

# 시효처리가 폴리머 임시수복물 재료의 굽힘특성에 미치는 영향

박진서, 박미경 \*

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

## Effect of Aging Treatment on the Flexural Properties of Polymer Provisional Restoration Materials

Jin-Seo Park, Mi-Gyoung Park \*

Department of Dental Laboratory Science Graduate School, Catholic University of Pusan, 9, Bugok 3-dong, Geumjeong-gu, Busan, 609-757, South Korea

(Received: Aug. 19, 2013; Revised: Sep. 25, 2013; Accepted: Sep. 25, 2013)

### ABSTRACT

The aim of this study was to investigate effect of aging treatment on the flexural properties of implant provisional restoration materials. Three different resins, one self curing resin (PMMA), one dual curing resin (Bis-acrylic composite), and one CAD/CAM PMMA block, were used in this study. After aging treatment dried at 37°C for 24 hours (24h) and immersed in 37°C distilled water for 14 days after dried 37°C for 24 hours (14d) for three different resin specimens, respectively, flexural strength test was performed with a universal testing machine (UTM) and the fracture surface of specimens was observed by scanning electron microscopy (SEM). Among experimental groups, CAD/CAM PMMA block was significantly highest flexural strength and flexural modulus values followed by dual curing resin, and self curing resin ( $p < 0.001$ ). Aging treatment did not significantly reduced the flexural strength, but significantly reduced flexural modulus.

In the observation of fracture surface of specimens, there were no apparent differences in CAD/CAM PMMA block and dual curing resin by aging treatment. In self curing resin, crack appeared.

**KEY WORDS** : provisional restoration, CAD/CAM PMMA block, Flexural strength, Aging Treatment

## 서론

임시수복물 (provisional restoration)이란 최종 수복물이 장착될 때까지 일정기간 구강 내에 장착되는 보철물로서, 임시수복물의 제작은 성공적인 보철치료를 위해 임상에서 중요한 단계이다. 임시치관이 단순히 일시적인 공간 유지와 지대치의 보호에 사용되는 수복물인데 비해, 임시수복물은 최종보철물로 이행하기 전에 기능과 형태는 최종보철물과 동일한 상태로 표현된 치료용 수복물이다. 임시수복물은 치수보호, 위치안정성, 교합기능, 주변 연조직형태의 조절, 변연 (margin) 정확성, 마모저항, 강도 및

심미 등의 요구를 충족시켜야 한다 (Humbrigue, 2003).

최근 임플란트 시술 증가에 따른 임시수복물 사용기간의 장기화로 인해 기존의 임시수복물에 요구되지 않았던 높은 강도가 필요하게 되었다. 보통 임시수복물의 사용기간은 7일을 넘지 않았으나 임플란트의 시술기간이 상악 3개월~6개월, 하악 2개월~3개월임을 고려하면 임플란트 임시수복물의 사용기간은 최소 2개월에서 길게는 6개월에 이르게 된다.

이처럼, 임플란트 임시수복물에서 강도 역할이 중요함에도 불구하고, 기존의 연구들은 주로 제작방식과 변연적합 등에 대한 연구들이 대부분이었고 (Boberick과 Bachstein, 1999; Christensen, 2003; Haselton 등, 2005; Ehrenberg 등, 2006; Lewinstein 등 2007), 임시수복물 재료의 굽힘강도에 대한 연구는 제한적인 실정이다. Kamble

\* 교신저자 : 박미경, 부산시 금정구 부곡3동 9 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과  
Tel : 051-510-0595, E-mail : mgpark@cup.ac.kr

등 (2012)은 PMMA 레진은 복합레진보다 굽힘강도가 낮았지만 섬유보강이 기계적 성질의 향상에 효과적이었다고 보고하였고, Osman 등 (1993)은 임시수복재료의 굽힘강도에 대한 연구에서 PMMA레진인 Snap이 가장 높은 굽힘강도를 보였다고 보고하였다. Haselton 등 (2002)은 임시수복재료 사용되는 PMMA 레진과 Bis-acrylic 레진의 굽힘강도에 대한 연구에서 굽힘강도의 범위는 56.2~123.6 MPa이고, Bis-acrylic 레진계열의 제품의 굽힘강도가 PMMA 레진계열의 제품보다 높은 경향을 보인다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 임상에서 많이 사용하고 있는 임플란트 임시수복물 재료인 두 종류의 레진과 한 종류의 CAD/CAM PMMA 블록을 시효처리하여 굽힘특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 연구에서는 PMMA계열의 Vertex 자가중합레진 (Vertex dental, Zeist, Netherlands), Bis-acrylic 콤포지트 계열의 Luxatemp automix solar (DMG Dental-Material GmbH, Hamburg, Germany) 그리고 PMMA 계열의 Dmax PMMA 블록 (Dentis, Deagu, Korea) 등 총 3종의 레진을 사용하였다 (Table 1).

굽힘강도 측정을 위하여 Vertex 자가중합레진 (VT군), Luxatemp automix solar (LA군), Dmax PMMA 블록 (DM군)의 3종의 레진으로 ISO 4049 규격에 따라 25 mm × 2 mm × 2 mm 크기의 검사시편 제작용 금속

몰드를 사용하여 각각 20개씩의 시편을 제작하였다.

VT군은 제조사의 지시에 따라 혼합한 후, 병상의 레진을 유리판 위에 올려놓은 금형 내에 채운 다음, 다른 유리판으로 압력을 가하여 여분의 레진을 제거하였다. 이후 제조사의 지시대로 가압기에 넣고 중합하였다. Bis-acrylic 계열의 콤포지트 레진인 LA군은 제조사가 지시대로 지정 디스펜서를 사용하여 혼합한 후, VT군과 동일한 방식으로 레진을 주입한 후 제조사의 지시에 따라 광조사기 (3M ESPE Visio™ Alfa, Wehrhein, Germany)를 사용하여 상하면의 두 위치에서 10초씩 총 20초간 광중합을 시행한 후 광중합기 (3M ESPE Visio™ Beta vario, Wehrhein, Germany)에서 1분간 중합하였다. DM군의 시편은 ISO 4049 규격에 따라 25 mm × 2 mm × 2 mm로 평면연삭기에 장착된 160 mesh 다이아몬드 휠을 사용하여 절단한 후, 320 mesh 다이아몬드 휠로 다듬었다. 이후 4 μm~8 μm의 다이아몬드 파우더로 1차 폴리싱 한 후 0 μm~2 μm의 다이아몬드 파우더로 2차 폴리싱하여 마무리하였다.

금형에서 시편을 분리한 후 시효처리에 따른 레진의 기계적 강도의 변화를 관찰하기 위해, 37℃의 증류수 중에서 시효처리를 실시하였다. 중합된 시편 중 제 1군은 37℃의 항온기에서 24시간 건조하였고, 제 2군은 37℃의 항온기에서 24시간 건조 후 37℃증류수 중에 14일간 침적하였다. Table 2의 VT24, LA24, DM24는 37℃에서 24시간 건조한 시편이며, VT14, LA14, DM14는 37℃에서 24시간 건조 후 37℃ 증류수 중에 14일간 침적하였던 시편이다 (Table 2).

Table 1. Resins used in this study

Material	Manufacturer	Curingmethod	Type	Composition
Vertex Self curing resin	Vertex dental (Zeist, Netherlands)	self curing	polymethyl methacrylate (PMMA)	Powder: Methylmethacrylate homopolymer di-benzoyl peroxide Liquid: Methylmethacrylate cross linker accelerator UV absorber
Luxatemp automix solar	DMG Dental-Material GmbH (Hamburg, Germany)	dual curing	Bis-acrylic composite	glass powder silica urethan dimetharylate aroma dimetharylate glycol dimetharylate
Dmax PMMA block	Dentis Co.,Ltd. (Deagu, Korea)	resin block	polymethyl methacrylate (PMMA)	Methylmethacrylate

**Table 2.** Specimens for flexural strength in this study

Brand name	Group	Aging time	Number of specimens
Vertex Self curing resin	VT	24 h	10
		14 d	10
Luxatemp automix solar	LA	24 h	10
		14 d	10
Dmax PMMA block	DM	24 h	10
		14 d	10

**Table 3.** Flexural strength for experimental resins

(Unit, MPa)

Product	Aging time	24 hours <sup>a</sup>	14 days <sup>a</sup>	P value
VT <sup>A</sup>		101.03 ± 14.35	79.78 ± 9.72	$\alpha < 0,001$ $\beta = 0,063$ $\alpha * \beta = 0,006$
LA <sup>B</sup>		108.48 ± 5.86	99.61 ± 10.21	
DM <sup>C</sup>		158.57 ± 5.77	172.46 ± 3.57	

$\alpha$ : product,  $\beta$ : aging time

\* Statistically significant difference on product is shown by superscript letters A,B, for different aging time by superscript letters a,b,c. Same letters are not significantly different ( $p > 0.05$ ).

## 2. 굽힘특성 측정

굽힘특성 (굽힘강도와 굽힘탄성률) 측정은 ISO 4049에서 규정하고 있는 방법을 사용하여, 액상의 조건 하에서의 시효처리가 임플란트 임시수복물용 레진의 굽힘 성질에 미치는 영향을 평가하기 위해 준비된 3종의 시편을 각각 10개씩 2개의 군으로 분류하였다. 제 1군은 37°C의 항온기에서 24시간 건조하였고, 제 2군은 37°C의 항온기에서 24시간 건조 후 37°C의 증류수 중에 14일간 침적하였던 시편을 꺼내어 수분을 제거하고 만능재료시험기 (UTM, STM-10, CA, USA)를 사용하여 굽힘시험을 실시하였다. 굽힘시험은 3점 굽힘시험으로 실시하였고 표점 거리 20 mm에서 로드셀의 이동속도는 1 mm/min으로 실시하였다. 굽힘강도( $\sigma$ )의 계산식은 다음과 같다.

$$\sigma = 3LP/(2WH^2)$$

- L: 지지대간의 거리(20mm)
- P: 시편에 가해진 최대 힘(N)
- W: 시편의 두께(2mm)
- H: 시편의 높이(2mm).

굽힘탄성계수의 계산식은 다음과 같다.

$$E = (P/D) \cdot [L^3/(4W^3)]$$

P/D: 응력-변형도 곡선의 초기 기울기

## 3. 파절단면관찰

굽힘시험 후 파단면의 관찰은 주사전자현미경 (INSPECT

F50, FEI, Oregon, USA)을 사용하여 관찰하였다. 시험편이 부도체이므로 시험편을 관찰하기 위하여 스퍼터링 (sputtering) 장치를 사용하여 표면에 백금 코팅을 실시한 뒤 관찰하였다. 파단면의 관찰은 5,000배율로 관찰하였다.

## 4. 통계분석

실험결과 자료는 SPSS Ver.19.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 실험군의 차이를 비교하기 위하여 이변량 분산분석 (two-way ANOVA)과 일변량분석 분산분석 (one-way ANOVA)을 시행하였다. Tukey 사후검증에 의해서 통계학적 유의성을 검사하였다 ( $p=0.05$ ).

# 결 과

## 1. 굽힘특성

굽힘강도는 시효처리 전과 후의 결과에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 ( $p>0.05$ )(Table 3). 레진의 종류에 따라서는 굽힘강도에서 유의한 차이가 나타났으며, DM군, LA군 및 VT군 순으로 높았다 ( $p<0.001$ ). 24시간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 DM군(158.57 MPa), LA군(108.48 MPa) 및 VT군(101.03 MPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p<0.05$ ). 14일간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 DM군(172.46 MPa), LA군(99.61 MPa) 및 VT군(79.78 MPa) 순으로 높았으며,

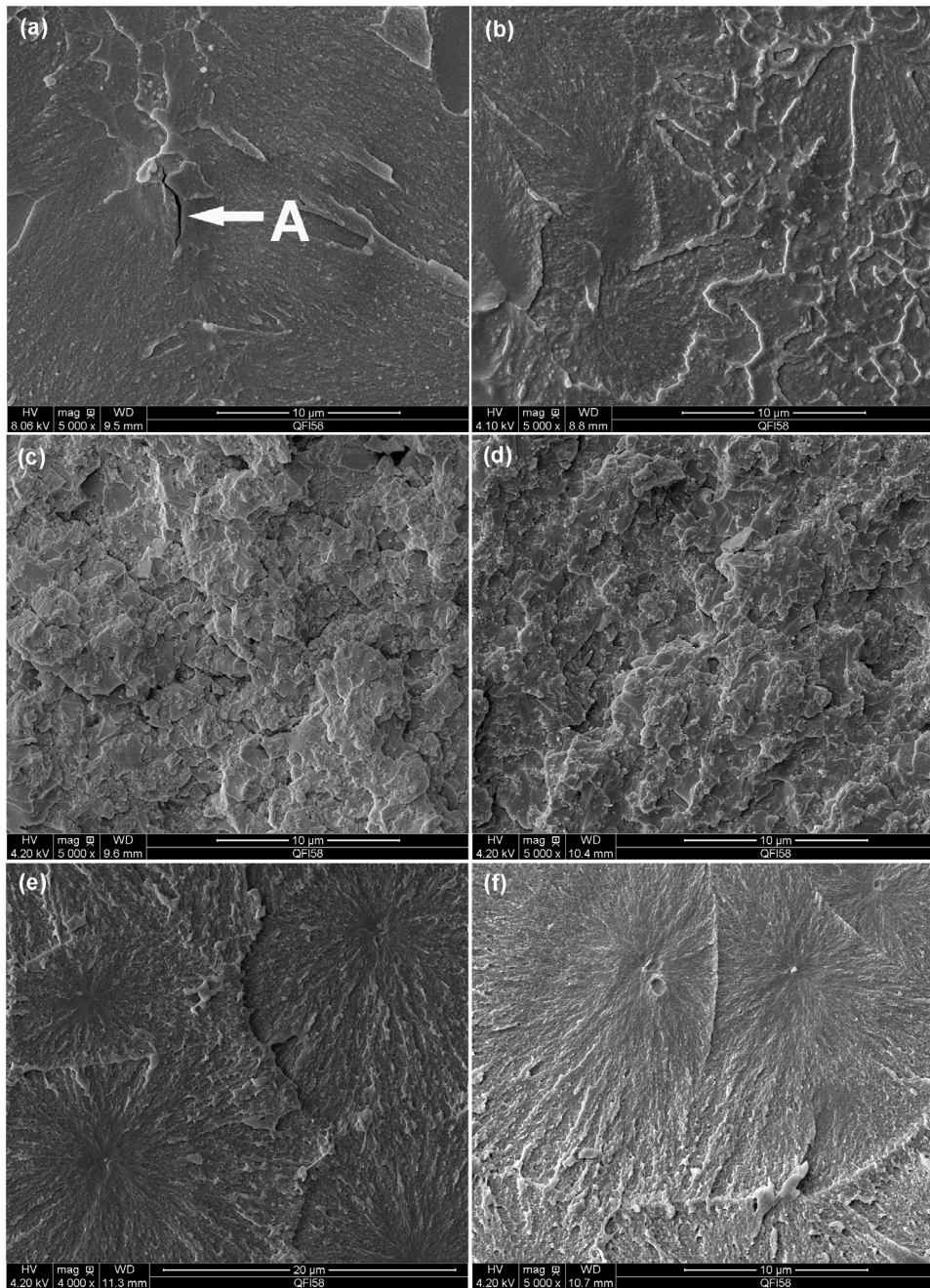
**Table 4.** Flexural modulus for experimental resins

(Unit, GPa)

Product \ Aging time	24 hours <sup>a</sup>	14 days <sup>b</sup>	P value
VT <sup>A</sup>	1.70 ± 0.30	1.18 ± 0.26	$\alpha < 0.001$
LA <sup>B</sup>	1.86 ± 0.32	1.77 ± 0.40	$\beta < 0.001$
DM <sup>C</sup>	2.40 ± 0.16	1.73 ± 0.28	$\alpha^* \beta = 0.04$

$\alpha$ : product,  $\beta$ : aging time

\*Statistically significant difference on product is shown by superscript letters A,B, for different aging time by superscript letters a,b,c. Same letters are not significantly different ( $p > 0.05$ ).



**Figure 1.** SEM micrographs showing fracture surface of specimen (a) VT24, (b) VT14, (c) LA24, (d) LA14, (e) DM24 and (f) DM14.

유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ).

굽힘탄성률은 시효처리 전과 후의 결과에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.001$ ) (Table 4). 시효처리 후에 굽힘탄성률이 전체적으로 낮아졌다. 레진의 종류에 따라서는 굽힘탄성률에서 유의한 차이가 나타났으며, DM군, LA군 및 VT군 순으로 높았다 ( $p < 0.001$ ). 24시간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 DM군 (2.40 GPa), LA군 (1.86 GPa) 및 VT군 (1.70 GPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 14일간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 LA군 (1.77 GPa), DM군 (1.73 GPa) 및 VT군 (1.18 GPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ).

## 2. 파절단면 관찰

굽힘시험 후 파절양상을 평가하기 위해 파단면을 주사전자현미경 (INSPECT F50, FEI, Oregon, USA)으로 5,000배율로 관찰하였다. Figure 1은 5,000배율로 관찰한 SEM 사진이다. 파단면의 관찰에서 LA군과 DM군에서는 24시간 시효처리군과 14일간 시효처리군 사이에 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 VT군의 경우는 24시간 시효처리군에서 크랙(A)이 관찰되었고 14일간 시효처리군에서는 레진 표면에 석출이 일어나는 것이 관찰되었다 (Figure 1).

## 고찰

본 연구에서 임시수복물로 사용되는 3종의 레진의 굽힘강도는 시효처리에 의한 유의한 차이는 나타나지 않았지만 ( $p > 0.05$ ), 레진종류에 따라 VT군과 LA군은 굽힘강도가 감소하였고, DM군은 굽힘강도가 증가하였다. 레진의 종류에 따라서는 굽힘강도에서 유의한 차이가 나타났으며, DM군, LA군 및 VT군 순으로 높았다 ( $p < 0.001$ ). 24시간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 DM군 (158.57 MPa), LA군 (108.48 MPa) 및 VT군 (101.03 MPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 14일간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 DM군 (172.46 MPa), LA군 (99.61 MPa) 및 VT군 (79.78 MPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 본 연구에서 측정된 실험군의 굽힘강도의 범위는 79.78-172.46 MPa로 대부분의 복합 레진 제품의 굽힘강도 (63-161 MPa)와 유사하다 (Ilie와 Hickel, 2009). PMMA 레진인 VT군과 Bis-acrylic 레진인 LA군의 굽힘강도는 Haselton 등 (2002)의 연구결

과에서 보고된 임시수복재의 굽힘강도인 56.2-123.6 Ma와 유사하였지만 PMMA 블록인 DM군(158.57 MPa)은 매우 높게 나타났다.

굽힘탄성률은 시효처리 후에 전체적으로 낮아졌다 ( $p < 0.001$ ). 레진의 종류에 따라서도 굽힘탄성률에서 유의한 차이가 나타났으며, DM군, LA군 및 VT군 순으로 높았다 ( $p < 0.001$ ). 24시간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 DM군 (2.40 GPa), LA군 (1.86 GPa) 및 VT군 (1.70 GPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 14일간 37°C의 증류수 중에 침적한 후에는 LA군 (1.77 GPa), DM군 (1.73 GPa) 및 VT군 (1.18 GPa) 순으로 높았으며, 유의한 차이가 나타났다 ( $p < 0.05$ ).

시효처리 후 거의 대부분의 실험군에서 굽힘강도와 굽힘탄성률이 감소한 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는, 3점 굽힘 시험을 실시한 결과, 37°C 증류수에 침적했던 모든 실험군에서 유의한 차이로 강도의 감소를 보였던 Jeong 등 (2001)의 연구결과와, 37°C 증류수 중에 30일간 침적했던 실험군이 65°C 침적군 및 열순환처리 실험군에 비해 2축 굽힘강도 시험에서 가장 낮은 굽힘강도를 보였던 Jeong 등 (1999)의 연구결과와 일치한다. 37°C 증류수 중에 침적하였던 실험군의 강도가 감소했던 것은, 흡수된 수분이 중합 물질에 가소성 효과를 일으켜, 중합체의 기계적, 물리적 구성을 방해하였기 때문이라고 생각된다 (Lee 등, 2010). 수분은 중합 물질에 대한 가소성 효과를 통해 중합체의 기계적, 물리적 구성을 방해한다. 수분 분자는 중합체에 용해되어 들어가는 가소제로써 점진적으로 중합체 사슬을 느슨하게 하고 결국에는 PMMA 레진의 물성에 변화를 일으키게 된다 (Archadian 등, 2000). Lee 등 (2010)에 따르면 PMMA를 주성분으로 하는 교합장치용 레진의 경우 7일간 37°C의 수분에 침적시켰던 실험군이 7일간 37°C에서 건조시켰던 실험군에 비해 낮은 굽힘강도를 보였다. 37°C의 수분에 7일간 침적시킨 경우의 굽힘강도가  $19.52 \pm 0.87$  MPa이고, 7일간 건조시킨 경우  $21.52 \pm 1.15$  MPa로 수분침적군의 굽힘강도가 낮아졌다. Phoenix (2003)에 따르면 수분 흡수는 중합작용 동안 발생하는 압력을 느슨하게 한다고 하였다. 또한 Takahashi 등 (1998)의 연구에서는 24시간 또는 30일간의 수분 저장이 PMMA 레진의 굽힘 강도를 감소시킨다고 하였다.

Vertex 자가중합 레진에 비해 모든 면에서 높은 굽힘강도를 보인 Luxatemp automix solar의 경우에도 시효처리 후 전반적인 굽힘 성질이 감소하였다. 콤포지트 레진은 건조된 상태에서는 비교적 높은 강도를 발휘하지만 액상의 환경에서는 수분의 침투로 인한 레진기질의 가소성

증가와 수분에 의한 실란결합의 가수분해 (Söderholm, 1981; Indrani, 1995)에 의해 기계적 성질이 감소한다. 또한, 콤포지트 레진은 필러의 함량이 많을수록, 수중에서의 침적시간이 길수록 굽힘강도의 감소율이 높아지며 (Arikawa 등, 1995; Takahashi, 1995), 미중합 레진의 중합수축으로 인한 레진과 필러 계면의 내부응력 증가 (Truong 등, 1988), 수분에 의한 필러와 레진의 응력부식(Drummond, 1989) 등 복합적 요인의 작용으로 인해서 기계적 성질이 저하된다.

Dmax PMMA 블록은 다른 2종의 레진에 비해 비교적 강한 굽힘 강도를 보였다. Pearson (1989)은 중합정도가 수분 흡수와 관련된 중요한 요소이며 중합도가 낮을수록 수분흡수가 증가된다고 하였다. PMMA 레진을 압축 사출하여 제작하는 PMMA 블록의 특성상, 압축에 따른 강도의 증가와 함께 안정적인 중합이 수분흡수율을 감소시킨 것으로 생각된다.

임시수복물용 3종의 레진의 시효처리에 따른 굽힘강도를 비교해본 결과 시효처리 후 유의한 차이는 나타나지 않았지만 대부분의 굽힘강도가 감소하였고, Dmax PMMA 블록, Luxatemp automix solar, Vertex 자가중합레진의 순서로 굽힘강도가 높은 것을 알 수 있었다. 이런 결과는 Matsumura 등 (1994)의 PMMA계 경질레진보다 광중합형 치과전장용 콤포지트 레진의 경도와 내마모성이 더 우수하다는 연구결과와, 열중합형보다 광중합형의 기계적인 성질이 우수하다는 Matsumura 등 (1994)의 연구와도 같은 맥락이다.

파단면의 관찰에서 LA군과 DM군에서는 24시간 시효처리군과 14일간 시효처리군 사이에 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 그러나 VT군의 경우는 24시간 시효처리군에서 크랙(A)이 관찰되었고 14일간 시효처리군에서는 레진조직 표면에 석출이 일어나는 것이 관찰되었다. 따라서 VT군의 낮은 굽힘강도와 굽힘탄성률은 크랙의 형성 등이 영향을 미쳤으며, 시효처리에 따른 굽힘강도와 굽힘탄성률의 감소는 크랙의 발달과 석출의 결과로 보여진다. LA군에서는 해상력의 한계로 시효처리에 따른 뚜렷한 변화가 관찰되지 않았지만 시효처리에 따라 조직에서 변화가 일어났으며 이것이 굽힘강도의 감소에 영향을 미쳤을 것이라 생각되어진다.

본 논문에서는 시편을 증류수에 침적한 후 측정하였으나, 실제 구강 내에서의 환경은 음식물의 섭취과정에서 다양한 형태의 응력이 반복적으로 작용할 뿐만 아니라, 열적, 화학적 및 생물학적 변화를 수반하여, 온도와 산도의 다양한 변화가 있으므로 굽힘 성질의 평가 시에 구강환경과 좀 더 가까운 온도와 수분을 고려한 환경에

서 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

## 결론

본 연구에서는 액상의 조건하에서의 시효처리가 임플란트 임시수복물용 레진의 굽힘특성에 미치는 영향을 평가하기 위해, 임상에서 많이 사용하고 있는 임플란트 임시수복물의 재료인 자가중합레진, 이중중합레진 및 CAD/CAM PMMA 블록을 사용하여 제 1군은 37℃에서 24시간 건조시키고, 제 2군은 37℃에서 24시간 건조 후 37℃의 증류수 중에 14일간 침적하여 굽힘강도, 굽힘탄성률을 측정하고 파절단면을 관찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굽힘강도와 굽힘탄성률은 CAD/CAM PMMA 블록, Bis-acrylic 레진 그리고 PMMA 자가중합레진 순으로 높았고, 유의한 차이를 나타냈다 ( $p < 0.001$ ).
2. 굽힘강도는 시효처리 전과 후의 결과에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만 ( $p > 0.05$ ), PMMA 자가중합레진과 Bis-acrylic 레진은 굽힘강도가 감소하였고, CAD/CAM PMMA 블록은 굽힘강도가 증가하였다.
3. 굽힘탄성률은 시효처리 후에 유의성 있게 전체적으로 낮아졌다( $p < 0.001$ ).
4. 파단면 관찰결과 CAD/CAM PMMA 블록과 Bis-acrylic 레진에서는 시효처리에 따른 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았으나, PMMA 자가중합레진에서는 크랙이 관찰되었고 시효처리 후 레진조직에서 석출이 나타났다.

## 참고문헌

- 박진서 (2013). 시효처리가 임플란트 임시수복물 재료의 기계적 성질에 미치는 영향. 부산가톨릭대학교 일반대학원 치기공학과 석사학위논문.
- Archadian N, Kawano F, Ohguri T (2000). Flexural strength of rebased denture polymers. *J Oral Rehabil* 27:690-696.
- Arikawa H, Kuwahata H, Seki H, Kanie T, Fujii K, Inoue K (1995). Deterioration of Mechanical properties of composite resins. *J Dent Materials* 14:78-83.
- Boberick KG, Bachstein TK (1999). Use of a flexible

- cast for the indirect fabrication of provisional restorations *J Prosthet Dent* 82:90-93.
- Christensen GJ (2003). The fastest and best provisional restorations, *J Am Dent Assoc* 134:637-639.
- Drummond JL (1989). Cyclic fatigue of composite restorative materials, *J Oral Rehabil* 16:509-520.
- Ehrenberg D, Weiner GI, Weiner S (2006). Long-term effects of storage and thermal cycling on the marginal adaptation of provisional resin crowns: A pilot study. *J Prosthet Dent* 95: 230-236.
- Haddix JE (1988). A technique for visible light-cured provisional restorations. *J Prosthet Dent* 59: 512-514.
- Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Dawson DV (2005). Color stability of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 93:70-75.
- Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA (2002). Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 87:225-228.
- Humbrigue HB (2003). Composite indirect-direct method for fabricating multiple-unit provisional restorations. *J Prosthet Dent* 89:86-88.
- Ilie N, Hickel R (2009). Investigations on mechanical behaviour of dental composites. *Clinic Oral Investig* 13:427-438.
- Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK (1995). Fracture toughness of water-aged resin composite restorative materials. *Dent Mater* 11:201-207.
- Jeong GH, Ha IS, Song KY (1999). Effects of aging and thermal cycling on the biaxial flexure strength of veneering resin composites for crown. *J Korean Acad Prosthodont* 37:597-606.
- Jeong NJ, Kim, JW, Lee SH (2001). A study on change of compressive strength and flexural strength of dental composite resin after water storage. *J Korean Acad Pediatr Dent* 28:146-153.
- Kamble VD, Parkhedkar RD, Mowade TK (2012) The effect of different fiber reinforcements on flexural strength of provisional restorative resins: an in-vitro study. *J Adv Prosthodont* 4:1-6.
- Lee HY, Im YG, Kim BG, Lim H S, Kim JH (2010). The effect of water immersion on the surface strength and the flexural strength of the acrylic resin for occlusal appliances. *Korean J Oral Med* 25:75-81.
- Lewinstein I, Chweidan H, Matalon S, Pilo R (2007). Retention and marginal leakage of provisional crowns cemented with provisional cements enriched with chlorhexidine diacetate. *J Prosthet Dent* 98:373-378.
- Matsumura H, Leinfelder KF (1994). Three-body wear of four types of light-activated composite resin veneering materials. *Quintessence Int* 25:425-430.
- Osman YI, Owen CP (1993) Flexural strength of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 70:94-96.
- Pearson GJ, Longman CM (1989). Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehabil* 16:57-61.
- Phoenix RD (2003). Denture base resins. In: Anusavice KJ, editor. Phillips' science of dental materials. St Louis: Elsevier; pp. 721-757.
- Söderholm KJ (1981). Degradation of glass filler in experimental composites. *J Dent Res* 60:1867-1875.
- Takahashi Y, Chai J, Kawaguchi M (1998). Effect of water sorption on the resistance to plastic deformation of a denture base material relined with four different denture relining materials. *Int J Prosthodont* 11:49-54.
- Truong VT, Tyas MJ (1988). Prediction of in vivo wear in posterior composite resins : A fracture mechanics approach. *Dent Mater* 4:318-327.