

할로겐과 LED 광조사기의 중합모드에 따른 미세누출 비교

Comparison of microleakage by curing modes
of halogen and LED light curing units

2006년 2월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

정 선 주



할로겐과 LED 광조사기의 중합모드에 따른 미세누출 비교

지도교수 조 영 곤

이 논문을 치의학 석사학위신청 논문으로 제출함.

2005년 10월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과
정 선 주

정선주의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 윤 창 륙 인



위 원 조선대학교 교수 조 영 곤



위 원 조선대학교 교수 황 호 길



2005년 11월 30일

조선대학교 대학원

목 차

표목차	ii
영문초록	iii
I . 서론	1
II . 실험재료 및 방법	3
III . 실험결과	8
IV . 총괄 및 고안	10
V . 결론	14
참고문헌	16

표 목 차

Table 1. Group classification by light curing units and modes	4
Table 2. Distribution of microleakage scores	8
Table 3. Statistical analysis of microleakage between halogen and LED light curing unit	8
Table 4. Statistical analysis of gingival microleakage between halogen and LED light curing units at same curing modes	9
Table 5. Statistical analysis of microleakage by different curing mode at a curing unit	9

ABSTRACT

Comparison of microleakage by curing modes of halogen and LED light curing units

Jeong Sun-Ju

Advisor : Prof. Cho Young-Gon Ph.D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

The purpose of this study was to compare the microleakage of cervical resin composite restorations cured with different modes of halogen and LED light curing units.

Sixty box-shaped class V cavities were prepared in extracted human molars with gingival margins located apical beyond the CEJ. Cavities were filled using Single Bond and hybrid resin composite, Z 250. Two types of light source, halogen (Optilux 501, Kerr, Orange, CA, USA) or LED light curing unit (Bluephase, Ivoclar/ Vivadent, Schaan, Liechtenstein) were used for curing the composite. Each curing unit was applied with three different curing modes (standard, ramp and high intensity curing mode). Thus the specimens were divided randomly into six groups of 10. After thermocycling between 5 and 55°C for 500 cycles, the specimens were immersed in 2% methylene blue at 37°C for 24 hours. The teeth were longitudinally sectioned with Diamond Wheel Saw and 3 cuttings per tooth were provided 6 surfaces for evaluation. The marginal dye penetration was recorded on a scale from 0

to 3 under the microscope. Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests were used for statistical analysis.

There was no statistically significant difference of microleakage between light curing units at enamel margin. At gingival margin, the microleakage by LED light curing unit was significantly higher than by halogen light curing unit. Using high intensity curing mode, the difference of gingival microleakage between light curing units was not statistically significant. When comparing the microleakage obtained with different curing mode on halogen light curing unit, the gingival microleakage by ramp curing mode was significantly lower than by high intensity curing mode. When comparing the influence of different curing mode on LED light curing unit, no significant difference was shown.

At gingival margin, the microleakage obtained with LED light curing unit was significantly higher than with halogen light curing unit. Stress relief by ramp curing mode of halogen light curing unit was achieved.

I. 서 론

할로겐 광조사기는 20년 이상 복합레진의 광중합을 위해 사용되어 왔다. 광조사기의 할로겐 램프에서 발생한 빛은 내장된 필터를 통해 불필요한 파장이 제거되어 400~500 nm 영역의 파란 빛을 방출한다. 그러나 필터에 의해 완전히 제거되지 않은 불필요한 파장의 빛은 치아와 복합레진에 열을 발생시킨다. 또한 램프의 제한된 수명 및 반사경과 필터의 노후는 복합레진의 중합능력을 저하시킬 수 있다¹⁾.

이러한 단점을 개선하기 위해서 청색의 LED (light-emitting diode)가 개발되었다²⁾. LED는 가장 흔히 사용되는 광개시제인 camphoroquinone의 최대흡수파장에 가까운 450~490 nm의 좁은 파장영역의 빛을 방출하여 광개시제를 효과적으로 활성화시킨다. 이는 필터가 불필요하고 열발생도 적어 광강도의 감소 없이 10,000 시간 이상 사용할 수 있다³⁾. 그러나 초기 LED 광조사기들은 낮은 광강도로 인해 할로겐 광조사기와 비교했을 때 낮은 복합레진의 중합도를 나타냈다. Dunn과 Bush⁴⁾는 1세대 LED 광조사기인 LumaCure와 Versalux가 복합레진을 부적절하게 중합시킴으로써 복합레진 수복물의 실패를 일으킨다고 보고하였고, Leonard 등⁵⁾은 1세대 LED 광조사기로 복합레진을 광중합할 때 할로겐 광조사기보다 2배 이상의 광조사 시간을 필요로 한다고 하였다. 이러한 한계를 극복하기 위해 광강도를 증가시킨 2세대 LED 광조사기가 개발되었다. Park 등⁶⁾은 2세대 LED 광조사기인 Elipar Freelight 2와 Ultra-Lume LED 2로 복합레진을 중합 시 1세대 LED보다 미세경도가 증가되었음을 보고하였고, Uhl 등⁷⁾은 2세대 LED 광조사기의 물리적 성질이 할로겐 광조사기를 대체할 수 있을 만큼 개선되었다고 보고하였다. 또한 Wiggins 등⁸⁾은 2세대인 고강도 LED 광조사기로 복합레진을 중합 시 1세대 LED 광조사기를 이용한 경우보다 중합시간을 절반으로 줄일 수 있다고 하였다.

광조사기의 광강도를 증가시키면 복합레진의 전환율이 증가되어 우수한 물성과 화학적 안정성을 얻게 된다. Ruggeberg 등⁹⁾은 복합레진을 고강도로 광중합 시 빛이 더 깊게 투과되고 단량체의 전환율이 증가하여 레진의 물리적, 기계적 성질이 크게 개선됨을 보고하였다. 그러나 레진단량체의 전환율 증가는 중합수축을 증가시켜 복합레진 수복물에 내부응력을 미세누출을 유발시킨다. 또한 고강도로 광중합 시 너무 빠른 시간 내에 젤화가 진행되므로 젤화 전 단계에서 얻을 수 있는 레진의 흐름성에 의한 내부응력을 경감시키는 효과는 기대할 수 없다.

따라서 고강도 광조사기의 수축응력을 완화하기 위해서 최근에 연성중합방법(soft-start polymerization)이 소개되었다. 이는 저강도로 광중합을 시작하여 고강도로 중합을 완성하는 방법으로 복합레진이 젤화되는 속도를 늦춰서 수축응력을 천천히 일어나게 하여 복합레진의 흐름성에 의해 수축응력을 보상하기 위한 방법이다. Feilzer 등¹⁰⁾은 할로겐 광조사기로 광중합할 때 초기 10초 동안 대부분의 응력감소가 나타난다는 보고를 통해 연성중합방법의 기초를 제시하였고, Oberholzer 등¹¹⁾은 LED의 연성 중합방법으로 복합레진을 광조사하였을 때 치은 측 변연에서 미세누출이 통계적으로 유의하게 감소한다고 보고하였다. 하지만 Hofmann 등¹²⁾은 LED 광조사기인 Freelight와 할로겐 광조사기인 Trilight의 연성중합방법으로 미세누출의 감소효과를 확인할 수 없었다고 하였다.

이 연구의 목적은 유사한 광강도와 중합모드를 가진 할로겐 광조사기와 LED 광조사기를 이용하여 5급 복합레진 수복물을 중합한 후 광조사기의 종류에 따른 변연 미세누출을 비교하고, 각 광조사기의 표준중합모드, 고강도중합모드, 연성중합모드가 변연 미세누출에 미치는 영향을 평가하기 위함이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

우식병소, 수복물 및 미세균열이 없는 최근에 발거된 상·하악 대구치를 실험차아로 사용하였다. 단일병 접착제인 Single Bond와 복합례진으로 A3 색조의 Z 250 (3M Dental Product, St. Paul, MN, USA)을 사용하였다.

광조사기의 종류와 중합모드에 따른 평가를 위해 할로겐 광조사기인 Optilux 501 (Kerr, Orange, CA, USA)과 LED 광조사기인 Bluephase (Ivoclar/Vivadent, Schaan, Liechtenstein)를 사용하였다.

2. 실험방법

(1) 와동형성과 군 분류

발거된 60개의 상·하악 대구치를 선택하여 치아의 표면에 부착된 연조직과 무기물을 scaler와 pumice를 이용하여 제거한 후, 실험 직전까지 생리식염수에 보관하였다.

고속 엔진용 701번 bur를 이용하여 각 치아의 협면 또는 설면 치경부에 5급 와동을 형성한 후, 저속 엔진용 701번 bur를 이용하여 와벽을 평활하게 하였다. 교합면과 치은측 변연은 각각 범랑질과 백악범랑 경계부 1 mm 하방의 상아질에 위치시켰으며, 각각의 변연은 치아의 외면에 90도가 되도록 형성하였다. 5급 와동의 크기는 교합-치은 폭경 3 mm, 근원심 폭경 4-6 mm가 되도록 하였고, 와동의 깊이는 1.5 mm로 하였다.

와동을 형성한 60개의 치아는 무작위로 10개씩 선택하여 사용될 광조사기와 중합모드에 따라 6개 군으로 분류하였다. 할로겐 광조사기인 Optilux 501의 중합모

드에 따라 표준중합모드로 광중합한 군 (H-S 군)과 연성중합방법인 ramp 중합모드로 광중합한 군 (H-R 군), Boost 중합모드 (이하 고강도중합모드)로 광중합한 군 (H-H 군)으로 분류하고, LED 광조사기인 Bluephase의 중합모드에 따라 저강도모드 (이하 표준중합모드)로 광중합한 군 (L-S 군), soft start 모드 (이하 ramp 중합모드)로 광중합한 군 (L-R 군), 고강도중합모드로 광중합한 군 (L-H 군)으로 분류하였다 (Table 1).

Table 1. Group classification by light curing units and modes

Group	N	Light curing unit	Curing mode	Intensity (seconds)
H-S	10	Halogen (Optilux 501)	Standard	850mW/cm ² (20s)
	10		Ramp	100 → 1000mW/cm ² (10s) + 1000mW/cm ² (10s)
H-H	10		High power	1000mW/cm ² (10s)
L-S	10	LED (Bluephase)	Standard	650mW/cm ² (20s)
	10		Ramp	0 → 650mW/cm ² (5s) + 1100mW/cm ² (15s)
L-H	10		High power	1100mW/cm ² (20s)

H-S: Halogen-Standard, H-R: Halogen-Ramp, H-H: Halogen-High power,

L-S: LED-Standard, L-R: LED-Ramp, L-H: LED-High power

1) H-S (할로겐 광조사기- 표준중합모드) 군:

각 와동은 접착제를 도포하기 전에 air-water 시린지로 깨끗이 세척하고 에어시린지로 건조하였다. 32% 인산 (Unietch, Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA)으로 15초간 산부식 처리하고 10초간 수세하였다. 상아질 표면에 있는 파인의 수분을 면구로 제거한 후, microbrush에 Single Bond를 충분히 적셔 상아질 표면에 연속적으로 2회 도포하였다. 공기시린지로 2~5초간 가볍게 불어 건조한 후, 할로겐 광조사기인 Optilux 501의 표준중합모드로 10초간 광중합하였다. A3 색조

의 Z 250을 와동의 변연보다 약간 과충전하고 치아의 외형에 맞게 성형한 후 Optilux 501의 표준중합모드로 20초간 광조사 하였다. 중합된 복합레진 표면은 Sof-Lex disk (3M Dental Products, St. Paul, MN, USA)로 마무리와 연마하였다.

2) H-R (할로겐 광조사기- Ramp 중합모드) 군:

모든 와동을 H-S군과 동일하게 준비하고 접착제와 복합레진을 Optilux 501의 ramp 중합모드로 각각 10초, 20초씩 광중합하였다. Ramp 중합모드는 광조사가 시작되면 광강도가 10초 동안 100 mW/cm^2 에서 1000 mW/cm^2 까지 서서히 증가하고, 나머지 10초 동안 1000 mW/cm^2 으로 유지된다. 마무리와 연마는 H-S군과 동일하게 시행하였다.

3) H-H (할로겐 광조사기- 고강도중합모드) 군:

모든 와동을 H-S군과 동일하게 준비하고 접착제와 복합레진을 Optilux 501의 고강도중합모드로 각각 10초간 광중합하였다. 마무리와 연마는 H-S군과 동일하게 시행하였다.

4) L-S (LED 광조사기- 표준중합모드) 군:

모든 와동을 H-S군과 동일하게 준비하고 접착제와 복합레진을 LED 광조사기인 Bluephase의 표준중합모드로 각각 10초, 20초간 광중합하였다. 마무리와 연마는 H-S군과 동일하게 시행하였다.

5) L-R (LED 광조사기- Ramp 중합모드) 군:

모든 와동을 H-S군과 동일하게 준비하고 접착제와 복합레진을 Bluephase의 ramp 중합모드로 각각 10초, 20초간 광중합하였다. Bluephase의 ramp 중합모드는 광조사가 시작되면 5초 동안 광강도가 0 mW/cm^2 에서 650 mW/cm^2 까지 천

천히 증가하고, 나머지 15초 동안 1100 mW/cm^2 으로 유지된다. 마무리와 연마는 H-S군과 동일하게 시행하였다.

6) L-H (LED 광조사기- 고강도중합모드) 군:

모든 와동을 H-S군과 동일하게 준비하고, 접착제와 복합레진을 Bluephase의 고강도중합모드로 각각 10초, 20초간 광중합하였다. 마무리와 연마는 O-S군과 동일하게 시행하였다.

(2) 변연 미세누출의 관찰과 평가

각 군의 치아는 실온의 증류수에 48시간 보관한 후, 5°C 와 55°C 의 증류수에서 1분 간격으로 500회 열순환하였다. 각 치아의 복합레진 수복물 주위를 약 1 mm 남겨놓고 전체의 치면에 nail varnish를 2회 적용하여 건조시켰다. 와동과 복합레진의 변연부에 색소가 침투되도록 각 군의 치아를 2% methylene blue 용액에 24시간 침적시켰다. 흐르는 물에 세척한 후, 각 치아의 치근부를 저속의 diamond disk를 이용하여 절단하였다. 주수하에 저속의 Diamond Wheel Saw (Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA)를 이용하여 치아장축에 평행하게 협설 방향으로 수복물을 4등분하는 위치에서 3번 종단하여 각 군의 치아마다 6개의 절단면을 얻었다.

복합레진 수복물의 교합면과 치은측 변연부를 20배율의 광학 임체현미경 (Olympus LG-PS2, Tokyo, Japan)하에서 각 절단면의 색소침투 정도를 다음과 같은 기준에 의하여 관찰하였다. 각 치아의 변연 미세누출 점수는 6개의 절단면에서 관찰한 가장 높은 점수를 선택하였다.

0 = 색소침투가 없는 경우

1 = 색소가 교합면 또는 치은 와벽의 1/2 미만까지 침투된 경우

2 = 색소가 교합면 또는 치은 와벽의 1/2 이상 침투되었으나 축벽에는 도달되지 않은 경우

3 = 색소가 축벽까지 침투된 경우

(3) 통계학적인 분석

각 군 간의 변연 미세누출에 대한 상호간의 유의성 검정은 통계분석 프로그램인 SPSS (ver. 10.1)에서 Kruskal-Wallis 검정을 이용하여 시행하였으며, 사후검정은 Mann-Whitney 검정을 이용하여 분석하였다.

III. 실험결과

각 군의 교합면과 치은측 변연에서 미세누출 점수는 Table 2와 같다. 교합면측 변연의 미세누출은 두 광조사기 모두에서 비교적 낮게 나타났으며 두 광조사기 간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 치은측 변연에서는 교합면측 변연보다 미세누출이 증가하였고, LED 광조사기의 미세누출이 할로겐 광조사기보다 통계학적으로 유의하게 증가하였다 (Table 2, 3).

Table 2. Distribution of microleakage scores

Group	Occlusal margins				No.	Gingival margins				No.
	0	1	2	3		0	1	2	3	
H-S	6	2	2	0	10	0	8	1	1	10
H-R	7	2	1	0	10	2	8	0	0	10
H-H	3	4	1	2	10	0	5	1	4	10
L-S	6	4	0	0	10	0	2	0	8	10
L-R	6	3	1	0	10	0	1	0	9	10
L-H	7	3	0	0	10	0	2	0	8	10

Table 3. Statistical analysis of microleakage between halogen and LED light curing unit

Group	No.	Occlusal margin	Gingival margin
H	30		p=0.000
L	30	p=0.226	

Mann-Whitney test: p < 0.01

두 광조사기 간의 중합모드에 따른 치은측 변연 미세누출을 비교하였을 때, 표준중합모드와 ramp 중합모드에서 LED 광조사기가 할로겐 광조사기보다 통계학

적으로 유의하게 높은 미세누출을 보였고 ($p < 0.01$), 고강도중합모드에서는 두 광조사기 간에 통계학적으로 유의한 미세누출의 차이가 없었다 (Table 4).

Table 4. Statistical analysis of gingival microleakage between halogen and LED light curing units at same curing modes

Group	H-S	H-R	H-H
L-S	$p=0.009$		
L-R		$p=0.000$	
L-H			$p=0.165$

Mann-Whitney test: $p < 0.01$

할로겐 광조사기에서 교합면측 변연 미세누출은 중합모드에 따라 유의한 차이가 없었으나 치은측 변연 미세누출은 ramp 모드로 광조사한 군이 고강도 모드로 광조사한 군보다 통계학적으로 유의성 있게 낮게 나타났다 ($p < 0.05$). LED 광조사기에서 교합면측과 치은측 변연 미세누출은 중합모드에 의해 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 (Table 5).

Table 5. Statistical analysis of microleakage by different curing mode at a curing unit

Group	Occlusal margins	Gingival margins
H-S		
H-R	0.163	□*
H-H		0.012
L-S		
L-R	0.824	0.793
L-H		

Kruskal-Wallis test: $p < 0.05$, * : statistical differences at $p < 0.05$

IV. 총괄 및 고안

접착제와 복합레진의 지속적인 발전에도 불구하고, 단량체가 다량체로 전환되는 과정에서 중합수축으로 인한 접착면의 파괴와 미세누출의 발생은 피할 수 없는 문제이다. Feilzer 등¹⁰⁾은 복합레진을 중합할 경우 더 낮은 광강도를 이용하면 접착면의 파괴를 줄일 수 있다고 하였다. 낮은 광강도를 복합레진에 적용하면 중합 반응 속도가 느려지고 레진기질이 점탄성단계에 오래 머물게 되어 수축응력을 분산하는 방향으로 레진의 흐름성이 혀용된다. 하지만 일정 수준의 광강도에 도달하지 못하면 충분히 중합이 이루어질 수 없어 복합레진의 강도가 감소하고 마모가 증가되며, 중합률이 낮아져 잔존하는 단량체가 유출되어 세포독성의 문제를 유발하게 된다¹³⁾. 하지만 광강도를 증가시키면 중합속도가 빠르게 증가되어 gel point가 1.5~2초 사이에 나타나고 레진의 흐름성이 제한되어 수축응력을 분산할 수 있게 된다¹⁴⁾. 이러한 이유로 광강도를 변화시키는 방법이 고려되었고, 연성중합방법으로 ramp 중합모드를 이용하면 중합속도를 느리게 하면서 전환율의 감소를 막을 수 있다.

중합수축에 의해 발생되는 미세누출을 평가하는 방법은 다양하다. 그 중 색소침투법은 수복물의 단면을 통해 색소침투 정도나 길이를 측정하는 방법으로 색소침투를 정량적으로 평가할 수는 없지만 간단하게 색소의 침투양상을 평가할 수 있어 가장 일반적으로 이용되고 있다. Raskin 등¹⁵⁾은 시편의 절단회수가 미세누출의 결과에 미치는 영향을 평가한 연구에서 신뢰성을 훼손하지 않는 범위의 최소 절단회수는 3회라는 하였다¹⁶⁾. 따라서 이 연구에서 복합레진 수복물을 보다 정확한 미세누출을 평가하기 위해 수복물을 4등분 하는 위치에서 3회 종단하여 6개의 절단표본을 얻어 미세누출을 평가하였다.

이 연구에서 교합면측 변연은 두 광조사기 모두 비교적 낮은 미세누출을 보였지만, 치은측 변연의 미세누출은 교합면측 변연보다 증가하였다. Oberholzer 등¹¹⁾

도 할로겐과 LED 광조사기에 따른 교합면측과 치은측 변연에서 미세누출을 비교한 연구에서 교합면측의 미세누출은 광조사기와 종합모드의 변화에 의해 차이가 없다고 하여 이 연구와 동일한 결과를 나타내었다. 이 연구에서 치은측 변연에서 미세누출이 증가되는 이유는 상아세판의 존재와 높은 수분 및 유기질 함량, 낮은 무기질 농도 등의 영향으로 교합면측 범랑질에 비해 결합력이 낮고 결국 재료의 수축응력으로 접착면이 쉽게 파괴되어 미세누출을 유발하기 때문으로 생각된다¹¹⁾.

그리고 이 연구의 치은측 변연에서 LED 광조사기로 광중합한 군이 할로겐 광조사기를 적용한 군보다 통계학적으로 유의하게 높은 미세누출을 보였다 (Table 2, 3). 이러한 결과는 할로겐 광조사기인 Spectrum 800과 LED 광조사기인 Freelight, Ultra Lume-2의 미세누출을 비교한 실험에서 LED 광조사기들에 의한 치은측 미세누출이 할로겐 광조사기보다 높았다고 보고한 Oberholzer 등¹¹⁾의 연구결과와 일치하였다. 이는 LED 광조사기가 할로겐 광조사기보다 더 빠른 단량체의 전환율을 나타내어 결과적으로 중합수축과 미세누출이 증가하였기 때문으로 생각된다¹⁷⁾.

이 연구의 치은측 변연에서 광조사기의 중합모드 중 표준중합모드에 의한 미세누출을 비교하였을 때 할로겐 광조사기로 광중합한 경우가 LED 광조사기를 적용한 경우보다 더 낮은 미세누출을 보였다 (Table 4). 표준중합모드에서 할로겐 광조사기의 광강도는 LED 광조사기보다 높아서 더 큰 중합수축에 의한 미세누출이 예상되었지만 결과적으로 LED 광조사기로 광중합한 치은측 미세누출이 유의하게 높게 나타났으며 이는 일반 광도 측정에서는 낮더라도 광개시제의 흡수파장영역에서 높은 광도를 나타내는 LED의 빛 효율성과 관련하여 생각해 볼 수 있다^{18,19)}.

또한 이 연구의 치은측 변연에서 ramp 중합모드에 의한 미세누출은 할로겐 광조사기가 LED 광조사기보다 통계학적으로 낮게 나타났다 (Table 4). 이러한 결과는 할로겐 광조사기에서 초기에 낮은 광강도의 적용을 통해 중합수축의 발생

속도가 감소되고 레진기질의 흐름성에 의해 수축응력이 분산되어 미세누출이 감소되었기 때문으로 생각된다. Hofmann 등²⁰⁾은 연성중합방법이 레진기질의 흐름성을 혀용하여 수축응력을 보상하고 변연적합도를 증진시킨다고 하였지만 이 연구에서 LED 광조사기의 ramp 중합모드로 광중합하여도 수축응력의 감소효과가 나타나지 않았다. 이러한 이유에 대해 Oberholzer 등¹¹⁾은 처음에 낮은 광강도로 광중합하여 응력분산 효과를 얻는다해도 나중에 적용하는 광강도가 너무 높으면 최종적인 중합수축이 초기의 응력분산 효과를 소멸시킨다고 하였다. 하지만 ramp 중합모드에서 나중에 적용되는 광강도가 두 광조사기에서 비슷하였다는 점을 고려해보면 LED 광조사기가 광개시제의 흡수파장영역에 유효한 빛을 더 많이 방출하여 초기에 얻어진 응력분산을 초과하는 수준의 중합수축을 일으킨 것으로 사료된다.

이 연구에서 고강도중합모드로 적용한 두 광조사기의 치은측 미세누출은 유의한 차이가 없었다 (Table 4). Ilie 등²¹⁾은 광조사기의 종류와 각각의 중합모드에 따른 초기 겔화시간과 최대 수축 응력값을 측정한 연구에서 광강도가 1000 mW/mm² 이상인 할로겐 광조사기와 LED 광조사기의 초기 겔화 시간과 최대 수축 응력값이 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다고 하였다. 이 연구에 사용된 두 광조사기 모두 고강도중합모드에서 1000 mW/mm² 이상의 광강도를 가지므로 복합레진의 중합수축에 의한 미세누출도 유의한 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다.

이 연구에서 각 광조사기에서 중합모드의 변화에 따른 미세누출 결과를 평가하면 할로겐 광조사기에서 교합면측 변연의 미세누출은 광조사기의 중합모드에 따라 유의한 차이는 없었지만 치은측 변연에서는 ramp 중합모드에 의한 미세누출이 고강도중합모드에 의한 미세누출보다 통계학적으로 낮게 나타났다 (Table 5). 이러한 결과는 할로겐 광조사기의 ramp 중합모드를 사용하여 복합레진을 중합한 경우 초기의 낮은 광강도에 의해 응력분산 효과가 나타나지만, 고강도중합모드를 적용하면 중합초기에 다수의 성장중심 (growth center)이 형성되고 작은 크기의

종합체 문자가 형성되어 선상결합보다 교차결합 양상을 띠며 종합수축량이 증가하기 때문으로 사료된다^{22,23)}.

또한 이 연구에서 LED 광조사기의 종합모드의 변화에 따른 미세누출은 교합면측과 치은측 변연 모두에서 유의한 차이가 없었다 (Table 5).

이 연구에서 할로겐과 LED 광조사기의 종합모드의 변화에 따른 미세누출을 비교한 결과 할로겐 광조사기에서만 ramp 종합모드로 광중합하였을 때 치은측 변연에서 미세누출의 감소가 관찰되었다. 반면 LED 광조사기에서는 후기 광강도가 너무 높아서 ramp 종합모드의 응력완화 효과가 소멸되었다는 결과를 고려할 때 LED 광조사기에서 종합모드의 변화에 따른 미세누출을 평가하기 위해서는 이 연구에 사용된 광조사기보다 낮은 광강도의 광조사기를 통한 비교 연구가 필요하리라 생각된다.

이 연구의 결과를 요약하면, 교합면측 변연에서 할로겐 광조사기와 LED 광조사기의 종합모드의 변화는 미세누출에 영향을 미치지 않았고, 치은측 변연보다 낮은 미세누출을 보였다. 반면 치은측 변연에서 LED 광조사기는 할로겐 광조사기로 종합한 경우보다 미세누출이 증가하였고, 할로겐 광조사기에서 ramp 종합모드를 사용할 경우 미세누출이 감소되었다.

V. 결 론

이 연구는 할로겐 광조사기와 LED 광조사기를 이용하여 5급 복합레진 수복물을 중합한 후 광조사기의 종류와 중합모드가 변연 미세누출에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시행하였다.

발거된 60개의 제 3대구치 치경부에 교합면과 치은측 변연이 각각 법랑질과 백악법랑 경계부 1mm 하방의 상아질에 위치되게 하여 5급 와동을 형성하였다. 사용될 광조사기의 종류와 중합모드에 따라 무작위로 10개씩 6개 군으로 분류하였다, 할로겐 광조사기의 중합모드에 따라 표준중합모드 군 (H-S 군)과 ramp 중합모드 군 (H-R 군), 고강도중합모드 군 (H-H 군)으로 분류하고, LED 광조사기의 중합모드에 따라 표준중합모드 군 (L-S 군), ramp 중합모드 군 (L-R 군), 고강도중합모드 군 (L-H 군)으로 분류하였다. Z 250 복합레진을 각각의 와동에 충전한 후 중합모드에 따라서 광조사하였다.

각 군의 시편은 5°C와 55°C에서 500회 열순환을 시행한 후 2% methylene blue에 24시간 동안 침적하였다. 주수하에 저속의 Diamond Wheel Saw를 이용하여 수복물을 3회 수직으로 절단하였다. 20배율의 광학 입체현미경 하에서 교합면과 치은측 변연부 색소침투 정도를 관찰하여 미세누출 점수로 기록하고 각 군 간의 유의성은 Kruskal-Wallis 검정과 Mann-Whitney 검정을 이용하여 $p=0.05$ 유의수준에서 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 교합면측의 변연미세누출은 두 광조사기 모두에서 비교적 낮은 미세누출을 보였으며 광조사기의 종류와 중합모드에 따라 유의한 차이가 없었다.
2. 치은측의 변연미세누출은 LED 광조사기가 할로겐 광조사기보다 통계학적으로 유의하게 높았으며 ($p < 0.01$), 표준중합모드와 ramp 중합모드에서 두 광조사기 간에 유의한 차이가 있었으나 ($p < 0.01$), 고강도중합모드에서는 유의한 차이가 없었다.

3. 각 광조사기의 종합모드에 따른 미세누출을 비교시 치은측 변연에서 할로겐 광조사기의 ramp 종합모드가 고강도종합모드보다 유의하게 낮은 미세누출을 보였다 ($p < 0.05$). LED 광조사기에서는 교합면측, 치은측 변연 모두에서 종합모드에 따른 미세누출에 유의한 차이가 없었다.

결론적으로 치은측 변연에서 LED 광조사기로 광중합시 할로겐 광조사기를 사용하는 경우보다 미세누출이 증가하였고, 할로겐 광조사기를 ramp 종합모드로 사용할 경우 미세누출이 감소되었다.

참고문헌

1. Miyazaki M, Hattori T, Ichiishi Y, Kondo M, Onose H, Moore BK. Evaluation of curing units used in private dental offices. *Oper Dent* 23:50–54, 1998.
2. Mills R. Blue light emitting diodes—an alternative method of light curing? *Br Dent J* 178:169, 1995.
3. Jandt K, Mills R, Blackwell G. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes(LEDs). *Dent Mater* 16:41–47, 2000.
4. Dunn WJ, Bush AC. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. *J Am Dent Assoc* 133(3):335–341, 2002.
5. Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent* 14(5):286–295, 2002.
6. Park SH, Kim SS, Cho YS, Lee SY, Noh BD. Comparison of linear polymerization shrinkage and microhardness between QTH-cured & LED cured composites. *Oper Dent* 30(4):461–467, 2005.
7. Uhl A, Sigusch BW, Jandt KD. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. *Dent Mater* 20:80–87, 2004.
8. Wiggins KM, Hartung M, Althoff O, Wastian C, Mitra SB. Curing performance of a new-generation light-emitting diode dental curing unit. *J Am Dent Assoc* 135(10):1471–1479, 2004.
9. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composites. *Oper Dent* 19:24–33, 1994.

10. Feilzer AJ, Dooren LH, de Gee AJ, Davidson CL. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci* 103:322-326, 1995.
11. Oberholzer TG, Du Preez IC, Kidd M. Effect of LED curing on the microleakage, shear bond strength and surface hardness of a resin-based composite restoration. *Biomaterials* 26:3981-3986, 2005.
12. Hofmann N, Siebrecht C, Hugo B, Klaiber B. Influence of curing methods and materials on the marginal seal of class V composite restorations in vitro. *Oper Dent* 28(2):160-167, 2003.
13. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW, Davis HC. Factors affecting cure at depths within light-activated composites. *Am J Dent* 6(2):91-95, 1993.
14. Ernst CP, Brand N, Frommator U, Rippin G, Willershausen B. Reduction of polymerization shrinkage stress and marginal microleakage using soft-start polymerization. *J Esthet Restor Dent* 15(2):93-104, 2003.
15. Raskin A, Tassery H, D'Hoore W, Gonthier S, Vreven J, Degrange M, Dejou J. Influence of the number of sections on reliability of in vitro microleakage evaluations. *Am J Dent* 16:207-210, 2003.
16. Ha SY, Shin DH. New quantitative measuring technique for microleakage of the restored tooth through 3D reconstruction. *J Kor Acad Cons Dent* 29(5): 413-422, 2004.
17. Knezevic A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G, Ristic M. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. *J Oral Rehab* 28:586-591, 2001.
18. Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH. Dental composite depth of curve with halogen and blue light emitting diode technology. *Br Dent J*

- 186(6):388-391, 1999.
19. 류주희, 이인복, 유현미, 김미자, 석창인, 권혁준. 광원의 종류에 따른 복합레진의 중합 거동 및 중합률에 관한 연구. *대한치과보존학회지*. 29(4):386-398, 2004.
 20. Hofmann N, Denner W, Hugo B, Klaiber B. The influence of plasma arc vs. halogen standard or soft-start irradiation on polymerization shrinkage kinetics of polymer matrix composites. *J Dent* 31:383-393, 2003.
 21. Ilie N, Felten K, Trixner K, Hickel R, Kunzelmann KH. Shrinkage behavior of a resin-based composite irradiated with modern curing units. *Dent Mater* 21:483-489, 2005.
 22. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of pulse-delay curing on softening of polymer structures. *J Dent Res* 80:1570-1573, 2001.
 23. Asmussen E, Peutzfeldt A. Two-step curing: influence on conversion and softening of a dental polyer. *Dent Mater* 19:466-470, 2003.