Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 25, No. 1 pp. 541-547, 2024

https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.1.541
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

임시치관 제작을 위한 3D 프린팅 광중합 레진의 굴곡강도 평가

이하빈[1], 이주희[2*]
[1]고려대학교 보건과학과, [2]대전보건대학교 치기공과

Comparison evaluation of Flexural Strength of Photopolymerized Composite Resin for 3D Printed Provisional Restorations

Ha-Bin Lee[1], Ju-Hee Lee[2*]
[1]Department of Dental Laboratory Science and Engineering, College of Health Science, Korea University
[2]Department of Dental Lab Technology, Daejeon Health Institute of Technology

요 약 치과기공 직무에 3D 프린팅 기술 도입 후 다양한 장비와 소재들이 계속해서 개발되고, 활용범위가 확대되고 있어 새롭게 개발된 소재들이 보유한 특성들에 관련된 연구들이 요구된다. 최근 다양한 3D 프린팅 임시치관용 레진이 국내에서 제조되거나 수입되어 치과 임상에서 적용되고 있는데, 그 제품들을 평가한 연구는 매우 적은 상황이다. 따라서 본 연구에서는 3D 프린팅으로 제작되는 다양한 제조사의 임시치관용 레진의 굴곡강도를 비교 평가하였다. ISO10477에 근거하여 시편(25x2x2mm)을 제작하여 굴곡강도를 측정하였다. 4개의 제조사(Tera Harz TC-80DP;TH, Labotech; LT, MAZIC D; MD, Denta Tooth;DT group)에서 출시된 임시치관 제작을 위한 3D 프린팅용 레진을 선정하였고, Digital Light Processing(DLP) 유형의 프린터를 이용하여 시편을 출력하였다. 평가는 만능재료시험기를 이용하여 3점 굴곡강도 시험을 하였다. 통계 분석은 일원배치 분산분석을 시행하였고, 굴곡강도 시험 결과 그룹 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서 측정한 4개 그룹의 굴곡강도는 100.33 ~135.64 MPa 범주로 높은 수준을 보였고, 임시치관을 위한 3D 프린팅용 레진 소재는 4개 그룹 모두 임상적으로 허용이 가능할 것으로 사료된다.

Abstract Since the introduction of 3D printing technology, various equipment and materials have been developed and have expanded the scope of applications. Research related to the properties of newly developed materials is needed. Therefore, in this study, we compared the flexural strength of various temporary crown resins produced using 3D printing. Specimens were designed according to ISO 10477 standards (25 mm x 2 mm x 2 mm) for flexural strength measurement. Five types of resins from different manufacturers were selected, and specimens were printed using a digital light processing (DLP) printer (n=10, N=40). A three-point flexural strength test was conducted using a universal testing machine. To compare the groups, a one-way analysis of variance (ANOVA) was conducted, and Scheffe's post hoc test was used. Significant differences were observed among the groups ($P < 0.05$). However, since all groups exhibited values higher than the flexural strength threshold specified by ISO-10477, it is suggested that the resin materials would be acceptable for temporary restorations produced with 3D printing technology in all groups.

Keywords : 3D Print, Digital Light Processing, Flexural Dtrength, Provisional Restoration, Resin

본 논문은 대전보건대학교 연구과제로 수행되었음.
*Corresponding Author : Ju-Hee Lee(Daejeon Health Institute of Technology)
email: jhlee@hit.ac.kr
Received December 5, 2023 Revised January 2, 2024
Accepted January 5, 2024 Published January 31, 2024

1. 서론

치과 관련 3D 프린팅은 최근 다양한 방식과 소재 등에 관련한 기술이 진보함에 따라 그 활용 범위가 확대되고 있다. 특히 정밀한 환자 맞춤형의 보철물 제조가 가능하게 되며, 치과분야 에서도 재료들이 활발히 출시되고 있다[1,2].

3D 프린팅 기술은 분말이나 액체 상태의 재료를 쌓아 3차원의 물체를 만들어내는 첨단 제조 기술로적층 가공 기술이라고도 불린다. 이 기술은 슬라이싱 소프트웨어를 통해 디자인된 3D 모델을 층층이 나누어 적층할 수 있도록 파일을 생성하고, 이 파일이 전송된 프린터에서 구현하고자 하는 물체를 형성하는 기술이다. 3D 프린팅의 재료로 액체상태의 재료를 사용하는 방식은 광중합 특성을 가진 폴리머에 광원을 조사하여 얇은 층을 생성하여 적층시키는 방법으로 정밀도가 높다는 장점을 가지고 있다. 통상적으로 3D 프린팅의 광 유도층 두께는 약 50-200 ㎛ 범위를 갖는다[3,4].

폴리머 소재를 이용하는 3D 프린팅 방식으로는 FDM (Fused Deposition Modeling), DLP (Digital Light Processing), SLA (StereoLithography Apparatus), LOM (Laminated Object Manufacturing) 및 SLS (Selective Laser Sintering) 방식 등이 있다[5]. 이 중에서 SLA 또는 DLP 방식이 3D 프린팅 임시치관 제작에 주로 사용되고 있다[6,7]. SLA 방식은 광경화성 액상 레진이 담긴 수조에 레이저를 조사하여 광중합시키고 플랫폼이 한층씩 이동함에 따라 적층하여 원하는 물체를 형성한다[3]. 출력물의 표면 품질이 우수하고, 정밀하다고 알려져 있으나 레이져 형태의 광원을 사용하기 때문에 중합이 점 형태로 이루어져서 변형의 위험성이 있고, 면 형태의 광원을 이용하는 DLP 방식보다 출력시간이 길다는 단점이 존재한다[8].

치과 분야에서 3D 프린팅 기술의 가장 보편화된 소재는 레진 소재로 액상형이며, 환자 구강 모형, 임치덴쳐 베이스, 인공치 등이 출력 가능하며, 주로 임시치관용 레진 보철물을 제조하는데 사용되고 있다[9].

임시치관(Temporary Crown)을 제작하는 방법은 구강 내에서 자가중합레진(Self curing resin)을 이용한 직접 제작법과 인상을 채득한 후 모형 상에서 제작하는 간접 제작법이 있는데, 최근에는 치과용 CAD/CAM(Computer-aided-design/Computer-aided-manufacturing) 시스템을 이용하여 디지털 모형 상에서 제작하는 간접 제작법이 증가하고 있다[10,11]. 특히 3D 프린팅 기술을 이용한 방식은 전통적인 수작업 방식에 비해 컴퓨터 기술과 장비를 이용하기 때문에 정확도가 높으며, 노동 시간이 줄어들고, 재제작 시 저장 되어있던 파일을 불러와 재사용할 수 있어 비용과 시간 측면에서 효율적이다[12].

임시치관은 치과 치료 과정에서 삭제된 치아를 보호하거나 상실된 치아를 대체하여 교합 체계와 치아 주위 조직의 안정과 심미성을 유지하기 위해 최종 보철물 장착 전까지 한시적으로 적용하는 치관이다[13]. 최종 보철물 제작 기간 동안 변형, 마모, 온도, 화학적 자극 및 세균의 침투로부터 치아를 보호하고 주변 치아와의 간격을 일정하게 유지시키며 치주 조직의 손상을 방지하는 중요한 역할을 한다[14,15]. 따라서, 임시치관은 구강 내에서 자연 치아를 대체 할 수 있도록 색조뿐만 아니라 기능적 측면의 표면 경도, 굴곡강도, 밀도 등의 필수 요건들도 고려해야 한다[16-18]. 즉, 임시 수복물은 자연 치아의 기능을 대체하기 위해 적절한 수준의 강도가 요구되는데, 그 강도가 너무 낮을 경우 파절이 발생하여 지대치가 손상될 위험성이 있어 임시치관 제작 재료의 강도는 중요한 부분이라 할 수 있다[19,20].

본 연구에서는 임시치관 제작을 위한 다양한 제조사의 3D 프린팅용 레진의 굴곡강도를 측정하고, 비교 평가함으로써 임상적 허용 가능성을 가늠해 보고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 시편 제작

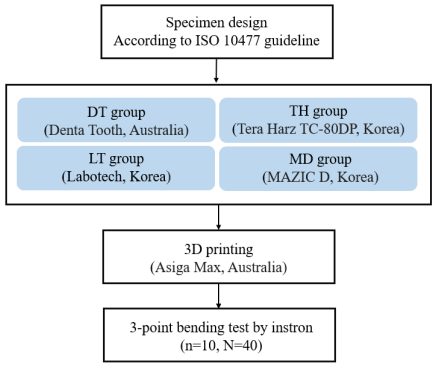


Fig. 1. Flowchart of the experimental process

실험의 전체적인 개요는 Fig. 1과 같다. 임시치관제작을 위한 3D 프린팅 광중합 레진의 3점 굴곡 강도 평가을 위해 ISO 10477(Polymer-based crown and veneering

materials) 규격에 따라 시편을(2mm×2mm×25mm) 디자인하였다. 파일을 Standard triangulated language(STL) 형식으로 저장한 후 슬라이싱 소프트웨어(Asiga composer, Asiga, Australia)로 추출하였다.

시편 제작에 사용된 장비들은 Fig. 2와 같다.

(a) (b) (c)

Fig. 2. 3D printing system
(a) DLP type 3D printer (b) resin wsh
(c) resin curing unit

시편은 액체상태의 광경화성 레진에 빔 형태의 광원을 투사하여 적층하는 정밀도가 높은 DLP 방식의 3D 프린터(Asiga Max, Asiga, Australia)를 이용하여, LT 그룹 (Labotech, Hanjin dental, Korea), TH 그룹 (Tera Harz TC-80DP; Graphy, Korea), DT 그룹 (Denta Tooth; Asiga, Australia), MD 그룹 (MAZIC D TEMP, Vericom, Korea) 총 4종의 레진을 각 그룹 당 10개씩, 총 40개를 제작하였고, 내구성을 고려하여 조밀한 구조를 갖추기 위한 적정 수준인 50 ㎛로 적층하여 제작하였다[21].

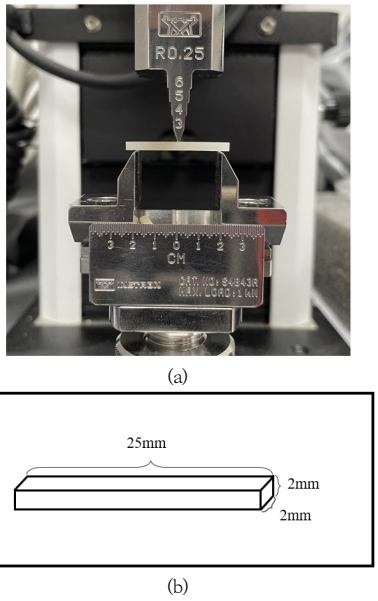
Table 1. Curing Machine Properties

Curing Machine Properties	
Light Source	UV LED
Curing Time	1-30 min
Input Voltage	100-240V. 50/60Hz
Output Voltage	24V,6.5A
LED Wavelength	395nm - 405nm
LED Power Output	112W
UV Energy density	80000mj/cm2
Irradiance of UV	200mW/cm2
LED Operation Temp	5-35 ˚C

모든 시편은 제작 후 3D 프린팅 레진용 세척기 (FormWash, Formlabs, USA)를 이용하여 알코올 용액에 10분 동안 세척하고, UV 경화기(CureM; Graphy, Korea)로 제조사의 지시에 따라 10분 동안 후경화를 실시하였다.

광원의 세기, 조사 시간 등은 실험하는 과정 중 오차를 최소화하고자 각각의 레진 종류에 따라 제조사가 제시하는 수치로 설정하여 출력하였다.

2.2 굴곡강도 측정



(a) (b)

Fig. 3. Flexural strength test
(a) Three-point bending test (b) A specimen fabricated in accordance with ISO 10477

Fig. 2에서 보는 바와 같이 만능 재료 시험기(Instron 3345, Instron Corporation, USA)에 3점 굴곡 강도 측정용 치구를 장착하고, 지지대 상에 경화된 레진 시편을 위치시켰다. 크로스헤드를 시편의 중앙에 위치시킨 후 수직 방향에서 시편이 파절되는 시점까지 분당 1mm의 속도(1mm/min)로 일정한 힘을 가하여 최대 하중을 측정하였다. 다음과 같은 공식을 이용하여 총 40개 시편의 굴곡강도를 산출하였다.

$$\text{Flexural strength} = 3FL / 2bd^2 \quad (1)$$

Where F=maximum load (N), L=the distance between the support spans(mm), b=width of the specimen (mm), d=thickness of the specimen (mm) [8,22]

2.3 통계 분석

4 종의 레진 시편의 3점 굴곡 강도 결과 수치는 통계 프로그램(IBM SPSS 24.0, SPSS Inc, USA)을 이용하여 분석하였다. 데이터의 정규분포를 확인하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을, 등분산성의 확인을 위해 Levene 검정을 시행하였다. 그 결과 데이터가 정규분포와 등분산성을 만족하여 네 그룹간의 통계적인 유의한 차이를 분석하기 위하여 일원배치 분산분석을 시행하였으며, 사후 검정에는 Scheffe 검정을 사용하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

3D 프린팅용 레진의 3점 굴곡 강도 측정결과 4개 그룹의 각 평균은 DT그룹 115.81MPa, MD그룹 108.81 MPa, TH그룹 125.96 MPa , LT그룹 102.75 MPa 을 보였고, 4종의 굴곡강도 평균은 113.33 MPa 이었다 (Table 2). 네 그룹간 일원배치 분산분석을 시행한 결과 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P<.05$).

일원배치 분산분석의 사후 분석결과 DT-TH, DT-LT, MD-TH, TH-LT 그룹 간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 모두 임상적으로 허용가능한 수치 내에 있지만 그룹 중 TH 그룹이 가장 높은 강도를 보였다.

Table 2. Mean ± SD and 95% confidence interval of flexural strength for DT, MD, TH and LT groups(DT: Denta Tooth; MD: Ma zig D; TH: Tera Harz; LT: Labotech)

Group	N	Mean	Standard deviation(SD)	95% confidence interval(CI)		F	*P*-value
				Min	Max		
DT	10	115.81	1.76	111.81	119.80	16.912	.000
MD	10	108.81	.96	106.62	110.99		
TH	10	125.96	4.27	116.28	135.64		
LT	10	102.75	1.06	100.33	105.17		
All groups	50	113.33					

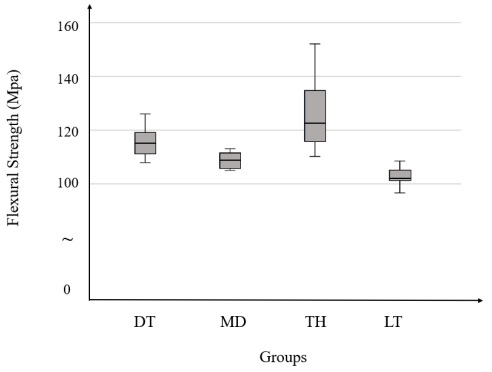


Fig. 4. Box plot of flexural strength measurement

본 연구에서는 치과용 3D 프린팅에 사용되는 4개 제조사의 임시치관용 레진의 굴곡강도를 비교 평가하였다. 일원배치 분산분석 결과 DT-TH, DT-LT, MD-TH, TH-LT 그룹 간에는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 모두 임상적으로 허용가능한 수치 내에는 있지만 다양한 구강 환경에서 레진의 강도는 높을수록 파절에 대한 저항이 높아지므로 최소한의 기준은 넘겼을지라도 그룹 간의 차이를 감안하여 제작자들이 재료를 선택함에 하나의 기준을 제시할 수 있다고 사료된다.

임시치관 제작 재료는 자연치(지대치)가 손상되지 않도록 보호하기 위해서 단단해야 한다. 구강 내에서는 교합력이 작용하므로 응력으로 인하여 임시치관이 파절될 위험성이 있어 강도 측정은 치과재료를 사용하고 판단함에 중요한 근거이다. 본 연구에서 4종의 임시치관용 액상 레진의 굴곡강도를 측정한 결과 전체 평균 강도는 113.33 MPa 이었고, TH 그룹의 평균이 125.96MPa로 가장 높은 수준을 보였으며, LT 그룹이 102.75MPa로

낮았다. 기존의 자가중합형(self curing resin) 임시치관용 레진의 중합방법에 따른 굴곡강도를 분석한 Choi et al[23]의 연구에서는 대기 중에서 레진을 중합시킨 그룹에서 Caulk Temporary bridge resin이 62.347 MPa로 가장 높은 굴곡 강도를 보이고, 압력 하에서 중합시킨 그룹에서는 Jet가 77.093 MPa로 가장 높았다. 3D 프린팅에 의해 제작된 본 연구의 임시치관용 레진의 평균 굴곡강도가 113.33 MPa로 더 높았음을 알 수 있었다. 또한 본 연구의 40개 시편의 측정치 중 최저 값도 100.33 MPa로 기존의 자가중합형 레진에 비해 3D프린팅용 레진이 현저히 강도가 높았음을 알 수 있었다. Cho et al[24]의 연구에서도 자가중합형 레진보다 3D 프린팅 레진의 굴곡강도가 더 높게 나타났고, 그 값이 본 연구의 결과와 같이 100 MPa 이상의 높은 수치임을 확인할 수 있었다.

본 연구와 동일한 DLP 방식으로 제작한 레진 교의치의 굴곡 강도를 평가한 Park et al[25]의 시험에서도 굴곡강도 결과가 131.94 MPa로 비슷한 양상을 보였다.

굴곡강도의 수준은 레진을 구성하고 있는 성분에 따라 영향을 받을 수 있는데, 그 중 하나는 광개시제이다. 임시 치관용 광중합 액상형 레진을 중합하기 위해서는 UV 광개시제가 주로 사용되고 있는데, 구성성분 및 필러 등의 자세한 화학적 조성을 제조사에서 정확하게 밝히지 않고 있다. 본 연구에서 측정한 4개의 제조사 광중합 액상형 레진의 굴곡강도는 일정 범주 내에 다른 평균 값을 나타냈는데, 이는 Park et al[26]의 연구 결과와 같이 레진의 조성이 물성에 유의한 영향을 주었을 것으로 판단된다. 또한 다양한 조성의 3D 프린팅 임시치관용 레진의 굴곡강도를 비교한 Park et al[27]의 연구에서도 100MPa 이상의 높은 굴곡강도를 보였다.

레진 소재를 활용하여 치과용 보철뿐만 아니라 의료기기까지도 3D 프린팅으로 출력할 수 있는 방식들을 기술한 M. Pagac et al[3]과 A. M. Arefin et al[28]은 3D 프린팅 시 사용자의 기술과 경험, 프린터 및 프린팅 재료 등에 따라 물성, 색조, 정확도 등이 영향을 받는다고 보고하였다. 따라서, 프린팅 과정이 완료된 후에도 오차 발생의 가능성은 존재한다.

치과용 3D 프린팅시 DLP방식은 광경화성 레진 특성상 이미 프린팅 도중 중합이 되지만 세척 후 광중합기를 이용하여 추가적으로 중합 과정을 진행해야 한다. 본 연구의 실험에서도 후경화를 10분으로 설정하였는데, 후경화 시간에 대한 선행연구에서도 일반적으로 약 10분에서 30분 정도 제시하고 있다. Kim et al[29] 의 연구에서는 후경화를 하지 않은 그룹, 10분, 20분 진행한 그룹 중 10분 후경화한 그룹의 변형이 가장 낮게 도출되었음을 보고하였다.

본 연구에서 측정한 굴곡강도의 수치와 각 제조사에서 제시한 굴곡강도에 다소간의 차이가 있었는데, 이는 각각의 레진 제조사에서 권장하는 3D프린터 장비로 출력하지 않고, 장비로 인한 오차를 줄이기 위해 하나의 동일한 3D프린터 장비로 시편을 출력하여 제작한 영향도 있을 것으로 사료된다.

또한 출력 후 서포터를 제거하는 과정, 세척, 후경화 과정 등에 영향을 받을 수 있고, 구강 내 환경에서는 시편이 아닌 보철물의 형태인 점과 타액이나 ph, 온도 등에도 영향을 받을 수 있으므로[27,30,31] in vitro 상에서 진행된 본 연구의 결과를 일반화하는 것에는 한계가 있을 것이다.

본 연구에서 측정한 4종의 임시치관 제작용 3D프린팅 레진은 ISO 10477에서 제시한 50 MPa 이상의 결과로 임상에 적용하기에 충분한 수준의 굴곡강도를 보였으나, 이는 최소한의 기준으로 실제 임상에 적용 시 본 연구에서 측정된 굴곡강도 값을 참고하여 적절한 임시치관 재료를 선택하여 사용할 수 있도록 판단 근거를 제시하고자 하였다.

4. 결론

임시치관 제작을 위해 DLP 방식의 3D 프린팅 기술로 출력한 4종의 3D 프린팅용 레진의 굴곡 강도를 측정하여 비교 평가하였고, 4개 그룹의 각 평균은 DT그룹 115.81 MPa, MD그룹 108.81 MPa, TH그룹 125.96 MPa , LT그룹 102.75 MPa 을 보였고, 4종의 굴곡강도 평균은 113.33 MPa 이었다.

1. 네 그룹간 일원배치 분산분석을 시행한 결과 그룹간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P<.05$).
2. 모든 그룹의 굴곡 강도는 100.33 – 135.64 MPa 범주로 임상적 허용 범위 안에 존재하였다.

결과적으로 4종 모두 임상적으로 허용이 가능한 결론을 도출하였다.

References

[1] A. Dawood, B. M. Marti, V. Sauret-Jackson, A. Darwood, "3D printing in dentistry", Br Dent J, Vol.219, No.11, pp.521-529. 2015.
DOI: https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914

[2] Y. Tian, C. Chen, X. Xu, J. Wang, X. Hou, K. Li, H. B. Jiang, " A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications", Scanning, 2021.
DOI: https://doi.org/10.1155/2021/9950131

[3] M. Pagac, J. Hajnys, Q. P. Ma, L. Jancar, J. Jansa, "A review of vat photopolymerization technology: Materials, applications, challenges, and future trends of 3d printing", Polymers, Vol.13, No.4, pp.598, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/polym13040598

[4] R. Liska, M. Schuster, R. Infuhr, C. Tureeek, C. Fritscher, "Photopolymers for rapid prototyping", J Coatings Technol Res, Vol.4, No.4, pp.505-10. 2007.
DOI: https://doi.org/10.1007/s11998-007-9059-3

[5] J. Stampfl, R. Liska, "New materials for rapid prototyping applications", Macromol Chem Phys, Vol.206, pp.1253-6. 2005.
DOI: https://doi.org/10.1002/macp.200500199

[6] M. S. Kim, W. G. Kim, W. Kang, "Evaluation of the accuracy of provisional restorative resins fabricated using dental 3D printers", J Korean Soc Dent Hyg, Vol.19, No.6, pp.1089-1097, 2019.
DOI: https://doi.org/10.13065/jksdh.20190094

[7] P. J. Atria, D. Bordin, F. Marti, V. V. Nayak, J. Conejo, E. Benalcázar Jalkh, C. S. Sampaio, "3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties." J Esthet Restor Dent, Vol.34, No.5, pp.804-815, 2022.
DOI: https://doi.org/10.1111/jerd.12888

[8] W. T. Cho, J. W. Choi, "Comparison analysis of fracture load and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by different methods", J Korean Acad Prosthodont, Vol.57, pp.225-31, 2019.
DOI: https://doi.org/10.4047/jkap.2019.57.3.225

[9] A. Kessler, R. Hickel, M. Reymus. "3D printing in dentistry—State of the art." Oper Dent, Vol.45, No1, pp.30-40, 2020.
DOI: https://doi.org/10.2341/18-229-L

[10] E. Anadioti, B. Kane, E. Soulas, "Current and emerging applications of 3D printing in restorative dentistry", Curr Oral Heal Reports, Vol.5, pp.133-139, 2018.
DOI: https://doi.org/10.1007/s40496-018-0181-3

[11] S. N. Wuersching, R. Hickel, D. Edelhoff, M. Kollmuss. "Initial biocompatibility of novel resins for 3D printed fixed dental prostheses." Dent Mater, 38(10), 1587-1597, 2022
DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.08.001

[12] A. Jawahar, G. Maragathavalli, "Applications of 3D printing in dentistry–a review", J Pharm Sci Res, Vol.11, No.5, pp.1670-1675, 2019.

[13] K. M. Regish, D. Sharma, D. R. Prithviraj, "Techniques of fabrication of provisional restoration: an overview", Int J Dent, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1155/2011/134659

[14] H. T. Lim, "Clinical Case of Provisional Restorations." J Tech Dent, Vol.32, No.1, pp.65-78, 2010.
DOI: https://doi.org/10.14347/kadt.2010.32.1.065

[15] S. J. Park, H. A. Lee, S. H. Lee, S. H .Seok, B. Soon Lim, et al, "Comparison of physical properties of the various 3D printing temporary crown and bridge resin", Korean J Dent Mater, Vol.46, No.3, pp.139-152, 2019.
DOI: https://doi.org/10.14815/kjdm.2019.46.3.139

[16] D. Y. Kim, J. Y. Park, H. W. Kang, J. H. Kim, W. C. Kim, "Flexural strength of composite resin fabricated by various polymerization method." J Tech Dent, Vol.40, No.2, pp.57-62, 2018.
DOI: https://doi.org/10.14347/kadt.2018.40.2.57

[17] E. F. de Castro, G. Nima, F. A. Rueggeberg, M. Giannini, "Effect of build orientation in accuracy, flexural modulus, flexural strength, and microhardness of 3D-Printed resins for provisional restorations." J Mech Behav Biomed Mater, Vol.136, pp.105479, 2022.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105479

[18] W. Moon, S. Kim, B. S. Lim, Y. S. Park, R. J. Y. Kim, S. H. Chung, "Dimensional accuracy evaluation of temporary dental restorations with different 3D printing systems." Materials, Vol.14, No.6, pp.1487, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/ma14061487

[19] T. Sari, A. Usumez, T. Strasser, A. Şahinbas, M. Rosentritt, "Temporary materials: comparison of in vivo and in vitro performance", Clin. Oral Investig, Vol.24, pp.4061-4068, 2020.
DOI: https://doi.org/10.1007/s00784-020-03278-5

[20] S. M. Park, J. M. Park, S. K. Kim, S. J. Heo, J. Y. Koak, "Flexural strength of 3D-printing resin materials for provisional fixed dental prostheses." Materials, Vol.13, No.18, pp.3970, 2020.
DOI: https://doi.org/10.3390/ma13183970

[21] K. Son, J. H. Lee, K. B. Lee, "Comparison of intaglio surface trueness of interim dental crowns fabricated with SLA 3D printing, DLP 3D printing, and milling technologies", In Healthcare, Vol.9, No.8, pp.983, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/healthcare9080983

[22] A. KEßLER, R. Hickel, N. Ilie, In vitro investigation of the influence of printing direction on the flexural strength, flexural modulus and fractographic analysis of 3D-printed temporary materials. Dent Mater J, Vol.40, No.3, pp.641-649, 2021.
DOI: https://doi.org/10.4012/dmj.2020-147

[23] A. Singh, S. Garg, "Comparative evaluation of flexural strength of provisional crown and bridge materials - An In vitro study", J Clin Diagn Res, Vol.10, No.8,

pp.ZC72-7, 2016.
DOI: https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/19582.8291

[24] Y. D. Park, W. Kang, "Comparative analysis of the flexural strength of provisional restorative resins using a digital light processing printer according to the post-curing method", J Tech Dent Vol.42, No.4, pp.341-347, 2020.
DOI: https://doi.org/10.14347/jtd.2020.42.4.341

[25] M. A. Choi, S. G. Ahn, K. H. Cho, "Flexual strength of resins for provisional fixed prostheses", J Dent Rehabil Appl Sci, Vol.16, No.3, pp.222-227, 2000.

[26] S. J. Park, H. A. Lee, S. H. Lee, S. h. Seok, B. S. Lim, et al, "Comparison of physical properties of the various 3D printing temporary crown and bridge resin", Korean J Dent Mate, Vol.46, No.3, pp.139, 2019.
DOI: http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2019.46.3.139

[27] A. M. Arefin, N. R. Khatri, N. Kulkarni, P. F. Egan, "Polymer 3D printing review: Materials, process, and design strategies for medical applications", Polymers, Vol.13, Np.9, pp.1499, 2021.
DOI: https://doi.org/10.3390/polym13091499

[28] D. Y. Kim, G. Y. Lee, "Analysis of deformation according to post-curing of complete arch artificial teeth for temporary dentures printed with a DLP printer", J Tech Dent, Vol.43, No.2, pp.48-55, 2021.
DOI: https://doi.org/10.14347/jtd.2021.43.2.48

[29] S. M. Park, S. K. Kim, J. M. Park, J. H. Kim, Y. T. Jeon, J. Y. Koak, "Flexural strength of various kinds of the resin bridges fabricated with 3D printing", J Dent Rehabil Appl Sci, Vol.33, No.4, pp.260-8, 2017.
DOI: https://doi.org/10.14368/jdras.2017.33.4.260

[30] B. I. Lee, S. G. You, S. M. You, D. Y. Kim, J. H. Kim, "Evaluating the accuracy (trueness and precision) of interim crowns manufactured using digital light processing according to post-curing time: An in vitro study", J Adv Prosthodont, Vol.13, No.2, pp.89, 2021.
DOI: https://doi.org/10.4047/jap.2021.13.2.89

[31] S. Taşın, A. Ismatullaev, "Comparative evaluation of the effect of thermocycling on the mechanical properties of conventionally polymerized, CAD-CAM milled, and 3D-printed interim materials", The Journal of Prosthetic Dentistry, Vol.127, No.1, pp.173-e1, 2022.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.09.020

이 하 빈(Ha-Bin Lee) [정회원]

- 2023년 2월: 고려대학교 치의기공학전공(이학박사 수료)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공(학)과 겸임교수
- 2023년 9월 ~ 현재 : 덴트리온 치과기공소 기공실장

〈관심분야〉
디지털치의학, 치과재료, 치과보철, 치과캐드캠

이 주 희(Ju-Hee Lee) [정회원]

- 2009년 2월: 배재대학교 재료공학전공(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 대전보건대학교 치기공(학)과 교수

〈관심분야〉
치과재료, 치과도재학, 치과보철, 디지털치의학