

응축형 복합레진의 기계적 성질에 관한 비교연구

정지아 · 문주훈 · 조영곤
 조선대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

A COMPARATIVE STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONDENSABLE COMPOSITE RESINS

Ji-A Jung, Joo-Hoon Moon, Young-Gon Cho

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Chosun University

The purpose of this study was to compare the mechanical properties of three condensable composite resins and one hybrid composite resin. The compressive strength, diametral tensile strength, Vicker's microhardness were tested for mechanical properties of condensable composite resins (SureFil, Ariston pHc, Synergy compact), and hybrid composite resin (Z 100). The tested materials were divided into four groups : control group Z 100 (3M Co. USA), experimental group I Ariston pHc, (Vivadent, Co., Liechtenstein), experimental group II SureFil (Dentsply, Co., U.S.A.), experimental group III Synergy Compact (Coltene, Co., Swiss). According to the above classification, we made samples of SureFil, Ariston pHc, Synergy Compact, Z 100 with separable cylindrical metal mold. And then, we measured and compared the value of compressive strength, diametral tensile strength and Vicker's microhardness of each sample.

The results were as follows :

1. In compressive strength, control group (Z 100) revealed the highest value ($398.85 \pm 19.61 \text{MPa}$), and followed by SureFil ($381.65 \pm 31.24 \text{MPa}$), Synergy compact ($354.85 \pm 12.22 \text{MPa}$), Ariston pHc ($308.60 \pm 36.88 \text{MPa}$). There were no significant differences between SureFil group and Z 100 group, whereas there were significant differences between SureFil group and Ariston pHc group ($P < 0.05$).
2. In diametral tensile strength, Synergy compact revealed the highest value ($86.54 \pm 3.44 \text{MPa}$) and followed by SureFil ($84.54 \pm 3.53 \text{MPa}$), Z100 ($76.91 \pm 1.63 \text{MPa}$), Ariston pHc ($60.34 \pm 6.95 \text{MPa}$). There were no significant differences between SureFil group and Synergy compact group.
3. In microhardness, control group (Z 100) revealed the highest value ($223.7 \pm 58.0 \text{Hv}$), and followed by SureFil ($117.5 \pm 10.2 \text{Hv}$), Ariston pHc ($116.2 \pm 11.9 \text{Hv}$), Synergy Compact ($101.9 \pm 10.8 \text{Hv}$). There were no significant differences between Ariston pHc group and Synergy compact group.

Key words : Condensable composite resin, Compressive strength, Diametral tensile strength, Vicker's microhardness

* 이 논문은 2000년도 조선대학교 치과대학 교육문화재단 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

I. 서 론

사회 경제적인 발전과 함께 환자들의 심미적 욕구 증가와 아말감의 수은 유리에 대한 환경오염 및 전신 건강에 대한 위해성 등의 문제점이 야기되어 아말감의 대체 물질에 대한 필요성이 높아짐에 따라, 전치부 뿐 아니라 구치부에서도 치색재료를 이용한 심미적 수복이 증가되고 있다.

아말감을 대체 할 수 있는 이상적인 수복 재료를 찾고자 하는 노력은 계속되고 있지만 여전히 아말감은 강한 압축 강도를 가지고 있어 구치부에서 가장 많이 사용되고 있는 치과재료중 하나이다. 그러나 아말감은 낮은 인장강도로 인하여 변연부의 파절이 일어나기 쉽고 이로 인한 이차 우식증의 발생^{1,2}, 부식과 변색 및 수은의 누출로 인한 안정성이 치과외사와 환자 모두에게 의문시되면서 점차적으로 사용이 줄어들고 있다³.

1970년대 초에 아말감을 대체하기 위한 노력으로 1급 및 2급 와동에 사용될 수 있는 복합 레진이 소개되었으나, 이들에 관한 임상적 연구에서 2년 이내에 과도한 마모, 이차 우식증, 슬루 민감성등의 문제로 임상적으로 받아들여질 수 없음을 보고된 바 있다^{4,5}. 이후 물성이 향상된 재료의 개발과 더불어 선학들의 연구에서 많은 개선이 있었으나, 구치부에서 복합레진을 사용시 아말감에 비해 조작성이 떨어지고, 광조사 전의 교합면의 형성과 적절한 인접면 외형과 접촉점의 형성이 어렵다는 문제점이 지적되었다^{4,6}.

상아질 접착제의 발전과 접착 술식의 도입 및 아말감과 유사한 마모 비율을 갖는 복합레진이 소개되었다^{6,7}. 구치부 복합레진 수복시 변연부 미세누출과 이차 우식증 발생등은 상아질 접착제의 개량⁸ 및 접착술식의 도입으로 감소되었으나^{10,11}, 접촉점 회복이 어렵고 광중합 전 교합면 형태를 최종적으로 재현해 주어야하는 등의 재료 조작성에 문제점이 제기되었다.

최근에는 아말감의 응축할 수 있는 특성을 지닌 응축형 복합레진이 개발되었다. 응축형 복합레진은 필러함량이 무게비 80% 이상으로 낮은 중합수축을 (선팽창을 1%이하)과 필러 자체의 형태와 표면조도를 거칠게 변화시켜 필러입자 사이의 interlocking, 필러와 레진 기질 사이의 상호작용에 의하여 흐르지 않고 아말감과 같이 응축할 수 있는 유사한 조작성을 갖는다. 응축형 복합레진에 대한 선학들의 연구

에서, Leinfelder 등¹²은 우수한 변연적합성과 마모저항성을, Leinfelder¹³, Simonsen 등⁹은 기존의 복합레진 및 아말감에 필적할 만한 물성을 가지고 있다고 하였으나, Stephen 등¹⁴은 응축형 레진의 임상적 물성이 기존의 복합레진보다 우수하지는 않았다고 보고한 바 있다.

응축형 복합레진이 아말감을 대체하여 사용할 수 있는지 여부를 평가하기 위해서는 압축강도 및 간접 인장강도, 미세 경도의 측정이 임상적 평가를 위한 필수적인 과정이라 할 수 있다. 이에 본연구에서는 구치부 수복용으로 개발된 고 점도의 응축형 복합레진의 기계적 성질을 비교·평가하여 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

응축형 복합레진으로는 Ariston pHc (Vivadent Co., Liechtenstein), SureFil (Densply Co., U.S.A.), Synergy Compact (Coltene Co., Swiss)를 이용하였으며 혼합형 복합레진으로는 Z 100 (3M Co. U.S.A.)을 이용하였다 (Table 1).

2. 실험방법

(1) 실험군 분류 및 시편제작

1) 실험군 분류

대조군은 혼합형 복합레진인 Z 100으로 하였고 실험군은 응축형 복합레진을 3개군으로 분류하여 실험 1군은 Ariston pHc, 실험 2군은 SureFil, 실험 3군에는 Synerge compact을 배정하였다.

2) 시편제작

압축강도를 측정하기 위한 시편을 제작하기 위해서 ADA specification No.27¹⁵에 따라 높이 6mm, 직경 3mm의 분리 가능한 원통형 금속 주형을 제작하였다. 유리판과 matrix strip 위에 주형을 놓고 Z 100, SureFil, Ariston pHc, Synerge compact을 적층 충전하고 슬라이드 글라스와 matrix strip으로 압접한 후, 시편의 표면과 최대한 근

Table 1. Composite resins used in this study

Material	Group	Product	Batch No.	Manufacture
Hybrid composite	control	Z 100	5904A2	3M Co., U.S.A.
Condensable composite	experimental I	Ariston pHc	FL9494	Vivadent Co., Liechtenstein
	experimental II	SureFil	545113	Dentsply Co., U.S.A.
	experimental III	Synergy compact	7838	Coltene Co., Swiss

접시켜 광 조사기 (XL 3000, 3M Co. U.S.A.)로 40초간 광 조사하고, 다시 바닥부를 40초간 광조사한 후 주형에서 분리하여 각 군당 20개씩 총 80개의 시편을 제작하였다.

간접인장강도 및 비커스 미세 경도를 측정하기 위하여 높이 2mm, 직경 4mm의 분리 가능한 원통형 금속주형을 제작하여 압축강도 측정용 시편과 동일한 방법으로 각 군당 20개씩 총 160개의 시편을 제작하였다.

(2) 강도 및 경도의 측정

만능 측정 시험기 (Shimadzu Autograph, AGS 4D., Japan)를 이용하여 압축강도는 500kg의 하중으로 10mm/min의 cross head speed로 측정하였고, 간접인장 강도는 100kg의 하중으로 5mm/min의 cross head speed로 측정하였다.

비커스 미세경도는 변 사이의 각이 모두 136°인 피라미드 형의 다이아몬드 인덴터 (diamond indenter)를 갖는 비커스 미세경도 측정기 (Vicker's microhardness tester, Wilson Co., U.S.A.)를 이용하였다. 200g의 하중으로 20초간 각 시편당 다른 3부위를 가압한 후, 압흔의 장축의 길이를 측정하여 환산된 비커스 수치를 얻었으며, 각 시편당 3부위를 측정 후 평균값을 산출하였다.

(3) 통계처리

SAS Package를 이용하여 one way ANOVA test로 각 군간의 유의성을 분석하였으며, LSD를 이용하여 사후검정을 실시하였다.

III. 실험 성적

1. 압축 강도

압축강도는 대조군인 Z 100이 393.85±19.61MPa로 가장 높게 나타났으며 실험 2군(381.65±31.24MPa), 실험 3군 (345.85±12.22MPa), 실험 1군 (308.60±36.88 MPa)순으로 나타났다 (Table 2 & Fig. 1). 각 군간의 통계분석 결과, 대조군과 실험 1, 3군 및 실험1군과 2군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 (p<0.05) (Table 3).

2. 간접인장강도

간접인장강도는 실험 3군이 84.54±3.4MPa로 가장 높게 나타났으며, 실험 2군 은 84.54±3.53MPa, 대조군이 76.91±1.63MPa, 실험 1군은 60.34±6.95MPa 순으로

Table 2. Compressive Strength (MPa) of each group

Groups	No. of Sample	Compressive strength (Mean±SD)
Control group (Z 100)	20	393.85±19.61
Experimental group I (Ariston pHc)	20	308.60±36.88
Experimental group II (SureFil)	20	381.65±31.24
Experimental group III (Synergy compact)	20	345.85±12.22

Table 3. Statistical analysis on the compressive strength of each group (by ANOVA Test)

	Control group	Experimental group I	Experimental group II	Experimental group III
Control group (Z100)	-	*	NS	*
Experimental group I (Ariston pHc)	*	-	*	NS
Experimental group II (SureFil)	NS	*	-	NS
Experimental group III (Synergy compact)	*	NS	NS	-

* : Statistically significant differences (p<0.05)

NS : Non-significant differences

높게 나타났다 (Table 4 & Fig 2).

각 군간의 통계분석 결과, 대조군과 모든 실험군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나 ($p < 0.05$), 실험 2군과 실험 3군 사이에 유의한 차이는 없었다 (Table 5).

3. 비커스 미세경도

비커스 미세경도는 대조군 (Z100)이 $223.78 \pm$

56.06MPa 로 가장 높게 나타났으며 실험 2군 ($174.45 \pm 10.52\text{MPa}$), 실험 1군 ($116.82 \pm 11.92\text{MPa}$), 실험 3군 ($101.21 \pm 10.80\text{MPa}$)순으로 나타났다 (Table 6 & Fig. 3).

각 군간의 통계분석 결과, 실험군과 대조군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나 ($p < 0.05$), 실험1군과 실험 3군 사이에 유의한 차이는 없었다 (Table 7).

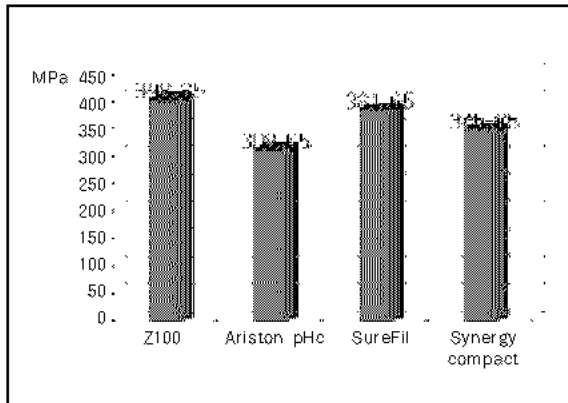


Fig. 1. Compressive Strength (MPa) of each group

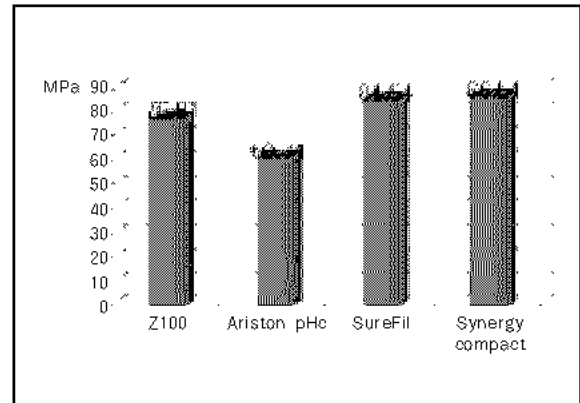


Fig. 2. Diametral tensile strength(MPa)

Table 4. Diametral tensile strength(MPa) of each group

Groups	No. of Sample	Diametral tensile strength (Mean \pm SD)
Control group (Z 100)	20	76.91 \pm 1.63
experimental group I (Ariston pHc)	20	60.34 \pm 6.95
experimental group II (SureFil)	20	84.54 \pm 3.53
experimental group III (Synergy compact)	20	86.54 \pm 3.44

Table 5. Statistical analysis on the Diametral tensile strength of each group. (by ANOVA test)

	Control group	Experimental group I	Experimental group II	Experimental group III
Control group (Z100)	-	*	*	*
Experimental group I (Ariston pHc)	*	-	*	*
Experimental group II (SureFil)	*	*	-	NS
Experimental group III (Synergy compact)	*	*	NS	-

* : Statistically significant differences($P < 0.05$)

NS : Non-significant differences

Table 6. Vicker's microhardness(Hv) of each group

Groups	No. of Sample	Vicker's microhardness (Mean±SD)
Control group (Z100)	20	223.78±58.06
Experimental group I (Ariston pHc)	20	116.82±11.92
Experimental group II (SureFil)	20	174.45±10.52
Experimental group III (Synergy compact)	20	101.21±10.80

Table 7. Statistical analysis on the Vicker's microhardness of each group (by ANOVA test)

	Control group	Experimental group I	Experimental group II	Experimental group III
Control group (Z100)	-	*	*	*
Experimental group I (Ariston pHc)	*	-	*	NS
Experimental group II (SureFil)	*	*	-	*
Experimental group III (Synergy compact)	*	NS	*	-

* : Statistically significant differences(P<0.05)

NS : Non-significant differences

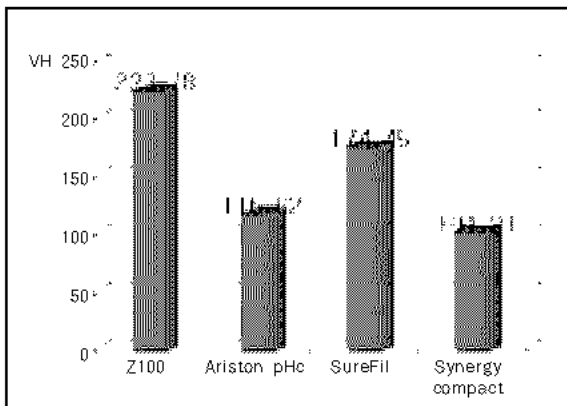


Fig. 3. Vicker's microhardness(Hv) of each group

IV. 고 찰

치의학 분야에서 구치 수복을 위한 이상적인 재료를 찾자 하는 연구는 계속되고 있지만 압축강도가 높은 아말감이 구치부에서 가장 흔히 사용되고 있는 실정이다. 그러나 아말감은 낮은 인장강도로 인하여 변연부 파절이 쉽게 일어나 이차 우식증이 빈번히 발생하며, 부식과 변색 및 수은의 누출로 인한 안정성이 의문시되고, 심미치료에 대한 요구가

증가함에 따라 점점 그 사용이 줄어들고 있다^{12,16}. 금속이나 아말감 수복물에 대한 기피현상이 증가되면서 전치부에서 주로 이용되었던 복합레진이 구치부에서도 직접 수복으로 사용되었으나, 기능하중을 받는 부위에서의 마모저항성이 충분치 않았다. 이에 구치부용 복합레진으로 초기 복합레진 보다 물성이 향상되어 아말감과 유사한 마모 저항도를 지닌 혼합형 복합레진이 시판되고 있으나, 접촉점 회복의 어려움, 광 중합 전에 교합면 형태를 최종적으로 재현해 주어야 하는 점등의 조작성과 물성에 문제점이 있어, 필러 함량을 높여 끈적거림이나 떨어져 오는 것 없이 변연부에 대해 응축할 수 있는 응축형 복합레진이 구치부 2급 외동의 수복용으로 개발되어 임상에서 이용되고 있다^{13,17}.

최근에 소개된 응축형 복합레진에 대한 연구에서, 높은 필러 함량과 더불어 필러자체의 형태와 표면조도를 거칠게 하여 필러 입자 사이의 interlocking filler와 레진기질 사이의 상호작용에 의하여 흐르지 않고 아말감과 같이 응축할 수 있는 유사한 조작 가능성 특성이 보고된 바¹⁹, 아말감과 같은 기법으로 측벽 부위의 형성이 용이하며, 적은 중합수축과 개선된 취급성이 장점으로 제시되었다.

응축형 복합레진에 관한 선행들의 연구에서, Ehrnford¹⁸는 소결된 유리섬유로 삼차원망상체를 형성하여 다공성을 부여한 강화형 필러 입자가 함유된 응축가능한 복합레진을

제작하여 와동내에 충전한 결과 기포의 발생이 감소되었다고 하였으며, Leinfelder 등¹³⁾은 우수한 변연 적합성과 마모 저항성을, Leinfelder¹³⁾, Simonsen 등⁹⁾은 기존의 복합레진 및 아말감에 필적할 만한 물리적 성질을 보고 하였다. 반면, Edward 등¹⁴⁾은 기존의 복합레진보다 구치부에 시적이 편리하고 기술적으로 잇점이 있지만 임상적 물성이 지속적으로 우수하다는 증거가 없고, 기존의 복합레진이나 아말감의 대체물로 선택될 수는 있지만, 모든 면에서 아말감보다 좋거나 동등하지는 않다고 하였다.

본 실험에서 사용된 응축형 복합레진 특성으로, SureFil은 필러 크기가 0.04~10.0 μ m 까지 다양하게 구성되어 응축시에 큰 입자가 작은 입자와 맞물려 아말감과 유사한 저항감을 나타낸다. Synergy compact은 무게비 74%의 filler 함유량과 0.1~2.5 μ m의 filler 크기를 지니며 단량체의 구성성분을 조절함으로써 높은 점성을 제공한다. Ariston pHc는 구강 내에서 pH 변화에 따라 active substances (OH, F, Ca²⁺ ions)등을 방출하는 재료로서 무게비 79%의 filler 함유량과 1.3 μ m의 평균 입자크기를 가지고 있다.^{13,14,19,20)}

본 연구에서 압축강도를 측정된 결과, 대조군 (Z100)이 393.85MPa로 가장 높게 나타났으며, 실험 2군 (381.65MPa), 실험 3군은 345.85MPa, 실험 1군은 308.60MPa순으로 나타났다. 본 연구에서 실험 2군 (SureFil)과 대조군 (Z 100)의 압축강도가 높게 나타난 것은 필러 입자와 레진 기질간의 접착이 긴밀하였기 때문으로 추정되며, 대조군 및 모든 실험군에 나타난 압축강도는 Craig²¹⁾가 제시한 법랑질의 압축강도와 유사하였으며 상아질의 압축강도보다는 다소 높게 나타났으며, 아말감을 대체할 수 있는 레진의 조건으로 300MPa이상의 압축강도 값을 제시한 Leinfelder 등¹⁴⁾의 연구결과에 적합하므로 응축형 복합레진은 구치부의 교합면과 같은 응력 발생 부위에 충전시 저작압에 견딜 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서, 간접 인장강도는 실험 3군이 86.54 \pm 3.4MPa로 가장 높게 나타났으며, 실험 2군은 84.54 \pm 3.53MPa, 대조군이 76.91 \pm 1.63MPa, 실험 1군은 60.34 \pm 6.95MPa 순으로 높게 나타났다. 대조군과 실험군간에 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나, 실험 2군과 실험 3군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 실험 1군을 제외한 응축형 복합레진은 Leinfelder 등¹⁴⁾이 제시한 아말감을 대체 할 수 있는 레진의 조건인 70MPa이상의 간접 인장강도 값에 부합되므로 본 연구에서 측정된 실험 1군을 제외한 응축형 레진은 구치부에서 측방력에 견딜 수 있을 것으로 생각된다.

수복물의 마모저항성과 관계되는 비커스 미세경도는 대조군 (Z100)이 223.78 \pm 56.06MPa로 가장 높게 나타났으며 실험 2군 (174.45 \pm 10.52MPa), 실험 1군 (116.82 \pm

11.92MPa), 실험 3군 (101.21 \pm 10.80MPa) 순으로 나타났다 (Table 6, Fig. 3). 실험군과 대조군사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나, 실험 1군과 실험 3군 사이에는 유의한 차이가 없었다. Craig²¹⁾는 법랑질의 비커스 미세경도는 343Hv, 상아질은 68Hv로 측정되었다고 보고한 바 있는데, 본 실험에서 응축형복합레진이 법랑질의 미세경도보다 낮게 측정되었기 때문에 장기간 구치부에서 사용시 여전히 수복물이 마모되는 경향이 있으리라 예상되지만 상아질보다 높은 경도를 보이므로 우수한 수복물로 사료된다. 또한 본 연구에서 사용된 응축형 레진은 제조회사에 따라 다양한 filler system과 레진 기질을 함유하므로 기계적 성질이 다양하게 나타났을 것으로 사료된다.

향후 본 연구에서 측정된 기계적 성질 뿐 아니라 물성에 대한 연구가 지속되어야 하며, 이러한 기초적 연구를 토대로 임상적인 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

이상을 고찰한 결과, 응축형 복합레진은 향상된 기계적 성질을 지닌 심미 수복재로서 정확한 중재 선택을 통한 처치가 이루어진다면 구치부 수복에 추천할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

응축형 복합레진과 혼합형 복합레진의 기계적 성질을 비교·평가하기 위하여 Z 100, Ariston pHc, SureFil, Synergy compact을 대조군과 3개의 실험군으로 분류하고, 각 군당 총 60개의 시편을 제작하여 압축강도, 간접인장강도, 비커스 미세경도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 압축강도는 대조군인 Z 100군이 393.85 \pm 19.61MPa로 가장 높게 나타났으며, 실험 2군 (381.65 \pm 31.24MPa), 실험 3군(345.85 \pm 12.22MPa), 실험 1군 (308.60 \pm 36.88MPa) 순으로 나타났다. 대조군과 실험 1, 3군 및 실험 1, 2군 사이에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 (p<0.05).
2. 간접인장강도는 실험 3군이 86.54 \pm 3.4MPa로 가장 높게 나타났으며, 실험 2군은 84.54 \pm 3.53MPa, 대조군이 76.91 \pm 1.63MPa, 실험 1군은 60.34 \pm 6.95MPa순으로 높게 나타났다. 대조군과 실험군간에 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나 (p<0.05), 실험 2, 3군 사이에 유의한 차이는 없었다.
3. 비커스 미세경도는 대조군인 Z100이 223.78 \pm 56.06 MPa로 가장 높게 나타났으며, 실험 2군 (174.45 \pm 10.52 MPa), 실험 1군 (116.82 \pm 11.92MPa), 실험 3군 (101.21 \pm 10.80MPa)순으로 나타났다

실험군과 대조군 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있었으나(p<0.05), 실험1, 3군 사이에 유의한 차이는 없었다.

참고 문헌

1. 신동훈, "치과용 아말감의 미세경도에 관한 실험적 연구." 『대한치과보존학회지』 9(1):101-105, 1983.
2. 백경화, 박일룡, 황호길, "세로머, 세라믹 및 복합레진의 기계적 성질의 비교에 관한 연구." 『대한보존학회지』 Vol 24, No 1, 1999.
3. Willems, G., Lambrechts, P., Braem, et al. "Composite resins in the 21st century." *Quintessence Int.*, 24:641-658, 1993.
4. Seghi, R., Kerby, R., Lee, J., et al. "Hardness and degree of conversion of posterior condensable composite resins." *J. Dent. Res.*, 78:157, 1999.
5. Simonsen, R.J., Herrin, H.K. "Condensable posterior composite resin?" *J.A.D.A.*, 113:578-580, 1986.
6. Macgregor, K.M., Cobb, D.S., Vargas, M.A. "Physical properties of condensable vs conventional composites." *J. Dent. Res.*, 78:157, 1999.
7. Norman, R.D. "A 5 year study comparing a posterior composite resin and amalgam." *J. Prosthet. Dent.*, 64:523-9, 1971.
8. Perry, R.D., Kugel, G., Leinfelder, K.H. "One year clinical evaluation of SureFil packable composite." *Compendium*, 120:544-553, 1999.
9. Castelnovo, J., Tjan, A.H.L., Liu, P. "Microleakage of multistep and simplified step Bonding Systems." *J.A.D.A.*, 9(6):245-248, 1996.
10. Christensen, G.J. "Tooth sensitivity Related to Class I and II Resin Restorations." *J.A.D.A.*, 127:497-498, 1996.
11. Suzuki, M., Jordan, R.E. "Posterior composite restoration : where and how they work best ." *J.A.D.A.*, 122:31-37, 1991.
12. Leinfelder, K.F., Mazer, R.B. "Clinical evaluation of a posterior composite resin containing a new type of filler particle ." *J. Esthetic. Dent.*, 1:66-70, 1988.
13. Leinfelder, K.F. "A New Condensable Composite for the Restoration of Posterior Teeth." *Dentistry Today*, February, 112-116, 1998.
14. Leinfelder, K.F., Stephen, C., Edward, J. "Packable composites : Overview & Technical Considerations ." *J. Esthet. Dent.*, 11:234-249, 1999.
15. American Dental Association Council on Dental Materials Specification No 27 for direct filling materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 94:1191, 1977.
16. Vanherl, G., Davidson, L., Loyes, K., et al "Material development and clinical performance of composite resin." *J. Pros. Dent.*, 48(6):664-672, 1982.
17. Leinfelder, K.F. "After Amalgam ,what? Other Materials Fall short." *J.A.D.A.*, 125:586-589, 1994.
18. Ehrnford, L. "Composite Resin with a condensable inorganic phase." *J. Dent. Res.*, 63(2):141-144, 1984.
19. Freedman, G. "Condensable composite." *The New Paradigm in Amalgam Alternatives Dentistry Today*, 72-74, 1998.
20. Thompson, J.Y. , Bayne, S.C., Rudell, D.E., et al "Mechanical properties of& wear behavior of condensable Composites." *J. Dent. Res.*, 78:156, 1999.
21. Craig, R.G. " Restorative Dental Materials. " Tenth edition Mosby Year Book Inc. 1997.