

Evaluation of physical properties of polycarbonate temporary restoration materials

Gwang-Yun Kim, Young-Hun Kwak, Hee-Jung Kim*

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea

Purpose: The purpose is to test and evaluate the physical properties of commonly used temporary restoration materials and newly emerged materials. **Materials and Methods:** Four groups of polymer materials were evaluated: Polymethyl methacrylate (PMMA) 2 groups, Polyetheretherketone (PEEK), Polycarbonate. Four physical properties were tested: surface hardness, bending strength, abrasion resistance during wear, wear behavior. The 3-axis bending strength and Vickers hardness test were measured using a universal testing machines respectively. The microstructure was observed with a scanning electron microscope and weight comparison was evaluated after 100,000 chewing tests using a chewing simulator. Kruskal wallis test was performed to evaluate statistical significance. **Results:** The four groups showed the highest flexural strength and Vickers hardness of PEEK, followed by PC, PMMA-H, PMMA-T. Microstructure observation also showed the least surface roughness in the PEEK group, followed by PC, PMMA-H, PMMA-T. **Conclusion:** PC is considered to have sufficient mechanical properties that can be applied to the manufacture of temporary teeth. However, further studies, such as biocompatibility, are considered to be necessary for practical clinical applications. (*J Dent Rehabil Appl Sci* 2020;36(3):168-75)

Key words: polycarbonate; polymethyl methacrylate; polyetheretherketone; physical properties

서론

임시 수복물은 최종 보철물의 디자인을 기능적, 심미적으로 시험해 볼 수 있는 중요한 역할을 한다. 또한, 최종 보철물이 환자의 구강 내에 장착되기 전까지 삭제된 치아의 손상을 방지하고 치수를 보호하며, 삭제된 치아와 주변치아의 움직임을 막아주기도 한다. 그러므로 임시 수복물의 재료를 선정함에 있어서 치과의사는 기계적 성질, 조작성, 색상 및 질감, 비용, 환자의 만족도 등 여러 요소를 고려하여야 한다.¹⁻³

현재까지의 임시 수복물 재료로는 주로 아크릴릭 레진과 복합 레진이 사용되고 있다. 아크릴릭 레진에는 대표

적으로 polymethyl methacrylate (PMMA)와 polyethyl methacrylate (PEMA)가 있다. 복합 레진은 일반적으로 Bis-GMA 계열을 사용하며, 자가중합형, 광중합형, 이중 중합형으로 사용 가능하다. 임시 수복물을 제작하는 방법으로는 크게 직접법과 간접법으로 나뉘어지고, 기성관을 이용하는 방법도 있다. 기성관에는 cellulose acetate shell, metal crown, 그리고 polycarbonate crown 등이 있다. 직접법은 레진의 중합속도에 따른 적합도의 감소와 미반응 단량체 잔존으로 인한 치아 및 주위 조직에 대한 위해 작용이나 임시치아의 기계적 강도의 저하를 야기할 수 있으며 숙련되지 못한 술자의 경우 시간적, 심미적 단점을 가진다. 따라서 최근에는 computer aided design-

*Correspondence to: Hee-Jung Kim

Professor, Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University, 309, Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, 61452, Republic of Korea
Tel: +82-62-220-3829, Fax: +82-62-232-7776, E-mail: khjdds@chosun.ac.kr
Received: June 26, 2020/Last Revision: July 7, 2020/Accepted: July 30, 2020

Copyright© 2020 The Korean Academy of Stomatognathic Function and Occlusion.
©It is identical to Creative Commons Non-Commercial License.

computer aided manufacturing (CAD-CAM) 또는 3D printing을 통한 간접법을 많이 선호하는 추세이다.^{1,4,5}

대표적 임시 수복물 재료인 PMMA는 다른 재료들보다 경제적이고, 적절한 색 안정성과 체적 안정성을 제공하며, 조직 친화성, 상대적으로 낮은 독성 등의 이유로 임상에서 널리 사용되고 있다. 하지만 중합수축, 낮은 강도와 마모성 등의 기계적 물성에 대한 문제점이 지적되었다.¹ 이러한 PMMA의 기계적 물성을 강화하기 위해 필러 첨가, 섬유 강화 등의 여러 노력이 있었고, 많은 발전이 있었다.⁶⁻⁸ 그러나 아직까지도 저작력이 강하거나 이같이, 이 악물기 습관을 가지는 경우 그리고, 장기간 임시 수복물을 사용하여 악간 관계를 형성하는 경우에 임시 수복물 파절이나 마모를 빈번하게 관찰할 수 있다.⁹ 근래에 이를 근본적으로 해결하기 위해 PMMA가 아닌 기계적 물성이 더 좋은 고분자 재료에 대한 관심이 높아졌다.

최근 고분자 재료 중 기계적 물성이 가장 높다고 알려진 polyacryletherketone (PAEK)계 재료인 polyetheretherketone (PEEK)나 polyetherketoneketone (PEKK) 등이 치과 여러 분야에 적용되었고, 영구 보철물 재료를 대체하기 위한 노력도 있었다.¹⁰ 현재 임시 수복물, 포스트, 교합안정장치, 임플란트 지대주, 그리고 가철성 국소의치의 금속구조물 등 여러 용도로 연구, 개발 중에 있다.¹¹⁻¹³ 하지만 높은 기계적 물성에 반해 회갈색을 띠고, 제작 공정이 어려우며, relining이 필요한 경우 PMMA와의 접착력이 의심된다. 더불어 현재까지는 경제성이 많이 떨어지는 편이다.¹⁴⁻¹⁶

이러한 점들을 고려하여 기존의 PMMA에 비해 더 나은 기계적 강도를 가지고, 장기간 구강내에서 기능시 안정적인 악간관계를 유지할 수 있는 재료를 찾고자 하였고, 기성관으로 사용되었던 polycarbonate (PC)를 본 실험에 사용하게 되었다. Polycarbonate crown은 미세유리 섬유에 polycarbonate 열가소성 수지가 합쳐져 제작된다.¹⁷ 높은 경도와 강도, 마모 저항성 등 좋은 기계적 성질과 적절한 색 안정성을 겸비하여¹⁸ 최근 임시 수복물을 위한 CAD-CAM 블록과 의치 인공치 개발이 시도되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 상용화된 임시 수복물 재료인 PMMA, PEEK와 PC의 기계적 물성을 평가하여 임상 적용의 유용한 정보를 얻고자 하였다.

연구 재료 및 방법

연구 재료는 총 4개의 군으로 상용화된 2종류의 poly-

methyl methacrylate (PMMA, TS dental, TIAN SHWU CO. Ltd, Tainan, Taiwan / PMMA, Hugel, Hugel dental material CO. Ltd, Rizhao, China), polycarbonate (PC, KWANGMYUNG, Seoul, Korea), polyetheretherketone (PEEK, DYNEX, Incheon, Korea) CAD-CAM 블록을 준비하였다(Fig. 1). PEEK 군을 Group I, PC 군을 Group II, PMMA - Hugel 군을 Group III, PMMA - TS dental 군을 Group IV로 분류하였다. 사용된 각 군의 블록의 직경과 두께는 다음과 같다(Table 1).

임시 수복물 재료의 여러 가지 기계적 성질 중에서 경도, 굽힘 강도와 저작에 따른 마모도를 평가하여 비교하였다. 각 군들의 시편들은 실험 평가항목마다 10개씩 제작되었다. 각 군들의 시편들은 각 실험에 적합한 ISO 규격에 맞춰 CAD (Autocad, Autodesk Inc., San Rafael, USA)로 디자인하였고(Fig. 2), CAM (rainbow™ Mill-Metal, Dentium, Seoul, Korea)으로 제작되었다.

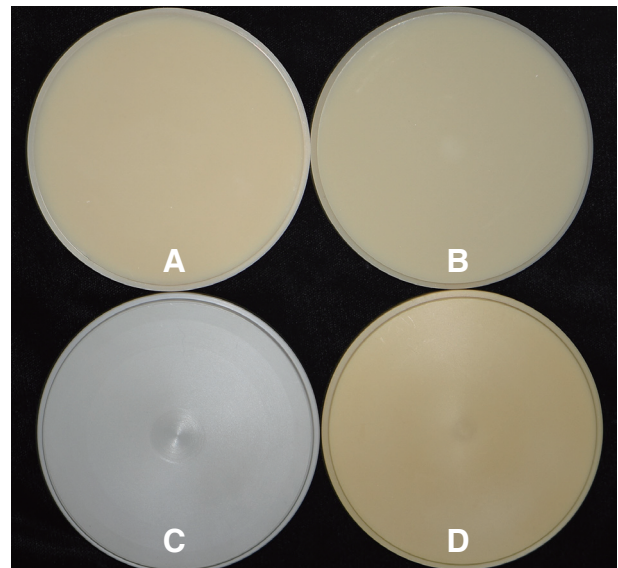


Fig. 1. CAD-CAM Blocks used in this study. (A) PMMA-T, (B) PMMA-H, (C) PEEK, (D) PC. CAD-CAM, computer aided design/computer aided manufacturing; PMMA, polymethyl methacrylate; PEEK, polyetheretherketone; PC, polycarbonate.

Table 1. Dimension of Blocks in this study (unit = mm)

Group	Diameter (mm)	Thickness (mm)
I	98	20
II	98	16
III	98.5	18
IV	98	16

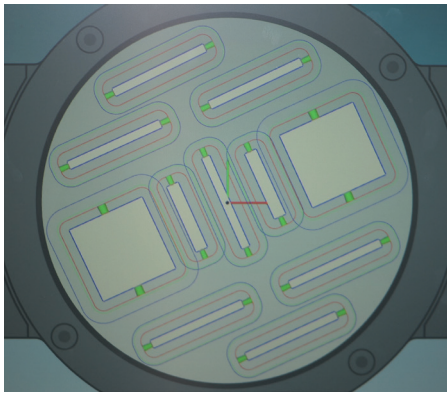


Fig. 2. Specimens designed by CAD. CAD, computer aided design.

시편의 경도를 평가하기 위하여 국제규격 ISO 6507-1에 따라 길이 18 mm, 폭 3 mm인 높이 1.4 mm 시편을 다이아몬드 디스크를 이용하여 표면을 미세 연마하였다. 연마된 시편은 마이크로 비커스 경도기(HMV-G21, SHIMADZU, Kyoto, Japan)을 이용하여 1 kgf (9.8 N)의 하중으로 15초간 압입을 통하여 시편 10개를 각각 5회 측정하여 미세경도를 측정하였다.

굽힘 강도는 압력이 가해졌을 때 시편이 버틸 수 있는 강도로 각각의 시편의 굽힘 강도를 평가하기 위하여 국제규격 ISO-4049:2019에 따라 길이 25 mm, 폭 2 mm인 높이 2 mm 사이즈로 시편을 제작하여 측정하였다. 각 군마다 10개의 시편을 만능시험기(Quasar 10, GALDABINI, Cardano Al Campo, Italy)에서 하중을 가하여 측정하였다(Fig. 3). 시편의 지지점 중앙에 1 mm/min의 속도로 시편이 파절될 때까지 하중을 가하여, 파절되는 순간 하중값(N)을 측정하였다.

저작 마모도 평가는 저작 시 표면의 마모 양상을 평가하기 위하여 시편은 길이 20 mm, 폭 20 mm인 높이 15 mm로 설정하였고, 안타고니스트는 지르코니아 볼을 이용하여 시행하였다. 저작시험기(Chewing simulator CS-4, SD Mechatronic GmbH, Feldkirchen-Westerham, Germany) (Fig. 4)를 이용하여 각 군마다 10개의 시편을 이용하여 100,000회의 저작시험을 시행하였다. 지르코니아 볼과 각 시편 사이의 저작 전 거리는 3 mm로 설정하였고, 지르코니아 볼은 300 N의 힘으로 상하로 5 mm, 좌우로 3 mm씩 움직이도록 하여 저작시험을 시행하였다. 저작시험 전, 후의 시편무게를 측정하여 비교하였다.

시편의 저작 시험 전, 후의 표면 미세구조 변화를 관찰하기 위하여 저작시험 전 시편의 표면은 3 μ m와 1 μ m

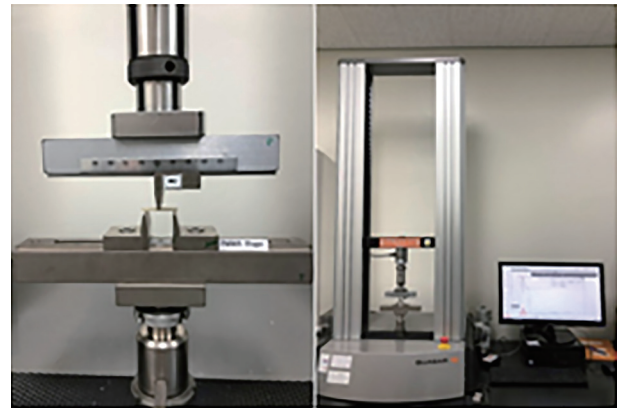


Fig 3. 3point bending test.

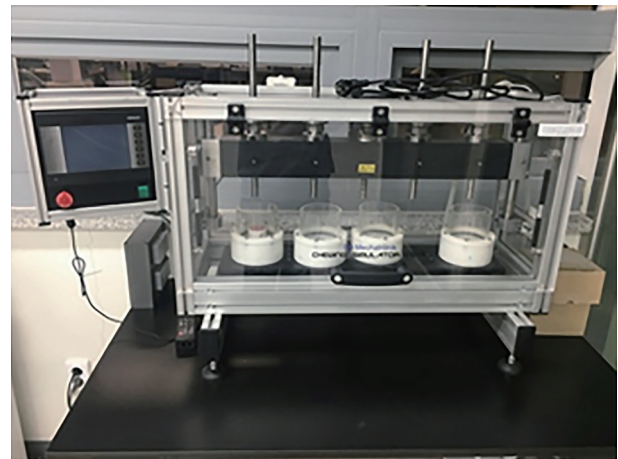


Fig. 4. Chewing test.

의 다이아몬드 페이스트(MP-DS 50-0300, MTDI, Daejeon, Korea)를 사용하여 연마 후 초음파 세척기(JAC-2010, KODO Technical Research Co. Ltd, Hwaseong, Korea)에서 알코올과 증류수로 20분간 세척하였다. 저작시험 이후의 표면을 관찰하기 위해 표면 연마는 하지 않고, 시편을 알코올과 증류수로 20분간 세척하였다. Sputter Coater (108 auto, Cressington Scientific Instruments Ltd, Watford, UK)를 사용하여 시편의 표면에 백금 코팅하였다. 코팅 후 주사전자현미경(FE-SEM, JSM-7500F, JEOL, Tokyo, Japan)을 사용하여 시편의 저작시험 전, 후 표면을 관찰하였다.

실험결과는 IBM SPSS 25v (SPSS Inc, Chicago, USA) 프로그램을 사용하여 통계 분석하였다. 각 군 간의 비커스 경도, 3축 굽힘 강도, 저작시험 전, 후 무게를 kruskal-Wallis test로 유의성을 검정하고, man whitney u test로

사후 검정하였다. 모든 결과는 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 결정하였다.

결과

각 시편의 경도 측정 결과 Group I의 평균값이 30.73 ± 0.61 HV로 나타났으며, Group II, Group III, Group IV의 각각 평균 경도 값은 27.26 ± 0.45 HV, 25.20 ± 0.32 HV, 24.40 ± 0.31 HV로 약 1 HV씩 경도가 감소하였다(Table 2). Group I이 가장 높은 경도를 나타내었으며, Group IV가 가장 낮은 경도를 나타내었다. 모든 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

각 시편의 굽힘 강도 측정 결과 Group I의 평균값이 186.78 ± 3.34 MPa로 나타났으며, Group II, Group

III, Group IV의 각각 평균 굽힘 강도 값은 145 ± 2.34 MPa, 120 ± 1.57 MPa, 101.95 ± 2.2 MPa로 측정되었다(Table 3). Group I이 가장 높은 굽힘 강도를 나타내었고, Group IV가 가장 낮은 굽힘 강도를 나타내었다. 모든 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

각 군의 시편들을 저작시험 전, 후의 무게를 측정, 비교하여 마모양을 평가하였다. Group I에서 평균 0.0973 ± 0.0062 g의 마모양을 보였고, Group II, Group III, Group IV의 각각 평균 마모양은 0.1280 ± 0.0185 g, 2.3306 ± 0.1621 g, 2.8243 ± 0.2684 g으로 측정되었다(Table 4). Group I이 가장 적은 마모양을 보였고, Group IV가 가장 많은 마모양을 보였다. 모든 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

각 군의 저작시험 전, 후의 미세구조 표면을 주사전자 현미경으로 관찰하였다(Fig. 5). 저작시험 전 시편들에서는 평활한 면이 관찰되었다. 저작시험 후 Group I에서는

Table 2. Mean value of Vickers Hardness (unit = HV)

Group	Number	Hardness (HV)
I	10	30.73 ± 0.61^a
II	10	27.26 ± 0.45^b
III	10	25.20 ± 0.32^c
IV	10	24.40 ± 0.31^d

*Different letters in the same row indicate statistical significance ($P < 0.05$) by kruskal wallis test. Values with the same letter are not statistically different from each other.

Table 3. Mean value of 3point bending strength (unit = HV)

Group	Number	3point bending strength (Mpa)
I	10	186.78 ± 3.34^a
II	10	145 ± 2.34^b
III	10	120.09 ± 1.57^c
IV	10	101.95 ± 2.2^d

*Different letters in the same row indicate statistical significance ($P < 0.05$) by kruskal wallis test. Values with the same letter are not statistically different from each other.

Table 4. Mean value of weight loss after Chewing test (unit = g)

Group	Number	Weight loss after chewing test (g)
I	10	0.0973 ± 0.0062^a
II	10	0.1280 ± 0.0185^b
III	10	2.3306 ± 0.1621^c
IV	10	2.8243 ± 0.2684^d

*Different letters in the same row indicate statistical significance ($P < 0.05$) by kruskal wallis test. Values with the same letter are not statistically different from each other.

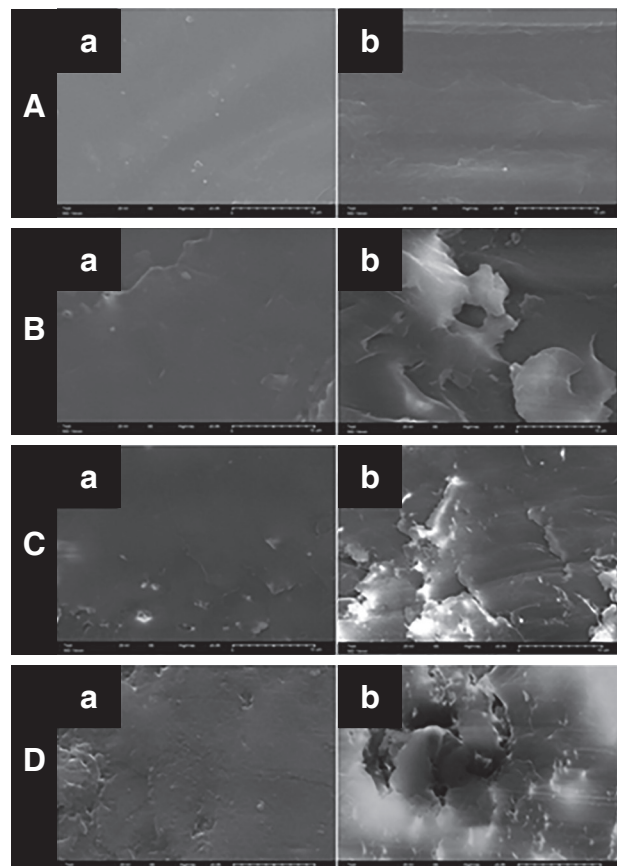


Fig. 5. Scanning electron microscopy (SEM) images (Original magnifications $\times 5000$), (A) Group I, (B) Group II, (C) Group III, (D) Group IV, (a) Before chewing test, (b) After chewing test.

지르코니아 볼이 시편과 접촉되어 이동한 경로를 따라 압흔 정도만 관찰되었다. Group II에서는 작은 공극들이 관찰되었다. Group III에서는 시편에서도 공극이 관찰되었고 공극 주변으로 균열선들이 관찰되었다. Group IV에서는 Group II, Group III에서보다 공극의 크기가 더 크고 파괴적으로 관찰되었다.

고찰

임시 수복물은 여러 가지 요구 조건들을 만족시켜야 한다. 크게 기계적, 심미적, 생물학적 요구 조건으로 분류될 수 있다.¹⁹ 본 실험은 기계적 요구 조건에 초점을 맞추어 진행하였고, 기계적 요구 조건 중에서 중요한 경도와 굽힘 강도, 마모 저항성을 평가하였다.

고분자 재료는 준정적인 힘을 가하면 탄성에 의하여 휘어지다가 취성 파절 양상을 보이며 반복적인 힘이 가해지면 공극이나 균열이 생기고, 균열이 전파되어 피로 파절 양상을 보인다.²⁰ 구강 내에서도 고분자 임시 수복물은 다양한 응력을 받으며, 순간적인 강한 힘에 의해 파절이 일어나기도 하고, 반복적인 저작력에 의하여 균열이나 결함이 생기고, 그로 인한 파절 양상을 보이기도 한다.²⁰ 두 가지 파절 양상 중 취성 파절 양상은 3축 굽힘 강도 실험을 통하여 평가하였고, 피로 파절 양상은 저작시험기를 통하여 평가하였다.

비커스 경도와 3축 굽힘 강도 실험 결과 PEEK, PC, PMMA-H, PMMA-T 순으로 경도와 강도가 높았고, 각 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다.

Rayyan 등²¹의 실험에서는 CAD-CAM으로 PMMA 임시치아를 제작한 경우, 표면 경도는 21.2 ± 1 HV, 굽힘 강도는 142 ± 12 MPa의 결과를 보였다. Digholkar 등²²의 실험에서는 CAD-CAM으로 PMMA 임시치아를 제작한 경우, 표면 경도는 25.33 ± 0.90 HV, 굽힘 강도는 104.20 ± 12.78 MPa의 결과를 보였다. 본 논문의 실험에서 PMMA 군인 Group III, Group IV의 실험 결과값이 Digholkar 등의 실험에서와 비슷한 수치를 보였다. 본 실험에서 15초의 압입을 통해 경도 실험을 시행한 것과 달리 Rayyan 등의 실험에서는 30초간의 압입을 통한 경도 실험을 시행하였고, 그에 따라 본 실험보다 Rayyan 등의 실험에서 경도값이 더 작게 나타났을 것으로 사료된다. 그리고 본 실험에서 $25 \times 2 \times 2$ mm의 시편을 이용하여 굽힘 강도 실험을 시행한 것과 달리 $18 \times 3 \times 2$ mm의 시편을 이용하여 굽힘 강도 실험을 시행하였고, 시편의 길

이가 짧은 Rayyan 등의 실험에서 굽힘 강도 값이 크게 나온 것으로 사료된다. 반면, Digholkar 등의 실험에서는 경도 실험과 굽힘 강도 실험에서 가해지는 하중의 크기와 시간, 시편의 규격 등이 본 실험과 일치하여 비슷한 결과값을 나타낸 것으로 보인다.

Kassem 등²³의 실험에서는 PEEK 군의 표면 경도는 31.55 ± 2.67 HV, 굽힘 강도는 267 ± 43 MPa의 결과값을 보였다. 본 실험에서 PEEK 군인 Group IV의 평균 경도는 30.73 ± 0.61 HV, 굽힘 강도는 186.78 ± 3.34 MPa의 값을 보였다. 본 실험에서 1 kgf의 하중을 통해 경도 실험을 시행한 것과 달리 Kassem 등의 실험에서는 500 gf의 하중을 통해 경도 실험을 시행하였고, 그에 따라 본 실험보다 Kassem 등의 실험에서 경도값이 높게 나온 것으로 사료된다. 그리고 본 실험에서 $25 \times 2 \times 2$ mm의 시편을 이용하여 굽힘 강도 실험을 시행한 것과 달리 Kassem 등의 실험에서는 $25 \times 5 \times 1.5$ mm의 시편을 이용하여 굽힘 강도 실험을 시행하였고, 시편의 두께가 두꺼운 Kassem 등의 실험에서 굽힘 강도 값이 크게 나온 것으로 사료된다. Schwitalla 등의 실험에서는 PEEK 블록으로 임시치아를 제작한 경우, 블록에 따라 굽힘 강도는 170.37 ± 19.31 MPa에서 1009.63 ± 109.33 MPa의 값을 보였다. 이는 PEEK 블록을 제작할 때 첨가되는 화합물과 비율, 그리고 성형 방법에 따라 달라진다고 하였다.²⁴

본 실험에서 100,000회의 저작 시험 후 마모 양은 PEEK, PC, PMMA-H, PMMA-T 순으로 적게 나타났고, 각 군 간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 또한 높은 경도와 강도를 보인 PEEK의 저작 시험 이후 표면 SEM image에서는 저작시험에 사용된 안타고니스트의 이동 경로만 관찰되었지만, PC와 PMMA-H, PMMA-T는 100,000회의 저작시험을 통해 표면에서 공극과 균열이 보이는 것을 확인하였다. 실험의 변수들에 대해 생각해 보면 표면경도와 굽힘 강도는 시편의 규격, 고분자 화합물의 성분과 비율, 블록의 제작 공정 방법, 하중의 크기와 시간 등에 의해 달라질 것으로 사료된다. 저작시험 후 마모도 값은 고분자 화합물의 성분과 비율, antagonist의 종류와 형태, 하중의 크기와 시간, cycle 횟수 등의 변수에 따라 달라질 것으로 생각된다.

Wimmer 등²⁵의 실험에서는 본 실험에서와 같은 저작 시험기를 통하여 저작시험을 시행하였지만, 와 저작 시험기의 조작은 달랐다. 본 실험에서는 안타고니스트로 지르코니아 볼을 이용하였으나 Wimmer 등의 실험에서는 자연치의 법랑질과 대구치 형태의 금속을 이용하였다.

또한 본 실험에서는 안타고니스트를 300 N의 하중으로 좌우로 3 mm씩 움직였고, 100,000회의 저작시험을 하였으나 Wimmer 등의 실험에서는 안타고니스트를 50N의 하중으로 좌우 0.7 mm씩 움직였고, 600,000회의 저작시험을 하였다. 많은 변수들의 차이가 있어서 수치의 차이는 있지만 Wimmer의 실험과 본 실험에서 모두 PMMA로 제작한 시편에서 PEEK로 제작한 시편보다 4~5배 정도의 마모양을 보였고, 더 많은 공극과 균열을 보였다.

알려진 바와 같이 본 논문의 실험에서도 PEEK의 기계적 물성이 전체적으로 PMMA나 PC보다 높았으며, 통계적으로도 유의한 차이를 보였다. 그리고 PC도 PEEK보다는 낮지만 PMMA보다 통계적으로 유의한 차이를 보일 정도로 높게 나왔다. 또한, PMMA와 PEEK의 결과값이 이전 논문들의 실험값과 비교하였을 때 크게 벗어나지 않는 것으로 보인다. Polycarbonate를 이용한 임시치아에 대한 기계적 강도 실험에 대해서는 아직까지 실험 데이터가 많지 않지만 다른 고분자 시편의 결과값이 이전 실험값들과 크게 다르지 않은 것으로 보아 본 실험에서 Polycarbonate의 결과값들도 어느 정도 신뢰성을 가지는 것으로 사료된다.

ISO 10477:2018에 따르면 고분자 재료로 제작된 임시치아의 최소 굽힘 강도는 65 MPa 이상이어야 한다고 하였다. 실험에서 사용된 모든 고분자 재료의 굽힘 강도는 65 MPa보다 높게 측정되었다. 하지만 영구 보철물의 굽힘 강도와 비교하면 아직까진 많이 부족하다. Kwon 등²⁶의 실험에서 지르코니아로 제작한 보철물의 굽힘 강도는 1194 ± 111 MPa를 보였고, E-max로 제작한 보철물의 굽힘 강도는 450 ± 53 MPa를 보였다.

Polycarbonate는 적절한 기계적 성질과 색 안정성, 경제력 있는 가격, PMMA와의 적절한 접합 강도 등이 장점으로 작용한다.^{17,18} 본 실험에서도 PEEK 보다는 낮지만 현재 임상적으로 가장 많이 사용되는 PMMA보다는 유의한 차이를 보일 정도로 기계적 물성이 좋았다. 향후 고분자화합물에 강화물질을 첨가하거나 공정 방법을 개선함으로써 필요한 기계적 성질을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 몇 가지 한계점이 존재한다. 복잡한 구강 환경을 재현해 주기 위해서는 in vitro 실험뿐만 아니라 in vivo 실험도 필수적이다. 일반적으로 구강환경에서와 실험실 환경에서의 결과값은 너무나 다양한 변수가 있기 때문에 차이가 있다. 하지만 in vitro 실험에서 표준화된 시편을 통해 다른 고분자 재료들끼리의 상대적인 평가는

수행할 수 있기에 본 논문의 실험이 의미 있으며, 향후 in vivo 실험을 위한 바탕이 될 수 있다고 사료된다.

결론

본 연구는 임시 수복물로 사용 가능한 고분자 재료들의 기계적 특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다. PEEK, PC, PMMA-H, PMMA-T 순으로 경도와 강도가 높은 것으로 나타났다. 그리고, 100,000회 저작시험에서 PEEK, PC, PMMA-H, PMMA-T 순으로 저작 표면에 많은 균열과 결합이 증가하여 경도와 강도에 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

본 연구 결과에 따르면 PC는 임시치아 제작에 적용할 수 있는 충분한 기계적 성질을 가진 것으로 사료된다. 그러나, 실제 임상 적용을 위해서는 생체 친화성과 같은 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgements

이 논문은 2018년도 조선대학교 치과병원 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

ORCID

Gwang-Yun Kim <https://orcid.org/0000-0001-8659-4011>

Young-Hun Kwak <https://orcid.org/0000-0001-6859-5539>

Hee-Jung Kim <https://orcid.org/0000-0002-2015-1530>

References

1. Prasad DK, Shetty M, Alva H, Prasad DA. Provisional Restorations in Prosthodontic Rehabilitations - Concepts, Materials and Techniques. J Heal Allied Sci NU 2012;02:72-7.
2. Burns DR, Beck DA, Nelson SK. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: Report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. J Prosthet Dent 2003;90:474-97.
3. Singh A, Garg S. Comparative evaluation of flexural strength of provisional crown and bridge materials-an invitro study. J Clin Diagn Res 2016;10:ZC72-7.

4. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *J Appl Oral Sci* 2016;24:258-63.
5. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, Ferracane JL, Bertassoni LE. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater* 2018;34:192-200.
6. Vallittu PK. The effect of glass fiber reinforcement on the fracture resistance of a provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent* 1998;79:125-30.
7. Tjong SC. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites. *Mater Sci Eng R Rep* 2006;53:73-197.
8. Balkenhol M, Köhler H, Orbach K, Wöstmann B. Fracture toughness of cross-linked and non-cross-linked temporary crown and fixed partial denture materials. *Dent Mater* 2009;25:917-28.
9. Karaokutan I, Sayin G, Kara O. In vitro study of fracture strength of provisional crown materials. *J Adv Prosthodont* 2015;7:27-31.
10. Hong MG, Shin SY. Comparative study of surface modification on bond strength of polyetherketoneketone adhesively bonded to resins for temporary restoration. *J Dent Rehabil Appl Sci* 2020;36:1-11.
11. Lee KS, Shin JH, Kim JE, Kim JH, Lee WC, Shin SW, Lee JY. Biomechanical Evaluation of a Tooth Restored with High Performance Polymer PEKK Post-Core System: A 3D Finite Element Analysis. *Biomed Res Int* 2017;2017:1373127.
12. Han KH, Lee JY, Shin SW. Implant- and Tooth-Supported Fixed Prostheses Using a High-Performance Polymer (Pekkton) Framework. *Int J Prosthodont* 2016;29:451-4.
13. Zoidis P, Papathanasiou I. Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. *J Prosthet Dent* 2016;116:637-41.
14. Hallmann L, Mehl A, Sereno N, Hämmerle CHF. The improvement of adhesive properties of PEEK through different pre-treatments. *Appl Surf Sci* 2012;258:7213-8.
15. Haleem A, Javaid M. Polyether ether ketone (PEEK) and its manufacturing of customised 3D printed dentistry parts using additive manufacturing. *Clin Epidemiol Glob Health* 2019;7:654-60.
16. Skirbutis G, Dzingutė A, Masiliūnaitė V, Šulcaitė G, Žilinskas J. PEEK polymer's properties and its use in prosthodontics. A review. *Stomatologija* 2018;20:54-8.
17. Lui JL, Setcos JC, Phillips RW. Temporary restorations: a review. *Oper Dent* 1986;11:103-10.
18. King CJ, Young FA, Cleveland JL. Polycarbonate resin and its use in the matrix technique for temporary coverage. *J Prosthet Dent* 1973;30:789-94.
19. Mathur S, Shah A, Makwana R, Shah M, Shah A, Jathal N. Provisional restorative materials in fixed prosthodontics: A comprehensive review. *B Bhavnagar Univ J Dent* 2013;3:49-57.
20. Skal's'kyi VR, Makeev VF, Stankevych OM, Kyrmanov OS, Vynnyts'ka SI. Alternation of the types of fracture for dental polymers in different stages of crack propagation. *Mater Dent* 2015;50:836-43.
21. Rayyan MM, Aboushelib M, Sayed NM, Ibrahim A, Jimbo R. Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *J Prosthet Dent* 2015;114:414-9.
22. Digholkar S, Madhav VNV, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc* 2016;16:328-34.
23. Kassem YM, Alshimy AM, El-Shabrawy SM. Mechanical Evaluation of Polyetheretherketone Compared With Zirconia As a Dental Implant Material. *Alexandria Dent J* 2019;44:61-6.
24. Schwitalla AD, Spintig T, Kallage I, Müller WD. Flexural behavior of PEEK materials for dental application. *Dent Mater* 2015;31:1377-84.
25. Wimmer T, Huffmann AMS, Eichberger M, Schmidlin PR, Stawarczyk B. Two-body wear rate of PEEK, CAD/CAM resin composite and PMMA: Effect of specimen geometries, antagonist materials and test set-up configuration. *Dent Mater* 2016;32:127-36.
26. Kwon SJ, Lawson NC, McLaren EE, Nejat AH, Burgess JO. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent* 2018;120:132-7.

폴리카보네이트 임시수복재료의 물성 평가

김광윤 전공의, 곽영훈 대학원생, 김희중* 교수

조선대학교 치과대학 치과보철학교실

목적: 현재 상용화하여 사용되는 임시 수복물 재료와 새롭게 대두되는 재료들의 기계적 성질을 실험하고, 평가하는 것이다.

연구 재료 및 방법: Polymethyl methacrylate (PMMA) 2종, polyetheretherketone (PEEK), polycarbonate 4군의 고분자 재료들을 평가하였고, 표면 경도, 굴곡강도, 저작 시 마모도, 마모 양상 4가지의 기계적 물성을 실험하였다. 시편의 3축 굽힘 강도와 비커스 경도 테스트는 각각 만능 시험기를 사용하여 측정하였고, 저작 시험기를 이용하여 100,000회의 저작 시험 후 주사 전자 현미경으로 미세구조를 관찰하고 전, 후 무게를 비교하였다. 통계적 유의성 평가를 위해 kruskal wallis test를 시행하였다.

결과: PEEK의 굽힘 강도와 비커스 경도가 가장 높게 나타났으며, PC, PMMA-H, PMMA-T 순으로 나타났다. 미세구조 표면은 PEEK 군에서 거칠기 형태가 가장 적게 나타났으며, PC, PMMA-H, PMMA-T 순으로 적게 나타났다.

결론: PC는 임시치아 제작에 적용할 수 있는 충분한 기계적 성질을 가진 것으로 사료된다. 그러나, 실제 임상 적용을 위해서는 생체 친화성과 같은 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

(구강회복응용과학지 2020;36(3):168-75)

주요어: polycarbonate; polymethyl methacrylate; polyetheretherketone; 기계적 물성

*교신저자: 김희중

(61452) 광주광역시 동구 필문대로 309 조선대학교 치과대학 치과보철학교실

Tel: 062-220-3829 | Fax: 062-232-7776 | E-mail: khjdds@chosun.ac.kr

접수일: 2020년 6월 26일 | 수정일: 2020년 7월 7일 | 채택일: 2020년 7월 30일