

## 치과분야 영상검사의 국가선량관리시스템 마련을 위한 기반 연구

이지윤<sup>1</sup>, 김정수<sup>2</sup>, 윤상욱<sup>3</sup>, 민유정<sup>4</sup>, 길종원<sup>4</sup>, 원종훈<sup>4</sup>, 이채나<sup>1\*</sup><sup>1</sup>연세대학교 치과대학 영상치의학과, <sup>2</sup>대구보건대학교 방사선학과, <sup>3</sup>차의과대학교 분당차병원 영상의학과, <sup>4</sup>질병관리청 건강위해대응관 의료방사선건강관리과

## 초 록

의료 분야의 방사선 사용이 시작된 이후로 기술이 급속히 발전해 왔으며, 이에 따라 진단 방사선의 사용이 크게 증가하는 추세에 있다. 의료 방사선이 도입된 이후로 방사선의 위해에 대한 우려는 꾸준히 제기되어 왔고 영상 검사가 증가함에 따라 그러한 우려는 점진적으로 증가하고 있다. 치과분야에 사용되는 개별 방사선검사의 경우 피폭량이 비교적 낮지만, 전 국민에 걸쳐 그 빈도가 높다는 점이 우려스럽다. 특히 최근에는 치과용 콘빔 전산화단층촬영의 급격한 도입과 광범위한 사용으로 인해 치과분야의 피폭 수준 또한 낮은 수준에서 벗어난 것으로 사료된다. 이러한 문제에 대응하기 위해 치과 방사선 장비에 대한 방사선 모니터링 체계의 필요성이 점차적으로 대두되고 있다. 따라서 이 연구는 치과 방사선검사 장비를 대상으로 한 국가선량관리시스템을 구축하고 이를 통해 국가진단참고수준을 도출하며 지속적인 방사선 저감화를 이루기 위함이다. 치과에 적합한 시스템 구축을 위해 구내방사선촬영, 파노라마방사선촬영 및 콘빔 전산화단층촬영 영상의 디지털의료영상표준통신 구조를 조사하고 통합 데이터 수집을 계획하였으며 이를 바탕으로 여러 기종의 치과 방사선 장비에 모두 적용 가능한 시스템을 구축하고 시범 운영하였다. 향후 시스템을 지속적으로 확장하기 위해서는 전문가 의견을 수집하여 시스템의 보완사항을 확인할 필요가 있겠다.

**주요 검색어:** 치과; 구내방사선촬영; 파노라마방사선촬영; 콘빔 전산화단층촬영; 국가선량관리시스템

## 서 론

정확한 진단 및 치료를 위한 방사선검사 시행은 불가피하다. 하지만 방사선의 위해는 언제든지 발생 가능하다는 명제 하에 의료 행위를 위한 방사선검사는 환자에게 이익을 줄 수 있는 한도 내에서 최소로 유지되어야 한다. 이를 위해 전 세계적인 노력이 있어 왔으며, 첫 번째 단계로 ‘국가진단참고수준 (diagnostic reference level)’의 분석과 활용이다. 국가진단참고

수준은 각각의 병원에 특정 검사를 시행할 때 사용하는 선량 수준을 국가 차원에서 대규모로 조사한 뒤 그 값의 분포를 분석하여 3/4 분위의 값을 제안하는 것을 말한다. 이때 사용되는 선량면적곱 값은 dose-area-product (단위: mGy · cm<sup>2</sup>)를 의미한다.

진단참고수준을 제시하는 가장 큰 이유는 사용자 스스로 최적화된 방사선검사를 시행하여 궁극적으로는 국가수준의 의료방사선을 저감화하기 위함이다. 즉, 기관에서 사용하는

Received July 2, 2024 Revised July 22, 2024 Accepted July 23, 2024

\*Corresponding author: 이채나, Tel: +82-2-2228-3124, E-mail: chenalee@yuhs.ac

Copyright © Korea Disease Control and Prevention Agency



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



KDCA  
Korea Disease Control and  
Prevention Agency

## 핵심요약

### ① 이전에 알려진 내용은?

치과분야에서 방사선피폭은 전 연령에 걸친 다수의 인구에 광범위하게 영향을 미치고 있으며, 콘빔 전산화단층촬영의 급속한 도입은 방사선피폭량 증가의 주요한 요인이 되었다. 의료방사선 저감화를 위해 방사선검사의 적정성 확보 연구 등 다방면의 노력 중 하나가 진단참고수준의 도입이다.

### ② 새로이 알게 된 내용은?

2023년 국내 치과병·의원에 설치, 운영 중인 장비는 총 44,985건이다. 치과의 모든 방사선 장비는 선량면적곱 값을 출력하도록 규정되고 있으나 현재 국내 치과에서 가동 중인 콘빔 전산화단층촬영 장비 중 선량면적곱 값의 형태로 출력하는 장비는 약 27% 수준으로 파악되었다.

### ③ 시사점은?

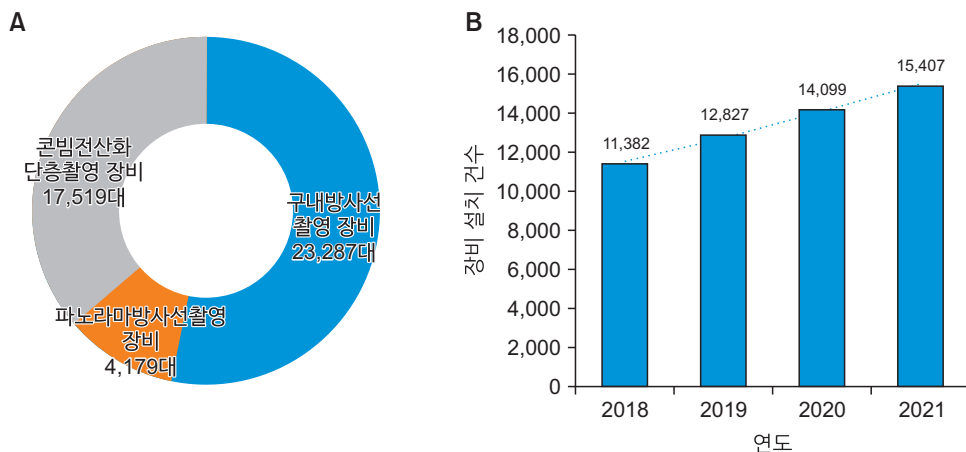
치과분야 국가선량관리시스템은 방사선장비의 진단 참고 수준 확립을 위한 플랫폼의 기초 자료로 활용될 수 있으며, 지속적인 선량관리를 위해 치과 의료장비가 의료 영상 표준을 준수할 수 있도록 사용자, 제조사, 국가 차원에서 적극적인 노력이 필요하다.

선량 수준이 진단참고수준보다 비정상적으로 높거나 낮을 경우, 방사선 방어가 적절하게 최적화되었는지 혹은 화질 수준이 적절한지 검토할 수 있다. 이를 통해 사용자 스스로 방사선

검사 프로토콜을 최적화할 수 있다.

치과분야에서는 1990년대 콘빔 전산화단층촬영(cone-beam computed tomography)이 도입되면서 그 사용이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이와 더불어 치과분야에서도 방사선에 대한 지속적인 우려와 관심이 제기되어왔다. 건강보험심사평가원(Health Insurance Review & Assessment Service)에 따르면 최근 5년 내 콘빔 전산화단층촬영 보유량은 약 53%의 증가와 더불어 전체 치과 병·의원의 절반 이상의 기관에서 콘빔 전산화단층촬영을 사용 중인 것으로 집계되었다(그림 1) [1,2].

기존의 치과 방사선검사의 경우 전 연령에 걸쳐 그 빈도가 상당히 높다 하더라도, 비교적 저선량을 이용하여 시행되는 검사였다면, 콘빔 전산화단층촬영 사용 시 발생하는 선량은 기존의 검사들에 비해 상당히 높은 선량을 사용한다[3]. 또한 다른 치과 검사들과 마찬가지로 치과 치료와 진단, 수술 가이드 등의 목적으로 상당히 주기적으로 촬영되고 있다[4]. 이에, 콘빔 전산화단층촬영의 도입과 확산은 치과 의료방사선의 증가에 상당히 기여하는 것으로 생각된다. 이러한 콘빔 전산화단층촬영 사용이 지속적으로 증가하고 환자들의 방사선 피폭에 대한 위험성을 인식하게 되면서 치과계에서도 환자의 방사선 노출량에 대한 인식의 개선과 더불어 지속적인 관리가 필



**그림 1.** 국내 치과분야 방사선검사 장비 현황

(A) 치과 방사선검사 장비 설치 대수(Reused from Health Insurance Review and Assessment Service [1]). (B) 국내 콘빔 전산화단층촬영 장비의 도입 현황(Reused from Health Insurance Review and Assessment Service [2])

수직이게 되었다. 이에 따라 많은 치과 의료진들은 콘빔 전산화단층촬영의 방사선 피폭량에 대해 우려를 표명하지만 실제로 사용하는 장비의 정확한 방사선 노출량은 어느 정도 수준인지 알기 어렵다. 치과분야에서도 국가진단참고수준의 주기적인 분석과 제시를 통한 방사선검사의 최적화 과정이 반드시 필요한 시점이 되었다.

미국, 영국 등의 국가에서는 약 5년 주기로 국가진단참고수준을 제시하고 있으며, 일본, 한국 등 아시아 국가에서도 치과 방사선검사 분야의 국가진단참고수준이 제시되고 있다(표 1) [5-8]. 국내에서는 2004년도부터 5년마다 치과영상검사 분야의 국가진단참고수준을 제시하여 방사선 저감화에 노력을 기울이고 있으며, 의료방사선 방호에 엄격한 유럽 국가들과 비교해 보았을 때 국내 치과 방사선검사의 선량 수준은 저감화에 있어 더 개선될 여지가 충분하다고 판단된다. 진단참고수준을 조사하기 위해서는 각 지역별 치과 병·의원의 분포를 고려하여 선정된 일부 병원에 직접 방문하여 현장조사가 이루어진다. 우리나라에서 제시하고 있는 콘빔 전산화단층촬영의 국가진단참고수준은 상악 임플란트 식립 시 시행되는 검사를 기준으로 조사되고 있으며[5], 대부분의 국가에서는 현장조사나 설문조사의 방식을 이용하여 선량을 조사하고 이 데이터를 기반으로 진단참고수준을 제시하고 있다. 이에, 신뢰도 높은 결과의 산출을 위해 보다 많은 수의 병·의원을 대상으로 하거나 여러 검사 프로토콜에 대한 대규모 조사 시행이 필요하지만 현실적인 한계가 존재한다.

미국영상의학회(American College of Radiology)에서는 다채널 전산화단층촬영 검사의 선량 최적화를 위해 선량지표등

록소(Dose Index Registry)를 운영하고 있다. 선량지표등록소는 전산화단층촬영 검사의 진단참고수준의 제시를 위한 목적으로 개별 의료기관의 검사 장비와 직접 연동하거나 의료기관에서 사용하는 선량관리프로그램과 호환된다. 이렇게 산출된 진단참고수준을 통해 각각의 의료기관에서는 국가나 지역 의료기관의 선량기준과 비교 평가해 볼 수 있다[9]. 이러한 시스템은 대규모 현장조사의 현실적인 한계점을 극복하기 위해 활용될 수 있다. 치과영상검사에서도 이러한 자동 선량 수집 시스템에 대한 인식이 높아지며, 최근 콘빔 전산화단층촬영 장비와 상업적으로 시판 중인 선량프로그램을 연동하여 피폭량을 모니터링한 사례도 보고되고 있다[10].

오늘날 국내 치과 병·의원에 보급된 콘빔 전산화단층촬영 장비 수는 전국에 설치된 다채널 전산화단층촬영 보급률을 넘어서고 있는 추세이다[11]. 이러한 국내 시장의 특수성을 고려한다면 보다 면밀한 국가 차원의 선량 관리가 필요하다고 본다. 선량 정보의 관리에 있어 자동화된 시스템의 도입은 대규모의 정확한 선량 데이터 수집 및 관리가 가능하다. 이에 본 정책 연구에서는 기 개발된 전산화단층촬영 체계를 치과분야 영상검사에 최적화하여 구축된 치과영상검사의 국가선량관리 시스템을 소개하고자 한다.

## 방 법

### 1. 국내 치과방사선촬영 장비 설치 현황

치과 방사선검사에 사용되는 장비 현황 파악을 위해 국가통계포털(Korean Statistical Information Service)을 통해

표 1. 국가진단참고수준의 각 나라별 비교

검사 종류	연령대	한국(2019) [5]	미국(2019) [6]	영국(2019) [7]	일본(2020) [8]
파노라마방사선촬영	성인	227	123	81	134
	소아	163-175	67	60	-
콘빔 전산화단층촬영	성인	2,060	727	265	1,960
	소아	1,208	624	169	-

단위: mGy·cm<sup>2</sup>.

2023년 기준 국내 치과 병·의원에 설치, 운영 중인 장비 현황을 파악하였다. 설치된 장비 중 조사 시점을 기준으로 사용 중이며 제조사 및 장비 모델이 명확히 기재된 장비는 총 44,985건이었으며, 이중 콘빔 전산화단층촬영은 전체 장비의 약 38% (17,519건)를 차지하고 있다. 파노라마방사선촬영 장비는 약 9% (4,179건)로 콘빔 전산화단층촬영보다 낮은 설치 건수를 보였는데, 이는 신규 도입 장비의 경우 대부분 파노라마-콘빔 전산화단층촬영 복합기로 장비 종별의 구분이 콘빔 전산화단층촬영으로 구분되었기 때문이다. 전체 콘빔 전산화단층촬영 장비 중 선량 정보를 선량면적곱의 형태로 출력하는 장비는 약 27% 이하로 파악되었다. 의료 영상의 경우 표준화된 파일 형태인 디지털의료영상표준통신(digital image and communications in medicine, DICOM)으로 출력되며 이러한 형태의 데이터에는 이미지와 더불어 검사와 관련한 모든 정보가 담겨있다. 검사 정보에는 환자 정보, 검사 장비, 검사 시행일자, 기관, 그리고 방사선 노출 조건 등을 모두 포함한다. DICOM 국제 규격에 따르면 치과에서 사용되는 모든 방사선 검사 장비는 선량면적곱 값을 출력하도록 규정하고 있지만 국내에서는 비교적 최근에서야 선량면적곱 값을 출력하는 장비 모델이 생산되기 시작하였다.

## 2. 방사선검사 장비 및 검사 부위 별 특성 분석 및 코드 설계

치과분야 영상검사의 국가선량관리시스템 개발을 위해 치과에서 사용되는 개별 방사선 장비의 특성을 분석하여 각기 다른 종류의 검사 장비와 모두 연동이 가능한 시스템을 마련하고자 하였다[12]. 특히 구내방사선촬영 장비는 파노라마 및 콘빔 전산화단층촬영 장비와는 달리 방사선 발생기와 상수용기에 해당하는 센서가 독립적으로 구성된 경우가 빈번하여 이러한 개별 상황에 대해 모두 수용 가능한 체계가 필요하였다. 이에, 각 병원의 개별 장비에서 노출된 선량이 데이터베이스 내에 축적되기 위해 통합적이고도 유기적인 데이터의 축적 방법

개발에 중점을 두었다.

검사 특성 분석을 위해 건강보험심사평가원 코드 분류를 기반으로 검사 처방정보 시스템 매칭을 우선 시행하였다. 각각의 장비 종별 내에서 개별 코드와 피폭 선량과의 연관성에 대해 특성을 분석하였으며, 일부 처방의 경우 처방코드를 통해 피폭량에 따른 구분이 가능하였다. 특히 파노라마방사선촬영의 경우 특수 모드인 턱관절 및 상악동 파노라마검사 등이 구분되어 있으며 이 두 영상 검사에 따라 장비에서 출력하는 선량면적곱 값이 다를 것으로 사료되어 일반 및 특수 파노라마방사선촬영으로 구분 가능하였다. 하지만, 구내방사선촬영 및 콘빔 전산화단층촬영 영상의 경우 건강보험심사평가원의 코드와 선량과는 완전히 별개로 구성되어 있었다. 특히 선량 증가의 주요 요인으로 손꼽히는 콘빔 전산화단층촬영의 경우 3차원 볼륨영상 재구성 유무에 따른 코드만 구분되어 있어 건강보험심사평가원의 처방 코드를 시스템에 도입하기는 어려움이 있었으며, 새로운 코드 체계의 도입이 불가피하였다.

우선, 구내방사선촬영의 개별 치아를 모두 구분하게 되면 시스템 복잡도의 증가에 비해 검사 부위 별 피폭의 차이가 많지 않아 치식은 구분하지 않았으며, 촬영술식을 우선순위로 치근단 및 교익방사선촬영으로 구분하였다. 콘빔 전산화단층촬영의 경우 선량에 영향을 미치는 주된 변수인 검사 영역의 크기(field-of-view) 및 검사 부위를 중점적으로 고려하여 새로운 코드 분류 및 맵핑 작업을 시행하였다. 상기 모든 사항을 고려한 새로운 코드 체계는 총 5자리로 이루어졌으며 첫 번째 자릿수의 코드는 검사 종류, 두 번째는 처방명의 대분류, 세 번째는 처방명의 소분류, 네 번째는 임의의 일련번호, 마지막 다섯 번째 자리는 연령대로 구성하였다(표 2).

## 3. 시스템 디자인 설계

DICOM 규약에 따르면 치과영상검사, 즉 구내방사선촬영, 파노라마방사선촬영 및 콘빔 전산화단층촬영 영상 파일의 경우 방사선 선량 구조화 보고서(radiation dose structured

표 2. 치과 방사선검사의 종별, 처방별 피폭선량을 고려한 코드 분류체계

첫째 자리	둘째 자리	셋째 자리	넷째 자리	다섯째 자리
검사 종류	처방명 대분류	처방명 소분류	일련번호	연령대
I 구내방사선촬영	1 Bitewing 2 Periapical view 3 Tube-shift 4 Occlusal	0 -		
P 파노라마방사선촬영	1 일반 모드 2 특수 모드	0 -		
C 콘빔 전산화단층촬영	1 대면적 (~15×15 cm) 2 중면적(~10×10 cm) 3 소면적(~5×5 cm)	1 Facial, TMJ 2 Maxilla 3 Mandible 4 Panoramic, Jaw 5 Implant 6 Tooth, Endo	임의의 일련번호	A 성인 C 소아

TMJ=temporomandibular joint.

report, RDSR)를 기본적으로 출력해야 한다(그림 2) [13]. 비교적 최근에 도입된 콘빔 전산화단층촬영의 경우에도 RDSR을 출력하는 장비는 전무하였다. 하지만, 2011년에 강화된 법령으로 그 이후에 제조된 콘빔 전산화단층촬영 장비에서는 DICOM 헤더에 선량면적곱 값을 출력하고 있어 이러한 정보와 더불어 각 장비 종별 특성을 개별적으로 고려한 시스템 설계를 진행하였다. 기본적으로는 각 검사 장비에서 촬영 후 DICOM 파일을 전송할 때 추가 경로를 하나 더 지정하여 선량 프로그램과 연동하는 방식을 취하였다. 즉, 장비에서 획득된 DICOM 영상이 이미지 뷰어 시스템에 저장되는 기존 경로와 더불어 선량관리시스템의 에이전트로도 동시 전송되도록 설계하였다. 검사 장비에서 두 개의 경로로 파일 출력이 불가능한 경우에는 이미지 뷰어 시스템, 즉 의료영상전송시스템(picture archiving and communication system)에서 시스템에 에이전트로 출력하도록 설계하였다(그림 3). 전체 시스템 흐름에 대해 이전에 국내에서 개발된 치과영상검사 선량 분석 체계를 참고하였다[12].

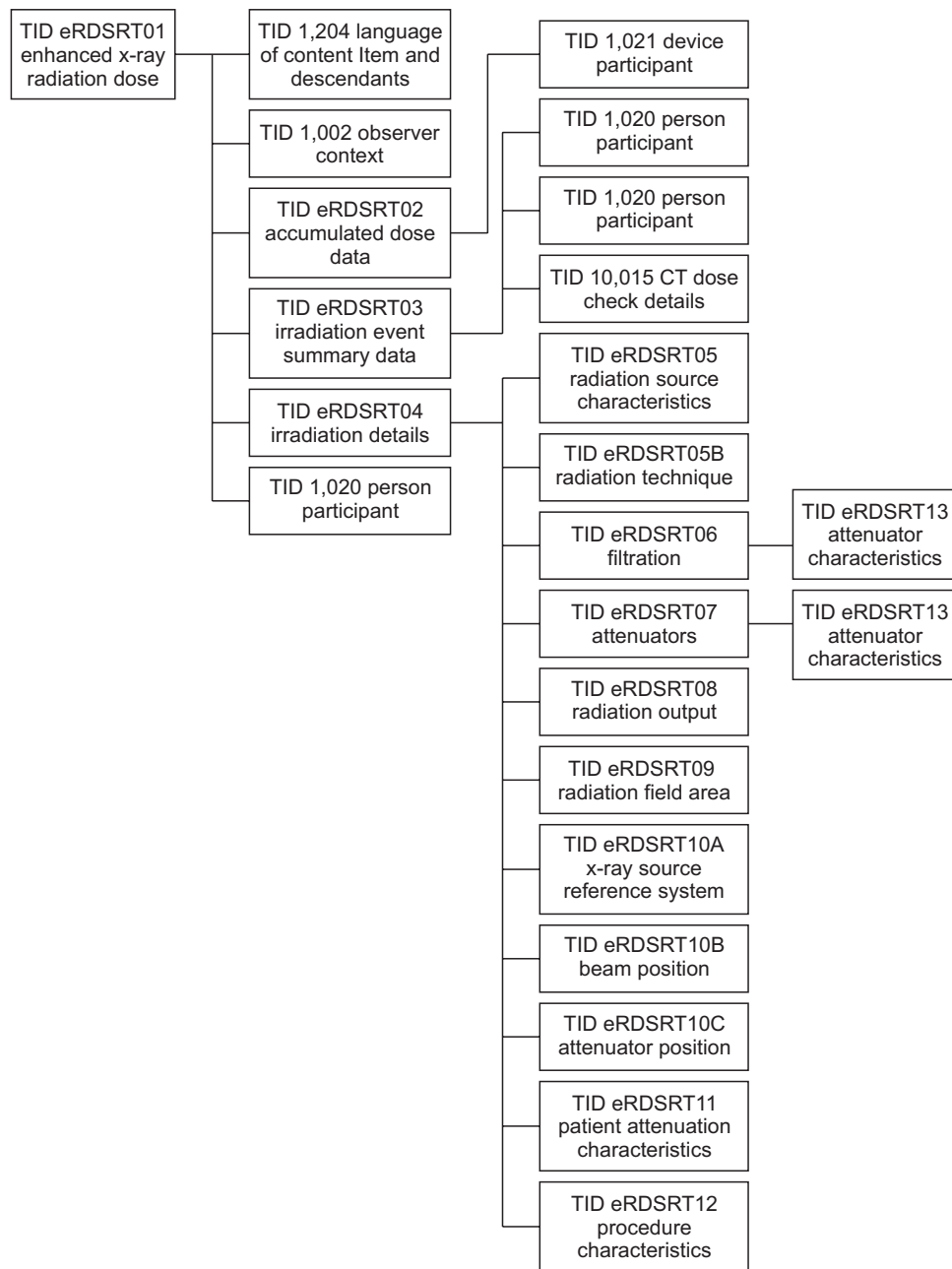
에이전트에서는 선량면적곱 값만 추출되며 완전히 익명화된 선량 데이터만을 서버로 전송한다. 전송된 선량정보를 분석하여 각각의 설계된 검사 코드에 대해 진단참고수준을 제시

할 수 있도록 하였다. 분석된 자료를 기반으로 개별 기관에 해당 검사에 대한 국가진단참고수준과 해당 의료기관에 대한 비교표 및 그래프를 발송하여, 의료기관 스스로 선량 최적화를 시행할 수 있도록 설계하였다.

## 결 과

방사선은 오랜 시간 동안 의료분야에서 사용되면서 그 중요성과 활용 범위가 점차적으로 증대되어 왔다. 이에 미국, 영국이나 일본 등의 선진국에서는 특히 피폭량이 높은 전산화단층촬영 검사에 대해 국가 차원의 서베이를 통한 국가진단참고수준을 제시하고 선량 저감화를 위해 일찍이 노력해 왔다. 국내에서도 질병관리청의 주도하에 의료방사선 저감화를 위한 방사선량 모니터링 체계의 구축이나 방사선검사의 적정성 확보 연구 등 다방면의 노력이 이루어지고 있다. 그동안 치과분야의 영상검사는 비교적 저선량이라는 이유로, 다수의 인구에 광범위하게 시행되고 있으면서도 비교적 엄격한 관리의 대상은 아니었다. 하지만 1990년대에 들어 콘빔 전산화단층촬영의 도입과 사용량의 증대로 인해 치과분야에서도 상당한 피폭량 증가세를 보이고 있어, 더 이상 간과할 수 없는 상황이





**그림 2.** 디지털의료영상표준통신 방사선 선량 구조화 보고서의 콘빔 전산화단층촬영 구조 문서 분석  
Reused from Digital Imaging and Communication in Medicine [13].

다. 이에, 본 연구에서는 치과에서 사용하는 다기종 장비와 모두 연동이 가능한 포괄적 선량 모니터링 체계를 구축하여 여러 치과 병·의원을 실시간으로 모니터링하여 주기적으로 정확한 진단참고수준을 제시할 수 있는 시스템을 마련하고자 하였다.

본 연구에서 제시하고자 한 체계의 경우 기본적으로는

DICOM 규격에 따라 선량을 출력하고 있는 장비를 대상으로 하여 개발된 시스템에서 선량 정보를 수집할 수 있도록 구현하였다. 하지만, 치과분야에서 사용되는 장비는 기종이나 제조사에 따라 아직까지 국제표준인 DICOM 규격에 따르지 않는 경우가 많아 시스템 도입에서 일부 한계점이 있었다. 시스템의 고도화 및 확산을 위해서는 개별 병원 관리자와 제조사

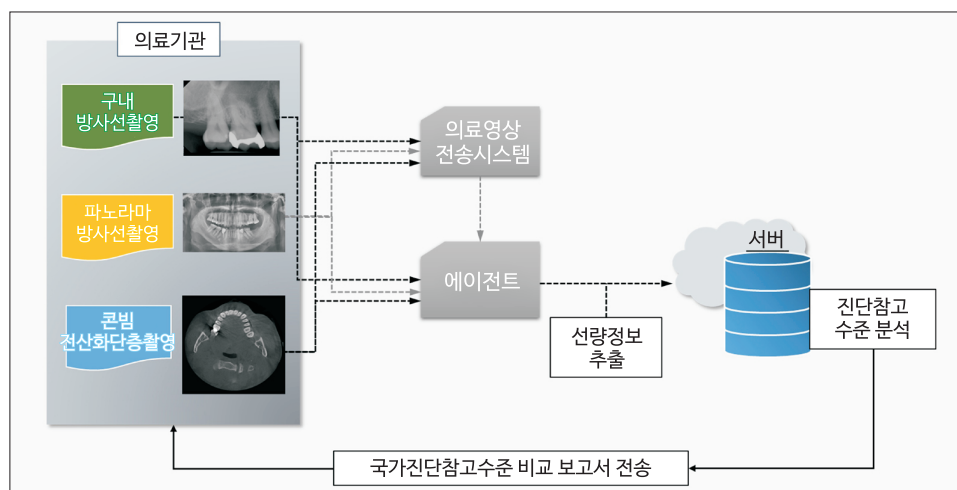


그림 3. 선량관리시스템 디자인 설계 모식도

및 국가 모두의 노력이 필요하다고 생각된다.

특히 치과분야의 경우 의원급의 기관에서도 모두 방사선 장비를 사용하고 있어 세심한 관리가 필요한 실정이다. 하지만 디지털화 되어있지 않은 장비를 사용하는 기관도 상당수로 장비 수준에서 아예 선량정보를 출력하지 않는 경우가 빈번하였다. 특히 콘빔 전산화단층촬영의 경우 기존의 치과 방사선 영상검사보다도 높은 피폭량을 발생하는 장비로서 엄격한 관리의 대상이 되어야 함에도 불구하고 선량정보를 출력하지 않는 장비가 73% 수준에 이른다는 것은 큰 문제점으로 생각된다. 현재 국내 치과 병·의원에서 사용되는 대부분 장비의 제조사가 국산이란 점을 감안한다면, 앞으로 국내 제조사에 대한 지속적인 개도와 홍보만으로도 상당수의 치과분야 장비가 국제표준규격을 준수할 수 있을 것으로 기대된다.

추가적으로 치과 장비 인허가, 설치 및 검사 시 선량 표기 여부 검수 강화에 대한 제도적 보완을 통해 치과장비 선량 관리의 토대를 마련하는 것이 필요하다고 생각된다. 식품의약품 안전처에서는 2011년부터 엑스선 장치의 제어판 등에 방사선량을 표시하도록 의료기기 인허가 기준이 강화되면서 제조사 측에서는 콘빔 전산화단층촬영의 DICOM 정보에 선량면적값의 형태로 선량정보를 출력하기 시작하였다. 하지만 아직도 구내방사선촬영, 파노라마방사선촬영의 경우 방사선 피폭

선량이라는 측면에서는 관리가 미흡한 점이 존재한다. 구내방사선촬영의 경우 검출기와 X선 관구가 별개의 조합으로 구성되어 사용되는 경우가 빈번하며, 이런 경우 어떠한 DICOM 정보도 표시되지 않고 있었다. 물론 구내방사선촬영의 경우 상당히 낮은 선량을 시행되는 검사로서 콘빔 전산화단층촬영에 비해 피폭에 대한 우려가 적지만, 특히 소아에서 빈번히 사용된다는 점과 이 외에도 전 연령에 걸쳐 상당히 주기적으로 적용된다는 점에 있어 선량의 관리를 소홀히 할 수 없다. 이에, 향후 지속적인 안내와 홍보를 통해 선량 정보와 연관된 DICOM 규격의 중요성을 알리는 것이 중요하겠다.

치과분야 영상검사 국가선량관리시스템의 고도화와 확산을 위해서는 다양한 이해관계자들의 의견을 수렴하는 것이 중요하다. 이를 통해 시스템을 지속적으로 발전시키고 보다 효과적으로 확산할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 개별 사용자들은 자가 정도 관리를 통해 방사선량을 저감하는 노력을 기울여야 한다. 이를 위해 국가는 국가진단참고수준을 제시하여 의료기관들이 효과적으로 방사선량을 관리할 수 있도록 지원해야 하겠다. 그러나, 정책적인 지원뿐만 아니라 제도적인 보상과 국가 인증 제도 등의 제도적 장치도 필요한 상황이다. 이러한 제도적 지원을 통해 치과 병·의원들의 자율적 참여를 도모하고 인식을 개선할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 사용

자들의 인식을 개선하기 위해 치과 의사, 방사선사, 치과위생사 등 실질적인 사용자들의 자율적 참여를 지속적으로 독려하여야 하겠다. 따라서, 국가진단참고수준의 정확성과 효과성을 향상시키기 위해 다양한 이해관계자들의 협력과 정부의 지속적인 정책적 지원이 필요하며, 이를 통해 치과분야의 방사선량 저감화가 보다 효과적으로 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

## 논 의

본 연구에서 개발된 국가선량관리시스템은 치과영역에서 사용되는 다중 기기, 구내방사선촬영, 파노라마방사선촬영, 콘빔 전산화단층촬영을 모두 아우르는 체계로서 사용되는 방사선검사의 진단참고수준을 수립하기 위한 중요한 플랫폼 자료로 활용될 것이다. 이 시스템의 추가적인 고도화 및 홍보, 확산 작업을 통해 실제 환자 피폭선량을 기반으로 보다 정밀한 국가선량권고수준을 제시할 수 있을 것으로 예상된다. 국가진단참고수준의 제시를 통해 사용자들은 방사선 최적화를 스스로 시행할 수 있을 뿐만 아니라 국가 수준의 의료방사선 관리 정책에도 참고 자료로 활용할 수 있을 것이다. 이러한 시스템에 기반하여 치과분야에서 지속적인 선량 관리를 위해서는 사용자, 제조사, 그리고 국가 차원에서 치과 의료장비가 의료영상표준을 준수할 수 있도록 적극적인 노력이 필요하겠다.

## Declarations

**Ethics Statement:** Not applicable.

**Funding Source:** This work was supported by the Research Program funded by the Korea Disease Control and Prevention Agency (2023-10-007).

**Acknowledgments:** None.

**Conflict of Interest:** The authors have no conflicts of

interest to declare.

**Author Contributions:** Conceptualization: JHW, JWG, YJM. Data curation: JYL, CNL, JSK, SWY. Formal analysis: JYL, JSK. Funding acquisition: YJM. Investigation: JYL, CNL, JSK, SWY. Methodology: JSK, JWG. Project administration: CNL, JSK, SWY. Resources: JSK. Software: JSK. Supervision: CNL, JSK, SWY. Validation: JHW, JWG, YJM. Visualization: JYL, CNL. Writing – original draft: JYL, CNL. Writing – review & editing: JYL, CNL, JSK, SWY, JHW, JWG, YJM.

## References

1. Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA). Medical equipment by type of care organization (2023) [Internet]. HIRA; 2021 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.do?sno=11924&publDataTpCd=&searchCnd=&searchWrd=%EC%9E%A5%EB%B9%84&pageIndex=1>
2. Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA). Medical equipment by type of care organization (2018~2021) [Internet]. HIRA; 2021 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.do?sno=11924&publDataTpCd=&searchCnd=&searchWrd=%EC%9E%A5%EB%B9%84&pageIndex=1>
3. Deman P, Atwal P, Duzenli C, Thakur Y, Ford NL. Dose measurements for dental cone-beam CT: a comparison with MSCT and panoramic imaging. *Phys Med Biol* 2014; 59:3201-22.
4. European Commission, Directorate-General for Energy. Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology – evidence-based guidelines. Publications Office; 2012.
5. Min YJ, Park KJ, Yang SJ, et al. Diagnostic Reference Level Guidelines Dental Imaging (intraoral, panoramic, CBCT) [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2024 [cited 2024 Apr 8]. Available from: <https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20305050000&bid=0003>
6. U.S Food and Drug Administration (FDA). Nationwide Evaluation of X-Ray Trends (NEXT) [Internet]. FDA; 2018



- [cited 2024 Apr 8]. Available from: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/radiation-safety/nationwide-evaluation-x-ray-trends-next>
7. UK Health Security Agency (UKHSA). National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) from 13 October 2022 [Internet]. UKHSA; 2022 [cited 2024 Apr 8]. Available from: <https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/ndrl>
  8. Japan Network for Research and Information on Medical Exposure (J-RIME). National Diagnostic Reference Levels in Japan [Internet]. J-RIME; 2020 [cited 2024 Apr 8]. Available from: [https://j-rime.qst.go.jp/report/DRL2020\\_Engver.pdf](https://j-rime.qst.go.jp/report/DRL2020_Engver.pdf)
  9. Kim JS, Kwon SM, Cho PK, et al. Policy planning for patient dose registry system for computed tomography examination. *Public Health Weekly Report* 2022;15:1057-68.
  10. Brasil DM, Merken K, Binst J, Bosmans H, Haiter-Neto F, Jacobs R. Monitoring cone-beam CT radiation dose levels in a University Hospital. *Dentomaxillofac Radiol* 2023;52:20220213.
  11. Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA). Medical equipment by type of care organization (2021) [Internet]. HIRA; 2021 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.do?sno=11924&publDataTpCd=&searchCnd=&searchWrd=%EC%9E%A5%EB%B9%84&pageIndex=1>
  12. Lee C, Lee SS, Kim JE, et al. A dose monitoring system for dental radiography. *Imaging Sci Dent* 2016;46:103-8.
  13. Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM). Supplement 214: Cone Beam CT RDSR [Internet]. DICOM; 2021 [cited 2024 Apr 10] Available from: <https://www.dicomstandard.org/news-dir/progress/docs/sups/sup214-slides.pdf>

# Study to Establish a National Dose Management System for Dental Imaging Examinations

Ji Yun Lee<sup>1</sup>, Jung Su Kim<sup>2</sup>, Sang Wook Yoon<sup>3</sup>, You Jeong Min<sup>4</sup>, Jong Won Gil<sup>4</sup>, Jong Hun Won<sup>4</sup>, Chena Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Yonsei University College of Dentistry, Seoul, Korea, <sup>2</sup>Department of Radiological Technology, Daegu Health University, Daegu, Korea, <sup>3</sup>Department of Diagnostic Radiology, CHA Bundang Medical Center, CHA University, Seongnam, Korea, <sup>4</sup>Division of Medical Radiation and Health Management, Department of Health Hazard Response, Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea

## ABSTRACT

With the rapid advancements in x-ray technology in the medical field, the use of diagnostic radiation has been increasing. Consequently, concerns about radiation exposure have been increasing since its introduction. In dentistry, radiation exposure during imaging examinations is relatively low, and a high frequency of these procedures, particularly the extensive use of dental cone-beam computed tomography (CBCT), has amplified concerns among users and the general public. This highlights the need for a dose management system tailored to dental x-ray equipment. This study aimed to establish such a system nationwide for dental imaging. Therefore, the structures of the intraoral radiography, panoramic radiography and CBCT systems were analyzed, and a comprehensive data collection plan was formulated. Using this groundwork, the national dose management system was created and tested through a pilot operation. To continue expanding and improving the system, feedback from experts in the field should be incorporated.

**Key words:** Dentistry; Intraoral radiography; Panoramic radiography; Cone-beam computed tomography; National dose management System

\*Corresponding author: Chena Lee, Tel: +82-2-2228-3124, E-mail: chenalee@yuhs.ac

## Introduction

Radiography is essential for precise diagnosis and treatment. However, given the inherent risk of radiation exposure, medical radiography should be conducted with utmost care to minimize radiation levels while preserving patient benefits. To address this, global initiatives have centered on analyzing and implementing the national diagnostic reference level (DRL). DRL represents the third and fourth-quartile values derived

from a comprehensive national survey of radiation levels utilized in hospitals for specific examinations. The dose-area-product (DAP; unit: mGy · cm<sup>2</sup>) serves as the dose metric.

The primary objective of DRL is to empower healthcare providers to optimize radiography procedures and consequently reduce overall medical radiation exposure at a national level. By comparing their dose levels to DRL, medical institutions can evaluate the effectiveness of radiation protection measures and image quality. This enables them to refine radiography

## Key messages

### ① What is known previously?

Radiation exposure in dentistry affects a large population across all ages, with cone-beam computed tomography (CBCT) contributing significantly. Efforts to reduce medical radiation include research on radiological exam appropriateness and the introduction of diagnostic reference levels.

### ② What new information is presented?

By 2023, 44,985 dental vices were available in the Republic of Korea. All dental radiology equipment must output dose-area-product (DAP) values; however, only approximately 27% of the CBCT equipment output DAP values.

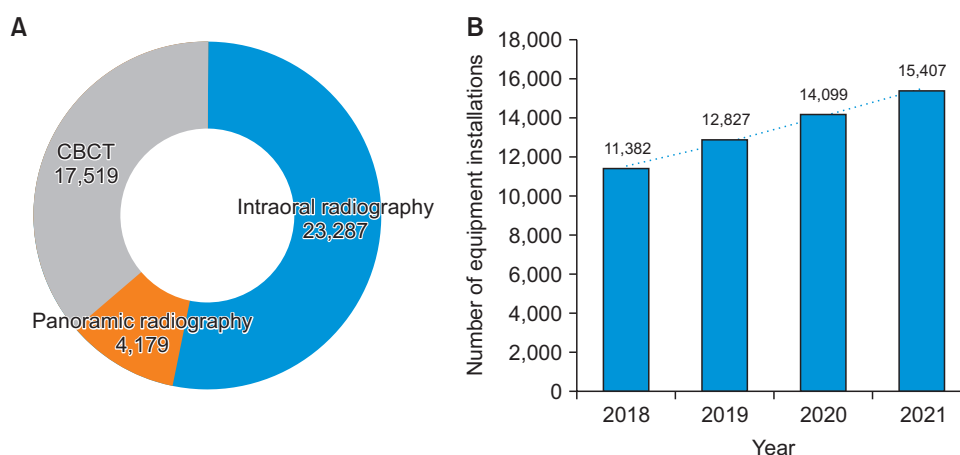
### ③ What are implications?

The national dose management system in dentistry provides foundational data for establishing diagnostic reference levels. Continuous dose management requires active efforts from users, manufacturers, and the government to ensure that dental equipment meets imaging standards.

protocol accordingly.

In the field of dentistry, the utilization of cone-beam computed tomography (CBCT) has proliferated since its introduction in the 1990s. Correspondingly, concerns and interest regarding dental radiation have intensified. According to the Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA), CBCT availability has increased by approximately 53% over the past 5 years, with more than half of dental hospitals and clinics currently employing CBCT (Figure 1) [1,2].

Conventional dental radiography, while frequently administered to patients of all ages, involves relatively low radiation doses. Conversely, CBCT utilizes significantly higher radiation levels [3]. Similar to other dental examinations, CBCT scans are utilized regularly for treatment, diagnosis, and surgical planning [4]. Consequently, the widespread adoption of CBCT is considered a primary factor in the increasing exposure to dental radiation. As CBCT use has grown and public awareness of radiation risks has heightened, effective patient education and radiation management have become crucial in dentistry. While many dental providers express concerns about



**Figure 1.** The current state of radiographic equipment in the dental field in the Republic of Korea

(A) Number of dental radiology equipment installations (Reused from Health Insurance Review and Assessment Service [1]). (B) Status of introduction of cone-beam computed tomography (CBCT) equipment in the Republic of Korea (Reused from Health Insurance Review and Assessment Service [2]).

CBCT radiation exposure, precise radiation levels from their equipment are often uncertain. Therefore, optimizing radiography through regular analysis and the establishment of DRLs is essential in dental practice.

Several countries, including the United States, the United Kingdom, Japan, and Republic of Korea (ROK), have implemented DRLs for dental radiography (Table 1) [5-8]. ROK initiated a five-year DRL cycle in 2004 to reduce radiation exposure; however, compared to European nations with stricter radiation protection regulations, significant opportunities remain for dose reduction in Korean dental radiography. Establishing DRLs requires considering the geographical distribution of dental clinics, with on-site visits to selected dental hospitals for data collection. In ROK, CBCT DRLs are currently based on maxillary implant procedures [5], while other countries often rely on on-site or questionnaire surveys. To enhance DRL reliability, a broader inclusion of dental clinics and a comprehensive examination of various protocols is necessary, although practical limitations exist.

The American College of Radiology operates the Dose Index Registry to optimize radiation doses for multi-slice CT examinations. Directly linked to testing equipment or compatible with dose management programs, the registry calculates DRLs for CT, enabling institutions to compare their dose levels to national or regional benchmarks [9]. This overcomes challenges associated with large-scale on-site surveys.

A growing awareness of automated dose collection systems has led to recent instances of monitoring radiation exposure through CBCT equipment linked with commercial dose programs [10]. Notably, ROK's CBCT equipment now surpasses the number of installed multi-slice CT units [11], necessitating robust national dose management. Implementing an automated system for dose information management would facilitate the accurate collection and management of large-scale dose data. This policy study aims to adapt the existing CT system for dentistry and introduce a national dose management system for dental radiography.

## Methods

### 1. Status of Dental Radiation Equipment Installed in the Republic of Korea

A 2023 investigation based on Korean Statistical Information Service data assessed dental equipment status across ROK. Of the 44,985 identified operational equipments, approximately 38% (n=17,519) were CBCT units, while panoramic radiography accounted for approximately 9% (n=4,179). The lower number of panoramic systems reflects the increasing prevalence of combined panoramic and CBCT units, categorized as CBCT equipment. Notably, less than approximately 27% of CBCT units provided dose information in DAP format.

**Table 1.** Comparison of national diagnostic reference levels by country

Type of examination		Korea (2019) [5]	United States (2019) [6]	United Kingdom (2019) [7]	Japen (2020) [8]
Panoramic radiography	Adult	227	123	81	134
	Child	163-175	67	60	-
CBCT	Adult	2,060	727	265	1,960
	Child	1,208	624	169	-

Unit: mGy·cm<sup>2</sup>. CBCT=cone-beam computed tomography.

Medical images are standardized in digital image and communications in medicine (DICOM) format, encompassing image data, patient information, equipment details, examination date, institution, and radiation exposure conditions. While the DICOM standard mandates DAP output for all dental radiography equipment, ROK's adoption of DAP-capable models is relatively recent.

## 2. Characterization by Radiography Equipment and Examination Site and Code Design

To establish a national dose management system for dental radiography, we analyzed the characteristics of individual radiographic equipment to create a system accommodating diverse equipment types [12]. Unlike panoramic and CBCT units, intraoral radiography often involves independent radiation generators and image receptors. Thus, a system capable of handling such configurations was essential. We focused on developing a comprehensive data accumulation method to capture dose data from individual equipment within each hospital.

To characterize examinations, we aligned the examination prescription information system with HIRA codes. We analyzed the relationship between exposure dose and individual codes within each equipment type. While some order codes differentiated exposure levels (e.g., temporomandibular joint and maxillary sinus panoramic radiography), HIRA codes and doses for intraoral radiography and CBCT were largely unrelated. CBCT, a dose contributor, was primarily differentiated by three-dimensional volume reconstruction codes. Consequently, a new coding system was necessary.

Given the minimal radiation exposure variations among individual teeth and the potential increase in system complexity, intraoral radiography was classified based on imaging technique (periapical and bite-wing) rather than dental formula. For CBCT, a new code system was devised with a primary emphasis on field-of-view and examination sites, as these factors significantly influenced dose. The proposed five-digit code structure encompassed the type of examination (first digit), major (second digit) and subcategory (third digit)

**Table 2.** A coding system for dental radiology doses by examination type and prescription

First		Second		Third		Fourth	Fifth	
Type of examination		Prescription name large classification		Prescription name minor classification		Serial number	Age group	
I	Intraoral radiography	1	Bitewing	0	-	Random serial	A	Adult
		2	Periapical view					
		3	Tube-shift					
		4	Occlusal					
P	Panoramic radiography	1	General mode	0	-		C	Child
		2	Special mode					
C	CBCT	1	Large (~15×15 cm)	1	Facial, TMJ			
				2	Maxilla			
				3	Mandible			
		2	Medium (~10×10 cm)	4	Panoramic, jaw			
				5	Implant			
				6	Tooth, endo			

CBCT=cone-beam computed tomography; TMJ=temporomandibular joint.

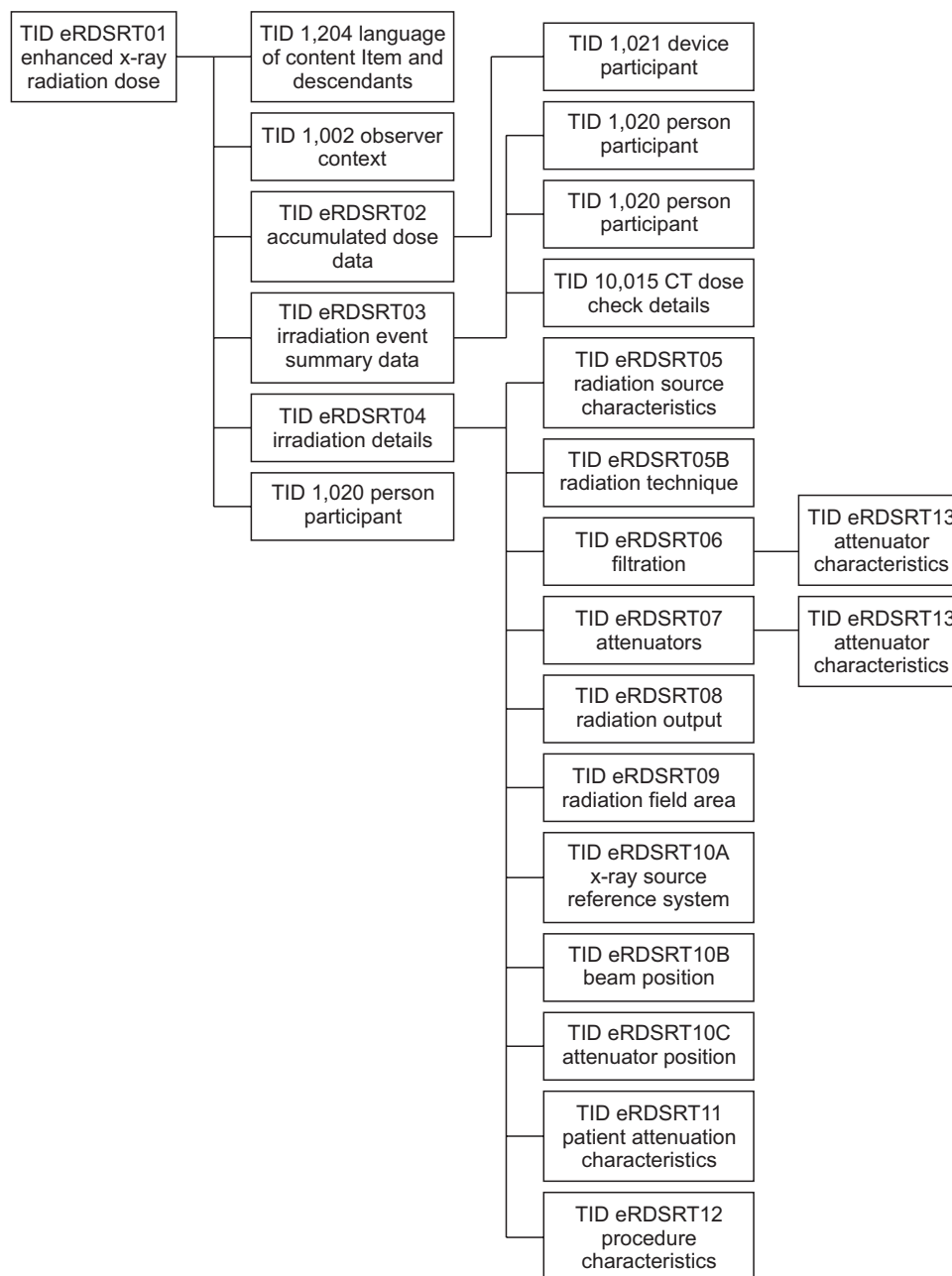


of prescription, arbitrary serial number (fourth digit), and age (fifth digit) (Table 2).

### 3. System Design

According to the DICOM standard, dental radiographs,

encompassing intraoral radiography, panoramic radiography, and CBCT image files, must be capable of generating a radiation dose structured report (RDSR) (Figure 2) [13]. While CBCT, a relatively recent technology, initially lacked RDSR output capabilities, the implementation of stricter regulations



**Figure 2.** Analyze cone-beam computed tomography (CBCT) structure documentation in digital image and communications in medicine radiation dose structuring reports (RDSR)  
Reused from Digital Imaging and Communication in Medicine [13].

in 2011 mandated that CBCT equipment manufactured thereafter include dose value (DAP) in the DICOM header.

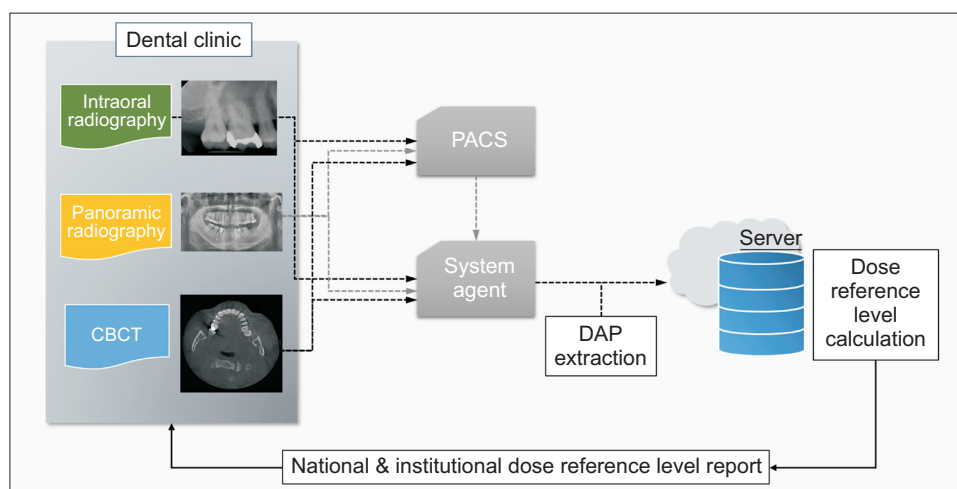
To accommodate these equipment variations, the system design incorporated a dual-path approach. DICOM files were simultaneously transmitted to both the image viewer system and the dose management system agent upon image acquisition. In instances where dual-path output was infeasible the image viewer system (picture archiving and communication system) served as the intermediary for file transmission to the agent (Figure 3). This system architecture was informed by a previously developed dental radiography dose analysis system in the ROK [12].

The dose management system extracted only dose values from the agent, transmitting fully anonymized data to the server. Subsequent analysis of this data enabled the circulation of DRLs for each defined examination code. The system was configured to deliver comparative tables, graphs, and relevant DRLs to individual medical institutions, empowering them to independently optimize dose levels.

## Results

Radiation has been a cornerstone of medical treatment for an extended period, with its significance and application steadily expanding. Advanced nations such as the United States, the United Kingdom, and Japan have been proactive in radiation reduction, implementing DRLs based on comprehensive national surveys of high-radiation CT examinations. In ROK, the Korea Disease Control and Prevention Agency has spearheaded multifaceted initiatives to reduce medical radiation, including a radiation dose management system and research on radiological examination appropriateness.

Historically, dental radiography, despite its widespread use across diverse populations, has received less stringent regulatory attention due to relatively low radiation doses. However, the advent of CBCT in the 1990s and its subsequent proliferation have led to a substantial increase in dental radiation exposure, necessitating focused attention. This study aimed to develop a comprehensive radiation dose management system capable of integrating various dental equipment, enabling real-time surveillance of dental hospitals and clinics, and facilitating the



**Figure 3.** A schematic of a dose management system design

CBCT=cone-beam computed tomography; PACS=picture archiving and communication system; DAP=dose-area-product.

regular generation of accurate DRLs.

The proposed system was designed to collect dose data from equipment compliant with DICOM standard. Nevertheless, a substantial portion of dental equipment, varying by manufacturer and model, deviates from DICOM standards, hindering full system implementation. Collaborative efforts involving hospital administrators, manufacturers, and government agencies are essential to address these limitations and promote system upgrades and expansion.

Given the ubiquitous use of radiation equipment, even at the clinic level, prudent management is essential in dentistry. The prevalence of non-digital equipment in many facilities further complicates matters, as dose information is often unavailable at the equipment level. CBCT, in particular, demands stringent management due to its higher radiation exposure than conventional dental radiography. Despite this, the fact that 73% of CBCT equipment does not output dose information is a critical issue. Considering the predominance of domestically manufactured equipment in Korean dental clinics, targeted efforts to align domestic production with international standards and specifications can significantly improve the situation.

A systematic approach to upgrading dental equipment radiation dose management is necessary, including stricter inspections for radiation dose labeling during equipment licensing, installation, and examinations. While progress has been made with the 2011 mandate for radiation dose information on x-ray control panels by the Ministry of Food and Drug Safety, and subsequent DAP output in CBCT DICOM information, challenges persist in managing radiation exposure for intraoral and panoramic radiography. The separate combination of detectors and x-ray tubes in intraoral radiography often

precludes DICOM information generation. Although intraoral radiography involves relatively low radiation doses, its widespread use, especially in pediatric and general populations, necessitates careful dose management. Continuous education and promotion of DICOM specifications related to dose information are crucial.

Effective implementation of a national dental radiography dose management system requires input from various stakeholders. Ongoing system upgrades and expansion can be facilitated through collaborative efforts. Additionally, individual facilities can contribute to dose reduction through in-house quality control measures. Government support, including the provision of DRLs, is essential for assisting hospitals in effective dose management. Institutional incentives such as rewards and certification programs can encourage voluntary participation among dental hospitals and clinics, fostering a culture of radiation safety. Ultimately, widespread engagement from dentists, radiologists, and dental hygienists is crucial for enhancing awareness and driving system improvement. Through concerted efforts from all stakeholders and sustained government support, significant progress can be made in reducing dental radiation exposure.

## Discussion

The developed national dose management system comprehensively integrates all dental equipment, including multi-devices, intraoral radiography, panoramic radiography, and CBCT, serving as a foundational platform for establishing dental radiography DRLs. Ongoing system upgrades, promotion, and expansion are anticipated to yield more precise DRLs based on actual patient radiation exposure. DRLs empower

users to independently optimize radiation practices while informing national medical radiation management policies. To sustain this system, collaborative efforts among users, manufacturers, and the government are essential to ensure dental medical equipment adherence to medical imaging standards.

## Declarations

**Ethics Statement:** Not applicable.

**Funding Source:** This work was supported by the Research Program funded by the Korea Disease Control and Prevention Agency (2023-10-007).

**Acknowledgments:** None.

**Conflict of Interest:** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Author Contributions:** Conceptualization: JHW, JWG, YJM. Data curation: JYL, CNL, JSK, SWY. Formal analysis: JYL, JSK. Funding acquisition: YJM. Investigation: JYL, CNL, JSK, SWY. Methodology: JSK, JWG. Project administration: CNL, JSK, SWY. Resources: JSK. Software: JSK. Supervision: CNL, JSK, SWY. Validation: JHW, JWG, YJM. Visualization: JYL, CNL. Writing – original draft: JYL, CNL. Writing – review & editing: JYL, CNL, JSK, SWY, JHW, JWG, YJM.

## References

1. Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA). Medical equipment by type of care organization (2023) [Internet]. HIRA; 2021 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.do?sno=11924&publDataTpCd=&searchCnd=&searchWrd=%EC%9E%A5%EB%B9%84&pageIndex=1>
2. Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA). Medical equipment by type of care organization (2018~2021) [Internet]. HIRA; 2021 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.do?sno=11924&publDataTpCd=&searchCnd=&searchWrd=%EC%9E%A5%EB%B9%84&pageIndex=1>
3. Deman P, Atwal P, Duzenli C, Thakur Y, Ford NL. Dose measurements for dental cone-beam CT: a comparison with MSCT and panoramic imaging. *Phys Med Biol* 2014; 59:3201-22.
4. European Commission, Directorate-General for Energy. Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology – evidence-based guidelines. Publications Office; 2012.
5. Min YJ, Park KJ, Yang SJ, et al. Diagnostic Reference Level Guidelines Dental Imaging (intraoral, panoramic, CBCT) [Internet]. Korea Disease Control and Prevention Agency; 2024 [cited 2024 Apr 8]. Available from: <https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20305050000&bid=0003>
6. U.S Food and Drug Administration (FDA). Nationwide Evaluation of X-Ray Trends (NEXT) [Internet]. FDA; 2018 [cited 2024 Apr 8]. Available from: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/radiation-safety/nationwide-evaluation-x-ray-trends-next>
7. UK Health Security Agency (UKHSA). National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) from 13 October 2022 [Internet]. UKHSA; 2022 [cited 2024 Apr 8]. Available from: <https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/ndrl>
8. Japan Network for Research and Information on Medical Exposure (J-RIME). National Diagnostic Reference Levels in Japan [Internet]. J-RIME; 2020 [cited 2024 Apr 8]. Available from: [https://j-rime.qst.go.jp/report/DRL2020\\_Engver.pdf](https://j-rime.qst.go.jp/report/DRL2020_Engver.pdf)
9. Kim JS, Kwon SM, Cho PK, et al. Policy planning for patient dose registry system for computed tomography examination. *Public Health Weekly Report* 2022;15:1057-68.
10. Brasil DM, Merken K, Binst J, Bosmans H, Haiter-Neto F, Jacobs R. Monitoring cone-beam CT radiation dose levels in a University Hospital. *Dentomaxillofac Radiol* 2023;52: 20220213.
11. Health Insurance Review and Assessment Service (HIRA). Medical equipment by type of care organization (2021) [Internet]. HIRA; 2021 [cited 2024 Apr 30]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/selectOpenData.do?sno=11924&publDataTpCd=&searchCnd=&searchWrd=%EC%9E%A5%EB%B9%84&pageIndex=1>
12. Lee C, Lee SS, Kim JE, et al. A dose monitoring system for

dental radiography. *Imaging Sci Dent* 2016;46:103-8.

13. Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM). Supplement 214: Cone Beam CT RDSR [Inter-

net]. DICOM; 2021 [cited 2024 Apr 10] Available from: <https://www.dicomstandard.org/news-dir/progress/docs/sups/sup214-slides.pdf>