

# 표면 처리재와 레진 시멘트가 IPS Empress 2의 전단결합강도에 미치는 영향

경북대학교 치과대학 치과보철학교실

예 선 헤·이 규 북·이 청 희

## Effect on Shear Strength of Ceramic Surface Treatment Materials and Three Resin Cements to IPS Empress 2 \*

Sun-Hae Yae, Kyubok Lee, Cheong-Hee Lee

Department of Prosthodontics, college of Dentistry, Kyungpook National University

The purpose of this study is to analyze the shear bond strength according to kinds of surface treatment agents and resin cements after acid etching of IPS Empress 2. For this purpose, test groups were classified into silane-treated bonding groups, silica-coated group and Targis link applied group. Then, nine bonding groups in total, each three groups per kind, were prepared by using three kinds of resin cements-Panavia F, Variolink II and Rely-X ARC, and thirty test specimens per group were prepared. To examine any changes in the oral environment, the shear bond strength of each test specimen was measured after dipping test for 24 hours and for five weeks, respectively, in distilled water at 37°C and performing heat cycle 10,000 times in total, each 2,000 times per week, during a five weeks of dipping, under the condition similar to the oral environment. The bond failure modes were also observed by means of a scanning electron microscope.

The results are summarized as follows

1. Statically significant differences between the surface conditioning materials were observed. The shear strength of the silane treatment was the highest of all three types of surface treatments( $p < 0.001$ ).
2. Shear strengths varied significantly for different types of resin luting agents. But bond strength of Targis link surface treatments were not significantly different( $p < 0.05$ ).
3. No significant difference of bonding strengths was found between storage time conditions(24 hours and 5 weeks). Only group II, IV, VII, IX were significantly different( $p < 0.05$ ).
4. After thermocycling, the shear bond strengths of all groups were significantly decreased ( $p < 0.05$ ). Group III, V, VI were no significantly different.
5. On the SEM observation of fractured surfaces, all groups were shown complex failure.

# 표면 처리재와 레진 시멘트가 IPS Empress 2의 전단결합강도에 미치는 영향

경북대학교 치과대학 치과보철학교실

예 선헤이 규 복이 청 희

## I. 서 론

치과 보철학에서 환자와 임상가들의 심미성에 대한 요구가 높아지고 있다. 심미성과 생체친화성이 중시되면서 최근 금속 도재관에 비해서 심미적이고 제작이 간편한 전부 도재관의 사용이 활발해지고 있다. 치과 영역에서 오랫동안 사용되어져 온 금속 도재관은 투명도, 빛의 투과, 산란 및 굴절 등이 자연치와 다르므로 최근에는 심미성과 강도가 개선된 코어용 도재를 이용한 전부 도재관의 사용이 증가하고 있다. 이러한 도재에는 Hi-ceram(Vita Zahnfabrick, Bad Sckirgen, Germany), Optec HSP(Jeneric Pentron, Wallingford, Conn.), Dicor(dentsply, Yorkdivision, York, Penn.), In-ceram(Vita Zahnfabrick, Bad Sckirgen, Germany.), IPS Empress (Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein.), IPS Empress 2(Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein) 등의 시스템이 있다<sup>1)</sup>. 전부 도재관은 1903년에 Land에 의해 소개되었으나 파절과 변연 적합성의 문제로 널리 사용되지 못하고 1965년 Mclean이 aluminous porcelain을 소개하였다. 1980년대에 Cerestore(Coors Biomedical, Lakewood, Colo.)과 Dicor 등이 개발되어 사용되어졌으나 유리의 결정화 과정에서 부가적인 수축을 일으키고 구강 내 하중조건에 견딜 수 있는 충분한 강도를 갖지 못하였다<sup>2,3)</sup>.

1985년 Sadoun에 의해 개발된 In-ceram은 유리침투 도재계로서 알루미나로 형성된 코아에 유리를 침투시켜 결정화함으로써 강도를 증가시키는 방법

을 사용했다<sup>4,6)</sup>. Grossman 등<sup>7)</sup>은 In-ceram이 파절 강도에서 금속 도재관에 비해 통계적인 유의차가 없다고 보고하였다. 이런 우수한 강도로 인해 In-ceram은 임상적으로 단일치 수복과 3개 치아 가공의치 및 수지접착형 보철물 등으로 적용범위를 넓히고 있다<sup>8,9)</sup>. 그러나 강도증가를 위해서 보강된 알루미나가 투명도를 떨어뜨려 심미적인 문제를 야기하고 제작시간이 길다는 단점이 있다<sup>10-12)</sup>.

이에 심미성의 장점을 보강하여 개발된 IPS Empress 도재는 백류석 결정과 glass열팽창계수에 차이를 두어 제작과정 중 도재의 강도가 증가되는 특성을 가진다. 그러나 강도증가의 한계가 있어서 적응증이 제한되는 단점이 있었다. 이에 이런 단점을 보완해서 1990년대에 IPS Empress 2 시스템이 개발되었는데 이는 높은 강도를 가지고 이전의 유리 세라믹과는 전혀 다른 화학적 기반을 가진 시스템이다<sup>13-17)</sup>.

도재와 치아의 결합력은 치질의 적절한 지지<sup>8,18)</sup>, 접착제 종류<sup>20,23)</sup>, 도재의 내면처리<sup>19,21,24,25)</sup>에 의해 영향을 받는다. Lothar<sup>9)</sup>와 Martin 등<sup>26)</sup>은 여러 연구에서 도재의 접착시 레진 시멘트를 사용한 경우가 인산아연 시멘트나 글래스아이오노머 시멘트를 사용한 경우보다 더 높은 결합강도 및 파절강도를 보였다고 보고하였다<sup>27-29)</sup>. 성공적인 접착을 위해서는 치아와 레진 사이의 결합, 레진과 도재 사이의 결합 모두 만족스러워야 한다. 이 중 치아와 레진 사이의 결합력은 최근 상아질 접착제의 발달로 크게 향상되었으며 도재와 레진간의 결합력은 도재 표면의

처리방법과 시멘트의 선택에 영향을 받는다<sup>30,31</sup>).

도재의 표면 처리방법에는 알루미나 분사<sup>32</sup>, 산부식<sup>33</sup>, 실란도포<sup>34-38</sup> 그리고 실리카 코팅<sup>25,39</sup> 등의 방법이 소개되어 왔다. Vojovodic<sup>39</sup>와 Sorensen 등<sup>40</sup>은 산부식이 도재와 레진간의 결합력의 증가 및 유지에 가장 효과적인 방법이라고 하였으며 또한 Vojovodic 등<sup>39</sup>은 산부식만 한 시편보다는 산부식후 실란을 처리한 도재에서 더 높은 결합력을 보인다고 보고하였다. Stangel 등<sup>41</sup>은 Leucite 결정을 함유한 장식계 도재와 복합 레진의 결합력을 실험한 결과에서 도재의 산부식이 결합강도에 가장 중요한 요소라고 하였다.

시멘트의 종류가 결합력에 영향을 주는데 In-ceram 도재판 접착시에는 인산 에스테르계 레진 시멘트가 다른 BIS-GMA 레진 시멘트보다 결합강도가 높다고 보고하였으나<sup>21,42,43</sup>, 김 등<sup>44</sup>은 IPS Empress 2 도재판은 Variolink II와 SuperBond C&B가 Panavia F 보다 우수한 결합력을 나타낸다고 보고하였다.

이에 본 연구에서는 Empress 2의 표면처리 방법과 레진 시멘트의 종류가 결합강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 산 부식한 후 3종류의 표면 처리제와 3종류의 레진 시멘트를 사용하여 수중 침지와 열 순환 후의 레진 시멘트와의 전단 결합강도를 비교하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구재료

총 270개의 Empress 2 시편을 제조사의 지시에 따라 제작하고 3가지 표면처리와 세가지 접착성 레진시멘트 블록을 제작하여 시편과 접착 후 만능시험기(Instron Co. USA)로 전단 결합강도를 측정 분석했다. 실험에 이용된 재료를 Table 1에 나타내었다.

### 2. 실험방법

#### (1) 표면처리와 레진 시멘트 접착

제조사의 지시에 따라 매물, 소환 열가압 하여 10×10×1.5mm크기의 Empress 2 도재 시편을 총 270개 제작 후 완성된 시편 270개를 아크릴릭 레진에 포매 하였다. 각 시편을 5% 불산으로 20초간 산부식 후 각 군을 30개씩 9개 군으로 분류한다. I, II, III군은 Monobond S를 시편 표면에 도포 후 5분 이상 공기 중에서 건조하였고 IV, V, VI군은 Siloc pre를 시편에 붓으로 균일하게 바르고 2분간 공기 중에서 건조하여 표면을 활성화시킨 후에 Siloc bond를 표면에 바르고 공기 중에서 건조시켰으며, VII, VIII, IX군은 Targis link액을 시편 표면에 도포 후 5분 이상 공기 중에서 건조시켰다. 그 후 I, IV, VII군은

Table 1. Materials used in the experiment

Material	Product name	Description	Manufacturer
Ceramic system	IPS Empress2	lithium disilicate glass ceramic	Ivoclar AG, Liechtenstein
Surface treatment	Monobond-S	3-methacryloxypropyl-trimethosilane	vivadent Liechtenstein
	Siloc system	siloc Pre: soluble silicagel siloc bond: methacryloxypropyl-trimethosilane	Heraeus Kulzer, Germany
	Targis link	metal bonding agent	Ivoclar, Liechtenstein
Resin cement	Panavia F	dual cure composite resin	Kuraray, Japan
	Variolink II	dual cure composite resin	Vivadent, Liechtenstein
	Rely-X ARC	dual cure composite resin	3M, USA

Table 2. Specimen groups assigned to treatment conditions

Group		Treatment condition
I	a	Monobond S/ Variolink II/24 hour storage in distilled water at 37°C
	b	Monobond S/ Variolink II/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Monobond S/ Variolink II/10,000 thermocycling
II	a	Monobond S/ Panavia F/24 hour storage in distilled water at 37°C
	b	Monobond S/ Panavia F/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Monobond S/ Panavia F/10,000 thermocycling
III	a	Monobond S/ Rely-X ARC/24 hour storage in distilled water at 37°C
	b	Monobond S/ Rely-X ARC/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Monobond S/ Rely-X ARC/10,000 thermocycling
IV	a	Silica coating/ Variolink II/24 hour storage in distilled water at 37°C
	b	Silica coating/ Variolink II/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Silica coating/ Variolink II/10,000 thermocycling
V	a	Silica coating/ Panavia F/24 hour storage in distilled water at 37°C
	b	Silica coating/ Panavia F/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Silica coating/ Panavia F/10,000 thermocycling
VI	a	Silica coating/ Rely-X ARC/24 hours storage in distilled water at 37°C
	b	Silica coating/ Rely-X ARC/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Silica coating/ Rely-X ARC/10,000 thermocycling
VII	a	Targis link/ Variolink II/24 hours storage in distilled water at 37°C
	b	Targis link/ Variolink II/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Targis link/ Variolink II/10,000 thermocycling
VIII	a	Targis link/ Panavia F/24 hours storage in distilled water at 37°C
	b	Targis link/ Panavia F/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Targis link/ Panavia F/10,000 thermocycling
IX	a	Targis link/ Rely-X ARC/24 hour storage in distilled water at 37°C
	b	Targis link/ Rely-X ARC/5 weeks storage in distilled water at 37°C
	c	Targis link/ Rely-X ARC/10,000 thermocycling

Variolink II를, II, V, VIII군은 Panavia F를, III, VI, IX군은 Rely-X ARC를 표면처리가 완성된 시편 위에 직경 6mm, 두께 1mm 고무링에 고정시킨 후 제조사의 지시에 따라 각 레진 시멘트를 혼합하여 기포가 생기지 않게 약간 넘치도록 채우고 상부에 비닐을 덮어 시멘트와 공기를 차단시켰다. 접착 후 광중합을 시행하였다(Table 2.).

(2) 수중 침지 및 열 순환 후 전단결합강도 측정 및 통계처리

각 군을 10개씩 나누어서 37°C 증류수에 24시간 수중 침지, 37°C 증류수에 5주간 수중 침지 그리고 37°C 증류수에서 5주간 수중 침지 중 5°C와 55°C에서 매주 2000회씩 전체 10,000회의 열 순환을 계류 시간 15초 조건에서 시행하였다.

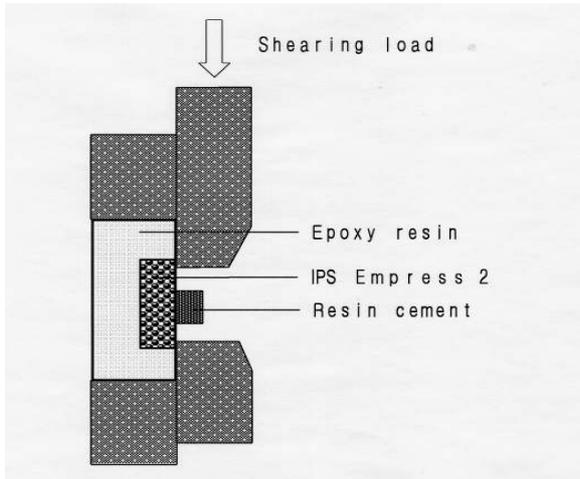


Fig 1. Schematic diagram of the specimen and shearing load.

전단 결합강도는 만능시험기에 시편을 고정한 다음 crosshead speed를 0.5mm/min의 속도로 하중을 가하여 시편과 레진 시멘트 블록이 분리될 때까지의 최대하중을 측정하여 구하였다(Fig 1.). 각 군별로 얻어진 모든 자료들은 표면처리 방법과 레진시멘트의 종류, 수중 침지와 열 순환에 따른 결합강도의 차이를 일변량 분산 분석(one way ANOVA)를 통하여 검정하였으며 그 차이가 통계적으로 유의한 경우에는 사후 검정법(post-hoc test)으로 Tukey's studentized range test를 실시하였다.

(3) 파단면의 주사전자 현미경 관찰

전단결합 강도 측정으로 파단된 시편을 건조시킨 후 통법에 의하여 금 이온 증착(IB-3, Eiko 10, Japan)후 주사 전자 현미경(S-4200, Hitachi, Japan)으로 파단면의 양상을 관찰하였다(사진부도1-9).

III. 성 적

1. 전단 결합 강도

Empress 2 도재를 3가지 표면 처리 후 Variolink II, Panavia F 그리고 Rely-X ARC 레진 블록을 접착하여 수중 침지 및 열순환 시행 후의 전단결합강도를 기록하였다(Table 3. & Fig. 2).

Table 3. Mean and standard deviation of bond strength

Group	n	Mean±SD(kg)
I	a	46.9±16.5
	b	42.0±5.9
	c	30.1±14.4
II	a	39.6±7.0
	b	23.1±10.6
	c	20.3±6.3
III	a	31.1±9.1
	b	32.2±6.5
	c	35.3±7.8
IV	a	31.3±9.5
	b	20.5±7.4
	c	18.5±7.0
V	a	32.8±5.9
	b	33.8±8.1
	c	32.8±11.5
VI	a	23.0±5.9
	b	18.6±9.4
	c	23.5±7.6
VII	a	14.3±3.4
	b	7.5±3.1
	c	4.5±2.9
VIII	a	13.0±5.3
	b	11.5±6.5
	c	3.5±1.1
IX	a	13.0±5.3
	b	6.9±2.9
	c	4.2±1.1

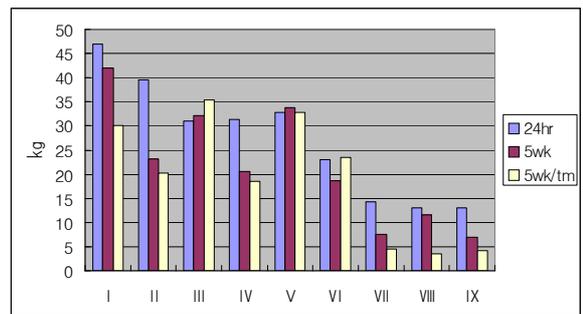


Fig 2. Schematic graph of mean shear strength in each groups.

Table 4. The difference according to surface treatment materials

	Variolink II		Panavia		Rely - X ARC	
		p-value		p-value		p-value
37°C during 24 hours						
Silane	A	0.0001	A	0.0001	A	0.0001
Silica coating	B		B		B	
Targis-link	C		C		C	
37°C during 5 weeks						
Silane	A	0.0001	B	0.0001	A	0.0001
Silica coating	B		A		B	
Targis-link	C		C		C	
thermocycling during 5 weeks						
Silane	A	0.0001	B	0.0001	A	0.0001
Silica coating	B		A		B	
Targis-link	C		C		C	

p-values are computed by one-way ANOVA procedures

A, B, C the same letters are not statistically significant by Tukey's studentized range test at the 0.05 level.

Table 5. The difference according to resin cements

	Silane		Silica coating		Targis-link	
		p-value		p-value		p-value
37°C during 24 hours						
Variolink II	A	0.0189	A	0.0128		0.7919
Panavia F	AB		A			
Rely- X ARC	B		B			
37°C during 5 weeks						
Variolink II	A	0.0001	B	0.0006		0.0729
Panavia F	C		A			
Rely- X ARC	B		B			
Thermocycling						
Variolink II	AB	0.0090	B	0.0047		0.5840
Panavia F	B		A			
Rely- X ARC	A		AB			

p-values are computed by one-way ANOVA procedures

A, B, C the same letters are not statistically significant by Tukey's studentized range test at the 0.05 level.

1) 표면 처리재에 따른 차이(Table 4.)

표면 처리재에 따른 차이를 알아보기 위해 통계 처리를 한 결과 모든 군에서 실란 처리군과 실리카 코팅 처리군 및 Targis-link 처리군의 각 군간에 유의한 결합력의 차이를 나타내었다(p<0.001). 실란 처리군, 실리카 코팅군, Targis link 처리군 순으로 유의한 결합력의 감소가 나타났다. 즉 실란 처리군이 가장 큰 결합력을 보이고 실리카 코팅군, Targis link 처리군 순으로 높은 결합력이 나타났다. 그러나 Panavia F 시멘트를 사용 시 5주간 수중침지한 경우와 열순환 군의 경우는 실리카 코팅이 가장 큰 결합력을 보였다.

2) 레진 시멘트에 따른 차이(Table 5.)

레진 시멘트 종류에 따른 차이를 비교한 결과 Targis link 처리군은 모든 실험조건에서 레진 시멘트에 따른 전단 결합강도의 차이를 보이지 않았다. 실란 처리군과 실리카 코팅군은 24시간 수중 침지, 5주간 수중 침지, 열 순환 후 각 레진 시멘트에 따른 다른 전단 결합강도를 보였다. 실리카 코팅 처리

군은 Panavia F가 가장 큰 결합력을 보이고 실란 처리군 중에 수중 침지 처리만 한 군에서는 Variolink II가, 열 순환 군에서는 Rely-X ARC가 가장 큰 결합력을 보였다(p<0.05). 즉 레진 시멘트의 종류에 따라 결합력의 차이를 보였다.

3) 수중 침지와 열 순환에 따른 차이(Table 6.)

수중 침지 시간에 따른 전단 결합 강도는 모든 군에서 유의한 차이를 보이지는 않는다. III, V, VI, IX 군은 수중 침지와 열 순환 모든 군에서 유의한 결합력의 감소를 나타내지 않았다. 그 외 나머지 군은 수중 침지와 열 순환 순서로 결합력의 감소를 보였다(p<0.05). 수중 침지 후 결합력의 감소를 보이지만 II, IV, VII, IX군만 유의한 결합력의 감소를 보이고 열 순환 후에는 모든 군에서 유의한 결합력의 감소를 보였다.

4) 파단면의 주사 전자현미경 관찰

모든 군에서 결합계면에서의 파절과 레진과 표면 처리재가 혼합된 복합성 파절 양상이 관찰되었다.

Table 6. The difference according to time period of thermal treatment

	Variolink II		Panavia F		Rely - X ARC	
		p-value		p-value		p-value
<b>Silane</b>						
37°C during 24 hours	A	0.0228	A	0.001		0.4823
37°C during 5 weeks	AB		B			
Thermocycling during 5 weeks	B		B			
<b>Silica coating</b>						
37°C during 24 hours	A	0.0029		0.9532		0.3278
37°C during 5 weeks	B					
Thermocycling during 5 weeks	B					
<b>Targis-link</b>						
37°C during 24 hours	A	0.0001	A	0.0007	A	0.0001
37°C durign 5 weeks	B		A		B	
Thermocycling during 5 weeks	B		B		B	

p-values are computed by one-way ANOVA procedures

A, B, C the same letters are not statistically significant by Tukey's studentized range test at the 0.05 level.

상대적으로 결합력이 높은 군에서 혼합형 파절의 비율이 컸다(사진부도1-9).

#### IV. 고 찰

최근 심미적 수복물에 대한 요구가 높아짐에 따라 최근 새로운 도재 및 도재관 제작기술의 개발로 전부 도재관의 이용이 확대되어지고 있다. 전부 도재관은 1886년 Land<sup>45)</sup>에 의해 최초로 소개되었으나 약한 물성으로 인해 널리 사용되지 못하였다. 1965년 알루미늄 코어를 적용하여 강도를 높인 도재관이 소개되어 많이 이용되었으나 제작과정이 복잡하고 강도가 충분하지 않아 적용범위가 제한적이었다<sup>42)</sup>. 1984년 개발된 Dicor 도재관은 납형을 매몰, 주조하는 과정을 통해 도재관을 제작하는데 이 도재관은 외형부여가 용이하고 변연 적합성이 우수한 장점을 가지는 반면 강도가 충분치 못하고 심미성 부여가 용이하지 않은 단점이 보고되었다<sup>7,27,46,47)</sup>. 1988년 내화성 매몰재 모형상에서 도재를 직접 축조 및 소성한 Hi-ceram과 Optec HSP가 소개되었고 1989년 In-ceram이 소개되었는데 In-ceram은 split casting 방법을 이용하여 알루미늄 코어를 제작하는 방법으로 강도가 탁월해서 전치부 고정성 보철물의 제작도 가능하게 되었다. 그러나 코어의 투명도가 낮아 심미성을 저해할 수 있고 제작시간이 긴 단점이 보고되었다<sup>4,6,48-50)</sup>.

1990년에 Ivoclar사에 의해 개발된 열가압 도재인 IPS Empress 시스템은 결정화된 도재를 가열 및 가압하여 수복물을 제작한다. 여기 사용되는 ceramic ingot는 미리 결정화되어 열처리 과정에서 피할 수 없었던 도재 수축이 미세하고 체적변화는 매몰재에 의해 조절됨으로써 변연 적합도가 우수한 것으로 알려져 왔다<sup>11,51,52)</sup>. 이 재료의 우수한 심미성으로 심미 치료에 널리 이용되었지만 120MPa-200MPa 정도의 낮은 굴곡강도로 인해 전치부 계속가공의치로 사용할 수 없는 단점이 보고되었다<sup>53)</sup>.

이 재료의 단점을 보강하기 위해서 최근 제2소구치까지의 3본 고정성 가공의치와 구치부 단일 수복물로 사용 가능하도록 lithium disilicate로 구성된 IPS Empress 2 시스템을 소개하였다<sup>17)</sup>. IPS Empress 2 시스템은 내부의 골격 구조물인 lithium disilicate ceramic과 이 위에 전장되는 fluorapatite ceramic으로

구성된다. IPS Empress 2의 기저구조물은 아주 높은 강도를 가지며 IPS Empress EP 500 furnace의 920℃에서 점착성을 가지며 녹는다<sup>54)</sup>. IPS Empress 유리세라믹과는 전혀 다른 화학적 기반을 갖는 SiO<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>O 시스템으로 세라믹의 구성조성(w%)은 57-80%SiO<sub>2</sub>, 11-19%Li<sub>2</sub>O, 0-13%K<sub>2</sub>O, 0-11%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0-8%ZnO, 0.1-6%La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0-5%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0-8부수첨가물로 구성되어 있다<sup>16)</sup>. Empress 2의 기저구조물 성분은 유리기질내 긴밀하게 결합된 lithium disilicate 결정들의 미세구조들이 서로 맞물리는 구조로 배열되어 파절 인성과 굴곡강도의 증가를 가져온다고 하였다<sup>10)</sup>. Rinke<sup>11)</sup>와 Schweiger 등<sup>17)</sup>의 연구에 의하면 수종의 전부도재관 고정성 가공의치 파절강도 비교에서 IPS Empress 2는 In-ceram과 비슷한 수치를 가진다고 보고하였다. 층형성 세라믹으로 이용되는 fluorapatite 결정들은 분말형태로 공급되면서 800℃에서 소성되고 미세한 apatite 결정체로 구성되며 생체 친화성이 높고 빛 투과성 및 광 분산성 등의 광학적인 성질을 지니고 있어 IPS Empress 2 도재관의 심미성 제공에 큰 역할을 한다고 하였다<sup>12,17)</sup>.

도재와 레진시멘트의 결합력은 도재표면의 처리방법과 레진시멘트의 종류에 영향을 받는다. 그 중 도재표면 처리방법에 따른 도재와 레진시멘트 결합은 기계적 결합과 화학적 결합으로 크게 분류될 수 있다. 기계적 결합의 종류는 알루미늄 분사와 산부식 등이 있고 화학적 결합에는 실란처리와 실리카 코팅 등이 존재한다.

Thompson<sup>32)</sup>와 Matthias Kern 등<sup>55)</sup>은 기계적 결합에 주로 이용되는 알루미늄 분사를 IPS Empress 2에 사용되었을 때 체적의 감소가 In-ceram에 사용되었을 때보다 36배 정도가 큰 것으로 보고하였고 이에 따라 Empress 재료에는 알루미늄 분사가 적절하지 않으며 산 부식 방법이 적절하다고 보고하였다. Calamia<sup>19)</sup>와 Alton 등<sup>35)</sup>은 장식계 도재의 산부식 재료로 여러 산들이 사용될 수 있으나 불산을 사용했을 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있다고 보고하였다. 여러 산부식의 기전은 불산이 도재의 실리카상과 반응하여 hexafluorosilicate를 형성하여 이것이 기계적 결합력을 제공한다고 하며<sup>2)</sup>, Empress 2 도재는 20초 산부식이 가장 적절한 것으로 확인되었다고 하였다<sup>44)</sup>. 이에 따라 본 실험에서는 기계적 결합양식 중 20초간 산부식을 선택하였다.

화학적 결합에는 실란 처리와 실리카 코팅 등이 주로 이용되는데 Diaz-Arnold<sup>34)</sup>, Alton<sup>35)</sup>, Thomas<sup>36)</sup> 그리고 David 등<sup>37)</sup>은 기존의 도재에서 실란처리로 레진과의 결합력의 증가를 보고하였다. 본 연구에서도 산부식 후 실란 처리한 군이 가장 높은 결합력을 보여주었다. 실리카 코팅 처리법은 silicoater system을 이용하는 thermal silica coating과 Rocatec system을 이용하는 tribochemical silica coating으로 분류되며 원래는 금속과 레진 결합시 두 재료의 열팽창 계수의 차이와 레진 중합수축에 의한 변형 틈을 방지해서 결합력을 증가시키는 목적으로 개발되었고 많은 연구가 이어져 왔고 이런 원리를 이용해서 도재와 레진시멘트 결합력 향상을 위한 연구로 발전해왔다<sup>56-58)</sup>. 최근에는 Artglass system에서 금속과 레진 결합력을 개선하기 위해 개발된 kevloc bonding system을 사용한 결과 기존의 silicoater 방법에 비해 열순환 전후 더 높은 결합력을 보였다고 보고되었다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 kevloc system이 변형 개발된 siloc 시스템을 사용하여 Empress 2 표면을 처리한 결과 Panavia F를 사용하여 5주간 수중 침지나 열 순환 시행한 군에서 가장 우수한 결합강도를 보여주었다. 그러나 실란 처리를 한 경우보다는 낮은 결합 강도를 보이는 데이는 In-ceram에서는 부족한 SiO<sub>2</sub>양을 보충해 줌으로써 실리카 코팅 방법이 효과적인 결합력의 증가를 보인 데 비해서 IPS Empress 2의 경우는 기존의 SiO<sub>2</sub>양이 57-80%를 차지함으로써 실리카 코팅에 의한 결합력의 향상이 크게 나타나지 않은 것으로 사료된다. 또 다른 표면 처리 방법으로 Targis-vectris system에서 금속과 레진의 화학적 결합을 위해 사용되는 Targis link로 표면 처리하였다. 윤 등<sup>42)</sup>은 Targis link의 인산기에 있는 methacrylate 군이 레진 시멘트의 단량체와 반응해서 강력한 copolymer를 형성하는 기전으로 우수한 결합력을 나타낸다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 위의 연구결과와는 달리 가장 낮은 결합력을 보였다. 이는 금속 표면처리와는 달리 IPS Empress 2 도재 표면과 Targis link 간에 우수한 결합력 형성이 이루어지지 못한 때를 사료되어진다.

Lothar Probst<sup>9)</sup>, Calamia<sup>19)</sup>, Shane<sup>28)</sup> 그리고 Anthony 등<sup>29)</sup>은 도재와 시멘트의 결합력은 시멘트의 종류에 의해서도 영향을 받는데 도재와 시멘트 접착시에 기존의 인산아연 시멘트나 글래스 아이오

노머 시멘트보다는 레진 시멘트로 접착시에 파절강도, 인장 및 전단 결합강도가 우수하다는 것을 보고하였고, Donna<sup>58)</sup>와 Daniel 등<sup>59)</sup>은 레진 시멘트가 피막두께와 변형 적합성 등에서도 우수하다는 것을 보고하였다. Matthias<sup>21)</sup>와 임 등<sup>43)</sup>은 레진 시멘트간에 결합력의 차이를 보고하였고, Daniel 등의 연구에서는 레진 시멘트간의 결합력의 차이가 없다고 보고하였다. 이에 본 연구에서도 서로 다른 세 종류의 레진 시멘트를 사용하여 결합력의 차이를 비교하였다.

본 실험에 사용된 시멘트로서 Variolink II는 BIS-GMA 계 이중중합형 레진시멘트로 조작성의 간편성으로 임상적으로 널리 사용되고 있다. Panavia F는 70wt% 이상의 충전재를 함유하고 있어 수분 흡수성이 낮고 중합수축이 적고 낮은 점조도를 가지고 있으며 인산에스테르계 이중중합형 레진 시멘트로 Panavia 21과의 차이점은 광중합이 가능하다는 것과 불화나트륨을 함유하고 있어 불소가 유리된다는 것이다. Rely-X ARC 시멘트는 BISGMA와 TEGDMA polymer로 구성되어 있고 68%의 zirconia/silica 충전재를 함유하고 있다. 낮은 마모율, 높은 결합력과 얇은 판막 두께를 가지며 새로운 성분인 dimethacrylate polymer를 포함하고 있어서 향상된 조작성과 쉽게 제거되는 특성을 가지고 있다.

본 연구에서는 레진 시멘트와 표면처리에 따른 차이는 레진 시멘트의 종류에 따라서 결합력의 차이를 보였다. 실란 처리군에서는 Variolink II가 상대적으로 높은 결합력을 보였고 실리카 코팅군에서는 Panavia F가 높은 결합력을 나타내었다. 이에 IPS Empress 2의 표면처리 방법에 따라 레진시멘트의 종류가 결합력에 영향을 미칠 수 있다고 할 수 있다. 이는 이전 선학들의 연구에서 레진 시멘트의 종류가 결합력에 관여한다는 많은 연구 결과와 일치함을 보인다<sup>21,23,42,59)</sup>.

수중 침지에 관해서는 Nathanson 등<sup>60)</sup>은 연구에서는 실내 온도의 물에 30개월간 수중 침지 후에도 인장 결합강도의 변화가 없었다고 보고하였다. Bailey<sup>24)</sup>와 Pratt 등<sup>61)</sup>은 수중 침지와 열 순환 후 결합력의 급격한 감소가 있었다고 보고하였다. 그 이유는 도재와 레진간의 열팽창계수의 차이로 열에 의해 응력이 야기되고 레진의 물흡수로 인한 결합계면으로의 수분확산으로 결합력이 저하되었기 때

문이라고 주장하였다. 본 연구에서도 수중 침지 후 III, V, VI군을 제외한 나머지 모든 군에서 결합력의 감소를 나타내지만 II, IV, VII, IX군에서만 유의한 결합력의 감소를 보였다. 이는 수중 침지가 결합력의 평가에서 크게 중요한 요소가 아닐 것이라고 사료된다.

열 순환은 구강 내에서 일어날 수 있는 한계적 온도 상태를 모방하여 온도 변화에 따른 열 팽창 계수의 차이로 인한 재료의 물성 변화를 평가하는 방법으로 수중침지와 함께 결합계면의 미세 누출, 결합력의 변화 등을 관찰하는 연구방법이다. 열 순환과 수중침지가 레진 시멘트의 결합력에 미치는 영향에 대해 상반된 연구결과들이 상존하고 있다. 열 순환에 관해서는 Sparrus 등<sup>62)</sup>은 레진의 수축과 팽창이 반복적으로 결합계면에 압축과 인장 응력을 발생하게 하여 결합력이 감소했다고 하였고, Tanaka 등<sup>63)</sup>은 레진의 물흡수와 온도변화로 인한 피로의 축적 그리고 레진 tag의 가수분해에 의해 결합력의 감소가 나타났다고 보고하였다. Matthias<sup>55)</sup>와 Wendt 등<sup>64)</sup>은 구강 내 온도범위에 대해서도 15-45°C, 17-47°C, 최저4-8°C 그리고 최고 45-60°C 라고 보고하였고 계류시간은 15초, 30초 그리고 1분 등 다양한 계류시간이 추천된다고 하였다<sup>33,62)</sup>. 본 실험에서는 Wendt<sup>64)</sup>와 윤 등<sup>42)</sup>이 추천한 계류시간 15초, 온도범위 5°C와 55°C 사이에서 1주 간격으로 2000회씩 5회 총 5주간 10,000회 열 순환을 시행하였다. 본 연구에서 열 순환 후 III, V, VI군만 제외하고 나머지 모든 군에서 유의한 결합력의 감소를 보였고 이는 열응력이 반복적으로 작용하는 동안 IPS Empress 2와 레진사이의 열팽창 계수의 차이로 결합계면으로의 물의 확산이 결합력에 영향을 주었던 것으로 생각된다. 본 연구결과를 살펴 볼 때 장기간의 수중침지보다 열 순환이 레진의 결합력에 상당한 영향을 주었다는 것을 알 수 있었다. 이에 레진 결합력을 평가하는 연구에서는 열 순환이 중요한 실험조건이라고 사료된다. 그러나 실란 처리나 실리카 코팅 처리 후 Rely-X ARC를사용한 경우에는 수중 침지나 열 순환 후 모두에서 유의한 결합강도의 변화가 나타나지 않아서 Rely-X ARC는 수중 침지나 열 순환에 비교적 안정적이라고 사료된다.

주사 전자현미경으로 파절면을 관찰한 결과 모든 실험 군에서 결합계면에서의 파절과 레진 시멘트내

의 파절이 혼합된 복합성 파절 양상을 보였다. 상대적으로 결합력이 높은 군에서 혼합형 파절의 비율이 크게 나타났다. 이러한 관찰 결과는 Kern 과 Thompson 등<sup>22)</sup>의 연구결과와 일치하고 있다.

이러한 실험 결과를 토대로 IPS Empress 2를 산부식한 다음 표면 처리 후 수중 침지 및 열 순환 등의 실험조건에 따른 전단 결합 강도의 변화를 관찰한 결과 이전의 연구결과 및 제조사의 지시사항에 따라 산 부식 후 실란 처리에 의해서 효과적인 결합력을 얻을 수 있음을 보여주었으며 임상에서 IPS Empress 2 도재와 레진의 결합력의 증가를 위하여 간편한 산부식과 실란 도포가 효과적이라는 것을 알 수 있었다. 그러나 더 우수한 결합력을 얻을 수 있는 표면처리 방법에 대한 연구와 장기간의 수중침지, 열 순환 후에도 안정된 결합력을 유지하기 위한 더 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

## V. 요약

IPS Empress 2의 산 부식 후 표면 처리재와 레진 시멘트 종류에 따른 전단 결합 강도를 비교 분석하기 위해서 실란 처리, 실리카 코팅 그리고 Targis link 처리군으로 분류하고 Panavia F, Variolink II와 Rely-X ARC 레진 시멘트 세종류를 이용해서 9개 군에 각 군당 30개의 시편을 제작하였다. 그리고 구강환경에서의 변화를 알아보기 위해서 구강환경과 유사한 조건으로 37°C 증류수에서 24시간 수중침지, 37°C 증류수에서 5주간 수중 침지, 그리고 5주간 수중침지 중 매주 2000회씩 10,000회의 열 순환을 한 다음 각 시편의 전단결합강도를 측정하고 파절면을 주사 전자현미경으로 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표면처리에 따른 전단결합강도는 모든 군에서 유의한 차이를 보였다. 실란 처리, 실리카 코팅, 그리고 Targis link의 순으로 유의한 결합력의 감소를 보였다( $p < 0.001$ ).
2. 레진 시멘트의 종류에 따른 차이를 비교한 결과에서 Targis link 도포한 군만 제외하고 나머지 군에서는 레진 시멘트의 종류에 따른 결합강도의 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).
3. 수중 침지 시간에 따른 전단 결합강도는 모든 군

- 에서 유의한 차이를 보이지는 않았지만 실란을 처리 후 Panavia를 사용한 군, 실리카 코팅 처리 후 Variolink를 사용한 군, Targis link 처리 후 Rely-X ARC와 Variolink를 사용한 군에서는 결합력의 감소를 나타내었다( $p<0.05$ ).
4. 열 순환 시행시에는 실란과 실리카 코팅 처리후 Rely-X ARC를 사용한 군과 실리카 코팅 처리후 Panavia F를 사용한 군만 제외하고 나머지는 유의한 결합력의 감소를 보였다( $p<0.05$ ).
  5. 파절 시험 후 시편에 대한 주사 전자 현미경 관찰 결과 모든 군에서 복합성 파절 양상을 보였다.

#### 참 고 문 헌

1. Kelly, J. R., Nishimura, I. and Campbell, S.D. : Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives, *J. Prosthet. Dent.*, 1996;75:18-32.
2. Yen, T.W., Blackman, R.B. and Baez, R.J. : Effect of acid etching on the flexural strength of a feldspathic porcelain and a castable glass ceramic, *J. Prosthet. Dent.*, 1993;70:224-33.
3. Bailey, L. F. and Bennett, R. J. : Dicor surface treatment for enhanced bonding. *J. Dent. Res.*, 1988;67(6):925-31.
4. Miller, A., Long, L. and Barbara Miller and Jimcole. : Comparison of the fracture strengths of ceramometal crowns versus several all-ceramic crowns, *J. Prosthet. Dent.*, 1992;68:38-41.
5. Seghi, R. R. and Sorensen, J. A. : Relative flexural strength of six new ceramic materials, *Int. J. Prosthodont.*, 1995;8:239-46.
6. 백승진, 양재호. : 수중 전부도재관의 파절강도에 관한 비교연구, *대한치과보철 학회지*. 1995;33(4):611-633.
7. Grossman, D. G. and Nelson, J. W. : The bonded Dicor crown, *J. Dent. Res.*, 1987;66:800(abs).
8. Sorensen, J. A., Helmut Knode. and Tony J. Torres. : In-ceram all-ceramic bridge technology, *Quintessence of dental technology.*, 1992;41-46.
9. Lothar Probst. : Survival rate of In-ceram restorations, *Int. J. Prosthodont.*, 1993;6:259-63.
10. Luca L. Dalloca. and Umberto Demolli. : A new esthetic material for anterior crowns.: IPS-Empress, *Quintessence of dental technology.*, 1995;171-75.
11. Rinke, S., Huls, A. and Leon Jahn. : Marginal accuracy and fracture strength of conventional and copy-milled all-ceramic crowns, *Int. J. Prosthodont.*, 1995;8:303-10.
12. 황정원, 양재호, 이선형, 정현영. : Copy-milled celay In-ceram 전부도재관의 파절 강도에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 1997;35(2):417-429.
13. Myers, M. L., Ergle, J. E., Carl E. Fairhurst. and Robert D. Ringle. : Fatigue failure parameters of IPS-Empress Porecelain, *Int.J. Prosthodont.*, 1994;7:549-553.
14. Dong, J. K., Luthy, H., Wohlwend, A. and P. scharer. : Heat-pressed ceramics : Technology and strength, *Int. J. Prosthodont.*, 1992;5:9-16.
15. Mackert, J. R. and Carl M. Russel. : Leucite crystallization during processing of a heat-pressed dental ceramic, *Int. J. Prosthodont.*, 1996;9:261-65.
16. Holand W. : Materials science fundamentals of the IPS Empress 2 glass-ceramic, *Ivoclar Vivadent Report.*, 1998;12:3-10.
17. Schweiger M., Holand W. and Frank M.: IPS Empress 2 : A new pressable ceramic strength glass-ceramic for esthetic all-ceramic restorations, *Quintessence of dental technology.*, 1999;22:143-51.
18. 고은숙, 이선형, 양재호, 정현영 : 전부도재관을 위한 지대치의 마무리선 형태와 절단면 삭제량 및 교합력 작용점에 따른 응력분포에 관한 삼차원 유한요소법 적 연구, *대한치과보철학회지.*, 1997;35(4):742-761.
19. Calamia, J. R., Vaidyanathan, J. and Vaidyanathan, T. K. : Shear bond strength of etched porcelains, *J. Dent. Res.*, 1985;296:1096(abs).
20. Gorodovsky, S. and Omar Zidan. : Retentive strength, disintegration, and marginal quality of luting cements, *J. Prosthet. Dent.*, 1992;68:269-74.
22. Kern, M. and Thompson, V. P. : Bonding to glass infiltrated alumina ceramic: Adhesive methods and their durability, *J. Prosthet. Dent.*, 1995;73:240-9.
22. 백상현, 장익태, 이선형, 양재호, 허성주. ; 코어형태와 시멘트 종류에 따른 전부 주조금관의 유지력에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 2000;38(2):
23. Kamada, K., Keiichi Yoshida. and Mitsuru Atsuta. : Effect of ceramic surface treatments on the bond of four resin luting agents to a ceramic material, *J. Prosthet. Dent.*, 1998;79:508-13.
24. Bailey, J. H. : Porcelain-to-composite bond strength using four organosilane materials, *J. Prosthet. Dent.* 1989;61:174-7.
25. 김영숙, 우이형, 임호남, 최부병. : In-ceram 코어의 표면처리 방법에 따른 레진 시멘트와의 결합강도 및 표면상태에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 1995;33(4):693-701.

26. Groten, M. and Lothar Probst. : The influence of different cementation modes on the fracture resistance of feldspathic ceramic crowns, *Int. J. Prosthodont.*, 1997;10:169-77.
27. Hsu, C. S. and Stangel, I. : Shear bond strength of resin to etched porcelain, *J. Dent. Res.*, 1985;296:1095(abs).
28. White, S. N., Sorensen, J. A., Seung K. Kang. and Angelo A Caputo. : Microleakage of new crown and fixed partial denture luting agents, *J. Prosthet. Dent.*, 1992;67:156-61.
29. Anthony H.L. Tjan., James R.Dunn. and Ben E. Grant. : Marginal leakage of cast gold crowns luted with an adhesive resin cement, *J. Prosthet. Dent.*, 1992;67:11-5.
30. Retief, F.H., O'Brien.J.A., Smith L.A. and Marchman, J. L. : In vitro investigation and evaluation of dentin bonding agents, *Am. J. Dent.*, (spec.iss)1998;1:176.
31. Giordano, R., Michael Cima. and Richard pober. : Effect of surface finish on the flexural strength of feldspathic and aluminous dental ceramics, *Int. J. Prosthodont.*, 1995;8:311-19.
32. Matthias kern. and V.P. Thompson. : Sandblasting and silica coating of a glass- infiltrated alumina ceramic : volume loss, morphology, and changes in the surface composition, *J. Prosthet. Dent.*, 1994;71:453-61.
33. Munksgaard, E. C., Itohand, K. and Jorgensen, K. D. : Dentin-polymer bond in resin fillings tested in vitro by thermo and load cycling, *J. Dent. Res.*, 1985;64(2); 144-46.
34. Diaz-Arnold, A. M., Schneider, R. L. and Aguilino, S. A. : Bond strength of intraoral porcelain repair materials, *J. prosthet. Dent.*, 1989;61:305-9.
35. Alton M.Lacy., Jose LaLuz., Larry G. Watanabe. and Mark Dellinges. : Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite, *J. Prosthet. Dent.*, 1988;60:288-91.
36. Thomas P.N., Nasse Barghi. and Barry K. Norling. : Evaluation of the bonding of three porcelain repair systems, *J. Prosthet. Dent.*, 1981;46:516-18.
37. David A. B., Charles E. J. and Hugh B. D. : Shear bond strength of composite resin porcelain repair materials bonded to metal and porcelain, *J. Prosthet. Dent.*, 1990; 64:529-33.
38. Roulet, J. F., Soderholm, K. J. M. and Longmate, J. : Effects of treatment and storage conditions, *J. Dent. Res.*, 1995;74:381-87.
39. Vojvodovic, D., Vjekoslav Jerolimov., Asja Celebic. and Adnan Catovic. : Bond strengths of silicoated and acrylic resin bonding systems to metal, *J. Prosthet. Dent.*, 1999;81:1-6.
40. Sorensen, J. A., Engelman, M. J., Torres, T. J. and Avera, S. P. : Shear bond strength of composite resin to porcelain, *Int. J. Prosthodont.*, 1991;4:17-23.
41. Stangel, I., Nathanson, D. and Hsu, C. S. : Shear strength of the composite bond to etched porcelain, *J. Dent. Res.*, 1987;66(9): 1460-65.
42. 윤정태, 이선훈, 양재호 : In-ceram 코아의 표면처리 방법에 따른 레진시멘트와의 전단결합강도에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 2000;38(4):129-46.
43. 임주환. : 접착제의 종류에 따른 In-ceram 도재관의 변연적합도와 파절강도에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 1998;36(6):888-899
44. 김정숙, 황희성, 정창모, 전영찬. : Empress2 도재와 레진 시멘트의 결합강도에 관한 연구, *대한치과보철학회지.* 2001;39(2):184-92.
45. 정원엽, 오상천, 동진구. ; 변연형태와 레진시멘트에 따른 IPS Empress 도재관의 변연 누출에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 1998;36(6):789-804.
46. Malament, K.A. and Grossman, D.G. ; The cast glass-ceramic restoration, *J. prosthet. Dent.*, 1987;57: 674-83.
47. Scherrer, S. S. and Rijk, W. G. : The effect of crown length on the fracture resistance of posterior porcelain and glass-ceramic crowns, *Int. J. Prosthodont.*, 1992;5:550-557.
48. Burke, F. J. T. : The effect of variations in bonding procedure on fracture resistance of dentin-bonded all-ceramic crowns, *Quintessence Internaitonal.*, 1995;26(4)293-300.
49. Massimo Fuzzi., Serge Bouillaguet. and Jacques Holz. : Improved marginal adaptation of ceramic veneers, *Journal of Esthetic Dentistry.*, 1996;8:84-91.
50. Burke, F. J. T. : Fracture resistance of teeth restored with dentin-bonded crowns; The effect of increased tooth preparation, *Quintessence International.*, 1996;27(2);115-21.
51. Holmes, J. R., William D. Sulik. and Holland, G. A.: Marginal fit of castable ceramic crowns, *J. prosteht. Dent.*, 1992;67:594-9.
52. Pera, P., Stefano Gilodi., Francesco Bassi. and S. Carossa. : In vitro marginal adaptation of alumina porcelain ceramic crowns, *J. prosthet. Dent.*, 1994;72:585-90.
53. Lothar Probst. : Compressive strength of two modern all-ceramic crowns, *Int. J. Prosthodont.*, 1992;5:409-14.
54. Campbell, S. D. and Ralph B.S. : Evaluation of the fit

- and strength of an all-ceramic fixed partial denture, *J. Prosthet. Dent.*, 1988;59:301-6.
55. Matthias kern., Thilo Fechtig. and Sturb, J. R. : Influence of water storage and thermal cycling on the fracture strength of all-porcelain, resin-bonded fixed partial dentures, *J. prosthet. Dent.*, 1994;71:251-6.
56. 박동원, 임오남, 우이형, 최부병. : 금속면의 표면처리 방법에 따른 금합금과 전장 레진간의 전단결합강도에 관한 연구, *대한치과보철학회지.*, 1995;33(4):685-691.
57. Kourtis, S. G. : Bond strength of resin-to-metal bonding systems, *J. Prosthet. dent.*, 1997;78:136-45.
58. Dixon, D.L., Bredding, L. C., Hughie, M. L. and Brown, J. S. : Comparison of shear bond strengths of two resin luting systems for a base and a high noble metal alloy bonded to enamel, *J. Prosthet. Dent.*, 1994;72:457-61.
59. Mendoza, D. B., Eakle, W. S., Kahl, E. A. and Robert Ho. : Root reinforcement with a resin-bonded preformed post, *J. Prosthet. Dent.*, 1997;78:10-5.
60. Nathanson, D., Garber, D.A., Goldstein, R.E. and Feinman, R.A. : Dental porcelain technology. Porcelain laminate veneer, *Quintessence Pulb.co.*,1998;30.
61. Pratt, R.C., Burgess, J. O., Schewartx, R.S. and Smith, J. H. : Evaluation of bond strength of six porcelian repair system, *J. Prosthet. Dent.*, 1989;62:11-13.
62. Sparrius, O. and Grossman, E.S. : Marginal leakage of composite resin restorations in combination with dentinal and enamel bonding agents, *J. Prosthet. Dent.*, 1989;61:678-84.
63. Tanaka, T., Kamada, T. and Matsumura, H. : A comparison of water temperatures for thermocycling of metal-bonded resin cements, *J. Prosthet. Dent.*, 1995;74:345.
64. Wendt, S.L., McInnes, P.A. and Dickinson, G.L. : The effect of thermocycling in microleakage analysis, *Dent.mat.*, 1992;8:181.

사진부도 ①

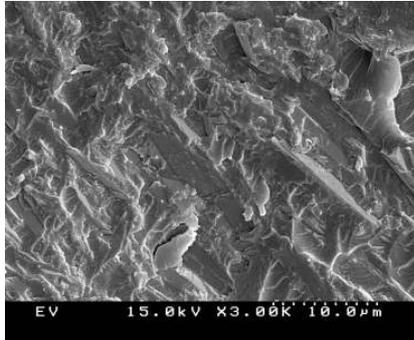


Fig 1. Group I(×3000)

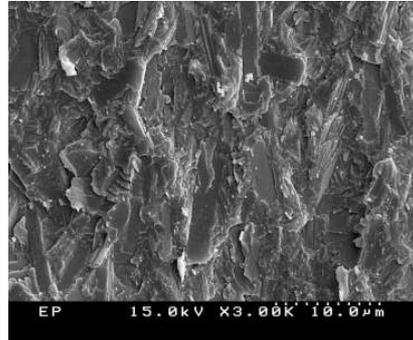


Fig 2. Group II(×3000)

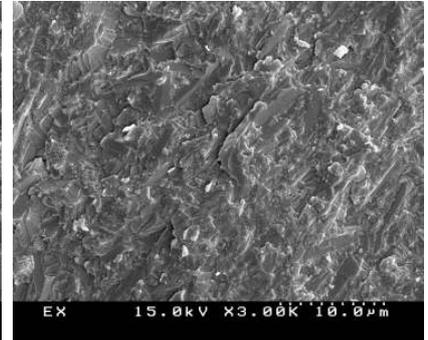


Fig 3. Group III(×3000)

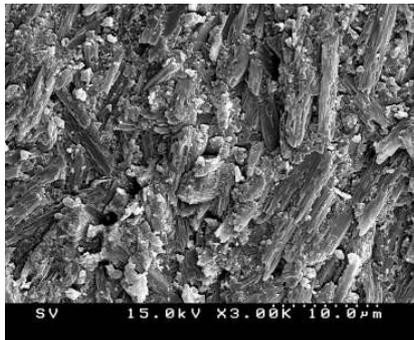


Fig 4. Group IV(×3000)

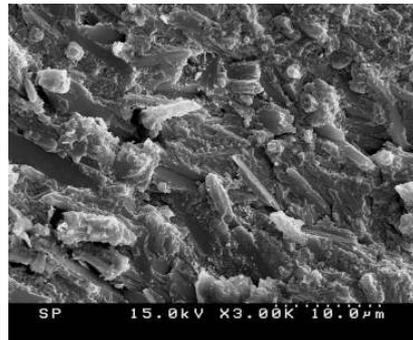


Fig 5. Group V(×3000)

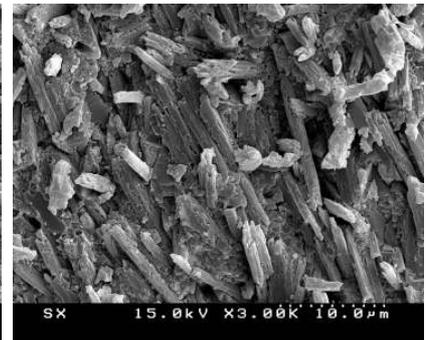


Fig 6. Group VI(×3000)

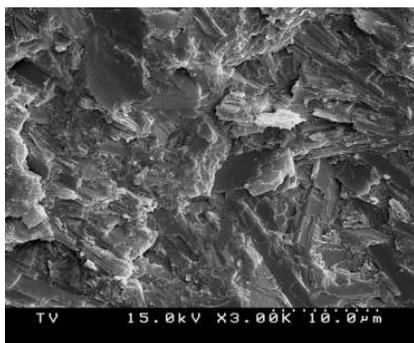


Fig 7. Group VII(×3000)

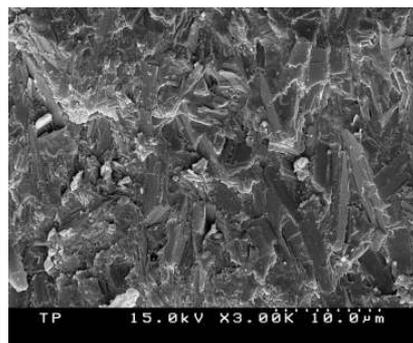


Fig 8. Group VIII(×3000)

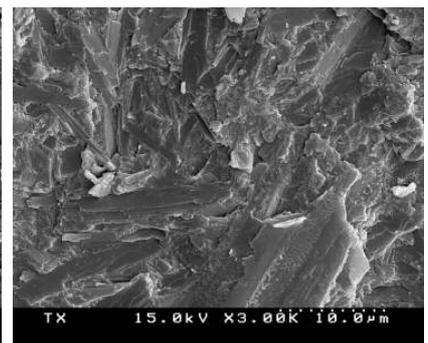


Fig 9. Group IX(×3000)