

## 치질을 투과한 조사광에 의한 복합레진 중합시 치질의 두께, 광세기 및 조사 시간이 복합레진의 표면 경도에 미치는 영향

조수경 · 김동준 · 황윤찬 · 오원만 · 황인남\*  
전남대학교 치과대학 치과보존학교실, 치의학연구소

### ABSTRACT

#### SURFACE HARDNESS OF THE DENTAL COMPOSITE CURED BY LIGHT THAT PENETRATE TOOTH STRUCTURE ACCORDING TO THICKNESS OF TOOTH STRUCTURE, LIGHT INTENSITY AND CURING TIME

Soo-Kyung Cho, Dong-Jun Kim, Yun-Chan Hwang, Won-Mann Oh, In-Nam Hwang\*  
*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, DSRI, Chonnam National University*

In this study we measured the amount of light energy that was projected through the tooth material and analyzed the degree of polymerization by measuring the surface hardness of composites. For polymerization, Optilux 501 (Demetron, USA) with two types of light guide was used: a 12 mm diameter light guide with 840 mW/cm<sup>2</sup> light intensity and a 7 mm diameter turbo light guide with 1100 mW/cm<sup>2</sup>.

Specimens were divided into three groups according to thickness of penetrating tooth (1 mm, 2 mm, 0 mm). Each group was further divided into four subgroups according to type of light guide and curing time (20 seconds, 40 seconds). Vickers' hardness was measured by using a microhardness tester. In 0 mm and 1 mm penetrating tooth group, which were polymerized by a turbo light guide for 40 seconds, showed the highest hardness values. The specimens from 2 mm penetrating tooth group, which were polymerized for 20 seconds, demonstrated the lowest hardness regardless of the types of light guides ( $p < 0.05$ ).

The results of this study suggest that, when projecting tooth material over a specified thickness, the increase of polymerization will be limited even if light intensity or curing time is increased. [J Kor Acad Cons Dent 30(2):128-137, 2005]

**Key words** : Polymerization rate, Vickers' hardness, Thickness of tooth structure

- received 2004. 9. 6, revised 2004. 11. 18, accepted 2004. 11. 23 -

### I. 서 론

Buonocore에 의해 레진과 치질간의 결합을 증진시키는 방법으로 치면의 산처리 기법이 소개된 이래로 복합레진은 심미수복 재료로 가장 보편적으로 사용되고 있다. 1970년대 초반에 자외선에 의해 중합반응이 개시되는 자외선 중합형 레진이 개발되었으나 자외선의 생물학적 위해성과 경화 깊이의 한계 때문에 그 이후 특정 파장 범위의 가시광선이

\* Corresponding author: In-Nam Hwang

Department of Conservative Dentistry,  
College of Dentistry, Chonnam National University  
8 Hak-dong, Dong-gu, Gwangju, Korea, 501-757  
Tel : 82-62-220-4443 Fax : 82-62-225-8387  
E-mail : hinso@jnu.ac.kr

복합레진의 경화에 사용되어왔다<sup>1)</sup>. 심미수복재로서 광중합 복합레진은 임상에서 심미적 요구가 증대됨에 따라 급속히 발전되고 개량되어 왔으며, 그 임상적 적용범위도 점진적으로 확대되어 왔다. 그러나 현재의 복합레진도 부적절한 마모저항성, 중합수축 등의 물리적, 기계적인 많은 단점들을 가지고 있다.

복합레진의 물리적, 기계적 성질은 레진의 중합률에 의존하는데 이 중합률에 영향을 미치는 인자는 광강도, 중합시간, 레진의 광투명성, 필러의 크기와 함량, 색상 등이 있다<sup>2,3)</sup>. 광중합 복합레진의 물리적 성질은 중합체내의 미반응 단량체의 양과 관계가 있다. 중합률이 낮은 광중합 복합레진은 중합률이 높은 수복물보다 중합된 수복물 내에 상대적으로 많은 양의 미반응 단량체를 남기며, 이러한 미반응 단량체내의 탄소 이중결합에 의해 중합체 기질이 분해반응에 민감하게 작용한다. 이는 임상적으로 레진의 강도, 색안정성과 마모저항도의 저하와 같은 물리적 성질변화의 원인이 되며<sup>4,8)</sup>, 유리된 미반응 성분이 생체조직에 자극을 주고 이차 우식 발생률을 증가시킨다는 보고도 있었다<sup>9-14)</sup>. 중합률은 복합레진 수복물의 성공을 좌우하는 중요 요소의 하나이다. 이러한 복합레진 수복물의 중합도를 평가하는 방법에는 레진내의 미반응 단량체의 양을 측정하여 중합도를 알아보는 직접법<sup>15,16)</sup>과 투광도, 미세경도 등을 측정하는 간접법이 있다. 이중 미세경도의 측정은 기계적 강도, 견고성, 구강 내의 연화성에 대한 저항과 관련이 있으며 중합의 상대적인 정도를 평가할 수 있는 간접적인 방법으로 이용되고 있다<sup>2,16,17)</sup>.

광중합 복합레진 수복의 경우 수복물의 깊이, 광원의 강도, 조사시간에 따라 중합도가 다르며, 중합수축이 광원을 향해 일어나고 이로 인해 조사단의 위치에 따라 발생하는 미세누출에 의한 수복물의 실패가 야기될 수 있다. 이를 보완하기 위해 투명한 매트릭스와 반사재 등을 이용하거나 적층 충전법을 사용하고 있다. 또한 실제 임상에서는 복합레진은 레진 표면으로 직접 조사되는 빛 외에도 범광질이나 상아질을 통해 와동 측방으로 간접적으로 침투되는 빛에 의해서도 중합이 일어난다. 하지만 레진 표면에 도달하는 빛의 강도는 조사단과 수복재의 거리, 조사 각도 및 투과해야 할 매개체의 유무와 밀접한 관련을 가지기 때문에 조사단을 이상적으로 위치시키기 어려운 경우에는 높은 광세기를 가지는 광중합기를 사용하거나 이중중합형 수복재나 화학중합형 수복재를 사용하는 것을 고려해 볼 수 있을 것이다. 그러나 치질을 투과해 적절한 광강도를 제공할 수 있다면 보다 나은 복합레진의 결과를 기대할 수 있을 것으로 추정된다.

Cook<sup>18)</sup>은 광중합 복합레진의 중합깊이는 광도, 시간의 영향을 받으며, 가시광선을 이용하는 복합레진은 투과성이 우수하고 광세기도 크기 때문에 3-6 mm의 깊이에서도 충분한

중합이 가능하다고 하였다. Manga 등<sup>19)</sup>은 2.0 mm 이상의 복합레진을 중합시키기 위해서는 적어도 600 mW/cm<sup>2</sup>의 강도가 필요하다고 하였다. Rueggeberg 등<sup>20)</sup>은 광중합 복합레진을 적절히 중합시키기 위해서는 적어도 400 mW/cm<sup>2</sup>의 광원이 요구된다고 하였다.

Swartz 등<sup>21)</sup>과 황 등<sup>22)</sup>은 범광질이 매우 투명하고 범광질의 두께가 0.5-1 mm 일때는 복합레진의 중합깊이에 영향을 주지 않는 것으로 보인다고 하였으며, Jordan<sup>23)</sup>은 가시광선 중합형 레진의 경우, 순측 혹은 설측 범광질 통과 시 최소 2.5-3.0 mm, 최대 4.5 mm까지 중합이 가능하다고 보고하였다.

이에 본 연구에서는 서로 다른 광세기를 가진 광중합기로 복합레진 중합 시 광세기와 조사 시간에 따라 일정 두께의 치질을 투과한 광원에 의한 복합레진의 표면경도와 중합 정도를 측정하고 평가하며, 이 결과를 응용하여 복합레진의 중합환경에 따른 적절한 광원과 중합방법을 선택하고, 치질을 통해 일차적으로 광중합한 후 직접 복합레진 표면으로 중합함으로써 복합레진 중합 시 발생하는 중합수축을 치질 쪽으로 유도하여 와동내벽과 복합레진 간의 내측 간극을 줄여 술 후 과민성을 감소시켜 보다 우수한 임상적 결과를 얻을 수 있는 방법으로 적용가능한지 확인하고자 한다.

## Ⅱ. 연구재료 및 방법

### 1. 재료 및 기구

본 연구에서는 혼합형 광중합 복합레진인 Charisma (Lot. No. : 070039, Kulzer, Domagen, Germany)의 A1색상을 사용하였다. 광조사기로는 할로겐 광원을 사용하는 Optilux 501 (Demetron, USA)을 사용하였으며, 중합용 light guide는 광조사기와 함께 제공되는 직경 12 mm의 통상의 light guide과 직경 7 mm의 Turbo light guide를 사용하였다. 광조사기에 2종의 light guide를 장착하고 Optilux 501에 부착된 광량측정기를 이용해 각 light guide를 통해 조사되는 광원의 광세기를 10회씩 측정하였다. 측정 결과 직경 12 mm의 light guide는  $840 \pm 14.9$  mW/cm<sup>2</sup>의 광세기를 그리고 Turbo light guide는  $1100 \pm 3.87$  mW/cm<sup>2</sup>의 광세기를 보였다.

### 2. 치아 박편 및 레진 시편 제작

발거 후 증류수에 보관된 건전한 상악 중절치의 순면에 대해 수직으로 범광질과 상아질을 포함하도록  $0.7 \times 0.7$  cm의 치아 절편을 2개 만든 후 절편을 주수 하에서 1000번 사포로 연마하여 두께 1 mm와 2 mm의 박편을 제작하였다.

1 mm 두께의 치아 박편은 법랑질만을 포함하게 제작하였으며, 2 mm 두께의 치아 박편은 법랑질과 상아질을 포함하도록 제작하였다. 제작된 치아 박편은 상온의 생리 식염수에 보관하였다.

직경 5 mm, 두께 2 mm의 테프론 주형을 유리판과 셀룰로이드지 위에 위치시키고 복합레진을 주입한 후 기포가 최소화 되도록 충전하고, 다시 셀룰로이드지와 유리판으로 압축하여 여분의 레진을 제거했다. 광중합기 Optilux 501을 사용해 각 군의 주어진 조건에 따라 광중합하였다 (Figure 1).

시편은 크게 3개의 군으로 나누어 1군은 1 mm 두께의 치질을 통해 조사한 군, 2군은 2 mm 두께의 치질을 통해 조사한 군 그리고 대조군은 임상에서 광원의 법랑질에 대한 투

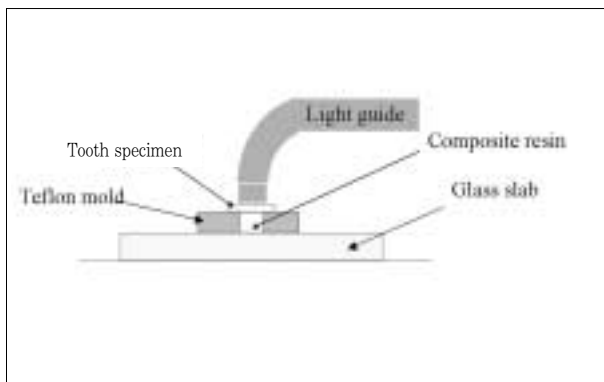


Figure 1. Schematic drawing of specimen fabrication.

과 정도를 비교하기 위해 법랑질의 간섭 없이 조사광이 바로 도달할 수 있도록 1 mm 두께의 투명한 유리판을 통해 조사한 군으로 나누었으며, 각 군은 다시 4개의 군으로 나누어 각각 Turbo light guide로 20초와 40초, 그리고 12 mm light guide로 20초와 40초 동안 조사하였다 (Table 1). 각 군 당 15개의 시편을 제작하였으며, 제작된 시편은 24시간 동안 빛이 차단된 상온의 용기에 보관하였다.

### 3. 표면 경도(비커스 경도)의 측정

각 시편의 광조사면의 비커스 경도를 미세경도기 (Micro-hardness tester, model FM-7, Future-tech, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 피라미드 형태의 압입체를 이용하여 3회씩 200 g의 하중을 10초 동안 적용한 후 정사각형 모양의 압입 자국의 꼭지점간의 거리를 측정하여 비커스 경도를 구하였다.

### 4. 통계처리

각 군간의 표면경도값을 one-way ANOVA를 통해 비교 분석하였으며, Student-Newman-Kuels method로 사후 검정하였다.

치질투과군의 광세기와 조사시간 간의 교호작용을 two-way ANOVA를 통해 분석하였다.

Table 1. Groups were divided according to the thickness of tooth specimen, used light guide, curing time.

Group	Curing light guide	curing time	Code
Control Group. (Light which penetrate glass slab of 1 mm thickness)	Turbo-light guide	20 sec	CT20
		40 sec	CT40
	12 mm light guide	20 sec	CR20
		40 sec	CR40
Group 1. (Light which penetrate tooth specimen of 1 mm thickness)	Turbo-light guide	20 sec	1T20
		40 sec	1T40
	12 mm light guide	20 sec	1R20
		40 sec	1R40
Group 2. (Light which penetrate tooth specimen of 2 mm thickness)	Turbo-light guide	20 sec	2T20
		40 sec	2T40
	12 mm light guide	20 sec	2R20
		40 sec	2R40

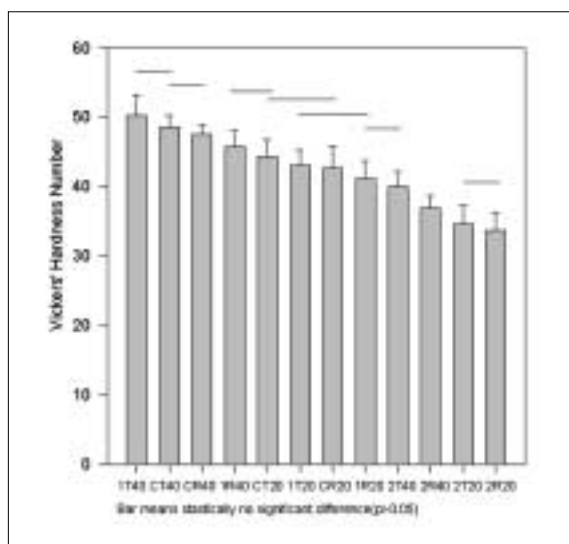
### III. 연구 결과

#### 1. 치질의 두께, 광세기, 및 조사 시간에 따른 비커스 경도

1 mm 두께의 범광질을 투과한 1군과 2 mm 두께의 범광질과 상아질을 투과한 2군, 그리고 치질을 투과하지 않고 1 mm 두께의 유리판을 통해 조사된 대조군의 비커스 경도는 Table 2와 Figure 2와 같다. 각 군의 조사 광원의 광세기

**Table 2.** Vickers' hardness of the tested resin composites

Code	Vicker's Hardness	Standard Deviation
CT20	44.4	2.42
CT40	48.6	1.59
CR20	42.7	3.14
CR40	47.6	1.37
1T20	43.0	2.21
1T40	50.3	2.88
1R20	41.2	2.46
1R40	45.8	2.24
2T20	34.6	2.71
2T40	40.0	2.11
2R20	33.7	2.61
2R40	36.9	1.89



**Figure 2.** Vickers' hardness number of all specimens.

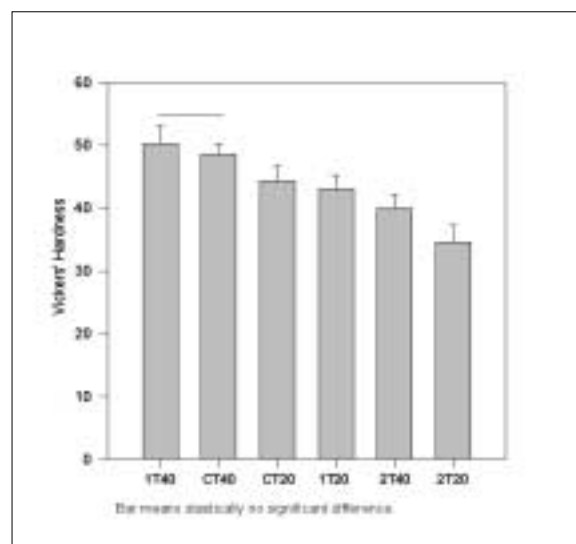
는 동일한 기기에 서로 다른 광출력을 보이는 2종의 light guide를 사용하여 조절하였다.

모든 실험 군 중 1 mm 두께의 치질을 투과하여 Turbo light guide로 40초 동안 중합한 군이 가장 큰 비커스 경도를 보였으며, 이는 치질을 투과하지 않고 Turbo light guide로 40초 중합한 군과 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 가장 작은 비커스 경도는 2 mm 두께의 치질을 투과하여 직경 12 mm의 light guide로 중합한 군에서 보였으며, 이는 2 mm 두께의 치질을 투과하여 Turbo light guide로 20초 동안 중합한 군과 유의한 차이를 보이지 않았다.

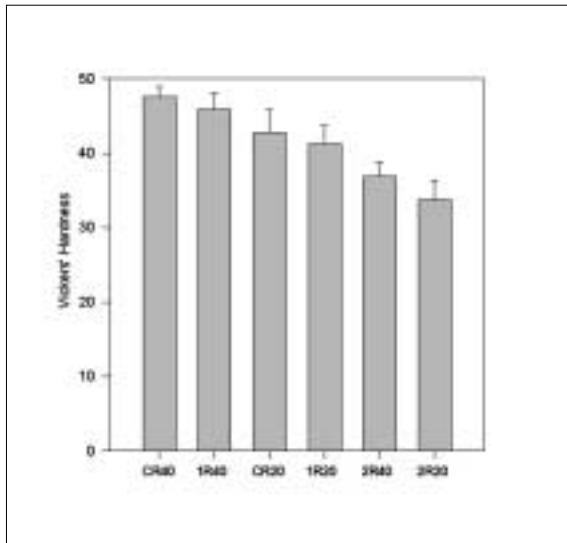
동일한 조건의 각 군들은 광조사 시간을 증가시키면 비커스 경도도 증가하였다 ( $p < 0.05$ ).

Turbo-light guide로 중합한 군의 비커스 경도는 1 mm 두께의 치질은 투과하여 40초 동안 중합한 군과 치질을 투과하지 않고 40초 동안 투과한 군이 통계적으로 유의한 차이 없이 가장 큰 비커스 경도값을 보였으며 (Figure 3), 2 mm 두께의 치질을 투과하여 40초 중합한 군은 유의하게 작은 경도값을 보였다 ( $p < 0.05$ ). 또한 직경 12 mm light guide로 중합한 군은 치질의 두께가 증가할수록 비커스 경도값은 감소하였다 ( $p < 0.05$ ).

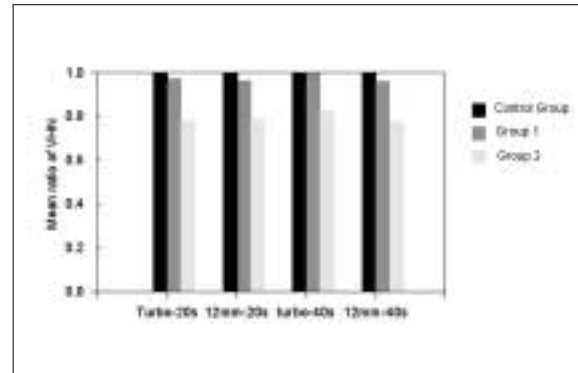
직경 12 mm의 light guide로 중합한 군 (Figure 4)에서는 유리판을 투과하여 40초 조사한 군, 1 mm 치질을 투과하여 40초간 조사한 군, 유리판을 투과하여 20초 조사한 군, 1 mm 치질을 투과하여 20초간 조사한 군, 2 mm 치질을 투과하여 40초간 조사한 군, 그리고 2 mm 치질을 투과하여 20초간 조사한 군의 순으로 비커스 경도값이 감소하였다 ( $p <$



**Figure 3.** Vickers' hardness of resin composites cured by Turbo-light guide.



**Figure 4.** Vickers' hardness of resin composites cured by 12mm diameter light guide.



**Figure 5.** Ratio of Vickers' hardness by thickness of tooth structure.

0.05).

1 mm 두께의 치질을 투과한 군간의 비교에서는 Turbo-light guide 40초, 12 mm light guide 40초, Turbo-light guide 20초, 그리고 12 mm light guide으로 20초 중합한 순으로 비커스 경도값이 감소하였다 ( $p < 0.05$ ).

2mm 두께의 치질을 투과한 군간의 비교에서는 Turbo-light guide 40초, 12 mm light guide 40초, Turbo-light guide 20초, 그리고 12 mm light guide으로 20초 중합한 순으로 비커스 경도값이 감소하였으나 ( $p < 0.05$ ), Turbo-light guide 20초 중합한 군과 12 mm light guide으로 20초 중합한 군은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

투과한 치질의 두께에 따른 광세기와 조사 시간간의 상호 관계를 분석한 결과 1 mm 두께의 치질을 투과하여 광중합한 군은 광세기와 조사 시간간에 통계적으로 유의한 상호 작용을 보인 반면 ( $p < 0.05$ ), 2 mm 두께의 치질을 투과한 군은 광세기와 조사 시간간에 통계적으로 유의한 상호 작용을 보이지 않았다. 즉 1 mm 두께의 치질을 투과하여 조사하면 광 세기나 조사 시간 중 어느 것을 증가시켜도 표면 경도값이 증가하나 2 mm 치질 투과시에는 그렇지 않음을 시사한다.

## 2. 비커스 경도비

치질을 투과하지 않은 광원에 의해 중합된 복합레진의 표면 경도에 대한 1 mm와 2 mm 두께의 치질을 투과한 광원에 의해 중합된 복합레진의 표면 경도비는 Figure 5와 같다. 1 mm 두께의 치질을 투과한 광원에 의해 중합된 1군은 1 mm 두께의 유리판을 투과한 군에 비해 경도비가 크게 차이를

보이지 않는 반면 2 mm 치질을 투과한 2군은 80 % 정도의 경도비를 보였다.

## IV. 총괄 및 고찰

광중합 복합레진은 적절한 파장의 빛이 camphorquinone에 의해 흡수되어 3차 아민과 반응하고 이것이 자유기를 형성하여 이 자유기가 methacrylate group의 중합을 개시하여 polymeric matrix와 가교를 형성함으로써 중합이 이루어진다. 이러한 중합은 정도에 따라 복합레진의 물리적 및 기계적 성질에 차이를 야기하는데, 충분한 빛의 강도, 적절한 파장, 적절한 중합시간이 높은 중합율을 얻기 위해 필수적인 조건으로 설명되고 있으며<sup>7,20,24-28</sup>, 레진의 광투과성, 필러의 크기 함량, 색상 등이 중합도에 영향을 미친다고 보고되고 있다<sup>29-34</sup>.

빛의 강도는 광원으로부터의 거리와 복합레진 자체에 의해 감소하게 되며, 물리적 성질 뿐 아니라 치아와의 결합력에도 영향을 미친다<sup>18</sup>. 현재 임상에서 사용되고있는 여러 광원들은 빛의 강도, 파장, 추천되는 중합시간이 모두 다르기에 따라 광중합 복합레진의 중합률에 차이를 보이므로, 본 실험에서는 할로젠 광원을 사용하는 Optilux 501 (Demetron, USA)을 사용하고, 중합용 light guide은 840 mW/cm<sup>2</sup>의 광강도를 갖는 직경 12 mm의 light guide와 1100 mW/cm<sup>2</sup>의 광강도를 갖는 Turbo-light guide를 사용하여, 치질투과 전후의 광강도를 측정하고 그에 따른 중합깊이와 미세경도를 측정하고 비교하였다. Turbo-light guide (Demetron/Kerr, USA)는 12 mm 직경의 entrance aper-

ture를 가지며 7 mm 직경의 exit light guide aperture를 갖는다. 이러한 light guide를 통과하면서 광섬유 묶음들은 농축되어 통상의 light guide보다 더 큰 광에너지 (약31%)를 방출한다. Demetron curing light의 제조자는 300 mW/cm<sup>2</sup>이상의 광에너지는 3 mm 두께의 복합레진을 중합시키는데 충분하다고 하였다<sup>35)</sup>. 또한 Rueggeberg 등<sup>20)</sup>은 광중합 복합레진을 적절히 중합시키기 위해서는 적어도 400 mW/cm<sup>2</sup>의 광원이 요구된다고 하였다.

임상에서 사용하는 가시광선 중합기에서 방출되는 광선은 전압이나 램프의 상태에 따라 변화가 심하며, 반사경, 필터 및 광섬유의 파괴 등으로 방출광선의 광도가 감소될 수 있으며<sup>20)</sup>, 안 등<sup>36)</sup>은 광조사 거리의 증가에 따라 상대광도는 2 mm 이상에서 급격히 감소한다고 보고했으며, Price 등<sup>37)</sup>은 상아질의 두께가 0.5 mm 일 때 원래 광강도의 45% 이하만을 투과시키고, 2 mm일 때는 13.1% 이하의 광원만을 투과시킨다고 보고하였다. 또한 Vogel과 Salz<sup>38)</sup>는 적절한 치질을 통한 중합은 단지 높은 광강도에 의해서만 얻어진다고 하였다. Nomoto 등<sup>39)</sup>과 Rueggeberg과 Craig<sup>40)</sup>에 따르면 중합광의 강도와 총 조사시간을 곱하여 산출되는 총 조사량이 일정하면 중합 깊이가 동일하다고 하였다. 이처럼 2 mm 이상의 치질을 투과해 광조사된다면 광조사량이 현격하게 감소하리라 예상할 수 있다. 그러므로, 조사단을 이상적으로 위치시키기 어려운 경우에는 보다 높은 광도를 가지는 광중합기를 사용하는 것이 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다<sup>1)</sup>. 본 연구에서는 1군과 2군에서 치질을 투과하여 광중합을 하므로 위의 보고에 의거하여 광에너지 총량을 증가시키기 위해 기존출력보다 높은 광조사기와 light guide를 사용하였고 광세기와 조사시간의 차이를 두어 이를 비교하였다.

Vogel과 Salz<sup>38)</sup>에 따르면 치아 두께와 광투과율 사이의 그래프는 직선형으로 나타나지는 않는다. 치아의 두께가 증가함에 따라 광투과율은 가법계 감소하나 치질을 투과하지 않은 시편에 비해 치질을 투과한 시편은 광투과율이 급격히 감소함을 보인다고 하였고, 범랑질을 통한 중합깊이가 상아질을 통한 중합깊이보다 더 크게 나타난다고 하였다. Swartz 등<sup>21)</sup>과 황 등<sup>22)</sup>은 범랑질이 매우 투명하고 범랑질의 두께가 0.5-1 mm 일 때는 복합레진의 중합깊이에 영향을 주지 않는 것으로 보인다고 하였다. Jordan<sup>23)</sup>은 순측 혹은 설측 범랑질 통과하여 광중합형 레진을 중합할 경우, 최소 2.5-3.0 mm, 최대 4.5 mm까지 중합이 가능하다고 보고하였다. Price 등<sup>37)</sup>은 상아질의 두께가 증가함에 따라 광에너지의 현저한 감소가 일어나므로 Turbo light guide를 사용한다 하더라도 복합레진 2.5 mm 이상, 상아질 2.0 mm 이상을 통한 광중합형 레진시멘트의 중합은 불충분하다고 하였다. 본 연구의 실험에서 CT40은 48.6 VHN, 1T40은 50.3 VHN을 보여 유의한 차이를 보이지 않았고, CT20은 44.4

VHN, 1T20은 43.0 VHN을 보여 유의한 차이를 보이지 않았다. 이와 같이 빛이 치아의 경조직을 통과할 경우 상당한 감소가 일어나므로 치질을 통한 광중합은 추천되지 않으나<sup>41)</sup>, 범랑질을 통해 중합할 경우 중합결과에 영향을 주지 않는 것으로 보여진다. 다만 2T40과 2T20은 40.0 VHN, 34.6 VHN을 보여 CT40, CT20, 1T40, 1T20과 유의한 차이를 보인다. 그러므로 2mm이상의 치질을 투과해 중합할 경우 중합도가 급격히 감소하므로, 만약 치아를 통한 중합이 필요하다면 노 등<sup>1)</sup>이 언급한 바와 같이 광에너지 총량을 증가시키는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 또한 2 mm 이상의 치질을 투과하여 중합하여 만족할 만한 중합도를 얻지 못한다 하더라도 일차적으로 일어나는 복합레진 중합의 중합수축이 치질 쪽으로 일어나게 되므로, 치아와 수복재간의 내면에 발생하는 간극을 줄여 술 후 과민증을 개선시킬 수 있으므로 보다 나은 임상적 결과를 기대할 수 있을 것이다.

광중합 복합레진의 중합에 있어서 광세기 뿐만 아니라 광조사 시간도 중요한 요소이다. 광조사 시간의 증가는 중합깊이와 중합율에 영향을 미친다고 하였다. 광조사 시간이 길어지면 중합을 개시하는 free radical을 형성하는 빛이 많이 도달하고, 중합률이 증가함으로써 수복물의 깊이는 부위에서 경도가 증가한다고 하였으며<sup>21)</sup>, Ruyter와 Oysaed<sup>17)</sup>의 연구결과는 수복물의 깊이에 상관없이 복합레진의 중합에 더욱 긴 광조사 시간이 필요하다고 하였다. 본 실험에서, 치질의 두께나 light guide의 종류에 상관없이 모든 경우에서 40초를 조사한 시편이 20초를 조사한 시편보다 비커스 경도가 높게 나타났다. 이런 결과는 조사시간이 길어질수록 중합률이 높아진다는 것을 시사한다. Chan과 Boyer<sup>42)</sup>는 복합레진의 중합에 영향을 줄 수 있는 치아 두께는 광조사 시간에 의해 달라진다고 하였으며, 가시광선중합기를 이용한 실험에서 2 mm 이하의 상아질을 통해 광조사시 적절한 복합레진 표층 두께를 얻기 위해서는 최소 40초 이상의 노출시간이 요구된다고 하였다. 황 등<sup>22)</sup>의 연구에서도 1 mm의 범랑질을 통과할 경우 중합시간의 증가 없이 가시광선 중합형 복합레진의 적절한 중합이 가능하며, 1 mm의 범랑질과 1 mm의 상아질을 통과할 경우 중합시간을 2배 이상 증가시키면 적절한 중합이 가능하다고 하였다. 그러나, Uno와 Asmussen<sup>43)</sup>은 오랜 시간 조사한다해도 3 mm 두께 이상의 상아질은 적절한 광세기를 제공하지 못한다고 하였다. 그러므로 임상에서 상아질을 통해서 광조사할 경우 복합레진은 적층 충전 할 것이 추천된다.

복합레진의 성분차이에 따른 중합률을 살펴보면, 필러가 포함되지 않은 Bis-GMA의 경우 중합률이 55-72 %라고 하였으며<sup>17)</sup>, 필러의 함량이 적은 전치부 레진의 중합률은 57-77 %이며<sup>33)</sup>, 필러의 함량이 많은 구치부 레진의 경우 43-74 %의 중합률을 보인다고 하였다<sup>30)</sup>. 혼합형 광중합 복합레진의 경우 평균 42.5 %의 중합률을 갖는다고 보고되었

다<sup>44)</sup>. 본 실험에서 사용한 광중합복합레진 (Charisma, Kulzer, Germany)은 필러의 함량이 62.1 % 정도인 전치, 구치, 그리고 간접 인레이용 미세혼합형 복합레진이다.

복합레진의 중합률은 FT-IR 분광분석, 표면경도, 수분흡수도, 레진 유리도, 핵자기공명 미세영상분석 등 다양한 방법을 통해 나타낼 수 있다. 중합률이 낮은 광중합 복합레진은 중합률이 높은 수복물보다 상대적으로 많은 양의 미반응 단량체를 남기며, 이러한 잔존 methacrylate group내의 탄소 이중결합에 의해 중합체의 기질이 분해 반응에 민감하게 작용하고 중합체내의 잔존 이중결합은 레진의 강도, 색안정성, 그리고 마모저항성의 저하와 같은 물리적 성질 변화의 원인이 된다<sup>2,4,5,7,8,45)</sup>. 수복물로부터 유리된 미반응 성분은 복합레진의 화학적 파괴의 주요한 원인이 되며 치수조직에 직접적인 자극과 변성을 초래한다<sup>1,46)</sup>. Bis-GMA와 같이 큰 분자량을 갖는 단량체는 작은 분자량을 갖는 단량체보다 우수한 변연 적합성과 적은 독성을 보이는 중합체를 형성하며, 이는 휘발성의 감소 및 조직 내로의 침투 저하에 도움을 준다고 보고되었다<sup>47)</sup>. FT-IR 분광분석은 이러한 잔존 미반응 단량체의 양을 측정하여 중합률을 측정하는 직접적인 방법이다<sup>15,16)</sup>. Asmussen<sup>4)</sup>은 잔존 이중결합의 양이 클수록 경도 및 기계적 강도가 저하된다고 보고하였고, Pearson과 Longman<sup>5)</sup>은 단량체가 복합체로 불완전 전환될 때 강도가 증가된다고 보고하였다. Rueggeberg와 Margeson<sup>48)</sup> 그리고 Ferracane<sup>2)</sup>는 경도가 잔존이중결합의 양을 측정하는 간접적 지표가 됨을 주장하였다. 표면경도의 측정은 같은 종류의 재료에서 복합레진의 중합률을 나타내는 유용한 방법으로, Sturdevant<sup>45)</sup>는 복합레진의 표면경도는 중합률, 표면조도, 충전재의 함량 및 크기에 영향을 받는다고 하였고, Shortall 등<sup>49)</sup>은 표면경도와 중합률은 색상과 밀접한 관계가 있다고 하였다. 또 Peutzfeldt와 Asmussen<sup>3)</sup>도 복합레진 중합 후 잔류 이중결합의 양은 경도와 관련이 깊다고 하였다. 비커스 경도측정법은 피라미드 형태의 압입체를 이용하여 일정 정도의 힘을 일정한 시간동안 가한 후 압입흔의 직경을 측정하여 표면경도를 구한다<sup>32)</sup>. 비커스 경도의 단위는 압입체의 무게와 적용시간을 이용하여 표기하는데, 본 실험에서는 200 g의 하중을 10초간 적용하여 측정하였으며 단위는 VHN (0.2/10)로 표기된다.

실제 임상에서 주어진 환경에서 복합레진의 중합율을 극대화하는 술식은 술 후 복합레진 수복물의 수명에 많은 영향을 미칠 것이다. 또한 중합 수축과 관련되어 나타날 수 있는 와동면과 복합레진간의 간극에 의한 술 후 과민증도 적절한 충전 술식을 사용하면 최소화 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 1 mm의 치질과 2 mm의 치질을 제작하여 실험하였는데 이는 실제 임상에서 광원을 직접 조사하기 힘든 2급와동부위에 복합레진을 적용시키거나 전치부 복합레진을 수복시에 치질을 투과하여 광원을 조사할 경우 복합레진에 미치는

영향을 알아보고자 하였는데 본 연구 결과에서 보여주듯이 치질을 투과한 광원에 의해 와동 면에 접한 복합레진을 먼저 중합하고 이후 와동의 개방된 부위로 추가 중합을 시행한다면 중합 수축에 의해 발생하는 과민증을 줄일 수 있으며 중합율도 증가시킬 수 있으리라 사료된다.

또한 본 연구에서는 동일한 파장을 갖는 중합기기를 사용하여 신뢰할만한 결과를 얻었으나 근래 소개되고 있는 Plasm-Arc 광원이나 LED 광원에 의한 광원의 치질 투과 정도는 연구되지 않았으므로 이후 이러한 기기들에 대한 연구와 좀 더 두꺼운 치질의 투과 정도에 대한 연구도 필요하리라 사료된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 치아경조직을 투과한 중합 광원에 의한 복합레진의 중합율에 대해 연구하기 위해 건전한 상악 중절치의 순면에서부터 법랑질과 상아질을 포함하도록 1 mm와 2 mm 두께의 치질시편을 만들고 직경 5 mm, 두께 2 mm의 주형에 A1 색상의 광중합 복합레진 (Charisma, Kulzer, Domagen, Germany)을 충전하고 각 군에 주어진 조건에 따라 광중합한 후 표면경도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 1군과 대조군의 Turbo-light guide으로 40초 동안 중합한 시편이 가장 높은 표면 경도값을 보였으며, 2군에서 light guide의 종류에 상관없이 20초 동안 중합한 시편들이 가장 낮은 표면 경도값을 보였다 ( $p < 0.05$ ).
2. 대조군에서는 light guide의 종류에 상관없이 40초 중합한 시편들이 20초 중합한 시편들보다 높은 표면 경도값을 보인 반면 ( $p < 0.05$ ), 1군에서는 Turbo light guide 40초, 12 mm light guide 40초, Turbo light guide 20초, 그리고 12 mm light guide 20초의 순으로 표면 경도값이 감소하였으며 ( $p < 0.05$ ), 2군에서는 Turbo light guide로 40초 중합한 시편들이 가장 높은 표면 경도값을 보인 반면 ( $p < 0.05$ ) 20초 중합한 시편들은 light guide의 종류에 상관없이 유의한 차이를 보이지 않았다.
3. 1 mm 두께의 치질을 투과하여 광중합한 1군은 광세기와 조사 시간간에 통계적으로 유의한 교호 작용을 보인 반면 ( $p < 0.05$ ), 2 mm 두께의 치질을 투과한 2군은 광세기와 조사 시간간에 통계적으로 유의한 교호 작용을 보이지 않았다.

이상의 결과는 1 mm 이하와 같은 얇은 치질을 투과하여 복합레진을 중합하는 경우 광세기와 광조사 시간을 증가시키면 중합 정도도 증가하나, 특정 두께 이상의 치질을 투과 시 광세기나 광조사 시간을 증가시키더라도 중합 정도의 증가는 기대하기 힘들 거라는 것을 시사한다.

## 참고문헌

1. 노병덕, 박성호, 이정석. 수중 이원중합 레진 시멘트의 중합률 및 세로 독성에 관한 실험적 연구. *대한치과보존학회지* 20:33-54, 1995.
2. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1:11-14, 1985.
3. Peutzfeldt A, Asmussen E. Hardness of restorative resins: effect of camphoroquinone, amine, and inhibitor. *Acta Odontol Scand* 47:229-231, 1989.
4. Asmussen E. Restorative resins: hardness and strength vs quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res* 90:484-489, 1982.
5. Pearson GJ, Longman CM. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible-light curing system. *J Oral Rehab* 16:57-61, 1989.
6. Ruyter IE, Oysaet H. Compressive creep of light cured resin based restorative materials. *Acta Odontol Scand* 40:319-324, 1982.
7. Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ. Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc* 125:687-701, 1994.
8. Eakle WS. Fracture resistance of teeth restored with class II bonded composite resin. *J Dent Res* 65:149-153, 1986.
9. Fujisawa S, Imai Y, Kojima K, Masuhara E. Studies on hemolytic activity of bisphenol A diglycidyl methacrylate (Bis-GMA). *J Dent Res* 57:98-102, 1978.
10. Fujisawa S, Kadoma Y, Masuhara E. Action of drugs, detergents and monomers on liposomes. *J Dent Res* 61(10):1206-1210, 1982.
11. 양홍서, 박영준. 복합레진의 조성 변화가 물리적 성질에 미치는 영향에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 27:185-199, 1989
12. Inoue K, Hayashi I. Residual monomer (Bis-GMA) of composite resins. *J Oral Rehab* 9:493-497, 1982.
13. Youngson CC, Glyn Jhones JC, Fox K, Smith IS, Wood DJ, Gale M. A fluid filtration and clearing technique to assess microleakage associated with three dentin bonding systems. *J Dent* 27:223-233, 1999.
14. Tsunekawa M, Setcords JC, Usami Y, Iwaku M, Marshall SJ. A new light-activated adhesive composite : shear bond strength and microleakage. *Dent Mater* 8:234-237, 1992.
15. 김경현, 권오승, 김현기, 백규철, 엄정문, 권혁춘. 수중 광중합 복합레진의 중합 깊이와 광조사 시간에 따른 중합률에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 22(1):35-55, 1997.
16. Asmussen E. Factors affecting the quantity of remaining double in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res* 90:490-496, 1982.
17. Ruyter IE, Oysaet H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 40:179-192, 1982.
18. Cook WD. Spectral distributions of dental photopolymerization sources. *J Dent Res* 61:1436-1438, 1982.
19. Manga RK, Charlton DG, Wakefield CW. In vitro evaluation of a curing radiometer as a predictor of polymerization depth. *Gen Dent* 43:241-243, 1995.
20. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 19:26-32, 1994.
21. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B. Visible light-activated resins-Depth of cure. *J Am Dent Assoc* 106:634-637, 1983.
22. 황기환, 장인호, 이세준, 이광원. 조사광이 통과하는 치질의 두께와 광조사 시간에 따른 광중합형 복합레진의 중합률에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 27(1):16-23, 2002.
23. Jordan R. Esthetic composite bonding, technique and materials. 2nd ed., Mosby Year Book p20.
24. Pires JA, Cvitko E, Denehy G, Swift EJ. Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quint int* 24:517-521, 1993.
25. Vankerckhoven H, Lambrechts P, Beylen MV, Davidson CL, Vanherle G. Unreacted methacrylate groups on the surfaces of composite resins. *J Dent Res* 61(6):791-795, 1982.
26. Davidson-Kaban SS, Davidson CL, Feilzer AJ, De gee AJ, Erdilek N. The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. *Dent Mater* 13:344-352, 1997.
27. Vargas NA, Cobb DS, Schmit JL. Polymerization of composite resins: Argon laser vs conventional light. *Oper Dent* 23:87-93, 1998.
28. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Curing depth of prosthetic composite materials polymerized with their proprietary photo-curing units. *J Oral Rehabil* 26:594-599, 1999.
29. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K. The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. *J Dent Res* 73(2):516-521, 1994.
30. Chung KH. The relationship between composition and properties of posterior resin composites. *J Dent Res* 69(3):852-856, 1990.
31. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation Polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater* 8:299-304, 1992.
32. Wassell RW, McCsbe JF, Walls AW. Subsurface deformation associated with hardness measurements of composites. *Dent Mater* 8:218-223, 1992.
33. Jandt KD, Mills RW, Blackwel GB, Ashworth SH. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes(LEDs) *Dent Mater* 16:41-47, 2000.
34. Harrington E, Wilson HJ. Depth of cure of radiation-activated materials. Effect of mould material and cavity size. *J Dent* 21:305-311, 1993.
35. Curing Radiometer operating instructions. Danbury. CT: Demetron Research. 1990.
36. 안명기, 정태성, 김신. 광중합형 복합레진의 중합시간과 거리에 따른 중합도의 변화. *대한소아치과학회지* 28:293-297, 2001.
37. Price RBT, Murphy DG, Derand T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. *Quint int* 31:659-667, 2000.
38. Vogel K, Salz U. Influence of trans-tooth curing on physical properties of composites [abstract(3)]. *J Dent Res* 76:1111, 1997.
39. Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T. Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. *Dent Mater* 13:198-205, 1994.
40. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res* 67:932-937, 1988.
41. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli L, Montanari G. Effect of air, dentin and resin-based composite thick-



- ness on light intensity reduction. *Am J Dent* 12:231-234, 1999.
42. Chan KC, Boyer DB. Curing light-activated composite resins through dentin. *J prosthet Dent* 54(5):643-645, 1985.
43. Uno S, Asmussen E. Effect on bonding of curing through dentin. *Acta odontol Scand* 49:317-320, 1991.
44. Ruyter IE, Vanherle G, Smith DC. Monomer systems and polymerization In posterior composite resin dental restorative materials. Peter Szulc Publishing Co., 109-126, 1985.
45. Grassie N. Chemistry of high polymer degradation process. Butter worth pub. p255, 1956.
46. 최경규, 민병순. 치과용 가시광선 중합형 복합레진의 잔류단량체 정량분석에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 17:181-189, 1992.
47. Antonucci JM. New monomers for use in dentistry. Biomedical and dental application of dental polymers p357-371.
48. Rueggeberg FA, Margeson DS. The effect of oxygen inhibition on an unfilled/ filled composite system. *J Dent Res* 69:1652-1658, 1990.
49. Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E. Depth of cure of radiation-activated composite restorations-influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil* 22:337-342, 1995.

## 국문초록

### 치질을 투과한 조사광에 의한 복합레진 중합시 치질의 두께, 광세기 및 조사 시간이 복합레진의 표면 경도에 미치는 영향

조수경 · 김동준 · 황윤찬 · 오원만 · 황인남\*

전남대학교 치과대학 치과보존학교실, 치의학연구소

본 연구에서는 치질을 투과한 광에너지량을 측정하고 치질을 투과한 광에너지에 의한 광중합 복합레진의 중합 정도를 표면 경도를 측정하여 분석하였다.

광조사기로는 할로겐 광원을 사용하는 Optilux 501 (Demetron, USA)을 사용하였으며, 중합용 light guide는 840 mW/cm<sup>2</sup>의 광세기를 갖는 직경 12 mm의 light guide와 1100 mW/cm<sup>2</sup>의 광세기를 갖는 직경 7 mm의 Turbo light guide를 사용하였다. 광원을 투과시킬 치질은 건전한 상악 중절치의 순면에서부터 법랑질과 상아질을 포함하도록 0.7 × 0.7 cm의 크기로 두께 1.0 mm와 2.0 mm의 치아 절편을 준비하였다. 직경 5 mm, 두께 2 mm의 주형에 A1 색상의 광중합 복합레진(Charisma, Kulzer, Germany)을 충전하고 각 군에 주어진 조건에 따라 광중합하였다. 시편은 크게 치질의 두께에 따라 (대조군, 1 mm, 2 mm) 3개의 군으로 나누었으며, 각 군은 다시 light guide의 종류와 광조사 시간에 따라 4개의 군으로 나누었다. 제작된 시편은 미세경도측정기를 이용해 광조사면의 비커스 경도를 측정한 결과, 2 mm 치질군과 대조군의 Turbo-light guide으로 40초 동안 중합한 시편이 가장 높은 표면 경도값을 보였으며, 2 mm 치질군에서 light guide의 종류에 상관없이 20초 동안 중합한 시편들이 가장 낮은 표면 경도값을 보였다 ( $p < 0.05$ ).

이상의 결과는 1 mm 이하와 같은 얇은 치질을 투과하여 복합레진을 중합하는 경우 광세기와 광조사 시간을 증가시키면 중합 정도도 증가하나, 특정 두께 이상의 치질을 투과 시 광세기나 광조사 시간을 증가시키더라도 중합 정도의 증가는 기대하기 어렵다는 것을 시사한다.

**주요어 :** 중합률, 비커스 경도, 치질의 두께