

치과용 세라믹 보철물 소재 레이저 가공성 평가

황준호^{1,2} · 권성민² · 이찬우² · 김현덕^{2,3} · 김임선⁵ · 이규복^{1,4*}

¹경북대학교 치과대학 치의학과, ²경북대학교 첨단정보통신융합산업기술원, ³경북대학교 IT대학 전자공학부,

⁴경북대학교 치과대학 치과보철학교실, ⁵대구보건대학교 치기공학과

A study on the processing of dental ceramic composites by using laser

Junho Hwang^{1,2}, Sung-Min Kwon², ChanWoo Lee², HyunDeok Kim^{2,3}, Im-Sun Kim⁵, Kyu-Bok Lee^{1,4*}

¹Department of Dental Science, Graduate School, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

²Institute of Advanced Convergence Technology, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

³School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

⁴Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

⁵Department of Dental Technology, Daegu Health College, Daegu, Republic of Korea

Purpose: The laser processability of dental prosthesis is investigated using two ceramic composites, including 3M, Lava Ultimate and Ivoclar vivadent, IPS e.max. **Materials and methods:** The CO₂ laser, picosecond laser and femtosecond laser are used to assess the processing power of dental prosthetic materials Lava Ultimate and IPS e.max and the line processing shape was measured using a confocal microscope. **Results:** The brittleness, carbonization and micro crack of the ceramic composite were influenced by heat accumulation of the material and could be controlled by the laser power and pulse time. **Conclusion:** In the case of CO₂ lasers, micro crack and carbonation occurred immediately, and in the picosecond laser processing, the micro cracks are partially improved, but the carbonization occurs continuously. Finally, we confirmed the high efficiency of laser processing with femtosecond laser. In particular, Lava Ultimate, a ceramic resin composite material, showed the best processability when processed using a femtosecond laser. (*J Korean Acad Prosthodont* 2019;57:1-7)

Keywords: Dental ceramic composites; Laser processing; Picosecond laser; Femtosecond laser; CO₂ laser

서론

디지털 치과 의료기술의 발전에 따라 대다수의 치과 병원 및 의원에서 첨단 진료 시스템을 구축하고 있으며, 치과치료를 원하는 환자들 또한 computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) 시스템의 중요성을 인식하고 있다. 심미적인 욕구의 증가, 소재의 개발과 발전 등과 함께 CAD/CAM 시스템을 이용한 치과용 보철물은 날로 발전하고 있다.¹

현재 치과 보철물을 제작하는 CAD/CAM 시스템은 공구(Tool)를 이용한 밀링 방식을 이용하고 있으며, 이는 기존 주조 형태의 가내 수공업으로 제작된 방식보다 생산 효율이 높은 공정 기술이다. 하지만 최근 공구를 사용하는 밀링 기술보다 절삭 도구를 레이저로 대체한 밀링 가공기술이 정밀도 향상 및 공정 개선을 통한 제조 혁신을 기대할 수 있는 차세대 가공 기술로써 주목받고 있다.

이러한 레이저를 이용한 밀링 가공 기술과 관련된 다양한 분

*Corresponding Author: Kyu-Bok Lee

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, A3DI, Kyungpook National University, 2175 Dalgubuldaero, Jung-gu, Daegu 41940, Republic of Korea

+82 (0)53 600 7674; e-mail, kblee@knu.ac.kr

Article history: Received August 14, 2018 / Last Revision September 2, 2018 / Accepted September 8, 2018

©2019 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

※이 연구는 산업통상자원부의 「레이저 응용 의료기기/첨단소재가공 산업기반구축」 사업의 지원을 받아 수행되었음.

야별 관심도 및 시장의 요구가 매년 높아지고 있으며, 관련 특허 역시 Fig. 1과 같이 매년 성장하는 추세이다.

레이저 밀링의 장점으로는 공구 밀링 보다 스핀들 모터의 과부하로 인한 진동 등 톨의 흔들림이 없기에 보다 정밀한 치과 보철물을 제작하는 것이 가능하다. 또한, 회전 등에 필요한 컴프레셔 에어가 필요 없으며 레이저 빔사이즈 조절을 통한 가공으로 종류별로 다양한 톨의 구비 및 톨 소모로 인한 교체 비용이 발생치 않는 경제적인 장점을 가지고 있다 (Fig. 2).

최근 치과 보철물 제작에 있어 기존 공구(tool)를 이용한 밀링의 단점을 보완한 레이저 밀링 기술 개발을 통한 치과보철물 정밀도 향상 및 다양한 소재 가공에 대한 관심이 높아지고 있다.

따라서 본 실험을 통해 세계적인 치과 의료시장에서 가장 많이 연구 및 임상에 적용되며, 치과용 싱글 크라운 및 인레이 등에 사용하는 대표적인 치과용 보철물 소재(세라믹 복합소재)인 3M Lava Ultimate (3M, St. Paul, MN, USA), IPS e.max (Ivoclar vivadent, Schaan, Liechtenstein) 가공 블록을 활용하여 레이저 가공 실험을 진행하고, 가공에 대한 적용 가능 여부를 파악하고자 한다.

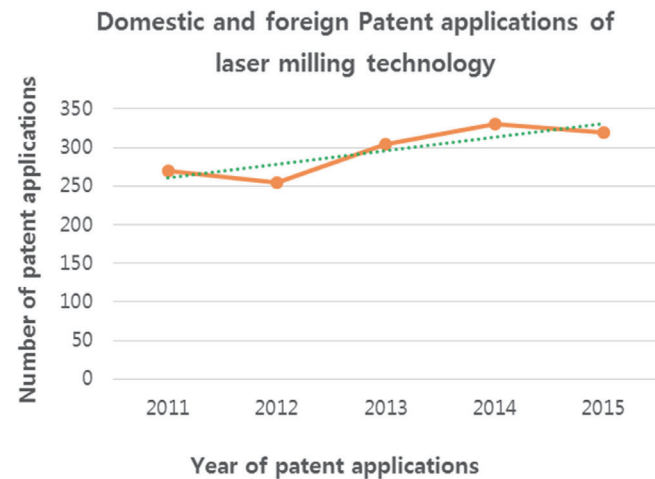


Fig. 1. Patent trend of laser milling development field (Unpublished patent existence 2016 - 2017). Research on the patent trends of laser milling (DAE-A Intellectual Property Consulting).

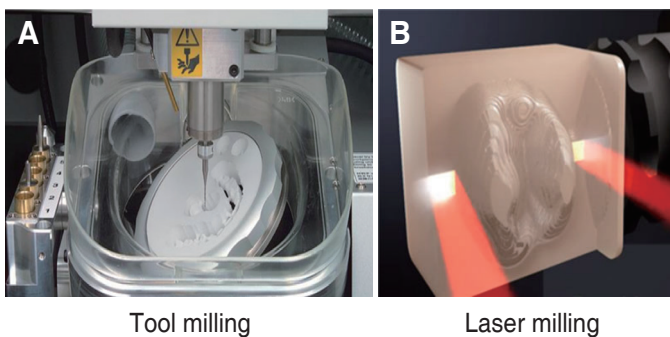



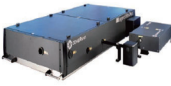

Fig. 2. Comparison of tool milling and laser milling. (A) Roland, (B) Dental wings.

재료 및 방법

본 실험에서는 치과용 세라믹 소재의 레이저 가공성을 평가하기 위해 CO₂ 레이저, 피코초 레이저, 펄초 레이저를 활용하여 실험을 진행하였으며, 레이저 사양은 아래 Table 1과 같다.

또한, 본 실험에서는 치과용 보철물 소재로 3M, Lava Ultimate 블록과 Ivoclar vivadent, IPS e.max 블록 두 소재를 대상으로 가공성 평가를 진행하였으며 소재 특성 비교는 아래 Table 2와 같다. Lava Ultimate는 Nano-technology 기술로 개발된 신소재로 이미 미국, 유럽 등지에서 5년간의 임상데이터로 성능이 입증되었다. 소재 특징으로는 기존 인레이 재료에 비해 탄성력을 가지고 있어 충격을 완화시켜준다. 또한 높은 변색 저항성으로 시간이 지나도 뛰어난 심미성을 유지한다. 레진 소재에 나노기술로 개발된 무기질의 세라믹 충전재가 합성된 신소재로써, 세라믹 재료 중에서도 탄성계수, 강도, 심미성, 마모성, 변색, 생체 친화성, 부식 저항성 등의 조건을 가장 만족하는 치과 디지털 환경에 최적화된 세라믹 하이브리드 소재이다. 물성이 좋고 구강 내 색조 조화가 자연스럽고 심미성이 뛰어나며, 낮은 파절 가능성으로 안정성이 확보되었다. 또한 오래 사용하더라도 변색이 적고 마모저항성이 높다는 특징 등을 가지고 있으며 높은 강도를 가지고 있지만 대합치 마모에 거의 영향이 없는 CAD/CAM에 최적화된 정밀성과 변연 재현성을 가지고 있기에 디지털 시대에 적합한 신소재로 크라운 및 인레이 등 치과용 보철물 재료로 많이 사용되고 있다.²

Table 1. Laser specifications used in the experiment

	CO ₂ laser	Picosecond laser	Femto laser
			
Manufacturer	COHERENT		Coherent
Model	DIAMOND C- 55L	Duetto	Libra-F-HE
Wavelength	10.55 to 10.63 μ m	355 nm, 532 nm, 1064 nm	Center: 800 nm
Output Power	55 W	Max. average: 10 Watt at 50 KHz (1064 nm)	
Beam Size (mm):	1.8 \pm 0.2	Pulse duration (FWHM): 12 ps	Repetition rate: 10 KHz Pulse width: < 100 fs Beam diameter: 9 mm
Output beam quality	TEM00, M2 < 1.2	TEM00, M2 < 1.3	TEM00, M2 < 1.3

IPS e.max는 lithium disilicate glass-ceramic과 zirconium oxide로 구성된 글라스 세라믹 하이브리드 소재로, Press technology와 CAD/CAM technology로 가공이 가능하다. 또한, 고온 열처리가 가능하여 포세린 등의 빌드업도 가능하기 때문에 Thin veneer부터 12-unit bridge까지 모든 All-ceramic 수복물의 제작에 사용할 수 있으며 높은 강도와 뛰어난 심미성을 가지

고 있다.³

레이저 가공 시스템의 조건은 Table 3과 같이 진행하였으며, 치과용 세라믹 복합소재 표면에 연속성을 가진 line 형상을 가공하였다. 또한, 공초점 현미경을 사용하여 가공 형상의 width, depth를 측정하였으며, 공초점 현미경 사양은 Table 4와 같다.

Table 2. Characteristics of experimental dental ceramic composites




Classification	Lava Ultimate	IPS e.max	
		Before sintering	After sintering
Image			
Flexural strength (Mpa)	204	130	360
Fracture toughness (Mpa)	2.02	0.9 - 1.25	2.0 - 2.5
Modulus of elasticity (Gpa)	12.77	-	95
Application	Crown, Inlay	Crown, Inlay, Coping, Pocerlain, Build up available	
Note	Use immediately after processing	Heat treatment required after processing (840°C, 7 min)	

Table 3. Processing conditions by laser type


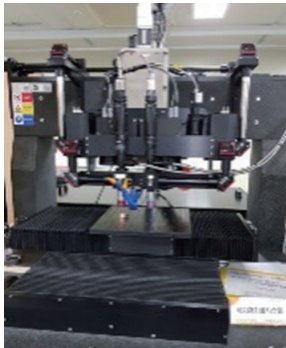
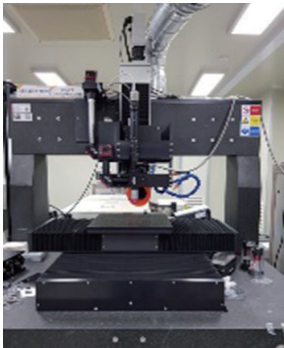
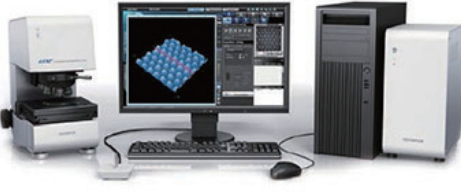
Classification	CO ₂ laser	Picosecond laser	Femto laser
Image			
Wave length (nm)	10630	1064	800
Pulse (ps)	1	1	1
Power (W)	33 (Max.55)	6	6
Speed (mm/sec)	1	1	1
Lens	× 5	× 5	× 5

Table 4. Processing pattern and specifications of confocal microscope

Confocal microscope spec.	
	
■ specification <ul style="list-style-type: none"> • Light source: 405 nm LD Laser • Total magnification: $\times 108 - \times 17,280$ • Z focusing unit stroke: 100 mm • XY stage: 100×100 mm • Planar measurement • Repeatability: $100 \times 3\sigma - 1 = 0.02 \mu\text{m}$ • Accuracy: $\pm 2 \%$ 	

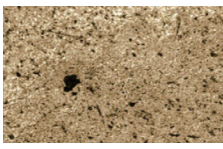

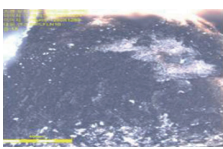
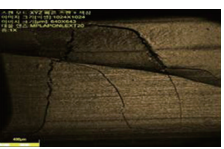
결과

첫 번째로, CO₂ 레이저의 경우 Table 5와 같이 형상 가공이 되지 않음을 확인하였다.

또한, 출력을 최대치(55 W)로 변경하여 소재에 가공을 했을 경우 3M Lava Ultimate는 탄화가 발생하며, IPS e.max의 경우 크랙 현상이 발생하였다. 이는 CO₂ 레이저의 경우 가공 시 열에 의한 크랙 및 탄화 현상 발생⁴으로 치과용 보철물 제작 시 사용될 레이저로는 부적합하다고 볼 수 있다.

다음으로 피코초 레이저를 활용하여 소재 가공을 진행하였으며, 레이저 출력 변화에 따른 형상 가공 평가를 진행하였다. 3M Lava Ultimate 소재의 경우 Table 6과 같이 가공 시 모든 출력에서 탄화 현상 및 미세한 크랙이 발생되었으며, 레이저의 출력 증가에 따라 불량 현상은 더욱 증가함을 알 수 있다. 또한, Ratio는 depth에 width를 나눈 값으로 이를 통해 width 대비 depth 가공성을 평가할 수 있으며, 3M Lava Ultimate 제품의 경우 출력이 증가함에 따라 Ratio의 값이 불규칙하며, 이는 출력 변화에 따라

Table 5. Processing of the line shape using CO₂ laser

Classification	Lava Ultimate	IPS e.max
Image (33 W)		
Data		
Image (55 W)		
Width	Unprocessed	Unprocessed
Depth	Unprocessed	Unprocessed

가공성이 일정하지 않다는 것을 알 수 있다. 특히 출력이 4.2 W 이상에서는 형상 중앙부 주변 심한 Burr로 인해 형상의 width 및 depth 측정이 불가능 하였다. 3M Lava Ultimate 제품의 경우 레진과 세라믹 소재가 혼합된 제품으로 레이저 가공 시 발생하는 열로 인해 레진 소재의 탄화현상이 발생하였으며, 피코초 레이저를 사용하더라도 CO₂ 레이저와 동일하게 탄화현상이 나타남을 알 수 있었다.

IPS e.max의 경우 Table 7과 같이 탄화현상은 발견되지 않았으며, CO₂ 레이저와는 다르게 크랙 현상 없이 형상이 가공됨을 확인할 수 있었다. 이는 IPS e.max 제품은 글라스 세라믹 소재로 CO₂ 레이저 실험과 같이 강한 레이저 출력에 의해 크랙은 발생할 수 있으나, 레진 함량이 없기 때문에 Lava Ultimate 제품과 같이 탄화현상은 발견되지 않았다. 또한 피코초 레이저의 경우 극초단 펄스 레이저로 CO₂ 레이저 대비 가공 시 충격을 최소화할 수 있기 때문에 제품의 크랙없이 형상 가공은 가능하였다. 하지만 출력 증가에 따른 width, depth 변화는 적었으며, 형상 중앙부 주변의 확대된 Burr 영역의 간섭으로 측정이 불가능하였다.

Table 6. Processing and precise measurement of the line shape after picosecond laser (3M Lava Ultimate)


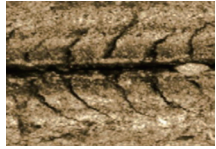
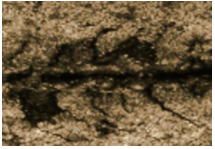
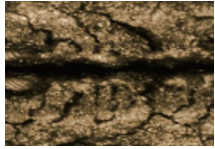
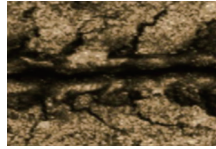
Classification	3M Lava Ultimate				
Power (W)	0.6	1.8	3	4.2	5.4
Image ($\times 20$)					
Width (μm)	22.25	22.96	8.88	Unmeasurable	Unmeasurable
Depth (μm)	3.86	11.04	3.30	Unmeasurable	Unmeasurable
Ratio (depth / width)	0.17	0.48	0.37	-	-

Table 7. Processing and precise measurement of the line shape after picosecond laser (IPS e.max)

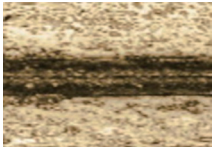
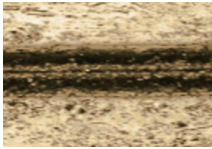
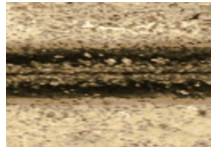
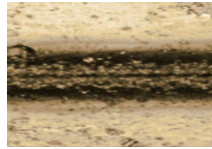
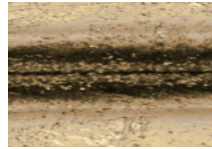
Classification	IPS e.max				
Power (W)	0.6	1.8	3	4.2	5.4
Image ($\times 20$)					
Width (μm)	10.99	6.07	8.18	10.29	11.52
Depth (μm)	4.21	1.56	2.39	4.10	6.50
Ratio (depth / width)	0.38	0.25	0.29	0.39	0.56

Table 8. Processing and precise measurement of the line shape after femtosecond laser (3M Lava Ultimate)

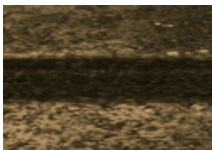
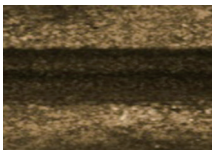
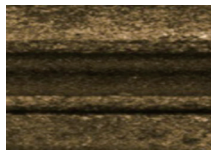
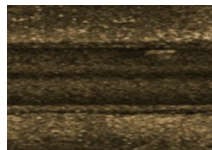
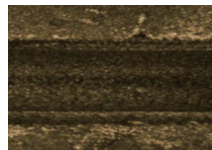
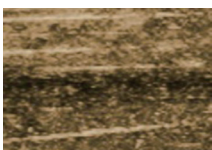
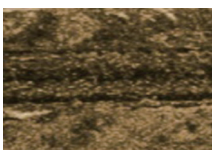
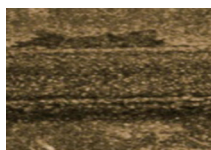
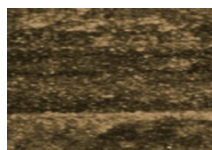
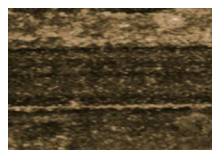
Classification	3M Lava Ultimate				
Power (W)	0.6	1.8	3	4.2	5.4
Image ($\times 20$)					
Width (μm)	62.90	102.31	154.40	189.59	210.00
Depth (μm)	79.21	132.49	166.92	192.85	214.90
Ratio (depth / width)	1.25	1.29	1.08	1.01	1.02

Table 9. Processing and precise measurement of the line shape after femtosecond laser (IPS e.max)

Classification	IPS e.max				
Power (W)	0.6	1.8	3	4.2	5.4
Image ($\times 20$)					
Width (μm)	33.34	74.86	99.50	110.00	149.45
Depth (μm)	20.52	30.19	34.91	36.47	39.06
Ratio (depth / width)	0.61	0.40	0.35	0.33	0.26

마지막으로 펄스 레이저를 활용하여 두 소재 표면에 형상 가공을 진행하였다. 우선 3M Lava Ultimate의 경우 기존의 CO₂ 및 피코초 레이저와는 다르게 탄화현상이 발생되지 않았으며, Table 8과 같이 레이저 출력에 따라 width 및 depth도 증가하였다. 또한, Ratio의 경우 출력이 증가하더라도 1.01 - 1.25 사이로 안정적인 비율을 보임을 알 수 있다. 이는 펄스 레이저를 사용하여 3M Lava Ultimate 제품을 가공할 경우 출력 변화에 따라 가공 깊이 조절이 용이하며 가공성 측면에서도 우수

함을 알 수 있다.

IPS e.max의 경우 Table 9와 같이 출력이 증가함에 따라 width는 증가하지만, depth 경우 3 W 이상부터는 큰 변화가 없으며 Ratio 또한 출력에 비례하여 감소함을 알 수 있다. 하지만 피코초 레이저와 0.6 W 동일 출력 기준 width는 10.99 μm 에서 33.90 μm , depth는 4.21 μm 에서 20.52 μm 로 약 5배 정도 증가하였으며, 이는 피코초 레이저와 비교하였을 때 펄스 레이저가 더욱 좋은 가공성을 보임을 알 수 있다.

Table 10. Summary of laser processing characteristics by dental ceramic composites

Classification		Lava Ultimate	IPS e.max
Material components		Resin + Ceramic	Glass Ceramic
	CO ₂	X	X
Processability	Pico	X	△
	Femto	◎	○

Note. ◎: Excellent, ○: Good, △: Fair, X: Unable to process.

펄스 레이저의 경우 펄스가 가지는 시간이 10^{-15} sec이며 작은 에너지로도 큰 침투출력이 가능하고 가공물을 플라즈마 상태로 직접 변화시켜 가공이 가능하다.^{5,6} 따라서 열 영향 영역이나 열 손상 및 크랙 등을 최소화 수 있다. 이는 3M Lava Ultimate 제품 기준 CO₂ 및 피코초 레이저에서 보였던 탄화 및 크랙 현상이 펄스 레이저에서는 개선되었으며, 동일 출력 기준 피코초 레이저와 비교하더라도 펄스 레이저의 가공성이 더욱 우수함을 알 수 있었다 (Table 10).

고찰

본 연구에서는 치과용 보철물 세라믹 복합소재에 대한 레이저 가공실험을 수행하였다. 펄스 주기에 따른 가공특성 분석을 위해 CO₂ 레이저, 피코초 레이저, 펄스초 레이저를 활용하였으며, 각각의 레이저 펄스주기에 따라서 Line 형상 가공 특성을 분석하였다. CO₂ 레이저의 경우 두 제품 모두 가공이 어려웠으며, 피코초 레이저는 Lava Ultimate 제품에 대해 매우 낮은 저출력 (0.6W)의 경우 미세한 가공 가능성을 보였으나, 그 이상의 출력에서는 탄화현상 및 크랙이 발생하였으며, IPS e.max 제품의 경우 레이저 출력이 증가함에 따른 형상의 Depth, Width 변화가 적음을 알 수 있었다. 이는 가공이 가능하더라도 출력 증가에 따른 가공성이 동일하기에 효율성이 낮아진다. 마지막으로 펄스초 레이저의 경우는 기존 레이저에서 나타났던 탄화현상 및 크랙은 발생되지 않았으며, 특히 Lava Ultimate 제품의 경우 매우 우수한 가공성을 가짐을 알 수 있었다. 향후 치과용 세라믹 복합소재의 보철물 제작 시 펄스초 레이저를 활용할 경우 수 - 수십 μ m의 영역에 대해 열변형 없이 정밀하게 가공할 수 있으며, 기존 공구를 가공 시 습식 공정에서 필요한 건조 및 신터링 등 후처리 과정에 따른 수축 정밀도 오차 개선 효과 및 3축 디플렉션 모듈을 활용한 빠른 가공속도를 통한 생산성 향상이 기대된다.

결론

레이저를 이용한 치과용 세라믹 보철물 소재 가공 시 CO₂ 레이저나 피코초 레이저 보다 펄스초 레이저를 이용하였을 경우

에 가공성이 우수하였으며, 특히 세라믹과 레진으로 구성된 3M, Lava Ultimate의 경우 글라스 세라믹으로 구성된 Ivoclar vivadent, IPS e.max 보다 펄스초 레이저 가공성이 매우 우수하였다.

ORCID

Kyu-Bok Lee <https://orcid.org/0000-0002-1838-7229>

Junho Hwang <https://orcid.org/0000-0002-6406-4770>

Sung-Min Kwon <https://orcid.org/0000-0002-0015-3985>

ChanWoo Lee <https://orcid.org/0000-0001-6750-6880>

HyunDeok Kim <https://orcid.org/0000-0002-3195-5438>

Im-Sun Kim <https://orcid.org/0000-0002-2546-0287>

References

1. Moon YH, Lee J, Lee MG. Shear bond strength of dental CAD-CAM hybrid restorative materials repaired with composite resin. J Korean Acad Prosthodont 2016;54:193-202.
2. Poticny DJ. A new class of CAD/CAM material. Dent Products Rep 2011;45:80-2.
3. Hatch T. Replace PFMs: Ivoclar Vivadent's IPS e.max CAD/CAM ceramic blocks help provide strength, shade versatility. Dent Products Rep 2013;47:84-5, 87.
4. Bae M, Kim K, Park J. High precision / high quality laser processing of ceramic materials. Korean Soc Mech Eng 2017; 1733-8.
5. Kim S, Son IB, Jeong S. Precision microprocessing of ceramic by using femtosecond laser. Korean Soc Mech Eng 2011;5:26-8.
6. Kim DS, Oh BK. Numerical analysis of femtosecond laser material processing. J Korean Soc Precis Eng 2006;23:48-55.

치과용 세라믹 보철물 소재 레이저 가공성 평가

황준호^{1,2} · 권성민² · 이찬우² · 김현덕^{2,3} · 김임선⁵ · 이규복^{1,4*}

¹경북대학교 치과대학 치의학과, ²경북대학교 첨단정보통신융합산업기술원, ³경북대학교 IT대학 전자공학부,

⁴경북대학교 치과대학 치과보철학교실, ⁵대구보건대학교 치기공학과

목적: 레이저를 이용한 치과 보철물 세라믹 복합소재 Lava Ultimate와 IPS e.max의 가공성 평가를 하고자 한다.

재료 및 방법: 3M, Lava Ultimate와 Ivoclar vivadent, IPS e.max의 가공성 평가를 위해 CO₂ 레이저, 피코초 레이저, 펄스 레이저를 사용하였으며, 공 초점 현미경을 이용하여 가공 형상을 분석하였다.

결과: 세라믹 복합체의 취성 및 탄화, 균열 등은 소재의 열축적에 영향을 받고 레이저 출력 및 펄스 시간에 의해 제어가 가능함을 알 수 있었다.

결론: CO₂ 레이저를 이용하여 세라믹 복합소재 가공 시 미세 균열과 탄화가 즉시 발생하였으며, 피코초 레이저 가공의 경우 미세 균열은 일부 개선되었으나 탄화 현상은 지속적으로 발생되었다. 하지만 펄스 레이저를 이용한 레이저 가공 시 출력 대비 높은 효율의 가공성을 확인하였으며, 특히 세라믹 레진 복합소재인 Lava Ultimate의 경우 펄스 레이저를 이용하여 가공 시 가장 우수한 가공성을 보였다. (대한치과보철학회지 2018;57:1-7)

주요단어: 치과용 세라믹 소재; 레이저 가공성; 피코초 레이저; 펄스 레이저; CO₂ 레이저

*교신저자: 이규복

419470 대구광역시 중구 달구벌대로 2175

경북대학교 치과대학 치과보철학교실, 첨단치과의료기기개발연구소

053 600 7674; e-mail, kblee@knu.ac.kr

원고접수일: 2018년 8월 14일 / 원고최종수정일: 2018년 9월 2일 / 원고채택일: 2018년 9월 8일

© 2019 대한치과보철학회

이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 4.0 대한민국 라이선스에 따라 이용할 수 있습니다.

※이 연구는 산업통상자원부의 「레이저 응용 의료기기/첨단소재가공 산업기반구축」 사업의 지원을 받아 수행되었음.