spp. **Conclusions:** Dental unit waterlines in dental hygiene training laboratories showed substantial microbial contamination. QLF-D enables visual detection of red fluorescent microorganisms associated with biofilm activity and may serve as a nondestructive tool for monitoring dental unit waterlines.

Korean Journal of Clinical Dental Hygiene, 2026;14(3):243-253 https://doi.org/10.12972/kjcdh.2026.14.3.7 pISSN : 2287-9641 eISSN : 2465-7743 Copyright © 2026 by Korean Journal of Clinical Dental Hygiene. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Key words: Biofilms, Biofluorescence, Dental unit waterlines, Microbial contamination, Quantitative Light-Induced Fluorescence

색 인: 생물막, 생체형광, 치과용 유니트 수관, 미생물 오염, QLF

1. 서론

치과용 유니트 수관은 치과용 유니트의 공기/물 사출기, 초음파 스케일러, 컵필러 등 다양한 치과 장비에 물을 공급하는 경로로, 수관 내 오염은 환자와 술자 모두에게 잠재적인 감염 위험 요인으로 작용할 수 있다(1). 특히 진료가 이루어지지 않는 기간 동안 수관 내 물이 장시간 정체될 경우 미생물 증식과 바이오필름 형성이 촉진되어, 이후 사용 시 오염된 물이 외부로 방출될 가능성이 증가한다(2). 이러한 특성으로 인해 치과용 유니트 수관 관리는 감염관리 측면에서 중요한 요소로 인식되고 있다. 치과용 유니트 수관은 직경이 좁고 구조가 복잡하여 내부 유속이 느리고 물이 정체되기 쉬운 구조적 특성을 가지며, 이러한 환경은 미생물의 부착과 증식 및 바이오필름 형성을 촉진한다. 이로 인해 관리가 미흡한 경우 수관 내 미생물 오염이 빠르게 증가하며, 일부 연구에서는 수질 기준을 초과하는 결과가 보고되고 있다(3).

한편, 치위생학과 실습실 역시 다수의 치과용 유니트를 보유하고 있으며, 학생 간 상호실습 및 대상자 실습이 이루어지는 환경으로서 수관 오염에 노출될 가능성이 존재한다. 그러나 교육기관의 실습실은 일반 치과의료기관과 달리 감염관리 점검이나 규제의 적용이 제한될 수 있어, 체계적인 관리가 이루어지지 않을 수 있으며, 이는 실습 환경에서의 감염관리 사각지대를 형성할 수 있다(4). 치과용 유니트 수관의 미생물 오염을 관리하기 위해 다양한 방법이 적용되고 있으며, 수질 모니터링, 물빼기 및 화학적 소독을 포함한 통합적 관리 전략은 미생물 및 바이오필름 감소에 효과적인 것으로 보고되었다(5, 6).

최근에는 미생물을 보다 직관적으로 평가 및 파악하기 위한 방법으로 Quantitative Light-Induced Fluorescence (QLF) 기술이 활용되고 있다. QLF는 약 405 nm 파장의 청색광을 이용하여 미생물 대사산물인 포르피린에서 유래한 붉은 형광을 탐지하는 기술로, 바이오필름 형성과 미생물의 대사 활성 상태를 비파괴적으로 시각화할 수 있는 장점을 가진다(7). QLF 기술은 임상 환경에서 치면세균막 및 바이오필름 평가에 활용되어 왔으나(8), 치위생학과 실습실과 같은 교육 환경에서의 치과용 유니트 수관 오염 실태와 관리 수준, 그리고 미생물 특성에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 본 연구에서 사용한 Quantitative Light-Induced Fluorescence-Digital (QLF-D; Inspektor Research Systems B.V., Amsterdam, Netherlands)는 QLF와 동일한 원리를 기반으로 개발된 디지털카메라 형태의 연구 장비로, 일반 백색광 영상과 형광 영상을 동시에 획득할 수 있으며, 수관 내 미생물 및 biofilm을 비파괴적으로 관찰하고 형광 특성과 미생물 군집을 연계하여 분석할 수 있는 장점을 가진다(9). 그러나 이러한 QLF-D를 활용한 치과용 유니트 수관 미생물 연구는 아직 제한적인 실정이다.

따라서 본 연구는 치위생학과 실습실 치과용 유니트 수관의 관리 수준을 평가하고, 미생물 오염도와 붉은 형광 colony에서 동정된 균속의 분포를 탐색적으로 비교·확인하여 수관 관리의 중요성에 대한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구대상

본 연구는 국내 5개 대학교 치위생학과 실습실을 대상으로 수행되었다. 각 대학에서 치과용 유니트 수관 관리 담당자를 대상으로 실습실의 일반적 특성과 수관 관리 실태에 관한 설문조사를 시행하였다. 조사 대상은 대학별로 1개 실습실로 제한하였으며, 실습실이 여러 개인 경우에는 자주 사용되는 실습실 1곳을 선정하였다. 본 연구는 OO대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받은 후 수행되었다(승인번호: 1041849-202307-SB-139-02).

2.2. 연구방법

본 연구는 치위생학과 실습실 치과용 유니트 수관의 오염 실태를 파악하기 위하여 설문조사, 미생물학적 배양 분석, QLF-D 기반 형광 관찰, 미생물 동정을 수행하였다. 먼저 실습실의 일반적 특성과 수관 관리 현황을 파악하기 위한 설문조사를 실시하였으며, 이후 치과용 유니트 수관에서 시료를 채취하여 배양을 통해 수질 오염도를 평가하였다. 또한 배양된 colony를 대상으로 QLF-D를 이용한 형광 관찰을 수행하였고, 붉은 형광을 나타내는 colony에 대해 미생물 동정을 시행하였다. 본 연구는 표본 수가 제한적인 탐색적 연구로 수행되었으며, 기관별 치과용 유니트 수관의 오염 양상과 미생물 특성을 탐색적으로 비교하는 데 목적을 두었다.

2.2.1. 설문조사

치위생학과 실습실의 치과용 유니트 수관 관리 실태를 파악하기 위하여 구조화된 설문지를 사용하였으며, 설문은 각 대학의 실습실 관리자 1명이 응답하였다. 설문 문항은 치과용 유니트 수관 관리 수준을 정량적으로 평가하기 위하여 국내 치과감염관리 표준지침(10), CDC 치과 감염관리 가이드라인(11), 치과용 유니트 수관 관리 관련 선행연구(3, 5, 12)를 참고하여 연구팀이 탐색적으로 점수화 체계를 구성하였다. 구성된 점수화 체계는 치위생학 및 치과 감염관리 분야 전문가 3인의 검토를 거쳐 내용의 적절성 및 평가 기준의 명확성을 확인하였으며, 검토 의견을 반영하여 수정·보완한 후 적용하였다.

설문의 구성은 일반적 특성, 수질 모니터링, 수관 물 빼기 관리, 수관소독, 관리체계 영역으로 구성하였다. 수질 모니터링 영역에서는 미생물 검사 시행 여부, 검사 방법 및 주기를 조사하였다. 수관 물 빼기 관리 영역에서는 실습 전 및 실습 후 물 빼기 시행 여부와 시행 부위 및 시간을 포함하였다. 수관 소독 영역에서는 정기 소독 여부와 소독 주기를 조사하였으며, 관리 체계 영역에서는 기록 관리, 담당 인력 지정, 교육 여부 등을 포함하였다.

2.2.2. 시료 수집

시료 수집은 2023년 11월 24일부터 2024년 2월 15일까지 수행되었다. 해당 기간은 학기 종료 후 실습실 사용이 제한된 시기로, 치과용 유니트 수관 내 정체 상태를 반영하고자 하였다. 각 대학의 치위생학과 실습실에서 대표 치과용 유니트 1대를 선정하여 시료를 채취하였다. 정수 시스템이 설치된 경우에는 정수 시스템과 가장 인접한 치과용 유니트를 대상으로 하였으며 정수 시스템이 없는 경우 기계실과 가장 가까운 치과용 유니트를 선정하였다.

시료는 공기/물 사출기(3-way syringe; 3W), 초음파 스케일러(Ultrasonic scaler; US), 컵필러(Cup filler; CF)에서 각각 채취하였다. 시료 채취 전 제거 가능한 부품을 분리한 후 70% 에탄올로 표면을 소독하여 외부 오염을 최소화하였다. 채취한 시료는 멸균 용기에 수집하여 4°C 냉장 상태로 운반하였으며, 가능한 한 신속하게 실험실로 이송하여 분석에 사용하였다.

2.2.3. 수질 오염도 평가

채취한 시료는 치과용 유니트 수관 내 일반세균 오염도를 평가하기 위하여 배양 분석을 실시하였다(13). 각 채취 부위에서 채취한 시료는 독립적으로 배양 및 일반세균 수 분석을 수행하였다. 각 시료는 균질화를 위해 충분히 혼합한 후, 일정량을 취하여 R2A agar (R2A agar, Kisan Bio Co., Ltd., Seoul, Korea) 배지에 도말하였다. 37°C의 호기성 조건에서 72시간 동안 배양한 뒤 형성된 colony 수를 계수하여 Colony-forming unit per milliliter (CFU/mL)로 환산하였으며, 일반 세균 수 평가 기준은 국내 치과 감염관리 기준에서 제시한 100 CFU/mL를 기준으로 판단하였다. 균수 데이터의 비정규 분포를 보정하고 기관 및 채수 부위 간 비교를 용이하게 하기 위하여 모든 Colony-forming unit (CFU/mL) 값은 log10 CFU/mL로 변환하여 분석하였다.

2.2.4. QLF-D 기반 형광 관찰

배양이 완료된 R2A agar 배지의 colony는 QLF-D를 이용하여 촬영하였다(13). 모든 촬영은 암실 환경에서 수행하였으며, 셔터 속도 1/4 s, 조리개 값 f/8.0, ISO 1600의 동일 조건을 적용하였다. 촬영된 이미지를 통해 colony의 자가형광 발현 여부를 확인하였으며, 특히 붉은 형광을 나타내는 집락을 중심으로 관찰하였다.

https://doi.org/10.12972/kjcdh.2026.14.3.7

2.2.5. 미생물 동정

QLF-D에서 관찰되는 붉은 형광과 관련된 미생물을 탐색적으로 확인하기 위해, 붉은 형광을 나타내는 colony만을 대상으로 16S rRNA 유전자 염기서열 분석을 수행하였다. 분석은 전문 분석기관(Cosmogenetech Co., Ltd., Daejeon, Korea)에 의뢰하였으며, Genomic DNA 추출, PCR 증폭, Sanger sequencing 및 NCBI BLAST를 이용한 상동성 분석 순으로 진행되었다. 최종 동정은 가장 높은 유사도를 보이는 Reference sequence를 기준으로 하였다. 동일 대학 내에서 반복 검출된 균종은 중복 제외 후 정리하였다.

2.2.6. 자료 분석

본 연구 자료는 기술통계를 중심으로 분석하였다. 치과용 유니트 수관의 관리 수준을 정량적으로 평가하기 위하여 선행연구와 감염관리 지침을 참고하여 자체 점수화 체계를 구성하였다. 수질 모니터링은 최대 3점, 물 빼기 관리는 최대 6점(실습 전후 각 3점), 수관 소독은 최대 3점, 관리 체계는 최대 4점으로 설정하여 총 16점 만점으로 산정하였다. 각 세부 항목은 미수행(0점), 부분 수행 또는 비일관적인 수행(0.5점), 완전 수행(1점)의 3단계로 평가하였다.

총점을 기준으로 수관 관리 수준은 High(13점 이상)는 대부분의 관리 항목이 체계적으로 수행되는 경우, Moderate(8점 이상 13점 미만)는 일부 관리 체계가 유지되는 경우, Low(3점 이상 8점 미만)는 제한적인 관리만 수행되는 경우, Poor(3점 미만)는 대부분의 관리가 수행되지 않는 경우로 정의하였다. 해당 절단 기준은 예비조사 결과와 연구진 간 합의를 통해 설정하였으며, 관리 수준의 상대적 차이를 기술하기 위한 목적으로 사용하였다. 대학별 및 채취 부위별 결과의 분포와 경향을 기술적으로 분석하였다. 모든 자료 분석은 SPSS ver. 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 치과용 유니트 수관 관리 수준 평가를 위한 세부 점수 기준은 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Scoring criteria for dental unit waterline management practices

Domain	Item	Criteria	Score
Water quality monitoring (0-3)	Regular microbial testing	Yes / No	1 / 0
	Testing interval	≤6 months / >6 months or unclear / None	1 / 0.5 / 0
	Corrective action system	Clear / Unclear / None	1 / 0.5 / 0
Flushing management (0-6)	Before practice		
	Implementation	Yes / Sometimes / No	1 / 0.5 / 0
	Units flushed	All units / Partial / None	1 / 0.5 / 0
	Flushing time	≥1 min / 30-60 sec / <30 sec or none	1 / 0.5 / 0
	After practice		
	Implementation	Yes / Sometimes / No	1 / 0.5 / 0
	Units flushed	All units / Partial / None	1 / 0.5 / 0
	Flushing time	≥1 min / 30-60 sec / <30 sec or none	1 / 0.5 / 0
DUWL disinfection (0-3)	Regular disinfection	Yes / No	1 / 0
	Disinfection interval	≤1 month / >1 month / None	1 / 0.5 / 0
	Disinfection level	Regular and systematic / Partial / None	1 / 0.5 / 0
Management system (0-4)	Record keeping	Yes / Partial / No	1 / 0.5 / 0
	Designated personnel	Yes / No	1 / 0
	Education/training	Yes / No	1 / 0
	Awareness of management necessity	High / Moderate / Low	1 / 0.5 / 0

Partial scores(0.5) were assigned only when practices were incompletely implemented or inconsistently maintained. DUWL, dental unit waterline; s, second (s); min, minute (s).

3. 연구결과

3.1. 일반적 특성과 수질 관리 및 모니터링 결과

조사 대상 5개 대학의 치위생학과 실습실 특성은 Table 2와 같다. 치과용 유니트 설치 시기는 2010년부터 2023년까지로 나타났으며, 총 유니트 수는 12대에서 30대까지 분포하였다. 주당 유니트 사용 빈도는 최소 주 2회에서 최대 주 6회로 나타났다(Table 2).

치과용 유니트 수관에 대한 수질 모니터링을 하고 있는 기관은 5개 대학 중 2개 대학(A, D)으로 나타났으며, 나머지 3개 대학(B, C, E)은 별도의 수질 모니터링을 시행하지 않는 것으로 확인되었다. 물 빼기 관리에서는 A 대학이 실습 전·후 모두 충분히 수행하고 있었던 반면, B와 D 대학은 일부 항목에서만 수행하였고, C 대학은 제한적으로만 수행한다고 응답하였다. E 대학은 물 빼기를 수행하지 않는 것으로 확인되었다. 수관 소독은 A와 D 대학에서 수행하고 있었고, 관리 체계(기록, 담당 인력, 교육) 영역에서는 A 대학에서 모든 항목을 운영하고 있다고 응답하였다(Table 2).

Table 2. General characteristics and dental unit waterline management practices of the participating universities

University	Year of installation	Number of units	Frequency of use (per week)	Monitoring	Flushing	Disinfection	Management system
A	2021	24	4–6	Yes	Full	Yes	Yes
B	2010	16	4	No	Partial	No	No
C	2013	12	2	No	Minimal	No	No
D	2021	18	4	Yes	Partial	Yes	Partial
E	2023	30	4	No	None	No	No

3.2. 수관 관리 수준 평가

설문조사 결과를 바탕으로 수질 모니터링, 물 빼기 관리, 수관 소독 및 관리 체계의 4개 영역을 점수화하여 각 대학의 수관 관리 수준을 평가한 결과는 Table 3과 같다. A 대학은 총 15.0점으로 High 수준으로 분류되었으며, D 대학은 9.5점으로 Moderate 수준을 나타냈다. C 대학은 3.0점으로 Low 수준으로 분류되었고, B 대학(2.5점)과 E 대학(0점)은 Poor 수준으로 분류되었다.

Table 3. Classification of waterline management level based on survey responses

University	Monitoring (0-3)	Flushing (0-6)	Disinfection (0-3)	Management system (0-4)	Total score (0-16)	Management level
A	3.0	6.0	3.0	3.0	15.0	High
B	0.0	2.0	0.0	0.5	2.5	Poor
C	0.0	2.0	0.0	1.0	3.0	Low
D	2.5	2.0	1.5	3.5	9.5	Moderate
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Poor

3.3. 수질 오염도 평가 결과

치과용 유니트 수관의 수질 오염도는 대학별 및 시료 채취 부위에 따라 차이를 보였다(Figure 1). 국내 권장 기준인 100 CFU/mL (2.0 log CFU/mL)를 기준으로 할 때, 본 연구에서 측정된 모든 시료가 이를 초과하는 것으로 나타났다. 특히 채취 부위별 평균 일반세균 수는 3W에서 5.10 log CFU/mL로 가장 높게 나타났으며, US와 CF는 각각 4.92 log CFU/mL 및 4.91 log CFU/mL로 확인되었다. 전체 평균 일반세균 수는 4.98 log CFU/mL였다. 대학별 오염 수준은 기관에 따라 차이를 보였

으며, E 대학에서 가장 높은 오염 수준이 확인되었다. 반면 B 대학은 상대적으로 낮은 오염 수준을 나타냈다. 또한 동일 기관 내에서도 3W, US, CF 간 오염도 차이가 관찰되었다.

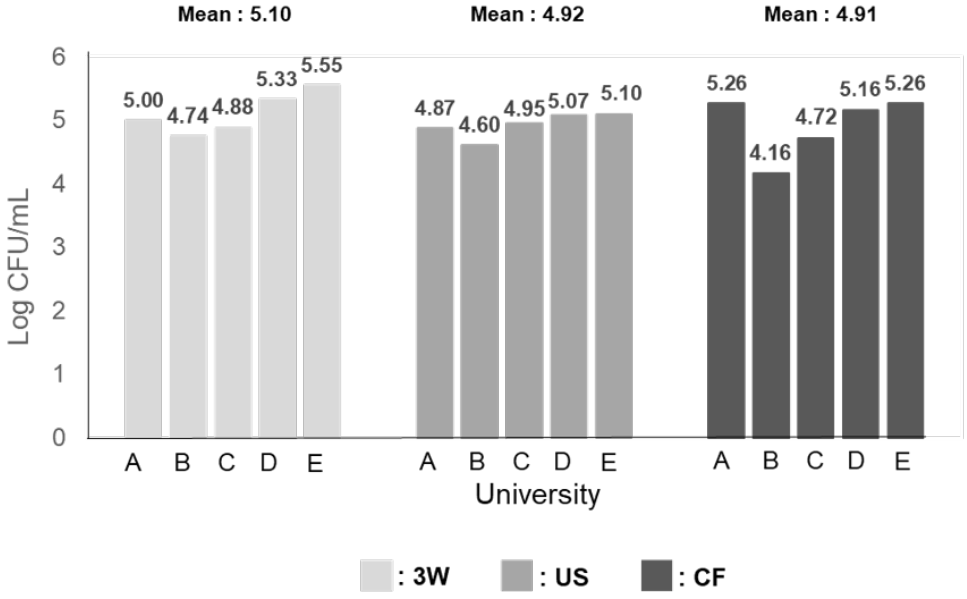


Figure 1. Bacterial contamination levels (Log CFU/mL) in dental unit waterlines across five universities according to sampling sites. 3W, 3-way syringe; US, ultrasonic scaler; and CF, cup filler.

3.4. 수관 관리 수준에 따른 오염도 및 QLF-D 형광 비교

수관 관리 수준에 따른 오염도를 비교한 결과, 기관별 오염 수준에 차이가 관찰되었다(Figure 1). High 수준인 A 대학은 E 대학에 비해 전반적으로 낮은 colony 밀도와 제한적인 형광 분포를 나타냈으나, 일부 채취 부위에서는 여전히 국내 권장 기준을 초과하는 것으로 확인되었다. Moderate 수준인 D 대학은 일부 채취 부위에서 높은 오염도가 관찰되어 기관 내 채취 부위에 따른 변동성이 나타났다.

Poor 수준으로 분류된 E와 B 대학은 서로 상반된 양상을 보였다. E 대학에서는 모든 채취 부위에서 높은 오염도가 확인되었으며, 특히 3-way syringe (3W) 부위에서 가장 높은 일반세균 수가 나타났다. 반면 B 대학은 Poor 수준으로 분류되었음에도 비교적 낮은 오염 수준을 보여, 관리 수준과 오염도 간 불일치를 나타냈다.

대표 이미지 비교 결과(Figure 2), 백색광 이미지에서 E 대학은 A 대학에 비해 전반적으로 높은 colony가 관찰되었고 특히 Ultrasonic scaler (US)와 Cup filler (CF) 시료에서 colony가 밀집된 양상이 확인되었다. QLF-D 이미지에서는 두 기관 모두 일부 colony에서 붉은 형광 신호가 관찰되었으며, E 대학 시료에서 상대적으로 더 많은 붉은 형광 신호가 관찰되었다. 전반적으로 동일 기관 내에서도 채취 부위에 따라 오염 수준의 차이가 관찰되었다.

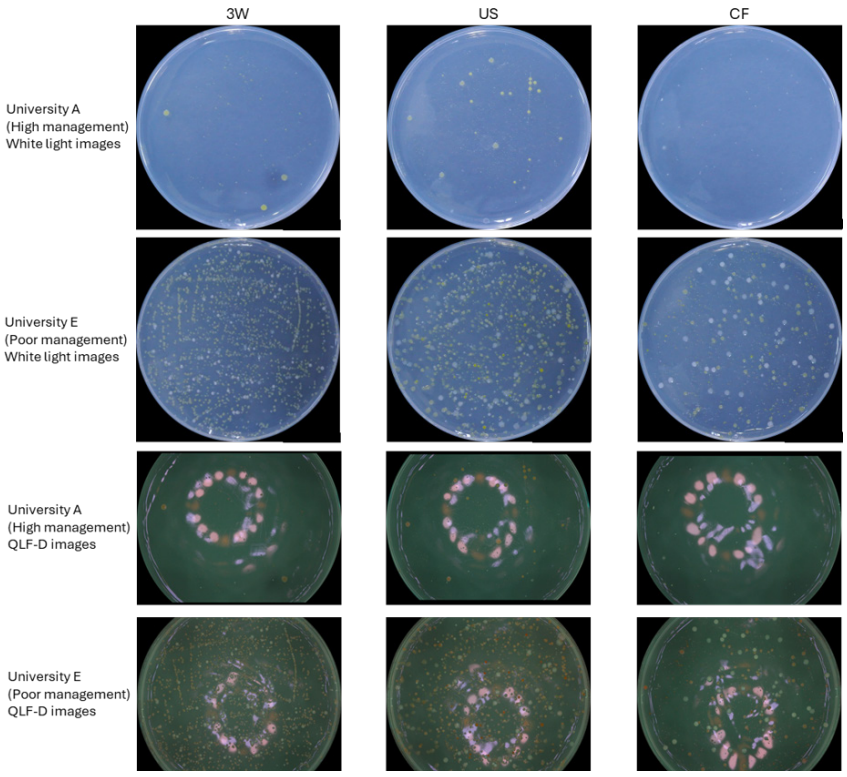


Figure 2. Representative white light and QLF-D images of bacterial colonies collected from dental unit waterlines in universities with different management levels. (3W, 3-way syringe; US, Ultrasonic scaler; and CF, Cup filler; QLF-D, Quantitative Light-Induced Fluorescence-Digital)

3.5. QLF-D 형광 분석 및 미생물 동정 결과

QLF-D 분석에서 붉은 형광을 나타낸 Colony를 대상으로 미생물 동정을 수행한 결과, 주요 균속으로는 *Novosphingobium*, *Sphingomonas*, *Sphingopyxis*, *Caulobacter*, *Microbacterium* 등이 확인되었다. *Novosphingobium* spp.는 모든 대학에서 공통적으로 검출되었으며, *Sphingomonas* spp. 또한 대부분의 대학에서 확인되었다. 반면 *Microbacterium* spp.는 D 대학에서만 검출되었고, *Bosea* spp.는 A 대학에서만 확인되었다. 또한 일부 대학에서는 *Cupriavidus*, *Dechloromonas*, *Niastella* 등의 균속이 추가적으로 확인되었다. 반복적으로 검출되거나 주요 분포를 나타낸 속은 Table 4에 정리하였다.

Table 4. Major bacterial genera isolated from dental unit waterlines across five universities

Genus (spp.)	University				
	A	B	C	D	E
Novosphingobium	●	●	●	●	●
Sphingomonas	●	○	●	●	●
Bosea	●	○	○	○	○
Sphingopyxis	○	●	○	○	○
Dechloromonas	○	●	○	○	○
Cupriavidus	○	○	●	○	○
Microbacterium	○	○	○	●	○
Caulobacter	○	○	○	●	○
Niastella	○	○	○	○	●

●, detected; ○, not detected.

3.6. 수관 관리 수준에 따른 미생물 군집 특성

수관 관리 수준에 따른 미생물 군집 특성을 비교한 결과, 관리 수준이 높은 그룹(High, Moderate)에서는 우점 균속이 제한적이었으며, 주로 *Novosphingobium* 및 *Sphingomonas*와 같은 환경성 미생물이 우점하는 단순한 군집 구조를 나타냈다. Low 그룹에서는 *Cupriavidus, Acidovorax*가 추가로 확인되었고, Poor 그룹에서는 *Niastella, Dechloromonas*가 추가로 확인되었다(Table 5).

Table 5. Distribution of bacterial genera according to the level of waterline management practices

Management level	Dominant genera (spp.)	Additional genera (spp.)
High	*Novosphingobium, Sphingomonas*	*Bosea*
Moderate	*Novosphingobium, Sphingomonas*	*Microbacterium, Azospira, Caulobacter*
Low	*Novosphingobium, Sphingomonas*	*Cupriavidus, Acidovorax*
Poor	*Novosphingobium*	*Niastella, Dechloromonas*

4. 고안

본 연구는 치위생학과 실습실 내 치과용 유니트 수관의 오염 실태를 평가하고, QLF-D 기반 형광 분석을 통해 미생물 분포를 탐색적으로 확인하고자 수행되었다. 연구 결과, 모든 채취 시료에서 일반세균 수가 국내 권장 기준뿐 아니라 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)의 권장 기준(500 CFU/mL) (12)과 비교하였을 때도 초과하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 교육기관 내 실습 환경에서도 치과용 유니트 수관에 대한 지속적이고 체계적인 수질 관리가 필요함을 시사한다.

본 연구에서는 치과용 유니트 수관 관리 요소를 수질 모니터링, 물 빼기, 수관 소독, 관리 체계의 4개 영역으로 구분하여 평가하였다. 수질 모니터링과 물 빼기는 수관 내 미생물 오염 상태를 확인하고 정체된 물을 제거하여 미생물 증식을 감소시키는 기본적인 관리 방법으로 알려져 있으나 물 빼기만으로는 바이오필름 자체를 완전히 제거하는 데 한계가 있어 추가적인 관리 방법과 병행될 필요가 있다(14, 15).

본 연구에서 수관 소독을 수행한 A, D대학에서 관리 수준 평가에서 높은 점수를 나타냈다. 그러나 두 대학 모두 국내 권장 기준을 초과하는 일반세균 수가 확인되었으며, 이러한 결과는 수관 소독이 중요한 관리 요소임에도 불구하고, 단독으로 수관 오염을 제어하기에는 한계가 있음을 시사한다. 또한 사용되는 소독제의 종류와 적용 방법에 따라 효과가 달라질 수 있다는 선행연구의 보고와도 일치하는 결과이다(16).

관리 체계 측면에서도 비교적 잘 구축된 기관에서는 전반적으로 높은 관리 수준을 나타냈으나, 오염도는 관리 수준과 일치하지 않는 것으로 나타났다. 실제로 본 연구에서는 관리 수준이 낮은 기관임에도 상대적으로 낮은 오염도를 보인 사례와 반대로 관리 수준이 높은 기관에서도 국내 권장 기준을 초과하는 일반세균 수가 확인된 사례가 함께 관찰되었다. 이러한 불일치는 수관 관리 수준 평가가 오염도를 직접적으로 예측하는 지표로 작용하지 않을 수 있음을 시사하며, 치과용 유니트 수관 관리는 단일 요소가 아닌 수질 모니터링, 물 빼기, 수관 소독, 관리 체계가 상호 보완적으로 작용하는 통합적 관리 전략이 필요함을 뒷받침한다(17). 아울러 관리 상태가 양호한 기관에서도 잠재적 병원성을 가진 미생물이 동정되었다는 점은 수관 오염이 단순히 관리 수준뿐 아니라 시간적·환경적 요인의 영향을 함께 받는 복합적인 현상임을 뒷받침하는 근거로 볼 수 있다.

이러한 불일치는 치과용 유니트 수관의 오염도가 관리 체계 점수만으로 설명되기 어려우며 사용 빈도, 수관 내 물의 정체 기간, 수관 구조 및 설치 연한 등 다양한 요인이 복합적으로 작용한 결과일 가능성을 시사한다. 예를 들어 관리 수준이 낮더라도 유니트 사용 빈도가 낮아 수관 내 미생물 증식 기회가 상대적으로 적었던 기관이 있을 수 있으며, 반대로 관리 체계가 잘 갖추어져 있어도 수관 구조 상 사각지대나 정체 구간이 존재하는 경우 소독 효과가 충분히 미치지 못했을 가능성도 배제

할 수 없다. 따라서 향후 연구에서는 관리 수준 평가와 함께 사용 빈도 및 수관 구조와 같은 물리적 요인을 함께 고려한 다변량 분석이 필요할 것으로 판단된다.

다음으로 QLF-D 형광 분석을 통해 붉은 형광을 나타내는 colony를 대상으로 미생물 동정을 수행한 결과 *Novosphingobium*, *Sphingomonas*, *Microbacterium* 등 다양한 환경성 미생물이 확인되었다. 본 연구에서는 *Novosphingobium spp.*와 *Sphingomonas spp.*가 여러 기관에서 반복적으로 확인되었는데, 이들 균속은 수계 환경에서 흔히 분포하며 biofilm 형성 능력이 높은 환경성 미생물로 알려져 있다(18, 19). 특히 *Novosphingobium spp.*는 저영양 환경에서도 생존이 가능하여 치과용 유니트 수관과 같은 정체된 수계 환경에서 지속적으로 존재할 가능성이 있으며, 일부 연구에서는 만성폐쇄성폐질환 환자의 폐 미생물군집과의 연관성이 보고된 바 있다(20). 또한 *Sphingomonas spp.*는 토양, 물, 병원 장비 등 다양한 환경에서 분리되며, 카테터 관련 감염이나 패혈증과 같은 기회감염 사례가 보고된 바 있다(21). 이러한 결과는 이들 균속이 병원 환경 및 면역저하 환자에서 잠재적 감염원으로 작용할 수 있음을 시사하며, 치과용 유니트 수관에 대한 지속적인 관리 필요성을 보여준다.

한편, 일부 기관에서는 Microbacterium, Caulobacter, Cupriavidus, Dechloromonas, Niastella 등의 다양한 환경성 미생물도 확인되었다. 이들 균속은 주로 토양 및 수계 환경에 분포하는 환경성 세균으로 알려져 있으나 일부는 의료기기 관련 감염이나 면역저하 환자에서의 기회감염 사례가 보고된 바 있다(22-24). 이러한 결과는 치과용 유니트 수관 내 미생물 군집이 다양한 환경성 균속으로 구성되어 있으며, 특정 조건에서는 잠재적 임상적 의미를 가질 가능성이 있음을 시사한다.

한편, QLF-D 분석에서 관찰된 붉은 형광은 약 405 nm 파장의 청색광에 의해 미생물이 생성하는 대사산물인 포르피린에서 유래한 붉은 형광을 탐지하는 원리에 기반한 것으로 이는 바이오필름 형성과 밀접한 연관이 있으며 미생물의 대사 활성 및 오염 수준을 반영하는 지표로 활용될 수 있다(7). 따라서, 본 연구에서는 미생물의 활성도와 오염 축적 정도를 보다 효과적으로 반영하는 colony를 확인하고자 붉은 형광을 나타내는 colony를 중심으로 관찰 및 동정을 수행하였다. 이는 치과용 유니트 수관의 전체 미생물 군집을 분석하기 위한 것이 아니라 QLF-D에서 관찰되는 붉은 형광과 관련된 미생물 특성을 탐색적으로 확인하기 위함이다. 특히 *Sphingomonas* 및 *Novosphingobium*과 같은 수계 미생물은 바이오필름 형성 능력이 높아 형광 신호가 수관 내 미생물 축적 및 오염 상태를 반영하는 지표로 활용될 가능성이 있다.

따라서 치과용 유니트 수관은 단순한 물 공급 시스템이 아니라 환경성 및 잠재적 병원성 미생물이 안정적으로 생존하고 증식할 수 있는 생태적 서식처로 작용할 수 있으며, 이에 대한 지속적인 관리와 모니터링이 필요하다. QLF-D 기반 형광 분석은 육안으로 확인하기 어려운 수관 내 오염 상태를 신속하게 평가할 수 있는 방법으로 형광 강도의 증가나 지속성은 수관 소독 주기의 지연 또는 물 빼기 부족을 반영하는 지표로 활용될 가능성이 있다. 향후 QLF-D 기반의 정기적 모니터링 시스템을 도입할 경우, 교육기관 수준에서도 비파괴적이고 비용 효율적인 수관 관리가 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 몇 가지 한계점을 가진다. 먼저, 대상 기관 및 시료 수가 제한적인 탐색적 연구로 수행되어 통계적 검정을 시행하지 않았으며, 기술통계 중심으로 분석이 이루어졌다는 것이다. 또한 시료 채취 시점이 학기 종료 후 장기간 미사용 상태를 포함하고 있어 기관별 실제 수관의 정체 정도를 확인하지 못하였으며, 수관 내 물의 정체로 인해 오염도가 실제보다 높게 측정되었을 가능성이 있다. 더불어 본 연구는 단일 시점에서 시료를 채취하여 분석하였기 때문에 시간 경과에 따른 수관 내 미생물 변화 및 오염 양상의 변동을 충분히 반영하지 못하였다는 한계가 있다. 또한 각 기관에서 선정 기준에 따라 1개의 치과용 유니트만을 조사하였으므로, 해당 결과를 기관 또는 치위생학과 실습실 전체를 대표하는 결과로 일반화하는 데에는 제한이 있다. 치위생학과 실습실은 일반 치과의원과 비교하여 유니트 사용 빈도가 낮고 실제 환자 진료 환경과 차이가 있어 본 연구 결과를 임상 환경에 직접적으로 일반화하는 데에는 제한이 있다. 그러나 이러한 한계에도 불구하고, 본 연구는 치위생학과 실습실 내 치과용 유니트 수관의 오염 실태를 탐색적으로 평가하고, 수관 관리 요소와 미생물 분포 및 QLF-D 기반 형광 특성 간의 연관 가능성을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

5. 결론

본 연구는 치위생학과 실습실 내 치과용 유니트 수관을 대상으로 오염 양상과 미생물 분포를 분석하였다. 연구 결과, 수관 오염도는 단일 관리 요소에 의해 결정되기보다 다양한 관리 방식, 환경적·관리적 요인이 복합적으로 작용한 결과로 나타났다. 또한 QLF-D 기반 형광 분석을 활용하여 치과용 유니트 수관의 미생물 오염 상태를 확인하였으며, 수관 관리 수준에 따른 오염 양상과 미생물 특성을 탐색적으로 평가하였다. 향후 다양한 기관과 반복 측정을 포함한 후속 연구를 통해 결과를 검증할 필요가 있다.

Author contributions

Conceptualization: SC Park, SY Han. Data curation: SC Park. Formal analysis: SC Park, EB Cho. Investigation: SC Park. Methodology: SC Park, JH Min, SY Han. Supervision: JH Min, SY Han. Validation: JY Kang, JH Min, SY Han. Writing—original draft: SC Park, EB Cho. Writing—review & editing: SC Park, EB Cho, JY Kang, JH Min, SY Han

References

1. Jamal A, Alawadhi E. Bacterial contamination in dental unit water lines at primary health care centers (2022–2023): A nationwide study. Int J Environ Res Public Health 2025;22(9):1406. 10.3390/ijerph22091406.
2. Habibi Alaoui H, Serhier Z, Abdessadek M, Zaim N. Microbial quality control of dental unit water lines: A two-year study at a public university dental center in Morocco. Sci Afr 2025;29:e02835. 10.1016/j.sciaf.2025.e02835.
3. Bayani M, Raisolvaezin K, Almasi-Hashiani A. Bacterial biofilm prevalence in dental unit waterlines: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health 2023;23(1):158. 10.1186/s12903-023-02885-4.
4. Choi JO. A convergence study on waterline management of unit chair in dental hygiene laboratory. J Korea Converg Soc 2019;10(10):27-31. 10.15207/JKCS.2019.10.10.027.
5. Li C, Xin W. Different disinfection strategies in bacterial and biofilm contamination on dental unit waterlines: A systematic review. Int J Dent Hyg 2025;23(3):516-527. 10.1111/idh.12899.
6. Yoon HY, Lee SY. The microbial contamination and effective control method of dental unit water system. J Dent Hyg Sci 2015;15(4):383-392. 10.17135/jdhs.2015.15.4.383.
7. Lee YS, Mun SJ, Kang JY, Han SY. Effect of Streptococcus mutans on the autofluorescence of pathogens causing aspiration pneumonia. Photodiagn Photodyn Ther 2024;50:104395. 10.1016/j.pdpdt.2024.104395.
8. Han SY, Kim BR, Ko HY, Kwon HK, Kim BI. Assessing the use of quantitative light-induced fluorescence-digital as a clinical plaque assessment. Photodiagn Photodyn Ther 2016;13:34-39. 10.1016/j.pdpdt.2015.12.002.
9. Hwang HR, Cho YS, Kim BI. Assessment of clinical applicability of a new plaque scoring system using Quantitative Light-Induced Fluorescence-Digital. J Dent Hyg Sci 2014;14(2):150-157.
10. Korea Disease Control and Prevention Agency. Dental infection control standard policy & procedure. Cheongju:Korea Disease Control and Prevention Agency;2025:204-209.
11. Kohn WG, Collins AS, Cleveland JL, Harte JA, Eklund KJ, Malvitz DM. Guidelines for infection control in dental health-care settings—2003. Atlanta:Centers for Disease Control and Prevention;2003:28-31.

12. Korea Institute for Healthcare Accreditation. Accreditation standards for dental hospitals: Version 4.1. Seoul:Korea Institute for Healthcare Accreditation;2023:116-117.
13. Park SC, Min JH, Han SY. Microbial growth in dental unit waterlines and biofluorescence monitoring using QLF technology after regular disinfection. J Dent Hyg Sci 2024;24(4):327-334. 10.17135/jdhs.2024.24.4.327.
14. Yoon HY, Lee SY. Effects of flushing in dental unit waterlines on the bacterial contamination level. J Dent Hyg Sci 2015;15(5):659-665. 10.17135/jdhs.2015.15.5.659.
15. Rice EW, Rich WK, Johnson CH, Lye DJ. The role of flushing dental water lines for the removal of microbial contaminants. Public Health Rep 2006;121(3):270-274. 10.1177/003335490612100308.
16. Lauritano D, Nardone M, Gaudio RM, Candotto V, Carinci F. Risk assessment of colonization of *Legionella spp*. in dental unit waterlines. Oral Implantol 2017;10:283-288. 10.11138/orl/2017.10.3.283.
17. Spagnolo AM, Sartini M, Cristina ML. Microbial contamination of dental unit waterlines and potential risk of infection: a narrative review. Pathogens 2020;9(8):1-11. 10.3390/pathogens9080651.
18. Li HF, Zou ZT, Li BZ, Wang X, Yang JS, Yuan HL. Novosphingobium sediminis sp. nov., isolated from the sediment of a eutrophic lake. J Gen Appl Microbiol 2012;58(5):357-362. 10.2323/jgam.58.357.
19. Kinoshita C, Matsuda K, Kawai Y, Hagiwara T, Okada A. A case of Sphingomonas paucimobilis causing peritoneal dialysis-associated peritonitis and review of the literature. Ren Replace Ther 2021;7(1):1-7. 10.1186/s41100-021-00375-3.
20. Rutebemberwa A, Stevens MJ, Perez MJ, Smith LP, Sanders L, Cosgrove G, et al. Novosphingobium and its potential role in chronic obstructive pulmonary diseases: insights from microbiome studies. PLoS One 2014;9(10):e111150. 10.1371/journal.pone.0111150.
21. Osuji AI, Imaji JE, Olateju EK, Ekele BA, Baamlong N, Tahiru Y. Hospital-acquired Sphingomonas paucimobilis infection in a neonate: a case report. J Adv Med Med Res 2020;32(7):42-46. 10.9734/jammr/2020/v32i730448.
22. Wardy BS, Yasmin M, Bej T, Wera GD, Marshall SH, Rojas LJ, et al. Orthopedic implant-associated and central venous catheter-associated infections caused by Microbacterium spp. in the Veterans Affairs Healthcare System from 2000 to 2020. Surg Infect (Larchmt) 2022;23(1):84-88. 10.1089/sur.2021.133.
23. Moore GM, Gitai Z. Both clinical and environmental Caulobacter species are virulent in the Galleria mellonella infection model. PLoS One 2020;15(3):e0230006. 10.1371/journal.pone.0230006.
24. Guo C, Sun C, Zheng J, Zhou Q, Liang Y. Clinical management of severe Cupriavidus gilardii superinfection after influenza A virus pneumonia: a case report and literature review. Infect Dis Rep 2026;18(2):24. 10.3390/idr18020024.