

교정장치의 항균에 따른 레진상의 특성

조정기

충북보건과학대학교 치기공과 겸임교수

Characteristics of Resin on Antimicrobial Properties of Calibration Devices.

Jeong-Ki Jo

Adjunct Professor, Department of Dental Laboratory Technology, Chungbuk Health & Science University

요 약 Polymethyl methacrylate (PMMA)는 치과 교정장치 재료로 사용해 왔다. 하지만 낮은 항균력으로 인한 구강 감염을 촉진시킬 염려가 있다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위하여 최근 발표된 Ag-MSN, graphene-oxide nanosheets(nGO), Cerium nanoparticle(CNP)의 나노입자를 교정레진인 Dentarum 회사의 Orthocryl를 사용하여 레진 파우더 대비 중량비 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0%를 MMA 액에 혼합한 후 제조사의 지시에 따라 PMMA 분말: MMA 액 (1.2 : 1) 비율로 혼합하여 교정용 시편을 제작하였고 교정용 레진 항진균 실험, 통계분석을 하였다. 항진균 실험을 한 결과 교정용 PMMA레진이 Ag-MSN을 함유할 때 항(진)균적 성질이 증가하였다. nGO를 PM에 넣으면 표면이 거칠어지고 친수성을 높일 수 있었고 항균 접착제 효과가 표면 거칠기의 변화가 아닌 친수성이 증가하였다. CNP 농도가 높을수록 항부착 성질이 최대 60%까지 관찰되었다. 나노입자함유 교정용 레진은 항균효과가 나타남을 알 수 있었다. 이는 의치, 치열 교정 장치 및 임시 수복물에 대한 유망한 항균 치과 재료로서의 잠재적 유용성을 시사한다.

주제어 : 교정용 레진, 메조포로스, 그래핀옥사이드, 세리움, 나노파티클

Abstract Polymethyl methacrylate (PMMA) is concerned with promoting oral infection due to its low antibacterial activity. To overcome this, the nanoparticles of Ag-MSN, nGO, and CNP were mixed with MMA liquid in a weight ratio of 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0% compared to resin powder using Orthocryl from Dentarum, a calibration resin, and then instructed by the manufacturer. Accordingly, a specimen for calibration was prepared by mixing PMMA: MMA (1.2: 1) ratio, and physical properties of the calibration resin, antifungal experiments, and statistical analysis were performed. As a result of antibacterial experiments, the antibacterial properties of Ag-MSN increased. In nGO, the antibacterial adhesive effect increased hydrophilicity, not a change in surface roughness. The higher the CNP concentration, the higher the antibacterial activity. This suggests its potential usefulness as an antibacterial dental material for orthodontic devices and temporary restorations.

Key Words : Orthodontic resin, mesoporous, grapinoxide, cerium, nanoparticle

*Corresponding Author : Jeong-Ki Jo(central@naver.com)

Received February 21, 2020

Accepted April 20, 2020

Revised March 13, 2020

Published April 28, 2020

1. 서론

교정치과에서 사용되어지는 가철성 교정장치의 자가 중합 레진인 Polymethyl methacrylate (PMMA) 오랫동안 교정장치 재료로 사용해 왔다. 여기서 사용되어지는 폴리메틸메타크릴레이트는 제조공정이 간편하고 저렴한 가격과 적절한 기계적 특성으로 인해 가철성 교정장치 재료로 오랫동안 임상적으로 사용되어지고 있다[1]. 하지만 가철성 교정장치는 구강내에서 사용시간이 길수록 PMMA의 강도가 낮은 원인으로 사용중 교정장치 레진상이 파절되고 치태, 치석, 세균 등이 부착되어 냄새가 심하며, 구강감염의 단점이 있다. PMMA의 연구는 계속적으로 이루어지고 그 물성평가 역시 향상되어지고 있다. PMMA는 폴리모와 모노모로 혼합하여 중합 반응이 일어날 때, 모노모인 methyl methacrylate(MMA)의 부가 중합에 의한 반응으로 생겨난 산물이다[2,3].

열 중합 방식은 benzoyl peroxide가 50~100 °C 사이의 열에 의해 이중 결합이 파괴되면서 분자 1개당 2개의 자유라디칼을 형성하여 여기에 폴리모의 결합이 완성되는 방식이며, 자가 중합 방식은 실온에서도 benzoyl peroxide가 폴리모가 함유된 3차 아민에 의하여 결합이 파괴되므로 자유라디칼을 형성됨으로서 완성되는 방식이다[4].

자가 중합방식은 조작성이 편하고 중합 반응 속도가 빠르며 누구나 쉽게 작업할 수 있는 장점으로 인해 현재 치과 교정의 분야에서도 널리 사용하고 있다[5,6]. 그러나 이 방식은 열 중합 레진에 비해 중합도의 완전성이 떨어진 다[7]. 1999년 Kedjarune 등은 gas chromatography 방법으로 자가 중합레진의 미반응 잔류 모노머의 양이 열 중합 레진보다 잔류 모노머의 양보다 많다는 결과를 보고 하였다[8].

교정용, 의치용 레진의 강도를 증가시키기 위해서 여러 가지 연구가 되고 있었다. 보통 중합 시의 중합 시간이나 압력, 중합 온도, 강도, 개시제의 농도를 높이는 분말의 첨가 등으로 인한 자가중합형 레진의 기계적 강도를 높이하고자 하는 연구가 진행되어왔다[9]. 그러나 이들 재료에 있어서 항균성에 관한 연구는 시도되지 않았으며 최근 나노입자를 이용한 연구가 활발하다[10,11]. 흥미로운 연구 중 하나는 나노 섬유, 나노 튜브 또는 나노 입자의 형태로 첨가제를 개발하여 치과에서 사용되는 가철성 교정장치에 넣어 항균성 가철성 교정장치를 개발하는 것이다[12,13].

기존에 보고된 연구에서는 나노튜브, 그래핀 옥사이드와 탄소는 항균능력이 있다고 보고 되고 있어 PMMA에

항균 나노 첨가제로 사용되어야 한다고 제시되었지만 그라핀옥사이드가 가지고 있는 특유의 검은 색으로 인하여 치과 재료로써 심미적인 문제로 사용이 제한적이다 [14-16]. 또한 은이온/항균약물을 증기공 실리카 나노파티클을 PMMA에 담침하여 바이오필름 억제능을 확인하였다. 그러나 단점으로 항균력을 동반한 바이오필름 억제 능이 임상적으로 사용될 수 있을 정도로 약물담침 없이 장기간 지속되지 못하였다는 점이다.

최근에 Cerium nanoparticle (CNP)의 항산화 능력 및 표면의 특이한 성질로, 항균 및 항진균 능력이 알려져 있다[17].

본 연구에서는, 최근 발표된 교정용 레진에 항균능력이 있는 나노 입자를 첨가하여, 항균효과 저해능력에 대해 살펴보고자한다. 그리하여 항균성 가철성 교정장치를 개발 가능성에 대한 이해를 돕고자한다.

2. 연구 재료 및 방법

2.1 연구 재료

연구 재료로는 화학중합형 교정레진인 Dentarum 회사의 Orthocryl를 사용하였다. 레진 파우더대비 중량비 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0%를 MMA 액에 혼합한 후 제조사의 지시에 따라 중합하였다. 다음 Fig 1과 같다.

Table 1. Product specification

No	Product	Batch no.(P/L)
1	Orthocryl (Dentarum, Germany)	452986 B 450128 A

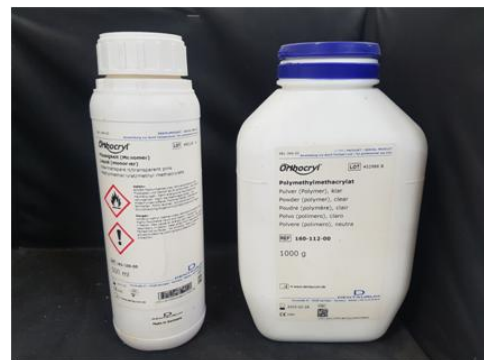


Fig. 1. Orthodontic resin

2.2 교정용 레진 시편제작

레진 시편을 제작하기 위하여 나노 입자의 PMMA 분말에 중량을 0, 0.25, 0.5, 1, 2%로 준비하여 MMA 액체에 sonicator를 사용하여 분말을 분산시키고, PMMA 분말: MMA 액 (1.2 : 1)로 제조사에 맞는 비율로 혼합하였다. CNP-레진 혼합물은 일정 크기의 실리콘 몰드 (4 x 5 x 20 mm)에 부어 자가 중합시킨 후, 레진 중합보조기 (Multicure Vertex)안에서 2.2 bar/70°C로 30분 동안 추가중합 하였다.

항균실험 및 생물학적 안전성 평가용 디스크 실험은 $\varnothing = 11.5 \text{ mm}$, $d = 1.5 \text{ mm}$ 로 제작하고 #800 SiC Paper로 연마하였다. 다음 Fig 2와 같다.



Fig. 2. Resin specimen

2.3 교정용 레진 물리적 특성 분석

교정용 레진의 표면 형태는 전자현미경을 사용하여 관찰하였고, 이 시편들에서 표면에너지를 측정하기 위해 시료에 물과 Ethylene glycol 10 μl 를 떨어뜨리고 10초가 지난 후에 Phoenix 300 분석기를 통해서 접촉각을 관찰하였다. 다음 Fig 3과 같다. 표면에너지 분석은 Owens-Went 분석법을 이용하였다.

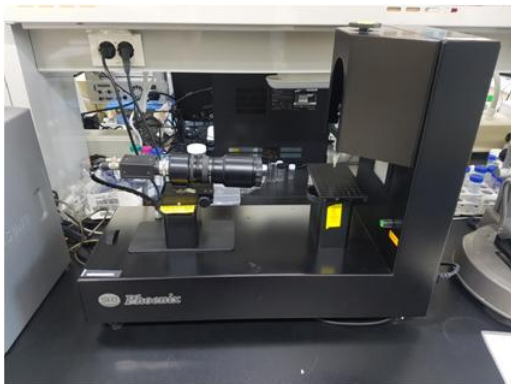


Fig. 3. Contact angle analysis

2.4 항진균실험

항진균실험을 위하여 교정용 및 의치용 장치에서 많이 발견되는 균으로 *Candida albicans*을 시편과 접촉시켜서 균부착 양상을 보는 직접접촉방법을 사용하였다. 시편을 6×10^6 개의 *Candida albicans*와 1시간 접촉시키고 PBS로 3회 씻어낸 후, 부착된 곰팡이의 활성도를 5시간 동안 측정하였다. *Candida albicans* (ATCC 10231, USA)를 제조사의 지시에 따라 키워서 $6 \times 10^7/\text{mL}$ 로 만들었다. 이것의 100 μl 를 12 well안에 들어있는 시편의 표면 위에 떨어뜨려 1시간 동안 37°C incubator에서 키운 후 PBS로 3회 씻어내었다. 시편을 새로운 12 well에 옮긴 이후에 *Candida albicans*를 12시간 동안 적절한 액체배지 2 ml에 키운 이후에 200 μl 의 Prestoblue (Molecular probes, USA)를 넣고 1.5시간이 지난후에 100 μl 을 채취하여 96 well에서 흡광도를 570 nm와 600 nm에서 측정하였다[18]. 약물 재충전 및 세포 호환성 후의 장기 미생물 항 부착 효과 보기위하여 흡광도, 농도를 측정하여 Ag MSN과 MSN을 비교하였다

2.5 통계분석

시편은 각 군별로 비교분석은 one way ANOVA SPSS 진행하였고 사후검정은 Tukey post hoc test로 진행 하였다 SPSS (버전 21.0; SPSS, Chicago, IL). 통계적 유의 차는 0.05로 정하였다. 데이터는 최소 세 번의 독립적 인 실험의 평균 \pm SD로 표시되었다.

3. 연구 결과

3.1 Ag-MSN(meziporrus silica nanoparticle)

- 3.1.1 *C. albicans* 및 *Streptococcus oralis*에 대해 최대 28 일 동안 실험 표본을 채취하고 결과 항- 부착제 효과가 관찰되었다.
- 3.1.2 결과적으로 전형적인 구형 형태와 높은 중간 다공성이 관찰되었다.
- 3.1.3 Anti-adhesive 효과는 미생물 중에 1 시간 노출 된 후에 관찰되었으며, Ag-MSN이 PMMA로 증가함에 따라 효과가 가속화되었다.
- 3.1.4 Ag-MSN이 첨가 된 PMMA를 장기간 미생물의 부착 방지 효과가 14일까지 관찰되었고, 장기간

(7일간)의 항 접착제 효과가 관찰되었다. 다음 Fig 4와 같다.

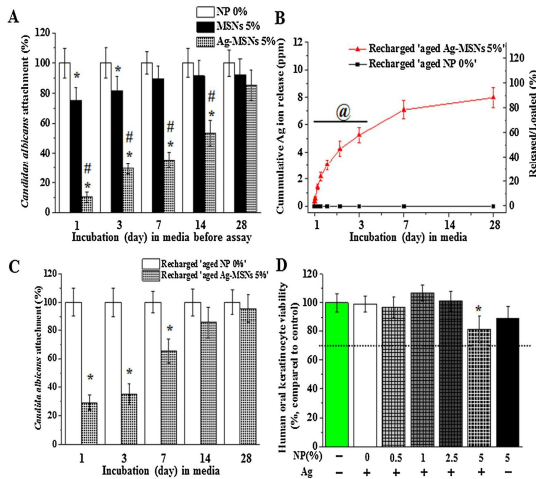


Fig. 4. Rechargeable long-term microbial anti-adhesive effect of Ag-MSN PMMA with non-cytotoxicity to IHOK

3.2 nGO (nano-graphene oxide)

3.2.1 강도 또는 표면 경도 미생물에 1시간 노출 후 항 접착제 효과 nGO가 포함 된 표본에서 인공 타액의 종들이 관찰되었으며, 경구 각질 세포에 유 의 한 세포독성이 없는 nGO 수준의 증가되었다. 다음 Fig 5와 같다.

3.2.2 표면 거칠기는 Candida albicans에 대한 지속 적인 항균 접착성을 28일 동안 2% nGO에서 관찰되었다.

3.2.3 FTIR 분석 CO, COC 및 CO 피크에서 다양한 증가를 보였다.

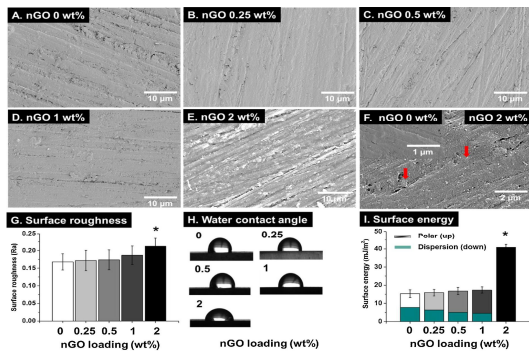


Fig. 5. Surface characteristics

3.3 CNP (cerium nanoparticle)

3.3.1 균의 부착에 영향을 미치는 표면조도와 표면에 너지는 전반적으로 그룹 간 차이가 없었다. 다음 Fig 6과 같다.

3.3.2 2% CNP의 친수성 표면에너지가 대조군에 비해 증가하여 항균력을 지니는 이유 중의 하나인 친 수성 표면에너지 증가가 존재함을 관찰하였다.

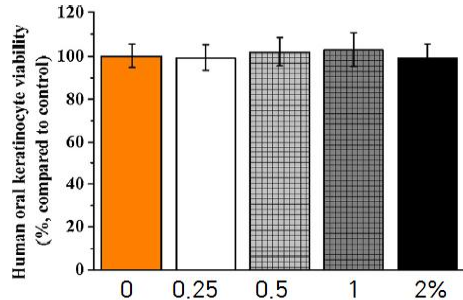


Fig. 6. Cytocompatibility assay of incorporated orthodontic PMMA

4. 고찰

본 연구에서는 Ag-MSN(mssoporous nanoparticle), nGO(nano-graphene oxide), Cerium nanoparticle (CNP)를 레진에 함유한 PMMA에 생물학적 특성에 대하여 살펴보았다.

메조 포러스 실리카 나노입자(MSN)는 그 큰 표면적과 큰 기공 용적으로 인해 약물을 담침할 수 있고 기저 물질과 넓은 면적으로 결합하는 등의 장점으로 주목 받는 첨가제이다. 전형적인 메조 포러스 구조를 가진 구형 형태의 모습이 약물을 담침하기 이전과 이후에서 투과형 전자 현미경에서 모두 관찰되었다. Ag-MSN은 3.54 nm의 기공 크기 0.42 cm³/g의 기공 부피 그리고 면적 392.6 m²/g의 표면적을 가지고 있어서 레진 매트릭스에 결합 되기 위한 유익한 구조를 가지고 있었다. 은 방출 약물의 Ag-MSN 첨가된 PMMA에서의 존재는 에너지 분산 분광법을 이용하여 확인하였다. C. alvicans 및 Streptococcus oralis과 디스크 형태 시편(직경 11.5 mm, 두께 1.5 mm)에서의 1시간 초기 부착 실험에서는 항 부착성질이 Ag-MSN이 함유된 PMMA가 MSN이 함유된 PMMA에 비해 유의 차있게 나타났고(p<0.05), 이러한 효과는 Ag-MSN 함유된 양이 증가함에 따라 증폭되었으며 이러한 결과를 전자현미경으로 관찰하였다. 이

러한 미생물에 대한 항 부착 성질은 친수성 표면에너지 증가 및 Ag ion의 방출로 설명할 수 있다. 본 연구에서는 교정용 PMMA레진이 Ag-MSN을 함유할 때 항균적 성질이 증가되었음을 발견하였다. 특히 Ag-MSN 5% 함유된 PMMA 레진은 향후 항균성 치과 교정용 재료로 적용이 가능할 것이다. nGO(nano-graphene oxide)가 포함 된 아크릴 수지의 형태학적 특성은 매우 작은 검은 색 조각 의 직경 90nm로 가시화되어 다른 문헌에 따라 나노 크기 시트가 거의 없음을 나타낸다[19,20]. FTIR 분석은 PMMA의 nGO 수준에 따라 nGO 를 나타내는 CO, COC 및 CO 피크의 다양한 증가를 보였다. nGO-incorporated acrylic resin의 SEM 이미지는 증가하는 nGO 삽입물과 유사한 표면 형태를 보여 주었다. 그러나 고도로 확대 된 SEM 이미지는 nGO가 없는 acrylic resin에서는 검출되지 않았다. 즉각적인 항균성은 접착제 효과 이전 결과에 따르면 0.25% nGO 그룹은 노출 된 nGO가 적기 때문에 미생물 부착에 대한 영향이 감소 될 것으로 예상되므로 추가 분석에서 제외되었다. 따라서, 항균제, 접착제를 더 연구하기 위해 다른 nGO 혼합 된 그룹(0.5, 1 및 2%)이 선택되었다. 대장균과 S. mutans에 대한 nGO가 0.5%인 것을 제외하고는 nGO 가 없는 표본에서 모든 항 접착성 실험에 대한 동일한 양의 박테리아를 양성 대조군에서와 같이 배양 하였고 더 많은 nGO를 갖는 시편은 모든 미생물 중에 대해 더 강한 항접착 효과를 나타냈다.

oralkeratinocytes에 대한 Cytocompatibility 대조군과 비교하여, nGO(0, 0.25, 0.5, 1 및 2%)를 포함하는 표본 추출물은 경구 각질 세포의 생존률을 유의하게 감소시키지 않았다($p > 0.05$).

플라스마 처리는 0% nGO 및 2% nGO 그룹에서 표면 에너지 (주로 극성 에너지로 인해 약 10배 및 5배)의 현저한 증가를 유도했다($p < 0.05$). 흥미롭게도 플라스마 처리 된 0% nGO 그룹은 치료되지 않은 0% nGO 그룹에 비해 C. albicans 부착의 유의 한 감소를 나타냈다($p < 0.05$). 또한 플라스마 처리 된 2% nGO 시편은 미처리 된 2% nGO 시편보다 C. albicans의 부착에서 더 큰 감소를 보였다($p < 0.05$). 지속적인 접착 방지 효과는 멸균된 인공 타액에서 장시간 항은 배양 한 후 C. albicans에 대하여 지속적인 항 접착제 효과를 나타낸다. 2% nGO 및 플라스마 처리 된 2% nGO 시편은 고령의 28 일 동안 0% nGO spec-imens보다 C. albicans에 대해 더 큰 접착 효과를 보였다($p < 0.05$). 효과는 장기간의 인공 염액 주입으로 감소되었다. 흥미롭게도 2% nGO 건

본은 C.albicans에 대해 매우 우수한 항 접착제 효과를 지속적으로 나타내었고 10% 미만이 접착되었다. 항균력을 지닌 무기질 입자인 Cerium nanoparticle(CNP)를 PMMA에 혼합하여 미생물 방지 접착 효과를 도입하고자 한다. 솔젤법을 이용하여 만든 CNP은 20.7 nm의 크기와 면적 217.3 m²/g 및 17.5 mV의 Zeta potential 을 가졌다. 항균을 측정을 위해 C. albicans을 시편위에 배양한 결과 CNP농도가 높을수록 항부착성질이 최대 60% 까지 관찰되었다. 이러한 항부착성질은 CNP의 항균력 보단 CNP 함유에 따른 표면에너지 증가와 관련이 있었다. 세포독성실험으로 CNP함유 PMMA는 구강각질 세포에 대한 독성은 관찰되지 않았다. 이렇게 개발된 CNP 함유 PMMA는 의치 및 교정용 장치를 위한 미생물 접착 방지 치과 재료로 사용될 수 있을것으로 사료 된다.

한편 그간 항균력이 있는 치과교정용 레진의 생체적합성에 대한 우려가 제기 되었다. 특히 은 나노 및 항생제를 담침한 교정장치의 경우 전신독성 및 국소독성이 발견되었기 때문이다. 그러므로 전 임상연구를 통하여 본 연구에서 개발한 교정용 레진에 대한 생체적합성이 적합함을 확인하는 실험이 추후 필요할 것이다.

실험을 통해 본 결과 앞으로 이를 이용한 항진균치과 교정용 레진의 개발이 가능할 것으로 전망된다.

5. 결론

본 연구에서 본 연구에서는 Ag-MSN(mesoporous nanoparticle), nGO(nano-graphene oxide), Cerium nanoparticle(CNP)를 치과교정장치 제작에 사용하는 레진에 분산시켜 복합재료를 만들고 항균성을 평가하였다. 실험결과로부터 제한된 범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 교정용 PMMA레진이 Ag-MSN을 함유할 때 항균적 성질이 증가되었음을 발견하였다.
2. nGO의 항 접착성 실험에 더 많은 nGO를 갖는 시편은 모든 미생물 중에 대해 더 강한 항접착 효과를 나타냈다.
3. CNP 복합재료의 항균효과는 CNP가 함유될수록 증가되는 경향을 보였다.
4. CNP함유 PMMA는 구강각질세포에 대한 독성은 관찰되지 않았다.

결과적으로 본 연구에서 우수한 항진균 효과가 입증되었다. 앞으로 이를 이용한 항균력을 지닌 치과 교정용 레진의 개발이 가능할 것이다.

REFERENCES

- [1] M. M. Lino, C. S. O. Paulo, A. C. Vale, M. F. Vaz & L. S. Ferreira. (2013) *Antifungal activity of dental resins containing amphotericin B-conjugated nanoparticles*. *Dent Mater*. 29(10), :e252-e62.
DOI : 10.1016 / j.dental.2013.07.023.
- [2] A. Peutzfeldt. *Resin composites in dentistry : the monomer systems* Eur J Oral Sic. 1997;105:97-116.
DOI: 10.1111/j.1600-0722.1997.tb00188.
- [3] Iç RB, Oztürk F, Ates B, Malkoc MA, Kelestemur U. *Level of residual monomer released from orthodontic acrylic materials*. *J Angle Orthod*. 2014;Mar6.
DOI: 10.2319/060713-435.1.
- [4] G. S. Lee. *A study on flexural strength according to work conditions of Polymerizing orthodontic acrylic resin*. *Bulletin of Dongnam Health College*. 2001;19:213-221.
DOI.org/10.1002/app.29629.
- [5] H. S. Noh, J. M. Kim, S. Kim & T. S. Jeong. *Effect of curing conditions on the monomer elution of orthodontic acrylic resin*. *J Korean Acad Pediatr Dent*. 2008;35:477-484.
DOI.org/10.17135/jdhs.2015.15.3.259.
- [6] Y. H. Ko, G. R. Kim Y. U. Yi & H. H. Lee. *Effect of curing methods on the flexural strength of acrylic denture resins*. *J Korean Soc Dental Mater*. 2013;40(4):289-295.
DOI: 10.5681/joddd.2014.027.
- [7] J. Kenneth. *Anusavice*. Phillips` Science of Dental Materials. 11th ed;2006:143-169, 734-735.
- [8] U. Kedjarune, N. Charoenworakul, S. Koontongkaew. *Release of methyl methacrylate- 31 -from heat-cured and autopolymerized resins: Cytotoxicity testing related to residual monomer*. *J Aust Dent*. 1999;44:25-30.
DOI.org/10.4012/dmj.26.296.
- [9] J. H. Jorge, E. T. Giampaolo, C. E. Vergani , A. L. Machado, A. C. Pavarina & I. Z. Carlos. (2006) *Effect of post-polymerization heat treatments on the cytotoxicity of two denture base acrylic resins*. *J Appl Oral Sci*. 14(3):203-7.
DOI: 10.1590/S1678-77572006000300011.
- [10] J. H. Lee. et al. (2016). *Development of long-term antimicrobial poly (methyl methacrylate) by incorporating mesoporous silica nanocarriers*. *Dent Mater* 32, 1564-1574
DOI: 10.1016/j.dental.2016.09.001.
- [11] J. K. Jo et al. *Rechargeable microbial anti-adhesive polymethyl methacrylate incorporating silver sulfadiazine-loaded mesoporous silica nanocarriers*. *Dent Mater*;
DOI.org/10.1016/j.dental.2017.07.009.
- [12] W. Wang, S. Liao, Y. Zhu, M. Liu, Q. Zhao & Y. Fu. (2015) *Recent Applications of Nanomaterials in Prosthodontics*. *J Nanomater*. 2015:11.
DOI.; 10.1155/2015/408643.
- [13] G. C. Padovani, V. P. Feitosa, S. Sauro, F. R. Tay, G. Durán & A. J. Paula et al. *Advances in Dental Materials through Nanotechnology: Facts, Perspectives and Toxicological Aspects*. *Trends Biotechnol*. 2015;33(11):621-36.
DOI: 10.1016/j.tibtech.2015.09.005.
- [14] Chen J, Peng H, Wang X, Shao F, Yuan Z, Han H.(2014) *Graphene oxide exhibits broad-spectrum antimicrobial activity against bacterial phytopathogens and fungal conidia by intertwining and membrane perturbation*. *Nanoscale*. 6(3):1879-89.
DOI: 10.1039/c3nr04941.
- [15] Chen H, Wang B, Gao D, Guan M, Zheng L, Ouyang H, et al.(2013) *Broad-spectrum antibacterial activity of carbon nanotubes to human gut bacteria*. *Small*. 9(16):2735-46.
DOI: 10.1002/sml.201202792.
- [16] Morimune S, Nishino T, Goto T.(2012) *Ecological Approach to Graphene Oxide Reinforced Poly (methyl methacrylate) Nanocomposites*. *ACS Appl Mater Interfaces*. 4(7):3596-601..
DOI: 10.1021/am3006687.
- [17] Sharpe E., Andreescu D., Andreescu S. *Oxidative Stress: Diagnostics, Prevention, and Therapy*. *American Chemical Society*; Washington, DC, USA: 2011. *Artificial nanoparticle antioxidants*; pp. 235-253.DOI: 10.1021/bk-2011-1083.
- [18] J. S. Kim, E. Kuk, K. N. Yu, J. H. Kim, S. J. Park & H. J. Lee. et al.(2007) *Antimicrobial effects of silver nanoparticles*. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. 3(1):95-101.
DOI: 10.1016/j.nano.2006.12.001.
- [19] Bai S, Wang C, Jiang W, Du N, Li J, Du J, et al. *Etching approach to hybrid structures of PtPd nanocages and graphene for efficient oxygen reduction reaction catalysts*. *Nano Res* 2015;8:2789-99.
DOI:10.1007/s12274-015-0755-5.
- [20] Khodadadi Dizaji A, Mortaheb HR, Mokhtarani B. *Preparation of supported catalyst by adsorption of polyoxometalate on graphene oxide/reduced graphene oxide*. *Mater Chem Phys* 2017;199:424-34.
DOI.org/10.1021/ie303220.

조 정 기 (Jeong-Ki Jo)

[중요]



- 2016년 6월 : 단국대학교 구강보건학과 (구강보건학석사)
- 2018년 12월 : 단국대학교 치의학과 (치의학박사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 충북보건과학대학교 치기공과 겸임교수
- 관심분야 : 재료학

· E-Mail : centralt@naver.com