

## 복합레진의 간헐적 광중합 방법이 변연적합도에 미치는 영향

윤용환 · 박성호\*

연세대학교 치과대학 보존학교실

## ABSTRACT

## THE EFFECT OF INTERMITTENT COMPOSITE CURING ON MARGINAL ADAPTATION

Yong-Hwan Yun, Sung-Ho Park\*

*Department of Conservative Dentistry, The Graduate School, Yonsei University*

The aim of this research was to study the effect of intermittent polymerization on marginal adaptation by comparing the marginal adaptation of intermittently polymerized composite to that of continuously polymerized composite.

The materials used for this study were Pyramid (Bisco Inc., Schaumburg, U.S.A.) and Heliomolar (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein). The experiment was carried out in class II MOD cavities prepared in 48 extracted human maxillary premolars. The samples were divided into 4 groups by light curing method: group 1- continuous curing (60s light on with no light off); group 2- intermittent curing (cycles of 3s with 2s light on & 1s light off for 90s); group 3- intermittent curing (cycles of 2s with 1s light on & 1s light off for 120s); group 4- intermittent curing (cycles of 3s with 1s light on & 2s light off for 180s). Consequently the total amount of light energy radiated was same in all the groups. Each specimen went through thermo-mechanical loading (TML) which consisted of mechanical loading (720,000 cycles, 5.0 kg) with a speed of 120 rpm for 100hours and thermocycling (6000 thermocycles of alternating water of 50°C and 55°C). The continuous margin (CM) (%) of the total margin and regional margins, occlusal enamel (OE), vertical enamel (VE), and cervical enamel (CE)) was measured before and after TML under a  $\times 200$  digital light microscope.

Three-way ANOVA and Duncan's Multiple Range Test was performed at 95% level of confidence to test the effect of 3 variables on CM (%) of the total margin: light curing conditions, composite materials and effect of TML. In each group, One-way ANOVA and Duncan's Multiple Range Test was additionally performed to compare CM (%) of regions (OE, VE, CE).

The results indicated that all the three variables were statistically significant ( $p < 0.05$ ). Before TML, in groups using Pyramid, groups 3 and 4 showed higher CM (%) than groups 1 and 2, and in groups using Heliomolar, groups 3 and 4 showed higher CM (%) than group 1 ( $p < 0.05$ ). After TML, in both Pyramid and Heliomolar groups, group 3 showed higher CM (%) than group 1 ( $p < 0.05$ ). CM (%) of the regions are significantly different in each group ( $p < 0.05$ ). Before TML, no statistical

---

\* Corresponding Author: **Sung-Ho Park**

*Department of Conservative Dentistry,  
College of Dentistry, Yonsei University,  
134 Shinchon-Dong, Seodaemun-Gu, Seoul, Korea, 120-752  
Tel: 82-2-2228-3147 Fax: 82-2-361-7575  
E-Mail: [sunghopark@yumc.yonsei.ac.kr](mailto:sunghopark@yumc.yonsei.ac.kr)*

---

※이 논문은 2005년도 연세대학교 학술연구비의 지원을 받아서 이루어 졌습니다.

difference was found between groups within the VE and CE region. In the OE region, group 4 of Pyramid showed higher CM (%) than group 2, and groups 2 and 4 of Heliomolar showed higher CM (%) than group 1 ( $p < 0.05$ ). After TML, no statistical difference was found among groups within the VE and CE region. In the OE region, group 3 of Pyramid showed higher CM (%) than groups 1 and 2, and groups 2,3 and 4 of Heliomolar showed higher CM (%) than group 1 ( $p < 0.05$ ).

It was concluded that intermittent polymerization may be effective in reducing marginal gap formation. (J Kor Acad Cons Dent 32(3):248-259, 2007)

**Key words:** Intermittent polymerization, Marginal adaptation, Polymerization shrinkage, Light curing

- Received 2007.3.28., revised 2007.4.20., accepted 2007.4.30. -

## I. 서 론

광중합형 복합레진은 1970년대에 치과 영역에 소개된 이후 그 물성이 개선되고 임상적으로 보다 많은 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 광중합형 복합레진은 종래의 화학중합형 복합레진에 비해 충전 시 성형이 용이하고 색조의 안정성이 우수하며, 높은 중합도와 더불어 중합시간을 단축시킬 수 있다는 장점을 갖지만<sup>1)</sup>, 중합의 깊이에 제한을 받으며 중합 시 동반되는 수축의 문제는 아직 해결되지 못하였다. 현재 복합레진은 레진 기질에 필러를 넣어서 중합 수축의 정도를 감소시키고는 있지만, 중합 시, 일반적으로 약 2.9 ~ 7.1 % 정도의 부피의 감소를 나타낸다<sup>2)</sup>.

복합레진의 중합수축은 수복된 치아와 재료 사이에 응력을 야기한다. 이러한 수축 응력으로 인하여 변연 간극이 생기며 이는 술 후 과민증, 이차 우식증, 변색 같은 임상적인 문제를 일으키게 된다. 수복물과 치질간의 결합이 보존된다 하더라도 수복물에 응력이 잔류하게 되면 치아 균열, 치아 파괴, 교두 변위 등의 현상이 생길 수 있다<sup>3)</sup>.

중합수축에 영향을 주는 요소로 1) 와동 형태 (C factor), 2) 레진의 적용 방식 (incremental or bulk), 3) 중합 방식 (화학중합 또는 광중합), 4) 수복물의 크기 등이 있다. 최근에는 광조사 방식, 즉 광도와 광조사 시간을 변화시켜 복합레진의 중합 속도를 조절하려는 많은 연구들이 있다<sup>4)</sup>.

중합수축은 중합 초기에는 복합레진의 흐름 (flow)에 의해, 중합 후기에는 복합레진의 물 흡수에 의해 보상이 된다. 초기 중합 반응의 지연은 복합레진 내부의 흐름이 일어나는 시간을 연장시켜 수축 응력을 감소시키고 이는 변연 간극을

감소시키게 된다<sup>5)</sup>.

이러한 중합 반응 속도를 조절하기 위한 여러 광조사 방법들이 시도되었는데 먼저 광도를 감소시켜 중합시키는 저광도 중합법<sup>6)</sup> 이 소개 되었다. 저광도 중합법은 변연적합도를 향상시킬 수는 있었지만, 물성의 저하를 초래했다. 따라서 저광도 중합법의 장점을 유지하면서 복합레진의 충분한 중합을 위해 보다 높은 광도를 사용하는 방법이 필요하게 되어, 광도를 서서히 증가시키는 ramp curing<sup>7)</sup>, 저광도로 초기 중합 후 고광도로 최종 중합하는 soft start curing<sup>8)</sup>, 중간에 휴지기를 갖는 pulse-delay curing<sup>9)</sup>, 광중합 시 light-on과 light-off를 반복적으로 주는 간헐적 광중합 방법 등이 제시되었는데<sup>10)</sup> 이러한 방법들은 중합의 초기 단계에서 레진의 흐름이 더 잘 일어날 수 있게 하여 변연적합도를 향상시키고 전체 중합 시간을 단축시키는 효과를 가져왔다<sup>11)</sup>

Obici 등<sup>12)</sup>은 간헐적 광중합 방법이 복합레진의 중합수축을 효과적으로 감소시킨다고 보고하였으나, 김과 이<sup>13)</sup>는 에너지밀도 (Energy Density)를 동일하게 할 경우, 중합수축량의 변화는 없으며, 단지 중합수축의 속도를 효과적으로 감소시켜 주며, 교두변위 (cuspal deflection)를 줄여준다고 하였다. 간헐적 광중합 방법에 대한 효과를 종합적으로 평가하기 위하여 변연적합성에 대한 연구가 필요하지만 이에 관한 연구는 아직 이루어 지지 않았다.

이에 이번 연구에서는 광중합 복합레진을 자체 제작한 광조사 차단 장치를 이용하여 간헐적 광중합시켜 기존의 연속 중합법과 변연적합도를 비교함으로써 간헐적 광중합이 변연적합도에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 실험에는 A2 shade의 2가지 광중합 복합레진을 사용하였다 (Table 1).

### 2. 실험 방법

#### 가. 치아 외동 형성

성별, 연령에 관계없이 치아에 치아 우식증, 파절 및 충진물이 없는 교정치료를 목적으로 발거된 상악 소구치를 대상으로 하였다. 치아의 다른 이 물질을 제거하고 생리식염수에 보관한 후 본 실험에 사용하였다. 보관된 상악 소구치에 고속 회전 다이아몬드 바를 사용하여 협설 측으로 3.5 mm, 깊이 3 mm로 제 2급 외동을 변형시킨 MOD 외동을 형성하였다<sup>14)</sup> (Figure 1).

#### 나. 광조사

치아 외동 형성 후 상아질 접착제는 Cleafil SE bond (Kuraray, Okayama, Japan)를 제조사의 지시대로 도포하고 광중합 하였다. 그 후 복합레진 (Table 1)을 bulk 충전하고 광조사를 시행하였다. 광조사는 각각의 중합주기: 제1군- 연속 광중합 (60초간 계속 광조사); 제2군- 2초 광조사, 1초 광차단 (90초 시행); 제3군- 1초 광조사, 1초 광차단 (120초 시행); 제4군- 1초 광조사, 2초 광차단 (180

초 시행)에 따라 중합시켰으며 군 별로 총 에너지량 (약 36 J/cm<sup>2</sup>)이 동일하도록 중합시간을 조절하였다 (Table 2).

각 군별로 총 12개의 치아를 할당하였으며 복합레진에 따라 다시 2개의 소군에 6개씩 배정하였다.

광조사 차단장치는 직경 8 cm의 금속디스크에 직경 1.5 cm의 원형의 구멍이 뚫려있고, 컴퓨터와 연결되어 지시된 셔터 막의 on time과 off time에 따라 수평면에서의 회전운동을 반복하게 된다. 차단장치를 레진과 광조사기 사이에 위치시켜 광중합시 원하는 cycle로 중합을 할 수 있다 (Figure 2).

광조사기는 Curing light XL 3000 (3M Dental Product, St. Paul, MN, USA)을 사용하였고, 빛의 광도에 대한 monitoring은 Coltolux Light Meter (Coltene,

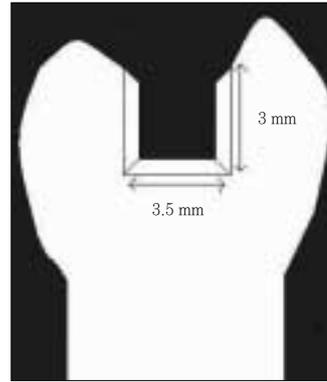


Figure 1. Schematic drawing of cavity preparation.

Table 1. Restorative materials used in this study

Material	Manufacturer	Lot No.
Heliomolar	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein	E54834
Pyramid	Bisco, Schaumburg, U.S.A	100014949

Table 2. List of investigated photoactivation methods with their curing cycles

group	subgroup	curing type	Photoactivation method
1	Pyramid Heliomolar	continuous	Cycles of 60s light on with no light off for 60s
2	Pyramid Heliomolar	intermittent	Cycles of 3s with 2s light on & 1s light off for 90s
3	Pyramid Heliomolar	intermittent	Cycles of 2s with 1s light on & 1s light off for 120s
4	Pyramid Heliomolar	intermittent	Cycles of 3s with 1s light on & 2s light off for 180s

Altstätten, Switzerland)를 이용하였으며, 그 수치는 약 600 mW/cm<sup>2</sup>였다.

각 실험 치아를 레진 연마 bur (Finale polishing system, Ultradent, South Jordan, Utah)로 현미경하에서 연마한 후 금속 고정기 (R&B, Daejeon, Korea) (Figure 3)에 자가 중합 아크릴릭 레진으로 고정하였다.

다. 변연적합도의 측정

금속 고정기에 고정된 치아의 저작 전 후 변연적합도를 측정하였다.

저작 전의 변연적합도는 × 200 배율의 현미경 (Hirox, Tokyo, Japan)으로 치아와 레진의 변연부위를 사진 촬영하였다. Image Pro Plus (Media Cybernetics, Inc., Silver Spring, MD, USA)을 사용하여 실험 치아는 전체 변연과 세 부위 (교합면, 인접면, 치은면)의 변연으로 나누어 측정하였다. 측정 후 각 부위의 변연에서 레진이나 법랑질 파절, 간극 (Figure 4)과 균열 등의 결함을 제외한 연속 변연 (continuous margin, CM) (Figure 5)의 길이를 측정하고 이를 각 부위의 전체 변연의 길이로 나눈 후 이를 백

분율로 표시하였다<sup>15)</sup>.

전체 변연과 부위별 변연적합도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

· 전체 변연적합도 (total marginal adaptation) (%)

$$= \frac{\text{전체 연속 변연의 길이}}{\text{전체 변연의 길이}} \times 100$$

· 부위별 변연적합도 (areal marginal adaptation) (%)

$$= \frac{\text{각 부위의 연속 변연의 길이}}{\text{각 부위의 전체 변연의 길이}} \times 100$$

라. 온도-하중 부하 과정

측정이 끝난 치아는 저작 환경과 저작 운동을 재현하는 기계인 저작재현장치 (R&B, Daejeon, Korea) (Figure 6)에 장착하였다<sup>16)</sup>. 저작재현장치는 구강 내 저작 환경을 재현한 장치이며 저작 횟수, 저작속도, 치아에 가해지는 하중, thermocycle을 조절할 수 있게 만들어졌다.

발치된 상악대구치로 만든 대합치의 구개교두 (palatal

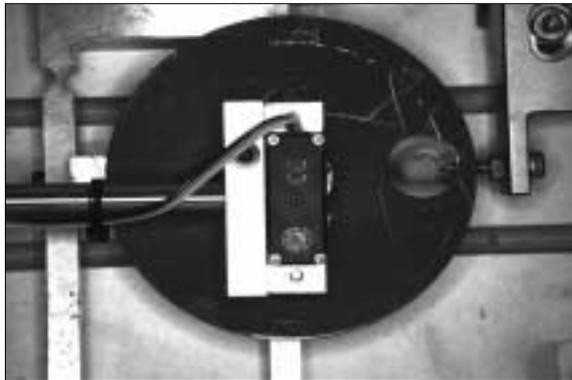


Figure 2. Upper view of the shutter appliance.

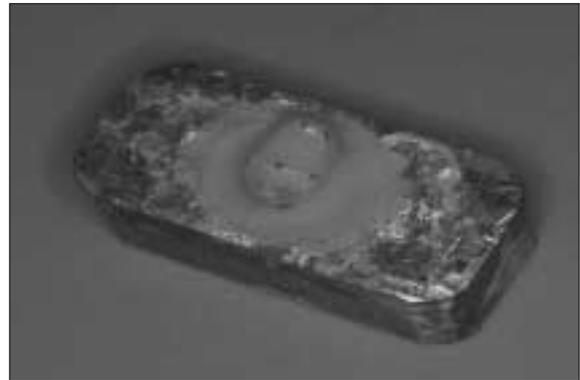


Figure 3. Metallic fixer with a tooth (R&B, Daejeon, Korea).

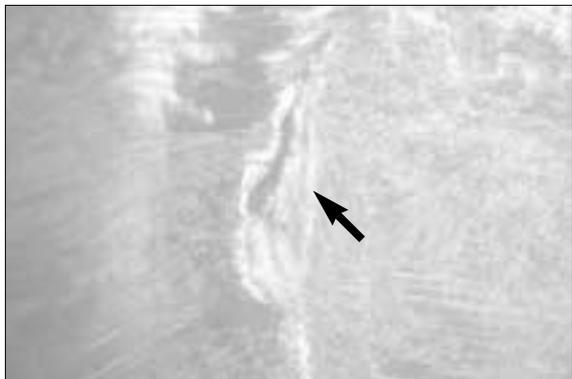


Figure 4. Gap on margin between the tooth and the resin (× 200).

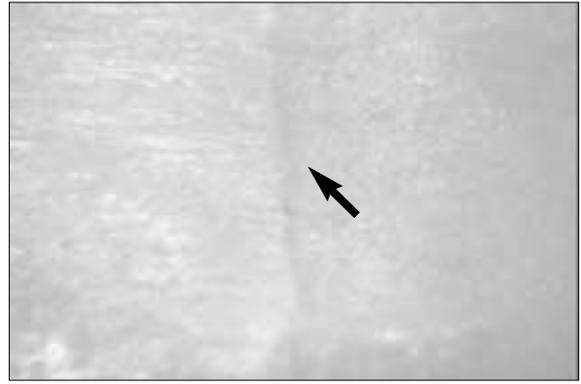
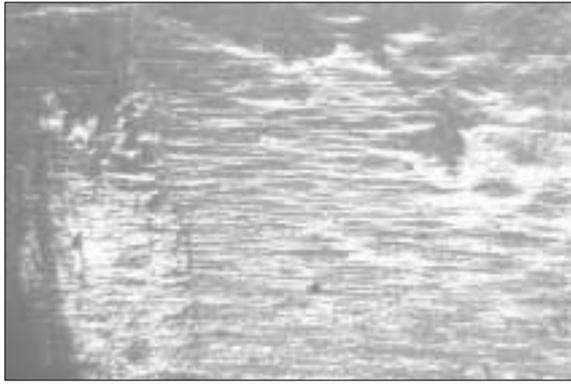


Figure 5. Continuous margin between the tooth and the resin (× 200).



Figure 6. Chewing simulator (R&B, Daejeon, Korea).

cusps)와 장착된 실험치의 중심窩 (central fossa) 부위가 반복적으로 교합하게 하였다. 720,000회 운동, 분 당 120 rpm의 회전속도로 100시간 동안 5.0 kg의 하중을 치아에 반복적으로 주었다. 그리고 구강 내의 온도 변화를 재현하기 위해 60초씩 교대로 5 ℃와 55 ℃의 물이 실험치아에 계속적으로 6,000회 분사되었다. 저작 재현 운동이 끝난 후 곧바로 저작 전과 동일한 방법으로 변연적합도를 구하였다. 이를 정리하면 실험 과정은 다음과 같다 (Figure 7).

마. 통계 분석

전체 변연적합도에서 각 군간의 차이, 재료간 차이, 저작 운동 전후 차이를 보기 위해 three-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 시행하였다. 부위별 변연적합도에서는 각 군내에서 부위별 차이와 부위 내에서 군간 차이를 보기 위해 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 시행하였다.

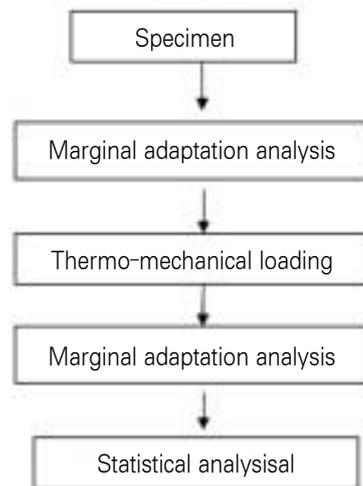


Figure 7. Experimental procedures.

이 실험에서 사용된 모든 통계는 95% 유의수준에서 검증하였다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 전체 변연적합도

동일 실험 군 사이에서 저작 운동 후에 저작 운동 전보다 유의성 있게 변연적합도가 감소하였고, 군 사이에 변연적합도 차이가 유의성이 있으며, 재료간에도 유의한 차이가 있었다 ( $p < 0.05$ ) (Table 3).

저작 운동 전 Pyramid에서는 1,2 군보다 3,4 군이 변연적합도가 우수하였고, Heliomolar에서는 1군보다 3,4 군이 우수하였다 ( $p < 0.05$ ). 재료간 비교에서는 2군에서 Pyramid보다 Heliomolar가 변연적합도가 우수하였고 ( $p < 0.05$ ) 그 외의 군에서는 재료간 유의차는 없었다 (Table 4).

저작 운동 후 Pyramid에서는 3군이 1군에 비해 변연적합도가 우수하였고, Heliomolar도 3군이 1군에 비해 변연적합도가 우수하였다 ( $p < 0.05$ ). 저작 운동 후 모든 군에서 재료간 차이는 유의차가 없었다 (Table 4).

#### 2. 부위별 변연적합도

저작 운동 전 Pyramid에서는 교합면 변연에서는 4군이 2군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 군간 유의차를 보이지 않았다 (Figure 8). 같은 군에서 부위별 비교 시, 1, 2, 3군에서 치은면 변연이 낮은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 4군에서는 부위별 유의차를 보이지 않았다 (Figure 8) (Table 5).

저작 운동 전 Heliomolar에서는 교합면 변연에서 2, 4군이 1군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 군간 유의차를 보이지 않았다 (Figure 9). 같은 군에서 부위별 비교 시, 2군에서는 치은면 변연이

**Table 3.** Three-way ANOVA for 3 variables

Source	df	Sum of squares	Mean square	F	P value
Time <sup>a)</sup>	1	511.148	511.148	26.21	<. 0001
Group	3	635.733	211.911	10.86	<. 0001
Material <sup>b)</sup>	1	143.634	143.634	7.36	0.0080
Error	90	1755.49	19.505		

a): before or after TML (thermo-mechanical loading)

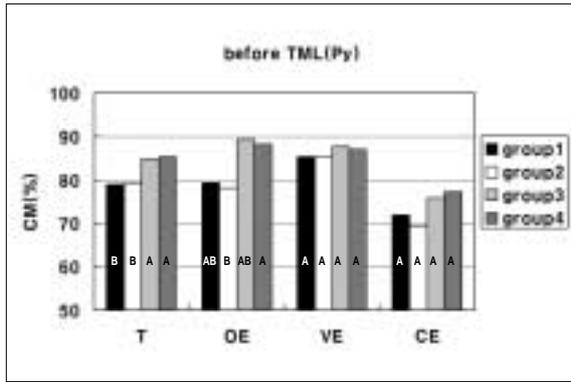
b): Pyramid or Heliomolar

**Table 4.** Mean total CM (%) of each group and DMR Grouping

Group	Group	Pyramid			Heliomolar		
		Mean	(Std Dev)	DMR	Mean	(Std Dev)	DMR
Before TML	1	78.99	(3.49)	B	81.05	(3.39)	B
	2	79.31	(2.85)	B	84.56	(3.37)	AB
	3	84.84	(3.15)	A	85.90	(1.67)	A
	4	85.23	(4.65)	A	87.55	(4.71)	A
After TML	1	73.78	(4.30)	B	75.98	(5.46)	B
	2	76.40	(5.87)	AB	79.64	(7.30)	AB
	3	81.62	(5.97)	A	82.71	(2.72)	A
	4	79.01	(7.11)	AB	81.37	(2.83)	AB

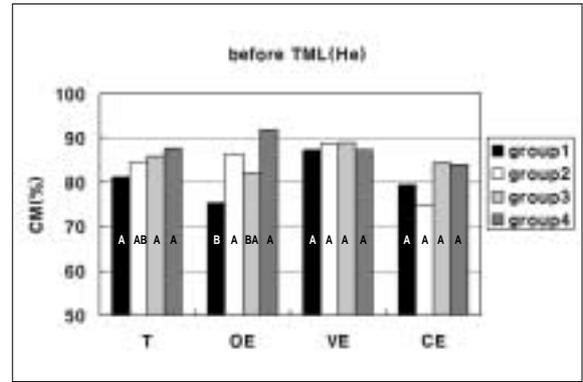
CM: continuous margin, DMR: Duncan's Multiple Range Test, TML: thermo-mechanical loading

\*: statistically significant difference between Pyramid and Heliomolar ( $p < 0.05$ ).



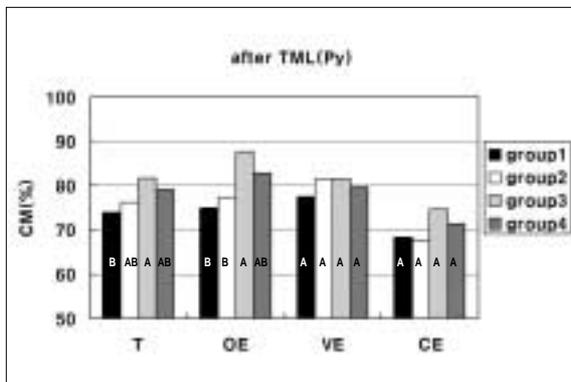
**Figure 8.** Marginal adaptations before loading in the regions (Pyramid).

T: total margin, OE: occlusal enamel margin, VE: vertical enamel margin, CE: cervical enamel margin  
The letters represent the results of Duncan's Multiple Range Test.



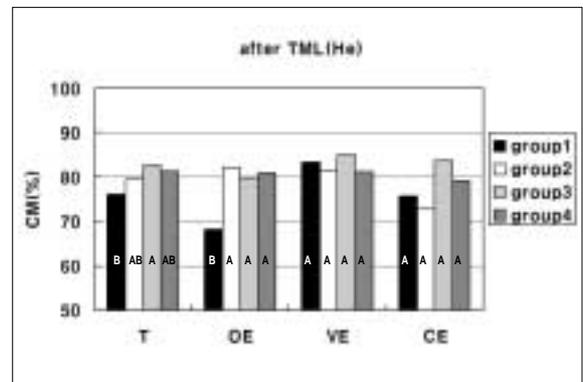
**Figure 9.** Marginal adaptations before loading in the regions (Heliomolar).

T: total margin, OE: occlusal enamel margin, VE: vertical enamel margin, CE: cervical enamel margin  
The letters represent the results of Duncan's Multiple Range Test.



**Figure 10.** Marginal adaptations after loading in the regions (Pyramid).

T: total margin, OE: occlusal enamel margin, VE: vertical enamel margin, CE: cervical enamel margin  
The letters represent the results of Duncan's Multiple Range Test.



**Figure 11.** Marginal adaptations after loading in the regions (Heliomolar).

T: total margin, OE: occlusal enamel margin, VE: vertical enamel margin, CE: cervical enamel margin  
The letters represent the results of Duncan's Multiple Range Test.

교합면과 인접면 변연에 비해 낮은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 1, 3, 4군에서는 부위별 유의차를 보이지 않았다 (Figure 9) (Table 6).

저작 운동 후 Pyramid에서는 교합면 변연에서는 3군이 1, 2군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 군간 유의차를 보이지 않았다 (Figure 10). 같은 군에서 부위별 비교 시, 2, 3군에서 치은면 변연이 낮은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 1,4군에서는 부

위별 유의차를 보이지 않았다 (Figure 10) (Table 5).

저작 운동 후 Heliomolar에서는 교합면에서 2, 3, 4군이 1군에 비해 변연적합도가 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 군간 유의차를 보이지 않았다 (Figure 11). 같은 군에서 부위별 비교 시, 1군에서는 교합면 변연이 인접면 변연보다 낮은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 2, 3, 4군에서는 부위별 유의차를 보이지 않았다 (Figure 11) (Table 6).

**Table 5.** Mean CM (%) of tooth regions and DMR Grouping (Pyramid)

Group	Tooth region	Mean CM (%) before TML			Mean CM (%) after TML		
		Mean	(Std Dev)	DMR	Mean	(Std Dev)	DMR
group 1	T	78.99	(3.49)		73.78	(4.30)	
	OE	79.21	(7.40)	A	74.28	(8.13)	A
	VE	85.24	(3.23)	A	77.43	(4.63)	A
	CE	71.88	(5.84)	B	68.01	(15.24)	A
group 2	T	79.31	(2.85)		76.40	(5.87)	
	OE	77.53	(10.47)	AB	77.15	(7.20)	AB
	VE	85.49	(8.30)	A	81.77	(10.67)	A
	CE	69.53	(10.02)	B	67.34	(13.88)	B
group 3	T	84.84	(3.15)		81.62	(5.97)	
	OE	87.87	(7.52)	A	87.45	(3.83)	A
	VE	87.50	(3.70)	A	81.02	(10.62)	AB
	CE	75.50	(12.82)	B	74.32	(12.74)	B
group 4	T	85.23	(4.65)		79.01	(7.11)	
	OE	88.68	(7.55)	A	82.79	(8.97)	A
	VE	86.76	(5.02)	A	78.98	(13.77)	A
	CE	77.28	(12.34)	A	71.21	(11.34)	A

T: total margin, OE: occlusal enamel, VE: vertical enamel, CE: cervical enamel  
DMR: Duncan's Multiple Range Test

**Table 6.** Mean CM (%) of tooth regions and DMR Grouping (Heliomolar)

Group	Tooth region	Mean CM (%) before TML			Mean CM (%) after TML		
		Mean	(Std Dev)	DMR	Mean	(Std Dev)	DMR
group 1	T	81.05	(3.39)		75.98	(5.46)	
	OE	75.28	(11.64)	A	67.03	(11.31)	B
	VE	87.44	(7.10)	A	83.23	(5.58)	A
	CE	79.76	(12.55)	A	76.19	(14.76)	AB
group 2	T	84.56	(3.37)		79.64	(7.30)	
	OE	86.53	(5.56)	A	82.16	(8.59)	A
	VE	88.64	(9.29)	A	81.46	(5.20)	A
	CE	74.82	(4.16)	B	72.94	(15.21)	A
group 3	T	85.90	(1.67)		82.71	(2.72)	
	OE	82.39	(6.21)	A	79.83	(7.03)	A
	VE	89.09	(7.50)	A	84.93	(6.01)	A
	CE	84.57	(13.78)	A	83.82	(8.50)	A
group 4	T	87.55	(4.71)		81.37	(2.83)	
	OE	90.01	(7.87)	A	81.12	(4.40)	A
	VE	87.40	(7.44)	A	81.18	(3.52)	A
	CE	83.95	(5.63)	A	78.88	(6.24)	A

T: total margin, OE: occlusal enamel, VE: vertical enamel, CE: cervical enamel  
DMR: Duncan's Multiple Range Test

#### IV. 총괄 및 고찰

복합레진은 광중합 시 수축이 생기는 특성이 있으며 이는 치아와복합레진 수복물과의 적합성을 떨어지게 하여 치아가 기능 시 복합레진 또는 치아의 파절이나 간극이 생기게 하는 원인이 된다. 이는 현재까지 해결하지 못하는 재료 자체의 한계점이다<sup>17)</sup>. 레진의 성공적인 수복은 완전한 중합, 적절한 물리적 성질, 우수한 결합 강도, 최적의 변연적합도에 의해 좌우된다. 스트레스를 가한 후 치아와 레진 사이에 변연적합도는 임상적으로 레진의 구강 내에서의 유지 비율 (survival rate)과 관련이 있는 중요한 요소로 생각되어 왔다<sup>18)</sup>.

레진과 치아 사이의 적합도를 측정하는 연구 방법으로는 레진과 치아의 표면을 SEM으로 측정하거나<sup>17)</sup>, Caries Detector나 methylene blue를 적용 후 세척하여 관찰하는 dye staining test<sup>8,10)</sup>, 본 실험에서와 같이 치아 외부에서 광학 현미경으로 측정하는 방법<sup>18,19)</sup> 등이 있다. 외부에서 광학 현미경으로 측정하여 변연적합도를 구하는 방법은 수복물에 손상을 가하지 않기 때문에 수복 전 후의 치아와 레진 사이의 변연적합도 차이를 비교할 수 있어서 본 실험에 사용하였다.

경화의 초기 단계에서는 수축량은 크지만 레진 network가 아직 약해서 낮은 탄성을 나타낸다. 이것은 chain형성은 일어나지만 교차 결합 (cross-linking)은 완전히 일어나지 않아 이 단계에서는 분자들이 새로운 위치와 방향으로 움직일 수 있어서 복합레진의 내부 구조와 접촉성 결합에 손상 없이 응력에 적응할 수 있음을 의미한다. 이러한 종류의 변형을 흐름이라고 하며, 이러한 pre-gel stage에서는 상아질과 레진의 경계에 응력이 작용을 하지 않게 된다. 중합이 진행됨에 따라 수축과 flow는 점차 감소하고 경도는 증가한다. 그 결과 응력은 시간이 지남에 따라 증가하고 복합레진과 치아의 결합에 영향을 끼치는 post-gel stage가 된다<sup>10,20,21)</sup>

이번 연구에서 전체 변연적합도를 보면, 저작 운동 전에는 Pyramid에서 3, 4군이 1, 2군에 비해, Heliomolar에서는 3, 4군이 1군에 비해 우수한 변연적합도를 보이며 저작 운동 후에는 Pyramid와 Heliomolar에서 3군이 1군에 비해 우수한 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ). 이는 간헐적 광중합이 어느 정도 변연의 간극 형성을 감소시키는데 효과적일 수 있음을 보여주고 있다. 이는 Uno와 Asmussen<sup>22)</sup>의 주장대로 중합 수축 속도를 감소시킴으로써 복합레진의 flow가 일어날 수 있는 능력이 증가되기 때문이다. 이 현상으로 polymer network와 교차 결합의 형성이 느린 속도로 되어, polymer chain내에서 분자들이 적용될 수 있는 좋은 조건이 된다<sup>12)</sup>.

부위별 변연적합도를 보면, 저작 운동 전 Pyramid는 교합면에서 4군이 2군에 비해, Heliomolar는 교합면에서 2,

4군이 1군에 비해 높은 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ). 저작 운동 후 Pyramid는 교합면에서 3군이 1, 2군에 비해, Heliomolar는 교합면에서 2, 3, 4군이 1군에 비해 변연적합도가 높았다 ( $p < 0.05$ ). 두 재료 모두 저작 운동 전후 인접면과 치은면에서는 군간 유의차를 보이지 않았다. 교합면의 경우 1, 2, 3, 4군으로 갈수록, 즉 light-off시간이 길어 재료의 flow가 일어날 수 있는 능력이 클수록 변연적합도가 높은 경향이 있음을 알 수 있다<sup>10,12)</sup>. 반면에 인접면과 치은면은 교합면에 비해 광원으로부터 멀리 떨어져 있어 상대적으로 flow가 일어날 수 있는 능력이 크므로 군간에 유의차가 없는 것으로 사료된다.

부위별 변연적합도에서 재료간 비교를 보면, Pyramid가 Heliomolar에 비해 치은면 변연부위가 전반적으로 낮은 변연적합도를 보이고 있다. Pyramid에서는 저작 운동 전 1, 2, 3군에서, 저작 운동 후 2, 3군에서 치은면 변연이 교합면 또는 인접면 변연에 비해 낮은 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ). 이는 Pyramid가 Heliomolar에 비해 치은면에서 수축 응력이 크게 작용함을 의미한다. 이와 박<sup>14)</sup>에 의하면 120초 동안의 평균 수축 응력은 Pyramid가 Heliomolar보다 유의성 있게 높았다.

수축 응력은 복합레진이 원래 부피를 보상하기 위해 필요한 flow가 일어나는 gel point를 지나게 되면서 발생한다. 복합레진이 결합하고 있는 치아 구조가 탄성적인 순응을 하지 않는다면, 감소된 부피를 보상하기 위해 치아나 복합레진은 파절되고 간극을 형성하게 된다. 이러한 수축 응력은 주변 구조의 순응 (compliance)뿐만 아니라, 재료의 점탄성이 크게 작용한다<sup>23)</sup>. Pyramid는 Heliomolar에 비해 filler성분이 많아 탄성계수가 높으며, 점도를 낮추기 위해 사용되는 낮은 분자량의 단량체 (TEGDMA, triethylene glycol dimethacrylate)는 중합수축과 수축 속도를 증가시킨다<sup>24)</sup>. 반면에 Heliomolar의 경우 filler 성분이 적은 microfill type으로, conversion rate가 낮고 레진의 일부가 미리 중합된 (prepolymerized) 입자로 구성되어 중합수축이 덜 된다<sup>5)</sup>. 김과 이<sup>13)</sup>는 Pyramid가 Heliomolar보다 유의하게 중합수축량과 수축속도가 크음을 보고하였다. 이처럼 두 재료간의 다른 성질이 수축 응력에 영향을 미친 것으로 사료된다.

치은면 부위가 다른 부위보다 변연적합도가 낮게 나오는 이유는 법랑질의 위치에 따른 법랑소주의 방향과 관련이 있을 수 있다. Shimada와 Tagami<sup>25)</sup>는 parallel-prismatic zone에서 복합레진과 법랑질의 결합력이 낮다고 하였는데, 본 실험 치아의 치은면에서 복합레진이 법랑소주와 평행하게 결합된 부위가 많음을 추측할 수 있다.

정과 박<sup>26)</sup>의 실험에서는 치은면 상아질에서 변연적합도가 높게 나왔는데, 이는 본 실험과 달리 복합레진의 충전시 적층법과 충분한 광조사를 행했고, 실험체료로 중합수축량과

중합속도가 느린 Heliomolar<sup>13)</sup>를 사용하여 수축 응력이 적기 때문으로 생각된다.

또한 전체 변연적합도에서의 재료간 비교에서는 저작운동 전의 2군에서 Heliomolar가 Pyramid보다 변연적합도가 우수하였을 뿐, 그 외의 군에서는 유의차가 없었다. 즉, 위에서 말한 재료간 차이가 있음에도 불구하고 두 재료간의 전체 변연적합도에는 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 재료의 중합 수축 시 치아와 복합레진 사이에 간극이 형성되기 보다는 결합을 유지하면서 잔류 응력으로 남기 때문이다.

이번 연구를 통하여 복합레진을 간헐적 광중합 시킴으로써 변연적합도가 향상될 수 있음을 알 수 있었다. 하지만 임상적으로 볼 때 중합시간이 오래 걸리는 단점이 있으므로 기존의 광중합과의 조합이 필요하다고 생각되며, 간헐적 광중합으로 가장 효과적인 변연적합도를 보이는 시간 간격을 찾기 위한 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

이번 연구의 목적은 광중합 복합 레진을 자체 제작한 광조사 차단 장치를 이용하여 간헐적 광중합 시켜, 기존의 연속 중합법과 변연적합도를 비교함으로써 간헐적 광중합의 영향을 알아보고자 하는 것이다. 이 실험에서는 발치된 사람의 치아에 MOD 와동을 형성한 후 2종류의 복합레진을 bulk 충전 후 서로 다른 중합 cycle을 이용하여 광중합하여 변연적합도를 보았고 결과는 다음과 같다.

1. 전체 변연적합도에서, 저작 운동 전에는 Pyramid의 경우 3, 4 군이 1, 2군에 비해, Heliomolar의 경우 3, 4군이 1군에 비해 전체 변연적합도가 우수하였다 ( $p < 0.05$ ). 저작 운동 후에는 Pyramid, Heliomolar 모두 3군이 1군에 비해 전체 변연적합도가 우수하였다 ( $p < 0.05$ ).
2. 부위별 변연적합도에서, 저작 운동 전 Pyramid에서는 교합면 변연에서 4군이 2군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 같은 군에서 부위별 비교시, 1, 2, 3군에서 치은면 변연이 낮은 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ). Heliomolar에서는 교합면 변연에서 2, 4군이 1군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 같은 군에서 부위별 비교시, 2군에서는 치은면 변연이 교합면과 인접면 변연에 비해 낮은 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ).
3. 부위별 변연적합도에서, 저작 운동 후 Pyramid에서는 교합면 변연에서는 3군이 1, 2군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 같은 군에서 부위별 비교시, 2, 3군에서 치은면 변연이 낮은 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ). Heliomolar에서는 교합면에서 2, 3, 4군이 1군에 비해 변연적합도가 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 같은 군에

서 부위별 비교시, 1군에서는 교합면 변연이 인접면 변연보다 낮은 변연적합도를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

4. 전체 변연적합도에서의 재료간 비교에서는 저작 운동 전에는 2군에서 Heliomolar가 Pyramid보다 변연적합도가 우수하였고 ( $p < 0.05$ ) 그 외의 군에서는 유의차가 없었다.

위의 결과로 볼 때, 3군 (1s light on & 1s light off for 120s)의 간헐적 광중합을 통하여 기존의 연속중합법 (1군, 60s light on)에 비해 복합레진의 변연적합도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Burke FJ. Light-activated composites. the current status. *Dent Update* 12:182, 184-188, 1985.
2. Feilzer AJ, De Gee AJ and Davidson CL. Curing contraction of composites and glass ionomer cements. *J Prosthet Dent* 59:297-300, 1988.
3. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M and Pashley DH. A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 21:17-24, 1996.
4. Hansen EK. Visible light-cured composite resins: polymerization contraction, contraction pattern and hygroscopic expansion. *Scan J Dent Res* 90(4):329-35, 1982.
5. Suliman AA, Boyer DB and Lakes RS. Cusp movement in premolars resulting from composite polymerization shrinkage. *Dent Mater* 9:6-10, Jan. 1993.
6. Unterbrink GL and Mueschner R. Influence of light intensity on two restorative system. *J Dent* 23:183-189, 1995.
7. Goracci G, Mori G and De Martinis LC. Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations. *Quintessence Int* 27:355-362, 1996.
8. Mehl A, Hickel R and Kunzelmann KH. Physical properties and gap formation of a light-cured composites with and without 'softstart-polymerization'. *J Dent* 25:321-330, 1997.
9. Kanca J and Suh BI. Pulse activation. Reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent* 12:107-112, 1999.
10. Alonso RCB, Cunha LG, Correr GM. Association of photoactivation methods and low modulus liners on marginal adaptation of composite restoration. *Acta Odontol Scand* 62:298-304, 2004.
11. Rueggeberg F. Contemporary issues in photocuring. *Compendium* 20:S4-S15, 1999
12. Obici AC, Sinhoreti MAG, Goes MF, Consani S, Sobrinho LC. Effect of photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. *Oper Dent* 27:192-8, 2002.
13. 김민경, 이찬영. 복합 레진의 간헐적 광중합 방법이 중합 수축 속도, 미세경도 및 치아의 교두 변위에 미치는 영향. *연세대학교 치과대학 대학원 박사학위 논문집* 2004.
14. 이순영, 박성호. 광중합형 구치부 수복재료의 중합 수축력과 교두 변위의 상관 관계. *대한치과보존학회지* 29:346-352, 2004.
15. Krejci I, Lutz F, Reimer M. Marginal adaptation and

- fit of adhesive ceramic inlays. *J Dent* 21:39-46, 1993.
16. 박성호, 정일영, 이권용. 저작재현장치의 개발. *대한치과보존학회지* 28:34-40, 2003.
  17. Luescher B, Lutz F, Obschenbein H and Muehleman HR: Microleakage and marginal adaptation in conventional and adhesive class II restorations. *J Prosthet Dent* 37:300-309, 1977.
  18. Dietschi D, Bindi G. Marginal and internal adaptation of stratified compomer-composite class II restorations. *Oper Dent* 27:500-509, 2002.
  19. 최인복, 박성호. 복합 레진을 이용한 간접수복에서 기저재가 변연 적합성에 미치는 영향. *연세대학교 치과대학 대학원 석사학위논문*, 2003.
  20. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 6:167-71, 1990.
  21. Davidson CL, de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stress by flow in dental composites. *J Dent Res* 63:146-8, 1984.
  22. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res* 99:440-8, 1991.
  23. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 25:435-440, 1997.
  24. Alvarez-Gayosso C, Barcelo-Santana F, Guerrero-Ibarra J, Saes-Espinola G and Canseco-Martinez MA. Calculation of contraction rates due to shrinkage in light-cured composites. *Dent Mater* 20(3):228-35, 2004.
  25. Shimada Y, Tagami J. Effects of regional enamel and prism orientation on resin bonding. *Operative Dentistry* 27:20-27, 2003.
  26. 정완, 박성호. The effect of additional etching on the marginal adaptation of self etching adhesives; evaluation through thermo-mechanical loading. *연세대학교 치과대학 대학원 석사 학위논문*, 2005.

## 국문초록

## 복합 레진의 간헐적 광중합 방법이 변연적합도에 미치는 영향

윤용환 · 박성호\*

연세대학교 치과대학 치과보존학교실

이 실험의 목적은 광중합 복합 레진을 자체 제작한 광조사 차단 장치를 이용하여 간헐적 광중합시켜 기존의 연속 중합 법과 변연적합도를 비교함으로써 간헐적 광중합의 영향을 알아 보는 것이다. 이번 실험에 사용된 재료는 Pyramid (Bisco, Schaumburg, U.S.A)와 Heliomolar (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)이다. 발치된 상악 소구치에 class II MOD 와동 형성 후 위 두 재료를 bulk 충전하고 다음의 중합cycle에 따라 중합시켰다: 제1군- 연속 광중합 (60초간 계속 광조사); 제2군- 2초 광조사, 1초 광차단 (90초 시행); 제3군- 1초 광조사, 1초 광차단 (120초 시행); 제4군- 1초 광조사, 2초 광차단 (180초 시행). 저작재현장치(R&B, Daejeon, Korea)로 72000회의 운동횟수, 분당 120의 회전속도, 5℃와 55℃의 물을 교대로 치아에 6000회 주사하면서 5.0 kg의 하중을 치아에 적용하였고 실험 전후 변연적합도를 전체와 부위별 변연으로 나누어서  $\times 200$  배율의 광학 현미경으로 측정하였다. 부위별 변연은 교합면, 인접면, 치은면 등 세 부위로 나누어서 범랑질 변연을 측정하였다.

전체 변연적합도에서 각 구간, 재료간, 저작 운동 전후 차이를 보기 위해 three-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 시행하였고, 부위별 변연적합도에서는 각 군에서 부위별 차이와 각 부위에서 구간 차이를 보기 위해 각각 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 시행하였다 (95% 유의수준).

전체 변연적합도를 보면, 저작 운동 전에는 Pyramid의 경우 3, 4군이 1, 2군에 비해, Heliomolar의 경우 3, 4군이 1군에 비해 전체 변연적합도가 우수하였고, 저작 운동 후에는 Pyramid, Heliomolar 모두 3군이 1군에 비해 전체 변연적합도가 우수하였다 ( $p < 0.05$ ). 재료간 비교에서는 저작 운동 전에는 2군에서 Heliomolar가 Pyramid보다 변연적합도가 우수하였고 ( $p < 0.05$ ) 그 외의 군에서는 유의차가 없었으며, 저작 운동 후에는 모든 군에서 재료간 유의차가 없었다.

각 부위별 변연적합도를 비교하면, 저작 운동 전 Pyramid에서는 교합면 변연에서는 4군이 2군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 군 간 유의차를 보이지 않았다. Heliomolar 에서는 교합면 변연에서 2, 4군이 1군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 구간 유의차를 보이지 않았다.

저작 운동 후 Pyramid에서는 교합면 변연에서는 3군이 1,2군에 비해 높은 변연적합도를 보였고 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 구간 유의차를 보이지 않았다. Heliomolar에서는 교합면에서 2, 3, 4군이 1군에 비해 변연적합도가 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 인접면과 치은면에서는 구간 유의차를 보이지 않았다. 이번 연구를 통하여 복합레진을 간헐적 광중합 시킴으로써 변연적합도가 향상될 수 있음을 알 수 있었다.

**주요어:** 간헐적 광중합, 변연적합도, 중합수축, 광중합