

구치부용 복합 레진 가열시 물리적 성질의 변화에 관한 실험적 연구

경희대학교 치과대학 보존학교실

박연홍 · 민병순 · 최호영 · 박상진

- 목 차 -

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 총괄 및 고안
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

I. 서 론

전치부의 우식 및 파절^{1,2,3,4)}등으로 인한 손상 부위의 수복용으로 주로 사용되고 있는 복합레진은 물리적 성질의 향상으로 근래에는 구치부의 수복재료로도 널리 사용되고 있다^{5,6)}. 그러나 아직 아말감이나 gold inlay 등 다른 수복재료에 비하여 상대적으로 물리적 성질이 취약하여 모든 경우에 안심하고 사용하기 어려운 실정이다.

복합레진은 구치부의 수복재료 중 가장 심미적인 재료이기 때문에 만족할 만한 물리적 성질을 얻을 수 만 있다면 다른 구치부용 수복재료보다 더 많이 사용될 수 있다. 그러나 현재의 구치부용 복합레진은 파절^{1,2,3,4)}이나 마모^{7,8,9,10,11,12)}에 대한 저항력이 약하고 변연부위에서 치질과의 접합도^{13,14)}가 불량할 뿐 아니라 색조의 안정성^{15,16)}이 낮다는 등의 결점들을 가지고 있으므로 이러

한 재료의 결점들을 보완하기 위하여 이미 중합된 복합레진에 열을 가하여 2차적인 중합을 유도함으로써 물리적 성질을 향상시키는 방법들^{17,18)}이 연구되어 왔다.

Lee와 Orłowski¹⁹⁾는 화학중합형 복합레진의 중합에는 한계가 있고 미중합된 부위에서는 물리적 성질이 불량함을 보고한 바 있다.

Kilian과 Mullen²⁰⁾은 광중합형 복합레진에 여러 종류의 광선을 조사하였을 때 중합이 가능한 깊이는 표면으로부터 2.15mm 에서 8.31mm 까지 다양하게 나타나며 광이 통과한 모든 부위라고 완전중합이 이루어지는 것은 아니라고 보고하였다.

이와같은 보고들로 미루어 볼 때 화학중합형 및 광중합형 복합레진은 완전하게 중합이 형성되는 것이 아니라 불완전한 중합상태로^{21,22,23)} 남아있는 부위에서^{24,25)} 물리적 성질이 약해지는 원인이 되고 있다.

Bausch외 2인²⁶⁾은 수종의 화학중합형 복합레진의 diametral tensile strength와 미소경도가 가열에 의해 향상된다는 것을 관찰하였는데 이 실험에서는 적외선 가열기를 사용하여 70°C까지 온도를 가열시켰을 때 높은 온도를 가할수록 조기에 물리적 성질을 향상시킬 수 있다고 보고하였다.

그리고 Stanley²⁷⁾는 광중합형 복합레진을 중합시킨 후 60°C, 100°C, 125°C, 150°C 및 200°C의 온도로 10분간씩 가열하였을 때 Profile

-TLC, p-30 및 Occlusin의 diametral tensile strength가 온도의 상승에 따라 계속적으로 증가하나 Profile-TLC는 60°C에서 약간의 감소가 나타났다고 보고하였다.

또한 Davidson²⁸⁾은 실온에서 200°C까지 화학중합형 복합레진에 가온하였을 때 나타나는 양상을 thermal analysis 방법으로 평가한 결과 70°C에 가까운 온도에서 미반응 부위의 부가적인 중합이 시작되는 것을 관찰하였고 100°C 이상의 온도에서는 현미경적으로 glass transition²⁹⁾이 발생된다는 것을 보고하였다.

이외에도 Stanley^{30,31)}는 수종의 중합된 광중합형 복합레진에 60°C, 100°C, 125°C, 150°C, 175°C 및 200°C로 가열하였을 경우 60°C를 제외한 모든 온도에서 diametral tensile strength, 압축강도, Rockwell hardness, marginal dimensional stability 및 내마모성의 물리적 성질들이 향상되었다고 보고하였다.

이상의 연구에서 온도가 일정 온도까지 상승할 경우 복합레진의 강도와 마모저항이 증가되는 것을 알 수 있으며, Hansen³²⁾은 적외선 온도지표를 사용하여 복합레진 연마시 표면의 온도가 140°C까지 상승하며 연마시 발생된 마찰열로 인한 온도의 상승으로 복합레진 표면의 강도나 내마모성을 증가시킬 수 있다고 보고하였다.

그러나 Greener 외 2인³³⁾은 conventional composite resin과 microfil composite resin 및 posterior composite resin에 0°C에서 60°C까지 가열시킨 결과 실온에서의 경우보다 최저 17%에서 최고 43%까지의 Rockwell hardness가 감소되었다고 보고하였다.

이상 선학들의 연구 결과에 의거하여 1차 중합된 복합레진에 열을 가했을 때 물리적 성질이 향상된다는 것을 토대로 저자는 수종의 구치부용 복합레진을 중합시킨 후 2차적인 중합수단으로 열을 가하여 물리적 성질의 변화를 관찰한 바 다소의 의의있는 결과를 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

가. 수복 재료

- 1) Heliomolar (Vivadent Co. U.S.A.)
- 2) Litefil-P (Shofu Co. Japan)
- 3) P-50 (3M Co. U.S.A.)
- 4) Bisfil-II (Bisco Co. U.S.A.)

나. 측정 기구

- 1) diametral tensile strength ; mechanical testing machine (DLC-500 type Shimadzu Co. Japan)
- 2) 압축강도 ; mechanical testing machine (DLC-500 type Shimadzu Co. Japan)
- 3) dimensional change ; micrometer (1/1000 mm, Mitutoyo MFG. Co., LTD. Japan)

2. 실험 방법

가. 시편 제작

깊이 2.5mm, 내경 6.5mm의 원주형 brass mold를 제작하여 밑면에 유리판을 깔고 광중합형 복합레진을 제조회사의 사용방법에 의해 혼합, 충전 후 mold의 윗면에 균일한 광조사를 위해 1mm 두께의 유리판으로 압접하고 각 복합레진 제조회사의 광조사기를 사용하여 30초간 광조사하였다.

광조사 후 시편을 brass mold에서 분리하여 예리한 칼로 여분의 복합레진을 제거하였다.

화학중합형 복합레진인 Bisfil-II는 제조회사의 사용방법에 의해 혼합하여 광조사를 제외한 과정을 광중합형 복합레진과 동일한 방법으로 충전, 제작하였고 시편은 각 복합레진마다 320개씩 제작하여 320개의 시편 중 160개는 diametral tensile strength의 실험용 시편으로 사용하였고 나머지 160개는 압축강도의 실험용 시편으로 사용하였으며 dimensional change의 측정은 diametral tensile strength의 시편을 사용하였다.

각 160개의 시편들은 가열 온도에 따라 37°C군, 50°C군, 75°C군, 100°C군, 125°C군, 150°C군, 175°C군 및 200°C군의 8개군으로 20개씩 임의대로 분류하여 37°C군을 제외한 각 군들의 시편 20개 중 10개는 각 온도에서 5분간, 나머지 10개도 역시 각 온도에서 10분간씩 가열하였다. 37°C군은 37°C 증류수에서 24시간 보관하여 대조군으로 사용하였고 나머지는 실험군으로 사용하였다.

1) diametral tensile strength의 측정³⁴⁾

20개씩 8개군으로 분류된 시편을 온도조절기 (Fig. 1)를 사용하여 가열온도에 따라 10개는 5분간, 나머지 10개는 10분간씩 가열하여 37°C 증류수에서 24시간 보관한 후 mechanical testing machine (Shimadzu Co. Japan)을 사용하여 하중 500kg, crosshead speed 1mm/min. 로 측정하였다. 측정된 수치는 Dataletty 401 (Shimadzu Co. Japan)에 의해 자동적으로 기록되었다 (Fig. 2).

2) 압축강도의 측정

압축강도의 측정은 나머지 160개의 시편을 diametral tensile strength의 측정방법과 동일한 방법으로 분류, 가열하여 37°C 증류수에 24시간 보관한 후 mechanical testing machine (Shimadzu Co. Japan)을 사용하여 하중 500 kg, crosshead speed 1mm/min.로 측정하였다. 측정된 수치는 Dataletty 401 (Shimadzu

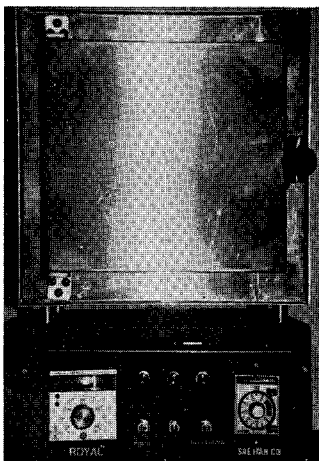


Fig. 1. Thermocontroller (Sae Han Co., Korea)

co. Japan)에 의해 자동적으로 기록되었다 (Fig. 2).

3) dimensional change의 측정

diametral tensile strength의 측정을 위해 제작된 각 복합레진을 각 군마다 20개씩 가열 전과 가열 직후 및 37°C 증류수에서 24시간 보관한 후 시편 지름을 측정하였다.

측정은 micrometer (Fig. 3)를 사용하여 한 시편당 두 군데를 임의대로 선정하여 1/1000mm 까지 측정하였고 그 두 수치의 평균을 시편의 대표치로 하였다.

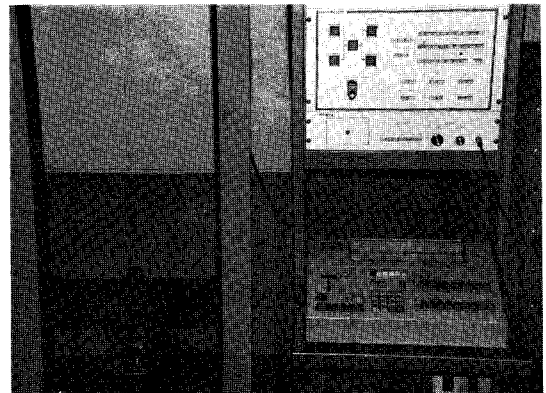


Fig. 2. Mechanical Testing Machine (Shimadzu Co., Japan)
DLC - 500 Type: Left
Dataletty 401 : Right

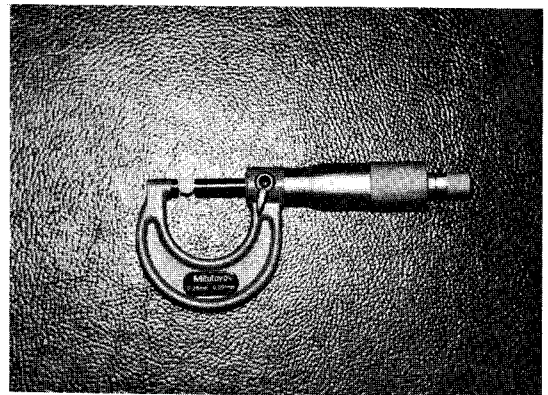


Fig. 3. Micrometer - 1/1000 mm (Mitutoyo Co., Japan)

III. 실험 성적

1. diametral tensile strength

가열 온도 및 가열 시간에 따른 diametral tensile strength의 변화에 대한 평균치는 Table 1.과 같다.

Heliomolar의 경우 diametral tensile strength는 대조군인 37°C군에서 $896.41 \pm 96.89 \text{ kg/cm}^2$ 이었으며 온도의 상승에 따라 계속적으로 상승되어 10분간 가열한 150°C군에서 $1212.65 \pm 82 \text{ kg/cm}^2$ 으로 가장 높게 나타났다($p < 0.01$). 그러나 175°C군과 200°C군에서는 점차적으로 감소되었다(Fig. 4).

Litefil-P의 경우 diametral tensile strength는 대조군에서 $884.03 \pm 84.66 \text{ kg/cm}^2$ 이었는데 100°C군과 125°C군 그리고 150°C군에선 대조군에 비해 각각 유의성있는 높은 강도를 나타냈고

($p < 0.01$) 10분 가열한 100°C군에서 $1264.46 \pm 181.16 \text{ kg/cm}^2$ 으로 가장 높게 나타났으며 175°C군과 200°C군에서는 점차 강도가 낮게 나타났으나 통계학적 유의성은 없었다(Fig. 5).

P-50의 경우 diametral tensile strength는 대조군에서 $862.63 \pm 263.16 \text{ kg/cm}^2$ 이었는데 온도의 상승에 따라 강도가 증가하여 10분간 가열한 150°C군에서 $1222.68 \pm 217.69 \text{ kg/cm}^2$ 으로 가장 높게 나타났다($p < 0.01$). 175°C군과 200°C군에서는 다른 광중합형 복합레진과 같이 강도가 점차 감소되었다(Fig. 6).

Bisfil-II의 경우 diametral tensile strength는 대조군에서 $543.49 \pm 133.74 \text{ kg/cm}^2$ 으로 실험에 사용된 복합레진 중 강도가 가장 낮게 나타났으며 5분 가열한 150°C군에서 $1145.39 \pm 213.46 \text{ kg/cm}^2$ 으로 가장 높게 나타났다($p < 0.01$) (Fig. 7).

전체적으로 대조군인 37°C군에서 diametral tensile strength가 가장 낮게 나타났으며

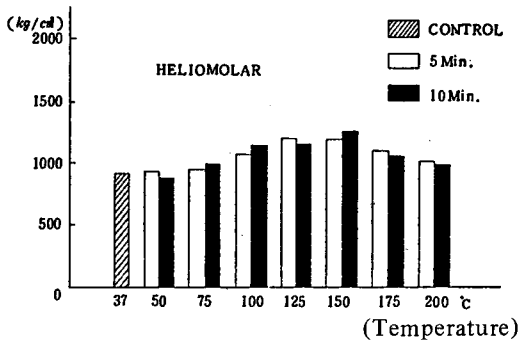


Fig. 4. Diametral Tensile Strength of Heliomolar

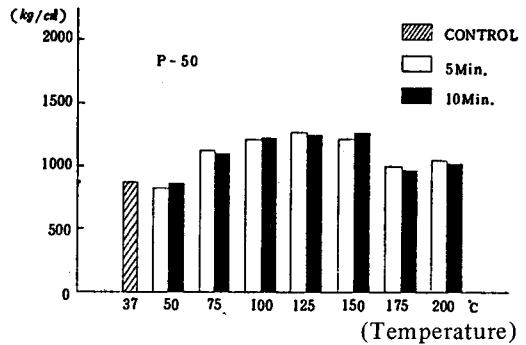


Fig. 6. Diametral Tensile Strength of Litefil-P

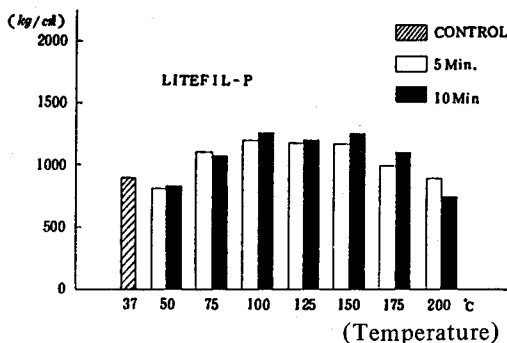


Fig. 5. Diametral Tensile Strength of P-50

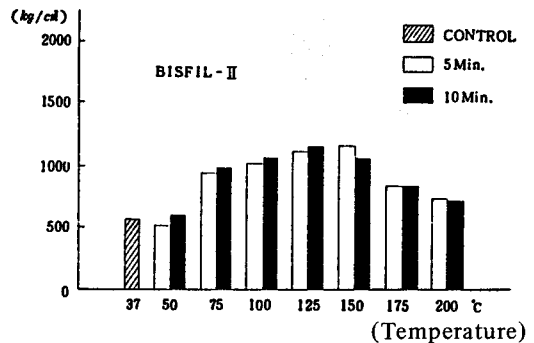


Fig. 7. Diametral Tensile Strength of Bisfil-II

Table 1. Diametral Tensile strength (Mean \pm S.D.) of 4 posterior composite resins after heating at various temperatures according to duration of heating

Posterior composite resins	Temperature		37°C	50°C	75°C	100°C	125°C	150°C	175°C	200°C
	Duration of Heating (Minute)	(unit. kg/cm ²)								
HELLIOMOLAR	5		896.41 \pm 96.89	919.69 \pm 140.79	959.60 \pm 118.37	1059.23 \pm 99.09	1172.43 \pm 61.54	1162.95 \pm 75.60	1089.41 \pm 119.78	1025.92 \pm 207.19
	10			888.89 \pm 147.85	988.84 \pm 121.19	1145.70 \pm 46.64	1156.67 \pm 60.13	1212.65 \pm 80.82	1072.40 \pm 152.86	1010.86 \pm 130.37
LITEFIL-P	5		884.03 \pm 84.66	821.00 \pm 257.13	1076.87 \pm 255.79	1144.76 \pm 203.66	1133.39 \pm 149.65	1134.33 \pm 180.46	1003.89 \pm 210.09	925.34 \pm 284.25
	10			866.23 \pm 245.52	1030.31 \pm 228.90	1264.46 \pm 181.16	1149.15 \pm 216.99	1252.86 \pm 277.19	1056.33 \pm 268.96	675.19 \pm 189.16
P-50	5		862.63 \pm 263.16	806.50 \pm 182.57	1078.75 \pm 178.34	1193.75 \pm 172.31	1221.43 \pm 162.74	1195.01 \pm 288.72	1009.53 \pm 144.55	1024.66 \pm 166.90
	10			866.86 \pm 324.94	1055.47 \pm 200.13	1206.30 \pm 261.12	1219.8 \pm 260.42	1222.68 \pm 217.69	990.17 \pm 230.63	1015.10 \pm 259.09
BISFIL-II	5		543.49 \pm 133.74	523.66 \pm 173.56	977.55 \pm 125.98	1010.86 \pm 177.71	1023.36 \pm 152.63	1145.39 \pm 213.46	810.97 \pm 109.67	693.38 \pm 80.04
	10			573.36 \pm 105.67	991.97 \pm 173.25	1056.72 \pm 133.66	1142.75 \pm 135.54	1059.86 \pm 161.10	815.36 \pm 101.13	670.80 \pm 147.14

★ MAXIMUM DIAMETRAL TENSILE STRENGTH

● P < 0.01

▲ P < 0.05

S.D.: Standard Deviation

Heliomolar의 10분간 가열한 50°C군, Litefil-P의 50°C군과 10분간 가열한 200°C군, P-50의 5분간 가열한 50°C군 그리고 Bisfil-II의 5분간 가열한 50°C군에서 대조군보다 낮은 강도가 나타났으나 통계학적 유의성은 없었으며 각 군에서 가열 시간에 따른 강도의 차이는 크게 나타나지 않았다.

2. 압축강도

가열 온도 및 가열 시간에 따른 압축강도의 평균치는 Table 2.와 같다.

Heliomolar의 압축강도는 대조군인 37°C군 (3699.26±813.26kg/cm²)에 비해 10분간 가열한 150°C군에서 5497.83±446.96kg/cm²으로 가장 높게 나타났으며 (p<0.01) 175°C군과 200°C군에서는 점차 그 강도가 감소되었다(Fig. 8).

Litefil-P의 압축강도는 대조군(3851.33±

463.23kg/cm²)에 비해 10분간 가열한 100°C군에서 5880.78±895.03kg/cm²으로 가장 높은 강도를 나타냈다(p<0.01)(Fig. 9).

P-50의 압축강도는 대조군(3723.68±1174.38 kg/cm²)에 비해 10분간 가열한 150°C군에서 5750.17±1015.65kg/cm²으로 가장 높은 강도를 나타냈다(p<0.01)(Fig. 10).

Bisfil-II의 압축강도는 대조군(2375.03±532.80kg/cm²)에 비해 5분간 가열한 150°C군에서 5419.02±1083.36kg/cm²으로 가장 높은 강도를 나타냈다(p<0.01)(Fig. 11).

전체적으로 diametral tensile strength와 비슷한 양상을 나타냈으며 최대강도를 나타낸 각 복합레진의 온도와 가열시간도 거의 동일하게 나타났다. 5분과 10분간씩 가열한 시간에 따른 강도의 증감은 미소하게 나타났으나 통계학적 유의성은 없었다.

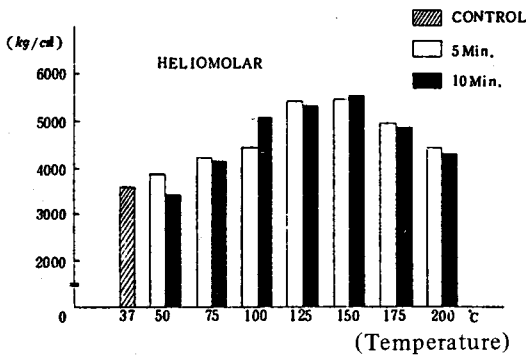


Fig. 8. Compressive Strength of Heliomolar

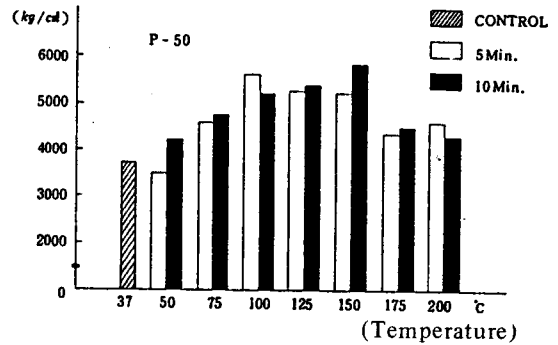


Fig. 10. Compressive Strength of Litefil-P

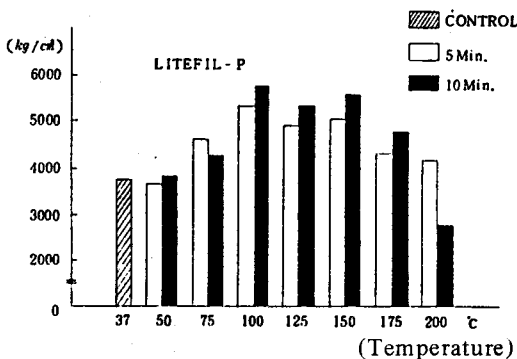


Fig. 9. Compressive Strength of P-50

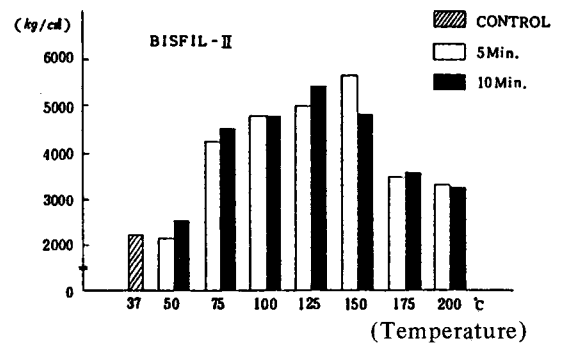


Fig. 11. Compressive Strength of Bisfil-II

Table 2. Compressive strength (Mean \pm S.D.) of 4 posterior composite resins after heating at various temperatures according to duration of heating (unit: kg/cm²)

Posterior composite resins	Temperature		37°C	50°C	75°C	100°C	125°C	150°C	175°C	200°C
	Duration of Heating (Minute)									
HELJOMOLAR	5		3699.26 \pm 813.26	3898.69 \pm 594.22	4239.83 \pm 256.04	4471.45 \pm 504.31	5272.50 \pm 220.89	5316.90 \pm 402.56	4925.44 [▲] \pm 717.06	4477.37 \pm 1129.61
	10			3412.14 \pm 986.05	4216.15 \pm 539.83	5048.65 [▲] \pm 442.89	5192.21 [●] \pm 146.52	5497.83 [★] \pm 446.96	4916.56 [▲] \pm 750.36	4355.64 \pm 518.37
LITEFIL-P	5		3851.33 \pm 463.23	3720.72 \pm 1128.87	4640.54 [▲] \pm 809.19	5266.58 [●] \pm 1014.91	4960.96 \pm 669.70	5026.08 [▲] \pm 928.70	4456.28 \pm 1206.20	4130.37 \pm 1390.09
	10			3866.13 \pm 1044.88	4266.84 \pm 1779.70	5880.78 [★] \pm 895.03	5302.10 [●] \pm 1121.47	5649.53 [●] \pm 1290.19	4819.62 \pm 1349.76	2904.87 \pm 821.77
P-50	5		3723.68 \pm 1174.38	3421.02 \pm 1104.08	4785.95 \pm 700.41	5604.76 [▲] \pm 805.86	5503.75 [▲] \pm 835.33	5367.22 [▲] \pm 1484.07	4459.61 \pm 950.53	4575.05 \pm 885.78
	10			4091.46 \pm 1534.02	4821.47 \pm 894.29	5221.07 [▲] \pm 1329.41	5570.35 [▲] \pm 1258.37	5750.17 [●] \pm 1015.65	4509.93 \pm 1075.22	4204.31 \pm 1578.05
BISFIL-II	5		2375.03 \pm 532.80	2228.14 \pm 829.91	4385.24 [●] \pm 833.61	4711.58 [●] \pm 774.04	5034.96 \pm 830.28	5419.02 [★] \pm 1083.36	3444.70 [▲] \pm 778.11	3127.24 [▲] \pm 406.63
	10			2658.45 \pm 532.60	4427.05 [●] \pm 917.60	4711.58 [●] \pm 774.04	5316.90 [●] \pm 633.44	4726.38 [●] \pm 634.55	3520.55 [●] \pm 342.62	3056.20 [▲] \pm 589.04

★ MAXIMUM COMPRESSIVE STRENGTH

● P < 0.01

▲ P < 0.05

S.D.: Standard Deviation

Table 3. Dimensional change at various conditions

(Unit: mm)

Posterior composite resins	Temperature		50°C	75°C	100°C	125°C	150°C	175°C	200°C
	Duration of Heating (Minute)	Conditions of storage							
HELIOMOLAR	5	AFTER HEATING	-0.0020	-0.0050	-0.0144	-0.0056	-0.0114	-0.0126	-0.0164
		AFTER STORAGE	+0.0044	+0.0038	+0.0088	+0.0110	+0.0054	+0.0046	+0.0016
	10	AFTER HEATING	+0.0010	-0.0078	-0.0056	-0.0078	-0.0028	-0.0166	-0.0196
		AFTER STORAGE	+0.0064	+0.0050	+0.0094	+0.0092	+0.0032	+0.0012	+0.0010
LITEFIL-P	5	AFTER HEATING	+0.0024	-0.0012	-0.0040	-0.0052	-0.0118	-0.0104	-0.0140
		AFTER STORAGE	+0.0028	+0.0028	+0.0028	+0.0014	+0.0050	+0.0012	+0.0010
	10	AFTER HEATING	-0.0018	-0.0026	-0.0088	-0.0120	-0.0064	-0.0154	-0.0176
		AFTER STORAGE	+0.0034	+0.0012	+0.0026	+0.0056	+0.0020	+0.0028	+0.0042

Posterior composite resins	Duration of Heating (Minute)	Temperature		100°C	125°C	150°C	175°C	200°C	
		Conditions of storage	50°C						
P-50	5	AFTER HEATING	+0.0006	-0.0050	+0.0006	-0.0046	+0.0034	-0.0064	-0.0018
		AFTER STORAGE	+0.0064	+0.0018	+0.0086	+0.0024	+0.0084	+0.0048	+0.0042
	10	AFTER HEATING	+0.0054	-0.0040	-0.0029	+0.0040	+0.0004	-0.0018	+0.0006
		AFTER STORAGE	+0.0086	+0.0080	+0.0064	+0.0042	+0.0078	+0.0078	+0.0064
BISFIL-II	5	AFTER HEATING	+0.0027	-0.0080	-0.0072	-0.0125	-0.0128	-0.0044	-0.0048
		AFTER STORAGE	+0.0034	+0.0064	+0.0048	+0.0060	+0.0048	+0.0008	+0.0022
	10	AFTER HEATING	+0.0078	-0.0078	-0.0052	-0.0106	-0.0050	-0.0254	-0.0150
		AFTER STORAGE	+0.0038	+0.0046	+0.0030	+0.0050	+0.0090	+0.0084	+0.0058

3. dimensional change

3. dimensional change

각 군에서 시편 제작 직후 및 가열 직후의 차이와 가열 직후 및 증류수에 24시간 보관 후의 dimensional change는 Table 3.과 같다.

Heliomolar, Litefil-P 그리고 Bisfil-II에서는 5분간 10분간 가열한 모든 경우에서 가열하기 전에 비해 가열 후의 지름이 감소되었으나 50°C군에서는 대체적으로 증가되는 양상을 보였다.

P-50에서는 5분간 가열한 50°C군과 100°C군에서, 또한 125°C군과 10분간 가열한 150°C군 및 200°C군에서 지름의 증가가 나타났다.

그러나 증류수에 24시간 보관한 후에는 가열 직후에 비하여 모든 시편에서 시편 지름이 증가되었다.

IV. 총괄 및 고안

보존치료 영역에 있어서 복합레진은 심미적인 장점과 조각의 용이성 등으로 현재 그 사용범위가 확대되어 가고 있다.

특히 근래에는 전치부에 주로 사용되어 오던 복합레진이 구치부에 까지 광범위하게 사용되면서 물리적 성질의 향상³⁵⁾ 필요로 하게 되었다.

복합레진은 심미적이라는 장점이 있는 반면 gold inlay나 아말감등에 비해 상대적으로 물리적 성질이 열세이기 때문에 수복물의 수명에 커다란 영향을 미치고 있다^{36,37,38)}.

복합레진은 물리적 성질 중 특히 dimensional change가 심하여 변연 누출이^{13,14)} 발생되고 이로 인한 변색과 2차우식증의 위험을 포함하고 있으며 파절^{1,2,3,4)}과 마모^{7,8,9,10,11,12)}에 대한 저항성이 다른 재료들에 비해 상대적으로 열세인 것이 커다란 문제점으로 되고 있다.

이러한 단점들을 보완하기 위하여 이미 중합된 복합레진에 2차적으로 열을 가함으로써 물리적 성질의 향상을 유도시키는 방법들이 연구되어 왔다.

Bausch의 2인²⁶⁾은 열이 복합레진의 diametral tensile strength와 미소경도에 미치는 영향에 대한 연구를 통해 60°C의 온도에서 기계적 성질

의 향상을 나타내었고 효과적인 crosslinking을 유도시킴으로써 복합레진 system의 안정성도 향상된다고 보고하였다. 60°C와 70°C의 온도에서는 부가적인 crosslinking의 시작으로 추측되어지는 endothermic reaction이 발생하는 것으로 thermal analysis를 통해 밝혀졌다.

그리고 Stanley²⁷⁾는 가열이 복합레진의 diametral tensile strength와 dimensional stability에 미치는 영향을 연구하기 위해 Profile-TLC, P-30과 Occlusin을 60°C, 100°C, 125°C, 150°C 그리고 200°C의 온도로 10분간 가열한 후 가열하지 않은 경우와 비교하였는데 diametral tensile strength는 3종류의 복합레진 모두가 온도 상승에 따라 높은 강도를 나타냈는데 Profile-TLC 만이 60°C에서 약간의 감소를 가져왔으며 average gingivo marginal discrepancy는 거의 변화가 없었다고 보고하였다.

Davidson²⁸⁾은 Isopaste, Silar 및 Concise의 3가지 화학중합형 복합레진을 사용하여 실온에서 200°C까지 온도를 상승시켜 복합레진 내의 변화에 대한 thermal analysis의 결과 70°C부근에서 미반응 부위에 새로운 반응이 시작되는 것을 관찰하였고 100°C부근에서는 glass transition이 발생되며 70°C부근에서 endothermic energy가 급격히 높아지고 약 200°C부근에서 이러한 현상이 반복된다고 보고하였다.

이와같이 새로운 반응의 시작과 이미 중합되어 있는 부위의 crosslinking의 강화를 통해 복합레진의 물리적 성질이 향상된다고 추측된다. 복합레진이 중합될 때 long polymer chain이 형성되고 이 chain들이 crosslinking 되어 높은 energy를 가진 구조를 이루게 되는데 crosslinking되지 못하고 남아있는 long polymer chain에 열을 가함으로써 crosslinking을 이루게 하여 물리적 성질이 향상되어지는 것이다.

Bajaj의 2인³⁹⁾은 중합에 미치는 외적인 영향들을 연구하여 온도가 monomer의 재반응에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 이외에도 Stanley^{30,31)}는 중합된 광중합형 복합레진을 가열시 높은 물리적 성질의 향상이 이루어진다고 보고하였으며, Kilian과 Mullen²⁰⁾은 광중합형 복합레진에서 광조사되는 모든 부위에서 원

전중합이 발생하는 것이 아니고 중합의 깊어도 복합레진의 종류에 따라 2.15mm에서 8.31mm 까지로 다양하게 나타난다고 보고하였다.

임상에서 복합레진의 미반응, 불포화된 부위를⁴⁰⁾ 감소시킨다는 것은 복합레진의 색조와 기계적 성질을 안정성있게 만든다는 것을 의미한다고 Antonucci와 Bowen⁴¹⁾이 주장하였다.

그러나 모든 온도에서 항상 물리적 성질의 향상이 이루어지는 것은 아니다.

Stanley²⁷⁾가 보고 한 바에 의하면 실온에 비해 60°C에서 Profile-TLC의 diametral tensile strength가 감소된다고 하였으며, Greener의 2인³³⁾은 conventional composite resin과 posterior composite resin 및 microfil composite resin 모두가 0°C부터 60°C 사이에서 실온에 비해 Rockwell hardness가 17%에서 43%까지 감소되었다고 보고하였다.

본 실험에서도 50°C에서 대조군인 37°C군에 비하여 diametral tensile strength와 압축강도가 감소 또는 유사하게 나타났으나 통계학적 유의성은 없었다. 이와같은 현상이 발생하는 것은 가열 온도가 복합레진의 glass transition²⁹⁾ 발생 온도까지 상승되지 못하였기 때문인 것으로 사료된다.

이와같은 몇가지 조건들을 제외한 대부분의 온도에서 복합레진의 물리적 성질이 향상되었으나 온도의 증가에 따라 계속적으로 증가되는 것은 아니다.

본 실험에서는 가열온도가 150°C를 넘어 175°C 또는 200°C에 이르게 되면 모든 복합레진에서 diametral tensile strength와 압축강도의 감소가 나타났는데 이와같은 현상은 과도한 가열로 복합레진 내부의 crosslinking이 파괴되어 가거나 복합레진의 구성성분이 연소되어 발생하는 것으로 생각된다. 이러한 결과로 너무 높은 온도에서는 복합레진 system의 파괴가 발생하는 것을 알 수 있었다.

5분간 가열한 경우와 10분간 가열한 경우에 있어서 diametral tensile strength와 압축강도의 차이가 다소 나타났으나 통계학적 유의성은 없었다. 그러나 가열시간은 10분이상으로 연장했을 경우의 변화에 대해서는 계속 연구해 볼 문

제이다.

dimensional change의 측정에 있어서 본 실험에서는 50°C를 제외한 모든 온도에서 가열 직후의 시편지름이 가열 전에 비해 작게 나타났는데 이것은 long polymer chain이 열에 의해 2차적으로 중합되고 crosslinking됨으로써 전체적인 체적이 감소된 것으로 사료된다.

그러나 50°C군에서는 대체적으로 약간의 증가를 나타냈는데 Nelson의 2인¹³⁾등도 9°C에서 52°C의 사이에서 온도변화에 의해 복합레진이 팽창된다고 보고한 바 있으며 Hirsch⁴²⁾는 0°C에서 60°C까지의 온도에서 같은 현상을 보고하였다.

중류수에서 24시간 보관 후의 측정에서는 모든 경우에서 가열 직후에 비하여 복합레진의 시편지름이 증가하였는데 이것은 흡수팽창으로 인한 것으로 사료되어 진다.

이상과 같은 결과로 볼 때 이미 중합된 복합레진에 2차적인 중합을 유도시키거나 중합된 부위의 강화를 위해 각 복합레진에 적절한 온도를 가열시킬 경우 diametral tensile strength와 압축강도의 증가를 유발시키고 dimensional change에 안정성을 유도시켜 파절이나 변연누출 등에 대한 저항성을 증가시켜 양호한 수복이 이루어지고 이로 인한 수복물의 수명연장이 가능하다고 사료되는 바이다.

V. 결 론

저자는 1차 중합된 복합레진에 2차적으로 열을 가하여 발생하는 물리적 성질의 변화를 관찰하기 위하여 구치부용 복합레진으로서 Heliomolar, Litefil-P, P-50 및 Bisfil-II를 사용하여 가열온도에 따라 37°C군, 50°C군, 75°C군, 100°C군, 125°C군, 150°C군, 175°C군 및 200°C군으로 분류한 후 mechanical testing machine과 micrometer를 사용하여 diametral tensile strength, 압축강도 및 dimensional change를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. diametral tensile strength는 37°C군에 비하여 50°C군을 제외한 모든 군에서 그 강도가 증가되었는데, Heliomolar는 10분간 가열한

150°C군에서, Litefil-P는 10분간 가열한 100°C군에서, P-50은 10분간 가열한 150°C군에서 그리고 Bisfil-II는 5분간 가열한 150°C군에서 각각 유의성있는 가장 높은 강도를 나타냈다.

2. 압축강도는 37°C군에 비하여 50°C군을 제외한 모든 군에서 그 강도가 증가되었는데, Heliomolar는 10분간 가열한 150°C군에서, Litefil-P는 10분간 가열한 100°C군에서, P-50은 10분간 가열한 150°C군에서 그리고 Bisfil-II는 5분간 가열한 150°C군에서 각각 유의성있는 가장 높은 강도를 나타냈다.

3. Heliomolar, Litefil-P, 및 Bisfil-II에서는 가열 전에 비하여 가열후의 시편 지름이 감소되었고, 가열 후 증류수에 24시간 보관한 결과 모든 복합레진에서 시편 지름이 증가되었다. 그러나 P-50에서는 가열 전과 가열 후 시편 지름의 차이가 거의 없었다.

4. 모든 복합레진에서 5분간 및 10분간 가열에 의한 diametral tensile strength와 압축강도 및 dimensional change의 차이는 있었으나 통계학적 유의성은 없었다.

REFERENCES

1. Rule, D.C. and Elliot, B.: Semi-permanent restoration of fractured incisors in young patients. *Br. Dent. J.*, 7:272-275, 1975.
2. Oppenheim, M.N. and Ward, G.T.: The restoration of fractured incisors using a pit and fissure sealant resin and composite material. *JADA*, 89:365-368, 1974.
3. Stahl, G.J., and O'Neal, R.B.: The composite resin dowel and core. *J. Prosthet Dent.* Vol. 33, No. 6:642-648 1975.
4. Leinfelder, K.F., Sluder, T.B., Sockwell, C.L., Strickland, W.D. and Wall, J.T.: Clinical evaluation of composite resins as anterior and posterior restorative materials. *J. Prosthet. Dent.*, Vol. 33, No. 4: 407-416, 1975.
5. Blankenau, R.J., Kelsey, I. W.P., and Cavel, W.T.: A direct posterior restorative resin inlay technique. *Quint Int.* (5): 515-516, 1984.
6. James, D.F.: An esthetic inlay technique for posterior teeth. *Quint Int.* (7): 725-731, 1983.
7. Wu, W. and McKinney, J.E.: Influence of chemicals on wear of dental composites. *J. Dent. Res.* 61(10): 1180-1183, 1982.
8. Powers, J.M. and Fan, P.L.: Erosion of composite resins. *J. Dent. Res.*, 59(5): 815-819, 1980.
9. Fan, P.L. and Powers, J.M.: In vitro wear of aged composite restorative materials. *J. Dent. Res.*, 59(12):2066-2070, 1980.
10. Causton, B.E.: Repair of abraded composite fillings. *Brit Dent. J.*, 139:286-288, 1975.
11. Kusy, R.P. and Leinfelder, K.F.: Pattern of wear in posterior composite restorations. *J. Dent. Res.*, Vol. 56, No. 5:544, 1977.
12. Jorgensen, K.D.: Abrasion of restorative resins. *Scand J. Dent. Res.*, 88:554-568, 1980.
13. Nelson, R.J., Wolcott, P.B.B., and Paffenbarer, G.C.: Fluid exchange at the margins of dental restoratives. *J. Am. Dent. Assoc.* 44:228, 1952.
14. Hirsch, L., and Weinreb, M.N.: Marginal fit of direct resin restoration. *J. Am. Dent. Assoc.* 56:13, 1958.
15. Powers, J.M., Fan, P.L. and Raptic, C.N.: Color stability of new composite restorative materials under accelerated aging. *J. Dent. Res.*, 59 (12):2071-2074, 1980.
16. Asmussen, E.: An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand.* 39:329-332, 1981.
17. Montes-G, G.M., and Draughn, R.A.: Surface

- stresses induced by rapid temperature changes in composite restorations. *J. Dent. Res.* 62 (Spec. issue): 285 (Abstr. No. 1046), 1983.
18. Cook, W.D.: Factors affecting the depth of cure of UV-polymerized composites. *J. Dent. Res.*, 59(5):800-808. 1980.
 19. Lee, H. and Orłowski, J.: Handbook of dental composite estoratives. pp. 215-217, 1973.
 20. Kilian, R.J., and Mullen, T.J.: Light cured composites: Dependence of test results on test parameters. *J. Dent. Res.* 59 (Spec. issue): 318 (Abstr. No. 203), 1980.
 21. Tirtha, R., Fan, P.L., Dennison, J.B. and Powers, J.M.: In vitro depth of cure photo-activated composites. *J. Dent. Res.*, 61 (10):1184-1187, 1982.
 22. Loshack, S. and Fox, T.G.: Cross-linked polymers. I. Factors in fluencing the efficiency of crosslinking in copolymers of methyl methacrylate and glycol dimethacrylates, *JADA*, Vol. 75 (20):3544-3550, 1953.
 23. McKinney, J.E., and Wu, W.: Effect of degree of cure on hardness and wear of three commercial dental composites. *J. Dent. Res.* 62 (Spec. issue): 285 (Abstr. No. 1047), 1983.
 24. Smith, D.C. and Bains, M.E.D.: The detection and estimation of residual monomer in polymethyl methacrylate. *J. Dent Res.*, Vol. 35, No. 1:16-24, 1956.
 25. Ruyter, I.E., and Svendsen, S.A.: Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. *Acta Odonto Scand.* 36:75-82, 1978.
 26. Bausch, J.R., de Lange, C., and Davidson, C.L.: The influence of temperature on some physical properties of dental composites. *J. Oral Rehabil* 8:309-317, 1981.
 27. Stanley, L.W.Jr.: Effect of heat on the physical properties of composite resins. *J. Dent. Res* (Spec. issue):220 (Abstr. No. 458), 1986.
 28. Davidson, C.L.: Structural changes in composite surface material after drying polishing. *J. Oral Rehabil* 8:431-439, 1981.
 29. Wu, W., and Yu, C.C.: Glass transition temperature of dental composite resins. *J. Dent. Res.* 64 (Spec. issue): 229 (Abstr. No. 487), 1985.
 30. Stanley, L.W., Jr.: The effect of heat used as a secondary cure upon the properties of three composite resins (I). *Quint Int.* Vol. 18 No. 4: 265-271, 1987.
 31. Stanley, L.W. Jr.: The effect of heat used as a secondary cure upon the properties of three composite resins (II). *Quint Int.* Vol. 18, No. 5: 351-356, 1987.
 32. Hansen; cited from 26.
 33. Greener, E.H., Greener, C.S., and Moser, J.B.: The hardness of composite as a function of temperature. *J. Oral Rehabil* 11: 335-340, 1984.
 34. Ralph, W. Phillips, *Science of Dental Materials.* 8th ed. W.B. Saunders Co., pp. 38-39, 1982.
 35. Loeys, K., Lambrechts, P., Vanherle, G., and Davidson, C.L.: Material development and clinical performance of composite resins. *J. Prosth Dent.* Vol. 48, No. 6: 664-672, 1982.
 36. Phillips, R.W., Avery, D.R., Mehra, R., Swartz, M.L. and McCune, R.J.: Observations on a composite resin for class II restorations: Three year report. *J. Prosthet Dent*, Vol. 30, No. 6.: 891-897, 1973.
 37. Osborne, J.W., Gale, E.N. and Ferguson, G.W.: One year and two year evaluation

- of a composite resin vs. amalgam. *J. Prosthet Dent*, Vol. 30, No. 5:795-800, 1973.
38. Wilder, A.D., May, K.N. and Leinfelder, K.F.: Three clinical study of UV-cured composite resins in posterior teeth. *J. Prosthet Dent*, Vol. 50, No. 1:26-30, 1983.
39. Bajaj, P., Gupta, D.C. and Babu, G.N.: The temperature dependence of the monomer reactivity ratios in the copolymerization of styrene with vinyl methyl diacetoxylene. *European Polymer Journal* 13:623-624, 1977.
40. McCare J.F.: Cure behavior of light activate composites by differential thermal analysis. *J. Dent. Res* 64 (Spec. issue): 228 (Abstr. No. 485), 1985.
41. Antonucci, J.M. and Bowen, R.L.: Dimethacrylates Derived from Hydroxybenzoic Acids. *J. Dent. Res.* Vol. 55, No. 1, 1976, 8-15.

– Abstract –

THE EFFECT OF TEMPERATURE CHANGES ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF POSTERIOR COMPOSITE RESINS

Yeon Hong Park, Byung Soon Min, Ho Young Choi, Sung Jin Park

*Department of Operative, College of Dentistry,
Kyung Hee University.*

The purpose of this study was to examine the effect of temperature dependence of the behavior on the physical properties of posterior composite resins.

Three light cure posterior composite resins (Heliomolar, Litefil-P, and P-50) and one chemical cure posterior composite resin (Bisfil-II) were used as experimental materials.

Composite resin was placed in a cylindrical brass mold (2.5 mm high and 6.5 mm inside diameter) that was rested on a glass plate. Another flat glass was placed on top of the mold, and the plate was tightly clamped together.

After the mold had been filled with the light cure composite material, the top surface was cured for 30 seconds with a light source. Chemical cure resin specimens were made in the same manner as above.

Three hundreds and twenty composite resin specimens were constructed from the four composite materials.

One hundred and sixty specimens of them were placed in a heater at 50°C, 75°C, 100°C, 125°C, 150°C, 175°C and 200°C for 5 minutes or 10 minutes respectively before compressive strengths were measured.

Another one hundred and sixty specimens were tested for the diametral tensile strengths in the same way as above.

They were randomly divided into eight groups according to the mode of heating methods as follows and stored in distilled water at 37°C for 24 hours.

Group 37°C – specimens were stored at 37°C in distilled water for 24 hours.

Group 50°C – specimens were heated at 50°C after curing.

Group 75°C – specimens were heated at 75°C after curing.

Group 100°C – specimens were heated at 100°C after curing.

Group 125°C – specimens were heated at 125°C after curing.

Group 150°C – specimens were heated at 150°C after curing.

Group 175°C – specimens were heated at 175°C after curing.

Group 200°C – specimens were heated at 200°C after curing.

Twenty specimens of each of four composite resins were respectively made by insertion of materials into same mold for examining the dimensional changes between before and after heating.

The final eighty specimens were stored in distilled water at 37°C for 24 hours before testing the dimensional changes. Compressive and diametral tensile strengths were measured crosshead speed 1mm/minute and 500Kg in full scale with a mechanical testing machine (DLC 500 Type, Shimadzu Co., Japan).

Dimensional changes were determined by measuring the diametral changes of eighty specimens with micrometer (Mitutoyo Co., Japan).

Results were as follows:

1. Diametral tensile strengths of specimens in all groups were increased with time heated compared with control group except for that in group 50°C and the maximum diametral tensile strength was appeared in the specimen of Litefil-P heated for 10 minutes at 100°C. In Heliomolar and P-50, it could be seen in the specimen heated for 10 minutes at 150°C, but in Bisfil-II, it could be found in the specimen heated for 5 minutes at 150°C.
2. Compressive strengths of specimens in all groups was tended to be also increased with time heated but that in group 50°C and the maximum compressive strengths were showed in the same specimens conditioned as the diametral tensile strengths of four composite materials tested.
3. In Heliomolar, Litefil-P, and Bisfil-II, it was decreased in diameters of resin specimens between before heating and increased in diameters of resin specimens after storing in distilled water, but it was not in P-50.
4. There is little difference in diametral tensile strengths, compressive strengths, and dimensional changes followed by heating the resin specimens for 5 minutes and 10 minutes, but there is no statistical significances.