

## 응축형 복합레진의 파괴거동에 관한 연구

김소영 · 최호영 · 최경규 · 박상진  
경희대학교 대학원 치의학과 치과보존학 전공

### ABSTRACT

#### FRACTURE BEHAVIOR OF CONDENSABLE COMPOSITE RESINS

So-Young Kim, Ho-Young Choi, Kyoung-Kyu Choi, Sang-Jin Park

Department of Conservative Dentistry, Division of Dentistry, Graduate School, Kyung-Hee University.

In this study, compressive strengths of three condensable composite resins(ALERT, SureFil, Solitaire), conventional hybrid composite resin(Z-100) and amalgam(HI-Aristaloy 21) according to the 6 types of cavity design(cylinder, trapezoidal, butt-joint, round bevel, long bevel and short bevel) were measured and appearance of fracture surfaces were observed with SEM, thus evaluated clinical applications of condensable composite resins according to the cavity designs.

The results were as follows:

1. Compressive strengths according to experimental materials were the highest in SureFil, and Z-100, ALERT, Solitaire, HI-Aristaloy 21 in order.
2. SureFil showed the highest compressive strength( $p < 0.05$ ), compressive strengths of ALERT and Solitaire were lower than that of Z-100, hybrid composite( $p < 0.05$ ).
3. Compressive strengths according to specimen design were the highest in trapezoidal shape( $p < 0.05$ ) and no significant difference was detected between other specimen designs.
4. The appearance of condensable composite resin under SEM was of a diverse configuration according to component of resin matrix, shapes of filler and surface treatments between resin and filler.

### 1. 서 론

은주석 아말감은 지난 150년간 구치부의 충전수복에 널리 사용되어 왔으나, 심미성의 문제, 신체에 대한 수은의 위해성 및 중금속 오염 등의 환경문제가 야기되어 아말감 수복물을 대체할 수복재에 대한 요구가 높아졌다<sup>1,2)</sup>.

1960년대 후반에 심미적이고 비교적 높은 압축강도를 지닌 복합레진이 아말감의 대체물로서 소개되었으나, 임상적용 후의 결과는 기대에 미치지 못하고 있으며, 특히 낮은 마모저항성, 변연파괴, 변연누출, 이차우식증의 빈발, 술후 과민증 및 치아변색 등이 발생되어 구치부 수복에 복합레진의 사용이 제한되었다<sup>3-6)</sup>.

1981년 American Dental Association Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment<sup>7)</sup>에서는 제1급 및 제2급 와동수복에 복합레진의 적용을 허용하였

지만, 복합레진과 아말감의 구치부 수복 2, 3년 후의 탐침과 방사선학적 검사를 시행한 Derkson 등<sup>8,9)</sup>의 임상연구결과는 복합레진 수복이 아말감 수복과 비교하여 열등하게 나타났다. 그러나 그후 복합레진과 아말감의 구치부 수복 후 5년간의 임상연구결과를 비교·평가한 Norman 등<sup>10)</sup>의 연구에서는 복합레진 수복도 아말감 수복과 비슷한 만족스러운 임상결과를 보고하였으며, 아말감과 구치부용 복합레진 수복 3년 후에 파괴, 치은상태, 인접면 접착, 변연적합도, 착색 및 색조조화와 같은 임상결과를 비교·연구한 Cunningham 등<sup>11)</sup>의 연구에서도 아말감과 구치부용 복합레진 간의 실패율에는 유의할 만한 차이가 없었다고 보고하였다. 또한, Mazer 등<sup>12)</sup>은 미세입자형 복합레진을 마모저항성 견지에서 구치부 제1급과 제2급 보존적 와동수복에 사용할 수 있다고 주장하였으며, Davidson 등<sup>13)</sup>은 고밀도 충전형 복합레진을 구치부에 사용한 결과, 장기간 American Dental

Association의 Council of Dental Material에서 추천한 Ryge Method의 기준에 부합되는 양호한 임상결과를 관찰 하였음을 보고하였다.

이와 같은 임상결과는 복합레진의 물리적 성질이 향상되어 나타난 결과이었으며, 발전된 상아질 접착제<sup>14)</sup>와 접착술식<sup>15)</sup>의 도입으로 복합레진의 중합수축으로 인한 미세누출이 감소하게 되어 이차우식증이나 술후 과민증 등의 발생이 낮아지게 되었다<sup>16)</sup>. 또한 복합레진 충전시 bulk fill technique 보다는 적층법을 사용하면, 중합수축을 감소시킬 수 있다<sup>17)</sup>. 따라서 적절한 적응증 선택과 수복술식을 고려하여 구치부 복합레진 수복을 시행하면 만족할 만한 결과를 얻을 수 있게 되었다<sup>18,19)</sup>.

구치부 2급 와동수복에서 물리적 성질의 향상, 적절한 접착점 부여 및 변연적합성을 향상시키기 위하여 복합레진을 간접 수복법으로 사용하고 있으나<sup>20-22)</sup>, Machnowski<sup>23)</sup>는 복합레진의 간접수복은 열처리로 인하여 전반적인 복합레진의 물성은 향상되지만, 변연적합성 등의 확실한 임상적용의 장점을 확인할 수 없었다고 보고하였다. 또한 복합레진을 다양한 술식(plugging ball technique, intrawedge, Contact Pro, custom composite cylinder의 제작 등)으로 구치부 2급 와동수복에 사용하였으나<sup>24-26)</sup>, 이러한 변형된 술식을 이용시, 아말감 수복과정과는 다르게 부가적인 장비와 시간이 필요한 것이 단점으로 지적되었다.

Ehrnford<sup>27)</sup>는 소결된 유리섬유로 삼차원 망상체를 형성하여 다공성을 부여한 강화형 filler 입자가 함유된 응축 가능한 복합레진을 제작하여 아말감과 유사하게 와동내에 응축 충전한 결과, 기포의 발생이 감소되었음을 보고하였다. 또한, J rgensen<sup>28)</sup>은 2급 와동을 응축 가능한 복합레진으로 응축기를 이용하여 충전한 결과, 변연부 수축간극의 발생을 감소시킬 수 있었다고 보고한 바 있다. 이는 복합레진의 응축결과로 응력 집중부위(stress-bearing area)에 인접한 filler (synthetic glass 혹은 pre-polymerized resin) 입자간에 존재하는 단량체량이 최소화되어 복합레진의 중합수축이 감소하였으며, 또한 응축하는 동안에 filler 입자에서 야기되는 elastic strain이 이완되어 중합시의 잔여수축이 완전히 보상되었기 때문이라고 설명하였다.

이상과 같은 연구보고에서 복합레진의 복잡한 조작성의 단점을 극복하고 아말감과 유사하게 응축 가능한 복합레진은 기존의 혼합형 복합레진과는 다르게 filler 입자가 응축 과정에서 서로 마찰력에 의하여 밀리지 않도록 filler system이 고안되어 있어, 와동충전시 복합레진에 적절한 응축력을 가할 수 있다. 따라서 응축형 복합레진은 수복시, 내부의 기포발생과 변연부의 누출발생을 감소시키며, 인접면 형성을 용이하게 하는 장점이 있다. Leinfelder<sup>29)</sup>와 Simonsen 등<sup>30)</sup>도 이러한 응축형 복합레진의 물리적 성질은 기존의 복합레진 및 아말감에 필적할 만 하다고 보고한 바 있다.

한편 Smith 등<sup>31)</sup>은 구치부 복합레진 수복시 와동 변연부의 변화에 따른 변색이나 변연적합성에 통계학적으로 유의차는 없었지만, long beveled margin을 지닌 와동에서 교합력에 의한 변연파괴가 발생되었음을 보고한 바 있다. 또한, Ben-Amar 등<sup>32)</sup>은 교합면 와연변연에 와동사면(bevel)을 부여하면 수복물이 저착력과 마모에 노출되어 이 부위의 복합레진이 파괴되거나 급속히 마모되어 변연에 결함이 발생되므로 구치부 수복시 교합면에 와동사면(bevel)을 부여하지 않을 것을 권장하였다. 그러나, Porte 등<sup>33)</sup>의 연구에 의하면, 90° butt-joint를 부여한 box 형태의 와동, round bevel을 부여한 box 형태의 와동, 45° long bevel을 부여한 box 형태의 와동, long bevel을 부여한 보존적인 난원형/원형 와동인 "adhesive preparation"에서의 변연적합도를 비교 연구한 결과, adhesive preparation에서 가장 양호한 변연적합도가 나타났다. 또, Grieve 등<sup>34)</sup>의 연구에 의하면, 와동사면(bevel)을 부여한 와동형태가 와동사면(bevel)을 부여하지 않은 와동형태에 비하여 미세누출이 낮게 나타남을 보고하였다.

이상과 같이 와동형태에 따른 복합레진의 파괴저항성 및 변연적합도에 대한 차이가 보고되고 있어 본 연구에서는 6가지 와동형태를 달리하여 응축형 복합레진과 기존의 혼합형 복합레진 및 아말감을 충전한 후 압축강도를 측정하고 파괴거동을 주사전자현미경으로 관찰·분석하여 응축형 복합레진의 와동형태별 임상적용 여부를 평가하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구는 4종의 복합레진 및 1종의 아말감을 사용하였으며, 복합레진은 3종의 응축형 복합레진인 ALERT™ (Jeneric®/Pentron® Co., U.S.A.), SuerFil® (Dentsply Co., U.S.A.), Solitaire® (Herecus Kulzer Co., U.S.A.) 와 1종의 혼합형 복합레진인 Z-100® (3M Co., U.S.A.) 및 혼합형 고동 아말감인 HI-Aristaloy 21 (Engelhard Co., Korea)로 모두 5종의 재료를 실험에 사용하였다 (Table 1).

### 2. 실험방법

#### 1) 시편제작

직경 1.5cm, 두께 4mm의 teflon disk에 teflon mold를 형태별로 cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape의 6가지 형태 (Fig. 1)로 제작한 후 mold 내에 각각 상기의 5종의 실험재료를 각각 형태별로 10개씩, 총 300개의 시편을 제조회사의 지시에 따라 충전, 중합·경

Table 1. Materials used in this study

Material	Product Name	Batch Number	Manufacturer
Condensable Composite Resin	ALERT	14841	Jeneric/Pentron Co., USA
	SureFil	545113	Dentsply Co., USA
	Solitaire	020037	Hereous Kulzer Co., USA
Hybrid Composite Resin	Z-100	5904A2	3M Co., USA
Amalgam	HI-Aristaloy 21	0126941	Engelhard Co., Korea

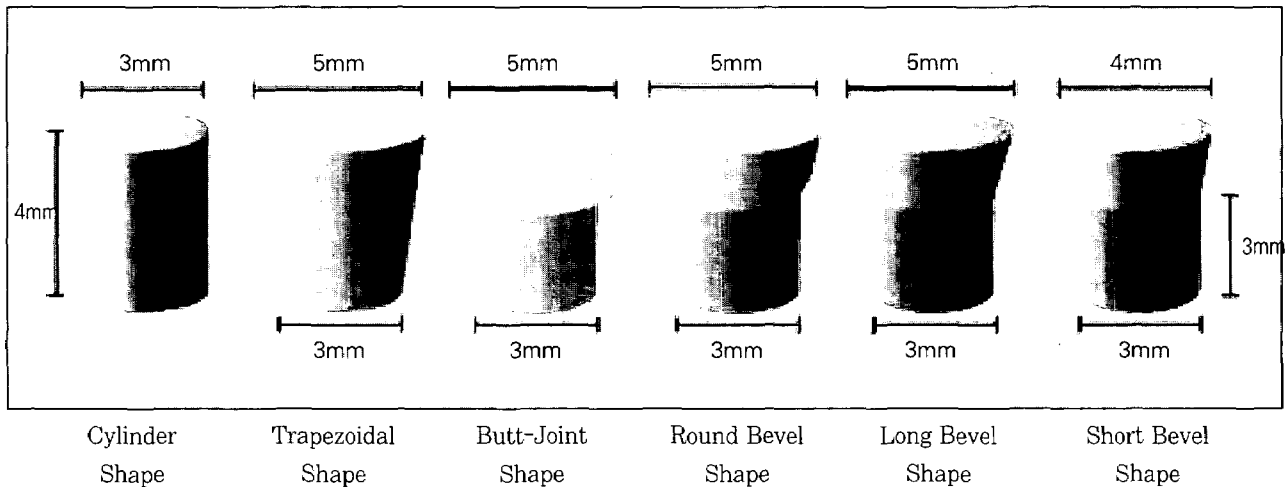


Fig. 1. Shapes of specimens

화하여 제작하였다. 복합레진 시편은 mylar strip을 덮은 후에 40초간 상면을 광중합하고 하면을 추가로 40초간 광중합한 후 제거하였고, 아말감 시편은 충전 24시간 후에 제거하였다.

SureFil, Solitaire, Z-100, HI-Aristaloy 21)와 6가지 시편형태(cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)에 따라 총 30개군으로 분류하였다(Table 2).

2) 실험군의 분류

제작된 300개의 시편을 5종의 실험재료(ALERT,

3) 압축강도측정

제작된 300개의 시편을 37±1℃ 증류수에 7일간 보관한

Table 2. 30 experimental groups classified with the shapes of specimens and experimental materials used in this study

Experimental Materials	Shapes of Specimens	C	T	B	R	L	S
		(Cylinder Shape)	(Trapezoidal Shape)	(Butt-Joint Shape)	(Round Bevel Shape)	(Long Bevel Shape)	(Short Bevel Shape)
ALERT		AC	AT	AB	AR	AL	AS
SureFil		FC	FT	FB	FR	FL	FS
Solitaire		SC	ST	SB	SR	SL	SS
Z-100		ZC	ZT	ZB	ZR	ZL	ZS
HI-Aristaloy 21		HC	HT	HB	HR	HL	HS

후 만능시험기(Instron, 4467, U.S.A)를 사용하여 각 시편이 파단될 때까지 crosshead speed가 1mm/min인 하중 속도(최대하중 600kg)로 수직압축응력을 가하였으며, 시편이 파단될 때의 측정된 강도를 각 시편의 압축강도(compressive strength)로 정하였다. 각 군에서 측정된 압축강도의 평균값과 표준편차를 계산하고 각 군간의 통계적 유의성 검증은 two-way ANOVA test와 Tukey's HSD test를 이용하였다.

#### 4) 주사전자현미경(SEM) 관찰

압축강도를 측정후 파괴된 시편의 표면을 금이온 증착(IB-3 ion coater, Eico Co., Japan)한 후 시편을 주사전자현미경(S-2300, Hitachi Co., Japan)으로 가속전압 20Kvp에서 파괴양상을 관찰·평가하였다. 또한, 레진시편을 #320에서 #1200 SiC로 주수하에서 순차연마한 후, 1 μm 크기의 aluminum oxide slurry로 최종 연마하였다. 그 후에 연마면을 8% 불산(CHOICE™ Porcelain Etchant Gel, Bisco Co.)으로 20초간 처리한 후, 수세하였다. 연마 후 불산처리한 시편을 금이온 증착한 후 주사전자현미경(S-2300, Hitachi Co., Japan)으로 가속전압 20Kvp에서 파절선과 레진기질, filler 입자간의 경계면을 관찰·분석하였다.

### Ⅲ. 실험성적

#### 1. 압축강도

5종의 실험재료(ALERT, SureFil, Solitaire, Z-100, HI-Aristaloy 21)와 6가지 시편형태(cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)의 총 30개 실험군(AC, AT, AB, AR, AL, AS, FC, FT, FB, FR, FL, FS, SC, ST, SB, SR, SL, SS, ZC, ZT, ZB, ZR, ZL, ZS, HC, HT, HB, HR, HL, HS)에서 측정된 평균 압축강도는 Table 3 및 Fig. 2와 같다.

응축형 복합레진인 ALERT를 실험재료로 사용한 AC, AT, AB, AR, AL, AS군에서 각각 248.15kg/cm<sup>2</sup>, 346.52kg/cm<sup>2</sup>, 253.20kg/cm<sup>2</sup>, 262.98kg/cm<sup>2</sup>, 269.06kg/cm<sup>2</sup>, 259.74kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었으며, SureFil을 실험재료로 사용한 FC, FT, FB, FR, FL, FS군에서 각각 298.43kg/cm<sup>2</sup>, 398.47kg/cm<sup>2</sup>, 299.06kg/cm<sup>2</sup>, 304.43kg/cm<sup>2</sup>, 313.01kg/cm<sup>2</sup>, 325.82kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었고, Solitaire를 실험재료로 사용한 SC, ST, SB, SR, SL, SS군에서는 각각 240.04kg/cm<sup>2</sup>, 297.86kg/cm<sup>2</sup>, 241.35kg/cm<sup>2</sup>, 261.17kg/cm<sup>2</sup>, 264.03kg/cm<sup>2</sup>, 265.46kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었다. 또한, 혼합형 복합레진인 Z-100을 실험

재료로 사용한 ZC, ZT, ZB, ZR, ZL, ZS군에서는 각각 278.29kg/cm<sup>2</sup>, 342.98kg/cm<sup>2</sup>, 302.87kg/cm<sup>2</sup>, 291.14kg/cm<sup>2</sup>, 273.15kg/cm<sup>2</sup>, 282.16kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었고, 고동 아말감인 HI-Aristaloy 21을 사용한 HC, HT, HB, HR, HL, HS군에서 각각 226.48kg/cm<sup>2</sup>, 292.85kg/cm<sup>2</sup>, 219.46kg/cm<sup>2</sup>, 228.16kg/cm<sup>2</sup>, 215.53kg/cm<sup>2</sup>, 203.92kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 나타내었다. 모든 실험군 중 가장 높은 압축강도는 ST군의 398.47kg/cm<sup>2</sup>이었으며, 가장 낮은 압축강도는 HS군의 203.92kg/cm<sup>2</sup>였다.

실험재료와 시편형태에 따른 측정된 압축강도의 상관관계에 대한 two-way ANOVA test를 이용한 통계분석 결과가 Table 4에 나타나 있다. 이는 실험재료와 시편형태에 따른 압축강도 간의 상관관계를 나타내고 있다.

Fig. 3과 Table 5는 5종의 실험재료(ALERT, SureFil, Solitaire, Z-100, HI-Aristaloy 21)별 평균 압축강도 그래프와 유의차 0.05 수준에서 Tukey's HSD test를 시행한 결과이다. 실험재료별 평균 압축강도는 SureFil(323.20kg/cm<sup>2</sup>), Z-100(295.10kg/cm<sup>2</sup>), ALERT(273.28kg/cm<sup>2</sup>), Solitaire(261.65kg/cm<sup>2</sup>), HI-Aristaloy 21(231.07kg/cm<sup>2</sup>) 순으로 낮아졌다. SureFil과 Z-100, Z-100과 ALERT, Z-100과 Solitaire 간에는 유의성 있는 차이가 있었으며(p<0.05), ALERT와 Solitaire 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다(p>0.05). 또한, Solitaire와 HI-Aristaloy 21 간에는 유의성 있는 차이가 있었다(p<0.05).

Fig. 4와 Table 6에 6가지 형태의 시편형태(cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)별 평균 압축강도 그래프와 유의차 0.05 수준에서 Tukey's HSD test를 시행한 결과가 나타나 있다. 시편형태별 평균 압축강도는 Trapezoidal Shape(335.74kg/cm<sup>2</sup>), Round Bevel Shape(269.58kg/cm<sup>2</sup>), Short Bevel Shape(267.42kg/cm<sup>2</sup>), Long Bevel Shape(266.96kg/cm<sup>2</sup>), Butt-Joint Shape(263.19kg/cm<sup>2</sup>), Cylinder Shape(258.28kg/cm<sup>2</sup>) 순으로 낮아졌다. Trapezoidal Shape는 다른 시편형태 보다 유의성 있게 평균 압축강도가 높았으며(p<0.05), Trapezoidal Shape를 제외한 다른 시편형태 간에는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다(p>0.05).

Fig. 2와 Table 7에 5종의 실험재료(ALERT, SureFil, Solitaire, Z-100, HI-Aristaloy 21)와 6가지 시편형태(cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)별 평균 압축강도 그래프와 실험재료에 따른 시편형태간의 관계를 유의차 0.05 수준에서 Tukey's HSD test를 시행한 결과가 나타나 있다. ALERT, SureFil, Z-100, HI-Aristaloy 21을 실험재료로 사용하였을 경우에 시편형

Table 3. Compressive strengths(kg/cm<sup>2</sup>) of 30 experimental groups

Materials	Group		n	mean	S. D.
	Shape of Specimen	Code			
ALERT	Cylinder	AC	10	248.15	11.94
	Trapezoidal	AT	10	346.52	12.77
	Butt-Joint	AB	10	253.20	31.56
	Round Bevel	AR	10	262.98	8.42
	Long Bevel	AL	10	269.06	10.41
	Short Bevel	AS	10	259.74	8.30
SureFil	Cylinder	FC	10	298.43	29.36
	Trapezoidal	FT	10	398.47	21.85
	Butt-Joint	FB	10	299.06	24.95
	Round Bevel	FR	10	304.43	16.39
	Long Bevel	FL	10	313.01	26.89
	Short Bevel	FS	10	325.82	6.60
Solitaire	Cylinder	SC	10	240.04	31.15
	Trapezoidal	ST	10	297.86	33.44
	Butt-Joint	SB	10	241.35	16.56
	Round Bevel	SR	10	261.17	23.32
	Long Bevel	SL	10	264.03	10.57
	Short Bevel	SS	10	265.46	24.51
Z-100	Cylinder	ZC	10	278.29	29.30
	Trapezoidal	ZT	10	342.98	19.72
	Butt-Joint	ZB	10	302.87	15.01
	Round Bevel	ZR	10	291.14	16.63
	Long Bevel	ZL	10	273.15	27.83
	Short Bevel	ZS	10	282.16	24.38
HI-Aristaloy 21	Cylinder	HC	10	226.48	32.48
	Trapezoidal	HT	10	292.85	53.15
	Butt-Joint	HB	10	219.46	30.52
	Round Bevel	HR	10	228.16	39.15
	Long Bevel	HL	10	215.53	36.70
	Short Bevel	HS	10	203.92	41.39

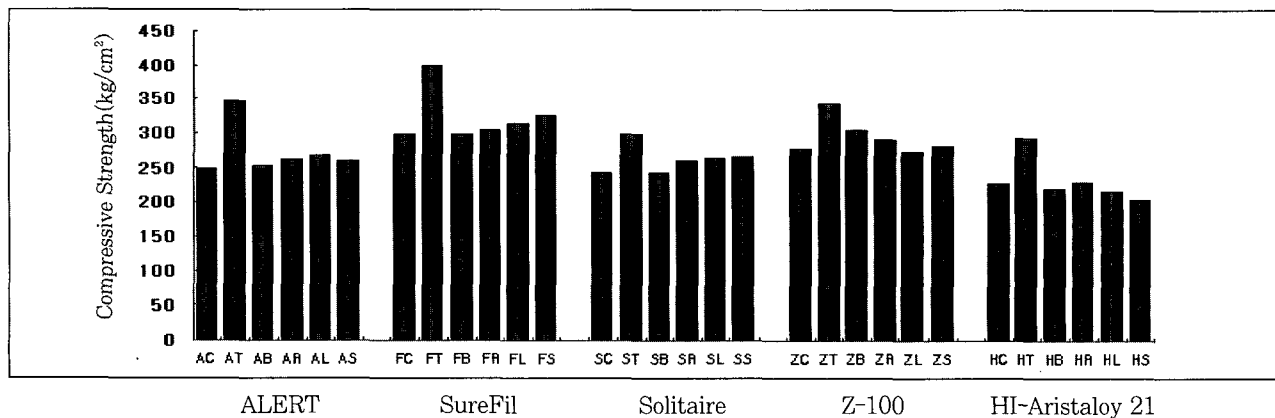


Fig. 2. Mean compressive strengths of 30 experimental groups

Table 4. Statistical analysis of compressive strengths according to the materials and shapes of specimens

Source of Variation	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	Sig. of F
Main Effects	501,233	9	55,692	80.758	.000
X1	289,290	4	72,322	104.873	.000
X2	211,942	5	42,388	61.466	.000
2-way Interactions	33,073	20	1,653	2.398	.000
Explained	534,307	29	18,424	26.717	.000
Residual	186,198	270	689		
Total	720,505	299	2,409		

X1 : Experimental Materials

X2 : Shapes of Specimens

Table 5. Results of statistical analysis on compressive strengths(kg/cm<sup>2</sup>) between experimental materials

Materials	n	mean	S.D.	Tukey's HSD
ALERT	60	273.28	37.06	B
SureFil	60	323.20	41.26	D
Solitaire	60	261.65	30.44	B
Z-100	60	295.10	32.17	C
HI-Aristaloy 21	60	231.07	47.70	A

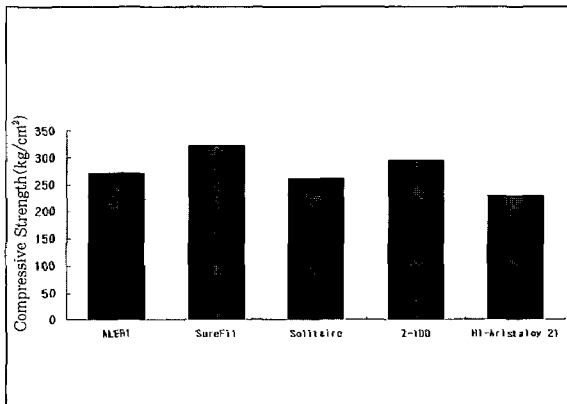


Fig. 3. Comparison of compressive strengths between experimental materials

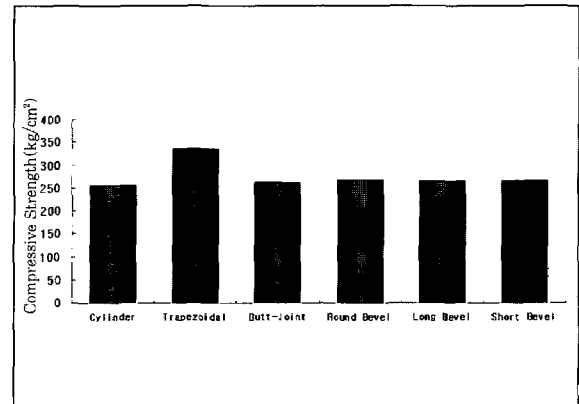


Fig. 4. Comparison of compressive strengths between shapes of specimens

Table 6. Results of statistical analysis on compressive strengths(kg/cm<sup>2</sup>) between shapes of specimens

Shapes of Specimens	n	mean	S.D.	Tukey's HSD
Cylinder	50	258.28	37.68	A
Trapezoidal	50	335.74	49.18	B
Butt-Joint	50	263.19	40.65	A
Round Bevel	50	269.58	34.80	A
Long Bevel	50	266.96	39.32	A
Short Bevel	50	267.42	46.16	A

Table 7. Results of statistical analysis on compressive strengths(kg/cm<sup>2</sup>) between shapes of specimens according to experimental materials

Experimental Materials									
ALERT		SureFil		Solitaire		Z-100		HI-Aristaloy 21	
Shapes of Specimens	Tukey's HSD	Shapes of Specimens	Tukey's HSD	Shapes of Specimens	Tukey's HSD	Shapes of Specimens	Tukey's HSD	Shapes of Specimens	Tukey's HSD
Cylinder	A	Cylinder	A	Cylinder	A	Cylinder	A	Cylinder	A
Trapezoidal	B	Trapezoidal	B	Trapezoidal	B	Trapezoidal	B	Trapezoidal	B
Butt-Joint	A	Butt-Joint	A	Butt-Joint	A	Butt-Joint	A	Butt-Joint	A
Round Bevel	A	Round Bevel	A	Round Bevel	A	Round Bevel	A	Round Bevel	A
Long Bevel	A	Long Bevel	A	Long Bevel	A	Long Bevel	A	Long Bevel	A
Short Bevel	A	Short Bevel	A	Short Bevel	A B	Short Bevel	A	Short Bevel	A

태별로 Trapezoidal Shape가 유의성 있게 높은 평균 압축 강도를 나타내었으며(p<0.05), 나머지 시편형태에서는 유의성 있는 차이가 없었다(p>0.05).

Solitaire를 실험재료로 사용한 경우에 Trapezoidal Shape에서 가장 높은 평균 압축강도를 나타내었으며, 이는 두 번째로 높은 평균 압축강도를 가지는 Short Bevel Shape와 유의성 있는 차이는 없었으나(p>0.05), 다른 4가지 시편형태(cylinder shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape) 보다 유의성 있게 평균 압축강도가 높았다(p<0.05). 또한, Short Bevel Shape와 Cylinder, Butt-Joint, Round Bevel, Long Bevel Shape 간에는 유의성 있는 평균 압축강도의 차이는 없었다 (p>0.05).

## 2. 주사전자현미경적 소견

ALERT 시편의 파단면에서 막대기형 filler가 레진기질에서 탈락된 소견과 막대기형 filler의 파단이 관찰되었다(Fig. 5). 또한, 연마면에서 파절선이 막대기형 filler와 레진기질의 계면을 따라 진전되고 있는 소견과(Fig. 6) 막대기형 filler의 파단이 관찰되었다(Fig. 7). SureFil 시편의 파단면에서 macrofiller의 파단이 관찰되었으며(Fig. 8), 연마면에서 파절선이 레진기질 내에서 진전되고 있음을 관찰할 수 있었다(Fig. 9). 또한 macrofiller의 파단이 관찰되었다(Fig. 10). Solitaire 시편의 파단면에서 organic filler의 파단이 관찰되었으며(Fig. 11), 연마면에서 파절선이 macrofiller, organic filler와 레진기질 간의 계면을 따라 진전되고 있는 소견이 관찰되었다(Fig. 12). Z-100 시편의 파단면에서는 filler의 탈락이나 파절이 관찰되지 않았으며



Fig. 5. Scanning electron microscope shows fractured surface of ALERT. Dislocation of rod-shaped fillers from resin matrix and fracture of rod-shaped filler were observed( $\times 1000$ ).

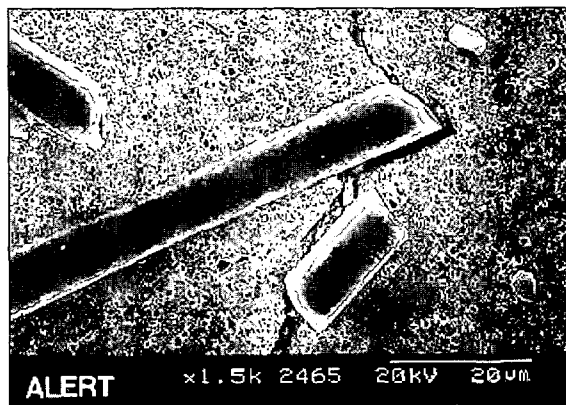


Fig. 6. Scanning electron microscope of polished surface shows the fracture line propagated between rod-shaped filler and resin matrix in ALERT( $\times 1500$ ).

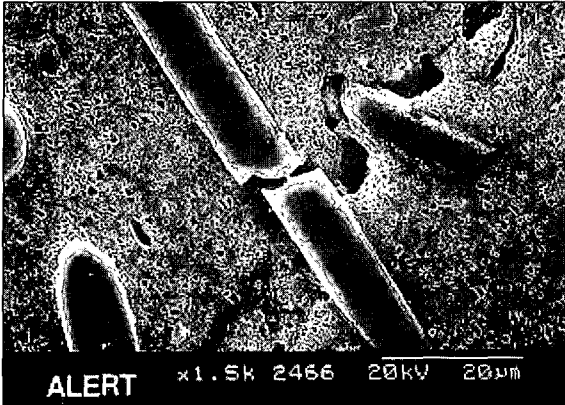


Fig. 7. Scanning electron microscope of polished surface shows fracture within rod-shaped filler in ALERT( $\times 1500$ ).

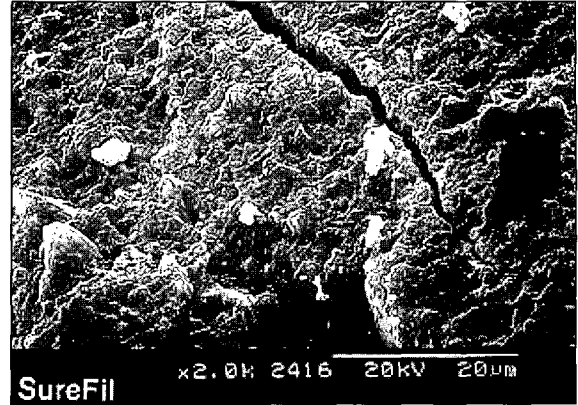


Fig. 8. Scanning electron microscope shows fractured surface of SureFil. Fracture of macrofiller was observed( $\times 2000$ ).

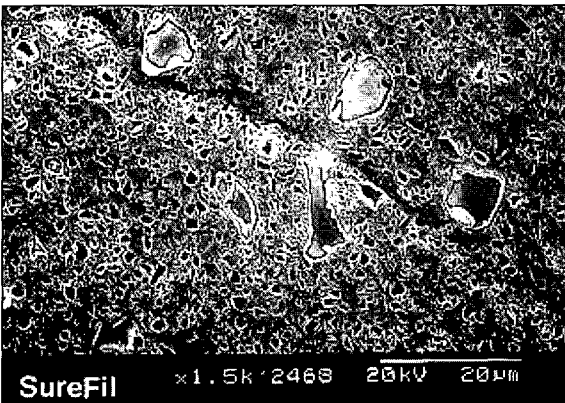


Fig. 9. Scanning electron microscope of polished surface shows the fracture line propagated within resin matrix in SureFil( $\times 1500$ ).

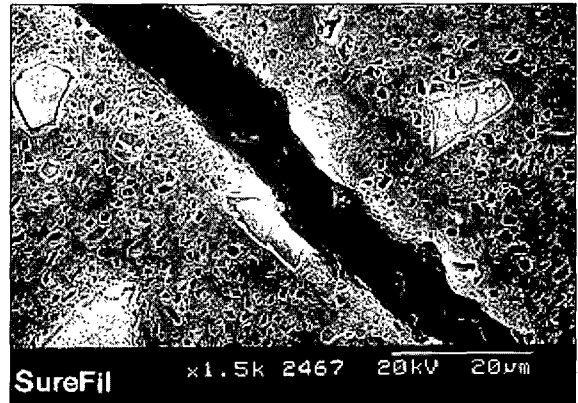


Fig. 10. Scanning electron microscope of polished surface shows the fracture of macrofiller in SureFil( $\times 1500$ ).

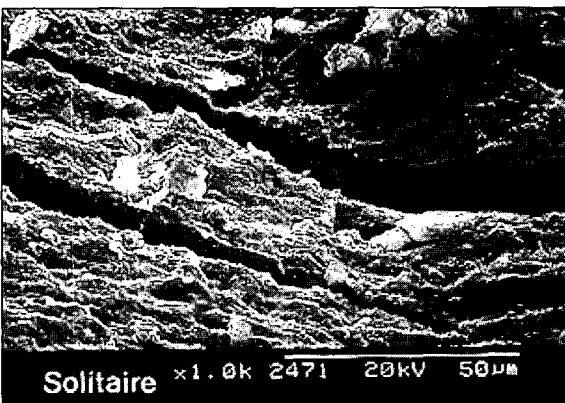


Fig. 11. Scanning electron microscope shows fractured surface of Solitaire. Fracture of organic filler was observed( $\times 1000$ ).

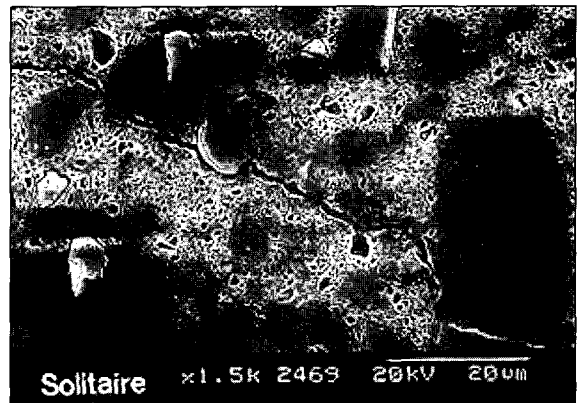


Fig. 12. Scanning electron microscope of polished surface shows the fracture line propagated between macrofiller, organic filler and resin matrix in Solitaire( $\times 1500$ ).



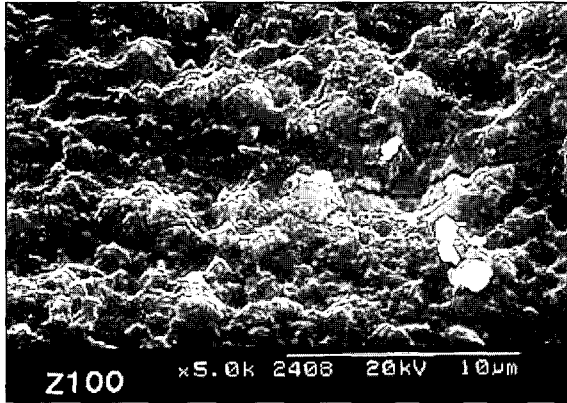


Fig. 13. Scanning electron microscope shows the fractured surface of Z-100. No dislocation and fracture of filler were observed ( $\times 5000$ ).

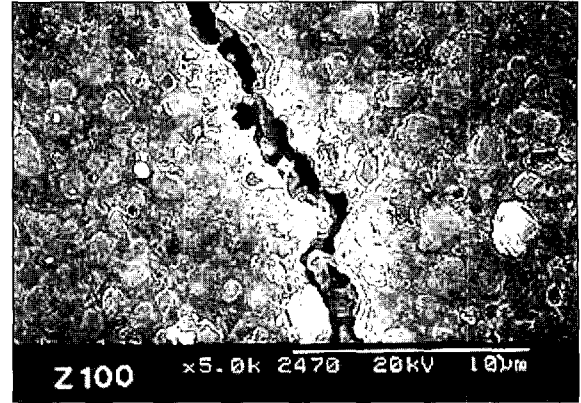


Fig. 14. Scanning electron microscope of polished surface shows the fracture line propagated within resin matrix in Z-100 ( $\times 5000$ ).

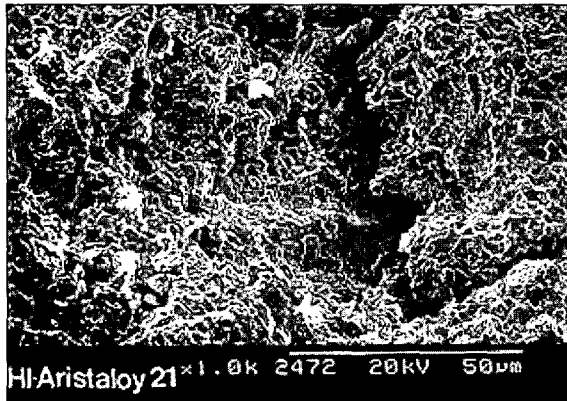


Fig. 15. Scanning electron microscope of typical fractured surface in high copper amalgam ( $\times 1000$ ).

(Fig. 13), 연마면에서 파절선이 레진기질 내에서 진전되고 있는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 14). HI-Aristaloy 21 시편의 파단면은 전형적인 고동 아말감의 파단면 양상을 보이고 있다(Fig. 15).

#### IV. 총괄 및 고안

환자들의 심미적 수복재에 대한 요구와 아말감의 수은유리에 대한 환경오염 및 전신건강에 대한 위해성 등의 문제점이 야기되어 아말감 대체물에 대한 필요성이 높아지고 있다. 지금까지 수은 아말감의 대체물로써 gallium alloy, condensable silver tin alloy와 구치부용 복합레진이 등장하고 있으며, 이 중 gallium alloy는 연화 후에 아말감과 유사한 조작성을 지니고 있으며, creep 및 체적변화와 압축강도 등의 많은 물리적, 기계적 성질도 아말감과 유사하다. 그

러나, 부적절한 연화는 과도한 부식과 팽창을 야기하여 와동이 큰 경우에 술후 과민증, bulk fracture 및 치질의 파절을 야기시킬 수 있다. 또한, 조작시 기구에 잘 달라붙는 단점을 가지고 있다<sup>35-38</sup>. condensable silver tin alloy는 특수한 습윤제로 처리된 은과 주석입자로 구성되어 있으며, 이 입자에 응축력을 가하면 서로 압축·결합하게 되어 수복재로 사용된다. 하지만, 아직 실용화 단계는 아닌 상황이다. 한편 구치부용 복합레진은 초기의 복합레진 보다 물성이 향상되어 아말감과 유사한 마모저항도를 지닌 혼합형 복합레진이 시판되고 있으나, 구치부용으로는 조작성과 물성 등의 문제가 야기되어 새로운 응축형 복합레진이 구치부 2급 와동의 수복용으로 소개되어 사용되고 있다<sup>35,36</sup>.

종래에는 구치부 2급 와동을 복합레진으로 수복하기 위한 방법으로 광중합기의 tip을 원추형으로 연장시켜서 인접면 와동내 위치시켜 광중합을 유도하거나, 미리 중합된 복합레진 ball이나 rod를 측벽과 matrix band 사이에 위치시켜 긴밀한 접촉점을 형성하는 방법과 bonding agent 도포 및 적층법으로 술후 과민증을 예방하는 방법을 사용하였다<sup>39</sup>. 그러나, 최근 중합률을 증가시켜 내구성과 마모저항성을 향상시킬 수 있고, 합착용 복합레진이 중합수축간극을 보상하여 변연접합도가 향상된 복합레진의 간접 수복법이 구치부 수복에 이용되고 있다<sup>40</sup>.

그러나, 이러한 술식은 아말감 수복과정에 비하여 복잡하며, Gerbo 등<sup>41</sup>의 연구에 의하면 간접 복합레진 수복의 마모저항성 등의 물리적 특성이 직접 복합레진 수복과 유의성 있는 차이가 없었다고 보고한 바 있다.

Only 등<sup>42</sup>의 연구에 의하면 silane 처리된 glass 입자를 레진기질에 첨가하여 응축형 복합레진을 제조하여 수복하였을 경우, 중합수축력이 감소되었음을 보고하였고, PRIMM system (Polymer Rigid Inorganic Matrix Material system)은 silica dioxide와 alumina를 기제로

한 약 2 $\mu$ m 지름의 도제섬유로 융합된 3차원적 구조물로 구성되어 연화아말감과 유사한 점도를 지니게 되어 응축 가능한 특성을 가지게 된다고 하였다<sup>43)</sup>.

이상과 같은 응축형 복합레진은 다음과 같은 아말감을 능가하는 장점을 지니고 있다. 첫째로, 응축형 복합레진은 접착제에 의하여 법랑질과 상아질에 미세기계적으로 접촉하여 양호한 변연봉쇄성을 부여하며, 치아와 결합(monoblock)하여 파절저항성을 높여주는 반면, 아말감은 단순히 부식산물에 의하여 변연봉쇄가 수행되며 저작시 잔존치질에 썩기 역할을 하여 교두의 파괴를 야기시킬 수 있다. 둘째, 응축형 복합레진은 아말감에 비하여 더욱 보존적으로 치아를 삭제하여(tooth preparation) 건전한 치질의 삭제량을 최소화할 수 있다. 셋째, 응축형 복합레진은 치아색 수복재로써 아말감보다 심미적인 면에서 장점이 있다<sup>44-46)</sup>.

한편, 응축형 복합레진은 condensable composite, packable composite, high density composite라고 불리어지고 있다<sup>47)</sup>. 하지만, 진정한 의미로 응축 가능한 것은 아니다. 여기서의 "condensation"은 "packing"이나 구성 분자간의 기포를 제거하는 것을 의미하며, 복합레진이 아말감과 같은 방식으로 응축되는 것이 아니라 아말감 plugger를 사용할 수 있을 정도의 점도를 지닌 것을 의미한다<sup>30,44)</sup>. 응축형 복합레진의 특징은 아말감에 필적하는 마모저항성을 가지며, 끈적거림과 떨어오는 성질이 감소하여 아말감과 유사하게 적용이 가능하고, 중합 전에 형태수정이 가능하여 해부학적 형태부여가 용이하며, 중합수축량이 적고, 자연치 아색조를 지니고 있다<sup>44)</sup>.

본 연구에서 사용된 응축형 복합레진 중에서 ALERT는 5mm 두께로 bulk 충전 가능하며, filler 직경은 6~10 $\mu$ m 크기이고, 길이가 60~80 $\mu$ m인 막대기형 microfilamentous 유리섬유와 평균 지름이 0.8 $\mu$ m인 barium borosilicate로 구성되어 있고, silane으로 처리되어 기질과 결합되어 있다. 또한, ALERT의 기질성분은 PCDMA(polycarbonate dimethacrylate)이다. ALERT는 이러한 막대기형 filler 입자와 불규칙한 미세한 filler의 조합과 PCDMA 레진기질의 사용으로 응축 가능한 특성을 지니게 된다<sup>29,44)</sup>.

본 실험에서 사용된 SureFil은 최대 중합깊이가 5mm로 나타나고 있으며, filler 입자가 IPT (interlocking particle technology)에 의하여 독특하게 응축이 가능한 특성을 지니고 있다. 이는 filler의 크기가 0.04~10.0 $\mu$ m 까지 다양하게 구성되어 있어 응축 시에 큰 입자가 작은 입자와 기계적으로 서로 맞물리어 아말감과 유사한 저항감을 느끼게 하여 준다<sup>44)</sup>.

또한 Solitaire는 레진기질이 생체친화성을 지닌 vitroid polyglas이며, 2~20 $\mu$ m 크기의 다공성의 거친 표면을 지닌 filler 입자를 함유하고 있어 응축시 단량체가 filler 입자 내로 흘러 들어가 쉽게 밀리지 않게 되어 긴밀한 접촉을 형성할 수 있다<sup>44,48)</sup>.

1955년 Buonocore<sup>49)</sup>가 치질과 복합레진 간의 적절한 미세기계적 결합을 위하여 산부식 개념을 수복술식에 도입한 이래, 전치부 수복에 있어서 Bagheri 등<sup>50,51)</sup>은 1983년에 법랑질에 와동사면(bevel)을 부여하는 경우에 butt-joint 변연 보다 전단결합강도가 증가하지만, 와동사면(bevel)의 길이가 1mm 이상 증가하면 와동사면(bevel) 길이에 따른 복합레진의 법랑질에 대한 전단결합강도가 영향을 받지 않는다고 보고하였으며, 이후 법랑질의 와동사면(bevel)의 두께가 증가할수록 수복물의 법랑질에 대한 전단결합강도가 증가함을 보고하였다. 또한, Davis 등<sup>52)</sup>은 변연을 육안 관찰과 미세누출검사로 평가한 결과, 법랑질에 한정된 chamfer 변연이 와동사면(bevel) 변연에 비하여 복합레진 수복시 변연봉쇄성이 양호하고 심미적이라고 보고하였다.

이와같이 전치부 복합레진 수복에 있어서는 변연에 와동사면(bevel)이나 chamfer 변연을 부여하는 것이 일반화되어 있지만, 구치부 수복에 있어서는 변연의 형태는 논란의 대상이 되고 있다. 즉 Smith 등<sup>31)</sup>은 구치부 복합레진 수복에 long beveled margin을 부여했을 시, 교합력이 적용되면 변연파괴가 발생할 수 있음을 경고하였으며, Leinfelder<sup>53)</sup>은 구치부 수복재로써 복합레진을 사용하는 경우, 교합면에 와동사면(bevel)을 부여하지 말라고 권하였다. 그러나, Moore 등<sup>54)</sup>은 구치부 복합레진 수복에서 와동 변연부에 와동사면(bevel)을 부여하는 것이 변연누출을 예방하여 주지는 못하였지만 변연누출을 감소시켰다고 보고하였으며, Hinoura 등<sup>55)</sup>도 marginal micromorphology analysis와 isotope penetration으로 평가한 결과, 와동 변연부에 와동사면(bevel)을 부여하였을 때 변연이 더 양호하였다고 발표하였고, 구치부 복합레진 수복술식에 있어도 flame-shaped bur로 와동사면(bevel)을 부여할 것을 권장한 이도 있어<sup>56)</sup>, 논란이 되고 있다.

본 실험에서 3종의 응축형 구치부용 복합레진인 ALERT, SureFil, Solitaire와 1종의 혼합형 복합레진인 Z-100과 1종의 구상형 고동 아말감인 HI-Aristaloy 21을 6가지 와동 형태(cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)에 따른 압축강도를 비교·연구한 결과, 아말감 보다는 4가지 복합레진에서 높은 압축강도를 나타내었다(Fig. 3, Table 5). 이는 구치부용 복합레진과 core용 복합레진의 파괴인성이 고동 아말감에 필적할 만 하다는 Lloyd<sup>57)</sup>의 연구결과와 유사하다.

3종의 복합레진 간의 압축강도를 비교하면, Ruddell 등<sup>58)</sup>의 연구에서 압축강도가 SureFil, Solitaire, ALERT 순으로 낮아졌으며, ALERT는 기존의 혼합형 복합레진인 Herculite(Kerr Co.) 보다 낮은 압축강도를 나타내었다고 보고하였고, MacGregor 등의 연구에서도 압축강도가 SureFil, Solitaire, ALERT 순으로 낮게 나타났으며, Solitaire와 ALERT는 기존의 혼합형 복합레진인

TPH(Caulk Co.) 보다 낮은 압축강도를 나타내었다고 보고하고 있다<sup>59)</sup>. 본 실험에서는 응축형 복합레진 중에서 SureFil이 가장 높은 압축강도를 나타내었지만, ALERT와 Solitaire는 기존의 혼합형 복합레진인 Z-100 보다 낮은 압축강도를 나타내어, 응축형 복합레진이 압축강도에서 기존의 복합레진 보다 물성이 우수하다고 단언하기가 어려웠으며, 응축형 복합레진이라는 제조회사의 분류는 아말감과 유사한 점도를 지니고 임상에서 응축가능한 경우에 한하여 응축형 복합레진으로 분류하였기 때문에 응축형 복합레진이라는 상품명으로 시판되는 복합레진은 각기 다양한 filler system과 레진기질로 인하여 압축강도도 다양하게 나타나고 있다.

본 실험에서 이용한 6가지 와동형태 중에서 Trapezoidal Shape를 제외한 다른 5가지 와동형태(cylinder shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)에 따른 압축강도 간에는 유의성 있는 차이가 없었다(Fig. 4, Table 6). Trapezoidal Shape에서의 높은 압축강도는 와동형태 자체의 안정성 때문이라기 보다는 시편의 부피가 다른 5가지 보다 월등히 크기 때문인 것으로 사료되며, 다소의 부피차이는 있었지만 5가지 와동형태(cylinder shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)에서 압축강도의 차이가 나타나지 않은 것은 실제 임상에서의 경우와 비교하여 치질 내에 충전되어 있지는 않지만, 레진 자체의 압축강도는 와동형태에 따른 별다른 영향을 받지 않음을 추측할 수 있다.

Table 4에 의하면 실험재료와 시편형태 간에 상호연관성이 있음을 알 수 있다. 즉, 실험재료와 시편형태에 따라 압축강도가 변화함을 알 수 있었다. 각 실험재료별로 Trapezoidal Shape인 AT, FT, ST, ZT, MT군에서 가장 높은 압축강도를 나타내었다(Table 3, Fig. 2). 하지만, AT, FT, ST, ZT, MT군을 제외하면 SS군을 제외하고는 각 재료에 대한 와동의 형태에 따른 압축강도 간에는 유의성 있는 차이가 없었다(Table 7). 즉, 가장 부피가 큰 Trapezoidal Shape를 제외하고는 실험재료와 시편형태 간의 상호연관성은 확인할 수 없었다.

파단면과 연마면을 주사전자현미경에서 관찰한 결과, 기존의 혼합형 복합레진인 Z-100에서는 filler 입자의 탈락이나 filler 입자의 파단이 관찰되지 않았고, 파절선의 진행도 레진기질 내에서 진전되고 있었다. 응축형 복합레진의 파단 양상은 재료에 따라 다양하게 나타났는데, 가장 높은 압축강도를 나타낸 SureFil은 파절선이 기질 내에서 진전되고 있는 것이 관찰되었으며, ALERT와 SureFil에서는 filler 입자와 레진기질의 계면을 따라서 파절선이 진전되고 있는 것이 관찰되었다. Lloyd 등<sup>60)</sup>의 연구에 의하면 filler 입자와 레진기질이 긴밀하게 접촉되어있는 경우, 균열이 레진기질 내를 통과하게 되고, filler 입자와 레진기질 간의 접촉이 완

벽하지 않은 경우에는 레진기질과 filler 입자의 계면을 따라 균열이 진전하게 된다고 보고하였다. 따라서, 주사전자현미경으로 파단면을 관찰한 결과, 높은 압축강도를 나타낸 응축형 복합레진인 SureFil과 혼합형 복합레진인 Z-100의 filler 입자와 레진기질 간의 접촉이 긴밀한 것으로 알 수 있었으며, ALERT와 Solitaire의 경우, filler 입자와 레진기질 간의 접촉이 약함을 알 수 있었다.

이상의 연구보고와 본 실험의 결과에서 시편 응축형 복합레진은 다양한 filler system, 레진기질, filler 입자와 레진기질 간의 표면처리 등에 의하여 압축강도와 파단양상이 다양하게 나타났으며, 부피가 큰 경우를 제외하고는, 레진 자체의 형태에 따른 강도변화에 별다른 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 그러나, 이는 임상적용의 결과가 아니므로 앞으로 임상적용 결과로 최종적으로 응축형 복합레진 수복을 평가하여야 할 것이다. 또한 응축형 복합레진의 새로운 filler system과 레진기질에 적합한 표면처리법에 대한 더욱 심화된 연구 및 개발이 필요하리라 사료된다.

## V. 결 론

이 연구는 3종의 응축형 복합레진(ALERT, SureFil, Solitaire)과 기존의 혼합형 복합레진(Z-100) 및 고동 아말감(HI-Aristaloy 21)을 이용하여 6가지 와동형태(cylinder shape, trapezoidal shape, butt-joint shape, round bevel shape, long bevel shape, short bevel shape)에 따른 압축강도를 측정하고, 파괴거동을 주사전자현미경으로 관찰·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험재료에 따른 압축강도는 SureFil, Z-100, ALERT, Solitaire 및 HI-Aristaloy 21 순이었다.
2. SureFil은 가장 높은 압축강도를 나타내었으며 ( $p < 0.05$ ), ALERT와 Solitaire는 혼합형 복합레진인 Z-100 보다 낮은 압축강도를 나타내었다( $p < 0.05$ ).
3. 시편형태에 따른 압축강도는 Trapezoidal Shape에서 가장 높게 나타났으며( $p < 0.05$ ), 다른 시편형태 간에는 유의성 있는 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).
4. 응축형 복합레진의 파단면 및 연마면의 소견은 레진기질의 성분, filler의 형태 및 filler와 기질간의 표면처리에 따라 다양하게 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. Langan DC, Fan PL, Hoos AA : The Use of Mercury in Dentistry : a Critical Review of the Recent Literature. *J. Am. Dent. Assoc.*, 115:867~880, 1987.
2. ADA Council on Scientific Affairs : Dental Amalgam : Update on Safety Concerns. *J. Am. Dent. Assoc.*, 129:494~503, 1998.
3. Phillips RW, Avery DR, Mehra R, Swartz ML, McCune RJ : One-Year Observations on a Composite Resin for Class

- Ⅱ Restorations. *J. Prosthet. Dent.*, 26(1):68~77, 1971.
4. Phillips RW, Avery DR, Mehra R, Swartz ML and Mc Cune RJ : Observations on a composite resin for Class Ⅱ restorations : Three -year resport. *J. Prosthet. Dent.*, 30(6):891~897, 1973.
  5. Emaes WB, Strain JD, Weitman RT, Williams AK : Clinical Comparison of Composite, Amalgam, and Silicate Restorations. *J. Am. Dent. Assoc.*, 89:1111~1117, 1974.
  6. Nucleus DB, Fingar WW : Six-Month and One-Year Clinical Evaluation of a Composite Resin for Class Ⅱ Restorations. *J. Am. Dent. Assoc.*, 91:1017~1022, 1975.
  7. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment : Expansion of the Acceptance Program for Dental Materials, Instruments, and Equipment : Composite Resin Materials for Occlusal Class I and Class Ⅱ Restorations. *J. Am. Dent. Assoc.*, 102:349~350, 1981.
  8. Derkson GD, Richardson AS, Waldman R : Clinical Evaluation of Composite Resin and Amalgam Posterior Restorations : Two Year Results. *J. Canad. Dent. Assn.*, 4:277~279, 1983.
  9. Derkson GD, Richardson AS, Waldman R : Clinical Evaluation of Composite Resin and Amalgam Posterior Restorations : Three Year Results. *J. Canad. Dent. Assn.*, 6:478~480, 1984.
  10. Norman RD, Wright JS, Rydberg RJ, Felkner LL : A 5-year study comparing a posterior composite resin and an amalgam. *J. Prosthe. Dent.*, 64(5):523~529, 1990.
  11. Cunningham J, Mair LH, Foster MA, Ireland RS : Clinical Evaluation of Three Posterior Composite and Two Amalgam Restorative Materials : 3-Year Results. *Br. Dent. J.*, 24:319~323, 1990.
  12. Mazer RB, Leinfelder KF : Evaluating a Microfill Posterior Composite Resin a Five-Year Study. *J. Am. Dent. Assoc.*, 123:33~38, 1992.
  13. Davidson DF, Suzuki M : A Prescription for the Successful Use of Heavy Filled Composites in the Posterior Dentition. *J. Can. Dent. Assoc.*, 65:256~260, 1999.
  14. Castelnovo J, Tjan AHL, Liu P : Microleakage of Multi-step and Simplified-step Bonding Systems. *Am. J. Dent.*, 9(6):245~248, 1996.
  15. Saunders WP, Saunders EM : Microleakage of Bonding Agents with Wet and Dry Bonding Techniques. *Am. J. Dent.*, 9(1):34~36, 1996.
  16. Christensen GJ : Tooth Sensitivity Related to Class I and Ⅱ Resin Restorations. *J. Am. Dent. Assoc.*, 127:497~498, 1996.
  17. Wieczkowski G, Joynt RB, Klockowski R, Davis EL : Effects of incremental versus bulk fill technique on resistance to cuspal fracture of teeth restored with posterior composites. *J. Prosthe. Dent.*, 60(3):283~287, 1988.
  18. Roulet JF, Noack MJ : Criteria of Substituting Amalgam with Composite Resins. *Int. Dent. J.*, 41:195~205, 1991.
  19. Jacquemyns E : Direct Composite Posterior Restoration in Daily Practice. *J. Esthet. Dent.*, 9(3):146~152, 1997.
  20. Touati B, Aidan N : Second Generation Laboratory Composite Resins for Indirect Restorations. *Esthet. Dent.*, 9(3):108~118, 1997.
  21. Fuhrer N : Restoring Posterior Teeth with a Novel Indirect Composite Resin System. *Esthet. Dent.*, 9(3):124~130, 1997.
  22. Leinfelder KF, Broome JC : *In Vitro* and *In Vivo* Evaluation of a New Universal Composite Resin. *J. Esthet. Dent.*, 6(4):177~183, 1994.
  23. Machnowski TJ : Posterior Resin-based Composites. *J. Am. Dent. Assoc.*, 130:18~19, 1999.
  24. Trushkowsky RD : A Panoramic Overview of Class Ⅱ Posterior Composite Resin Placement Techniques. *Dentistry Today*, 60~65, 1995.
  25. Trushkowsky RD : A Panoramic Overview of Class Ⅱ Posterior Composite Resin Placement Techniques, Part 2. *Dentistry Today*, 74~77, 1995.
  26. Doukoudakis S : Establishing Approximal Contacts in Class 2 Composite Resin Restorations. *Oper. Dent.*, 21:182~184, 1996.
  27. Ehrnford L : Composite Resins with a Condensable Inorganic Phase. *J. Dent. Res.*, 60(10):1759~1766, 1981.
  28. J rgensen KD, Hisamitsu H : Class 2 Composite Restorations : Prevention *in vitro* of Contraction Gaps. *J. Dent. Res.*, 63(2):141~145, 1984.
  29. Leinfelder K : A New Condensable Composite for the Restoration of Posterior Teeth. *Dentistry Today*, February: 112~116, 1998.
  30. Simonsen RJ, Herrin HK : Condensable Posterior Composite Resin?. *J. Am. Dent. Assoc.*, 113:578~580, 1986.
  31. Smith GA, Wilson NHF, Wilson MA : A Comparison of Two Different Cavity Margins used with a Posterior Composite Restorative - 2 Year Data. *J. Dent. Res.*, 65:1:303, 1986.
  32. Ben-Amar A, Metzger Z, Gontar G : Cavity Design for Class Ⅱ Composite Restorations. *J. Prosthe. Dent.*, 58(1):5~8, 1987.
  33. Porte A, Lutz F, Lund MR, Swartz ML : Cavity Designs for Composite Resin. *AADR Abstracts*, 254, 1983.
  34. Grieve AR, Saunders WP, Alani AH : The Effects of Dentine Bonding Agents on Marginal Leakage of Composite Restorations - Long-term Studies. *J. Oral Rehabilitation*, 20:11~18, 1993.
  35. Leinfelder KF : After Amalgam, What? Other Materials Fall Short. *J. Am. Dent. Assoc.*, 125: 586~589, 1994.
  36. Christensen GJ : Amalgam Vs. Composite Resin : 1998. *J. Am. Dent. Assoc.*, 129:1757~1759, 1998.
  37. McComb D : Gallium Restorative Materials. *J. Can. Dent. Assoc.*, 64(9):645~647.
  38. Blair FM, Whitworth JM, McCabe JF : The Physical Properties of a Gallium Alloy Restorative Material. *Dent. Mater.*, 11:277~280, 1995.
  39. Christensen GJ : Overcoming Challenges with Resin in Class Ⅱ Situations. *J. Am. Dent. Assoc.*, 128:1579~1580, 1997.
  40. Jordan RE, Suzuki M : Posterior Composite Restorations Where and How They Work Best. *J. Am. Dent. Assoc.*, 122:31~37, 1991.
  41. Gerbo LR, O'Neal SJ, Leinfelder KF, Wright WW : Two Year Comparison of Indirect Versus Direct Posterior Composite Restorations. *J. Dent. Res.*, 71:634, 1992.
  42. Donly KJ, Wild TW, Bowen RL, Jensen ME : An in vitro Investigation of Effects of Glass Inserts on the Effective Composite Resin Polymerization Shrinkage. *J. Dent. Res.*, 68(8):1234~1237, 1989.
  43. Bonner P : New Developments in Composite Resins. *Dentistry Today*, 44~47, 1997.
  44. Freedman G : Condensable Composites : The New Paradigm in Amalgam Alternatives. *Dentistry Today*, : 72~74, 1998.
  45. Herrin HK : Use of a Posterior Composite Resin to Restore Teeth and Support Enamel : Report of Case. *J. Am. Dent. Assoc.*, 112:845~846, 1986.
  46. Jagadish S, Yogesh BG : Fracture Resistance of Teeth with Class 2 Silver Amalgam, Posterior Composite, and Glass Cermet Restorations. *Oper. Dent.*, 15:42~47, 1990.
  47. Barkmeier WW, Wilwerding TM, Latta MA, Blake SM : *In-Vitro* Wear Assessment of High Density Composite

- Resins. *J. Dent. Res.*, 78:448, 1999.
48. Leinfelder KF, Nash RW, Radz GM : A Report on a New Condensable Composite Resin. *Compend. Contin. Educ. Dent.*, 19(3):230~232, 1998.
49. Buonocore MG : A Simple Method of Increasing the Adhesion of Acrylic Filling Materials to Enamel Surfaces. *J. Dent. Res.*, 34:849~853, 1955.
50. Rasmusson CG, K hler B, dman P : A 3-Year Clinical evaluation of Two Composite Resins in Class-II Cavities. *Acta. Odontol. Scand.*, 56:70~75, 1998.
51. Fukushima M, Setcos JC, Phillips RW : Marginal Fracture of Posterior Composite Resins. *J. Am. Dent. Assoc.*, 117:577~583, 1988.
52. Davis MJ, Roth J, Levi M : Marginal Integrity of Adhesive Fracture Restorations : Chamfer versus Bevel. *Quint. Int.*, 11:1135~1139, 1983.
53. Leinfelder KF : Using Composite Resin As a Posterior Restorative Material. *J. Am. Dent. Assoc.*, 122:65~70, 1991.
54. Moore DH, Vann WF : The Effect of a Cavosurface Bevel on Microleakage in Posterior Composite Restorations. *J. Prosth. Dent.*, 59(1):21~24, 1988.
55. Hinoura K, Setcos JC, Phillips RW : Cavity Design and Placement Techniques for Class 2 Composites. *Oper. Dent.*, 13:12~19, 1988.
56. Gergo E : Visual aid for posterior composite resin restorations. *J. Prosth. Dent.*, 54(6):763~764, 1985.
57. Lloyd CH : Resistance to Fracture in Posterior Composites. *Br. Dent. J.*, 155(24):411~414, 1983.
58. Ruddell DE, Thompson JY, Stamatiades PJ, Ward JC, Bayne SC, Shellard ER : Mechanical Properties and Wear Behavior of Condensable Composites. *J. Dent. Res.*, 78:156, 1999.
59. MacGregor KM, Cobb DS, Vargas MA : Physical Properties of Condensable versus Conventional Composites. *J. Dent. Res.*, 78:157, 1999.
60. Lloyd CH, Mitchell L : The Fracture Toughness of Tooth Coloured Restorative Materials. *J. Oral Rehabilitation*, 11:257~272, 1984.