

4종의 간접법용 복합 레진의 기계적 특성 비교

전북대학교 치과대학 보철학교실 및 구강생체과학연구소

김길수 · 윤태호 · 송광엽 · 안승근

I. 서 론

치과 치료 영역에서 심미 치료는 항상 큰 관심의 대상이 되어 왔으며 현재에도 새로운 재료들이 소개되고 또한 상품화되고 있다. 심미 재료들 중에서 도재는 전통적으로 가장 잘 알려진 재료이다. 도재전장주조관이나 도재전장관 수복물은 우수한 심미성과 생체적합성을 가지고 있으나, 약간의 단점도 가지고 있다. 금속 하부구조의 불투과성은 자연스런 투명감을 저해하고, 조작하는데 있어 시간이 많이 소비되며, 숙련된 기술을 필요로 하며, 도재의 마모성은 대합 자연치에 파괴적이 될 수 있다.¹⁾

이런 단점 들을 극복하기 위한 노력으로 1980년대 초에 제조 회사들은 간접법 레진 복합 레진 상품 들을 소개했다.²⁾ 1세대 복합 레진으로는 Dentacolor (Kulzer), SR-Isosit(Ivoclar), Visio-Gem(ESPE) 등이 있다. 이런 재료 들은 임상에게 직접법 복합 레진의 내재된 결함 즉, 중합수축이나 깊은 인접면에서의 불완전한 중합 또한 인접면 접촉점 및 형태의 불완전성을 극복하는 대안을 제시했다.³⁾ 그러나 이러한 간접법 복합 레진들은 microfill 재료로서 낮은 무기 filler 함량으로 인해 낮은 굴곡강도와 마모저항성을 가져 임상적으로 널리 사용하기 어려웠다.⁴⁾ 1세대 복합 레진에서 물성이 일부 개선되고 filler 함량을 증가시킨 과도기형 레진으로 Solidex(Shofu), Tetric Lab(Vivadent), Herculite XRV Lab(Kerr) 등이 개발되었으나 금속과 접촉되지 않거나 물성이 충분하지 않아 인레이 등에만 사용되고 있다. 1990

년대 초에 2세대 간접법 복합 레진이 개발되었는데, 인레이, 온레이, veneering, 금속 하부구조가 없는 단일 금관, 짧은 길이의 전치부 bridges 등의 광범위한 고정성 보철수복에 추천되었다.⁴⁾ 2세대 간접법 복합 레진은 조성에 있어 현저한 차이를 가지는 다양한 재료들과 중합 방식 및 중합 조건으로 구성되었다. 이런 복합 레진들은 ultra-small filler particles과 polyfunctional methacrylate monomers를 사용하였다. 또한 이런 레진들은 열, 압력, 진공, 광중합을 조합하여 서로 다른 기공 기법으로 제작되었다. 비록 2세대 복합 레진 상품들이 1995년에 사용되었으나, 그것들의 특성이나 임상적 적용 실태는 적절히 조사되지 못하였다.

이 연구의 목적은 제 2세대 간접법용 복합 레진 4종과 직접법용 레진 1종을 in vitro 상태에서 임상 적용과 밀접한 연관이 있는 마모도, 굴곡강도, 굴곡탄성 계수, 표면 경도, 중합도를 평가해 봄으로서 각각의 재료가 가지고 있는 재료학적 특성과 장, 단점을 서로 비교해 보고 임상 적용의 기준을 마련함에 있다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에서는 최근 소개된 4종의 간접법용 복합 레진인 SR Adoro (Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein), Belleglass HP (Belle de St. Claire Orange, CA) Sinfony (3M-ESPE, St Paul, MO)

및 Tescera (Bisco, Schaumburg, IL) 레진의 법랑질이나 절단부 적응용으로 사용되는 레진을 실험군으로 사용하였고, 광중합형 직접범용 복합 레진인 Filtek Z250 (3M-ESPE, St Paul, MO)을 대조군으로 사용하였다 (Table 1).

2. 실험방법

(1) 마모 실험

원통형 아크릴릭 레진 블록의 평평한 표면에 길이 10mm, 폭 8mm, 깊이 2mm의 홈을 형성한 후 각각의 간접범용 레진을 충전하고 제조사의 지시대로 중합하여 각 그룹당 8개씩 총 40개의 시편을 제작하였다 (Fig. 2). 준비된 시편을 구강내 마모과정을 재현한 OHSU 마모시험기 (Oregon Health & Sciences University Oral wear simulator, Prototec, USA)에 장착하고 50,000회의 마모가 일어나게 하였다 (Fig. 3). 3체 마모시험을 위해 PMMA 분말 1g과 poppy seed 2g을 증류수 10ml에 혼합하여 막자사발

에서 분쇄한 후 음식 유사물질 (abrasion medium)로 사용하였다. Attrition 마모와 abrasion 마모가 일어나는 부위에 가해지는 힘은 각각 90N과 20N으로 설정하였고 분당 60회의 운동이 일어나게 하였다. 그 후 마모시험기에서 시편을 제거하여 탐침 스캔 방식의 3-차원 형상 분석기 (3-D Profilometer MTS, USA)를 이용하여 마모가 일어난 부분의 마모 깊이를 측정하였다 (Fig. 4).

(2) 굴곡강도 및 굴곡탄성계수 측정

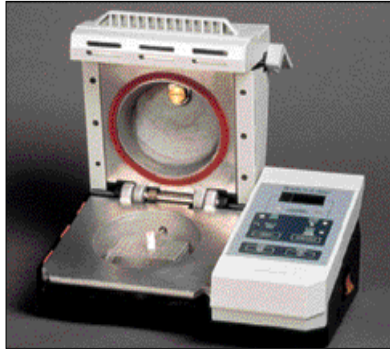
ISO 4049 규정에 따라 테플론과 금속 몰드를 이용하여 2mm×2mm×25mm의 크기로 레진을 충전하고 제조사의 지시대로 중합한 시편을 각 그룹 당 10개씩 제작한 후 ISO 4049 규정에 따라 3점 굽힘 시험법으로 굴곡강도를 측정하였다 (Fig. 5). 만능시험기 (Instron 4465, England)에서 0.5mm/min의 하중속도로 시편에 하중을 가하면서 시편이 파괴될 때의 하중 (F)을 측정하여 아래 식으로 굴곡강도 값을 계산하였다 (Fig. 6).

Table I. Materials tested and their composition provided by the manufacturer

Brand name	Code	Shade	Manufacturer	Composition
Adoro LC	ADR	TS1	Ivoclar Vivadent AG Liechtenstein,	UDMA; prepolymerized splinters, 63wt% SiO ₂
Belleglass HP	BGL	Enamel Cuspal	Kerr Inc. Orange, CA	Bis-GMA, TEGDMA; Barium silicate glass, colloidal silica 78wt%, 0.6µm
Sinfony	SFN	Enamel A2	3M-ESPE, St Paul, MO	Bis-GMA; Borosilicate glass, quartz, silica 45%vol
Tescera	TCR	Incisal Neutral	Bisco, Schaumburg, IL	Bis-GMA, UDMA; 70wt% silica
Z250	Z250	A3	3M-ESPE, St Paul, MO	Bis-GMA, TEGDMA; 60%vol silica

Table II. Procedures for polymerization of composites

Product	Polymerization method
Adoro LC	Light+Heat and light (104℃)
Belleglass HP	Light+Heat and pressure (140℃ and 80psi N ₂)
Sinfony	Light+Heat (100℃)
Tescera	Light+Heat and pressure(132℃ and 60psi water)
Z250	Light



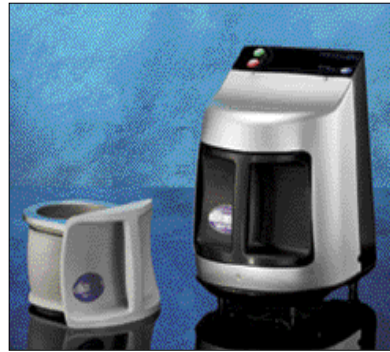
(a) Adoro



(b) BelleGlass HP



(c) Synfony



(d) Tescera

Fig. 1. Indirect system tested in this study.

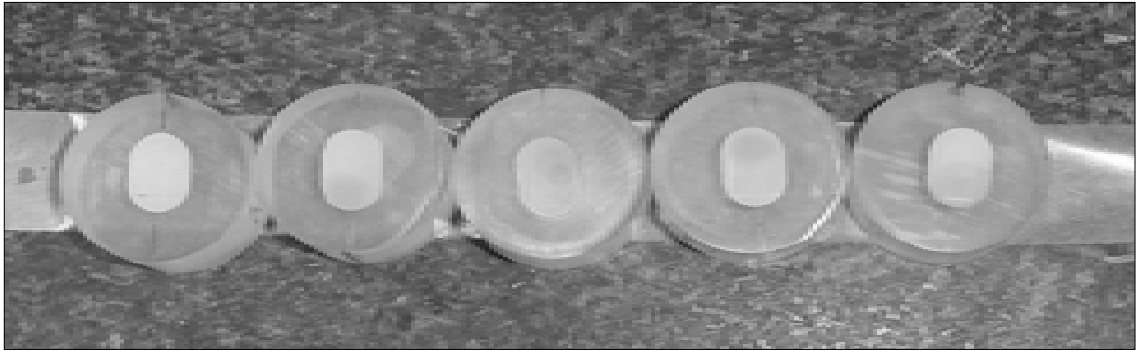


Fig. 2. Specimen used in attrition and abrasion study.

$$\text{굴곡강도} = 3 \times F \times I / 2 \times W \times D^2$$

굴곡 탄성 계수 (flexural modulus) 값은 굴곡강도 시험시 측정된 응력-변형 곡선의 기울기를 이용하여 계산하였다.

(3) 표면경도 측정

마모실험을 위하여 제작된 시편의 마모실험이 완료된 후 각 시험군에서 각각 5개의 시편을 선택하여 마모가 일어나지 않은 부위에서 Vickers hardness 측정을 하였다. 미세경도기 (Microhardness tester,

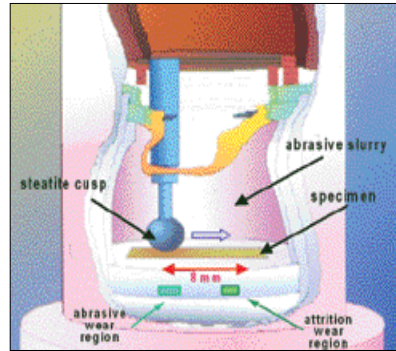
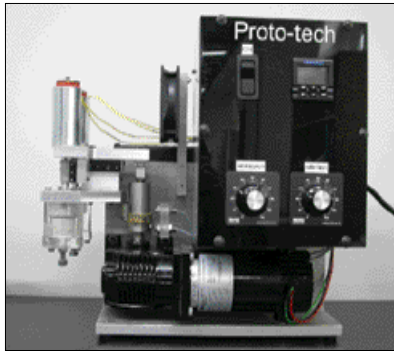


Fig. 3. Oral wear simulator used in this study.

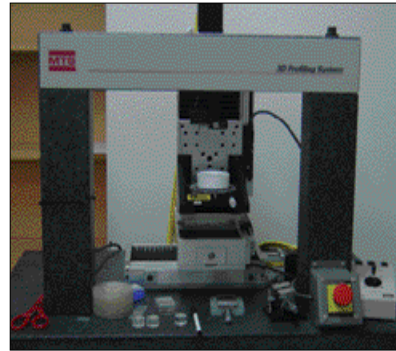
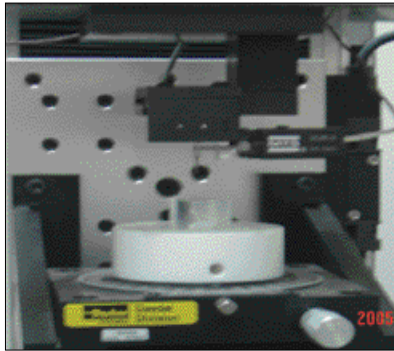


Fig. 4. 3-D profilometer used in this study.

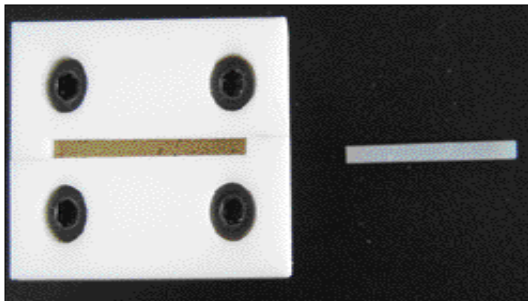


Fig. 5. Jig and specimen used in flexural strength test.

HMV-2 series, Shimadzu, Japan)에 시편을 올려 놓고 100 g의 하중을 10초간 가하면서 시편당 10회 씩 반복 측정하였다 (Fig. 7).

(4) 중합도 측정
 굴곡강도 측정 후 시편에서 약 1.5~2.0mg의 복합 레진을 채취하여 70mg의 FT-IR급 KBr 분말과 혼합



Fig. 6. Universal test machine used in this study.

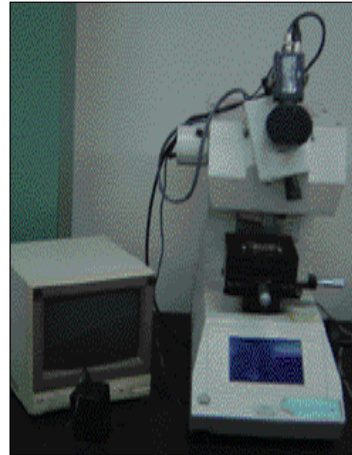


Fig. 7. Vickers microhardness tester used in this study.

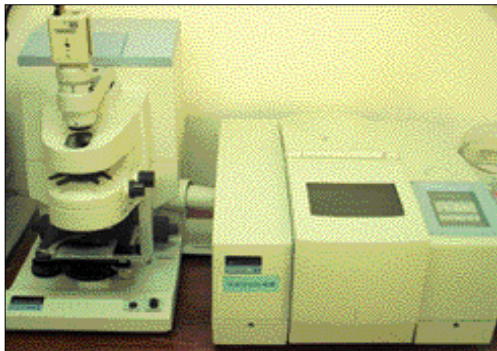


Fig. 8. FT-IR used in this study to measure degree of conversion.

하여 KBr 펠렛을 제작한 후 중합도 측정용 시편을 만들었다. FT-IR 분광분석기 (Fts-165, Biorad Win-IR, Perkin-Elmer, USA)로 파수 2000~1000cm⁻¹, 해상도 4cm⁻¹, 주사회수 16회로 설정하여 투과도를 측정하였으며, 측정값을 흡수도로 변환하였고, 표준기선법으로 콤포짓트레진의 중합도를 계산하였다 (Fig. 8). 미중합 시편의 경우는 중합하지 않은 소량의 복합 레진을 2장의 KBr 원판사이에 넣고 두께가 약 50 μ m이 되도록 압축하여 제조한 박막시편으로 흡수도를 측정하였다. 미중합 지방족 탄소이중결합 (C=C)의 산출은 미중합 시료의 방향족 탄소이중결

합 피크인 1609cm⁻¹ 부근에서의 흡수도와 지방족 탄소이중결합 피크인 1639cm⁻¹ 부근에서의 흡수도의 비율을 구하여 미중합 상태의 지방족 탄소이중결합/지방족 탄소이중결합의 비율을 구하여 상수로 사용하였는데 각 실험군마다 5개의 시편을 제작하여 3회씩 서로 다른 부위를 측정하여 중합도의 평균값을 계산하였다.

$$DC = 1 - \frac{\text{abs}(\text{aliphatic C=C}) / \text{abs}(\text{aromatic C=C})_{\text{polymer}}}{\text{abs}(\text{aliphatic C=C}) / \text{abs}(\text{aromatic C=C})_{\text{monomer}}} \times 100$$

3. 통계처리

마모량, 굴곡강도, 표면경도 및 중합도에 대한 평균과 표준편차를 측정하고, 얻어진 결과를 Tukey multiple comparisons test를 이용하여 95% 유의 수준에서 검증하였다.

III. 결 과

(1) 마모 실험

마모실험 결과는 Table III 및 Fig. 9와 같다. Abrasion 마모는 Adoro에서 가장 작았으나 Z250, Belleglass HP와는 유의한 차이를 보이지 않았다 (p>0.05). 중등도의 마모를 보인 Tescera는 Belleglass

HP 다음으로 많은 마모를 보였지만 두 그룹 사이에 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다 ($p>0.05$). Synfony는 모든 그룹 중 가장 많은 마모량을 보여 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). Attrition 마모는 Belleglass HP와 Tescera가 가장 작

은 마모를 보여 다른 그룹에 비해 통계적으로 유의하게 작은 마모를 보였으며 ($p<0.05$), Synfony와 Z250은 Belleglass HP와 Tescera에 비해 두 배 이상의 마모를 보여 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$).

Table III. Average wear depth (μm) of specimens ($n=8$)

	Abrasion Wear	Attrition Wear
Adoro	3.42 ± 1.32^a	27.19 ± 5.17^d
Belleglass	$4.71 \pm 1.29^{a,b}$	18.31 ± 1.79^e
Synfony	16.91 ± 2.84^c	49.23 ± 6.68^f
Tescera	7.07 ± 1.85^b	18.78 ± 3.43^e
Z250	3.91 ± 0.59^a	36.93 ± 2.45^e

Note: At the 0.05 significance level, the means of any two groups with same superscripts in same column are not significantly different.

Table IV. Flexural strength and flexural modulus of specimens ($n=10$)

	Flexural strength (MPa)	flexural modulus (GPa)
Adoro	110.0 ± 21.7^a	5.87 ± 0.90^d
Belleglass	104.4 ± 12.7^a	8.99 ± 0.79^e
Synfony	76.8 ± 4.3^b	2.34 ± 0.16^f
Tescera	84.6 ± 10.9^b	8.03 ± 1.21^e
Z250	130.8 ± 10.3^c	10.72 ± 0.41^e

Note: At the 0.05 significance level, the means of any two groups with same superscripts in same column are not significantly different.

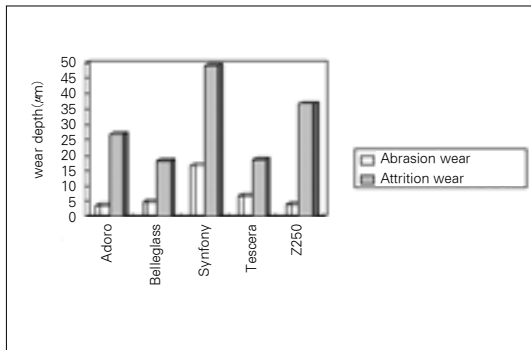


Fig. 9. Graph of abrasion wear and attrition wear depth (μm).

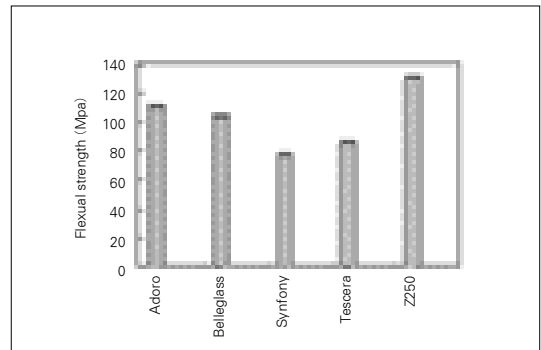


Fig. 10. Graph of flexural strength (MPa).

(2) 굴곡강도 및 굴곡탄성계수 측정

3점 굽힘 시험법으로 측정된 굴곡강도는 Table IV 및 Fig. 10과 같다. 광중합만으로 중합된 Z250이 가장 높은 결과를 나타내었고, Adoro와 Belleglass HP가 중정도의 강도를, 그리고 Synfony와 Tescera가 유의하게 낮은 결과를 나타내었다 ($p < 0.05$). 굴곡탄성계수는 가장 낮은 굴곡강도값을 보인 Synfony가 유의하게 낮은 결과를 보였고 ($p < 0.05$), 가장 높은 굴곡강도를 보인 Z250이 가장 높은 굴곡탄성계수를 보였다. 두 번째로 높은 굴곡강도를 보인 Adoro는 다른 그룹에 비해 다소 낮은 굴곡탄성계수를 보였고, 낮은 굴곡강도를 보였던 Tescera는 높은 굴곡탄성계수를 보였다. Belleglass HP와 Tescera 사이에는 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.05$).

Table V. Surface hardness (VHN) of specimens (n=24)

	Vickers Hardness Number
Adoro	60.79 ± 6.67 ^a
Belleglass	82.19 ± 6.22 ^b
Synfony	35.19 ± 5.96 ^c
Tescera	81.15 ± 6.80 ^b
Z250	96.35 ± 7.15 ^d

Note: At the 0.05 significance level, the means of any two groups with same superscripts in same column are not significantly different.

Table VI. Degree of conversion (%) of specimens (n=5)

	Degree of conversion (%)
Adoro	62.56 ± 1.00 ^a
Belleglass	78.02 ± 0.62 ^b
Synfony	61.72 ± 0.63 ^a
Tescera	53.66 ± 2.09 ^c
Z250	47.38 ± 1.20 ^d

Note: At the 0.05 significance level, the means of any two groups with same superscripts in same column are not significantly different.

(3) 표면경도 측정

각 시편의 표면경도를 측정된 결과는 Table V 및 Fig. 11과 같다. Z250이 유의하게 높은 결과를 보였으며 ($p < 0.05$), Belleglass와 Tescera가 중정도의 경도를, 그리고 Synfony가 가장 낮은 결과를 보였다. Belleglass HP와 Tescera사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$).

(4) 중합도 측정

각 그룹의 중합전과 중합후의 중합도 측정결과는 Table VI 및 Fig. 12와 같다. Belleglass가 가장 높은 정도의 중합율을 보였으며, Adoro와 Synfony가 각각 62.56%와 61.72%의 중합율로 중정도의 중합율을 보였고, Tescera와 광중합형인 Z250이 각각 53.66%와 47.38%로 가장 낮은 중합율을 보

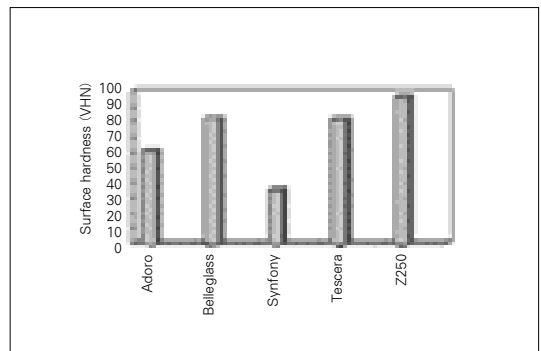


Fig. 11. Graph of surface hardness.

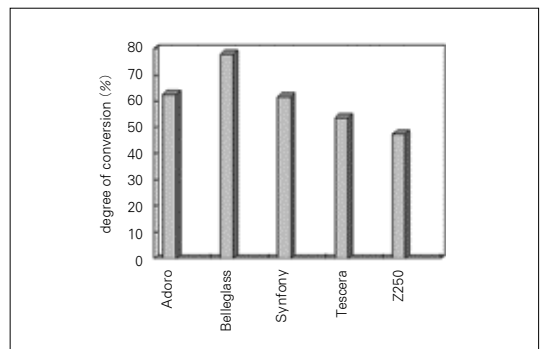


Fig. 12. Graph of degree of conversion.

였다. Adoro와 Synfony 사이에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$).

IV. 총괄 및 고안

본 연구에서는 상품화되어 있는 4종의 간접법 복합 레진의 물리적 특성-마모저항성, 굴곡강도 및 굴곡탄성계수, 표면경도, 중합도-을 비교 평가하였다. 임상적으로 복합 레진의 중요한 단점 중의 하나는 낮은 마모 저항성을 들 수 있다. 복합 레진 수복물이 마모되면 표면이 거칠어지며 치태 침착이 증가하고 심미성이 감소할 뿐만 아니라 수복재의 내구성이 감소하여 기능에 심각한 문제를 줄 수 있다. O' Brien 등⁵⁾은 레진 수복물의 마모 기전에 대하여, 레진기질의 마모, fillers와 레진 기질간의 접착 실패로 인한 fillers 상실, 노출된 fillers의 찢겨나감으로 인한 fillers 상실, 레진 기질의 cracking으로 인한 fillers 상실, 개재된 기포의 노출 등으로 기술한 바 있다.

복합 레진의 기계적 마모는 대개 abrasive, adhesive, fatigue 마모 과정으로 일어나게 된다. Abrasive(2-body or 3-body) 마모는 면이 서로 스치거나, 보다 단단한 재료가 부드러운 재료를 자를 때 어떤 구조의 손실을 야기시킴으로써 일어난다. Adhesive 마모는 두 개의 움직이는 면에 의한 마찰력이 표면 입자들 사이에 국소적인 cold welding을 일으키고 결국 작은 조각들이 파절되어 발생한다. Fatigue 마모는 재료 전체에 걸쳐 진행되는 미세균열이 표면 입자들을 분리시켜 발생한다. 이는 복합 레진의 filler와 기질사이에서 특히 뚜렷하다.⁶⁾ Abrasion 마모는 주로 abrasive wear에 의해 주로 일어나며, 본 연구에서는 음식 유사물질로 PMMA 분말과 poppy seed를 혼합 분쇄하여 3체 마모시험을 하였다. Attrition 마모는 주로 2체 마모로 진행되며 adhesive wear 및 fatigue wear와 밀접한 관련이 있다. 이 실험에서 가해지는 힘은 각각 20N과 90N으로 설정하였다. Table III의 결과에 의하면 abrasion 마모는 Synfony에서 가장 많이 일어났고, 대조군으로 사용한 Z250에서 가장 적게 일어났으며, attrition 마모는 Synfony에서 가장 많이 일어났고 Belleglass HP에서 가장 적게 일어났다. 이는 복합 레진의 마모도가 filler particles의 양과 크기에 특히 영향을 받기

때문으로 보이며, 여기에 사용된 재료들의 filler 함량을 비교해보면 Table I 과 같다.

Venhoven 등⁷⁾에 의하면 복합 레진의 마모도는 filler 입자의 양과 크기 및 레진 기질과의 결합 정도에 따라 영향을 받는다고 하였으며, Draughn과 Harrison 등⁸⁾은 크기가 크고 경도가 높은 fillers를 단위 면적 내에 많이 함유 할수록 레진의 마모저항성이 증가한다고 하였다. Mandikos 등⁹⁾의 연구에 의하면 3체 마모시험에서 자연치의 법랑질보다 마모저항성이 적은 복합 레진은 없었고 Concept(Ivoclar North America, Amherst, N.Y.)가 거의 법랑질과 유사하였으며, Targis(Ivoclar North America, Amherst, N.Y.)의 경우 가장 마모도가 크게 나타났다. Knobloch 등²⁾의 연구에서도 법랑질이 가장 작은 마모도를 보였다. 동일한 조건을 사용하고 동일한 재료를 사용한 연구가 없기 때문에 수치상으로 직접 마모도를 비교하기에는 어려움이 있지만, 일반적으로 간접법 복합 레진의 마모도는 자연치에 비해 떨어지기 때문에 실험에 사용된 레진 중에서 마모도가 가장 작은 것이 마모저항성 측면에서는 가장 우수하다고 할 수 있다. 실험 조건은 다르지만 Demirel 등¹⁰⁾의 연구에서도 본 실험에서와 같이 대조군으로 사용된 직접법용 레진인 Z100(3M, St Paul, MO)이 가장 낮은 마모 수치를 보였다. 결국 filler 함량이 마모도에서 가장 중요한 요소라 판단된다.

수복물의 임상적 성공을 위해 기계적 강도는 중요한 요소가 된다. 복합 레진은 압축시보다 인장시에 훨씬 약하다. 그러므로 인장 강도가 레진재료의 임상적 실패가능성을 평가하는 지표로서 보다 의미가 있다. 전통적인 인장시험은 시편을 배열하고 붙잡는데 어려움이 있어서 드물게 사용된다. 최근에는 이축 굽힘 실험이 콤포짓트의 강도를 측정하는데 주로 사용되고 있다.

굴곡강도는 재료의 toughness를 의미하며, 탄성계수는 재료의 stiffness를 나타내는 것으로서 수복물의 수명에 중요한 요소이다. 본 실험에서는 대조군으로 사용된 Z250이 굴곡강도가 가장 크게 (평균 131MPa) 나타났으며 Adoro(110 MPa), Belleglass HP(104 MPa), Tescera(85 MPa), Synfony(77 MPa) 순으로 작아졌다. 2003년 Kakaboura 등¹¹⁾의 연구에서도 Synfony가 Belleglass HP보다 더 flexible한

수치를 보였다. 이는 Synfony의 filler 함유량이 낮고 덜 단단한 organic network을 갖고 있기 때문이라 하였다. 2003년 Demirel 등¹⁰⁾의 연구에서는 대조군으로 사용한 Z100이 오히려 가장 낮게(평균 114 MPa) 나타났다으며, Artglass(Heraeus Kulzer, South Bend, IN, 129MPa), Targis, Belleglass HP 순으로 높게 나타났다. 1997년 Touati 등⁴⁾의 연구에서는 Conquest (Jeneric Pentron, Wallingford, Connecticut, 160 MPa), Targis(160 MPa), Colombus(Cendres and Metaux, Paris, France, 155MPa), Belleglass HP (150MPa), Artglass(120MPa) 순으로 측정되었다.

굴곡탄성계수는 Z250(10.72 GPa)이 가장 높은 수치를 보였으며, Belleglass HP(8.99 GPa) Tescera (8.03 GPa) Adoro(5.87 GPa) Synfony(2.34 GPa) 순으로 낮게 나타났다. 1997년 Touati 등⁴⁾의 연구에서는 굴곡탄성계수가 Conquest(12 GPa), Targis(10 GPa), Belleglass HP(9.7 GPa), Artglass(9 GPa), Colombus(8.5 GPa) 순으로 보고되었다.

이번 연구에서 표면 경도는 Z250(96.35 VHN), Belleglass HP(82.19 VHN), Tescera(81.15 VHN), Adoro(60.79 VHN), Synfony(35.19 VHN) 순으로 측정되었다. Demirel 등¹⁰⁾의 연구에서는 Belleglass HP(78 VHN), Filtek P-60(71 VHN), Z100(61 VHN), Artglass(43 VHN), Targis(37 VHN)의 결과를 보였으며, 1997년 Touati 등⁴⁾의 연구에서는 Targis(775 N/mm²)가 가장 높았고, Artglass(590 N/mm²)가 가장 낮게 나타났다.

표면 경도는 일정한 힘이 가해졌을 때 indentation에 대한 재료의 저항 능력을 나타내며, 임상적으로는 굽힘이나 마모에 대한 저항 능력을 의미하며, 표면 연마의 용이성과 밀접한 관련을 가지고 있다. 복합 레진에서 filler 함량을 증가시키므로써 표면 경도를 높일 수 있다.¹²⁾ 표면 경도와 마모도 사이의 연관성에 관해서는 많은 다양하고 서로 상충하는 보고들이 있다.¹³⁻¹⁷⁾ 본 연구에서는 특별히 마모도와 상관관계가 있지는 않았지만, 표면경도가 가장 낮게 측정된 Synfony에서 마모 저항성이 가장 낮게 나타났다. 또한 본 연구에서는 자연치 법랑질과 직접적인 비교를 하지는 않았으나, Mandikos 등⁹⁾의 연구에 의하면 마모에 의한 weight loss가 법랑질은 0.24%, Belleglass HP는 1.21%, Targis는 3.78%로 측정되

었고, 표면 경도는 법랑질(331.7 kg/mm²), Belleglass HP(75.0 kg/mm²), Targis(40.5 kg/mm²) 순으로 서, 아직 자연치 수준에는 도달하지 못한다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 대조군으로 사용한 직접법 레진 Z250이 표면 경도가 가장 높게 나타났는데, 2002년 Carreiro 등¹⁸⁾도 직접법 레진인 Z100에서 다른 간접법용 레진보다 표면 경도가 더 높게 나타났다고 보고하였다. 이런 결과는 레진 조성에서의 차이와 filler 함량 차이(Table I)에 의해서도 영향을 받았다고 할 수 있다. 또한 본 실험의 경도 수치는 굴곡탄성계수의 수치와 같은 순서를 보였다. 이는 두 물리적 성질이 결국 stiffness를 나타내기 때문으로 판단된다.

간접법에 의한 복합 레진 수복물은 직접법에 비해 인접면과 교합면 형태를 더 정확하게 부여해 줄 수 있으며 변연 적합도가 좋다. 또한 구강 내에서는 시멘트 공간에 한정하여 접착용 레진 시멘트를 사용하므로, 접착용 레진 시멘트의 수축으로 인한 변연누출, 지각 과민증, 2차 우식, 착색 등의 가능성이 현저히 감소된다. 간접법 레진의 장점을 살리기 위해 Table II에서 보듯이 간접법 레진 시스템은 각 제조사마다 추천하고 있는 중합장치를 갖고 있다. 이런 중합장치는 직접법 레진에 비해 Table VI에서와 같이 중합도를 우수하게 만든다. 본 연구에 사용된 간접법 레진들은 모두 가열중합을 사용하고 있는데, 이런 가열중합은 고형화된 중합체에 유동성을 부여하여 미반응 단량체 간에 반응할 수 있게 한다. Ferracane과 Condon의 연구¹⁹⁾에 의하면 60초간 광중합한 경우와 광중합 후 120℃에서 10분간 가열중합한 경우 전환율은 18~40%, 파괴인성은 22~35% 정도 증가한다고 보고하였다. Belleglass HP는 고온(140℃)에서 질소가스 압력하에 가열중합함으로써 공기의 함입을 억제하여 보다 심미적인 표면을 가지며, Tescera는 레진 중합시 산소에 의한 미중합층이 형성되기 때문에 심미적으로 활택한 표면을 얻기 어려워 고도의 연마가 요구되는데 이런 문제를 해결하기 위해 가압 및 수중에서 중합하는 독특한 형태를 갖는다. 본 실험에서는 전환율이 Belleglass HP(78%), Adoro(63%), Synfony(62%), Tecera (54%), Z250(47%) 순으로 나타났다.

일반적으로 상용화된 광중합 복합레진의 C=C 전

환율(degree of conversion)은 약 50~70%이며 이는 fillers의 함량과 monomers의 조성에 의해 차이를 보인다. Ruyter와 Oysaed²⁰⁾의 연구에 의하면, 직접법으로 사용하는 광중합 레진의 전환율은 시편 덩어리 내에서 빛을 받는 표면으로부터의 거리에 달려있다고 하였다. 이는 methacrylate conversion이 빛 에너지를 필요로 하고 filler loading에 의해 영향을 받기 때문이며, fillers 함량과 평균 입자 크기가 증가함에 따라 빛의 산란과 굴절이 증가하게 되어 결국 빛이 보다 더 깊이 투과할 수 있다고 하였다.

전환율의 증가는 안정된 고분자를 형성하여 물리적 성질을 향상시킨다. Soares 등²¹⁾은 post-curing method를 사용함으로써 복합 레진이 더 높은 경도 및 인장강도를 갖는다고 하였다. 또한 Brosh 등²²⁾은 압력 하에서 중합된 레진이 더 높은 stiffness 및 인장강도를 보였다고 하였고, 필요한 압력은 재료에 따라 다르다고 하였다. 본 연구에서는 직접법 레진 Z250을 제외하고 나머지 간접법 레진을 비교해 보았을 때 중합도와 경도, 마모도, 굴곡강도 및 굴곡탄성계수와 일관된 상관관계를 나타내지는 않았다. Ferracane와 Greener²³⁾, Ruyter와 Oysaed²⁴⁾는 레진 재료의 중합도가 압축강도, 마모도, 표면 경도 같은 물리적 성질에 영향을 미친다고 하였고, 다른 연구²⁵⁻²⁸⁾에서도 중합 반응에서 cross-link density가 증가하고 residual monomer가 적은, 고도로 중합된 레진이 보다 더 큰 마모저항성과 표면 경도, 굴곡강도를 가진다고 하였다. 그러나 상관관계가 없다는 다른 보고도 있었다.²⁹⁾

임상적으로 중합도가 크다고 해서 긍정적 측면만 있는 것은 아니다. Jordan³⁰⁾은 산소에 의해 미중합된 층이 부족하고 전환되지 않고 남아 있는 C=C 결합이 부족하면 접착용 레진 시멘트와의 결합강도가 떨어진다는 부정적인 영향을 보고한 바 있다.

수복재료의 진보와 접착 치과학의 발달은 다양한 형태의 간접 심미수복을 가능케 하였다. 현재까지 이용되고 있는 복합 레진에 의한 간접수복은 물리적 성질 및 심미적 재연성에서 도체에 미치지 못하지만 발전 속도 및 가능성이 현저하다. 따라서 화학적 조성 및 물리적 성질이 보강된 복합 레진 수복은 향후 전반적인 심미수복 분야에서 중요한 위치를 차지할 것으로 보인다. 그러나 기술적 민감성의 극복, 적절

한 증례선택, 술자의 기술, 정확한 접착과정 등이 이러한 간접수복의 성공을 위한 필수적인 요건이라 할 수 있다.

V. 결 론

최근 널리 사용되고 있는 2세대 indirect 복합 레진 4종을 direct 광중합형 레진인 Z250과 함께 in vitro 상태에서 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 마모실험기를 이용한 3체 마모 실험 결과 abrasion 마모는 Adoro에서 가장 적게 일어났으며, Z250과 Belleglass HP와는 유의한 차이를 보이지 않았으나 ($p>0.05$), Tescera와 Synfony와는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). Synfony는 마모가 가장 크게 발생하였으며 Tescera와 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). Attrition 마모는 Belleglass HP에서 가장 적었으며 Tescera와 유의한 차이를 보이지 않았지만 ($p>0.05$), 나머지와는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). Synfony가 다른 그룹에 비해 유의하게 높은 마모를 보였다 ($p<0.05$).
2. 3점 굽힘시험법으로 측정된 굴곡강도 측정 결과 Z250이 유의하게 높게 나타났으며 ($p<0.05$), Adoro와 Belleglass HP가 비슷한 정도였고, Tescera와 Synfony의 순으로 나타났다. 굴곡탄성계수는 Z250이 유의하게 높았으며 ($p<0.05$), Belleglass HP, Tescera, Adoro에 이어 Synfony가 유의하게 낮았다 ($p<0.05$).
3. Vickers 표면경도기를 이용한 표면 경도 측정 결과 광중합형인 Z250이 유의하게 높았으며 ($p<0.05$), Belleglass HP와 Tescera, Adoro에 이어 Synfony는 유의하게 낮은 결과를 보였다 ($p<0.05$).
4. FT-IR을 이용한 중합도 측정 결과 Belleglass HP가 유의하게 높은 중합율을 보였으며 ($p<0.05$), Adoro와 Synfony, Tescera 순이었고, 대조군으로 사용한 Z250이 유의하게 낮은 결과를 보였다 ($p<0.05$).

참고문헌

1. McLean JW. The science and art of dental ceramics. Oper Dent 1991;16:149-

- 156.
2. Knobloch LA, Kerby RE, Seghi R, Van Putten M. Two body wear resistance and degree of conversion of laboratory processed composite materials. *Int J Prosthodont* 1999;12:432-438.
 3. Roulet JF. Benefits and disadvantages of tooth coloured alternatives to amalgam. *J Dent* 1997;25:459-473.
 4. Touati B, Aidan N. Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. *J Esthet Dent* 1997;9:108-118.
 5. O'Brien WJ, Yee JJ. Microstructure of posterior restorations of composite resins after clinical wear. *Oper Dent* 1980;5:90-4.
 6. Mair LH. Wear in dentistry-current terminology. *J Dent* 1992;20:140-144.
 7. Venhoven BA, de Gee AJ, Werner A, Davidson CL. Influence of filler parameters on the mechanical coherence of dental restorative resin composites. *Biomaterials* 1996;17:735-740.
 8. Draughn RA, Harrison A. Relationship between abrasive wear and microstructure of composite resin. *J Prosthet Dent* 1988;40:220-224.
 9. Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, Bush PJ, Carter JM. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. *J Prosthet Dent* 2001;85:386-395.
 10. Demirel F, Saygili G, Sahmali S. Comparative mechanical property characterization of three indirect composite resin materials compared with two direct composites. *Polym Adv Technol* 2003;14:380-386.
 11. Kakaboura A, Rahiotis C, Zinelis S, Al-Dhamadi YA, Siliksa N, Watts DC. In vitro characterization of two laboratory-processed resin composites. *Dent Mater* 2003;19:393-398.
 12. McCabe JF. *Applied dental materials*. 7th ed. Oxford, England: Blackwell Scientific Publications; 1990. p. 78-86.
 13. Craig RG. *Restorative dental materials*. St. Louis: Mosby; 1993. p. 248-270.
 14. Harrison A, Draughn RA. Abrasive wear, tensile strength, and hardness of dental composite resins-is there a relationship. *J Prosthet Dent* 1976;36:395-398.
 15. Lappalainen R, Yli-Urpo A, Seppa L. Wear of dental restorative and prosthetic materials in vitro. *Dent Mater* 1989;5:35-37.
 16. Kawai K, Iwami Y, Ebisu S. Effect of resin monomer composition on toothbrush wear resistance. *J Oral Rehabil* 1998;25:264-268.
 17. Willems G, Lambrechts P, Braem M, Celis JP, Vanherle G. A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater* 1992;8:310-319.
 18. Carreiro FP, Cruz DS, Vergani CE. Hardness and compressive strength of indirect composite resins: effects of immersion in distilled water. *J Oral Rehabil* 2004;31:1085-1089.
 19. Ferracane JL, Condon JR. Post-cure heat treatments for composites : properties and fractography. *Dent Mater* 1992;8:290-295.
 20. Ruyter IE, Oysaed H. Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 1982;40:179-192.
 21. Soares CJ, Pizi ECG, Fonseca RB, Martins LRM. Mechanical properties of light-cured composites polymerized with several ad-

- ditional post-curing methods. *Oper Dent* 2005;30:389-394.
22. Brosh T, Ferstand N, Cardash H, Baharav H. Effect of polymerization under pressure on indirect tensile mechanical properties of light-polymerized composites. *J Prosthet Dent* 2002;88:381-387.
 23. Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res* 1986;20:121-131.
 24. Ruyter IE, Oysaed H. Compressive creep of light-cured resin based restorative materials. *Acta Odontol Scand* 1982;40:319-324.
 25. Wendt SL Jr. The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins II. Wear, hardness and color stability. *Quintessence Int* 1987;18:351-356.
 26. McCabe JF, Kagi S. Mechanical properties of a composite inlay material following post-curing. *Br Dent J* 1991;171:246-248.
 27. Reinhardt JW, Boyer DB, Stephens NH. Effects of secondary curing on indirect posterior composite resins. *Oper Dent* 1994;19:217-220.
 28. Ferracane JL, Mitchem JC, Condon JR, Todd R. Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *J Dent Res* 1997;76:1508-1516.
 29. Chung KH, Greener EH. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *J Oral Rehab* 1990;17:487-494.
 30. Jordan RE. *Esthetic composite bonding: techniques and materials*. 2nd ed. St Louis: Mosby; 1993. p. 23-33.

Reprint request to:

Seung-Geun Ahn, D.D.S., Ph.D.

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chonbuk National University
 664-14 Dukjin-Dong, Dukjin-Gu, Chonju, 561-756, Korea
 sgahn@chonbuk.ac.kr

ABSTRACT

COMPARISON OF MECHANICAL PROPERTIES IN 4 INDIRECT COMPOSITE RESIN

Kil-Soo Kim, D.D.S., M.S.D., Tae-Ho Yoon, D.D.S., Ph.D., Kwang-Yeob, Song, D.D.S., Ph.D.,
Seung-Geun Ahn, D.D.S., Ph.D.

Department of Prosthodontics and Institute of Oral Bio Science, School of Dentistry, Chonbuk National University

Statement of problem: The esthetic component of dental care has become increasingly more important, while new tooth-colored materials are continually marketed. Various new indirect composite materials have been developed with required advantages. The most recent development in the indirect composites has been the introduction of the second-generation laboratory composite or poly-glass materials. They are processed by different laboratory techniques based on combinations of heat, pressure, vacuum and light polymerization. Although, second generation products became available in 1995, their characteristics and clinical performance have not been adequately investigated.

Purpose: The aim of this study was to measure the mechanical properties of the second generation indirect resin system and compare these with an existing universal direct composite resin.

Material and method: In this study four indirect composite material (Adoro LC, BelleGlass HP, Tescera, Synfony) were tested for flexural strength, wear resistance, hardness and their degree of conversion against Z250, a light cure direct composite.

Results: Within the limitations of this study, the following conclusions were drawn:

1. From the abrasion wear result, Adoro showed the least volume loss while Synfony showed the greatest volume loss. Z250 and BelleGlass HP didn't show significant difference ($p > 0.05$), but they showed significant difference with other groups ($p < 0.05$). From the attrition wear, BelleGlass HP showed the least volume loss and it didn't show significant difference with Tescera ($p > 0.05$). While Synfony showed the greatest volume loss that it showed significant difference with other groups ($p > 0.05$).
2. Mean values of flexural strength by means of three point bending test was in the order of Z250, Adoro, Belleglass HP, Tescera and Synfony. Mean elastic modulus was in the order of Z250, BelleGlass HP, Tescera, Adoro and Synfony.
3. The result of Vicker's microhardness value showed that significantly higher value in Z250 ($p < 0.05$), and is in the order of BelleGlass HP, Tescera, Adoro and Synfony.
4. The degree of conversion measured by FT-IR showed significantly higher value in BelleGlass HP ($p < 0.05$), and is in the order of Adoro, Synfony, Tescera and Z250.

Conclusion: Significant differences were found in the flexural strength, wear resistance, hardness and their degree of conversion.

Key words : Indirect resin, Wear, Vicker's microhardness, Degree of conversion