

## Evaluation of New LED Curing Light on Resin Composite Polymerization

Jieun Kang, Saeromi Jun, Jongbin Kim, Jongsoo Kim, Seunghoon Yoo

*Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University*

### Abstract

The purpose of this study is to compare efficiency of broad spectrum LEDs (VALO<sup>®</sup>, Ultradent, USA) with conventional LED curing lights (Elipar<sup>™</sup> Freelight 2, 3M ESPE, USA) using a microhardness test.

The light curing units used were VALO<sup>®</sup> in three different modes and Elipar<sup>™</sup> Freelight 2. The exposure time was used according to the manufacturer's instructions. After cured resin specimens were stored in physiological saline at 37°C for 24 hours, microhardness was measured using Vickers microhardness tester. The microhardness of upper and lower sides of the specimens were analyzed separately by the ANOVA method (Analysis of Variance) with a significance level set at 5%.

At upper side of resin specimens, an increased microhardness was observed in the broad spectrum LED curing light unit with a high power mode for 4 seconds and plasma emulsion mode for 20 seconds ( $p < 0.05$ ). However, at the lower side of resin specimens, there were no significant differences in microhardness between broad spectrum LED curing light unit and conventional LED curing light unit.

**Key words :** Light emitting diodes, Broad spectrum, Microhardness, Curing unit

### I. 서 론

광중합은 치과 진료 시 여러 분야에서 쓰이고 있다. 현재까지 개발되어 임상에 적용된 가시광선 광중합 유형은 석영 텅스텐 할로젠(Quartz tungsten halogen)램프, 발광 다이오드(Light emitting diodes, LED) 유니트, 플라즈마 아크 램프 그리고 아르곤 이온 레이저로 나눌 수 있다<sup>1,2)</sup>.

2001년 처음 발광 다이오드 광중합기가 치과계에 도입되었다<sup>3)</sup>. 발광 다이오드 광중합기는 가열되는 필라멘트 대신 두 개의 각기 다른 도프 반도체를 이용한다<sup>2,4)</sup>. 푸른색의 질화 갈륨 발광 다이오드의 스펙트럼은 캄포르퀴논(camphoroquinone)의 흡수 스펙트럼 범위에 포함된다<sup>1,4,5)</sup>. 그러므로 푸른 빛을 만들어내기 위한 필터가 따로 필요하지 않으며 전기를 빛으로 더 효율적으로 전환할 수 있다<sup>4)</sup>. 열 발생이 적으므로 열을 식히기

위한 냉각팬이 필요하지 않아 광중합기를 더 작게, 무선으로 만들 수 있으며 일정한 광출력으로 오랜 시간 작동할 수 있다<sup>3,5)</sup>.

발광 다이오드 광중합기의 기술이 발전되면서 고성능의 2세대 발광 다이오드 광중합기 (예, FreeLight 2 curing light, 3M ESPE, USA)가 소개되었다. 이 광중합기는 1세대 모델 (예, the original FreeLight, 3M ESPE, USA)에 비해 성능이 향상되었으며 방사 조도가 높아졌다<sup>6)</sup>.

새롭게 출시되고 있는 많은 발광 다이오드 광중합기는 400 mW/cm<sup>2</sup> 이상의 출력을 가지고 있기 때문에 제조사의 지시보다 짧은 중합 시간으로도 복합레진을 중합할 수 있다<sup>6)</sup>. 그러나 상대적으로 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

복합레진의 중합정도를 평가하는 방법으로 직접적인 평가 방법과 간접적인 평가 방법이 있으며, 직접적인 평가 방법으로는 Fourier transformed infrared spectroscopy(FTIR),

Corresponding author : Seunghoon Yoo

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, 119 Dandaero, Dongnam-gu, Cheonan, 330-714, Korea

Tel: +82-41-550-0222 / Fax: +82-41-550-0118 / E-mail: yoo.seunghoon@gmail.com

Received January 2, 2014 / Revised May 14, 2014 / Accepted May 14, 2014

Raman spectroscopy 등을 이용하는 방법이 있다. 간접적인 평가 방법 중 가장 많이 쓰이는 방법은 경도 시험이며, 치과 영역에서는 누프 미세경도 시험, 비커스 미세경도 시험 등이 자주 사용된다<sup>7)</sup>. 비커스 미세경도 시험을 이용하여 복합레진의 중합 정도를 평가하고 이를 통해 광원의 효율을 평가할 수 있다<sup>8)</sup>.

이 연구의 목적은 비커스 미세경도 시험을 통해 복합레진 시편의 상부와 하부의 미세경도를 비교함으로써 광범위 스펙트럼 발광 다이오드(VALO<sup>®</sup>, Ultradent, USA) 광중합기와 기존의 발광 다이오드 광중합기(Elipar<sup>™</sup> Freelight 2, 3M ESPE, USA)의 효율을 비교하고자 함이다.

## II. 연구 재료 및 방법

직경 5 mm, 두께 2 mm의 금속 원형 주형에 A2 shade Filtek Z250<sup>®</sup> (3M ESPE, USA) 복합레진을 위치시켰다. 투명한 폴리에스테르 스트립 위에 금속 주형을 놓고 복합레진을 위치시킨 후 그 위에 또 다른 투명 폴리에스테르 스트립을 위치시켰다. 평평한 중합 표면을 얻기 위해 얇고 투명한 커버글라스를 그 위에 위치시켰으며 손가락으로 압력을 가하여 과잉 레진을 제거하였다. 그 후에 실험에 사용된 광중합기를 이용하여 중합을 실시하였다(Table 1).

37℃의 생리식염수에 중합된 레진 시편을 24시간 동안 보관한 후 비커스 경도 시험기를 이용하여 하중 300 gm, 하중 적용 시간(dwelling time) 10초로 압흔을 만든 후 400배율로 확대하여 그 크기를 측정하였다. 10개의 시편 상부와 하부에 각각 3 회씩 시험을 시행하였다. 평균 미세경도를 비교하기 위하여 ANOVA(Analysis of Variance) 분석을 시행하였다.

## III. 결 과

평균 비커스 경도와 표준 편차를 Table 2에 나타내었다. 두 개의 발광 다이오드 광중합기 모두 중합 후 시편의 하면의 경도가 상면의 경도보다 현저히 낮은 값을 보였다. ANOVA 시험 결과를 Table 2에 나타내었다.

시편의 상면의 평균 미세경도를 비교한 결과, 1군의 평균 미세경도에 비해 3군과 4군의 평균 미세경도가 유의하게 증가했다( $p < 0.05$ ). 2군의 평균 미세경도는 1군의 평균 미세경도와

유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 시편의 하면에서는 광범위 스펙트럼 발광 다이오드 광중합기로 실험한 군의 평균 미세경도와 기존의 발광 다이오드 광중합기로 실험한 군의 평균 미세경도 간에 유의할만한 차이를 보이지 않았다.

2군과 4군을 비교하면 같은 광중합기의 같은 광도로 중합 시간만을 다르게 하여 비교했을 때 상면과 하면 모두에서 평균 미세경도가 증가했다.

## IV. 총괄 및 고찰

성공적인 수복을 위해 적절한 복합레진의 중합은 필수적이다<sup>9)</sup>. 복합레진의 중합 정도는 재료의 기계적 특성, 용해도, 체적 안정성, 색 변화, 생체적합성에 영향을 미친다<sup>10,11)</sup>. 복합레진의 중심부층이 적절하게 중합되지 않는다면, 하면의 탄성계수가 상면의 탄성계수에 비해 낮아질 것이다. 그 결과 구강 내에서 저작이 반복되는 동안 재료의 변형이 일어날 수 있으며 수복물의 계면에 틈이 생기거나 파절이 일어날 수 있다<sup>12)</sup>.

이상적인 광중합기는 광범위한 스펙트럼을 가져야 하며 충분한 광도를 가지며 빛이 분산되지 않고 중합하고자 하는 곳에 집중될 수 있어야 한다. 또한 여러 종류의 중합 모드가 있어서 필요에 따라 적절한 중합 모드를 선택할 수 있어야 하고 내구성이 좋아야 하며 여러 번의 중합이 필요할 때 중합을 반복해도 충분한 지속 시간을 가져야 한다.

중합의 심도와 미세경도 시험은 복합레진의 중합 정도를 평가하기 위해 널리 쓰이고 있다. Uhl<sup>13)</sup>은 중합의 심도에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 중합 시간이며 뒤이어 레진의 종류와 광중합기가 영향을 미친다고 하였다. 본 연구에서도 시간의 증가가 미세경도의 증가와 비례관계를 보인 결과와 일치하였다. 따라서 제조사의 지시보다 짧은 광중합은 바람직하지 않으며 수복 재료의 선택에도 신중을 기해야 한다고 하였다.

Ceballos 등<sup>14)</sup>은 중합의 심도와 미세경도는 중합광에 의해 영향을 받는 것이 아니라 중합광과 중합 시간 간의 상호 작용과 중합광과 중합심도 사이의 상호작용에 영향을 받는다고 하였다.

복합레진의 두께와 중합 시간은 수복물의 미세경도에 영향을 끼치는 주요 요소들이다<sup>15)</sup>. 중합 정도가 높을수록 수복물의 기계적 성질, 생체 적합성, 흡수성, 색 안정성 그리고 마모 저항성이 높아진다<sup>10,11,16)</sup>.

**Table 1.** Light curing units used according to the manufacturer's instruction

Group	LCU	Intensity	Curing time(sec)
1	Elipar <sup>™</sup> freelight 2	1200 mW/cm <sup>2</sup>	20
2		3200 mW/cm <sup>2</sup>	3
3	VALO <sup>®</sup>	1400 mW/cm <sup>2</sup>	4
4		3200 mW/cm <sup>2</sup>	20

**Table 2.** Mean values of microhardness

Group	Upper side		Lower side	
	Mean (Hv)	SD	Mean (Hv)	SD
1	73.3	5.9	63.9	9.4
2	74.0	5.1	61.2	7.2
3	83.2	8.1	57.7	10.6
4	83.6	3.9	73	5.8

One-way ANOVA and Scheffe test

\* : Significantly different among groups ( $p < 0.05$ )

광원이나 에너지가 불충분하면 복합레진의 완전한 중합을 얻기가 어려우며 이에 따라 접착 강도 감소, 유지력 감소, 기계적 성질 저하, 미세 누출 증가가 뒤따르게 되어 결국 이차 우식이 발생하는 원인이 될 수 있다.

이전의 연구에 따르면, 중합 시간은 중합 결과에 영향을 끼치는 가장 중요한 요인이었으나 임상적으로 특히, 소아치과 영역에서는 수복 과정 동안 소아 환자의 협조를 얻기가 어렵기 때문에 중합 시간을 단축하는 것은 큰 장점으로 생각된다.

Price 등<sup>17)</sup>은 빛의 파장에 따라 같은 광도의 광중합기라도 유의하게 다른 경도 값이 관찰됨을 보고하였다. 같은 광도로 같은 시간 동안 광중합한 복합레진 시편을 비교했을 때 중합 효율은 광개시제의 빛의 흡수율에 의존하는 것으로 생각된다. 많은 광중합형 복합레진은 광개시제로 캄포로퀴논을 함유하고 있으며 캄포로퀴논이 자유 라디칼을 생성하여 중합 반응을 일으킨다. 캄포로퀴논은 450~490 nm의 파장의 빛을 흡수하여 중합을 개시하며 470 nm에서 가장 효과적이다<sup>18)</sup>. 어떤 복합레진은 캄포로퀴논 이외에도 다른 광개시제를 함께 포함하고 있는데 이 광개시제는 더 짧은 파장의 빛을 흡수하여 반응한다. 복합레진 내에서 짧은 파장의 빛은 긴 파장의 빛보다 훨씬 흡수가 많이 되기 때문에 짧은 파장의 빛을 이용해 중합을 하는 광개시제의 경우 복합레진의 안쪽으로 갈수록 중합의 개시에 필요한 빛이 부족하게 되어 충분한 양의 광자를 흡수하지 못하면 중합반응을 일으키지 못하게 된다<sup>17,19)</sup>. 대부분의 새로 개발된 광중합기는 400 mW/cm<sup>2</sup> 이상의 광도를 갖지만 발생하는 파장은 복합레진의 광개시제의 흡수 특성과 맞지 않을 수 있기 때문에 결과적으로 불충분한 중합이 일어날 수 있다. 따라서 광도뿐만 아니라 파장 역시 복합레진의 중합에 영향을 주는 요소로 생각된다<sup>7)</sup>.

VALO<sup>®</sup> 제조사에 따르면, 광범위 스펙트럼 광중합기는 395 nm에서 480 nm의 범위의 네 개의 발광 다이오드를 가지고 있어 모든 복합레진의 중합이 가능하며, 중합 심도는 표준 모드(20초)에서 8.44 mm, 고성능 모드(4초)에서 8.26 mm, 플라즈마 모드(3초)에서 7.40 mm라고 하였다. 하지만 심부 안쪽까지 도달하는 빛의 질과 양에 대해서는 더 고려되어야 할 사항으로 생각된다.

제조사의 지시에 따르면, 빠른 중합 모드는 교정용 브라켓 부착이나 얇은 표면을 중합할 때 추천된다고 하였으며, 깊은 중합이 필요할 때는 추가적인 광조사가 필요하다고 하였다. 연구 결과 빠른 중합 모드는 고성능의 광조사에도 불구하고 심부 레진의 중합에 불충분하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 연구에 사용한 광중합기를 사용할 때에는 적응증의 선택에 신중을 기해야 하며 사용의 범위가 제한되어 있음을 알아야 한다.

추후 짧은 중합시간의 효과와 광중합기의 고성능, 중합 깊이와 중합 수축에 관한 보다 깊이 있는 연구와 더불어 높은 중합강도의 열 발생과 그것의 재료에 대한 영향, 환자에 대한 영향에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

기존의 발광 다이오드 광중합기와 비교하여 VALO<sup>®</sup>는 광범위 스펙트럼 발광 다이오드 광중합기로 복합레진 시편을 중합했을 때 표면에서는 통계적으로 유의하게 평균 미세경도가 증가했지만 중합 시간을 단축시켜 중합했을 때 심부까지의 불충분한 중합으로 인해 미세경도에 차이를 보였다. 하지만, 기존 광중합기보다 광도가 증가되었고, 다양한 모드를 지원하므로 소아치과 및 교정 영역에서 유용한 장비라고 사료된다.

## References

- Hervás-García A, Martínez-Lozano MA, Fos-Galve P, et al. : Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 11:215-220, 2006.
- Vandewalle KS, Roberts HW, Tiba A, Charlton DG : Thermal emission and curing efficiency of LED and halogen curing lights. *Oper Dent*, 30:257-264, 2005.
- Uhl A, Michaelis C, Mills RW, Jandt KD : The influence of storage and indenter load on the Knoop hardness of dental composites polymerized with LED and halogen technologies. *Dent Mater*, 20:21-28, 2004.
- Mills RW, Uhl A, Blackwell GB, Jandt KD : High power light emitting diode (LED) arrays versus halogen light polymerization of oral biomaterials: Barcol hardness, compressive strength and radiometric properties. *Biomaterials*, 23:2955-2963, 2002.
- Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD, Mills RW : Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials*, 21:1379-1385, 2000.
- Felix CA, Price RB, Andreou P : Effect of reduced exposure times on the microhardness of 10 resin composites cured by high-power LED and QTH curing lights. *J Can Dent Assoc*, 72:147, 2006.
- Torno V, Soares P, Vieira S, et al. : Effects of irradiance, wavelength, and thermal emission of different light curing units on the Knoop and Vickers hardness of a composite resin. *J Biomed Mater Res*, 85:166-171, 2008.
- Kurachi C, Tuboy AM, Magalhães DV, Bagnato VS : Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. *Dent Mater*, 17:309-315, 2001.
- Yoon TH, Lee YK, Lim BS, Kim CW : Degree of

- polymerization of resin composites by different light sources. *J Oral Rehabil*, 29:1165-1173, 2002.
10. Hinoura K, Akiyama Y, Onose H, *et al.* : Influence of irradiation sequence on dentin bond of resin inlays. *Oper Dent*, 20:30-33, 1995.
  11. Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R : Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res*, 76:1508-1516, 1997.
  12. David JR, Gomes OM, Reis A, *et al.* : Effect of exposure time on curing efficiency of polymerizing units equipped with light-emitting diodes. *J Oral Sci*, 49:19-24, 2007.
  13. Uhl A, Mills RW, Jandt KD : Photoinitiator dependent composite depth of cure and Knoop hardness with halogen and LED light curing units. *Biomaterials*, 24:1787-1795, 2003.
  14. Ceballos L, Fuentes MV, Rodríguez J, *et al.* : Curing effectiveness of resin composites at different exposure times using LED and halogen units. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 14:E51-56, 2009.
  15. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*, 19:26-32, 1994.
  16. Rueggeberg FA, Craig RG. : Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res*, 67:932-937, 1988.
  17. Price RB, Felix CA, Andreou P : Knoop hardness of ten resin composites irradiated with high-power LED and quartz-tungsten-halogen lights. *Biomaterials*, 26:2631-2641, 2005.
  18. Nomoto R : Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater J*, 16:60-73, 1997.
  19. Uhl A, Siquesch BW, Jandt KD : Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. *Dent Mater*, 20:80-87, 2004.

국문초록

## 발광 다이오드 광중합기의 복합레진 중합 평가

강지은 · 전새로미 · 김종빈 · 김종수 · 유승훈

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

최근 도입된 광범위 스펙트럼의 발광 다이오드 광중합기는 4개의 램프로 구성되어 있으며 다양한 중합 모드를 가지고 있다. 이 연구는 광범위 스펙트럼 발광 다이오드(VALO®, Ultradent, USA) 광중합기와 기존의 발광 다이오드 광중합기(Elipar™ Freelight 2, 3M ESPE, USA)의 효율을 미세경도 시험을 통해 비교하였다.

연구에 사용한 광중합기는 VALO®와 Elipar™ Freelight 2이며 중합 시간은 제조사의 지시에 따랐다. 37℃의 생리식염수에 중합된 레진 시편을 24시간 동안 보관한 후 미세경도 시험을 시행하였다. 시편 상부와 하부의 복합레진 미세경도는 공분산분석을 시행하였다.

광범위 스펙트럼의 발광 다이오드 광중합기를 이용하여 고성능 모드에서 4초, 플라즈마 모드에서 20초 광중합을 실시한 복합레진 시편의 상부는 기존의 발광 다이오드 광중합기에 비해 미세경도가 증가하였으나( $p < 0.05$ ), 시편의 하부에서는 실험에 사용된 광중합기 간에 유의성 있는 차이를 보이지 않았다.

**주요어:** 발광 다이오드, 광범위 스펙트럼, 미세경도, 광중합기