

치과 CAD/CAM 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록의 굴곡강도에 미치는 광중합 효과

박민주¹, 김희중², 김병훈^{1,*}

¹조선대학교 치과대학 치과재료학교실

²조선대학교 치과대학 보철학교실

Effect of photo-polymerization on flexural strength on hybrid composite resin for CAD/CAM milling

Min-Ju Park¹, Hee-Jung Kim², Byung-Hoon Kim^{1,}*

¹*Department of Dental Materials, College of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea*

²*Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University, Gwangju, Republic of Korea*

The purpose of this study is to evaluate the effect of photo-polymerization on the mechanical strength of the hybrid resin block. Hybrid composite resin was fabricated by polymer matrix mixed with inorganic filler and various additive. Visible light (460 nm) LED curing device for photo-polymerization was designed and fabricated. Photo-polymerization of resin block was performed under 3 hrs at 1200 mW/cm², 2 hrs at 1600 mW/cm², 3 hrs at 1600 mW/cm², and 4 hrs at 1600 mW/cm² of irradiation intensities and time. Mechanical strength was measured using flexural strength. In addition, the sample treated for 2 hrs at 1600 mW/cm² was performed post-treatment under conditions of plasma surface treatment (100 W, 5 min) and light curing for 15 min in order to improve the degree of polymerization. And then specimen was measured for flexural strength again. After the photo-polymerization, surface morphology was analyzed by SEM. The flexural strength of the composite resin block was significantly increased as the irradiation time was increased. Especially, post-treated sample showed higher flexural strength than that of the other samples. In the SEM analysis, surface morphology was no significant difference regardless of the photo-polymerization conditions. Light irradiation and plasma treatment could be a powerful technique to improve the polymerization of hybrid composite resin block for CAD/CAM-processed prosthesis.

Keywords : Composite resin, Light polymerization, Flexural strength, Hybrid resin block

Min-Ju Park (ORCID: 0009-0005-8512-3820)
Hee-Jung Kim (ORCID: 0000-0002-2015-1530)

*Correspondence: Byung-Hoon Kim (ORCID: 0000-0002-5008-1465)
309 Pilmun-daero, Gwangju 61452, Republic of Korea
Affiliation: Department of Dental Materials, College of Dentistry,
Chosun University, Gwangju, Korea
Tel: +82-62-230-6447
E-mail: kim5055@chosun.ac.kr

Received: Feb. 27, 2023; Revised: Mar. 21, 2023; Accepted: Mar. 21, 2023

서 론

치과에서 유기물 고분자와 무기물 충전재로 구성된 혼합재를 복합레진이라 하는데 심미성, 물성이 우수하여 최근에 많이 사용되고 있다. 금속 재료는 물성이 우수하나 비심미적이라는 단점을 가지고 있고 치아와 잘 결합되지 않기 때문에 수복물의 탈락을 방지하기 위해 치아의 많은 삭제가 필요한 반면 복합레진은 심미성이 우수하고 치아 삭제를 줄일 수 있어 결손에 의해 취약한 구조를 강화시켜준다는 장점이 있다(1). 복합레진은 중합 방식에 따라 광중합형, 자가중합형, 이원중합형으로 분류할 수도 있다. 광중합형은 광중합 개시제에 따라 특정 파장의 광선에 노출시켜 중합되고 자가중합형은 시간이 지나며 서서히 경화되어 중합되고 이원중합형은 이 두 가지 과정이 모두 진행되는 방식이다. 최근 치과에서 일반적으로 직접 수복용 재료로 가장 많이 사용하는 복합재료는 광중합형 복합레진이다.

광중합 복합레진은 일반적으로 paste 상태로 공급되지만 보관 중에는 경화되지 않고, 그 화합물을 중합시킬 수 있는 특정 파장의 광선에 노출시켜야 중합이 가능하다. 광중합 레진은 자가중합 레진에 비해 많은 장점이 있다. 즉 혼합을 하지 않아 공기 개입의 위험성이 적으므로 기포 형성이 최소화되는 점, 레진의 중합은 적당한 파장의 빛에 노출시키기 전에는 시작되지 않으므로 보관이 편하고 시술자는 작업 시간을 조절할 수 있을 뿐만 아니라 형태를 부여하기 쉽다는 점, 중합 시간이 짧으므로 작업시간 역시 단축된다는 점, 충전재가 첨가되었으므로 물리적인 성질이 우수하다는 점 등을 들 수 있다(2-4).

광중합 복합레진은 1970년대에 실용화된 이후로 심미적 치과수복의 새로운 장을 열었으며 재료의 기술이 계속 발전되어왔다(4). 중합광으로서 처음에 채택된 자외선은 인체에 대한 유해성과 복합레진에 대한 약한 투과력 등의 단점이 있었기 때문에 인체에 안전하고 자외선에 비해 더 짧은 시간에 더 깊이 중합할 수 있는 가시광선 영역의 LED 광 또는 할로겐광이 현재 일반적으로 사용되고 있다(5, 6).

최근 치과분야에도 디지털 장비인 CAD/CAM, 3D 프린터 등의 등장으로 수작업 영역과 치과 보철물 제작 기간이 현저히 줄어들고 있다. 이러한 자동화 장비는 종래의 수작업 방법에 비해 빠른 속도와 낮은 노동량으로 필요한 보철물을

정확한 형상과 형태로 절단, 밀링, 가공하여 치과용 보철물을 제작할 수 있다. CAD/CAM을 이용한 치과용 보철재료는 전형적으로 밀 블랭크(mill blank), 즉, 보철이 절단 또는 조각되는 재료인 고체 블랭크를 사용한다. 최근 CAD/CAM 시스템을 이용하여 제작되고 있는 치과재료는 지르코니아, 글라스세라믹, 금속, 왁스, PMMA, PEEK, 하이브리드 복합재료 등 다양한 재료들이 적용되고 있다(7). PMMA (polymethyl methacrylate)는 1937년 처음 소개된 이후 색안정성과 체적안정성, 투명도, 조직 친화성, 상대적으로 낮은 독성 등의 이유로 임상에서 널리 활용되고 있다. 또한 다양한 수복재료로 임시의치, 의치상, 임플란트 상부구조, 악관절 환자들을 위한 splint 등 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 중합수축과 의치상 레진의 수분흡수, 열팽창에 따른 체적변화, 낮은 마모성과 강도, 변색, 미반응 단량체에 대한 알리지반응 등의 문제점이 지적되고 있다(8, 9). PEEK 재료 역시 물성이 뛰어나서 정형외과에서 많이 사용되는 재료로 치과용 CAD/CAM 절삭가공용으로도 연구가 진행되고 있지만 불투명한 단점을 가지고 있다(10). 치과에서 심미적인 CAD/CAM 절삭가공용 보철 수복재 중에서 지르코니아 블록이 많이 사용되는데 세라믹의 우수한 심미성, 물성 등의 많은 장점을 가지고 있지만 CAD/CAM 절삭가공 등 이유로 반소결 상태로 출시되어 보철 제작 시 CAD/CAM 절삭가공 후 다시 소결해야 하는 번거로운 점이 있다. 또한 최근 세라믹 기반의 절삭가공용 복합재료가 도입되고 있지만 역시 매우 경질이어서 절삭 도구의 과도한 마모와 치과용 보철물 제작 시간이 길어지고, 높은 정도로 대합치아를 손상시키는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 최근 CAD/CAM 절삭가공용 보철 수복재로 유기물과 무기필러가 혼합된 복합재 연구가 활발히 진행되고 있다(11-13).

최근 치과분야에서는 치과기공물의 대부분이 CAD/CAM 절삭가공 시스템으로 제작되고 있으나, 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록 제품은 아직까지도 거의 대부분 수입에 의존하고 있다. 또한 치과보철분야에서 물성과 가공성이 우수한 CAD/CAM 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록을 필요로 하고 있다. 따라서 본 연구는 CAD/CAM 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록을 제작하고 가시광선 파장대 광중합 장치를 개발하여 광중합 조건에 따른 레진블록의 기계적물성을 평가하고 최적의 광중합 조건을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 복합 레진블록 제작

절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록 제작을 위해 먼저 원료 배합을 설계하고 고분자 매트릭스에 무기필러 1차 기본혼합, 레진블록 형상을 위한 몰드 제작, Paste 상태에서 2차 원심 가압 혼합, 프레스링, 광중합, 가공 등을 통해서 레진블록 제조공정 프로세스를 보여준다(Figure 1).

2. 복합 레진블록 제작을 위한 원료 배합 설계

본 연구에서 개발한 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록은 광중합을 기반으로 설계하여 제작하였다. 단량체 또는 올리고머, 무기필러, 중합개시제 등으로 구분하여 제조하였다. 단량체와 가교제는 비스페놀 A 글리시딜 디메타크릴레이트 (Bis-GMA) 15 wt% (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), 우레탄 디메타크릴레이트(UDMA) 10 wt%

(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였고 중합지연제로는 부틸하이드록시톨루엔(BHT) 0.1 wt% (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), 광중합개시제는 캄포퀴논 (Camphorquinone) 0.1 wt% (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였으며 강도 등 물성 향상을 위해 무기필러는 바륨알루미노실리케이트(Ba-Glass) 70 wt% (SCHOTT, Mainz, Germany), 실리카 2 wt% (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 등을 사용하였고 기타 색상을 위해 red, yellow 등 안료를 소량 첨가하였다(Table 1).

3. 광중합 장치

광중합 장치는 460 nm 파장대 LED를 모듈화하여 설계 제작하였다. LED 모듈은 최대출력 2000 mW/cm², 5직렬, 5병렬 총 25개의 구성되었다. LED 모듈판은 상판과 하판 각 1개씩 총 2개를 제작하였다(Figure 2). LED 방열을 위해 상판, 하판에 각각 방열판과 중합장치 내부에 방열팬을 설치하였다.

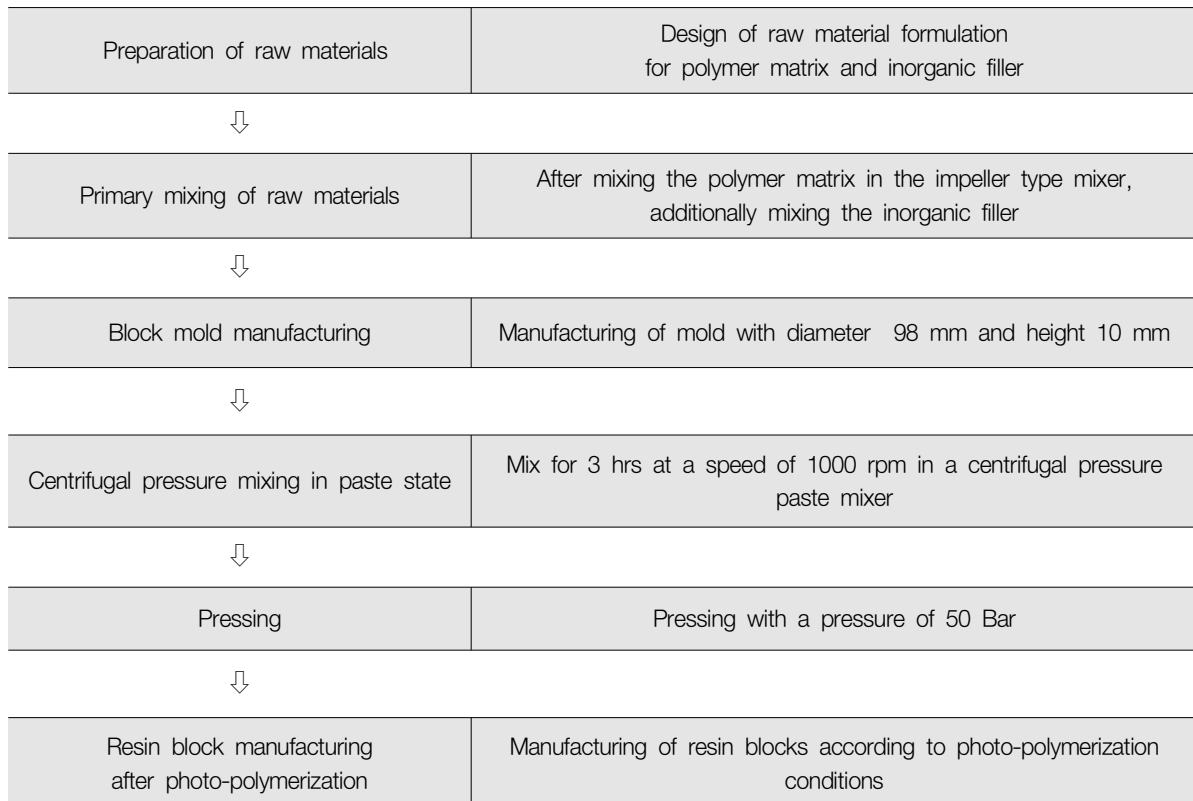


Figure 1. Fabrication procedure of hybrid resin block used in this study.

Table 1. Raw materials for hybrid composite resin

Monomer, Crosslinking agent	Bisphenol A glycidyl dimethacrylate (Bis-GMA) Urethan dimethacrylate (UDMA)
Retardant	Butylated Hydroxy Toluene (BHT)
Initiator	Camphorquinone
Inorganic filler	Barium alumino silicate (Ba-Glass) (0.15~0.7 μ m) Silica
Pigment	Pigment Red, Yellow

광중합 장치 크기는 가로×세로×높이가 400 mm×300 mm×300 mm 규격으로 광중합 시 레진블록을 놓을 수 있는 충분한 공간으로 설계하였다. 중합기 내부에 기초 경화 및 받침대 역할을 하는 석영 또는 파이렉스 봉규산 트레이 등 기타 광투과에 대한 방해물 최대한 억제할 수 있는 구조물 등을 장착하여 광투과도를 최대한 높이는 장치를 제작하였다(Figure 3).

4. 굴곡강도 평가를 위한 레진블록 시편 제작

현재 치과에서 사용되는 질삭가공용 레진블록의 규격은 대부분 직경 98 ϕ , 두께 8 mm, 10 mm, 12 mm 등이 가장 많이 사용되고 있으며, 본 실험에서는 직경 98 ϕ , 두께 10 mm의 레진블록으로 제조하였다. 광중합 과정 Figure 4에 표시하였다.

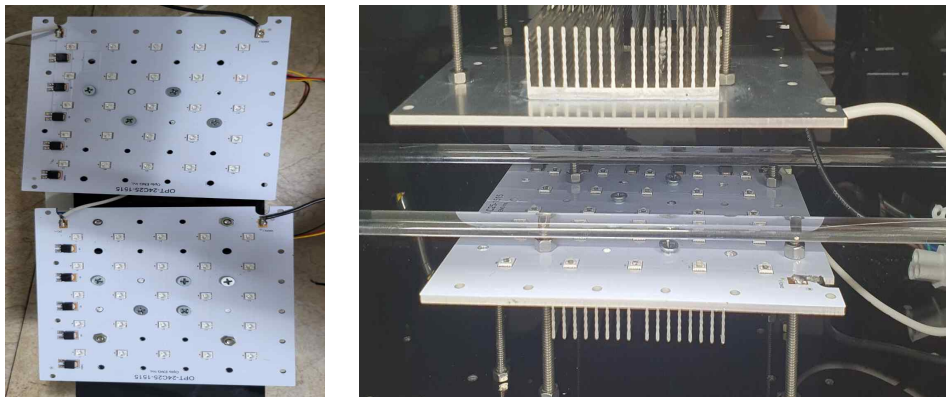


Figure 2. 460 nm LED module for photo-polymerization.

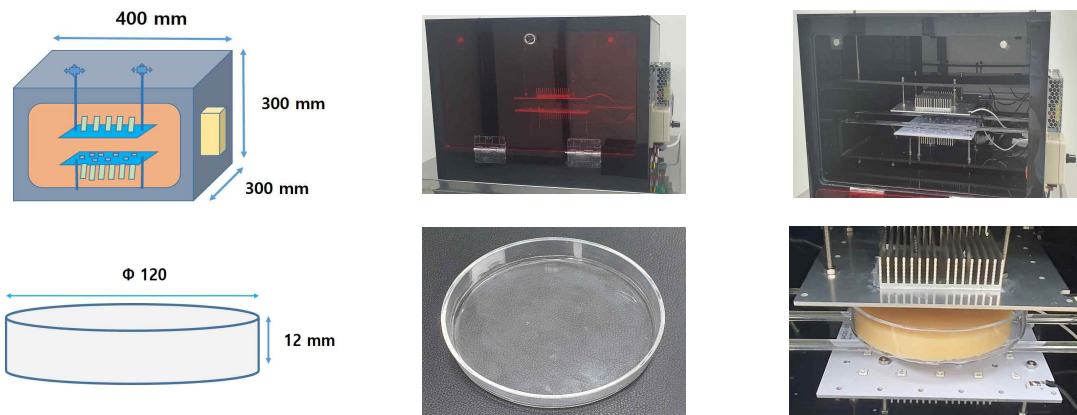


Figure 3. LED polymerization device and glass dish mold.

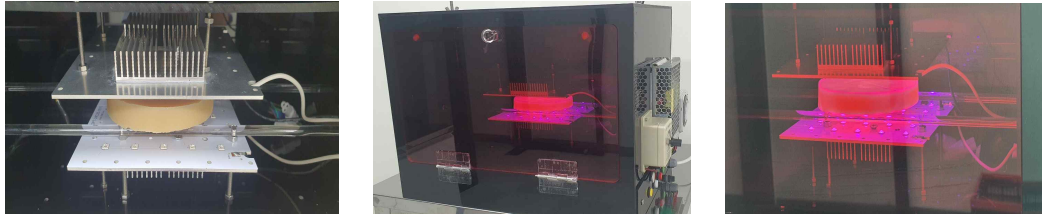


Figure 4. Photo-polymerization process.

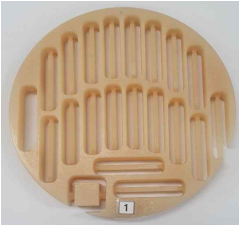
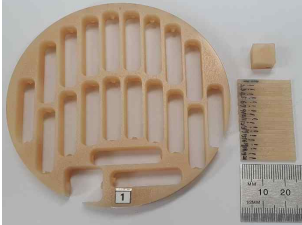
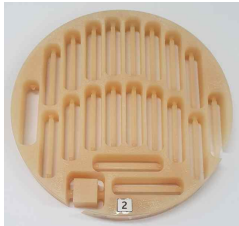
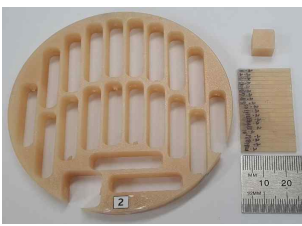

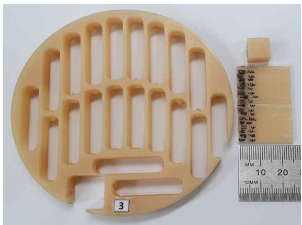
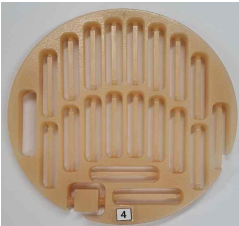
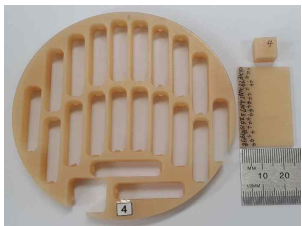
No	Photo-polymerization conditions	Specimen manufacturing process of resin block	
1	1200 mW/cm ² for 3 hr		
2	1600 mW/cm ² for 2 hr		
3	1600 mW/cm ² for 3 hr		
4	1600 mW/cm ² for 4 hr		

Figure 5. Resin block specimen used in three point flexure test at different photo-polymerization conditions.

광중합 조건에 따라 광조사 1200 mW/cm²에서 3시간 중합, 광조사 1600 mW/cm²에서 2시간 중합, 광조사 1600 mW/cm²에서 3시간 중합, 광조사 1600 mW/cm²에서 4시간 중합한 후 10 mm 두께로 가공하여 총 4종의 레진블록을 제조하였다.

실험조건별 광중합된 레진블록의 굴곡강도 시험을 준비하기 위해 치과용 CAD/CAM 5축 밀링 장비(CAD/CAM Milling machine, Just 5X-J, KJ MEDITECH, Gwangju, Korea)를 사용하여 굴곡강도 시험을 위한 굴곡강도시편을 제작하였다(Figure 5).

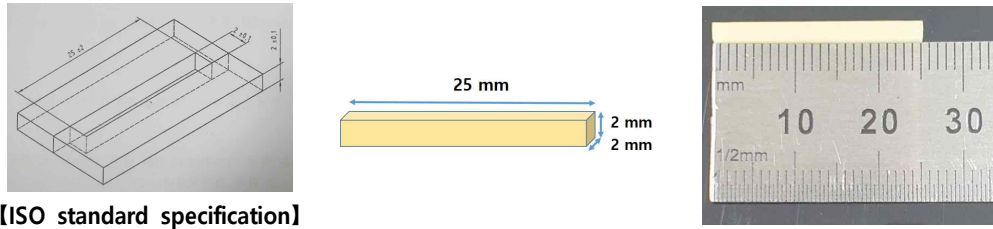


Figure 6. Specimen specification for three point flexural test.

치과 복합 레진블록의 굴곡강도를 평가하기 위해서 2019년에 개정된 ISO 4049 기준규격에 따라 길이 25 mm, 가로 2 mm, 세로 2 mm의 사이즈로 시편을 제작하였다(Figure 6).

5. 굴곡강도 측정

ISO 4049 규격에 의해 굴곡강도 측정기(KDPI-130-1, 정도정밀공업(주), Korea)는 일정한 Cross head speed를 부여할 수 있도록 하였고, 기본적으로 두 개의 봉이 중심 사이의 거리가 20 mm가 되도록 평행하게 설치하여 그 두 봉 사이의 중간에 위치하게 될 세 번째의 봉(직경 2 mm)이 있어 이 세봉의 조합이 시편에 3점 하중을 부여할 수 있도록 준비하여 사용하였다(Figure 7).

굴곡강도 측정은 (0.75 ± 0.25) mm/min의 일정한 cross head speed로 시편이 파절될 때까지 하중을 가하여 측정하였다. 다음 식에 따라 굴곡강도(σ)를 MPa 단위로 계산하였다.

$$\text{굴곡강도}(\sigma) = \frac{3FL}{2bh^2}$$

F는 시편에 가해지는 최대 하중(N), L은 두 개의 지지대 사이의 거리(단위: mm), b는 시험 직전에 측정된 시편의 폭(mm), h는 시험 직전에 측정된 시편의 두께(mm)를 나타낸다.

6. 통계분석

레진블록의 굴곡강도 결과에 대한 통계분석은 일원배치 분산분석(IBM SPSS Statistics 25.0, IBM Co., NY, USA)과 Tukey's test로 사후검정하였다. 통계적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

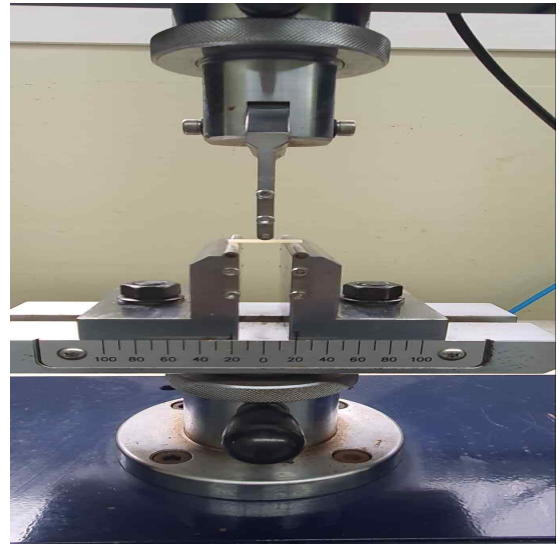


Figure 7. Flexural strength testing machine.

결 과

1. 굴곡강도 평가

광중합 조건에 따라 1200 mW/cm^2 에서 3시간, 1600 mW/cm^2 에서 2시간, 1600 mW/cm^2 에서 3시간, 1600 mW/cm^2 에서 4시간 동안 중합하여 제작한 레진블록에 대해 CAD/CAM 장비에서 각 블록별 5개씩의 시편을 제작하여 굴곡강도를 측정된 결과, 광조사 1600 mW/cm^2 에서 4시간 중합시킨 레진블록의 굴곡강도가 가장 높게 나왔으며 같은 광조사 세기에서 2시간과 3시간 중합시킨 레진블록보다 유의하게 차이를 보였다(Figure 8). 1200 mW/cm^2 에서 3시간 중합시킨 레진블록의 굴곡강도와 1600 mW/cm^2 에서 3시간 중합시킨 레진블록의 굴곡강도는 유의한 차이가 없었다. 또한 1200 mW/cm^2 에서 3시간 중합시킨 레진블록의

굴곡강도가 1600 mW/cm²에서 2시간 중합시킨 레진블록의 굴곡강도보다 높게 나왔다(Table 2). 이러한 결과로 볼 때 레진블록의 굴곡강도는 광조사 세기보다는 광중합 시간이 증가함에 영향을 받는 것으로 생각된다.

또한 광중합 후 레진블록의 후처리에 대한 영향을 평가하기 위하여 1600 mW/cm²에서 2시간 중합한 레진블록의 시편을 대조군으로하여 플라즈마 표면처리와 추가 경화 처리한 후 굴곡강도를 측정하였다(Table 3). 대조군인 레진블록의 굴곡강도보다 실험군인 후처리 시편이 굴곡강도가 높게 나왔다. 그러나 추가 경화 처리한 실험군은 대조군과 통계적으로 유의미한 차이는 보이지 않았고, 플라즈마 표면 처리 된 실험군에서 굴곡강도가 유의미하게 높게 나왔다 (Figure 9).

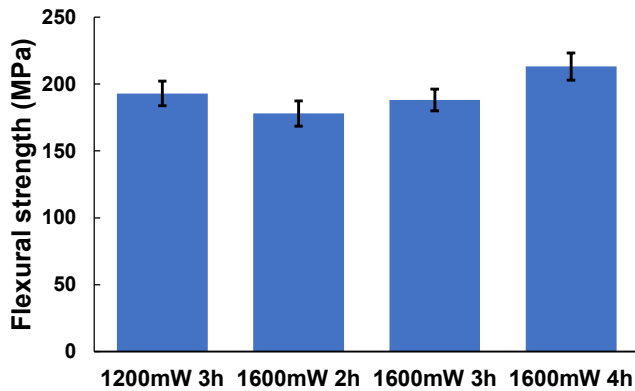


Figure 8. Results of flexural strength test for resin block according to photo-polymerization conditions ($p^* < 0.05$, $p^{**} < 0.01$).

Table 2. Results of flexural strength testing

No	Photo-polymerization conditions	Flexural strength mean values (MPa)
1	1200 mW/cm ² for 3 hr	193±9.2
2	1600 mW/cm ² for 2 hr	178±9.4
3	1600 mW/cm ² for 3 hr	189±8.1
4	1600 mW/cm ² for 4 hr	214±10.1

2. 표면미세구조 변화 평가

전자현미경을 이용하여 광조사 중합 후 레진블록 표면의 미세구조 변화를 관찰한 결과, 광조사 중합조건에 따른 표면

구조의 차이는 거의 없었다(Figure 10). 이러한 결과로부터 460 nm 광조사를 통한 광중합은 레진블록 표면에 영향을 미치지 않으면서 굴곡강도에는 영향을 미치는 것으로 확인하였다.

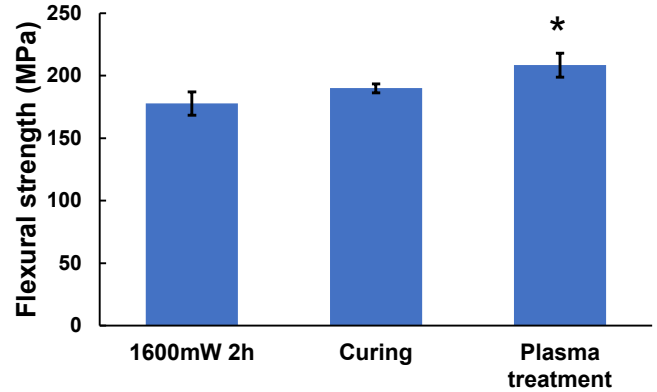


Figure 9. Results of flexural strength test for resin block after post treatment ($p^* < 0.05$).

Table 3. Results of flexural strength testing after post treatment

No	Photo-polymerization conditions	Flexural strength mean values (MPa)
1	Plasma treatment for 5 min after 1600 mW/cm ² for 2 hr	208±9.6
2	Curing for 15 min after 1600 mW/cm ² for 2 hr	190±3.6

고 찰

일반적으로 광중합 복합레진은 고분자 단량체인 비스페놀 A 글리시딜 디메타크릴레이트(Bis-GMA), 희석제이며 가교제인 트리에틸렌글리콜 디메타크릴레이트(TEGDMA)와 광중합개시제 등이 포함된 기질과 물리적 성질을 개선하기 위한 필러(filler)입자 및 기질과 필러간의 화학적 결합을 도모하기 위한 결합제 등으로 구성되어 있다(14). 광중합 개시제로는 468 nm의 파장에 활성화되는 캄포퀴논(camphoroquinone)이 주로 사용된다. 광중합 복합레진의 중합 반응은 광원에 의해 중합개시제인 캄포퀴논이 활성화되어 amine과 결합하여 자유 라디칼(free radical)을 형성하고,

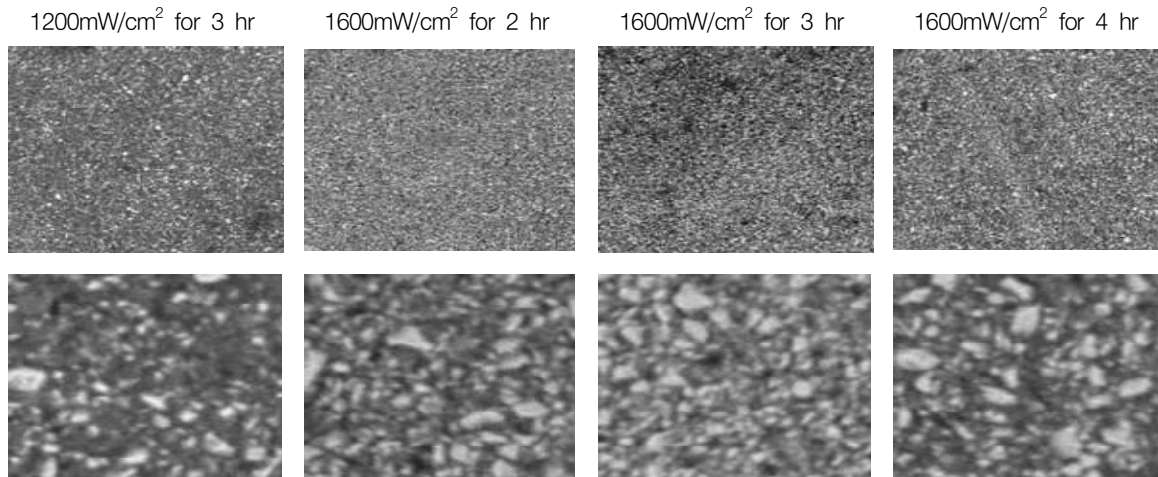


Figure 10. SEM images of photo-polymerized resin block surfaces.

이러한 자유 라디칼은 methacrylate group의 이중결합에 첨가되어 새로운 자유 라디칼을 형성함으로써 methyl methacrylate가 연속적으로 결합되어 3차원적 구조를 갖는 다량체를 형성해가는 부가중합 반응이다(15, 16).

광중합 복합레진을 중합시키기 위한 광원으로 초기에는 자외선이 사용되었으나 투과력이 낮고 인체 유해성의 문제 등으로 점차 가시광선 중합형으로 개선되어 halogen lamp, Light Emitting Diode (LED), plasma xenon arc lamp 등을 광원으로 이용한 방법들도 제시되어 사용되고 있다(17-19). 본 연구에서는 460 nm 파장대의 LED를 사용하여 복합 레진블록의 광중합을 수행한 결과, 광조사 세기보다는 광조사 시간이 복합레진의 중합도에 영향이 많이 미치는 것으로 판명되었다. 복합레진 블록에 직접적으로 LED 광조사를 수행한 연구결과는 보고되지 않았다. Discacciati 등은 할로젠 가시광선의 조사세기 및 시간이 복합레진의 중합도에 미치는 영향을 조사한 결과, 짧은 조사시간과 조사세기는 중합도에 영향을 미치지 않으나, 장시간 조사와 강한 세기에서는 중합도에 영향을 미칠 것으로 보고하였다(20). 따라서 복합레진에서 광중합을 일어나기 위해서는 충분한 광에너지의 전달이 필요할 것으로 사료된다.

절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록의 중합방법 중 고온/고압으로 중합하는 방법으로 연구한 결과들도 발표되었다. 임상에서 사용되고 있는 다양한 유형의 복합레진을

고온(180 ℃)과 고압(250 MPa)의 조건에서 중합시켜 광중합만 실시한 대조군과 기계적 특성을 비교하였는데, 고온/고압의 조건에서 중합시킨 경우 굴곡강도, 파괴인성, 표면경도가 증가되는 획기적인 기계적 특성 향상이 관찰되어 재료의 신뢰성 향상도 기대할 수 있다고 하였다(21). 특히, 300 MPa압력과 200 ℃에서 복합레진을 중합하는 경우에는 반응개시제 또는 반응활성제 등을 첨가하지 않은 순수 단량체만으로도 중합이 가능하다고 하는데, 이렇게 중합된 복합레진의 최종 구조는 기존 재래식 방법으로 중합된 복합레진 기질과 전혀 다를 수 있다고 하였다(22).

나노기술을 컴포지트 레진 개발에 융합시킨 Lava Ultimate는 실리카 입자(20 nm), 지르코니아 입자(4~11 nm) 및 실리카와 지르코니아 나노입자의 응집체(cluster) 등 3가지 세라믹 필러와 교차 결합도가 크게 증가된 폴리머 기질로 구성된 레진 나노 컴포지트(resin nano composite; RNC)블록으로 분류되기도 한다. Lava Ultimate는 굴곡강도가 백류석-강화형 세라믹 블록(140~160 MPa)보다 더 우수할 뿐만 아니라, 파괴인성도 우수하여 수복물로 제작하는 경우 세라믹 블록보다 0.5 mm 정도 얇은 두께로 제작할 수 있다고 하였다. 또한 Lava Ultimate를 구성하는 나노입자들이 기계 가공성과 심미성 개선에 기여하여 복합 레진블록의 문제점인 낮은 마모 및 광택 소실 저항성도 글라스-세라믹 블록과 유사한 정도로 개선되었다고 하였다(23). 그러나 세라믹

필러와 레진 단량체를 물리적으로 혼합하여 기존의 방식으로 중합시키는 복합레진에서는 물성을 개선할 수 있는 방법이 매우 제한적이다. 최근 일본 Yamakin에서 출시한 CAD/CAM용 하이브리드 복합 레진블록(KZR-CAD HR)은 UDMA와 TEGDMA 혼합 단량체에 SiO₂+Al₂O₃+ZrO₂ 응집체(1~6 μm), 초미세입자(200~600 nm) 및 나노입자(20 nm, 100 nm)를 첨가하여 1차로 광중합한 다음 110 °C까지 가열하여 2차 열중합시켜 심미성과 기계적 특성을 크게 향상시킬 수 있었다고 하였다(24, 25).

복합레진의 부가적인 중합이나 열처리방법에는 초기 광중합하거나, 초기 광중합한 후 이차 열중합 및 열처리하거나, 질소가스 등을 이용하여 압력을 준 후 어두운 곳에 보관하여 압력이 충분히 레진에 도달하게 한 후 초기 광중합 시키고 이차 열중합하거나 초기 광중합 후 이차 열중합 하여 진공상태에서 보관하는 방법 등이다.

가시광선 중합형 복합레진을 60, 80, 100, 120 °C에서 각각 15분간 열처리하여 압축강도, 간접이장강도, 미세경도를 측정해 본 결과 모든 실험군에서 열처리하지 않은 대조군보다 더 높은 측정값을 나타내었으며 100 °C, 120 °C에서 열처리하였을 때 가장 높은 값을 나타내었다고 보고하였다(26).

수종의 구치부 복합레진을 초기 광중합시킨 후 100 °C 이상으로 가열하여 인장강도와 경도, 색조의 안정성 및 변연부 적합성이 향상되었음을 보고하였다(27). 복합레진을 초기 광중합 후 추가로 열처리를 시행한 군과 열처리를 시행하지 않은 군을 비교했을 열처리를 시행하였을 때 더 높은 압축강도를 나타내었다고 보고하였다(28). 그러나 다른 연구에는 열처리에 의해 구치부 복합레진 수복물의 물성이 향상된다는 결과를 바탕으로 실제 임상에서도 이러한 결과가 일치하는지 평가해보고자 60개의 복합레진 인레이를 대상으로 검사해본 결과 125 °C에서 열처리한 복합레진 인레이와 통상적인 가시광선만으로 중합하여 제작한 복합레진 인레이 간에 마모도 차이가 없었다고 보고하였다(29).

결론

본 연구에서는 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록의 굴곡강도를 향상시키기 위하여 LED 광중합기를 제작하여,

다양한 광중합 조건으로 레진 중합을 수행하여 굴곡강도를 평가한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 광중합 시간이 증가할수록 레진블록의 굴곡강도는 증가하였다.
2. 광중합 후 레진블록의 후처리 공정에서 추가 경화에 비하여 플라즈마 표면처리된 실험군에서 굴곡강도가 통계적으로 유의미하게 높게 나왔다($p < 0.05$).
3. 광중합 후 레진블록 표면의 미세구조의 변화는 관찰되지 않았다.

이상과 같은 결과를 바탕으로 본 연구는 치과 CAD/CAM 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록의 기계적 강도를 향상시키는데 가시광선 광중합은 기계적강도를 향상시키는데 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

이 논문은 2022년 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습니다.

참고문헌

1. Chan KHS, Mai Y, Kim H, Tong KCT, Ng D, Hsiao JCM. Review: Resin Composite Filling. Materials(Basel). 2010;3(2):1228-43.
2. Stansbury JW. Curing dental resins and composites by photopolymerization. J Esthet Dent. 2000;12(6):300-8.
3. Maffezzoli A, Pietra AD, Rengo S, Nicolais L, Valletta G. Photopolymerization of dental composite matrices. Biomaterials. 1994;15(15):1221-28.
4. Abate PF, Zahra VN, Macchin RL. Effect of photopolymerization variables on composite hardness. J Prosthet Dent. 2001;86:632-5.
5. Bala O, Olmez A, Kalayci S. Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. J Oral Rehabil. 2005;32(2):134-40.
6. Micali B, Basting RT. Effectiveness of composite resin

- polymerization using light-emitting diodes (LEDs) or halogen-based light-curing units. *Braz Oral Res.* 2004; 18(3):266-70.
7. Sidhom M, Zaghloul H, Ihab Mosleh ES, Eldwakhly E. Effect of Different CAD/CAM Milling and 3D Printing Digital Fabrication Techniques on the Accuracy of PMMA Working Models and Vertical Marginal Fit of PMMA Provisional Dental Prosthesis: An In Vitro Study. *Polymers (Basel)*. 2022;14(7):1285.
 8. Zafar MS. Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers (Basel)*. 2020;12(10):2299.
 9. Sheng TJ, Shafee MF, Ariffin Z, Jaafar M. Review on poly-methyl methacrylate as denture base materials. *Malays J Microsc.* 2018;14:1-16.
 10. Akay C, Ersöz MB. PEEK in dentistry, properties and application areas. *Int Dent Res.* 2020;10(2):60-65.
 11. Alamoush RA, Silikas N, Salim NA, Al NS, Satterthwaite JD. Effect of the Composition of CAD/CAM Composite Blocks on Mechanical Properties. *Biomed Res Int.* 2018:Article ID 4893143.
 12. Jeong CS, Bae JM, Kim JM, Park YB, Oh SH. The evaluation of the shear bond strength between various Hybrid CAD/CAM restorative materials and repairing composite resins. *Kor J Dent Mater.* 2018;45(1):45-56.
 13. Ruse ND, Sadoun M. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res.* 2014;93(12):1232-4.
 14. Ruyter IE, Sjøvik IJ. Composition of dental resin and composite materials. *Acta Odontol Scand.* 1981;39(3): 133-46.
 15. Venhoven BA, de Gee AJ, Davison CL. Light initiation of dental resin: dynamics of the polymerization. *Biomaterials* 1996;17(24):2313-18.
 16. Kowalska A, Sokolowski J, Bociog K. The Photoinitiators Used in Resin Based Dental Composite—A Review and Future Perspectives. *Polymers (Basel)*. 2021;13(3):470.
 17. Tamoue N, Matsumura H, Atsuta M. The influence of ultraviolet radiation intensity on curing depth of photo-activated composite veneering materials. *J Oral Rehabil.* 1998;25(10):770-5.
 18. Kurachi C, Tuboy AM, Magalhaes DV, Bagnato VS. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. *Dent Mater.* 2001;17(4):309-15.
 19. Millar BJ, Nicholson JW. Effect of curing with a plasma light on the properties of polymerizable dental restorative materials. *J Oral Rehabi.* 2001;28(6):549-52.
 20. Discacciati JAC, Neves AD, Oréfice RL, Pimenta FJGS, Sander HH. Effect of Light Intensity and Irradiation Time. *Mater Res.* 2004;7(2):313-8.
 21. Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dent Mater.* 2012;28(5):529-41.
 22. Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. Properties of experimental urethane dimethacrylate-based dental resin composite blocks obtained via thermo-polymerization under high pressure. *Dent Mater.* 2013;29(5):535-41.
 23. Fasbinder DJ. Chairside CAD/CAM: an overview of restorative material options. *Compend Contin Educ Dent.* 2012;33(1):52-8.
 24. Kato T, Saigo K, Tsumeishi M, Yamada B, Yamamoto S. Highly esthetic and toughened dental composite resins. *Kobunshi Ronbunshu.* 2012;69(3):113-21.
 25. Imai H, Koizumi H, Sasaki K, Matsumura H. The influence of polymerization conditions on color stability of three indirect composite materials. *J Oral Sci.* 2013;55(1):51-5.
 26. Inoue K, Terachi M, Utsumi S. A study on composite resin inlay. *J Dent Res.* 1988;67(special issue):222(abs. no. 873)
 27. Wendt SL. Effect of heat on the physical properties of composite resins. *J Dent Res.* 65(special issue):220 (abs. No. 873).

28. 조성아. 중합방법에 따른 복합레진 인레이의 물리적 성질에 관한 연구, 조선대학교 석사학위논문 (1997).
29. Wendt SL. The Effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite

resins. I. Diametral tensile strength, compressive strength, marginal dimensional stability, Quint Int. 1987;18(4):265-71.

치과 CAD/CAM 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록의 굴곡강도에 미치는 광중합 효과

박민주¹, 김희중², 김병훈^{1,*}

¹조선대학교 치과대학 치과재료학교실

²조선대학교 치과대학 보철학교실

이 연구의 목적은 하이브리드 레진 블록의 기계적 강도에 미치는 광중합의 효과를 평가하는 것이다. 하이브리드 복합레진은 무기필러와 다양한 첨가제를 고분자 매트릭스와 혼합하여 제조하였다. 광중합을 수행하기 위하여 가시광 (460nm) LED 조사장치를 설계하고 개발하였다. 레진블록의 광중합은 3시간, 1200 mW/cm², 2시간, 1600 mW/cm², 3시간, 1600 mW/cm², 4시간, 1600 mW/cm² 조건에서 수행하였다. 광중합 후 레진블록의 기계적 강도는 굽힘강도를 측정하여 분석하였다. 1600 mW/cm²에서 2시간 동안 광중합 된 레진 블록의 중합도를 향상시키기 위하여 플라즈마 표면처리 (100 W, 5분)과 열중합 15분으로 각각 후처리를 실시하였고, 굽힘강도를 다시 측정하였다. 레진블록의 굽힘강도는 광중합 시간이 증가할수록 증가되었고, 특히 후처리를 실시한 레진블록의 굽힘강도가 증가되는 것을 알 수 있었다. 광중합 후 레진블록의 표면의 변화가 없음을 전자현미경을 통해 알 수 있었다. 광조사와 플라즈마 처리는 CAD/CAM 절삭가공용 하이브리드 복합 레진블록의 중합도를 향상시키는데 필요한 기술로 사료된다.

색인단어 : 복합레진, 광중합, 굽힘강도, 하이브리드 레진 블록
