

## 중합 조건에 따른 간접복합레진의 굴곡강도

금 영 희, 김 부 섭

부산가톨릭대학교 대학원, 보건과학대학 치기공학과

## Flexural strength of indirect composite resin with different polymerization conditions

Geum, Young-Hee, Kim, Busob

Department of Dental Laboratory Science Graduate School, Catholic University of Pusan

### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study was to evaluate the flexural strength of indirect composite resins with different polymerization conditions.

**Methods:** Ten specimens ( $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ ) of each composite resins (Tescera (T), Gradia (S) and Sinfony (S)) were fabricated by two polymerization methods : manufacturers's and light · heat · pressure. Composite resins polymerized by manufacturers's method and light · heat · pressure served as control (TS, GS and SS) and experimental groups (TE, GE and SE), respectively. The composite resins were tested for flexural strength and the surface of composite resins were observed with scanning electron microscope (SEM) under X1,000 magnification.

**Results:** The flexural strength values of cured composite resin decreased in the following order: TE (195.4MPa), TS (179.8MPa), GE (169.9MPa), SE (137.7MPa), SS (111.1MPa) and GS (100.9MPa) groups.

**Conclusion:** The flexural strength values between the control and the experimental groups were not significantly different although experimental groups showed higher flexural strength values than control groups.

○Key words : light · heat · pressure, flexural strength, SEM, indirect composite resin

교신저자	성명	김 부 섭	전화	051-510-0593	E-mail	bskim@cup.ac.kr	
	주소	부산시 금정구 부곡3동 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과					
접수일	2013. 11. 12		수정일	2013. 11. 28		확정일	2013. 12. 17

## I. 서 론

치과용 복합레진은 초기에 전치부 수복재로 개발되어 사용되어져 왔으나, 지속적인 물성의 개선으로 구치부 수복재로 사용되어지고 있다. 도재수복은 우수한 심미성과 상대적으로 높은 물리적 성질에도 불구하고 높은 취성에 의한 파절 및 수리(repair)의 어려움, 상대적으로 높은 표면경도로 인한 자연치의 마모 등으로 수요의 폭이 제한되고 있으며, 이에 대한 대체용으로 간접수복용 복합레진이 선호되고 있다(Nandini, 2010).

복합레진은 1940년대 PMMA(polymethyl methacrylate)로 처음 소개되었고, 1962년 Ray Bowen에 의해 Bis-GMA 복합레진이 개발되었다. 복합레진은 중합 개시제에 따라 열중합계, 화학중합계, 자외선 중합계, 가시광선 중합계로 나뉘고, 이중 가시광선 중합계 복합레진이 보편적으로 많이 사용되고 있다. 광중합 복합레진의 구성은 레진기질(resin matrix)로 이용되는 Bis-GMA 단량체, TEGDMA(triethylene glycol dimethacrylate), EGDMA(ethylene glycol dimethacrylate)와 실란 처리된 필러, 그리고 광개시제인 Camphoroquinone(CQ)과 반응활성제인 3차아민으로 이루어진다(Kim et al., 2002). 복합레진은 레진기질에 무기필러가 첨가되었기 때문에 비충전 레진에 비해 기계적 성질이 우수하고, 열팽창계수가 감소되었으며, 중합수축이 1.4%까지 감소하였고, 마모저항성이 증진되었다(Professor of Council of Korea Dental Material, 2011).

복합레진은 직접수복용과 간접수복용으로 나뉘어 질 수 있는데, 간접수복 복합레진의 가장 큰 장점은 광중합과 추가적인 열중합에 의한 높은 중합률이다. 이를 통해 광범위한 복합레진 직접 수복법의 한계로 지적되던 마모저항성을 극복할 수 있으며, 간접수복 복합레진 자체의 필러의 함량도 더 높아 수복물의 강도 및 탄성계수가 개선되는 등 물성이 향상되었다는 것이다(Shinkai et al., 1994). 간접수복용 복합레진의 물성에 영향을 미치는 요소로는 Mandikos(2001)는 충전제의 함량, 크기, 중합정도, 유기 기질 종류 등이 있고, 중합정도 silanization를 최적화해야 한다고 하였다. 복합레진의 중합도는 증가시키는 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 복합레진 내

부의 기포나 산소를 효과적으로 제거하거나, 중합도를 높이기 위하여 부가적인 광조사나 열처리를 하는 방법이다. 간접수복 복합레진의 부가적인 중합이나 열처리방법에는 초기 광중합하거나(light), 초기 광중합한 후 이차 열중합 및 열처리하거나(heat), 질소가스 등을 이용하여 압력을 준 후 어두운 곳에 보관하여 압력이 충분히 레진에 도달하게 한 후 초기 광중합시키고 이차 열중합하거나(pressure, light and heat), 초기 광중합 후 이차 열중합하여 진공 상태에서 보관하는 방법(light, heat and vacuum) 등이 있다(Dale et al., 1993).

간접 수복용 복합레진은 광중합 이후에 가열하는 기존의 중합 방법보다 가열하여 중합을 유도하고 부가적으로 광중합을 시행할 때 전환율을 증가시켜 더 좋은 물리적 성질을 나타낸다고 보고된 바 있다(Byun, 2011). Strohaber 등(1987)은 광중합형 복합 레진보다 열중합형 복합 레진에서 기포가 더 적게 나타났다고 보고 하였다. Ferracane 등(1992)은 microfilled composite의 중합시 광중합을 단독 시행한 경우와 열중합을 추가적으로 시행한 경우를 비교한 연구에서 전환율은 40%가 증가하였고, 파괴인성은 35%가 증가함을 보고하였다. 수종의 구치부 복합 레진을 초기 광중합 시킨 후 100℃ 이상으로 가열할 시 인장강도와 경도, 색조의 안정성 및 변연부 적합성이 향상되었다고 보고 하였다(Wendt et al., 1987). Sedda 등(2010)은 두 종의 간접중합복합레진을 대상으로 추가적인 열중합을 시행한 결과 단독으로 광중합을 시행하였을 때보다 굴곡강도가 증가하였다고 보고하였다. McCabe 등(1991)은 인레이용 복합레진을 대상으로 열처리를 시행해 본 결과 통계적으로 유의성은 없었으나 열처리에 의해 물성이 약간 향상되었다고 보고하였고, Asmussen 등(1990)은 filler함량은 동일하고 단량체의 성분이 서로 다른 4가지 복합레진을 37, 100, 125, 150, 175, 200℃에서 1시간 동안 열처리하여 물리적 성질을 측정해 본 결과 최적의 물성을 나타낸 이차중합온도는 150℃이었고, 강도, 견고성, 탄성은 약 9% 증가하였다고 보고하였다.

이와 같이 중합방법이 간접수복용 복합레진의 물리적 성질에 크게 영향을 미치고 있는데 현재 임상에서 사용하고 있는 재료들은 회사에서 맞춤형으로 제작한 장비들을

이용해서 중합 하도록 중합장비를 제공하고 있다. 이러한 장비들은 고가여서 간단하게 처리할 수 있는 중합방법의 필요성이 제기되어 왔지만 이에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고가의 장비를 이용하여 간접 수복용 복합레진을 제작하는 제조사의 중합방법과 간편하고 저렴한 기공 장비들을 이용하여 광조사, 열 및 압력을 가하는 중합방법을 비교 평가하여 임상에 적용하는 기준을 마련하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험 재료

본 실험에서는 성분과 중합 방법이 다른 3종의 간접수복용 복합레진인 Tescera(Bisco, USA), Gradia(GC, Japan) 및 Sinfony(3M - ESPE, USA)를 사용하였다 (Table 1).

Table 1. Materials and their composition used in this study

Brand name	Composition	Manufacturer	Instrument
Tescera	Bis-GMA	3M-ESPE, St Paul, MD, USA	Tescera ATL
	UDMA:70wt% silica		
Gradia	Silicate glass powder	GC, Japan	Light cure
	Urethanedimethcrylate		
	Composite filler		
	Silicon dioxide		
	Multifunctional methacrylate		
Sinfony	Photo initiator	Bisco schaumburg, IL, USA	Sinfony TM Master Set
	Pigment		
	UDMA resin metrix		
	Micro Glass filler 0.05 $\mu$ m		
	Boro silicate 0.5~0.7 $\mu$ m		
	Glass lonomer 5% by weight		

### 2. 시편제작

ISO 4049 규정에 따라 테플론과 금속 몰드를 이용하여 가로 2mm, 세로 2mm, 길이 25mm의 크기로 각각의 간접수복 복합레진을 충전하고 제조사의 지시대로 중합한 시편과 광조사·열·압력으로 중합한 시편을 각 군당 10개씩 총 60개를 제작하였다 (Table 2).

제조사의 지시대로 중합한 시편은 TS, GS 및 SS군으로 분류하였고, 광조사·열·압력으로 중합한 시편은 TE,

GE 및 SE군으로 분류하였다. TS, GS 및 SS 군은 레진을 모형에 축성 후에 제조사의 장비를 이용하여 제조사의 지시대로 중합 하였다. TE, GE 및 SE군은 레진을 모형에 축성 후 광중합하고, 가압할 수 있는 치과용 용기(self curing 용 압력 pot)에 시편을 넣고 물이 끓는 지점이 되면 가압 밸브를 조절하여 3 bar를 유지한 상태에서 10분 간 압력을 유지 시킨 후 열 차단을 하고 서서히 압력을 해제하였다.

Table 2. Classification of groups and curing methods used in this study

Group	Brand name	Code	Curing method	N
Control	Tescera	TS	Pressure 80 psi, light 300W, heat 130°C under water with oxygen scavenger	10
	Gradia	GS	First cycle : photo polymerization (visio alpha) 400 mW/cm <sup>2</sup> , I second cycle:photo polymerization (visio Beta) upto 40°C vacuum 15min	10
	Sinfony	SS	Light cure 20 seconds	10
Experiment	Tescera	TE	Light · Heat · pressure by 3 bar, hold 10minute and slow cooling	10
	Gradia	GE	Light · Heat · pressure by 3bar, hold 10minute and slow cooling	10
	Sinfony	SE	Light · Heat · pressure by 3bar, hold 10minute and slow cooling	10

### 3. 굴곡강도 측정

제조사의 중합방법과 광조사·열·압력의 중합방법으로 제조된 시편을 3점 굽힘 시험법으로 굴곡강도를 측정하였다. 만능시험기(Instron 4465, Instron, USA)에서 0.5mm/min의 하중속도로 시편의 하중을 가하면서 시편이 파괴될 때의 하중(P)을 측정하여 굴곡강도 값을 계산하였다. 굴곡강도( $\sigma$ )의 계산식은 다음과 같다.

$$\sigma = 3PL / (2WH^2)$$

P: 시편에 가해진 최대 힘(N)

L: 지지대간의 거리(20mm)

W: 시편의 폭(2mm)

H: 시편의 높이(2mm)

### 4. 미세구조 분석

광중합된 시편의 표면을 관찰하기 위하여 주사전자현미경(JSM - 6700F, JELO, Japan)을 사용하여 1,000배로 확대 촬영하여 시편 표면의 미세구조를 관찰하였고, 주사전자현미경의 고대비 효과를 적용하여 표면의 기포 상태를 분석하였다.

### 5. 통계처리

중합방법에 따른 굴곡강도 결과의 유의차를 검정하기 위하여 SPSS (ver. 19.0)을 이용하여 T-검정을 시행하였다. 각 군의 통계적 유의수준은 0.05로 하였다.

## III. 결 과

### 1. 굴곡강도

3종의 간접수복 복합레진을 제조사의 중합방법과 광조사·열·압력의 중합방법으로 중합 후 굴곡시험을 시행하고 파절하중을 측정된 다음 단면적을 이용하여 굴곡강도를 산출한 결과가 <Table 3>에 나타나 있다. 굴곡강도는 TE 군이 가장 높았고, TS군, GE군, SE군, SS군 및 GS군 순으로 나타났다. 광조사·열·압력을 사용한 실험군은 제조사의 중합방법을 사용한 대조군과 유의한 차이를 나타내지 않았다( $P > 0.05$ ). 모든 군에서 광조사·열·압력을 사용한 실험군이 제조사의 중합방법을 사용한 대조군보다 높은 굴곡강도를 보였다.

Table 3. Flexural strength measurement results

(Unit, MPa)

	Manufacturer curing method		Light · Heat · pressure curing method		P		
		Mean	SD	Mean		SD	
Tescera	TS	179.8	34.7	TE	195.4	38.3	.764
Gradia	GS	100.9	33.7	GE	169.9	42.2	.860
Sinfony	SS	111.1	22.1	SE	137.7	33.1	.338

\*: P < 0.05

2. 표면관찰

중합방법에 따른 표면 미세구조를 주사전자현미경을 통해 관찰한 결과가 <Figure 1>에 나타나 있다. 표면 미세구조를 관찰한 결과, 제조사의 중합방법을 사용하여 중합한 TS군, GS군 및 SS군과 광조사 · 열 · 압력을 사용하여 중합한 TE군, GE군 및 SE군간에는 각각 차이가 관찰되지 않았다.

주사전자현미경의 고대비 효과를 적용하여 관찰한 결과가 <Figure 2>와 Table 4에 나타나 있다. 주사전자현미경의 고대비 효과를 적용 결과, TE군이 TS군에 비해 기포가 적게 나타났으며, GE군도 GS군보다 기포가 더 적은 수치를 나타내었다. 그러나 SS군은 SE군보다 기포가 더 적은 수치로 나타내었다.

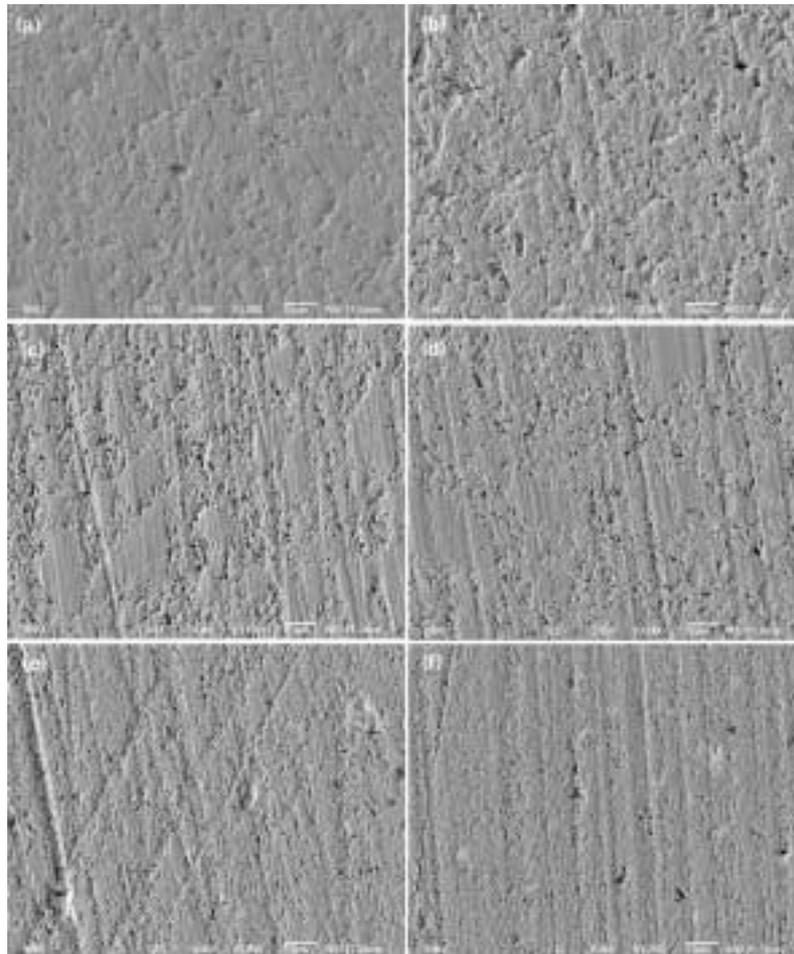


Fig. 1. SEM micrograph at magnification of 1,000X for composite resins cured. (a) TS; (b) TE; (c) GS; (d) GE; (e) SS; (f) SE.

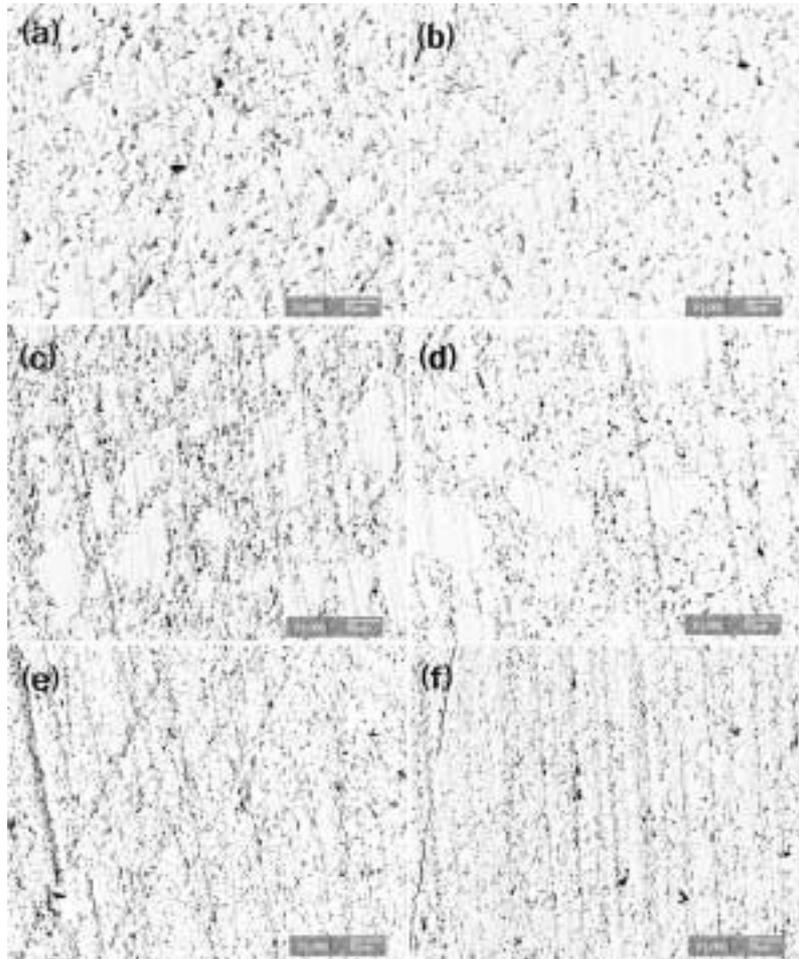


Fig. 2. SEM micrograph in high contrast at magnification of 1,000X for composite resins cured. (a) TS; (b) TE; (c) GS; (d) GE; (e) SS; (f) SE

Table 4. Result of pore Image pixel in high contrast of composite resins cured

Specimens	Pore Image pixel number	Area(um <sup>2</sup> )	The whole image per area bubble image area ratio
TS	145829	1273.7	11.1%
TE	17707	154.7	1.4%
GS	329170	2875.1	25.1%
GE	168796	1474.3	12.9%
SS	204779	1788.6	15.6%
SE	245622	2145.4	18.7%

#### IV. 고 찰

치아의 심미성을 향상시키기 위한 노력의 기술적인 접근의 하나인 복합레진의 개발로 환자들의 심미적 욕구가

증가 되면서 구치 부에서도 복합 레진의 사용이 증가되는 추세다. 직접법의 경우 복합레진은 파절 위험이 있고 중합 수축으로 인한 변연누출이 발생되며 색조 안정성과 경도의 문제점이 지적 되고 있다. 이를 극복하기 위해 간접

법으로 제작하여 초기 중합 후 광조사와 열을 이용하여 부가 중합하는 방법이 소개 되었다. 이러한 간접수복용 복합 레진의 사용은 증가추세에 있지만 고가의 중합장비로 인해 사용이 제한되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 많이 사용 되고 있는 3종류의 간접 수복용 복합레진을 사용하여 간편하고 저렴한 장비를 이용하여 광조사·열·압력을 가하여 복합레진을 중합하는 방법과 제조사가 제시하는 중합법으로 중합을 하였을 시 간접수복 복합 레진의 굴곡강도의 차이를 비교 평가하고자 하였다.

본 실험결과에서 굴곡강도는 광조사·열·압력을 이용하여 중합한 군과 제조사의 중합방법으로 중합한 군간의 비교에서 통계적 유의성은 없었으나, 광조사·열·압력을 이용하여 중합한 군이 제조사의 중합방법으로 중합한 군보다 높은 굴곡강도를 나타내었다. 즉 실험군 (TE, GE, SE)이 대조군(TS, GS, SS)보다 더 높은 굴곡강도를 보였다. 이는 부가적인 열처리나 압력을 가하므로 인해 복합 레진의 중합도가 증가하여 중합 후 남아 있는 미중합 레진의 양이 줄어들며 잔존중합체의 동요도를 증가시켜 사슬의 형성을 가속화되어, 이미 중합된 부위의 가교를 강화되어 체적안정성이 부여되어 물리적 성질이 향상된다는 보고와 일치한다(Wendt et al., 1987). Ferracane 등 (1992), Inoue 등 (1988) 및 Cho 등 (1997)은 또한 광중합을 단독으로 시행하였을 때 보다 열중합을 추가적으로 가하였을 때 물성이 향상된다고 보고하였다.

그러나 McCabe 등 (1991)은 인레이용 복합레진을 대상으로 열처리를 시행해본 결과 열처리에 의해 물성이 약간 향상되었지만 이는 통계학적인 유의성이 없다고 하였으며, Asmussen 등 (1990)은 4가지 복합레진을 다양한 온도에서 1시간 동안 열처리하여 간접인장강도, 굴곡강도 및 탄성률을 측정해본 결과 강도, 견고성, 탄성은 약 9% 밖에 증가 되지 않았고 열처리에 의해 물성이 향상되었다고는 볼 수 없다고 보고하였으며, Wendt 등 (1989)은 실제 임상에서도 열처리가 물성을 향상시키는지를 평가한 실험에서 125℃에서 7.5분간 열처리한 복합레진 인레이와 통상적인 가시광선만으로 중합하여 제작한 복합레진 인레이 간에 마모도 차이가 없었다고 보고하였다.

본 실험결과에서 간접수복 복합레진의 굴곡강도는 TS 군이 179.8MPa, SS군이 111.1MPa, GS군이 100.9MPa, TE 군

이 195.4MPa, SE군이 137.7MPa 및 GE군이 169.9MPa으로 간접수복 복합레진에 요구되는 100MPa보다 모두 높았으며, Tescera, Sinfony 및 Gradia 순으로 작아졌다. Kim 등 (2007)의 연구에서는 Z250이 굴곡강도가 가장 크게 (131MPa) 나타났으며 Adoro (110MPa), Belleglass HP (104MPa), Tescera (85MPa), Sinfony (77MPa) 순으로 작아졌는데, 본 실험결과에서 Tescera (179.8MPa), Sinfony (111.1MPa)과는 차이가 있다. 이는 술자의 테크닉과 기기사용방법의 차이로 인한 것으로 판단된다. Kakaboura 등 (2003)의 연구에서도 Sinfony가 Belleglass HP보다 더 높은 굴곡강도를 보였다. 이는 Sinfony의 filler 함유량이 낮고 덜 단단한 organic network을 갖고 있기 때문이라 하였다. Demirel 등 (2003)의 연구에서는 Z100이 낮은 굴곡강도 (114MPa)를 나타냈으며, Artglass (Heraeus Kulzer, South Bend, IN, 129MPa), Targis, Belleglass HP 순으로 높게 나타났다. Touati 등 (1997)의 연구에서는 Conquest (Jeneric Pentron, Wallingford, Connecticut, 160MPa), Targis (160MPa), Columbus (Cendres and Metaux, Paris, France, 155MPa), Belleglass HP (150MPa), Artglass (120MPa) 으로 측정되었다.

본 실험결과에서 Sinfony를 제외하고는 광조사·열·압력을 이용하여 중합한 군이 제조사의 중합방법으로 중합한 군보다 표면 기포가 적은 것으로 나타나 굴곡강도의 결과와 일치한다. 또한 광중합형 복합 레진보다 열중합형 복합 레진에서 기포가 더 적게 나타났다는 Strohaber 등 (1987)의 보고와도 유사하다. 주사전자현미경을 이용한 복합레진 표면의 다공성 비교에서는 TE군과 GE군이 TS 군과 GS군보다 기포가 적은 것으로 나왔고 SS군에서는 SE보다 기포의 수가 적게 나타났다. SS군의 제작법은 흐름성이 있어 소량씩 첨가하여 1차 중합하고 TM master set에 넣어 진공이 들어간 상태에서 2차 중합이 이루어지므로 기포의 수를 줄이는 사유가 되었으리라 판단된다.

본 실험결과에서 광조사·열·압력을 사용한 중합법의 굴곡강도가 더 높게 나온 것은 가압이 유지된 상태로 끓는점의 온도가 제조사가 제시하는 온도보다 좀 더 높았고 서냉 하면서 중합이 더 오랜 시간 잘 이루어졌기 때문이라고 판단된다. 하지만 고려해야 할 부분은 술자의 테크닉이나 기기 사용의 숙지에 따라서 조금씩의 차이를 배재

할 수는 없다는 것이다. 중합 형태에 따른 서로 다른 인레이용 복합 레진 간의 비교와 광조사·열·압력법에 따른 물성이 향상된 복합 레진인레이의 중합도에 대한 평가 및 실제 임상과 유사한 실험 조건 하에서 장기간에 걸친 연구가 요구되며 미세 누출을 완전하게 폐쇄 시킬 수 있는 합착용 레진 시멘트에 대한 연구가 계속 된다면 간접수복 복합레진은 구치부 수복물에서 요구되는 물리적 화학적 성질과 생물학적인 안전성과 심미성을 모두 갖춘 미래의 심미적 구치부 수복물로서 각광을 받을 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 중합방법에 따른 간접수복 복합레진의 굴곡강도를 분석하고자 하였다. Tescera, Gradia 및 Sinfony 등의 3종의 간접수복 복합레진을 제조사의 중합방법과 광조사, 열 및 압력을 가해주는 중합방법으로 제작하여 굴곡강도를 측정하였고 주사전자현미경을 이용하여 표면의 미세구조와 기포수를 관찰하였다. 그 결론은 다음과 같다.

1. 굴곡강도는 광조사·열·압력의 중합방법을 사용한 TE군이 가장 높았고, TS군, GE군, SE군, SS군 및 GS군 순으로 나타났다.

2. 광조사·열·압력의 중합방법으로 간접수복 복합레진을 중합한 실험군이 제조사의 중합방법으로 중합한 대조군보다 굴곡강도가 높았지만 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ( $P > 0.05$ ).

3. 광조사·열·압력의 중합방법을 사용한 TE군과 GE군에서는 TS군과 GS군에 비하여 기포가 조밀하고 적은 것으로 나타났으나, 제조사의 중합방법을 사용한 SS군이 광중합, 열, 압력을 사용한 SE보다 기포수가 적게 나타났다.

## REFERENCES

- Asmussen E, Peutzfeldt A. Mechanical properties of heat treated restorative resins for use in the inlay/onlay technique. *Scand J Dent Res*, 98, 564-567, 1990.
- Byun CW. Optimal heat-cure temperature for polymerization of indirect composite. Unpublished doctoral dissertation, Kyung Hee University, Seoul, 2011.
- Cho, SA, Cho, YG, Moon, JH, Oh, HJ. A study on the physical properties of a composite resin inlay by curing methods. *J Korean Acad Conserv Dent*, 22(1), 254-266, 1997.
- Dale BG, Aschheim KW. *Esthetic dentistry: A clinical approach to techniques and materials*, Lea & Febiger, Philadelphia, 1993.
- Demirel F, Saygili G, Sahmali S. Comparative mechanical property characterization of three indirect composite resin materials compared with two direct composites. *Polym Adv Technol*, 14, 380-386, 2003.
- Ferracane JL, Condon JR. Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dent Mater*, 8, 290-295, 1992.
- Geum YH. Effect of polymerization methods on the flexural strength of indirect composite resin. Unpublished master's dissertation, Catholic University of Pusan, Busan, 2013.
- Inoue K, Terachi M, Utsumi S. A study on composite resin inlay. *J Dent Res*, 67(special issue), 222(abs. no. 873), 1988.
- Kakaboura A, Rahiotis C, Zinelis S, Al-Dhamadi YA, Silikas N, Watts DC. In vitro characterization of two laboratory-processed resin composites. *Dent Mater*, 19(5), 393-398, 2003.
- Kim HJ, Kim KJ, Cho HW, Jin TH. The study on

- the color stability of composite resin. *J Korean Acad Prosthodont*, 40(1), 79–87, 2002.
- Kim KS, Yoon TH, Song KY, Ahn SG. Comparison of mechanical properties in 4 indirect composite resin. *J Korean Acad Prosthodont*, 45(1), 21–33, 2007.
- Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, Bush PJ, Carter JM. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. *J Prosthet Dent*, 85(4), 386–395, 2001.
- McCabe JF, Kagi S. Mechanical properties of a composite inlay material following post-curing. *Br Dent J*, 171, 246–248, 1991.
- Nandini S. Indirect resin composites. *J Conserv Dent*, 13(4), 184–194, 2010.
- Professor of Council of Korea Dental Material. *Dental material*, 6th ed. Seoul, Koonja Press, 2011.
- Sedda M, Papacchini F, Salonna P, Borracchini A, Ferrari M. Effect of post-cure heating on the flexural strength of two indirect resin composites. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 18(3), 102–106, 2010.
- Shinkai K, Suzuki S, Leinfelder KF, Katoh Y. How heat treatment and thermal cycling affect wear of composite resin inlays. *J Am Dent Assoc*, 125, 1467–1472, 1994.
- Strohaver RA, Mattie DR. A scanning electron microscope comparison of microfilled fixed prosthodontic resins. *J Pros Dent*, 57, 559–565, 1987.
- Touati B, Aidan N. Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. *J Esthet Dent*, 9, 108–118, 1997.
- Wendt SL Jr. The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins. II. Wear, hardness, and color stability. *Quint Int*, 18(5), 351–356, 1987.
- Wendt SL Jr. Time as a factor in the heat curing of composite resins. *Quintessence Int*, 20(4), 259–263, 1989.