

치과용 세라믹 재료의 전 β 방사능 준위

김성환^{1*}, 정현자²

¹청주대학교 방사선학과, ¹대구보건대학 치위생과

Gross- β Level in Dental Ceramic Materials

Sunghwan Kim^{1*} and Hyun-ja Jeong²

¹Department of Radiological Science, Cheongju University

²Department of Dental Hygiene, Daegu Health College

요 약 치과 진료에 사용되는 세라믹 재료들은 고유존재비에 따라 자연방사성 핵종을 포함하고 있다. 이 방사성 핵종들은 치과 진료를 통하여 세라믹 재료들이 인체에 시술됨에 따라 구강 내에서 내부 방사선 피폭을 일으키게 된다. 본 연구에서는 치과재료 속에 포함된 방사성 핵종에 의해 인체에 영향을 미칠 수 있는 영향을 평가하기 위하여 치과 재료용으로 흔히 사용되는 22종류의 세라믹 재료와 1종류의 temporary resin 및 2종류의 glass ionomer cement에 대하여 전 β 방사능을 측정하였다. 측정 결과 치과 세라믹 재료의 전 β 방사능은 1.317 ~ 2.935 Bq/g 이었으며, 세라믹 재료 평균 전 β 방사능 농도는 2.379 Bq/g이었다. 세라믹 재료 중 전 β 방사능이 가장 높은 것은 opacious dentine의 code OD-A4로 2.935 Bq/g이었다. Dentine, opacious dentine, translucent 및 enamel의 평균 전 β 방사능은 각각 2.479 Bq/g, 2.491 Bq/g, 2.470 Bq/g 및 2.069 Bq/g 이었다. Temporary resin과 glass ionomer cement의 전 β 방사능 농도는 세라믹 재료에 비하여 측정오차범위 내의 무시할 만한 값이었으며, 전 β 방사능의 준위에 가장 많은 영향을 미치는 방사선동위원소는 40K으로 판단된다. 치과 재료의 방사선 준위에 추가적인 조사와 치과용 재료 내의 방사능 준위를 줄이기 위하여 이에 대한 기준이나 개선방안이 필요할 것으로 사료된다.

Abstract In all of dental ceramics, these materials contained the radio-isotopes with natural abundance ratio. After dental treatment, remained dental ceramics in the oral cavity is caused for human internal dose. In this study, the gross beta activity levels were measured in dental materials including 22 dental ceramics, 1 resin, and 2 cements for estimation of human internal dose. In dental ceramic samples, the obtained results showed that the gross beta activity level varied between 1.317~2.935 Bq/g and the gross beta activity level was 2.379 Bq/g. And the same level for dentine, opacious dentine, translucent and enamel were 2.479 Bq/g, 2.491 Bq/g, 2.470 Bq/g and 2.069 Bq/g, respectively. The gross beta activity level of temporary resin and cements were negligible, compare to the same level of dental ceramics. The high gross beta activity level observed in opacious dentine code OD-A4 is 2.935 Bq/g thus mainly ascribable to 40K. The reduction of the radiation level of natural radio-isotopes and the improvement of the dental ceramic materials should be required for internal dose reduction.

Key Words : Gross- β , Radioactivity, Dental ceramic

1. 서론

치과용 세라믹은 심미성이 우수하고, 구강액에 불용성이며, 소성가공 후 크기 안정성이 우수할 뿐만 아니라 연조직에 대한 친화성이 좋고, 내마모성이 높아 수복 치과 분야에서 많이 사용되고 있다. 주로 알루미늄 강화 세라

믹 또는 지르코니아 세라믹에 사용되는 코아용 세라믹, 내부 금속의 금속색을 차단하기 위하여 사용되는 불투명 세라믹, 크라운의 대부분을 형성하는 상아질 세라믹, 최외층에 사용되는 보다 투명한 세라믹인 법랑질 세라믹으로 분류한다[1]. 치과용 세라믹을 보다 자연스러운 치아 수복물로 사용하기 위하여 여러 연구가 수행되어 오고

*교신저자 : 김성환(kimsh@cju.ac.kr)

접수일 10년 11월 08일

수정일 (1차 10년 11월 22일, 2차 10년 12월 02일)

계재확정일 10년 12월 17일

있다[2,3]. 1900년 초부터 1980년 초까지 일부 치과재료에 특정 색상을 얻기 위하여 천연 우라늄이 첨가되기도 하였으나[4], 천연 우라늄에는 자연 방사성 핵종에 의한 방사선 방출이 존재하기 때문에 비방사성물질로 구성된 치아용 자기(dental porcelain)이 연구되어 왔으며[5,6], 현재는 Silica 계열의 산화물을 주성분으로 한 재료들이 흔히 사용되고 있다.

자연 환경에 자연적 또는 인위적으로 존재하는 모든 물질들은 각 원소의 고유 존재비에 따라 방사성동위원소가 존재하고 있으며, 사람은 항상 주위 환경으로부터 체내 및 체외 방사선 피폭을 받고 있다. 체외 피폭은 거리를 멀리 하거나, 방사선 차폐체를 이용하여 방사선 선원을 차폐함으로써 인체 피폭선량을 방지 또는 감소시킬 수 있지만, 체내 피폭은 일단 인체 내부로 방사선 선원이 들어오게 되면 피폭선량을 감소시키기가 매우 어렵다. 과거에 사용된 우라늄을 첨가한 치과 재료에 비하여 현재 주로 사용되고 있는 치과재료의 방사능 농도가 그다지 높지 않다고 하더라도 여전히 치과 재료용 세라믹 재료들 또한 자연에 존재하는 물질로서 자연 방사성 핵종을 포함하고 있기 때문에 치과 시술 후 구강 내에서 내부 피폭을 일으키게 된다. 따라서 이들 재료의 방사선에 의한 영향을 조사하기 위하여 여러 가지 연구가 수행되고 있으며, 또한 이들 재료에 의한 인체의 피폭선량 평가 및 인체에 미치는 영향에 대한 연구가 수행 되고 있다[7-9].

본 연구에서는 국내 치과에서 치과용 세라믹 재료로 흔히 사용되고 있는 22종류의 porcelain crown과 1종류의 resin 및 2종류의 cement에 대하여 재료 속에 포함된 자연 방사성 핵종에 의한 전β 방사선을 측정하여 그 농도를 평가하였다. 아울러 전β 방사선 농도에 가장 많이 기여하는 방사성 핵종을 규명하였다.

2. 본론

2.1 이론

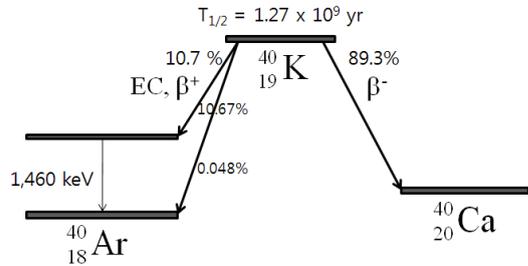
현재 흔히 사용되는 치과용 자기는 주로 SiO₂, Al₂O₃, K₂O, B₂O₃ 등의 산화물로 구성되어 있으며, 제조회사에 따라 차이가 있지만 구성 질량비가 각각 46%, 16%, 10% 및 7% 정도이다[7]. 나머지 성분은 F, Fe, 미량의 각종 희토류원소들로 구성되어 있다. 그 중에서 치과재료에 포함된 방사능은 K의 동위원소인 ⁴⁰K에 의한 영향이 가장 많다. ⁴⁰K은 자연계에 존재하는 K 원소 중 0.0117%의 존재비를 가진 방사성 동위원소로 반감기가 약 1.27 × 10⁹ 년이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 ⁴⁰K은 89.3%가 β 붕괴

를 통하여 ⁴⁰Ca로 변환되며, 10.7%가 EC (electron capture) 및 β⁺ 붕괴를 통하여 ⁴⁰Ar으로 변환되는 우리 주위 환경에 가장 흔히 존재하고 있는 자연 방사성 핵종이다. 표 1은 ⁴⁰K의 주요 방사성 특성을 보여주고 있으며, 표 1에서 보는 바와 같이 β선의 최대 에너지는 약 520 keV이다.

[표 1] ⁴⁰K 방사성동위원소의 특성

원소	반감기 (yr)	자연 존재비 (%)	비방사능 (μCi/g)	붕괴 형태	Radiation Energy (MeV)		
					α	β	γ
⁴⁰ K	1.27×10 ⁹	0.012	7.1	β, EC	-	0.52	0.16

EC: electron capture



[그림 1] ⁴⁰K 방사능 붕괴도

2.2 실험장치 및 시료 제작

그림 2는 본 연구에서 전β를 측정하기 위하여 사용한 가스(Ar 90%, 메탄10%) 검출기를 장착한 전β 측정시스템(Tennelec XLB, Canberra Inc.)이며, 작동 전압은 1,540V이었다. 모든 시료는 2인치 스테인레스 용기에 담겨 측정되어진다.



[그림 2] 전β 측정 시스템 (Tennelec XLB, Canberra Inc.)

[표 2] 실험에 사용된 치과용 재료들의 특성

Typology	Code	Use	Form
Porcelain crowns	A2D	dentine	powder
	E2	enamel	powder
	T-O opal	translucent	powder
	DA2	opacious dentine	powder
	Extra light	translucent	powder
	Extra light	translucent	powder
	A1	dentine	powder
	A2	dentine	powder
	A4B	dentine	powder
	59	dentine	powder
	T	translucent	powder
	B2O	opacious dentine	powder
	OD-A4	opacious dentine	powder
	EN2	enamel	powder
	D-A2	dentine	powder
	T4	translucent	powder
	ODA2	opacious dentine	powder
	A2O	paste opaque	paste
	59	translucent	powder
	medium	translucent	powder
A3O	opacious dentine	powder	
A3D	dentine	powder	
Temporary resin crown	Trim+	resin	powder
Light cured composite cement	A2	LC cement	powder
Glass ionomer cement	A3	GP cement	powder

표 2는 본 실험에서 조사한 총 25 종류의 치과용 재료의 특성에 대하여 나타내고 있다. Porcelain crown 재료 중 2종류의 enamel, 7종류의 translucent, 7종류의 dentine, 5종류의 opacious dentine, 1종류의 paste opaque를 선정하였다. 임시치관 제작용 temporary resin은 1종류, 치과용 보철 접착제(Luting agent)중 산에 용해되는 불화알루미늄규산화칼슘 유리로서 그 조성이 규산 시멘트 분말과 유사한 glass ionomer cement 재료 중 LC(light cement), GC (glass ionomer cement)를 2종류 선정하여 전β 방사능을 측정하였다.

선정된 치료용 재료는 전β 방사능 측정시 자체 흡수를 방지하기 위하여 각 재료를 분쇄한 후 고운 체(#200)를 이용하여 입자 크기가 75 μm 이하인 입자만 선별하였다. 선별된 각 시료를 100 mg씩 정량하여 스테인레스 용기(planchet)에 역시 자체흡수를 최소화하기 위하여 가능한 얇게 펼쳐 전β 방사능 측정용 샘플을 그림 3과 같이 준비하였다.



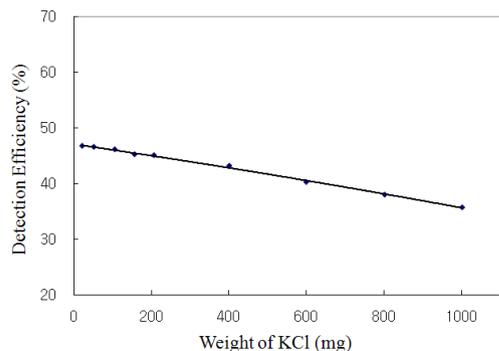
[그림 3] 전β 측정용 치과용 세라믹 샘플

2.3 통계분석

모든 자료는 SPSS ver. 17.0 프로그램을 사용하여 분석하였다. 치과용 세라믹 재료의 전β 방사능 측정값은 정규성을 만족하였으므로 일원배치분산분석법을 사용하여 분석하였고, 유의한 차이가 있을 경우, Tukey검정법을 사용하여 사후분석하였으며, 유의성 판정은 $p < 0.05$ 로 규정하였다.

2.4 실험결과

그림 4는 측정 시스템의 검출효율 교정곡선이다. KCl의 질량을 21.2~1,001.6 mg까지 변화하면서 방사능 농도가 다른 KCl 표준 선원을 제작하고, 전β 측정시스템을 이용하여 KCl의 질량에 따라 제작한 표준 선원에 대하여 전β 방사능 검출효율 교정곡선을 측정하였다. 이때 표준 선원의 시료 측정 시간은 600 s, 백그라운드 측정 시간은 600 s로 설정하였으며, KCl의 질량이 21.2 mg일 때 검출효율은 46.7%이었고, KCl의 질량이 1,001.6 mg 일 때 검출효율은 35.7%이었으며 방사능에 따른 표준 교정 곡선을 구할 수 있었다[그림 4].



[그림 4] 전β 측정 시스템의 검출 효율 교정 곡선

선정된 치과 재료용 세라믹에 대한 전β 방사능 측정 조건은 시료 측정 시간으로 1,800 s, 3회 실시하였으며, 백그라운드 측정 시간 역시 1,800 s로 3회 설정하였다. 측

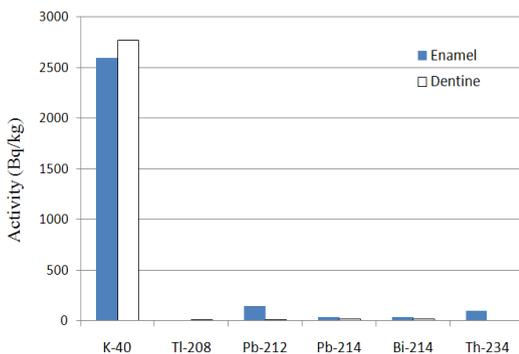
정시간이 길어질수록 측정 결과의 통계적 오차는 감소한다. 따라서 표준선원에 비하여 시료의 방사능 농도가 낮기 때문에 계측시간을 6배 이상 길게 하였다. 시료에 대하여 측정된 값은 표준 선원에 대한 검출 효율교정곡선으로 보정한 후 단위 질량당 방사능 농도로 변화하였다. 측정된 시료의 계수율에서 백그라운드 계수율을 빼서 아래와 참계수율과 표준 편차를 구하였다.

$$N \pm \Delta N = \left(\frac{N_t}{T_t} - \frac{N_b}{T_b} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{N_t}{T_t} \right)^2 + \left(\frac{N_b}{T_b} \right)^2}$$

여기서 N은 시료의 참계수율, ΔN는 표준편차, N_t는 시료의 전계수율, T_t는 시료의 계수시간이며 N_b와 T_b는 각각 백그라운드의 계수값 및 계수시간이다. 계측된 참계수율에 계측효율 및 시료량을 보정하면 시료의 방사선 농도를 계산할 수 있다.

[표 3] 감마선 분광분석법으로 측정된 치과용 세라믹 재료 중의 방사성 핵종별 농도[10]

방사성 핵종	방사능농도 (Bq/kg)	
	enamel	dentine
K-40	2,592.0	2,769.0
Tl-208	5.7	2.4
Pb-212	147.1	3.8
Pb-214	39.1	17.1
Bi-214	34.7	17.5
Th-234	100.2	< MDA
Total	3,056.0	2,988.0



[그림 5] 감마선 분광분석법으로 측정된 치과용 세라믹 재료 중의 방사성 핵종별 농도[10]

표 3과 그림 5는 고순도 게르마늄 검출기를 이용하여 감마선분광분석법으로 치과용 세라믹 재료 중 enamel과

dentine의 방사성 핵종과 그 농도를 분석한 결과로서 측정된 enamel과 dentine은 모두 ²³⁵U, ²³⁸U, ²³²Th 계열의 자연 방사성 동위원소들이 검출되었으며, 두 시료의 ⁴⁰K 방사능 농도가 각각 2,592 Bq/kg 및 2,769.0 Bq/kg으로 전체 방사능의 각각 84.8%, 92.7%이었다[10]. 전β 방사능의 대부분 ⁴⁰K의 β 붕괴에 의한 것으로 판단된다.

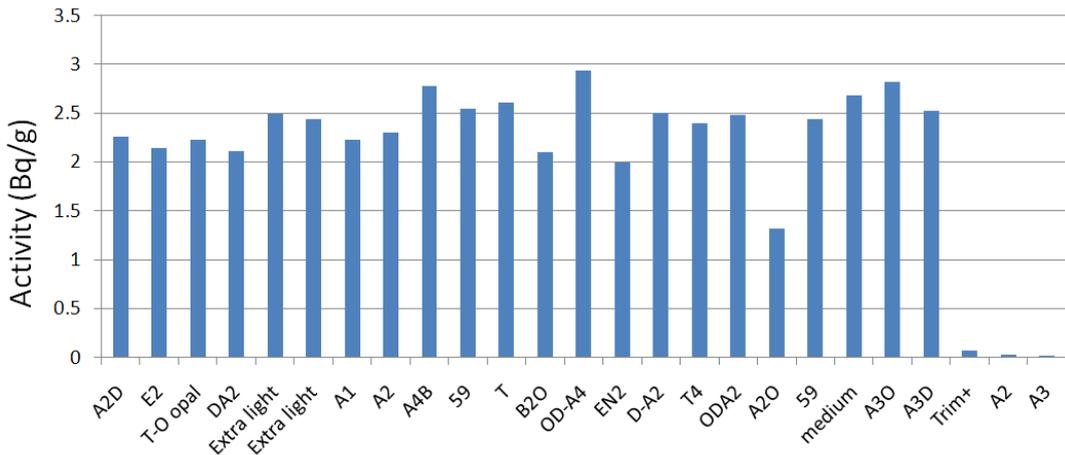
[표 4] 치과용 세라믹 재료의 전β 방사능

Typology	Code	Radioactivity (Bq/kg)	p-value*
Opal	A2D	2.264 ± 0.093	<0.001
	E2	2.145 ± 0.090	
	T-O opal	2.230 ± 0.092	
	DA2	2.114 ± 0.090	
	Extra light	2.493 ± 0.096	
	Extra light	2.440 ± 0.095	
	A1	2.223 ± 0.091	
	A2	2.301 ± 0.095	
	A4B	2.777 ± 0.101	
	59	2.547 ± 0.097	
Porcelain crowns ^a	T	2.603 ± 0.098	<0.001
	B2O	2.101 ± 0.090	
	OD-A4	2.935 ± 0.103	
	EN2	1.993 ± 0.088	
	D-A2	2.505 ± 0.096	
	T4	2.397 ± 0.094	
	ODA2	2.484 ± 0.096	
	A2O	1.317 ± 0.075	
	59	2.440 ± 0.095	
	medium	2.687 ± 0.099	
Temporary resin crown ^b	A3	2.819 ± 0.101	<0.001
	A3D	2.520 ± 0.096	
	Trim+	0.072 ± 0.043	
Light cured composite cement ^b	A2	0.038 ± 0.031	<0.001
	A3	0.023 ± 0.026	
Glass ionomer cement ^b	A3	0.023 ± 0.026	<0.001

* p<0.05

^{a,b}Tukey의 사후검정법 : 동일한 문자열인 경우, 유의한 차이가 없음.

표 4는 본 논문에서 측정된 25종류의 치과용 재료의 전β 방사능을 측정된 결과이다. Dentine 중 code 59가 2.547 Bq/g으로 가장 높게 나타났고, code D-A2가 2.505 Bq/g으로 가장 적게 나타났으며, 평균 2.479 Bq/g이었다. Opacious dentine 중 code OD-A4가 2.935 Bq/g으로 가장 높게 나타났고, code B20가 2.101Bq/g으로 가장 적게 나타났으며, 평균 2.491 Bq/g이었다. Translucent 중 code



[그림 6] 치과용 세라믹 재료의 전β 방사능

medium가 2.687 Bq/g으로 가장 높게 나타났고, 59가 2.440 Bq/g으로 가장 적게 나타났으며, 평균 2.470 Bq/g이었다. Enamel은 평균 2.069 Bq/g, paste opaque는 1.317 Bq/g이었다. 치과용 세라믹 재료들의 전β 방사능은 enamel을 제외하고, 대체로 비슷한 방사능 준위로 나타났다.

실험에 사용된 치과용 재료들의 종류에 따라 Pocelain crowns은 enamel, dentine, traslucent, opacious dentine 4개의 군으로 나누고, Temporary resin crown, Light cured comosite cement, Glass ionomer cement와 전β 방사능 값을 비교해본 결과, 군간에 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 사후검정결과, Pocelain crowns과 나머지 3가지 재료인 Temporary resin crown, Light cured comosite cement, Glass ionomer cement들은 전β 방사능 값에 있어서 유의한 차이를 보였으나, Pocelain crowns의 4가지 종류에 있어서는 차이를 보이지 않았다.

비 세라믹 재료로서 측정된 code A2는 0.031 Bq/g, code A3는 0.013 Bq/g, resin Trim⁺는 0.072 Bq/g이었으며, 이 결과는 감마선 분광분석법의 측정결과, temporary resin과 light cured composite cement의 방사능 핵종별 방사능이 적게 나온 결과와 동일하다[10].

그림 6은 본 연구에서 측정한 25종류의 치과용 재료의 전β 방사능을 측정된 결과를 그래프로 그린 그림이다. 세라믹 재료 중 전β 방사능의 농도가 가장 높은 것은 opacious dentine 재료 중 code OD-A4가 2.935 Bq/g로 가장 높았으며, paste opaque로 code A2O가 1.317 Bq/g로 가장 낮게 나타났다. 치과용 세라믹 재료의 전체 평균 전β 방사능은 2.379 Bq/g이었다.

3. 고찰

치과 재료용으로 사용되는 22종류의 세라믹 재료들의 전β 방사능을 측정된 결과, 그 준위가 1.317~2.935 Bq/kg 이었다. Opacious dentine 재료 중 code OD-A4의 방사능이 가장 높은 2.935 Bq/g이었고, 세라믹 재료 전체의 평균 전β 방사능 농도는 2.379 Bq/g이었다. Veronese 등[7]은 2006년 이탈리아에서 치과용 세라믹 재료로 사용되고 10종류의 feldspathic 세라믹, 11종의 유리질 세라믹, 1종류의 알루미늄계 세라믹, 4종류의 지르코니아계 세라믹, 3종류의 porcelain crown 및 3종류의 레진에 대하여 전β 방사능을 측정하였다. 측정결과 각 치과재료들의 전β 방사능 준위는 eldspathic 세라믹이 1.55 ~ 3.05 Bq/g, 유리질 세라믹은 2.50 ~ 3.23 Bq/g이었으며, 알루미늄계 세라믹은 0.18 Bq/g, porcelain crown이 1.20 ~ 1.94 Bq/g, 지르코니아계 세라믹은 0.65 ~ 1.78 Bq/g 그리고 레진이 0.18 ~ 0.27 Bq/g이었다. 본 논문에서 측정된 결과와 유사한 준위의 전β 방사능을 보였다. Söğüt 등[11]은 7세에서 50까지 터키의 여성과 남성의 치아 내 전β 방사능을 측정할 결과와 비교하였을 때 성별이나 연령에 따라 다소 차이는 있지만 대체로 0.01 ~ 0.44 Bq/g의 방사능 준위를 나타내었다. 이에 비하여 치과용 세라믹 재료의 전β 방사선 준위는 사람의 치아에 비하여 약 7배 정도의 높은 전β 방사능 준위를 보였다. 또한 Verones 역시 치과재료 중의 ⁴⁰K이 전β 방사선 준위에 가장 많은 영향을 미치는 방사선핵종임을 γ선 분광분석법으로 확인하였다. 이처럼 자연 치아에 비하여 우라늄이 포함된 치과재료 뿐만 아니라 근래 흔히 사용되는

치과용 세라믹의 방사선 준위가 확연하게 높은 것을 확인할 수 있으며, β 선은 비교적 방사선에 민감한 상피계 세포인 구강 점막부에 영향을 미칠 수 있다[12]. 따라서 방사선 준위를 낮추기 위하여 Kelly 등은 치과용 세라믹 제조 공정을 개선하여 방사선 준위를 낮추기 위해 노력하였고[13], Fisher 등은 이온교환법을 이용하여 치과 재료 속의 ^{40}K 방사선 준위를 낮추기 위한 노력을 기울이는 등 구강 내 방사선 준위를 낮추기 위한 여러 연구가 진행되고 있다[14]. 한편, resin과 cement의 전 β 방사능 농도는 세라믹 재료에 비하여 측정오차범위 내의 무시할 만한 값이었다.

4. 결론

치과 시술 후 구강 내에서 치과용 세라믹 소재의 자연 방사성 핵종에 의한 내부 피폭의 영향을 평가하기 위한 사전 조사의 일환으로 국내에서 흔히 사용되는 치과 재료용 22종류의 세라믹 재료들의 전 β 방사능을 측정법으로 측정된 결과, 치과재료 속의 ^{40}K 의 β^- 붕괴에 의한 영향이 가장 크게 나타났으며, 전 β 방사능이 1.317~2.935 Bq/kg 이었다. Opacious dentine 재료 중 code OD-A4 의 방사능이 가장 높은 2.935 Bq/g이었고, 세라믹 재료 전체의 평균 전 β 방사능 농도는 2.379 Bq/g이었다. 이 결과는 실제 치아의 전 β 방사능에 비하여 더 높은 준위이다 [7]. Resin과 cement의 전 β 방사능 농도는 세라믹 재료에 비하여 측정오차범위 내의 무시할 만한 값이었다. 치과 재료에 포함된 물질의 종류나 구성비에 따라 차이가 있기 때문에 본 연구에서 평가된 재료 이외에도 치과에 사용되는 많은 종류의 재료에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. 아울러 치과용 재료 내의 방사능 준위를 줄이기 위하여 이에 대한 기준이나 개선방안이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] 치위생(학)과 치과재료학연구회, “최신 치과재료학”, 고문사, pp. 227-229, 7월, 2010.
 [2] Kelly J.R., "Ceramics in restorative and prosthetic dentistry", C Annu. Rev. Mater. Sci., 27, pp. 443-468, 1997.
 [3] van Noort, R., "Introduction to Dental Materials", St. Louis, 2002.
 [4] Dietz, C., "Fluorescent artificial teeth", US Patent No.

2301174, 1942.
 [5] Moore, J.E., MacCulloch, W.T., "The inclusion of radioactive compounds in dental porcelains", Br. Dent. J., vol. 136, pp. 101-106, 1974.
 [6] Am. Nat. Stand. Inst./Am. Den. Assoc., Specification No. 69. "Dental ceramic, council on dental materials, instruments and equipments", Am. Dent. Assoc. Chicago, 1991.
 [7] I. Veronese, G. Guzzi, A. Giussani, M.C. Cantone, D. Ripamonti, "Determination of dose rates from natural radionuclides in dental materials", J. Environ. Rad., vol. 91. pp. 15-26, 2006.
 [8] UlfBengtsson, "Radioactive Compounds in Dental Materials?", Ed. 2, 1, 2000.
 [9] S. Mahmoud, Z. Ghorbani, A. Darafsheh, H. Torabzadeh, et. al., " ^{226}Ra concentration in the teeth of habitants of areas with high level of natural radioactivity in Ramsar", J. Env. Rad., vol. 89, pp.212-218, 2006.
 [10] 정현자, "치과 재료 중 방사성 핵종 및 농도 평가", 한국위생과학회지, vol. 14, No. 2, pp.197-202, 2008.
 [11] Ömer Söğüt, Mehmet Fatih Aydın, Erdal Küçükönder, Özlem Selçuk Zorer, and Mahmut Doğru, "Measurement of gross alpha and gross beta activity concentrations in human tooth", J. Env. Rad., vol. 101, pp.226-229, 2010.
 [12] Sairenji E., Moriwaki K., Shimizu M., Noguchi K., Anzai I., and Ikeda N, "Determination of uranium content in dental porcelains by means of the fission track method and estimation of radiation dose to oral mucosa by radioactive elements", Health Phys., vol. 38, pp.483-492, 1980.
 [13] Kelly J.R., "Ceramics in restorative and prosthetic dentistry", Annu. Rev. Mater. Sci., vol. 27, pp.443-468, 1997.
 [14] Fisher H., Brehme M., Telle R., and Marx R., "Effect of ion exchange of glazed dental glass ceramics on strength parameters", J. Biomed. Mater. Res., &2A, pp.175-179, 2005.

김 성 환(Sunghwan Kim)

[정회원]



- 2003년 8월 : 경북대학교 물리학과 (이학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 방사선학과 교수

<관심분야>

방사선검출기, 환경방사능, 방사선치료학

정 현 자(Hyun-Ja Jeong)

[정회원]



- 2004년 2월 : 계명대학교 공중보건학과 (보건학 박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 대구보건대학 치위생과 교수

<관심분야>

치위생학, 공중보건학