

가변 광도 중합에 따른 복합레진의 중합수축에 관한 연구

임미영¹ · 조경모² · 홍찬의^{1*}

¹단국대학교 치과대학 보존학교실, ²강릉대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

POLYMERIZATION SHRINKAGE OF COMPOSITE RESINS CURED BY VARIABLE LIGHT INTENSITIES

Mi-Young Lim¹, Kyung-Mo Cho², Chan-Ui Hong^{1*}

¹Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry Dankook University,

²Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry Kangnung National University

The purpose of this study was to compare the effect of exponential curing method with conventional curing and soft start curing method on polymerization shrinkage of composite resins.

Three brands of composite resins (Synergy Duo Shade, Z250, Filtek Supreme) and three brands of light curing units (Spectrum 800, Elipar Highlight, Elipar Trilight) were used. 40 seconds curing time was given. The shrinkage was measured using linometer for 90 seconds.

The effect of time on polymerization shrinkage was analysed by one-way ANOVA and the effect of curing modes and materials on polymerization shrinkage at the time of 90s were analysed by two-way ANOVA. The shrinkage ratios at the time of 20s to 90s were taken and analysed the same way. The results were as follows:

1. All the groups except Supreme shrank almost within 20s. Supreme cured by soft start and exponential curing had no further shrinkage after 30s ($p < 0.05$).
2. Statistical analysis revealed that polymerization shrinkage varied among materials ($p = 0.000$) and curing modes ($p = 0.003$). There was no significant interaction between material and curing mode.
3. The groups cured by exponential curing showed the statistically lower polymerization shrinkage at 90s than the groups cured by conventional curing and soft start curing ($p < 0.05$).
4. The initial shrinkage ratios of soft start and exponential curing were statistically lower than conventional curing ($p < 0.05$).

From this study, the use of low initial light intensities may reduce the polymerization rate and, as a result, reduce the stress of polymerization shrinkage. [J Kor Acad Cons Dent 32(1):28-36, 2006]

Key words: Polymerization shrinkage, Light intensities, Soft start, Exponential curing, Linometer, Polymerization rate

- Received 2006.12.4., revised 2006.12.15., accepted 2006.12.28. -

* Corresponding Author: Chan-Ui Hong

Department of Conservative Dentistry
College of Dentistry, Dankook University
7-1 Shinbu-dong, Cheonan, Korea
Tel: 82-41-550-1964 Fax: 82-41-550-1963
E-mail: endohong@hanmail.net

I . 서 론

1960년대 광중합형 복합레진이 치의학에 도입된 후, 그 사용 범위는 점차 커져 가고 있으나, 자가중합 레진에 비하여 중합속도가 빠른 광중합형 복합레진에서는 중합수축과

그로 인한 수축응력이 중요한 문제가 되었다^{1,2)}.

중합수축은 약한 Van der Waals 힘으로 느슨하게 묶여 있던 단량체 분자 사이의 결합이 단일 공유결합의 중합체 (polymer)로 변환되면서, 분자 사이의 거리가 줄어들며 유발된다. 이러한 중합수축은 수복물 주변에 변연 틈새를 만들어 술 후 과민증, 치질파절 및 2차 우식 등을 야기한다. 일반적으로 복합레진의 중합 시 선 수축률은 0.2 - 2 %, 부피 수축은 1.7 - 5.7 %, 이 때 발생하는 응력은 2 - 6 MPa 로 알려져 있다³⁻⁵⁾.

중합수축을 보상하기 위하여 접착강도가 높은 접착 시스템의 사용, 비수축성 복합레진 (non-shrinking composite)의 사용을 추천할 수 있으나, 아직까지 어떤 상아질 접착시스템도 중합 수축에 의한 미세 간극 (contraction gap)을 완전히 보상하지는 못하고 있으며⁶⁾, Stansbury⁷⁾에 의해 팽창이 가능한 spiro-orthocarbonate 단량체를 이용하여 중합수축을 보상하려고 하고 있으나, 아직 상품화되고 있지는 못한 실정이다.

임상적으로 중합수축을 줄일 수 있는 방법으로는 첫째, 탄성계수가 적은 이장재를 사용하는 방법, 두 번째는 적층충진을 통한 C-factor의 조절, 다음으로는 광조사의 광도를 조절하여 중합속도를 조절하는 방법 등을 들 수 있다⁸⁾.

일반적으로 중합률 (degree of conversion)과 중합수축은 관계가 있으며, 단량체의 중합률이 커질수록 수축률이 커진다. 다시 말하면, 중합심도 (curing depth)와 물성 (physical property) 측면에서는 고광도의 중합이 선호되나, 중합수축 응력에 대한 부정적인 측면도 고려하여야 한다는 것이다^{9,10)}. 반대로, 저광도로 중합할 경우에는 광중합 개시제가 적절한 반응을 일으키지는 못한다¹¹⁾. 임상가가 제어할 수 있는 가장 큰 부분이 광중합이므로 이를 잘 활용하면 중합수축을 조절할 수 있다. Versluis 등¹²⁾은 광중합 복합레진의 경우 광원의 세기에 따라 경화시점 (gel point)을 조절할 수 있다고 하였으며, Uno와 Asmussen¹³⁾, Uterblink와 Muessner¹⁴⁾는 중합을 천천히 개시함으로써 변연의 질은 개선시킬 수 있다고 하였다. 따라서, 중합과정 동안 광도를 조절하면서 중합수축 응력을 낮추려는 시도가 이루어지고 있으며 이를 가변광도 중합법이라 한다.

현재 이용되고 있는 가변광도를 이용한 중합법에는 초기에 저광도에서 중합을 시작하여, 고광도로 2단계로 마무리하는 soft start 중합법, 초기 저광도에서 시작하여 고광도로 일정하게 연속적으로 광도가 증가하는 ramping 중합법, 초기 저광도 중합 후, 휴지기를 둔 후, 고광도로 마무리하는 pulse delay 중합법 등이 있다^{13,15,16)}.

Two step 중합법의 목적은 낮은 광도로 1차 광조사 후 경화시점 도달시간을 지연하여 복합레진의 유동성을 증가시키고 2차 광조사를 통하여 기계적 특성을 극대화시키는 것이다. Two step 중합법과 전통적 중합법의 최종 중합수

축률은 차이가 없는 것으로 알려져 있다^{8,17)}. 또한, 전통적 중합법과 pulse delay 중합법의 최종 중합수축률은 유사하나, 중합수축 곡선의 기울기는 pulse delay 중합법이 전통적 중합법보다 완만하므로 응력의 분산이나 완화가 용이하다고 보고된 바 있다¹¹⁾.

기존의 가변광도 중합법에 따른 중합수축의 연구는 주로 soft start와 pulse delay 중합법에 관한 것이었다. 따라서 본 연구에서는 광도를 조절하여 중합속도를 감소시키는 가변광도 중합법 중, ramping 중합법의 일종인 exponential 중합법을 이용하여 two step soft start 중합법 및 전통적 중합법에 의한 중합수축률과 수축양상에 대하여 연구하고자 하였다.

Ⅱ. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

세 가지의 복합레진과 세 가지 광조사 방법을 이용하여, 각 재료별로 세 가지 광조사 방법에 따라 총 9개의 군으로 분류하였다. 재료는 Synergy Duo Shade (Coltene, Switzerland), Filtek Z250 (3M, U.S.A.), Filtek Supreme (3M, U.S.A.) 등 세 가지 전구치 겸용 복합레진의 A3 색상을 사용하였고, 광조사기로는 Spectrum 800 (Dentsply, U.S.A.), Elipar Highlight (3M, U.S.A.), Elipar Trilight (3M, U.S.A.)를 사용하였다. 광조사 방법 중, 전통적 중합법은 Spectrum 800을 이용하여 40초간 800 mW/cm²의 광도로 중합을 하였고, two step soft start 중합법은 Elipar Highlight의 40초 two step mode를 이용하여 200 mW/cm²로 10초 조사 후 800 mW/cm²로 30초간 중합하는 방법을, exponential 중합법은 Elipar Trilight의 40초 exponential mode를 사용하여 150 mW/cm²에서 800 mW/cm²로 15초간 광도가 증가하여 25초 동안 800 mW/cm² 광도로 중합하는 방법을 이용하였다. 총 중합시간은 40초로 일정하게 유지하였다.

중합수축률의 측정은 Linometer (R&B Co., Daejeon, Korea)를 이용하였다.

2. 중합 수축률 측정

de Gee 등³⁾이 고안한 방법에 의거하여 제작된 Linometer (R&B Co., Daejeon, Korea)를 사용하여, 각 광조사 시간에 따른 복합레진 시편의 선형 중합수축률을 실시간으로 측정하였다. 비접촉식의 displacement transducer가 알루미늄 디스크의 변위를 계측함으로써 중합수축률을 측정하는 것이다. 얇은 알루미늄 디스크를 sensor 위에 놓고, 그 상방에 복합레진을 올려놓고, slide glass로 덮었다.

Linometer의 모식도는 Figure 1과 같다.

각 복합레진을 mold를 이용하여 일정량 유지한 후, linometer의 aluminum disc에 옮긴 다음, slide glass로 덮었다. 이 때, aluminum disc와 slide glass 사이의 거리는 1.6 mm, 지름은 5.5 mm로 유지하였다. 복합레진이 aluminum disc와 slide glass에 접착하지 않도록 vaseline을 얇게 도포하였다.

각 재료별로 세 가지 광조사 방법에 따라 중합하였다. 이 때, 광조사기의 조사단과 시편 사이의 거리는 2 mm로 일정하게 유지하였다. 90초간의 선형 수축률을 0.5초 간격으로 측정하였다. 각각의 재료를 세 가지의 중합 방법을 통하여 10회씩 측정하였다.

3. 통계 분석

측정치 중 5초 간격의 수축률을 선형 중합수축률(Lin %)로 아래와 같은 공식을 통해 변환하였다.

$$\text{Lin \%} = \frac{dL}{(L+dL)} \times 100 \%$$

L: 중합 후 복합레진의 두께, dL: 중합 수축률

SPSS 10.0 프로그램을 이용하여 재료별로 각 중합 방법별 시간에 따른 중합수축률을 one-way ANOVA test로 분석하여, 최종 중합수축률에 도달하는 시간을 산출하였다. 다음으로 90초 후, 최종 선형 중합수축률을 two-way ANOVA test를 이용하여 재료, 광조사 방법, 재료 및 광조사 방법의 상호작용이 중합수축에 미치는 영향이 있는지를 검증하였다. 또한 90초까지의 선형 중합수축률에 대한 20초까지의 선형 중합수축률의 비를 two-way ANOVA로 비교하고, 각각의 통계치를 95% Scheffe test로 검증하였다.

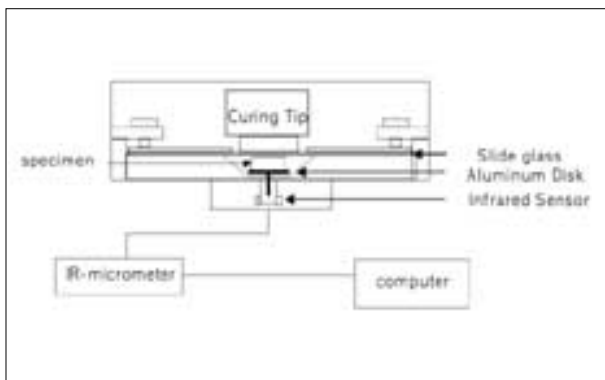


Figure 1. Diagram of linometer.

III. 연구 결과

1. 시간에 따른 중합 수축률

시간에 따른 복합 레진의 중합수축 측정 결과, 모든 군에서 5초 간격의 선형 중합수축률이 대략 20초까지 급격한 변화를 보였고, Supreme에서는 약 40초까지 급격한 수축률 증가를 보였다.

Figure 2는 Synergy Duo Shade의 광조사 방법에 따른 5초 간격의 선형 중합수축률 그래프이다. 전통적 중합법 군에서 가장 큰 최종 수축률을 보였으며, 가장 빠른 수축을 보였다. Figure 3은 Z250의 선형 중합수축률의 그래프로, exponential 중합한 경우에 가장 적은 수축률을 보였다. Supreme의 경우, two step 중합한 군에서는 35초, exponential 중합 군에서는 30초에 더 이상 유의한 수축률의 증가가 없는 지점에 도달하여, 다른 재료 군에서 보다 늦게 최종 수축에 도달하는 것을 볼 수 있었다. Supreme의 선형 중합수축률의 그래프는 Figure 4와 같다.

2. 90초까지의 선형 중합 수축률

각 재료의 광조사 방법에 따른 90초까지의 선형 중합수축률은 Table 1과 같다. 90초 후 선형 중합수축률을 two-way ANOVA로 재료 및 광조사 방법, 그리고 이의 상호작용이 미치는 영향을 평가하였다. 재료와 광조사 방법에 따른 선형 중합수축률은 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였고 ($p < 0.01$, Table 2), 재료 및 광조사 방법 사이의 상호작용은 영향을 끼치지 않았다. 이에 재료 및 광조사 방법에 따른 선형 중합수축률을 95% Scheffe test로 사후 비교 분석을 실시하고, 수축률에 따라 동일 소집단으로 분류하였다 (Table 3). 재료별로는 Supreme이 가장 적은 수축률을 나

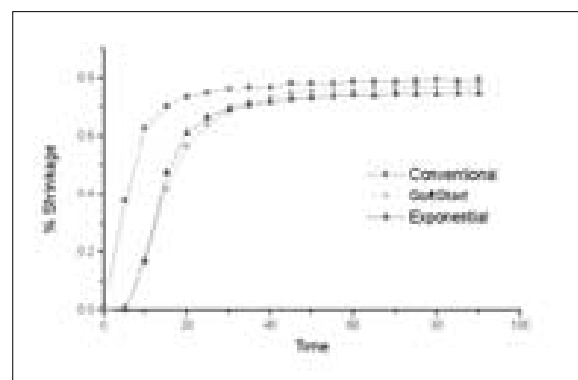


Figure 2. Linear polymerization shrinkage of Synergy Duo Shade.

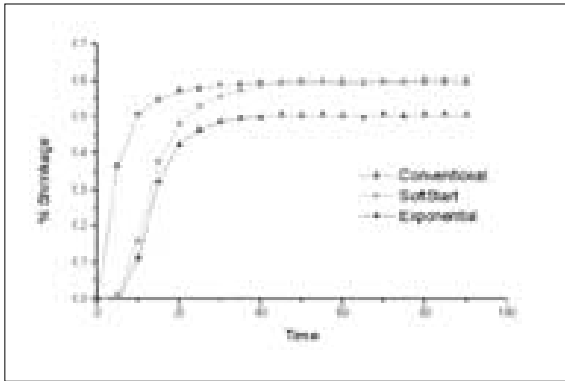


Figure 3. Linear polymerization shrinkage of Filtek Z250.

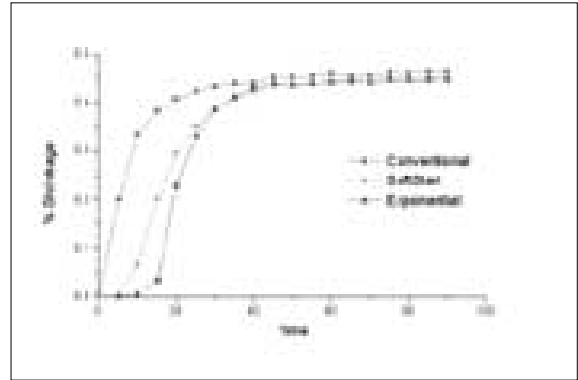


Figure 4. Linear polymerization shrinkage of Filtek Supreme.

Table 1. Linear polymerization shrinkage after 90 seconds with various curing modes (%)

Material	Curing Mode	Mean	S.D	N
Synergy Duo	Conventional curing	0.80	9.89E-02	10
	Two step curing	0.77	4.40E-02	10
	Exponential curing	0.74	9.68E-02	10
Filtek Supreme	Conventional curing	0.46	4.76E-02	10
	Two step curing	0.45	1.75E-02	10
	Exponential curing	0.45	3.93E-02	10
Filtek Z250	Conventional curing	0.60	6.94E-02	10
	Two step curing	0.61	5.48E-02	10
	Exponential curing	0.51	3.64E-02	10

Table 2. Two-factor analysis of variance for linear shrinkage at 90 seconds

Source	Sum of square	DF	Mean square	F	p
Material	1.554	2	0.777	203.535	0.000
Light curing mode	4.73E-02	2	2.36E-02	6.189	0.003
Material*Light curing mode	2.80E-02	4	7.00E-03	1.833	0.130
Error	0.309	81	3.82E-03		
Total	34.069	89			

타내었고, 다음으로 Z250, Synergy Duo Shade의 순서로 수축률이 증가하였다. 광조사 방법별로는 exponential 중합법에서 유의성 있게 낮은 선형 중합수축을 보였으며, two step 중합법과 전통적 중합법은 two step 중합법에서 더 적은 수축률을 보이기는 하지만, 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

3. 초기 20초간의 중합 수축률

Table 4는 90초에서의 수축률에 대한 20초에서의 수축률의 비율이다. 모든 군에서 전통적 중합법으로 중합하였을 때, 20초 이전의 초기 수축률이 가장 큰 것을 알 수 있다. Table 5는 초기 20초간의 중합수축 비율의 분산분석 결과

Table 3. Homogeneous subsets of materials and curing modes at 90 seconds

Material	No. of samples	Subset for alpha=0.05		
		1	2	3
Filtek Supreme	30	0.45		
Filtek Z250	30		0.57	
Synergy Duo	30			0.77
Sig.		1.00	1.00	1.00

Curing Mode	No. of samples	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Exponential curing	30	0.57	
Two step curing	30		0.61
Conventional curing	30		0.62
Sig.		1.00	0.88

Table 4. Linear polymerization shrinkage (%) at 20s and 90s and their ratio (%) (S.D)

Mat. Time	Synergy Duo Shade			Filtek Z250			Filtek Supreme		
	Spectrum	Highlight	Trilight	Spectrum	Highlight	Trilight	Spectrum	Highlight	Trilight
20s	0.73	0.56	0.61	0.57	0.48	0.42	0.41	0.29	0.23
	(.10)	(.09)	(.11)	(.07)	(.07)	(.03)	(.04)	(.03)	(.04)
90s	0.80	0.77	0.74	0.60	0.61	0.51	0.46	0.45	0.45
	(.10)	(.05)	(.10)	(.07)	(.05)	(.04)	(.05)	(.02)	(.04)
Ratio (%)	92.2	72.8	81.6	96.0	79.3	84.2	88.0	65.3	51.0
	(4.19)	(10.22)	(5.53)	(3.6)	(8.77)	(3.11)	(3.82)	(4.89)	(4.62)

Table 5. Two-factor analysis of variance for initial shrinkage ratios

Source	Sum of squares	DF	Mean square	F	p
Material	5559.625	2	2779.812	80.211	0.000
Light curing mode	7744.105	2	3872.053	111.727	0.000
Material*Light curing mode	2556.496	4	639.124	18.442	0.000
Error	2807.162	81	34.656		
Total	579348.780	89			

로, 재료 및 광조사 방법 모두 유의성 있는 영향을 끼쳤으며, 재료와 광조사 방법 상호간의 작용도 유의성 있는 영향이 있었다. 20초까지의 초기 수축률을 동일 집단으로 분류하였을 때 (Table 6), 전통적 중합법에서 가장 높이 나타났으며, two step 중합법과 exponential 중합법은 비슷한 정

도의 중합수축률을 나타내었다. 즉, 전통적 중합법은 가장 빠른 시간에 중합이 이루어짐을 알 수 있다. 초기 중합수축률을 재료에 따라 동일 집단으로 분류하였을 때, 90초 때와는 달리 Z250이 가장 큰 초기 수축률을 보였으며, 다음으로 Synergy Duo Shade, Supreme 순서로 분류되었다.

Table 6. Homogeneous subsets of materials and curing modes of initial shrinkage ratios

Material	No. of samples	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Filtek Supreme	30	68.09		
Synergy Duo	30		82.20	
Filtek Z250	30			86.49
Sig.		1.00	1.00	1.00

Curing Mode	No. of samples	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Exponential curing	30	72.26	
Two step curing	30	72.47	
Conventional curing	30		92.05
Sig.		0.99	1.00

IV. 총괄 및 고안

중합수축을 측정하는 방법은 다양하며, 그 측정방법에 따라서 결과도 달라질 수 있다¹⁸⁾. Mercury dilatometer¹⁹⁾, water dilatometer^{20,21)}, linear displacement transducer²²⁾ 등으로 중합수축을 측정하려는 시도가 있었지만, mercury dilatometer는 수은이 주변의 온도변화에 민감하다는 단점이 있으며, 수은 자체의 위험성도 제기되고 있고¹⁴⁾, water dilatometer 또한 온도변화에 민감하며, 수분흡수에 따라 결과가 달라지는 등 사용이 까다롭고 민감하다. Grajower와 Guleman²²⁾은 linear displacement transducer로 시편에 직접 접촉하여 선 수축을 측정하는 장치를 이용하여 글래스 아이오노머의 수축을 측정하기도 하였으나, 이 또한 중력이나 기구의 하중에 영향을 받는 등 편차가 발생할 수 있다.

de Gee 등³⁾에 의한 linometer는 비접촉식 장치로, 여러 종류의 길이측정 센서를 이용하여 시편 내 선형 중합수축을 측정하는 방법이다. 이 방법은 두 평판 사이에서 중합되는 기하학적 한계 때문에 절대적인 중합 부피의 측정에는 한계가 있지만, 재료간의 상대적인 비교를 위해서는 비교적 간단하고 정확한 방법으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 디스크와 시편 사이의 응력을 일정하게 조절하기 위하여 mold를 이용하여 항상 동일 양을 시적하였고, 동일한 조건으로 분리제를 도포하였다. Linometer에 적용시킬 재료의 양을 알아보기 위하여, 직경 3 - 8 mm, 두께를 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm로 하여 선 수축률을 측정한 결과, 이 범위에서 두께와 직경이 중합수축률에 미치는 영향이 없다고 보고³⁾ 된 바 있어 본 실험에서는 직경을 5.5 mm, 두께를 1.6 mm로 유지

하였다.

광중합형 복합레진에 있어서 초기 중합수축이 60초까지 일어난다는 보고²³⁾와 90초까지의 중합수축이 장시간의 중합수축 값과 유사하다는 보고²⁴⁾에 따라 본 실험에서는 90초까지의 중합수축률을 측정하였다.

중합수축 응력발생에 영향을 주는 요인으로는 중합수축의 양, 속도, 복합레진의 탄성력, 초기의 흐름성 등이 있으며⁶⁾, 이는 복합레진의 조성, 와동의 형태, 광중합기의 광에너지 등의 영향을 받는다^{13,14,25)}. 이러한 응력을 보상하는 방법으로는, 낮은 탄성계수의 접착제 사용, 유동성 복합레진(flowable composite)의 사용, 와동의 형태조절, 그리고 광조사 과정의 조절 등이 있다²⁶⁻²⁸⁾. 본 실험에서는 이 중에서 광도조절을 통하여 수축응력을 분산하는 방법에 대하여 연구하고자 하였다.

Uno와 Asmussen¹³⁾은 soft start 중합법이 전통적 중합법에 비하여 변연 틈이 작아지고 변연의 적합도가 증진된다고 하였다. Koran과 Kurschner²⁹⁾에 의하면 soft start가 전통적 중합에 비하여 나은 접착을 가능하게는 하지만, 수축률에서는 차이를 보이지 않는다고 하였으며, Yap 등¹⁷⁾도 전통적 중합과 soft start가 비슷한 수축률을 보인다고 하였다. 결과적으로 soft start 중합법은 변연 적합성의 증진은 가져오지만, 수축률은 큰 차이가 없는 것으로 보고되고 있다.

Goracci 등¹⁵⁾은 ramping 중합이 중합수축 응력을 줄여 상아질에 대한 복합레진의 적합도를 증가시킨다고 하였고, Dennison 등⁶⁾은 3단계의 점층 ramping 중합법이 통법의 중합에 비하여 중합깊이의 차이가 없이 수축률을 크게 줄일 수 있다고 하였다.

본 실험의 결과는 de Gee 등³⁾에 의한 linometer로 측정 한 복합레진의 선형 중합수축률인 0.52 - 0.99 % 범위에 있었지만, 이는 와동 내에 충전하는 경우에는 또 다른 수치를 나타낼 수도 있을 것이다. 전통적 중합법 군과 two step 중합한 군의 90초 후 선형 중합수축률은 유의성 있는 차이가 없었으며, exponential 중합을 한 경우에는 두 군에 비하여 유의성 있게 중합수축률이 적었다. 이는 중합수축률이 중합광의 광도 자체보다는 전체 광 에너지의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 생각할 수 있으며, 동일 정도의 광 에너지를 조사하는 조건에서 낮은 광도로 장시간 조사하거나 다양한 광도의 광원을 순차 적용할 수 있다는 것을 의미한다.^{8,29)}

대부분의 중합수축은 광 조사방법에 상관없이 20초 이내에 이루어지고, 이 양은 대략 전체 중합수축률의 80 % 정도인 것으로 알려져 있다⁶⁾. 이에 따라 중합 초기 20초가 중합수축 응력 발생의 가장 중요한 시간이라고도 할 수 있다. 본 실험에서도 광조사 방법에 상관없이 대부분의 중합수축이 초기 20초에 이루어졌다. 그러나 그 초기 수축률의 전체 중합수축률에 대한 비율은 전통적 중합법에서 다른 두 가지 가변광도 중합법에 비하여 더 크게 나왔다. 즉, 가변광도 중합에서 초기 중합 속도가 느리다는 것을 의미한다. 이는 Bouschlicher와 Reggeberg³⁰⁾에 의한 exponential 중합법에서 중합수축 속도가 유의성 있게 낮다는 보고와 일치한다. 또한, Kinomoto 등³¹⁾에 의한 광탄성법으로 복합레진의 중합수축에 따른 응력분포를 평가한 결과 중합속도가 발생하는 응력에 가장 큰 영향을 끼친다는 보고에 따라 conventional 중합법이 다른 두 가지 가변광도 중합 군에 비하여 발생응력이 크다고 예상할 수 있으며, 윤 등¹¹⁾은 전통적 중합법과 pulse delay 중합법의 최종 중합수축률은 유사하나, 중합수축 곡선의 기울기는 pulse delay 중합법이 전통적 중합법 보다 완만하므로 응력의 분산이나 완화가 용이하다고 보고한 바 있다. 즉, 두 가지 가변광도 중합법이 중합수축 속도를 낮추어 수축응력의 감소를 나타내었다고 할 수 있으나, 최종 중합수축률에 있어서는 총 에너지가 영향을 주어 exponential 중합법만 다른 수축률을 보이는 것이라 할 수 있다.

그러나, 실질적으로 수축률 자체가 수축응력을 의미하지는 않는다고 알려져 있다^{26,31)}. 수축률과 탄성률의 상호관계가 중합수축응력을 야기하므로, 수축률과 더불어 탄성률의 의미도 중요하다. 따라서, 중합수축 응력을 최소화하기 위해서는 가능한 중합수축률이 적고 탄성계수가 낮은 복합레진을 사용해야 한다. 혼합형 복합레진은 중합수축률은 적으나, 탄성계수가 커서 응력이 커진다. 반면, 미세 입자형 복합레진은 중합수축률과 탄성계수가 모두 작기 때문에 응력이 작다⁸⁾. 그 외, 중합수축에 영향을 미치는 다른 요인으로 는 단량체의 분자량, 필러의 양 등이 있다³²⁾.

본 실험에서 사용한 Synergy Duo Shade와 Filtek Z250은 미세 혼합형 복합레진으로 기존 복합레진의 Bis-GMA를 Bis-EMA로 일부 대체하여 분자의 운동성(molecular mobility)을 증가시켰으며, 또한 Z250은 TEGDMA를 분자량이 큰 UDMA로 교체하여 단량체의 분자량을 늘려 수축률을 감소시켰다. Filtek Supreme은 nanofiller composite으로 Z250과 같은 resin system을 가지고, 기존의 0.6 μ m 크기의 필러를 가진 미세 혼합형 복합레진에 비하여 훨씬 작은 20 nm nanosilica filler 및 zirconium/silica nanocluster를 지니 필러의 운동성과 함량을 증가시키고 물리적 성질을 개선한 재료로 초기 중합수축을 측정한 본 실험에서는 가장 느리고 적은 수축양태를 보였다. 재료에 따른 이러한 차이는 모든 광조사 방법에서 일관적으로 나타났으며, 이의 영향은 광조사 방법의 최종 선형 중합수축률에의 영향보다 크게 나타났다. 또한, 초기 수축률은 Z250에서 가장 높게 나타났으나, 최종 수축률은 Synergy Duo Shade 보다 적었다. 이는 Z250의 초기 중합속도가 빠르기 때문인 것으로 사료된다.

임상적으로는 중합시의 수축률 보다는 오히려 수축응력이 더 중요한 의미를 지닌다. 수축률이 큰 것이 반드시 응력이 크다는 것을 의미하지는 않으므로²³⁾, 중합수축률에 의한 간접적 비교보다는 직접적인 중합수축 응력측정을 위한 연구가 필요할 것이다. 또한 본 실험에서는 초기 수축률만을 대상으로 하였으므로 더 장시간의 수축양상에 대한 고찰도 필요하리라 사료되며, 광조사 방법에 따른 중합수축률과 더불어 광에너지 차이에 따른 물리적 성질에 대한 고찰도 동반되어야 하리라 사료된다.

V. 결 론

전통적 중합법과 두 가지 가변광도 중합을 이용한 복합레진의 중합수축을 linometer를 이용하여 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Supreme을 제외한 다른 군에서는 재료 및 광조사 방법에 관계없이 대부분의 중합 수축이 광조사 후 20초 이내에 이루어졌다 ($p < 0.05$).
2. 90초 후, 최종 중합수축률은 재료 ($p = 0.000$)와 광조사 방법 ($p = 0.003$) 모두 유의성 있는 영향을 끼쳤으나, 재료의 영향이 더 컸으며, 재료와 광조사 방법 상호간의 작용은 영향이 없었다.
3. 90초 후 최종 중합수축률은 총 광에너지가 가장 낮은 exponential 중합법에서 유의성 있게 낮았다 ($p < 0.05$).
4. 20초까지의 초기 수축률은 soft start와 exponential 중합법 등 가변광도 중합이 conventional 중합법에 비하여 유의성 있게 낮은 수축률을 보였다 ($p < 0.05$).

본 실험 결과를 토대로 볼 때, 가변광도 중합법은 초기 중합수축 속도를 감소 시켜 수축응력을 감소시킨다고 볼 수 있다. 그러나 총 조사 광에너지의 차이로 인해, 그 물리적 성질에 영향이 있을 수 있으므로 이에 대한 더 많은 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Sakaguchi RL, Peters MCRB, Nelson SR, Douglas W, Poort HW. Effects of polymerization contraction in composite restorations. *J Dent* 20:178-182, 1992.
2. Attin T, Buchalla W, Kielbassa AM, Helwig E. Curing shrinkage and volumetric changes of resin modified glass ionomer restorative materials. *Dent Mater* 11:359-389, 1995.
3. de Gee AJ, Feilzer AJ, Davidson CL. True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composite determined with a linometer. *Dent Mater* 9:11-14, 1993.
4. Venhoven BA, de Gee AJ, and Davidson CL. Polymerization contraction and conversion of light curing Bis-GMA based methacrylate resins. *Biomater* 14:871-75, 1993.
5. Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 25:435-440, 1997.
6. Dennison JB, Yaman P, Seir R, Hamilton JC. Effects of variable light intensity on composite shrinkage. *J Prosthet Dent* 84:499-505, 2000.
7. Stansbury JW. Synthesis and evaluation of new oxaspiro monomers for double ring opening polymerization. *J Dent Res* 71:1408-1412, 1992.
8. Lim BS, Lee YG, Kim CW. Polymerization shrinkage stress. *J Korean Res Soc Dent Mater* 28(2):81-94, 2001.
9. Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater* 16(4):292-296, 2000.
10. Lim BS, Ferracane JL, Sakaguchi RL, Codon JR. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two step light activation. *Dent Mater* 18:436-444, 2002.
11. Yoon TH, Lee YG, Lim BS, Kim CW. Effect of irradiation method on the polymerization shrinkage of dental esthetic restorative materials. *J Korean Res Soc Dent Mater* 27(4):307-315, 2000.
12. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Do dental composites always shrink toward the light? *J Dent Res* 77:1435-1445, 1998.
13. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res* 99:440-444, 1991.
14. Uterbrink GL, Muessner R. Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 23:183-189, 1995.
15. Goracci G, Mori G, de' Martinis LG. Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations. *Quint Int* 27:355-362, 1996.
16. Kanca J, Suh BI. Pulse activation : Reducing resin based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *Am J Dent* 12:107-112, 1999.
17. Yap AUJ, Soh MS, Siow KS. Post gel shrinkage with pulse activation and soft start polymerization. *Operative Dent* 27:81-7, 2002.
18. Lee YG, Yoon TH, Kim CW. A Study on the polymerization shrinkage and thermal expansion of dental esthetic restorative materials. *J Korean Res Soc Dent Mater* 27(2):171-179, 2000.
19. Iga M, Takeshige F, Ui T, Torii M, Tsuchitani Y. The relationship between polymerization shrinkage and the inorganic filler content of light cured composites. *Dent Mater J* 10:38-45, 1991.
20. Bandyopadhyay S. A study of the volumetric setting shrinkage of some dental materials. *J Biomed Mat Res* 16:135-144, 1982.
21. Hay JN, Shortall AC. Polymerization contraction and reaction kinetics of three chemically activated restorative resins. *J Dent* 16:172-176, 1988.
22. Grajower R, Guleman M. Dimensional changes during setting of a glass ionomer filling material. *Quint Int* 20:505-511, 1989.
23. Dauviller B, Aarnts M, Feilzer AJ. Developments in shrinkage control of adhesive restoratives. *J Esthet Dent* 12:291-299, 2000.
24. Park SH, Krejci I, Lutz F. Consistency in the amount of linear polymerization shrinkage in syringe type composites. *Dent Mater* 15:442-446, 1999.
25. 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.
26. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 6:167-171, 1990.
27. Dauviller BS, Aarnts MP, Feilzer AJ. Developments in shrinkage control of adhesive restorations. *J Esthet Dent* 11:291-299, 2000.
28. Davidson CL, Davidson-Kaban SS. Handling of mechanical stresses in composite restorations. *Dent update* 25:274-279, 1998.
29. Koran P, Kurschner R. Effect of sequential versus continuous irradiation of a light cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. *Am. J Dent* 11(1):17-22, 1998.
30. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA. Effect of ramped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. *J Esthet Dent* 12:328-339, 2000.
31. Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F, Ebisu S. Comparison of polymerization contraction stresses between self and light curing composites. *J Dent* 27:383-389, 1999.
32. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry : the monomer systems. *Eur J Oral Sci* 105:97-116, 1997.

국문초록

가변 광도 중합에 따른 복합레진의 중합수축에 관한 연구

임미영¹ · 조경모² · 홍찬의^{1*}

¹단국대학교 치과대학 보존학교실, ²강릉대학교 치과대학 치과보존학교실

본 연구는 광중합형 복합레진 중합 시 기존의 중합법과 가변광도 중합형인 soft start 중합법 및 exponential 중합법의 중합수축효과를 비교하고자 하였다.

본 연구를 위해 3종의 복합레진 (Synergy Duo Shade, Z250, Filtek Supreme) 및 3종의 광조사기 (Spectrum 800, Elipar Highlight, Elipar Trilight)를 사용하였다. 총 중합시간은 40초로 일정하게 유지하였으며, 선형 중합수축률의 측정은 linometer를 이용하였으며, 90초간의 선형 수축률을 0.5초 간격으로 측정하였다.

재료별로 각 중합 방법별 시간에 따른 중합수축률을 one-way ANOVA test로 분석하여 최종 중합수축률에 도달하는 시간을 산출하였고, 90초 후 최종 선형 중합수축률을 two-way ANOVA test를 이용하여 재료, 광조사 방법, 재료 및 광조사 방법의 교호작용이 중합수축에 미치는 영향이 있는지를 검증하였다. 또한 90초까지의 선형 중합수축률에 대한 20초까지의 선형 중합수축률의 비를 two-way ANOVA로 비교하고, 각각의 통계치를 95% Scheffe test로 검증하였는 바, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Supreme을 제외한 다른 군에서는 재료 및 광조사 방법에 관계없이 대부분의 중합 수축이 광조사 후 20초 이내에 이루어졌다 ($p < 0.05$).
2. 90초 후, 최종 중합수축률은 재료 ($p = 0.000$)와 광조사 방법 ($p = 0.003$) 모두 유의성 있는 영향을 끼쳤으나, 재료와 광조사 방법 상호간의 작용은 영향이 없었다.
3. 90초 후 최종 중합수축률은 총 광에너지가 가장 낮은 exponential 중합법에서 유의성 있게 낮았다 ($p < 0.05$).
4. 20초까지의 초기 수축률은 soft start와 exponential 중합법 등 가변광도 중합이 conventional 중합법에 비하여 유의성 있게 낮은 수축률을 보였다 ($p < 0.05$).

본 실험 결과만을 토대로 볼 때, 가변광도 중합법은 초기 중합수축 속도를 감소시켜 수축응력을 감소시킨다고 볼 수 있다. 그러나 총 조사 광에너지의 차이로 인해 그 물리적 성질에 영향이 있을 수 있으므로 향후 이에 대한 더 많은 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

주요어: 중합수축, 광도, Soft start 중합법, Exponential 중합법, Linometer, 중합률