

광중합 복합레진에 대한 가열처리 피로내성 및 중합수축에 미치는 영향

전남대학교 치과대학 보존학 교실, 구강악안면외과학 교실*
전북대학교 치과대학 보존학 교실**
東北大學校齒學部保存學第2講座***

오원만 류선열* 손호현** 奥田礼一*** 遠藤達雄*** 工藤義之***

Abstract

A Fatigue Toughness and Polymerization Shrinkage of Post-cure Heat Treated Composite Resins

Wonmann Oh, D. D. S., M.S.D., Sunyoul Rhu*, D. D. S., M.S.D., Ph. D.
Hohyun Son**, D. D. S., M.S.D., Ph. D., Reiichi Okuda***, D. D. S., Ph. D.,
Tastuo Endo***, D. D. S., Ph. D., Yoshiyuki Kudo***, D. D. S., Ph. D.
*Dept. of Conservative Dentistry, Dept. of Oral and Maxillofacial
Surgery*, College of Dentistry, Chonnam National University
Dept. of Conservative Dentistry**, Chonbuk National University
Dept. of Operative Dentistry***, School of Dentistry, Tohoku University
(4-1, Seiryomachi, Sendai 980, Japan)*

This study was conducted to evaluate whether the fatigue toughness of visible light cured composite resins could be improved and how much percentage of polymerization shrinkage could be affected by additional heat treatment.

7 materials were investigated for this study : P-50, Lite-fil CR inlay, Pekafile, Clearfil CR inlay, Clearfil photo posterior, Z-100 and Progress. Diametral tensile strengths and linear shrinkages of composite resins were taken under visible light cured and additional post-cure heated condition and compared each other.

A fatigue toughness of above materials was evaluated by measuring diametral tensile strength after they were repeatedly loaded with 120kgf/cm² up to 3000 cycles.

The results obtained were as follows :

1. When composite resins were cured just by visible light, Lite fil CR inlay, Z-100 and Progress showed respectively higher diametral tensile strength than the other materials. Clearfil CR inlay, Clearfil photo posterior and Progress exhibited strong fatigue toughness compared to P-50 and Pekafile.
2. Post-cure heat treated composite resins had higher diametral tensile strengths than visible

- light cured composite resins at fatigue toughness test as well as no fatigue toughness test.
3. When Composite resins were additionally polymerized by post-cure heat treatment, P-50 showed weak fatigue toughness, on the contrary, Clearfil CR inlay, Z-100, Progress showed strong one.
 4. When composite resins were cured just by visible light, percentage of polymerization linear shrinkage was the lowest in Clearfil CR inlay, followed by, in ascending order, Clearfil photo posterior, Lite-fil CR inlay, Progress, Pekafil, P-50, and Z-100. In the case of post-cure heat treated composite resins, percentage of linear shrinkage was the lowest in Clearfil photo posterior, followed by, in ascending order, Lite-fil CR inlay, Clearfil CR inlay, Progress, P-50, Pekafil and Z-100.
 5. Percentage of polymerization linear shrinkage was greater in the post-cure heat treated composite resins than in the visible light cured composite resins and linear shrinkage increased significantly in Pekafil, Clearfil CR inlay, and Clearfil photo posterior between at the visible light cured and at the post-cure heat treated condition.

The above results is saying that additional post-cure heat treatment on the composite resins for posterior restoration is able to affect on improvement of strength and fatigue toughness and lead to increase polymerization of composite resins.

I. 서 론

최근 구치부 수복에 있어서 환자들이 심미성 수복에 대한 관심의 증가와 복합레진의 물리적 및 기계적 성질의 개선으로 인해 금인레이나 아말감 수복대신에 구치부용 복합레진이 많이 이용되고 있다. 그러나 복합레진을 구치용 수복으로 사용할 경우 아말감에 비해 수복시 시간이 많이 걸리고 인접면 접촉점을 회복하기 힘들며, 수복물 외형을 회복하는데 어려움이 있다. 또한 외동의 치은연이 상아질이나 백악질에 위치하는 경우에 복합레진 자체의 중합수축으로 인해 접촉면에 수축간극을 형성함으로써 술후 과민증이나 이차우식증 등의 문제점들을 유발시키기 때문에 직접 복합레진을 수복하는 것보다 인상채득에 의한 인레이 기법을 사용함으로써 수축응력을 최소화 시키고 변연 접합성을 향상 시키는 복합레진 수복의 간접법의 이용이 증가 추세에 있다.^{1, 2, 3, 4)} 복합레진을 간접법의 인레이 기법으로 수복시 광중합후 가열처리하는 것을 권고하고 있는 바, Ferracane와 Condon⁵⁾은 광중합 복합레진에 부과적으로 가열처리를 했을 경우에 피로내성(fracture toughness), 미세 경도 및 탄성계수 등의 물리적

성질의 현저한 개선이 있었다고 보고했고, Lutz등⁶⁾은 화학중합 레진에 가열처리한 경우 마모 저항성이 증가된다고 했으며 Wendt^{7, 8)}은 광중합된 복합레진을 100°C와 200°C사이의 온도에서 10분 동안 부과적으로 가열처리한 경우 압열 인장강도(diametral tensile strength)와 경도에 있어서 10%에서 20% 정도 그리고 마모 저항성은 40%에서 50% 정도의 증가가 있었다고 했으나 압축강도에 대한 영향은 적었다고 했다. 반면 Wendt와 Leinfelder⁹⁾에 의하면 광중합만 한 복합레진 인레이와 광중합한 후 120°C에서 10분 동안 가열처리한 인레이가 마모율에 있어서 차이가 없었다고 했고, Krejci등¹⁰⁾은 또한 일관성 있는 결과를 볼 수 없었다고 보고한 바 있다.

모든 복합레진은 경화시 중합에 의한 단량체의 covalent bond에 의해 수축이¹¹⁾ 야기되며 중합수축은 복합레진 수복의 수명을 결정하는데 주요 요소중의 하나가 된다¹²⁾. 복합레진의 중합수축을 여러 방법에 의해 측정해온 바 Smith와 Schoonover¹³⁾, Bowen¹⁴⁾, Dennison와 Craig¹⁵⁾ 등은 용적수축량을 Lee등¹⁶⁾, Hegdahl와 Gjerdet¹⁷⁾, Bowen¹⁸⁾ 등은 선수축량을 측정하여 보고했다. Methylmethacrylate계의 레진은 중합시 약 7%의 용적수축과 2.4%의 선수축률을

나타내는 대신에 복합레진은 대략 0.2% 정도의 선수축률을 나타내며, 화학중합형 레진의 있어서 레진의 중앙부에서 중합이 개시되어 전체적으로 균질하게 중합되며 중합수축에 의해 주로 외벽부에 간극이 발생하는 것에 반해 광 중합레진은 유효한 광의 도달거리가 2-3mm 밖에 되지 않기 때문에 레진의 표면에서 중합이 개시되어 중합수축에 의해 주로 외벽 부위에 간극이 발생하므로 가능한한 중합수축이 적은 복합레진을 사용하는 것이 바람직하다.¹⁰⁾

복합레진의 물리적 및 기계적 성질은 레진기질의 구성성분에 있어서 차이, 무기질 필러의 크기 및 레진내의 분포량, 적용되는 임상적 기법 그리고 중합방법 등에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 본 연구에서는 가시광선 중합 복합레진에 가열 처리를 부가하여 물리적 성질의 개선 여부를 피로내성 및 중합수축을 평가함으로써 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하고자 한다.

II. 재료 및 방법

가시광선 조사만에 의해 중합시킨 구치용 복합레진과 광중합후 가열처리 시킨 구치용 복합레진의 피로내성 및 선수축률을 측정하기 위해 7종의 구치용 복합레진을 사용하였다(Table 1).

1. 피로내성 시험

1) 광중합 복합레진의 피로내성 시험

내경 4mm, 높이 8mm의 유리관에 복합레진을 압

적시킨 후 상, 하 그리고 수평의 3방향, 즉 모두 5 방향에서 가시광선 조사기(LUXOR, I.C.I., Japan)로 40초씩 각각 조사하여 각 재료별로 12개의 시편을 제작하였다. 중합개시 후 30분 후에 경화된 레진을 유리관 으로부터 분리하여 37°C 증류수에 투입하여고 24시간 경과 후 Fig. 1에서와 같이 만능 시험기(Inst-ron 1123, U.S.A.)로 crosshead speed의 0.5 mm/min 하에서 재료별로 각각 6 개 씩 압력 인장강도(diamet-ral tensile strength)를 측정하였다.

광중합 복합레진의 피로내성을 시험하기 위해서 각 재료의 6개 씩의 시편들에 동일한 만능시험기로 crosshead speed의 10mm/min 하에서 120 kgf/cm²의 하중을 3000회 부가하였으며 하중이 반복해서 가

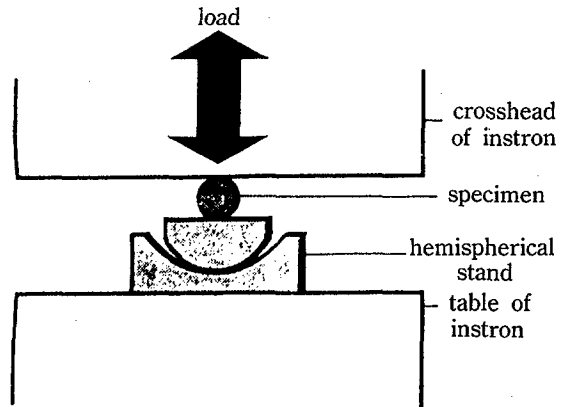


Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus.

The specimen set up load on instron machine.

Table 1. Composite resins tested

Materials(groups)	Batch NO.(shade)	Manufacturer
P-50 (A)	9350(U)	3M Co., U.S.A
Lite-fill CR inlay(B)	129005(U)	Shofu Inc., Japan
Pekafil(C)	1391H(U)	Bayer Dental, Germany
Clearfil CR inlay(D)	0001C(US)	Kuraray Co., LTD., Japan
Clearfil photo posterior(E)	00174(US)	kuraray Co., LTD, Japan
Z-100(F)	5904(A _s)	3M Co., U.S.A.
Progress(G)	17C28(A _s)	Kanebo Co., LTD, Japan

해지는 동안에 파절에 대한 내구 회수를 기록하였고 3000회의 피로시험에도 파절되지 않은 내구성을 지니는 시편에 대해서는 만능시험기로 crosshead speed의 0.5mm/min 하에서 압열 인장강도(diametral tensile strength)를 측정하였다.

압열 인장강도 측정시나 혹은 120 kgf/cm²의 하중으로 3000회 까지 부하를 가하는 과정에서 파절된 시편들의 내면을 확대경으로 관찰하여 기포가 있는 시편은 시험에서 배제 하였고 새로운 시편을 제작한 후 재측정하였다.

2) 광중합 및 가열처리시킨 후 피로내성 시험

위와 동일한 방법으로 유리관 내에 복합레진을 삽입하여 광중합한 후 시편을 가열중합기(加熱重合器 KL100, Kuraray Co., LTD, Japan)로 100°C에서 15분 동안 가열처리하였다. 시편을 광중합 개시후 30분 후에 37°C 증류수에서 24시간 동안 보관하였으며 각 재료 당 12개의 시편을 제작하였다. 광중합 및 가열처리된 시편들을 동일한 만능시험기로 crosshead speed의 0.5mm/min 하에서 각 재료당 6개씩 압열 인장강도를 측정하였다.

피로내성을 시험하기 위해 나머지 각 재료당 6개의 시편들을 만능시험기를 이용해 crosshead speed의 10mm/min 하에서 120 kgf/cm² 하중을 3000회 가하였고 반복적으로 하중이 가해지고 있는 동안에 파절에 대한 내구 회수를 기록하였으며 3000회의 피로시험 에서도 파절에 대해 내구성을 지니는 시편에 대해서는 만능시험기로 crosshead speed의 0.5 mm/min 하에서 압열 인장강도를 측정하였다. 압열 인장강도 측정시나 혹은 120Kgf/cm²의 하중으로

3000회 까지 하중을 가하는 과정에서 파절된 시편들의 내면을 확대경으로 관찰하여 기포가 있는 시편은 시험에서 배제하고 새로운 시편을 제작한 후 재측정하였다.

2. 중합수축률 측정

1) 광중합후 선수축률 측정

피로내성 시험에 사용된 7종의 동일한 복합레진을 사용하였다(Table 1). 7종 복합레진의 중합수축량은 Bowen등¹⁰⁾의 방법에 의하여 측정하였다. 즉 Fig. 2-a와 같이 금형을 제작하였으며 인레이 왁스를 벤젠에 용해시켜 금형에 얇게 도포하여 복합레진의 분리제로 사용하였다. 광중합 복합레진을 Fig. 2-a의 도포의 화살표 방향으로 복합레진을 전색한 후 커버 글래스로 압접하고 동일한 가시광선 조사기로 60초 동안 광중합한 후 금형의 하부를 취해 배면 부위에 60초 동안 광조사하였다. Fig. 2-a에 표시된 화살표 방향의 역 방향으로 2kgf의 하중을 30초 동안 부가한 후 Digital linear gauge DG-751(ONO SOKKI, Japan)이용하여 Fig. 2-b와 같이 중합수축에 의해 금형으로부터 침하된 깊이 X를 측정했다. 중합시의 선수축량을 아래 공식에 의해 측정후 선수축률을 구하였다. 시편의 수는 각 군마다 5개씩 제작하였고 측정 시기는 예비실험의 결과에 의해 촌법 변화의 안정된 시기를 구해 중합 개시 30분 후에 측정하였다.

$$S(\text{선수축량}) = X(B-A)/Bh$$

A : 외동 하면의 직경

B : 외동 상면의 직경

h : 상하면간의 고경

X : 중합후의 침하된 깊이

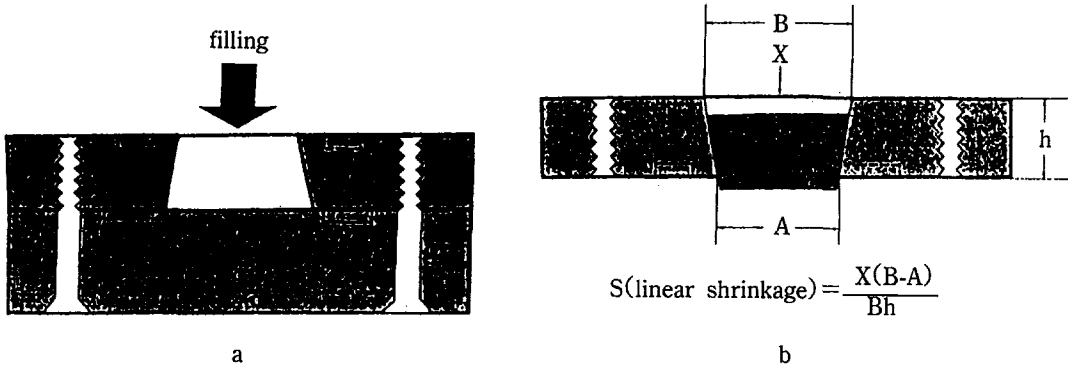


Fig. 2-1,b Schematic diagram of the metal mold used for measuring the shrinkage of composite resin.

2) 광중합 및 가열처리 후의 선수축률 측정
7종의 제품을 금형에 전색한 후 위와 동일한 방법으로 광중합시키고 금형과 함께 加熱重合器에 100℃에서 15분 동안 가열처리한 후 위와 동일한 방법으로 선수축률을 측정한 후 선수축률을 구하였다. 시편은 각 군마다 5개 씩 제작하였고 광중합 개시 30분 후에 선수축률을 측정하였다.

3. 통계 처리

시험조건의 변화에 따른 제품들 간의 물리적 성질을 비교하기 위해서 one-way ANOVA, 및 Duncan's multiple range test를 시행했으며, 동일한 제품에 있어서 물리적 성질의 변화를 비교하기 위해서는 Student's t-test를 시행하였다.

III. 결 과

1. 피로내성 시험

광중합만 시행한 경우와 광중합 및 가열처리한

경우의 피로내성 시험결과는 Table 2, 3, 4, 5, 6, 7 및 Fig. 3에 기록된 바와 같다.

광중합만 시킨 군들에 있어서 3000회의 120 kgf/cm²의 반복 하중을 가한 경우 파절되지 않고 100%의 내구력을 지니는 군들은 D군, E군, F군 및 G군이었으나 A군과 C군은 68%를 B군은 83%만의 내구력을 보였으며 광중합후 가열처리한 군에서는 모든 군이 100%의 파절에 대해 내구력을 보였다(Table 2, 3).

광중합만 시킨 군들에 있어서 반복하중을 가하지 않은 경우에는 압열 인장강도가 F군 (408.2±150.3 kgf/cm²)에서 가장 높았고 다음은 G군(399.6±125.6 kgf/cm², B군(398.0±132.1 Kgf/cm²), D군(326.7±171.7 Kgf/cm², A군(289.2±78.6 kgf/cm², E군(287.4±81.5 Kgf/cm² 및 C군(286.1±110.9 Kgf/cm²)의 순으로 감소하였으나 군들 간에는 통계적 유의한 차는 없었다(P>0.05, Table 2, Fig. 3). 3000회의 120 kgf/cm²의 반복 하중을 가한 경우는 E군(428.6±100.

Table 2. Diametral tensile strength of light cured specimens, percentages of tolerated specimens up to 3000 cycles of 120 kgf/cm²

Composite resins(code)	before load cycles	after 3000 cycles of 120 kgf/cm ²	% of tolerated specimens up to 3000 cycles
P-50(A)	289.2 (78.6)	221.4 (217.9)	68%
Lite-fil CR inlay(B)	398.0 (132.1)	256.1 (136.9)	83%
Pekafil(C)	286.1 (110.9)	203.1 (192.7)	68%
Clearfil CR inlay(D)	326.7 (171.7)	355.3 (108.4)	100%
Clearfil photo posterior(E)	287.4 (81.5)	428.6 (100.7)	100%
Z-100(F)	408.2 (150.3)	343.0 (51.1)	100%
Progress(G)	399.6 (125.6)	391.1 (118.3)	100%

*: p<0.05, mean(s. d.) kgf/cm²

Table 3. Diametral tensile strength of post-cure heat treated specimens, percentage of tolerated specimens up to 3000 cycles of 120 kgf/cm²

Composite resins(code)	before load cycle	after 3000 cycles of 120 kgf/cm	% of tolerated specimens up to 3000 cycles
P-50 (A)	527.1 (172.1)	324.1 (89.1)	100 %
Lite-fil CR inlay(B)	593.4* (100.0)	441.8 (165.0)	100%
Pekafil(C)	460.6 (115.0)	378.0 (121.8)	100%
Clearfil CR inlay(D)	460.1 (186.6)	467.7* (155.4)	100%
Clearfil photo posterior(E)	392.4 (162.2)	300.0 (47.6)	100%
Z-100(F)	467.9 (135.5)	458.7 (88.7)	100%
Progress(G)	541.1 (120.7)	467.0 (157.4)	100%

* : p<0.05, mean(s. d.) kgf/cm²

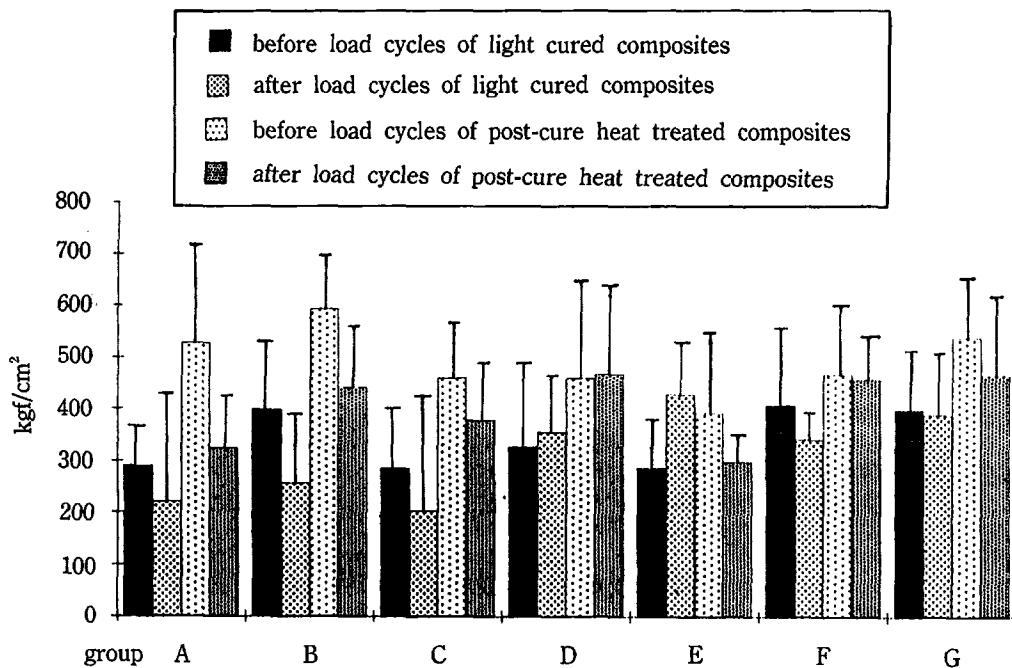


Fig. 3 Diametral strength of composite resins

7 Kgf/cm²이 가장 높았으며 다음으로 G군(391.1±118.3 kgf/cm², D군(355.3±108.4 kgf/cm², F군(343.3±51.1kgf/cm². B군(256.1±136.9 kgf/cm², A군(221.4±217.9 kgf/cm² 및 C군(203.1±192.7 kgf/cm²의 순으로 감소하였으며 군들 간에는 통계적 유의한 차이가 나타났다(p<0.05, Table 2, Fig. 3). 가열처리하지 않고 광중합만 시킨 군들에서 반복하중을 가하지 않은 경우와 반복하중을 가한 경우의 압열 인장강도를 비교한 바 E군을 제외한 모든 군에서 반복하중을 가한 경우가 압열 인장강도가 낮게 나타났으나 통계적 유의한 차는 없었고 E군의 경우 오히려 유의성이 있게 증가하는 양상을 보였다(P<0.05, Table 2, Table 4).

광중합후 가열처리한 군들에 있어서 반복하중을 가하지 않은 경우에는 압열 인장강도가 B군(593.4±100.0 kgf/cm²에서 가장 높았고 다음은 G군(541.1±120.7 kgf/cm², A군(527.1±172.1 kgf/cm²), F군(467.9±135.5 kgf/cm², C군(460.6±115.0 kgf/cm², D군(460.1±186.6 kgf/cm²), 및 E군(392.4±162.2 kgf/cm²)의 순으로 감소했으나 군들 간에는 통계적 유의한 차이가 없었으나 단지 B군과 E군 사이에는 유의한 차이가 있었다 (p<0.05, Table 3, Fig. 3). 3000 회의 120 kgf/cm²의 반복 하중을 가한 경우에 D군

(467.7±155.4 kgf/cm²)이 가장 높았고 다음으로 G군(467.0±157.4kgf/cm²), F군(458.7±88.7 kgf/cm²), B군(441.8±165.0 kgf/cm²), C군(378.0±121.8 kgf/cm²), A군(324.1±89.1 kgf/cm²) 및 E군(300.0±47.6 kgf/cm²)의 순으로 감소했고 군들 간에는 통계적 유의성이 없었으나(p>0.05), E군과 D군 그리고 E군과 G군 사이에는 통계적 유의한 차이가 있었다(p<0.05, Table 3, Fig. 3). 광중합후 가열처리한 군들에서 반복하중을 가하지 않은 경우와 반복하중을 가한 경우의 압열 인장강도를 비교한 바 반복하중을 가한 경우가 D군을 제외한 모든 군에서 압열 인장강도가 낮게 나타났고 유의한 차는 없었으나 A군만 유의성이 있게 감소하였다(p<0.05, Table 3, Table 5). 반복하중을 가하지 않은 경우에 있어서 가열처리의 효과를 검토해 본 바 모든 군에서 가열처리한 경우가 처리하지 않은 경우보다 압열 인장 강도가 증가하였으며 특히 A군, B군, C군 및 G군 등은 유의한 차이가 있게 증가하였다(p<0.05, Table 6). 반복하중을 가한 경우에는 가열처리한 군들이 가열처리를 하지 않은 군들보다 E군을 제외한 모든 군에서 압열 인장강도는 증가하였으며, 특히 E군과 F군에서만 유의한 차이가 나타났다(p<0.05, Table 7).

Table 4. The effect of load cycles on diametral tensile strength of composite resins not applied with heat treatment

group	A	B	C	D	E	F	G
before	289.2	398.0	286.1	326.0	287.0	408.2	399.6
load cycles	(78.6)	(132.1)	(110.9)	(171.7)	(81.5)	(150.3)	(125.6)
after	221.4	256.1	203.0	355.5	428.6	343.0	391.1
load cycles	(217.9)	(136.9)	(192.7)	(108.4)	(100.7)	(51.2)	(118.3)

* : p<0.05, mean(s. d.) kgf/cm²

Table 5. The effect of load cycles on diametral tensile strength of composite resins applied with heat treatment

group	A	B	C	D	E	F	G
before	527.1	593.4	460.6	460.1	392.4	467.9	541.1
load cycles	(172.1)	(100.0)	(115.0)	(186.6)	(160.2)	(135.5)	(120.7)
after	324.1	441.9	378.5	467.7	300.0	458.7	467.0
load cycles	(89.1)	(165.0)	(121.8)	(155.4)	(47.6)	(88.7)	(157.4)

* : p<0.05, mean(s. d.) Kgf/cm²

Table 6. The effect of heat treatment on diametral tensile strength of composite resins before load cycles

group	A	B	C	D	E	F	G
light cure	289.2* (132.1)	398.0* (110.9)	286.1* (171.7)	326.7 (81.5)	287.4 (150.3)	408.2 (125.6)	399.6* (78.6)
post-cure	527.1	593.4	460.6	460.1	392.4	467.9	541.1
heat Tx.	(172.1)	(100.0)	(115.0)	(186.6)	(160.2)	(135.5)	(120.7)

* : $p < 0.05$, mean(s. d.) Kg/cm²

Table 7. The effect of heat treatment on diametral tensile strength of composite resins after load cycles

group	A	B	C	D	E	F	G
light cure	221.4 (217.9)	256.1 (136.9)	203.1 (192.7)	355.5 (108.4)	428.6* (100.7)	343.0* (51.2)	391.1 (118.3)
post-cure	324.1	441.8	378.5	467.7	300.0	458.7	467.0
heat Tx.	(89.1)	(165.0)	(121.8)	(155.4)	(47.6)	(88.7)	(157.4)

* : $p < 0.05$, mean(s. d.) kg/cm²

2. 중합수축률

광중합 복합레진의 광중합만 시행한 경우와 광중합 후 가열처리한 경우의 중합 선수축률은 Table 8 및 Fig. 4에 기록된 바와 같다.

광중합만 시행한 경우에 선수축률은 D군(0.104±0.036 %)에서 제일 낮았으며, E(0.14±0.018 %), B군(0.172±0.039 %), G군(0.219±0.024 %), C군

(0.220±0.016 %), A군(0.2±0.060 %) 및 F군(0.317±0.050 %)의 순으로 증가하였으며 각 군간에는 유의한 차가 나타났다($p < 0.01$, Table 8, Fig 4).

광중합 후 가열처리한 경우에 선수축률은 E군(0.186±0.018 %)에서 가장 낮았으며, B군(0.191±0.032 %), D군(0.195±0.029 %), G군(0.243±0.027 %), A군(0.294±0.052 %), C군(0.388±0.050 %)

Table 8. Linear shrinkage of composite resins

composite resins(code)	light cure	post-cure heat treatment
P-50(A)	0.234(0.060) %	0.294(0.052) %
Lite-fil		
CR inlay(B)	0.172(0.039) %	0.191(0.032) %
Pekafil(C)	0.220(0.016) %	0.388(0.050) %
Clearfil		
CR inlay(D)	0.104(0.036) %	0.195(0.029) %
Clearfil photo		
posterior(E)	0.146(0.018) %	0.186(0.018) %
Z-100(F)	0.317(0.050) %	0.478(0.061) %
Progress(G)	0.219(0.024) %	0.243(0.027) %

* : $p < 0.01$, mean(s. d.) %

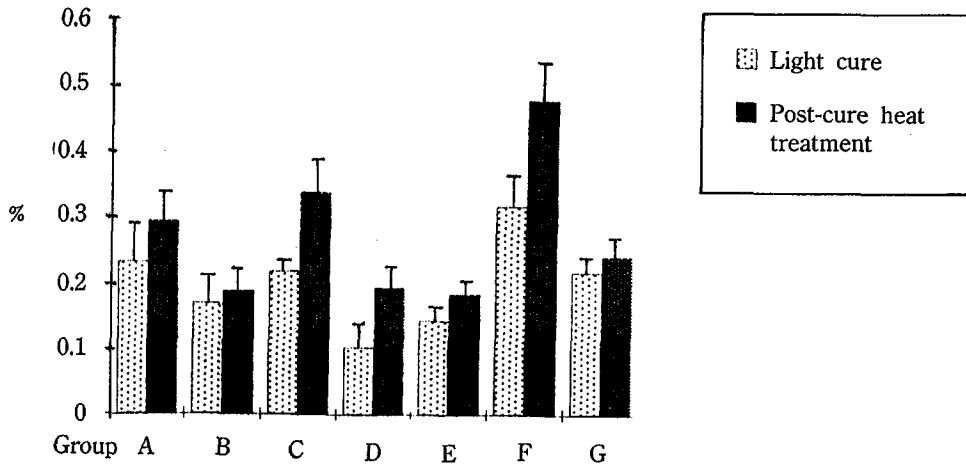


Fig. 4 Linear shrinkage of composite resins

Table 9. Comparisons of linear shrinkage of composite resins between light cure and post-cure heat treatment

group	A	B	C	D	E	F	G
light cure	0.234 (0.060)	0.172 (0.039)	0.220 (0.016)	0.104 (0.036)	0.146 (0.018)	0.317 (0.050)	0.219 (0.024)
post-cure heat Tx.	0.294 (0.052)	0.191 (0.032)	0.388 (0.050)	0.195 (0.029)	0.186 (0.018)	0.478 (0.061)	0.243 (0.027)

* : $p < 0.01$, mean(s. d.) %

및 F군(0.478 ± 0.061 %)의 순으로 증가하였으며 구간간에 유의한 차가 나타났다($P < 0.01$, Table 8, Fig. 4).

광중합후 가열처리하지 않은 경우와 가열처리한 경우의 선수축률을 검토해 본 바 모든 군에서 가열 처리시에 선수축률이 증가했으며 특히 C군, D군, E군 및 F군에서 유의한 차가 있게 증가했다($p < 0.01$, Table 9).

IV. 고 찰

복합레진은 전치부에 한정되지 않고 구치부의 수복에 폭넓게 응용되는 등 그 사용 범위가 확대되고 있으며, 구강내는 저작기능에 의해 동적인 하중 즉 반복하중이 계속해서 가해지고 있기 때문에 특히 구치부에 사용되는 복합레진은 기능적 상황에서

파절에 저항하는 피로내성이 아주 중요하다.

저작력은 일반적으로 여성보다는 남성이 그리고 소아보다는 성인이 크며 저작되는 부위 그리고 개인에 따라 다르며 평균 저작력은 77kg 으로 알려져 있다²⁰⁾. Phillip²⁰⁾에 의하면 77kg의 하중을 교두침에 가했을 때 압축 응력은 1969Kg/cm^2 (28,000 psi) 이라고 했다. 그러나 저작시 치아와 치아 사이에 음식물이 개재되어 있어 음식물에 의해 교합 에너지가 흡수되고 치아 자체도 또한 에너지를 흡수하기 때문에 최대 교합력으로 저작하는 경우는 드물며 딱딱한 물체를 씹는 경우에는 치근막과 악관절의 반사적인 생체 반사작용에 의해 과도한 저작으로부터 치아 및 치아 주위조직을 보호한다고 보고되어 있다²¹⁾. 이러한 이유 때문에 下河邊²²⁾은 전치부용 복합레진에 대해 114.4kgf/m^2 의 경압축 하중으로 피로내성을 측정 한 바 있고, 齊藤²³⁾은 구치부용 복합레진의 피로내성 시험에서 200kgf/cm^2 , 160kgf/cm

² 및 120kgf/cm²으로 1000회의 반복 하중을 가한 후 압열 인장강도를 측정하고, 복합레진의 인장강도는 압축강도의 10-15% 밖에 되지 않는다고 보고했으며, 工藤 등²⁴⁾은 120kgf/cm²으로 3000회의 반복 하중을 가한 후 피로내성을 시험한 바 있어 본 연구에서는 이를 참고로 7종의 구치용의 복합레진에 120kgf/cm²의 하중으로 3000회의 반복하중을 가한 후 압열 인장강도를 측정하여 피로내성을 평가하였고 광중합된 복합레진에 부가적으로 가열처리한 경우의 물리적 성질의 개선 여부를 평가하였다.

구치부용 복합레진을 직접 수복하는 경우에 마모율, 물리적 및 화학적 분해, 중합 수축, 기술적인 어려움 및 상아질이나 백악질 부위에서 접착력의 결여 때문에 변연누출 등의 문제점이 있어 구강밖에서 완전히 중합시킨 후 레진 합착제에 의해 와동에 복합레진을 접착시키는 인레이 기법이 사용되고 있으며 복합레진의 물리적 성질을 개선시키기 위해 광중합후 가열시키거나 압력하에서 중합을 시키는 등의 여러가지 방법이 시도되고 있다. 열이나 압력에 의한 부가 중합을 시킨 경우의 잇점으로서는 고도로 중합이 되기 때문에 물리적 성질이 개선되고 마모 저항성이 증가되며 중합 수축이 치질 밖에서 이루어지기 때문에 복합레진의 내부 응력 및 변연 누출이 감소될 수 있다고 보고되어 있다¹⁾. Cook와 Johanson²⁵⁾에 의하면 가열처리에 의해 물리적 성질의 개선 이유에 대해서 중합 심도의 증가가 주요 요인이며 초기 중합과정에서 생기는 내부 응력도 제거되기 때문에 물리적 성질이 개선된다고 했다. de Gee 등²⁶⁾은 25°C에서 7분 동안 가열처리 시에 마모 저항률이 20-60% 증가했다고 했으며 개선 이유가 내부 응력이 제거되었기 때문이라고 했고 Haller 등²⁷⁾도 또한 5급 와동을 인레이 기법으로 수복하는 것이 직접 충전하는 기법에 비해 변연 봉쇄성이 우수하다고 했으며 가열 처리에 의해 내부응력이 제거되기 때문이라고 보고했다.

본 연구에서는 단지 광중합만 시행한 경우에 Lite-fil CR inlay, Z-100 및 Progress가 높은 압열 인장강도 비교적 높게 나타났으나 통계적 유의한 차는 보이지 않았다. 120kgf/cm²으로 3000회의 반복 하중을 가하는 과정중에 P-50, Lite-fill CR inlay 및 Peka-fil군에서 파절되는 양상을 보였으나 가열처리시에는 피로시험에 모든 군에서 100%의 내구력을 보여 물

리적 성질의 개선됨을 알 수 있었다. 피로내성시험 후의 압열 인장강도는 반복하중을 가하기 전보다 대부분 군이 낮게 나타났으나 Clearfil CR inlay와 Clearfil photo posterior에서 오히려 증가 했고 특히 Clearfil photo posterior 경우 반복 하중을 가하기 전보다 반복 하중으로 피로시험한 후가 유의성 있게 큰폭으로 압열 인장 강도가 증가하는 특이한 양상을 나타냈으나 이에 대한 원인은 확인할 수 없었다. Progress군의 경우 피로내성 시험전과 후의 압열 인장 강도의 차가 매우 적어 피로내성이 매우 우수하였으며 Z-100도 또한 비교적 높은 피로내성을 보였다.

광중합후 가열처리한 경우에 단지 광중합만 했을 때보다 광중합후 가열처리후가 모든 군에서 압열인장강도가 증가하여 Cook와 Johannson²⁵⁾의 보고와 유사한 결과를 보였으며 특히 P-50, Lite-fil CR inlay, Peka-fil 및 Progress에서 유의한 차가 있게 큰 폭으로 증가함을 알 수 있었다. 120kgf/cm²으로 3000회의 반복 하중을 가한 경우에 P-50에서 압열 인장강도가 큰 폭으로 떨어짐으로써 약한 피로내성을 보였으나 Clearfil CR inlay, Z-100 및 Progress 등은 피로내성 시험 전과 후의 압열 인장강도의 차가 적어 피로내성이 우수함을 알 수 있었다.

최근 시판되는 복합레진의 물리적 성질의 개선에 의해 중합수축이 많이 감소되었으나 완전히 없어지는 않고 있다. Goldman²⁸⁾은 복합레진의 중합수축에 대한 연구에서 용적에 의한 수축률이 레진에 따라 1.67%에서 5.68%까지의 범위를 보이며 광중합 복합레진이 가장 적었다고 했고, Rees와 Jacobsen¹¹⁾은 용적에 의한 중합수축률이 0.9~2.24% 정도였다고 했으며 工藤 등²⁴⁾은 선수축률이 0.14~0.47% 였음을 보고했다. 광중합 복합레진은 중합시에 광원에 근접한 부위에서 중합이 시작되기 때문에 수복물의 외부쪽으로 수축이 일어나는 대신에 화학중합 복합레진은 수복물의 내부에서 중합이 시작되어 증앙을 향하여 수축이 일어난다^{19, 29)}. 중합수축 과정에서 수복물 내에 내부응력이 발생하며, 이는 기질(matrix)과 무기질 필러(filler)사이에 접착 결여, 기질내에 기포나 미세균열 그리고 수복물과 와동벽 사이에 변연 간극 등을 유발한다^{28, 30, 31)}. 이와 같이 복합레진의 중합수축력에 대해서 Davidson과 de Gee³²⁾은 2.8~3.9 MPa을, Bowen 등³³⁾은 초미립자형 복합레진 (microfill composite resin)에서 6.1~6.4 MPa을

종래형 복합레진(conventional composite resin)에서는 5.5~7.3 MPa을 나타냈다고 보고한 바 있다. 본 연구에 있어서 선수축률은 광중합만 한 경우에 Clearfil CR inlay에서 가장 낮았으며, 다음은 Clearfil photo posterior, Lite-fil CR inlay, Progress, Pekafile, P-50 및 Z-100 순으로 증가하였고, 광중합후 가열처리시에는 Clearfil photo posterior에서 가장 낮았으며 다음은 Lite-fil CR inlay, Clearfil CR inlay, Progress, P-50, Pekafile 및 Z-100의 순으로 증가했다. 광중합만 한 경우에는 선수축률의 범위가 0.146~0.317%를 나타내어 工藤等²⁴⁾의 보고와 유사한 결과를 보였으며, 광중합후 가열처리한 경우에는 0.186~0.478%를 나타내어, 가열처리한 경우가 모든 군에서 선 수축률이 증가함을 확인할 수 있었는 바, 이는 가열처리함으로써 미중합 잔류 단량체가 부가적으로 중합되고 가열에 의해 잔류 단량체가 증발하기 때문에 수축률이 증가한 것으로 사료된다.

모든 복합레진은 중합 과정에서 중합수축이 야기되며 중합수축이 큰 복합레진 일수록 와동벽과 수복물 사이에 큰 수축간극이 발생되어 술후 파민증이나 우식증을 유발할 가능성이 커진다. 그러므로 구치부 수복시에는 중합 수축이 적은 재료를 선택하고, 복합레진을 적층 충전하며, 접착력이 강한 상아질 접착제를 사용하고, 직접 충전하는 것보다는 광중합후 가열처리하는 간접법에 의한 인레이 기법을 이용함으로써 중합 수축의 문제점을 임상적인 기법에 의해 어느 정도 해결할 수 있을 것이다. 또한 구강 내는 항상 기능적 상황하에 있기 때문에 피로내성이 큰 복합레진이 구치부 수복에 바람직하며 광중합후 가열처리하는 술식도 피로내성을 증가시키는데 유용한 방법으로 사료된다.

V. 결 론

구치부용 광중합 복합레진의 가열처리가 복합레진의 피로내성에 미치는 영향을 규명하기 위해 7종의 복합레진들을 가열처리 전과 가열처리 후의 압열 인장강도를 측정하였으며 120kgf/cm²의 하중을 반복적으로 3000회 부가하여 피로내성을 평가하였고, 가열처리가 복합레진의 중합수축에 미치는 영향을 규명하기 위해 가열처리 전과 후의 선수축률을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광중합만 시행된 경우에는 Lite-fil CR inlay, Z-100 및 Progress에서 비교적 높은 압열 인장강도를 나타냈으며, 120kgf/cm²의 하중으로 3000회를 부가하여 피로내성 시험후는 P-50 및 Pekafile 에서는 열등한 피로내성을 보이나, Clearfil CR inlay, Clearfil photo posterior 및 Progress에서 우수한 피로내성을 나타냈다.
2. 광중합후 가열처리한 경우가 광중합만 한 경우보다 모든 군에서 피로내성시험 전과 후의 압열 인장강도가 증가했다.
3. 광중합후 가열처리한 경우 120 kgf/cm² 로 3000회의 반복하중을 가했을 때 P-50에서 압열 인장강도가 큰 폭으로 떨어짐으로써 피로내성이 약하게 나타났으나, Clearfil CR inlay, Z-100 및 Progress 등은 피로내성 시험 전과 후의 압열 인장강도의 차가 적어 피로내성이 우수하였다.
4. 광중합만 시행한 경우에 중합 선수축률은 Clearfil CR inlay에서 가장 적었으며 다음은 Clearfil photo posterior, Lite-fil CR inlay, Progress, Pekafile, P-50 그리고 Z-100의 순으로 증가했으며 광중합후 가열처리한 경우에는 Clearfil photo posterior, 가장 적었으며 Lite-fil CR inlay, Clearfil CR inlay, Progress, P-50, Pekafile 및 Z-100의 순으로 증가했다.
5. 광중합만 시행한 경우에 비해 광중합후 가열처리한 경우에서 선수축률이 증가 했으며 특히 Pekafile, Clearfil CR inlay, Clearfil photo posterior 및 Z-100에서 큰 폭으로 증가했다.

이상의 결과로서 복합레진을 광중합후 가열처리가 압열 인장강도 및 피로내성의 개선에 밀접한 관계가 있으며 중합수축률도 증가함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. Phillips RW : Skinner's science of dental materials. 9th ed. Philadelphia, WB Saunders, 1991, p 146-147.
2. Leinfelder KF, Wilder AD, Teixeira LC : Wear rates of posterior composite resins. J Am Dent Assoc 112 : 829-833, 1986.
3. Sturdevant JR, Lundeen TF, Sluder TB, Lein-

- felder, KF : Three-year study of two light-cured posterior composite resins. *Dent Mater* 2 : 263-268, 1986.
4. Sturdevant JR, Lundeen TF, Sluder TB, Wilder AD, Taylor DF : Five-year study of two light-activated posterior composite resins. *Dent Mater* 4 : 105-110, 1988.
 5. Ferracane JL, Condon JR : Post-cure heat treatments for composites : properties and fractography. *Dent Mater* 8 : 290-295, 1992.
 6. Lutz F, Phillips RW, Roulet JF, Setcos JC : In vivo and in vitro wear of potential of posterior composites. *J Dent Res* 63 : 914-920, 1984.
 7. Wendt SL : The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins. I. Diametral tensile strength compressive strength, and marginal dimensional stability. *Quint Int* 18 : 265-271, 1987.
 8. Wendt SL : The effect of heat used as secondary cure upon the physical properties of three composite resins. II. Wear, hardness, and color stability. *Quint Int* 18 : 351-356, 1987.
 9. Wendt S, Leinfelder KF : The clinical evaluation of heat-treated composite resin inlays. *J Am Dent Assoc* 120 : 177-181, 1990.
 10. Krejci I, Stergiou G, Lutz F : EubfluB der Nachvergrutung auf die verschlaeiBfestigkeit von Kompositmaterialien. *Dtsch Zahnartztl* 46 : 400-406, 1991.
 11. Rees JS, Jacobsen pH : The polymerization shrinkage of composite resins. *Dent mater* 5 : 41-44, 1989.
 12. Bausch JR, de Lange K, Davidson CL, Peters A, de Gee AJ : The clinical significance of polymerisation shrinkage of composite resins. *J Prothhet Dent* 48 : 59-67, 1982.
 13. Smith DL, Schoonover IC : Direct filling resins : Dimensional changes resulting from polymerisation shrinkage and water sorption. *J Am Dent Assoc* 46 : 540-544, 1953.
 14. Bowen RL : Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc* 66 : 57-64, 1963.
 15. Dennison JB, Craig RG : Physical properties and finished surface texture of composite restorative resins. *J Am Dent Assoc* 85 : 101-108, 1972.
 16. Lee HL, Swartz ML, Smith FF : Physical properties of four thermosetting dental restorative resins. *J Dent Res* 48 : 526-535, 1969.
 17. Hegdahl T, Gjerdet NR : Contraction stresses on composite resin filling materials. *Acta Odontol Scand* 35 : 191-195, 1977.
 18. Bowen RL, Papsen JE, Dickson G : Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins. *J Dent Res* 61 : 654-658, 1982.
 19. 勝山 茂, 岩久正明 : デンタルQ シリ-ス② 最新ユニボジットレジン修復. 東京都, デンタルダイヤモンド社, 1987, p 47.
 20. Phillips RW : Skinner's science of dental materials. 9th ed. Philadelphia, WB Saunders, 1991, p 57.
 21. 總山孝雄, 細田裕康, 和久本貞雄 : 新編窩洞形成法. 永末書店, 京都, 1984, p 134.
 22. 下河邊宏功, 山上修令, 小松茂徳, 松田浩一, 飯田一實, 中川機夫 : 超微粒子フィラ-充填用レジンの應力ひずみ関係繰り反し衝撃壓縮荷重の影響について. *日本歯科保存學 雜誌*, 591-598, 1980.
 23. 齊藤修, 齊藤弘志, 遠藤達雄, 奥田禮一 : 臼歯部修復用複合レジンの 疲勞試験成績. *日本歯科保存學雜誌* 28 : 657-672, 1985.
 24. 工藤義之, 齊藤邦浩, 遠藤達雄, 奥田禮一 : 可視光線重合型複合レジンの疲勞耐性, 重合収縮ならひに象牙質に對する接着強さ. *日本歯科保存學雜誌* 30 : 2, 487-496, 1987.
 25. Cook WD, Johannson M : The influence of post-curing on the fracture properties of photo-cured dimethacrylate based dental composite resin. *J Biomed Mater Res* 21 : 979-989, 1987.
 26. de Gee AJ, Pallav P, Werner A, Davidson CL : Annealing as a mechanism of increasing wear resistance of composites. *Dent Mater* 6 : 266-270, 1990.

27. Haller B, Klaiber B, Secknus A : RandschluB zervikaler kompositinlays in vitro, Dtsch Zahnarztl Z 45 : 296-299, 1990.
28. Goldman M : Polymerization shrinkage of resin based restorative materials. Aust Dent J 28 : 151-161, 1983.
29. Asmussen E : Composite restorative resins. Composite versus wall-to-wall polymerization contraction. Acta Odont Scand 33 : 337-344, 1975.
30. Bowen RL : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. VI. Forces developing in direct filling materials during hardening. J Am Dent Assoc 74 : 439-445, 1967.
31. Roberts JC, Powers JM, Craig RG : Fracture toughness of composite and unfilled restorative resins. J Dent Res 56 : 748, 1977.
32. Davidson CL, de Gee AJ : Relaxation of polymerization contraction stress by flow in dental composites. J Dent Res 63 : 16-48, 1984.
33. 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 : 475-477, 1983.