

적층충전법이 복합레진의 중합수축에 미치는 영향

김효석 · 이난영 · 이상호 · 오유향

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

본 연구는 복합레진 중합 시 발생하는 중합수축이 C-factor에 의해 어떻게 영향 받는지 그리고 적층충전이 중합수축에 어떻게 영향을 미치는지 알아보고자 시행되었다. 세 가지 다른 깊이의 시편을 비교하였으며, 충전방법에 따른 비교를 위해 5가지 다른 충전방법에 따른 수축응력을 스트레인 게이지(Strain gauge)를 사용하여 측정하였다.

이상의 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 와동깊이에 따른 수축응력을 측정한 결과 2mm와 3mm 시편에서는 80초 후 수축응력이 $2.18 \pm 0.23\text{MPa}$ 와 $2.38 \pm 0.07\text{MPa}$ 로 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).
2. 4mm 시편에서 80초 후 수축응력은 $1.99 \pm 0.24\text{MPa}$ 로 가장 낮은 수축응력을 보였다 ($P < 0.05$).
3. 중합정도를 확인하기 위한 미세경도 실험결과 2mm와 3mm 시편에서는 상면과 하면의 미세경도 차이가 20% 내외로 양호한 중합상태를 보여주었으나, 4mm 시편에서는 상면과 하면의 미세경도가 현저한 차이를 보여 불완전한 중합이 이루어졌음을 알 수 있었다($P < 0.05$).
4. 충전방식에 따른 수축력의 차이를 비교한 결과 flowable resin을 이장하고 bulk로 충전한 제 5군에서 가장 낮은 수축응력을 보였으며, 제 1군(bulk충전)과 4군(oblique 적층충전)이 유사한 정도의 수축응력을 보였고, horizontal과 vertical하게 적층충전한 제 2군과 3군에서 가장 큰 수축응력이 관찰되었다($P < 0.05$).

주요어 : 복합레진, 중합수축, 적층충전, C-factor

I. 서 론

치아의 수복 시 심미성에 대한 환자의 관심이 증가됨에 따라 복합레진과 접착기술은 현대 치의학의 관심사로 대두되고 있으며 오늘날 치의학에서 가장 많이 연구되고 있는 분야이다. 이러한 복합레진은 중합이라고 하는 화학 과정을 통해 경화되는데 중합은 레진 단량체가 중합 사슬이 공유결합에 의해 서로 연결

된 망상체로 전환되는 반복적인 분자 간 반응이다^{1,2)}. 이 과정에서 Van der Waals 힘에 의해 유지되고 있던 분자 간 간격이 감소되므로 불가피하게 중합수축이 발생하게 되며 이러한 중합수축은 복합레진의 심미성의 증가, 물리적 성질의 개선, 새로운 접착재료의 개발 등에도 불구하고 여전히 이상적인 수복재로 가는데 있어 걸림돌이 되고 있다.

중합수축은 adhesive failure라고 하는 레진-치아 계면의 접착실패를 초래할 수 있으며 이로 인해 미세누출과 이차우식, 수복물의 미세균열이 초래될 수 있다^{3,4)}. 또한 중합수축은 치질에 수축응력을 발생시켜 미세한 치아변형을 야기하게 되는데 이와 같이 치아교두 사이의 거리가 좁아지는 현상은 술 후 과민증과 법랑질 미세균열의 원인이 된다⁵⁾. 완전히 성숙된 복합레진은 수분흡수를 통해 장기간에 걸쳐 서서히 이 응력을 일부 완화시키는 것으로 알려져 있으나⁶⁾ 술 후 과민증과 같은 대부분의 임상

교신저자 : 이 난 영

광주광역시 동구 서석동 375번지
조선대학교 치과대학 소아치과학교실
Tel : 062-220-3860
E-mail : nandent@chosun.ac.kr

※ 이 논문은 2004년도 조선대학교 학술연구비의 지원에 의해 연구되었음.

적인 문제들은 충전 후 즉각적으로 발생되므로 충전 시 발생하는 수축응력을 최소화하는 것이 수복의 성공을 위해 중요하다.

복합레진의 중합수축은 일반적으로 체적의 1-3% 정도에서 발생하는데^{7,8)} 이 같은 중합수축에 따라 치아에 발생하는 응력은 전체적인 수복물의 부피와 와동의 형태에 의해 달라진다. 1987년 Feilzer 등¹⁾은 치아와동에 있어 복합레진과 결합한 면에 대한 결합하지 않은 면의 비율인 C-factor의 개념을 소개한 바 있으며 이 C-factor가 클수록 와동주위에 많은 응력이 발생한다고 하였고 충전방법을 변형시켜 C-factor를 줄임으로서 중합수축을 줄이는 방법에 대해 보고하였다. 이 이외에도 중합수축을 줄이고자 하는 시도로 레진재료 자체에서 filler의 크기나 양을 변화시키거나^{9,10)} soft start와 같은 광조사 방법의 변형¹¹⁻¹³⁾, flowable 레진의 이용¹⁴⁾ 등이 있었으며 최근에는 중합시 수축이 덜 발생하는 새로운 단량체의 개발¹⁵⁾ 또한 시도되고 있다. 이중 적층충전법(incremental placement technique)은 그동안 중합수축을 줄이는 방법 중 하나로 잘 알려져 있다. 적층충전은 하나의 와동을 여러번 나누어 충전 및 중합하는 방법으로 중합 동안 와동벽과의 접촉을 줄이고 한번에 더 적은 양을 중합함으로써 수축을 줄이고자 하는 방법이다. 그러나 최근에는 적층충전이 항상 미세누출을 줄이거나 응력을 완화시키는 것은 아니라는 보고가 있어 연구자간 논란이¹⁶⁻¹⁸⁾ 있으며 특히 한번 중합으로 완전한 중합이 가능한 얇은 깊이의 와동에서는 더욱 그러할 수 있다.

중합수축에 대한 연구는 주로 미세누출과 연관된 변연접합성¹⁹⁾, bond strength에 대해 간접적으로 접근하는 방법, 그리고 중합수축량이나 수축응력을 직접 측정하는 방법 등이 있는데 이러한 방법으로는 현재까지 dilatometer나 tensiometer²⁰⁾, 또는 linometer를 이용하는 방법²¹⁾, 광탄성법^{12,22)}, 유한요소분석법²³⁾, 그리고 스트레인 게이지(Strain guage)를 이용하는 방법^{24,25)} 등이 보고되고 있다. 본 연구에서는 1991년 Sakaguch 등²⁵⁾에 의해 소개된 스트레인 게이지를 이용하여 복합레진의 중합수축을 측정하였다.

본 연구에서는 복합레진 중합 시 발생하는 중합수축이 C-factor에 의해 어떻게 영향 받는지 알아보고자 세 가지 다른 C-factor를 비교하였으며 깊이에 따른 중합의 정도를 미세경도를 측정하여 확인하였다. 그리고 같은 조건하에서 적층충전이 중합수축을 줄이는데 도움이 되는지를 알아보고자 5가지 다른 충전방법에 따른 수축정도를 스트레인 게이지를 사용하여 측정 및 비교 분석하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

복합레진으로는 광중합형 혼성(hybrid)형인 Z250(3M-ESPE, USA) A3 shade를 사용하였으며 아크릴릭 주형 내면과 복합레진을 접착하기 위해 레진접착제인 Single Bond와 Filtek flow(3M-ESPE, USA)가 사용되었다. 복합레진의 중합은 플라즈마 광조사기인 Flipo®(LOKKI, France)를 이용하였으며 조사강도는 1040mW/cm²이었다.

수축응력을 측정하기 위한 스트레인 게이지로는 TML foil strain guage®(SOKKI, Japan)를 사용하였고, 발생한 응력은 TML Datalogger(TDS-102, SOKKI, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2. 실험방법

2-1. 실험 I : 와동 깊이에 따른 수축응력과 미세경도 측정

1) 수축응력 측정

(1) 충전용 시편 제작

내경 7mm, 외경 10mm의 아크릴릭 관을 각각 2mm, 3mm, 4mm의 높이로 잘라 제작하였다. 내면을 상부 1mm를

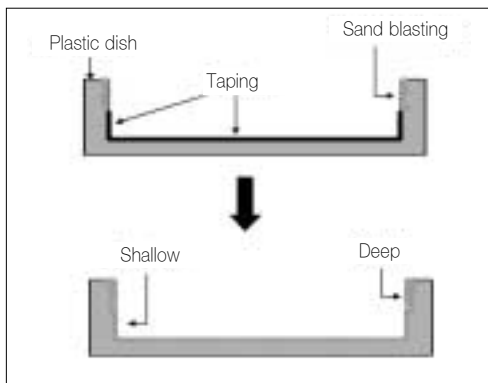


Fig. 1. Two step sandblasting of samples

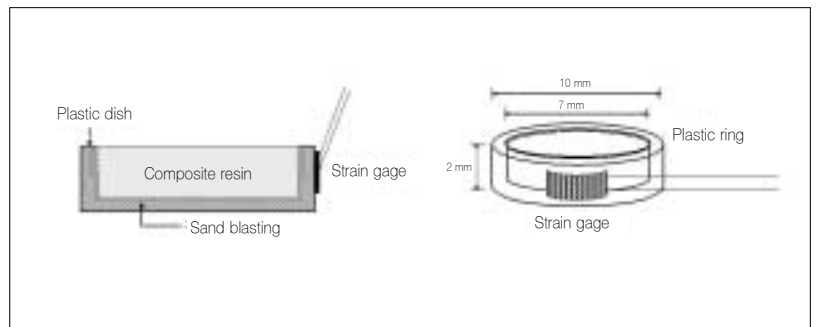


Fig. 2. Dimension of sample and position of strain gauge

제외한 전면에 scotch tape를 부착시킨 후 Microetcher (Denville engineering Inc., USA)을 이용하여 50 μ m aluminum oxide powder로 10초간 sandblasting 처리한 다음 scotch tape를 제거하고 전체 면을 다시 Microetcher를 사용하여 20초간 sandblasting 처리하므로써 실제와동에서 법랑질과 상아질에서의 레진의 집착상을 재현하려고 하였다(Fig. 1). Fig. 2와 같이 외면에 스트레인 게이지를 Cyanoacrylate adhesive TM(SOKKI, Japan)를 이용하여 부착하였다. 내면에는 Single Bond를 적용한 후 복합레진을 Bulk 충전법으로 충전하여 각 군당 10개의 시편을 제작하였다.

(2) 광중합 및 스트레인 측정

스트레인 게이지를 Datalogger에 연결한 후 충전된 복합레진의 상방 1mm에서 6초간 광중합 하였다. 광조사 시점부터 1초 간격으로 800초간 측정하였는데 측정된 값은 TDS, THS-7120(SOKKI, Japan) software 프로그램을 통하여 컴퓨터에 저장하였으며 엑셀 프로그램으로 그래프화하여 분석하였다.

(3) 수축응력 산출

측정된 응력값을 Hooke's law를 이용하여 각 시점의 수축응력으로 환산하였다.

$$\text{Stress(MPa)} = \text{Strain}(\epsilon) \times \text{Elasticity of modulus}$$

* Elasticity of modulus(Acrylic resin) = 3.0 \times 10³ MPa

2) 미세경도의 측정

(1) 시편제작

수축응력 측정 시 사용된 주형과 동일한 크기로 아크릴릭 링을 제작하고 편평한 유리판에 주형을 놓고 기포가 생기지 않도록 주의하면서 주형내부를 레진으로 충전하였다. 상방에 cover glass를 놓고 압력을 가하여 편평한 면이 되도록 하였다.

높이 2mm, 3mm, 4mm 각각 10개씩 시편을 만들고 모든 군은 Flipo로 6초간 광조사하여 중합한 후 실온, 암실에서 24시간 보관하였다.

(2) 미세경도 측정

미세경도는 Wilson[®] MicroRocwell hardness tester(INSTRON, USA)를 이용하여 Vicker's hardness를 측정하였으며 50g의 하중을 시편의 상면과 하면에 15초간 가한 다음 형성된 다이아몬드형 압흔의 길이를 500 배율로 크기를 계측하여 미세경도를 산출하였다.

(3) 통계분석

각 군 간의 계측치를 Repeated measures ANOVA로 분석하고 Tukey 다중비교법으로 검증하였다

2-2. 실험 II : 충전 방식에 따른 수축응력의 측정

1) 충전용 시편 제작

내경 7mm, 외경 10mm의 아크릴릭 관을 3mm 높이로 잘라 제작하였다. 주형 내면처리는 실험 1과 동일하게 시행하고 스트레인 게이지를 부착하였다.

2) 복합레진 충전 및 광중합

복합레진은 Z250과 Filtek[™] Flow(3M-ESPE, USA)를 사용하였다. 광원은 플라즈마 광인 Flipo를 사용하였다. 각 적층 충전은 3번에 나누어 시행하였으며 충전 후 각 층당 6초간 광조사하였다.

Table 1과 같은 여러 가지 방법으로 적층충전을 시행하였다 (Fig. 3).

3) 스트레인 및 수축응력 측정

실험 I 과 동일하게 스트레인을 측정하여 수축응력 값을 산출하였다.

4) 통계분석

각 군 간의 계측치를 Repeated measures ANOVA로 분석하고 Tukey 검증을 시행하였다.

Table 1. Grouping of sample according to the layering techniques

Group	Light source	Placement method	Number of samples
1	Flipo 6sec	Bulk	10
2	Flipo 6sec/6sec/6sec	Horizontal increment (3 layers)	10
3	Flipo 6sec/6sec/6sec	Vertical increment (3 layers)	10
4	Flipo 6sec/6sec/6sec	Oblique increment (3 layers)	10
5	Flipo 6sec/6sec	Flowable + bulk	10

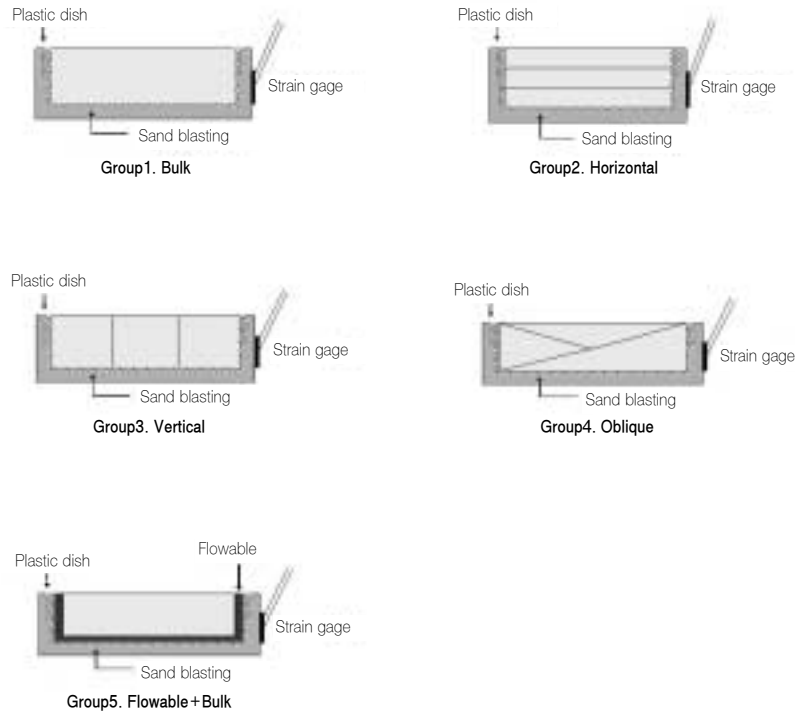


Fig. 3. Layering techniques : bulk, horizontal, vertical, oblique and flowable /bulk

Ⅲ. 실험 성적

3-1. 실험 I : 와동깊이에 따른 수축응력과 미세경도 측정

1) 수축응력 측정(Fig. 4)

모든 군에서 광조사 직후 일시적인 팽창을 보였다가 약 1분 간 급격히 수축하였으며 그 이후에는 완만하게 진행되는 양상을 보였다. 높이 2mm와 3mm, 4mm 시편에서 각각의 C-factor는 2.1, 2.7, 3.3이었으며 군 간의 수축응력의 차이를 비교한 결과 4mm 시편에서 모든 시간대에 걸쳐 가장 낮은 수축응력을 보였으며($P < 0.05$) 2mm와 3mm 시편간에는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$)(Table 2, Fig. 4).

2) 미세경도 측정

2mm와 3mm 시편의 미세경도는 상하면의 차이가 20% 내외로 적절한 중합이 이루어졌음을 알 수 있었으며 이 두 군 간에는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 4mm 시편에서는 상면과 하면의 미세경도 모두 다른 군에 비해 낮았으며 특히 상하면의 미세경도의 차이가 심하여($P < 0.05$) 적절한 중합이 이루어지지 않았음을 알 수 있었다(Table 3, Fig. 5).

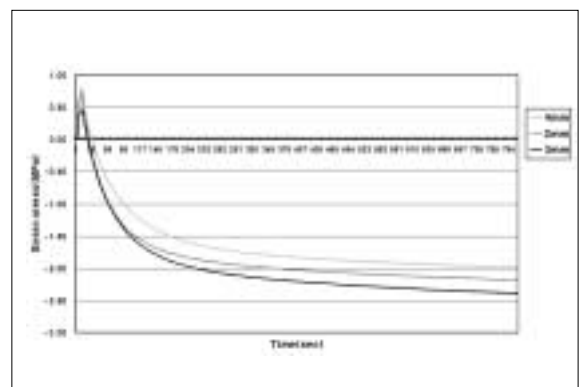


Fig. 4. Strain stress change of each group for 800sec

3-2. 실험 II : 충전방식에 따른 수축응력의 측정

모든 군에서 광조사 직후 일시적인 팽창을 보이다가 급속히 수축하는 양상을 보였으며 적층충전시 한번 충전 및 광조사 할 때마다 이같은 양상이 반복되었다. Flowable resin을 이장하고 bulk로 충전한 제 5군에서 초기 팽창량이 가장 많았고 최종적

Table 2. Strain stress value(Mean±SD) of each group during 800sec

Depth	Time				
	60sec	120sec	240sec	480sec	800sec
2mm	-0.99±0.20	-1.57±0.19	-1.88±0.21	-2.06±0.22	-2.18±0.23
3mm	-1.00±0.72	-1.64±0.62	-2.04±0.54	-2.22±0.06	-2.38±0.73
4mm	-0.67±0.19	-1.27±0.20	-1.67±0.22	-1.88±0.22	-1.99±0.23

Table 3. Microhardness value(Mean±SD) of each group at upper and lower surface

Group	Upper	Lower
2mm	98.37±3.98	80.07±2.25
3mm	99.25±1.44	78.96±1.39
4mm	92.35±4.34	45.61±3.18

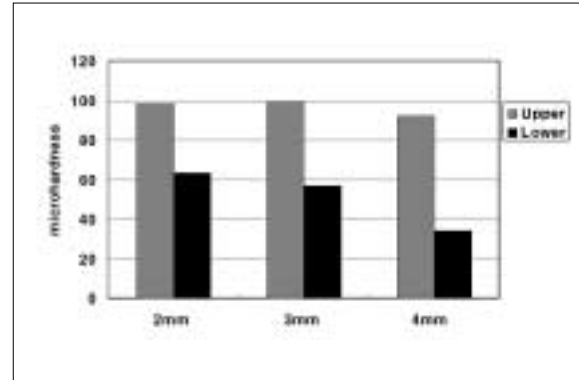


Fig. 5. Mean microhardness value of each group

Table 4. Comparison of strain stress value(Mean±SD) in each group at each time

Group	Time			
	240sec	480sec	600sec	800sec
1	-2.04±0.05b	-2.25±0.06b	-2.31±0.06b	-2.38±0.73b
2	-1.22±0.02c	-1.59±0.07c	-1.65±0.08c	-1.72±0.10c
3	-1.87±0.17c	-2.66±0.01c	-2.75±0.16c	-2.85±0.16c
4	-1.35±0.17b	-2.01±0.18b	-2.09±0.18b	-2.19±0.18b
5	-1.80±0.14a	-2.70±0.14a	-2.80±0.15a	-2.93±0.16a

The difference letter indicate significant difference in each group(P<0.05)

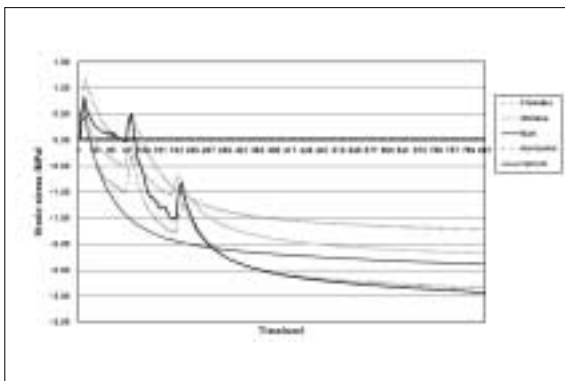


Fig. 6. Strain stress change of each group for 800sec

으로 가장 낮은 수축응력을 보였으며 다음으로 bulk 충전한 제 1군과 oblique하게 적층충전한 제 4군에서 유사한 정도의 수축응력이 나타났고 vertical과 horizontal하게 적층충전한 제 2군과 3군에서 가장 높은 수축응력을 보였다 (P<0.05)(Table 4, Fig. 6).

IV. 총괄 및 고안

접착술의 눈부신 발전에도 불구하고 백악질이나 상아질과 수복재료간의 긴밀한 접합은 복합레진의 중합수축이라는 문제 때문에 여전히 풀리지 않는 숙제로 남아있다. 복합레진은 근본적으로 중합수축이라는 특성을 갖는다. 수축은 재료가 gel point에 이르기 전부터 시작되나 이때는 레진의 유동성에 의해 체적

변화가 보상된다. 그러나 gel 형성이 진행됨에 따라 중합과정은 재료의 탄성계수를 급격하게 상승시키며 따라서 보상받지 못한 수축은 재료내부와 주변조직에 stress를 야기한다^{26,28}. 이러한 post-gel shrinkage가 임상에서 복합레진을 사용하는데 있어 가장 큰 문제점이 되고 있다. 임상적으로 수축응력은 접착 수복에서 변연접합성의 질을 좌우하는 주요한 요소로 간주된다. 복합레진 수복의 불량한 변연접합은 미세누출을 야기하며 이로부터 온도과민증, 치수자극, 이차우식 등의 문제가 수반된다^{3,4}.

중합수축은 많은 요인에 의해 영향을 받으며 이러한 요인들은 여러 연구자들에 의해 끊임없이 연구되어 왔다. 중합수축을 줄이고자 하는 시도중 하나는 filler load를 변형시키는 방법인데 2001년 Aw와 Nicholls⁹)는 filler의 양이 중합수축에 영향을 미칠 수 있지만 수축에 관여하는 다른 많이 요인들이 존재하기 때문에 filler를 많이 첨가하는 것만으로 중합수축을 줄일 수는 없다고 하였으며, 2000년 Price 등²⁸)은 filler의 무게가 중합수축에 현저하게 영향을 미치는 것은 사실이지만 filler가 많이 포함된 레진은 여러 가지 임상적 문제를 가질 수 있고 또한 증가된 filler는 재료의 탄성계수를 높이기 때문에 오히려 더 많은 수축을 초래할 수도 있다고 하였다. 중합수축을 줄이려는 또 다른 접근은 중합방식의 변형이다. 낮은 강도의 광을 서서히 조사하여 재료의 유동성이 존재하는 pre-gel phase를 길게 함으로써 수축을 보상하려는 soft start 또는 pulse delay 중합방식이 많은 연구자들에 의해 검토 되었는데²⁹⁻³¹) 낮은 강도의 광을 이용한 복합레진의 중합은 우수한 변연 적합성을 얻을 수 있게 한다. 이는 모노머의 폴리머로의 전환 속도를 늦춤으로써 복합레진의 pre-gel phase를 길게 유지하여 레진의 흐름성을 좋게 하며, 다량체 사슬(polymer chain)의 재배열을 가능하게 한다. 따라서 수복체의 중합시 수축응력을 감소시켜 치질과 수복물질의 결합을 유지할 수 있게 한다²⁹). 그러나 이러한 장점에도 불구하고 레진의 불충분한 중합으로 인하여 낮은 표면 경도 등 기계적 안정성이 좋지 않으며, 특히 와동의 깊은 부위에서는 중합률이 현저히 떨어지는^{32,33}) 한계가 있어 이를 극복하기 위해 제안된 방법이 낮은 강도의 광을 일정시간 조사한 다음 강한 광을 추가로 조사하여 최종적인 중합을 유도하는 단계적 중합법이다. 1997년 Mehl 등³⁴)과 1999년 Suh³)은 단계적 중합방식이 복합레진의 post-gel shrinkage를 줄일 수 있다고 주장한 반면 2003년 Ernst 등¹³)은 복합레진이 충분히 중합된다면 중합방식은 수축에 큰 영향을 미치지 않으며 단계적 중합방식이 복합레진을 적절하게 중합시키지 못하기 때문에 적은 수축력을 보인다고 하였다.

중합수축과 관련된 또 다른 중요한 요인으로 C-factor를 들 수 있다. Feilzer 등¹)은 접착면과 비접착면의 비율인 C-factor의 개념에 대해 처음 소개하였는데 수축이 편평한 상아질 표면에서 발생한다면 전혀 문제가 없다 그러나 만약 치아와동 내에서 수축이 일어난다면 치면과 레진의 결합력과 수축력사이의 경쟁적 산물로 수축응력이 발생하게 되고 비접착면에 비해 접착면이 넓을수록, 즉 C-factor가 커질수록 수축응력이 더욱 커

진다고 하였다³⁵). 따라서 이 C-factor를 줄이는 방안으로 적층 충전이 제시되었다. 적층충전은 중합 동안 와동벽과의 접촉을 줄이고 한번에 더 적은 양을 중합함으로써 수축의 양을 줄이고자 하는 방법이다. 그러나 1996년 Winkler 등¹⁸)과 1996년 Versulis 등¹⁷)은 적층충전보다 bulk 충전 시 오히려 더 낮은 수축응력을 보였다고 주장하였으며 2004년 Ernst 등²²)도 적층충전은 복합레진의 중합정도(degree of conversion)에 도움이 될 뿐 수축응력 감소에는 영향을 미치지 않는다고 하여 연구자간 논란의 대상이 되고 있다. 본 연구결과에서도 flowable resin을 이장한 군을 제외하고 bulk 충전한 군에서 가장 낮은 수축응력을 보였는데 이는 적층충전할 경우 여러번의 광조사를 통해 레진의 중합정도가 높아짐에 기인하였을 것으로 생각된다. 따라서 중합정도를 높이는 것과 높은 수축응력중 어느것이 임상에서 더 유리하게 작용할것인지에 대한 고찰이 추후 필요할 것으로 사료된다. 또한 oblique하게 적층한 군은 bulk 충전군과 수축응력의 차이가 크지 않은 반면 vertical하게 적층충전한 군과 horizontal하게 적층충전한 군에서는 bulk 충전군보다 더 많은 수축응력이 관찰되었는데 Jedrychowski 등³⁶)의 연구에서 oblique보다 horizontal하게 적층충전 하는 것이 더 적은 수축응력을 보인 것과는 달리 본 연구에서는 oblique하게 적층충전한 경우가 더 수축응력이 적은 것으로 나타났으며 이에 대해서는 추후 더 연구가 필요할 것으로 생각된다.

C-factor를 다르게 주기위해 본 연구에서는 동일한 내경을 가지며 깊이가 2mm, 3mm, 4mm로 다른 시편을 설정하였으며 각각의 C-factor는 2.1, 2.7, 3.3이었다. 2mm와 3mm 시편에서 수축응력은 유의한 차이가 없었는데 이로부터 C-factor에 따른 차이가 없었다고 결론내리기는 어려우며 일반적으로 실제 치아 와동 상에서 C-factor는 2-5로 다양한 것을 감안하면 향후 내경과 깊이가 모두 달라 C-factor에 있어 좀더 큰 차이가 나는 시편에서 더 많은 실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다. 2mm와 3mm 시편에서 유의한 차이가 없었던 반면 4mm 깊이 시편에서는 오히려 더 적은 수축응력을 보여 C-factor가 커질수록 수축응력이 커진다는 선행들의 연구에^{1,4}) 상반된 결과를 보였는데 이는 광원이 침투 가능한 깊이를 넘어 하방 레진이 적절히 중합되지 못함에 기인하였을 것으로 생각되어 중합정도를 확인하는 부가적인 실험을 시행하였다.

중합정도(degree of conversion)에 따라 수축응력은 영향 받는다^{37,38}). 따라서 수축응력의 차이를 비교하고자 한다면 일정수준 이상 중합이 이루어졌다는 가정이 뒷받침되어야 한다. 중합의 정도를 측정하는 방법으로는 high performance liquid chromatography(HPLC)³⁹), gas-liquid chromatography and mass spectroscopy (GC-MS), Fourier transformed infrared spectrometer(FTIR)⁴⁰) 등을 이용하여 미반응 모노머의 양을 직접 측정하는 방법과 Infra-red(IR) spectroscopy³³), differential scanning calorimetry (DSC)³¹)를 이용하거나 미세경도를 측정하는 간접적인 방법 등이 있다. 이 중 미세경도측정법은 비교적 간단하고 재현성이 있으며 비파괴적

인 방법으로 널리 사용되고 있으며¹⁰⁾ 본 연구에서는 이 미세경도 측정법을 사용하여 복합레진의 중합정도를 추정하였다. 2mm와 3mm 시편에서는 하면의 미세경도가 상면의 81%와 79%로 양호한 중합상태를 보였으며 군 간의 유의한 차이는 없었던 반면 4mm 시편에서는 하면의 미세경도가 상면의 49%에 불과하여 적절한 중합이 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구조건에서 적층하지 않고 한번에 충전 가능한 깊이는 3mm 정도라고 생각되며 4mm 이상 와동에서는 충분한 중합을 위해 적층충전이 필요할 것으로 사료된다. 그러나 중합의 깊이는 복합레진의 종류나 광원의 종류, 조사시간에 따라 영향을 받기 때문에 다른 조건에서는 그에 맞는 적절한 깊이가 설정되어야 할 것으로 생각된다.

중합수축에 대한 또 다른 관점은 재료자체의 탄성이며 따라서 탄성이 좋은 flowable resin을 이장한 후 복합레진을 충전하는 방법이 추천되고 있는데 flowable resin을 이장하는 것과 미세누출과 연관된 변연적합성에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔지만 수축응력에 대한 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 flowable resin을 이장한 후 bulk로 충전한 군에서 가장 낮은 수축응력을 얻었으며 이는 flowable resin을 이장한 경우 가장 낮은 미세누출을 보였다는 이전의 연구¹⁴⁾를 뒷받침 해주는 결과이다. 그러나 본 연구에서와 같이 flowable resin을 전 와동에 균일하게 도포하였을 경우 flowable resin의 낮은 물리적 성질에 의한 결합력 저하나 마모 등의 문제가 발생할 수 있으므로 추후 와동변연부를 제외한 와동저에만 이장할 경우에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

중합수축을 측정하는 방법으로는 변연봉쇄와 미세누출을 측정하거나 미세인장강도를 측정하는 간접적인 방법과 직접 수축량이나 수축응력을 측정하는 방법으로 나눌 수 있는데 수축량을 측정하는 방법으로는 dilatometer²³⁾, linometer²¹⁾, tensiometer²⁰⁾ 등이 있고 수축응력을 측정하는 방법으로는 스트레인 게이지^{24,25)}나 finite elemental analysis(FEA)¹⁸⁾, 광탄성법^{2,22)}, 유한요소분석법²³⁾ 등이 있다. 이중 본 연구에 사용된 스트레인 게이지는 선형 용적변화에 매우 민감하며 gauge를 복합레진 시편의 외부에 쉽게 적용할 수 있기 때문에 좀더 실제임상과 유사한 조건하에서 실험하는 것이 가능하다. 또한 하나의 gauge로 수축과 팽창을 자유롭게 측정할 수 있으며 자체 온도 보정능력이 있어 다양한 환경하에서도 안정적인 측정이 가능하다는 장점을 갖는다. 재료의 탄성에 의해 보상되는 pre-gel phase의 수축은 측정되지 않으며 부착된 외벽에 응력이 발생되는 gel point부터 측정되기 시작하므로 실제 임상적으로 의의있는 post-gel phase의 수축만이 측정된다. 또한 이 스트레인 게이지법은 재료의 중합과정에 따라 실시간으로 측정이 가능하다는 장점을 가지며 시간에 따른 변화를 용이하게 관찰할 수 있다. 본 연구의 모든 시편은 광조사 시작 직후 일시적인 팽창을 보이는데 이는 중합시 재료 자체 내에서 화학적 과정에 의해 발생하는 열과 광원에서 가해지는 열에 의한 팽창으로 보이며 일반 복합레진보다 flowable resin에서 더 많은 팽창이 관찰되었

다. 이러한 팽창은 일시적인 것으로 광원이 제거됨과 동시에 급격히 수축하기 시작하였으며 약 1분 경과 후부터는 완만하게 진행되어 5분 이내에 대부분의 수축이 이루어졌다. 따라서 광조사 직후 1분 이내에 발생하는 수축에 대한 집중적인 고려가 필요할 것으로 생각된다.

중합수축은 여러 가지 요소가 복합적으로 관여하는 과정이기 때문에 한두 가지 요인으로 중합수축에 대해 단정적으로 결론 내리기는 어렵다. 본 연구에서는 현재 임상에서 가장 많이 사용되고 있는 hybrid형 수복용 복합레진을 사용하였으며 중합시간을 줄임으로서 특히 행동조절이 어려운 소아에서 각광받고 있는 플라즈마 광원을 사용하였다. 그러나 구치부 전용 또는 최근 개발된 nanofiller 입자의 복합레진 등 레진의 종류에 따라서 또는 광원의 종류에 따라서 중합수축의 양상이 달라질 수 있으므로 향후 여러 가지 레진, 다른 크기의 시편, 여러 가지 광원 및 조사시간 등 다양한 조건의 실험을 통해 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

복합레진 중합시 발생하는 중합수축이 C-factor에 의해 어떻게 영향받는지 알아보하고자 세가지 다른 깊이의 시편을 비교하였으며 충전방법에 따른 비교를 위해 5가지 다른 충전방법에 따른 수축응력을 스트레인 게이지를 사용하여 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 와동깊이에 따른 수축응력을 측정한 결과 2mm와 3mm 시편에서는 800초 후 수축응력이 $2.18 \pm 0.23 \text{MPa}$ 과 $2.38 \pm 0.07 \text{MPa}$ 로 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).
2. 4mm 시편에서 800초 후 수축응력은 $1.99 \pm 0.24 \text{MPa}$ 로 가장 낮은 값을 보였다($P < 0.05$).
3. 중합정도를 확인하기 위한 미세경도 실험결과 2mm와 3mm 시편에서는 상면과 하면의 미세경도 차이가 20% 내외로 양호한 중합상태를 보여주었으나 4mm 시편에서는 상면과 하면의 미세경도가 현저한 차이를 보여 불완전한 중합이 이루어졌음을 알 수 있었다($P < 0.05$).
4. 충전방식에 따른 수축응력의 차이를 비교한 결과 flowable resin을 이장하고 bulk로 충전한 제 5군에서 가장 낮은 수축응력을 보였으며, 제 1군(bulk충전)과 4군(oblique 적층충전)이 유사한 정도의 수축응력을 보였고, horizontal과 vertical하게 적층충전한 제 2군과 3군에서 가장 큰 수축응력이 관찰되었다($P < 0.05$).

이상의 결과를 종합하여 볼 때 플라즈마 광원으로 6초 중합시 한번에 중합 가능한 깊이는 3mm 정도로 생각되며 이 깊이 이내의 와동에서는 적층충전보다는 flowable resin을 이장하고 한번에 충전하는 방법이 효과적일 것으로 생각된다. 또한 3mm 이상의 와동에서는 한번에 중합하기 어려우므로 적층충전 하되 최소한의 층으로 oblique하게 충전하는 것이 중합수축을 줄이는 방법이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL : Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. J Dent Res, 66:1636-1639, 1987.
2. Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F, et al. : Polymerization contraction stress of resin composite restoration in a model class I cavity configuration using photoelastic analysis. J Esthet Dent, 12:309-319, 2000.
3. Suh BI : Controlling and Understanding the Polymerization Shrinkage-Induced Stresses in Light-Cured Composites. Compendium, 20:34-41, 1999.
4. Yap AU, Wang HB, Siow KS, et al. : Polymerization Shrinkage of Visible-Light-Cured Composites. Oper Dent, 25:98-103, 2000.
5. Suliman AH, Boyer DB, Lakes RS : Polymerization shrinkage of composite resins: Comparison with tooth deformation. J Prosthet Dent, 71:7-12, 1994.
6. Ferracane JL, Berge HX, Condon JR : *In vitro* aging of dental composites in water-effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. J Biomed Mater Res, 42:465-472, 1998.
7. 이용근, 윤태호, 김철위 : 치과용 심미수복재의 중합수축 및 열팽창에 관한 연구. 대한치과기재학회지, 27(2):171-179, 2000.
8. 박성호, 이순영, 조용식 등 : 광중합형 구치부 수복재료의 중합수축량과 중합수축력. 대한치과보존학회지, 28(4):348-353, 2003.
9. Aw TC, Nichollas JI : Polymerization shrinkage of densely filled resin composites. Oper Dent, 26:498-504, 2001.
10. Braem M, Finger W, Doren VE, et al. : Mechanical properties and filler fraction of dental composites. Dent Mater, 5:346-349, 1989.
11. Bouschlicher MR, Rueggeberg F, Boyer DB : Effect of stepped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. J Esthet Dent, 12:23-32, 2000.
12. Burgess JO, DeGoes M, Walker R, et al. : An Evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. Pract Periodont Aesthet Dent, 11:125-132, 1999.
13. Ernst CP, Brand N, Frommator U, et al. : Reduction of polymerization shrinkage stress and marginal microleakage using soft start polymerization. J Esthet Restor Dent, 15:93-103, 2003.
14. Reis AF, Giannini M, Maria G, et al. : The effects of filling techniques and a low viscosity composite liner on bond strength to class II cavities. J Dent, 31:59-66, 2003.
15. Christensen RP, Palmer TM, Ploeger BJ, et al. : Resin polymerization problems are they caused by resin curing lights, resin formulations or both? Compend Contin Educ Dent, Suppl:42-54, 1999.
16. Sakaguchi RL, Wiltbank BD, Shah NC : Critical configuration analysis of four methods for measuring polymerization shrinkage strain of composites. Dent Mater, 20:388-396, 2004.
17. Versluis A, Douglas WH, Cross M, et al. : Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses? J Dent Res, 75:871-878, 1996.
18. Winkler MM, Katona TR, Paydar NH : Finite element stress analysis of three filling techniques for class V light cured composite restorations. J Dent Res, 75:1477-1483, 1996.
19. Kubo S, Yokota H, Hayashi Y : The effect of light curing modes on the microleakage of cervical resin composite restorations. J Dent, 32:247-254, 2004.
20. Cook WD, Forrest M, Goodwin AA : A simple method for the measurement of polymerization shrinkage in dental composites. Dent Mater, 15:447-449, 1999.
21. De Gee AJ, Feilzer AJ, Davidson CL : True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composites determined with a linometer. Dent Mater, 9:11-14, 1993.
22. Ernst CP, Meyer GR, Klöcker K, et al. : Determination of polymerization shrinkage stress by means of a photoelastic investigation. Dent Mater, 20:313-321, 2004.
23. Katona TR, Winkler MM : Stress analysis of a bulk filled class V light cured composite restoration. J Dent Res, 73:1470-1477, 1994.
24. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MC : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. J Dent, 20:183-188, 1992.
25. Sakaguchi RL, Sasik CT, Bunczak MA, et al. : Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. J Dent, 19:312-316, 1991.
26. Cehreli MC, Canay S : Comparison of post-gel shrinkage strains in light-polymerized composite resins. J Prosthet Dent, 88:461-466, 2002.

27. Crasto AS, Kim RY : In situ monitoring of residual strain development during composite cure. *Polymer composites*, 23:454-463, 2002.
28. Price RB, Rizkalla AS, Hall GC : Effect of stepped light exposure on the volumetric polymerization shrinkage and bulk modulus of dental composites and an unfilled resin. *Am J Dent*, 13:176-180, 2000.
29. Lim BS, Ferracane JL, Sakaguchi RL, et al. : Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light-activation. *Dent Mater*, 18:436-444, 2002.
30. Suh BI, Feng L, Wang Y, et al. : The effect of the pulse delay cure technique on residual strain in composites. *Compend Contin Educ Dent*, 20:34-41, 1999.
31. Antonucci JM, Toth EE : Extent of polymerization of dental resins by differential scanning calorimetry. *J Dent Res*, 62:121-125, 1983.
32. Silikas N, Eliades G, Watts DC : Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater*, 16:292-296, 2000.
33. Ferracane JL, Greener EH : Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins. *J Dent Res*, 63:1093-1095, 1984.
34. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH : Physical properties and gap formation of light cured composites with and without 'soft start polymerization'. *J Dent*, 25:325-330, 1997.
35. Loguercio AD, Reis A, Ballester RY : Polymerization shrinkage : effects of constraint and filling technique in composite restorations. *Dent Mater*, 20:236-243, 2004.
36. Jedrychowski JR, Bleier RG, Caputo AA : Shrinkage stresses associated with incremental composite filling techniques. *ASDC J Dent Child*, 65:111-115, 1998.
37. Gayosso CA, Santana FB, Ibarra JG, et al. : Calculation of contraction rates due to shrinkage in light-cured composites. *Dent Mater*, 20:228-235, 2004.
38. Hansen EK, Asmussen E : Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *J Acta Odontol Scand*, 55:162-166, 1997.
39. Ruyter IE, Svendsen SA : Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. *Acta Odontol Scand*, 36:75-82, 1978.
40. Imazato S, McCabe JF, Tarumi H, et al. : Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dent Mater*, 17:178-183, 2001.

Abstract

EFFECT OF INCREMENTAL FILLING TECHNIQUE ON THE POLYMERIZATION SHRINKAGE OF COMPOSITE RESIN

Hyo-Suk Kim, Nan-Young Lee, Sang-Ho Lee, You-Hyang Oh

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Chosun University

The aim of this study was to investigate the relationship between the C-factor and shrinkage strain values of composite resin and examine the strain values in different incremental filling techniques. The strain gauge method was used for measurement of polymerization shrinkage strain.

Experiment was divided two step. In a first experiment, we compared with strain value in three different depth (2mm, 3mm, 4mm) and microhardness of each samples after 24hours were measured. In a second experiment, we examined the strain values in five different filling techniques(Group 1: bulk filling, Group 2: oblique incremental filling, Group 3: horizontal incremental filling, Group 4: vertical incremental filling, Group 5: lining of flowable resin and bulk filling)

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.
2. Contraction stress was not revealed significant difference between depth of 2mm and 3mm($P>0.05$).
3. Contraction stress in sample of 4mm was showed the lowest value($P<0.05$).
4. Microhardness of specimen was revealed more difference between upper and lower surface in depth of 4mm than 2 and 3mm($P<0.05$).
5. Lining of flowable resin and bulk filling (Group 5) was showed the lowest contraction stress, Group 2 and 3 was showed the highest contraction stress($P<0.05$).

On the basis above results, the stress that result from the polymerization shrinkage, when incremental curing techniques are used, showed that there is no advantage in incremental placement and curing.

Key words : Composite resin, Contraction stress, Incremental filling technique, C-factor