

광조사 방법에 따른 복합레진의 중합수축에 관한 연구

권오진 · 김종수 · 권순원

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

본 연구는 중합수축을 줄이기 위해 개발된 2단계 광조사법을 사용하여 복합레진의 중합시 발생하는 수축양상을 스트레인 게이지법(strain gauge method)으로 측정해 보고, 중합도의 비교를 위해 미세경도를 측정해 본 다음 이 결과를 기존의 광조사법과 비교해 보고자 하는 것이었다.

내경 6mm, 높이 2mm의 아크릴 주형에 복합레진인 Z100™(3M, USA)을 충전하였고 Curing light 2500(3M, USA)과 Elipar Highlight(ESPE, Germany)의 광조사기를 사용하였다. I 군은 광도가 450mW/cm²인 Curing light 2500으로 40초간 광조사하였고, II 군은 광도가 650mW/cm²인 Elipar Highlight로 40초간 광조사하였으며, III 군은 Elipar Highlight의 2단계 중합 방법을 이용하여 초기 10초간은 150mW/cm²로, 나머지 30초간은 650mW/cm²의 광도로 조사하였다. 스트레인 게이지법을 이용하여 광조사 후 1초 간격으로 10분간 선중합 수축률(linear polymerization shrinkage)을 측정한다 다음 그래프로 분석하였고, 중합 1분 후와 10분 후의 선수축률을 측정하여 통계분석하였으며 미세경도기를 사용하여 중합 24시간 후의 각 군의 미세경도를 측정하여 통계분석하였다.

중합수축 양상을 관찰해 본 결과 각 군에서 모두 중합 초기에 일시적인 재료의 팽창을 나타내었고, 그 후 약 1분간은 수축률이 급격히 증가하다가 증가의 폭이 점차 감소하는 양상을 보였다. 전반적으로 2단계 광조사법을 사용한 III 군에서 수축률이 낮게 나타났다. 중합 후 1분과 10분에서의 선수축률을 비교해 본 결과 통상적인 광조사법을 사용한 I 군과 II 군에 비해 2단계 광조사법을 사용한 III 군에서 유의하게 낮은 수축률을 나타내었다(p<0.05). 미세경도 측정결과 상면과 하면에서 모두 각 군간에 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

주요어 : 2단계 광조사, 중합수축, 스트레인 게이지법, 복합레진

I. 서 론

치과용 복합레진의 급속한 발전과 더불어 심미에 대한 환자들의 관심이 고조되면서 현재 치과임상에서는 광중합형 복합레진의 사용이 빠르게 증가되고 있다. 그러나 아말감을 대체할 만한 우수한 물리적 성질과 치질과의 강한 결합력, 심미성 등의 장점에도 불구하고 중합수축이라는 문제점이 아직 해결되지 못한 과제로 남아있다. 이러한 중합수축은 수복물 및 접착된 치면에 응력을 발생시켜 수복물의 변연누출 및 이차우식, 시술 후 통증, 치아의 파절 등과 같은 여러 가지 임상적 문제점들을 유발할 수 있다¹⁻⁴⁾고 보고되고 있다.

선학들의 연구결과 복합레진의 중합수축은 선중합 수축의 경우 0.2-0.99%⁵⁾, 부피중합 수축의 경우 1.63-2.47%⁶⁾ 정도의 수축률을 나타내는 것으로 보고되었으며 또한 중합수축으로 인해 발생하는 수축응력은 실험조건에 따라 2-10MPa^{3,7-11)} 정도로 보고된 바 있는데 이러한 중합 수축 및 수축응력의 발생은 중합반응의 정도, 충전 및 중합방법, 치질과의 결합력, 와동의

크기와 형태 등의 여러 가지 요인들에 의해 달라질 수 있으므로^{12,13)} 수축량 및 수축응력의 발생을 최소화하기 위한 다양한 연구들이 계속 진행되고 있다.

현재까지 알려진 중합수축을 측정하는 다양한 방법들 중 스트레인 게이지법은 1989년 Sakaguchi와 Douglas¹⁴⁾가 처음 소개한 방법으로 비교적 간단하고 정확하게 중합수축을 실시간으로 측정할 수 있는¹⁵⁻¹⁷⁾ 장점을 가진다. 또한 광조사 후 복합레진의 중합도 및 물성을 평가하기 위한 다양한 방법들이 소개된 바 있는데 이 중 미세경도 측정법이 정확성과 측정의 용이함으로 인해 가장 보편적으로 사용되어 왔다.

중합수축을 줄이기 위한 방법은 크게 수복물의 조성을 변화시키는 방법과 적층 충전법이나 2단계 광조사법과 같이 중합 및 충전방법을 변화시키는 방법으로 나눌 수 있다.¹²⁾ 이 중 2단계 광조사법은 광조사 초기 10초 동안 100-200mW/cm² 정도의 저광도로 조사 후 나머지 30초간은 600mW/cm² 이상의 고광도로 조사하는 방법으로 초기 중합과정을 지연시켜 재료 자체의 유동성을 허용함으로써 중합수축을 감소시키고 이로 인해

수복물의 변연적합도를 향상시킬 수 있다^{18,21)}고 보고되었다. 또한 물성이나 중합도의 측면에서도 기존의 광조사 방법과 유사한 효과를 나타낸다^{19,20)}고 보고된 바 있다. 하지만 최근에 발표된 다른 연구결과들^{22,23)}에서 2단계 광조사법을 시행한 후 통상적인 광조사 방법에 비해 중합수축응력의 감소나 변연적합도의 향상을 보이지 않았다고 보고한 바 있어 아직까지 그 임상적 효용성에 대한 의문이 존재하는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 2단계 광조사법을 사용한 복합레진의 중합시 발생하는 수축양상을 스트레인 게이지법으로 측정해 보고, 중합도의 비교를 위해 미세경도를 측정해 본 다음 이 결과를 기존의 광조사법과 비교하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

광중합기로는 Curing Light 2500[®] (3M, USA)과 Elipar[®] Highlight(ESPE, Germany)를 선정하였고, 충전재로는 복합레진인 Z100[™](3M, USA)을 선정하였다. 중합수축량 및 수축응력의 측정을 위한 스트레인 게이지로는 TML foil strain gauge(FLA-1-11-1L, SOKKI, Japan)를 선정하였고, 스트레인 측정기로는 TML digital strainmeter[®](TC-31K, SOKKI, Japan)를 선정하였으며 Radiometer[®](DentAmerica, USA)로 광원의 광도를 측정하여 일정하게 유지하였다.

2. 연구 방법

1) 실험군 분류

광조사 방법에 따라 Table 1과 같이 군을 설정하였으며, 각 중합수축률 측정실험과 미세경도 측정실험을 시행하였다.

2) 중합수축률 측정

(1) 시편 제작

슬라이드 글라스에 스트레인 게이지를 고정시키고 그 위에 내경 6mm, 높이 2mm 크기의 아크릴 주형을 적합시킨 후 Z-100을 충전하였다.

(2) 광중합 및 중합에 따른 스트레인의 측정

시편에 부착된 스트레인 게이지를 스트레인 측정기에 연결시키고 중합전 초기값을 설정한 후 충전물 상부 1mm 상에서 각 군에 따라 광중합시켰다. 광조사 시점부터 1초 간격으로 10분간의 스트레인 값을 측정한 후 스트레인 측정기를 컴퓨터에 연결하여 데이터를 저장하였다.

(3) 중합수축률의 측정

측정된 스트레인 값을 각 시점의 선수축률(percentage linear shrinkage)로 환산하여 기록하였다.

(4) 수축양상의 평가

각 군의 1분간과 10분간의 수축양상을 그래프로 비교, 분석하였다.

(5) 통계 분석

각 군의 중합개시 1분 후와 10분 후의 선수축률의 통계분석을 위해 SPSS version 9.0 프로그램과 One-way ANOVA test 및 Scheffe test를 사용하였다.

3) 미세경도 측정

(1) 시편 제작

내경 5mm, 높이 2mm의 아크릴 주형 내에 Z-100을 충전한 다음 각 군에 따라 상면에서 40초간 광중합하여 각 군당 20개씩 모두 60개의 시편들을 제작하였다.

(2) 미세경도 측정

광중합 24시간 경과 후 미세경도기(Akashi, Japan)를 사용하여 하중 50g, 접촉시간 10초의 조건 하에서 각 시편의 상면과 하면의 미세경도를 각각 측정하였다.

(3) 통계 분석

SPSS version 9.0 프로그램과 One-way ANOVA test 및 Scheffe test를 사용하여 각 군의 미세경도 측정치를 통계분석하였다.

III. 연구 성적

1. 중합수축률 측정

Fig. 1은 각 군의 중합 후 10분 동안의 선수축률을 나타낸 그래프이다. 모든 군에서 광조사 후 약 1분간 급격한 수축률을 보인 다음 완만하게 진행되는 양상을 보였다. 전반적으로 이단계 중합법을 사용한 III군에서 I군과 II군에 비해 현저히 낮은 수축률을 나타냈다.

Fig. 2는 각 군의 중합 후 1분간의 선수축률을 그래프로 나타낸 것으로서 모든 군에서 중합 초기 일시적인 재료의 팽창을 나

Table 1. Classification of experimental groups

Group	Initial		Final		Number of Specimens
	Intensity (mW/cm ²)	Time (sec)	Intensity (mW/cm ²)	Time (sec)	
I	450	40	-	-	20
II	650	40	-	-	20
III	150	10	650	30	20

타냈으며 그 후 급격한 수축률을 나타냈다. Table 2는 이를 회귀분석한 결과로서 회귀식의 기울기로 평가해 볼 때 III군에서 가장 완만한 수축률을 보인 반면, II군이 가장 급격한 수축률을 나타냈다.

Table 3은 각 군의 중합 후 1분과 10분에서의 선수축률의 평균과 표준편차를 나타낸 것이며, Fig. 3은 이를 그래프로 나타

낸 것으로 1분 후와 10분 후에서 모두 I군과 II군에 비해 III군에서 현저히 낮은 수축률을 보여주었다. Table 4는 이를 통계 분석한 결과로서 2단계 광조사법을 사용한 III군이 통상적 광조사 방법을 사용한 I군과 II군에 비해 1분과 10분에서 모두 유의성있게 낮은 수축률을 보여주었다($p < 0.05$). 반면 I군과 II군간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

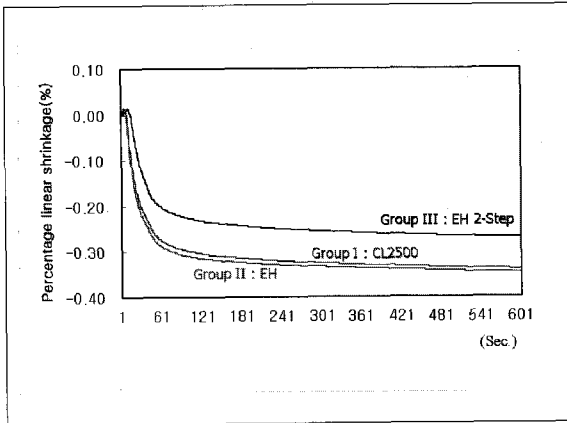


Fig. 1. Linear polymerization shrinkage(%) of each group during 10 minutes.

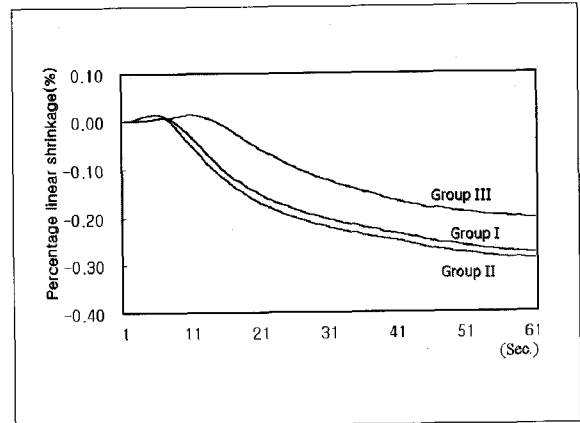


Fig. 2. Linear polymerization shrinkage(%) of each group during 1 minute.

Table 2. Regression analysis of linear shrinkage(%) of each group during 1 minute

Group	Regression equation
I	$Y = 0.0052X - 0.014$
II	$Y = 0.0053X - 0.025$
III	$Y = 0.0044X - 0.027$

Table 3. Polymerization shrinkage values(Mean SD) of each group : At 1 minute & 10 minutes

Group	1 minute	10 minutes
I	-0.276 ± 0.017	-0.340 ± 0.017
II	-0.290 ± 0.023	-0.347 ± 0.022
III	-0.204 ± 0.043	-0.270 ± 0.040

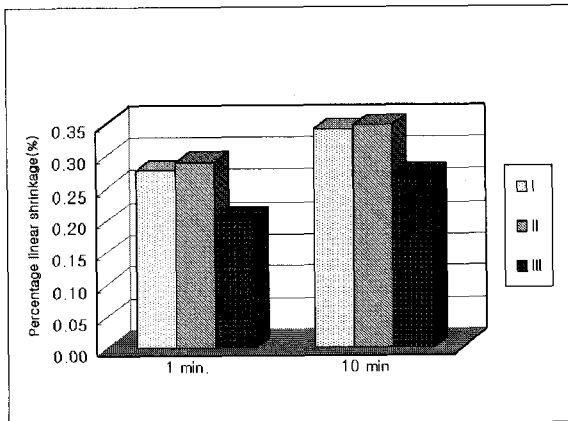


Fig. 3. Mean polymerization shrinkage values of each group : At 1 minute & 10 minutes.

Table 4. Statistical analysis of linear shrinkage of each group : At 1 minute & 10 minutes.

	I	II	III
I			
II			
III	*	*	

* : $p < 0.05$ from Scheffe test

Table 5. Microhardness values(Mean SD) of each group

Group	Microhardness (VHN)	
	Upper	Lower
I	106.37 ± 10.51	96.27 ± 10.21
II	116.39 ± 10.01	107.11 ± 11.52
III	108.75 ± 9.81	96.51 ± 11.31

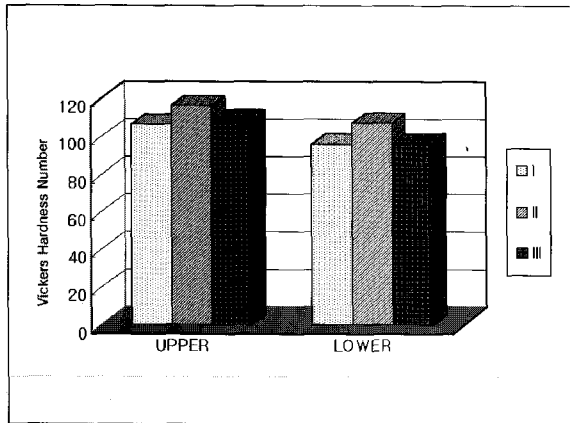


Fig. 4. Mean microhardness values of each group : Upper & Lower surface.

2. 미세경도의 측정

Table 5는 중합 24시간 후 각 군의 상면과 하면에서의 미세경도의 평균과 표준편차를 나타낸 것이며, Fig. 4는 이를 그래프로 나타낸 것이다. 모든 군에서 상면이 하면에 비해 높은 수치를 나타냈으며, II군이 I군과 III군에 비해 높은 수치를 나타냈다. 그러나 각 군의 상면과 하면에서의 미세경도 측정치를 통계 분석한 결과 모든 군간에 유의한 차이가 없었다(Table 6).

IV. 총괄 및 고안

현재 임상에서 가시광선 중합기의 광원으로 tungsten-halogen lamp를 가장 많이 사용하고 있는데 이 중합기는 400mW/cm² 이상의 광도로서 40초의 최소 조사시간이 추천되며 반복 조사시 광도가 저하되는 단점을 가진다.²⁴⁾ 광도의 차이에 따라 재료의 중합도와 수축양상이 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 임상에서 많이 사용되는 광도인 450mW/cm²와 650mW/cm²로 40초간 광조사하는 방법을 각각 I군과 II군으로 설정하여 2단계 광조사법으로 설정한 III군과 비교하고자 하였다. 2단계 광조사법도 광도와 조사시간에 따라 다양한 방법들을 설정할 수 있지만 본 연구에서는 문헌고찰을 통해 가장 많이 연구된 바 있으나 현재까지 그 임상적 효용성이 적립되지 않은 초기 10초간 150mW/cm², 후기 30초간 650mW/cm² 광도로 광조사하는 방법을 사용하였다. 광도를 조정하는 방법은 2단계 광조사법을 위해 특별히 개발된 광조사기를 사용하는 방법과 광원의 거리를 증가시켜 광도를 감소시키는 방법을 생각할 수 있는데, 후자의 경우 임상적으로 정확한 광도의 재현이 어려운 단점이 있어 본 실험에서는 2단계 광조사법을 위해 개발된 Elipar Highlight(ESPE, Germany)를 사용하였다. 또한 10회 광조사 때마다 균일한 광도를 확인하기 위해 radiometer를 이용하여 광도를 측정하였는데 실험기간 내내 광도의 변화는 관찰할 수 없었다.

Table 6. Statistical analysis of microhardness values of each group : At Upper & Lower surface

	I	II	III
I			
II	-		
III	-	-	

from Scheffe test

심미수복재의 중합수축을 측정하기 위해 다양한 방법들이 사용되어 왔는데 각각의 장단점을 가지며 그 측정방법에 따라 수축량이 달라질 수 있다고 알려져 있다. 수은을 이용한 팽창계의 경우 건강을 위해할 가능성이 있으며 온도변화에 민감하고 광선의 출입을 차단하므로 광중합형 재료를 대상으로 한 측정에는 어려움이 있으며, 물을 사용하는 팽창계는 물을 흡수하는 시료의 경우 정확도가 감소하고 온도에 민감한 단점을 가진다. 부력법은 온도에 민감하지 않으나 시편에 기포가 부착하는 경우 정확도가 감소하고, linear displacement transducer를 이용할 때는 측정기의 중력이나 하중 등의 영향으로 수축율을 정확하게 측정하지 못하는 단점이 있다²⁵⁾. 본 실험에서 사용한 스트레인 게이지법은 매우 정확한 선수축율의 측정이 가능하고 중합과정을 실시간으로 측정할 수 있어 중합의 역학을 연구하는 하나의 방법으로 사용할 수 있으며 측정이 비교적 간단하다는 장점을 가진다¹⁵⁻¹⁷⁾. 또한 1984년 Davidson과 de Gee⁹⁾의 연구에 의하면 전체적인 중합수축 과정은 pre-gel phase와 post-gel phase의 두 단계로 나눌 수 있는데, 이 중 pre-gel shrinkage는 재료자체의 흐름성(flow)으로 인한 응력 상쇄로 실질적인 수축응력이 발생되지 않는 반면, 재료의 강직성이 증가하여 탄성계수를 나타내는 post-gel shrinkage의 경우에는 수축응력으로 인한 임상적 문제들을 야기하므로 중요하다고 하였다. 그러므로 임상적으로 중요한 post-gel shrinkage만의 측정이 가능하며 동시에 정확한 수축응력의 측정이 가능하다는 점도 스트레인 게이지법의 큰 장점으로 보고된 바 있다¹⁵⁻¹⁷⁾.

스트레인 게이지는 부착시킨 시료의 변형에 의해 발생하는 미세한 전기적 저항의 변화를 스트레인 측정기를 통해 선형 변형율로 나타내주는 장치를 말하며 그 용도와 실험하려는 시료에 따라 매우 다양하게 분류된다. 초기에 개발된 스트레인 게이지는 부피가 크고 온도의 변화에 민감하며 정확도가 다소 떨어지는 단점이 있었으나 최근에 개발된 제품들은 부피가 작고 온도보정기능을 지니고 있으며 매우 정확하여 건설 및 안전 설비 분야, 각종 역학(kinetics) 연구 분야 등에서 다양하게 사용되고 있다. 본 실험에서 사용한 스트레인 게이지인 TML foil strain gauge(FLA-1-11-1L, SOKKI, Japan)는 온도보정기능을 지니고 있으며 비교적 작고 정확하여 치과분야에서의 실험에 적합한 제품으로 생각된다. 일반적으로 스트레인 게이지는 측정하려는 시료에 접착제를 사용하여 부착해야 하나 복합레진의 경우에는 재료 자체의 점착성으로 인해 별도의 접착

과정이 필요하지 않았다.

복합레진의 선중합수축량은 일반적으로 측정방법에 따라 0.2-0.99% 정도의 수축률을 나타내는 것으로 보고되어 있다⁶⁾. 또한 실험방법 상에서 수축이 자유로운 상태나 와동에 충전된 상태와 같은 접촉조건에 따라 수축량이 다르게 나타나며 일반적으로 자유로운 수축상태에서의 수축량이 더 크게 나타난다³⁾고 보고되어 있다. 본 실험의 조건과 유사한 자유로운 수축상태에서 통상적인 방법으로 40초간 광조사 후 복합레진의 중합수축을 스트레인 게이지법으로 측정된 최근의 비교연구에서 Yap 등¹⁵⁾은 10분간의 선수축율이 0.39%라고 보고하였으며, linear displacement transducer를 사용한 2000년 이 등²⁶⁾의 연구에서는 중합 14분 후의 선수축율이 복합레진의 종류에 따라 0.28-0.33%라고 보고하였다. 본 연구에서도 통상적인 광조사법을 사용한 중합 10분 후의 선수축율이 I군에서 0.340%, II군에서는 0.347%로 나타나 기존의 연구 결과와 유사하게 나타났다. 한편, 2단계 광조사법을 사용한 III군에서는 10분 후의 선수축율이 0.27%로 나타나 I군과 II군에 비해 약 21%의 수축감소 효과가 있는 것으로 나타났다. 2000년 Ernst 등¹⁸⁾은 본 실험과 같은 2단계 광조사법을 사용하여 복합레진의 종류에 따라 약 8-15%의 수축응력 감소 효과를 보고한 바 있으며 1997년 Mehl 등¹⁹⁾과 1999년 Burgess 등²⁰⁾은 5급 와동에서 2단계 광조사법을 사용한 경우 통상적 광조사법에 비해 변연 적합성이 현저히 향상되었음을 보고한 바 있어 본 실험의 결과를 뒷받침해 주고 있다.

중합시 발생하는 수축응력은 수축량보다 오히려 임상적으로 더 중요한 의미를 가지며 수축량이 크다고 하여 반드시 수축응력도 크게 나타나는 않는다¹²⁾고 보고된 바 있으나 수축응력은 Hook's law(stress=strain elastic modulus)를 사용하여 환산할 수 있으므로 본 실험에서는 스트레인 측정치의 감소 즉, 수축량의 감소가 수축응력의 감소를 간접적으로 의미한다고 볼 수 있을 것이다. 다만 본 실험의 한계 상 재료의 탄성계수가 중합에 따라 계속 변하기 때문에 수축응력을 정확히 측정할 수 없었으므로 절대적 비교를 할 수는 없었다.

일반적으로 수복재와 치아간의 결합력보다 중합 수축응력이 큰 경우에는 접촉면에서의 실패를 야기하게 되며, 접촉면에서의 틈이 생기지 않더라도 재료 내부의 균열이나 인접치질의 변형을 초래할 수 있다¹²⁾. Davidson과 de Gee⁹⁾는 법랑질에서의 레진-치아간의 결합은 중합시의 수축응력에 저항할 만큼 충분한 결합력을 갖는다고 보고한 반면, Rees와 Jacobsen²⁷⁾은 중합 수축이 치아와 레진 계면에서 물리적 응력을 발생시켜 부착성 결합(adhesive bonding)을 파괴하고 결국 미세누출을 일으킬 수 있으며 결합강도 또한 저하시킬 수 있다고 보고하였다. 만약 결합력이 충분히 높다고 하더라도 수축응력이 재료의 내부나 인접 치질에 균열과 같은 결함을 야기할 수 있으므로¹²⁾ 수축응력으로 인한 부작용을 결합력의 개선으로 보완하려는 것은 한계가 있다고 생각된다. 그러므로 중합에 따른 수축응력의 발생을 최소화하는 것이 중요하며 이를 위하여 수복물의 조성을

변화시키는 방법과 중합 및 충전방법을 변화시키는 방법이 대표적으로 사용되고 있다¹²⁾. 본 실험에서 사용된 2단계 광중합법(2-step curing or soft-start polymerization method)은 적층 충전법(layering technique)과 함께 임상에서 수축응력을 감소시킬 수 있는 대표적 방법¹²⁾으로 알려져 있다. 이와 아울러 복합레진의 조성 및 광기시 체계(photo-initiating system)의 변화를 통해 수축이 거의 없는 재료의 개발이 동반된다면 복합레진의 사용빈도 및 그 성공률이 한층 높아질 것으로 기대된다.

본 연구의 기본 목적은 2단계 광조사법에 의한 복합레진의 수축감소 효과를 평가해 보고자 한 것이었으나 실제 임상에서의 사용에 도움이 되고자 미세경도 측정을 통하여 중합방법에 따른 재료의 중합도 및 물성에 대한 비교도 함께 시행하였다. 미세경도 측정은 전환률과 중합 깊이를 나타내는 지시자로 자주 사용되는데²⁸⁾ 비교적 간단하고, 재현성이 있으며 파괴적이지 않다는 장점을 가지고 있다²⁹⁾. 이러한 미세경도 측정만으로 재료의 물성 및 중합도를 직접적으로 판단 할 수는 없지만 이것이 다른 기계적 성질들과 상호 연관성을 가지고 있기 때문에 간접적 판단 지표가 될 수 있다³⁰⁾. Asmussen³¹⁾은 일반적으로 높은 미세경도 값은 더 많은 중합이 일어났음을 시사한다고 보고하였고, DeWald와 Ferracane³²⁾은 적절한 중합을 위한 레진의 두께는 중합시 하면의 미세경도 값이 상면의 값의 80-90%이어야 한다고 보고하였다. Leung 등³³⁾은 광중합 후 경과시간에 따른 중합효과를 미세경도의 차이로 비교한 실험에서 복합레진은 중합 후 24시간까지는 지속적으로 중합되었으며 그 이후는 거의 차이가 없었다고 보고한 바 있어 본 실험에서는 이에 근거하여 시편 제작 후 24시간 후에 미세경도를 측정하였다. 미세경도의 측정결과 모든 군에서 상면이 하면보다 높은 경도치를 나타냈으나 모두 하면의 측정치가 상면의 80% 이상을 나타내어 DeWald와 Ferracane³²⁾의 기준을 만족시켰으며, 가장 높은 광도를 사용한 II군에서 전체적으로 높은 측정치를 보이기는 했으나 통계적으로 볼 때 모든 군간에 유의한 차이가 없음이 확인되었다. 따라서 광도의 증가가 바로 중합도의 증가로 연결되지는 않는 것으로 보이며 본 실험에서 사용된 2단계 광조사법은 기존의 통상적 방법과 비교해 볼 때 유사한 물성 및 중합도를 나타낸다고 사료된다.

각 군의 중합에 따른 수축양상을 비교해 보면 모든 군에서 중합 초기 일시적인 재료의 팽창을 나타냈으며 그 후 약 1분간 급격한 수축을 나타낸 후 수축속도가 완만해짐을 볼 수 있었다. 2단계 광조사법을 사용한 III군은 광조사 후 1분간의 수축속도가 다른 군에 비해 완만하게 나타났으며 10분간 전반적으로 낮은 수축률을 나타내었다. 1분과 10분 후의 수축률을 절대적으로 평가함도 의미가 있지만 이러한 수축역학에서의 개선도 2단계 광조사법의 또 다른 장점으로 생각할 수 있다.

본 연구를 통해 중합 수축 측면에서 2단계 광조사법의 우수성을 확인할 수 있었으나 이 결과가 수복물의 변연 적합성 향상 등을 통하여 임상적 성공률의 향상을 가져올 수 있는지는 단정할 수 없으며 앞으로 이에 대한 추가적 연구와 더불어 중합시의

수축응력에 대한 보완 연구와 추가적 임상 연구가 더 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

2단계 광조사법을 사용한 복합레진의 중합시 발생하는 수축양상을 스트레인 게이지법으로 측정해보고, 중합도의 비교를 위해 미세경도를 측정해 본 다음 이 결과를 기존의 광조사법과 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중합수축 양상을 관찰해 본 결과 각 군에서 모두 중합 초기에 일시적인 재료의 팽창을 나타내었고, 그 후 약 1분간은 수축량이 급격히 증가하다가 증가의 폭이 점차 감소하는 양상을 보였다. 전반적으로 2단계 광조사법을 사용한 III군에서 수축률이 낮게 나타났다.
2. 중합 후 1분과 10분에서의 선수축률을 비교해 본 결과 통상적인 광조사법을 사용한 I군, II군에 비해 2단계 광조사법을 사용한 III군에서 유의하게 낮은 수축률을 나타냈다 ($p < 0.05$). I군과 II군간에서는 유의한 차이를 발견할 수 없었다 ($p > 0.05$).
3. 미세경도 측정결과 상면과 하면에서 모두 각 군간에 유의한 차이를 발견할 수 없었다 ($p > 0.05$).
이상의 결과를 종합해 볼 때, 본 실험에서 사용된 2단계 광조사법은 기존의 광조사 방법에 비해 작은 수축률과 유사한 중합도를 나타내는 우수한 방법으로 평가되었다.

참고 문헌

1. Eick JD, Welch FH : Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence International*, 17:103-111, 1986.
2. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL : Curing contraction of composites and glass-ionomer cements. *J Prosthet Dent*, 59:297-300, 1988.
3. Davidson CL, Feilzer AJ : Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent*, 25(6):435-440, 1997.
4. Suliman AH, Boyer DB, Lakes RS : Polymerization shrinkage of composite resins : comparison with tooth deformation. *J Prosthet Dent*, 71(1):7-12, 1994.
5. de Gee AF, Feilzer AJ, Davidson CL : True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composites determined with a linometer. *Dent Mater*, 9(1):11-14, 1993.
6. Cook WD, Forrest M, Goodwin AA : A simple method for the measurement of polymerization

- shrinkage in dental composites. *Dent Mater*, 15(6):447-449, 1999.
7. Bowen RL, Nemoto K, Rapson JE : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues : forces developing in composite materials during hardening. *J Am Dent Assoc*, 106:475-457, 1983.
8. Feilzer AJ, de gee AJ, Davidson CL : Setting stress in composite resin in relation to configuration of restoration. *J Dent Res*, 66:1636-1639, 1987.
9. Davidson CL, de Gee AJ : Relaxation of polymerization contraction stress by flow in dental composites. *J Dent Res*, 63:146-8, 1984.
10. Hegdahl T, Gjerdet NR : Contraction stresses of composite resin filling materials. *Acta Odontol Scand*, 35:185-95, 1977.
11. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB : Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dent*, 10:88-96, 1997.
12. Dauvillier BS, Aarnts MP, Feilzer AJ : Developments in shrinkage control of adhesive restoratives. *J Esthet Dent*, 12(6):291-299, 2000.
13. Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F et al : Polymerization contraction stress of resin composite restorations in a model class I cavity configuration using photoelastic analysis. *J Esthet Dent*, 12:309-319, 2000.
14. Sakaguchi RL, Douglas WH : Strain gauge measurement of polymerization shrinkage. *J Dent Res*, 68:977(abstr. 885), 1989.
15. Yap AUJ, Wang HB, Siow KS et al. : Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites. *Oper Dent*, 25:98-103, 2000.
16. Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunczak MA, et al. : Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *J Dent*, 19:312-316, 1991.
17. Sakaguchi RL, Peters MCRB, Nelson SR, et al. : Effect of polymerization contraction in composite restorations. *J Dent*, 20:178-182, 1992.
18. Ernst C-P, Kurschner R, Rippin G, et al. : Stress reduction in resin-based composites cured with a two-step light-curing unit. *Am J Dent*, 13(2):69-72, 2000.
19. Mehl A, Manhart J, Kremers L, et al. : Physical properties and marginal quality of class II composite fillings after soft-start polymerization. *J Dent Res*,

- 76:279(abstr 2121), 1997.
20. Burgess JO, DeGoes M, Walker R, et al. : An evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. *Pract Periodont Aesthet Dent*, 11(1):125-132, 1999.
 21. Watts DC, al Hindi A : Intrinsic soft-start' polymerization shrinkage-kinetics in an acrylate-based resin-composite. *Dent Mater*, 15(1):39-45, 1999.
 22. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Boyer DB : Effect of stepped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. *J Esthet Dent*, 12(1) :23-32, 2000.
 23. Watts DC, Hindi AA : Intrinsic soft-start polymerization shrinkage-kinetics in an acrylate-based resin composite. *Dent Mater*, 15:39-45, 1999.
 24. Leung R, Fan P, Johnson W : Post-irradiation polymerization of visible light activated composite resin. *J Dent Res*, 62:363-365, 1983.
 25. 이용근, 윤태호, 김철위 : 치과용 심미수복재의 중합수축 및 열팽창에 관한 연구. *대한치과기재학회지*, 27(2):171-179, 2000.
 26. 이용근, 윤태호, 임범순 등 : 광원 및 광조사 방법에 따른 심미충전재의 중합수축. *대한치과기재학회지*, 27(4):317-326, 2000.
 27. Rees JS, Jacobsen PH : The current status of composite materials and adhesive systems. 5. Clinical techniques for direct placement. *Restor Dent*, 6(4):4-7, 1990.
 28. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J*, 35:218-225, 1985.
 29. Lysaght VE, DeBellis A : Hardness testing handbook. first edition. American Chain and Cable Company, USA 76-105, 1969.
 30. Braem M, Finger W, Doren VE, et al. : Mechanical properties and filler fraction of dental composites. *Dent Mater*, 5:346-349, 1989.
 31. Asmussen E : Restorative resins : hardness and strength vs quality of remaining double bonds. *Scand J Dent Res*, 90:484-489, 1982.
 32. DeWald JP, Ferracane JL : A comparison of four modes of evaluation depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res*, 66:727-730, 1982.
 33. Leung RL, Kahn RL , Fan PL : Comparison of depth of polymerization evaluation method for photo-activated composite. *J Dent Res*, 61:300(Abstract # 1095), 1982.

Reprint request to:

Oh-Jin Kwon, D.D.S., M.S.D.

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

San 29, Anseo-Dong, Cheon-An, Choong-Nam, 330-714, Korea

E-mail : pedo@pedo.dankook.ac.kr

Abstract

**A STUDY ON THE POLYMERIZATION SHRINKAGE OF COMPOSITE RESIN
ACCORDING TO VARIOUS LIGHT-CURING METHODS**

Oh-Jin Kwon, Jong-Soo Kim, Soon-Won Kwon

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

The purpose of this study was to evaluate the linear polymerization shrinkage(%) and microhardness of composite resin(Z-100, 3M, USA) according to 2-step light curing method. Conventional light curing unit(Curing Light 2500, 3M, USA) and 2-step light curing unit(Elipar Highlight, ESPE, Germany) were used as light source.

The strain gauge method was used for determination of polymerization shrinkage(%). Samples were divided by 3 groups according to light curing methods (Group I : 450mW/cm², 40sec, Group II : 650mW/cm², 40sec, Group III : 150mW/cm², 10sec & 650mW/cm², 30sec).

Preparations of acrylic molds were followed by filling and curing. Strain gauges attached to each sample were connected to a strainmeter. Measurements were recorded at each second for the total of 10 minutes including the periods of light application.

And microhardness of each group after 24hours from light irradiation were measured.

Obtained data were analyzed statistically using *One-way ANOVA* and/or *Scheffe* test.

The results of the present study can be summarized as follows:

1. Composite resin in acrylic molds showed the initial expansion at the early phase of polymerization. This was followed by the contraction with the rapid increase in volume during the first 60 seconds and gradually diminished as curing process continued.
2. The lowest linear polymerization shrinkage(%) was found in group III followed by group I, II during the measuring periods.
3. Group III using 2-step curing method showed statistically significant reduction of linear polymerization shrinkage(%) compared with group I, II at 1 minute and 10 minutes from light irradiation(p<0.05).
4. The microhardness values of each group not revealed significant difference.

Key words : 2-step curing, Polymerization shrinkage, Strain gauge method, Composite resin