

## 도재와 상아질의 표면 처리가 도재의 파절 강도에 미치는 영향

서울대학교 치과대학 치과보철학교실

이신원 · 이선형 · 양재호 · 정현영

### I. 서 론

도재는 우수한 물리적 성질과 생체 적합성 및 심미성으로 인해 치과 보철분야에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 치과용 도재는 1887년 Land에 의해 도재 인레이와 도재관의 제작법이 소개된 이래 치관 수복 재료로 이용되기 시작하였고<sup>41)</sup>, 1956년 금속 도재관의 제작법이 개발되어 전치 결손부 수복에 적용되었으나, 금속 코아와 금속의 투시를 차단하기 위하여 사용되는 불투명 도재로 인하여 과도한 삭제가 필요하고, 금속이 빛의 투과를 차단하여 자연치와 유사한 투명도를 얻는데 어려움이 있었다<sup>72)</sup>. 1965년 McLean이 알루미늄 강화형 장식계 도재를 소개하면서<sup>50)</sup> 전치부 심미적 수복재료로 많이 사용되었으나 제작 과정이 복잡하고 파절 저항이 약한 점이 문제점으로 대두되어<sup>14,40,51)</sup>, 그들의 심미적인 장점에도 불구하고 임상에서의 활용이 제한되어, 이를 극복하기 위한 노력이 계속되어 왔다. 그 결과 최근에는 수종의 전부 도재관을 위한 제품들이 적합성과 심미성, 그리고 강화된 파절 강도 등의 장점을 강조하면서 소개되기 시작하였다. 현재 관심이 집중되고 있는 전부 도재관용 도재로는 Optec (Jerenic Pentron, Wallingford, Conn), IPS-Empress (Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein), Dicor (Densply, York, PA), In-Ceram (Vita Zahnfabrik, Sackingen, Germany) 등이 있다. IPS-Empress system은 심미성과 변연 적합도 등에서 우수한 전부 도재관 시스템 중 하나이다. IPS-Empress system은 1990년 Zurich 치과대

학과 Ivoclar사에 의하여 개발되었는데, 이 시스템은 결정화된 도재를 높은 온도에서 가압 (heat-press)하여 수복물을 제작한다<sup>8,22,32,43,44,59)</sup>. IPS-Empress system은 구치부 도재관을 제작하는 경우 도재의 축조와 소성 과정이 없이 도재관의 제작이 가능하므로 제작이 용이하고 변연 적합성이 우수한 장점을 가지고 있다<sup>22)</sup>.

전부 도재관의 강도에 영향을 주는 요소로는 도재의 종류, 도재관 제작 방법, 지대치 형성 방법 등과 함께 치아와 도재관의 접착 방법이 중요하다. 도재의 파절 저항을 개선하기 위하여 여러 가지 면에서 노력이 있었는데, 특히 도재와 치아의 접착에 레진 시멘트를 사용함으로써 도재의 파절 저항성이 개선됨이 여러 선행들에 의해 보고되었다<sup>61,49,53,36)</sup>. Grossman과 Nelson은 레진 시멘트가 법랑질, 상아질에 접착되어 수복물을 강화시킨다고 보고하였고<sup>26)</sup>, Eden과 Kacic<sup>24)</sup>는 평균적으로 산부식시킨 도재를 이중경화 레진 시멘트를 이용하여 접착시킨 경우 인산아연 시멘트(ZPC)로 접착된 도재관보다 2배의 하중에 저항을 나타낸다고 보고하였다. Doering 등<sup>21)</sup>도 레진 시멘트는 산부식과 함께 silane 처리한 도재에 강한 결합을 형성한다고 하였고<sup>7)</sup>, Holt 등<sup>31)</sup>은 레진과 도재 사이의 결합력은 레진 시멘트의 cohesive strength 보다 강하다고 하였다. Sorensen 등<sup>67)</sup>은 도재의 식각과 silane 처리를 병행하면 도재와 레진 계면에서의 미세 누출이 없어진다고 보고하였다. 따라서, 전부 도재관의 파절이나 실패를 피하기 위한 원칙에 레진 시멘트를 이용하는 접착 과정이 포함되어

야 한다<sup>5,12)</sup>.

레진 시멘트와 상아질과의 접착은 상아질 접착제에 의해 제공되며, 상아질 접착이 이루어지면 통상적인 지대치 형성방법을 변형시킬 수 있다는 기대를 할 수 있으나, 현재까지는 상아질 접착제의 효율성은 증명되지 않은 상태이다<sup>58)</sup>. 접착제와 수복물의 유지를 위한 기계적 방법으로는 diamond bur를 이용하여 거칠게 하는 방법, 알루미늄 분사 방법 및 도재관의 내면을 불산으로 식각하여 미세 유지 구조를 얻는 방법이 있으며<sup>65)</sup>, 화학적 방법으로는 도재 표면을 silane coupling agent를 이용하여 처리할 수 있는데, silane을 통하여 레진 접착제에 대한 결합력을 20% 가량 증가시킬 수 있었다고 보고되고 있다<sup>13)</sup>.

본 연구의 목적은 디스크 형태의 도재 시편과 평평한 상아질 시편을 이용하여, 전부 도재관 접착시의 도재 내면 처리 및 상아질 결합 과정이 도재의 파절 강도에 미치는 효과를 알아보고자 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 치아 시편의 제작 (Fig. 1)

치주 질환으로 발거된 대구치 40개를 선택하여 교합면의 해부학적 구조들을 제거하고 육안으로 검사하여 치질이 건전하고 미발육된 결함(hypoplastic defects)이 없는지 확인하고 투과광선으로 검사하여 균열(crack)이 없는지 확인하였다. 이후 치아를 epoxy resin에 포매하고 연마기(Struers, Germany)를 이용하여 평평한 표면이 노출되도록 120, 220,

500 grit의 SiC 연마지로 단계적으로 연마하여 지름 30mm, 높이 20mm의 원주 형태의 시편을 만들었다. 상아질 시편은 접착 전까지 건조되지 않도록 100% 상대습도 상태에 보관하였다.

### 2. 도재 시편의 제작 (Fig. 2)

지름 8mm, 두께 1.5mm의 디스크 형태의 도재 시편을 만들기 위해 Veradisc (Aalba Dent Inc., U.S.A.)를 이용하여 8mm 지름의 디스크를 만들고, inlay wax(Shofu Inc., Japan)를 첨가하여 납형을 만든 후, 이 납형을 실리콘 인상재 (Zerosil & Labosil, Drev-Dentamid-GmbH, Germany)로 복제하였다. 이때 납형은 주입선까지 포함시켜 제작하였다. 실리콘 주형에 연화된 wax를 흘려 넣어 기본 납형을 복제하였다. 이렇게 해서 복제된 40개의 납형을 IPS-Empress ring base 위에 5개씩 부착하였다. 이후 제조 회사의 지시대로 매몰, 소환, 압출 성형, 매몰 제거 과정을 거쳐 소성된 도재 시편을 제작하였다. 이때 도재 시편 제작을 위해 사용된 재료는 착색법 (staining technique)에 사용되는 미리 압축되고 진공 소성된 IPS-Empress Dentin Ingot을 사용하였다. 주입선을 제거한 후 1.5mm의 두께를 가지도록 220, 400, 600, 1000 grit의 SiC 연마지를 이용하여 단계적으로 연마하여 0.05mm 이내의 오차 범위 내에서 정확한 두께와 평평한 면을 가진 디스크를 얻었다. 완성된 시편은 증류수에서 10분간 초음파 세척을 하고 건조시켰다.

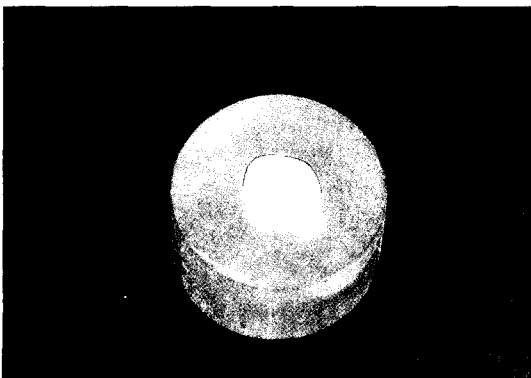


Fig. 1. Dentin specimen.

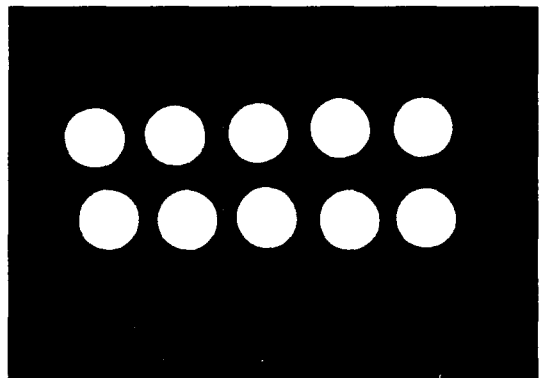


Fig. 2. Ceramic specimen.

### 3. 접착 (Table 1, 2)

40개의 상아질 시편과 도재 시편을 10개씩 4개 군으로 나누어 다음과 같이 상아질과 도재의 표면처리를 달리한 후 접착하였다.

I 군 : 도재 표면을 8% 불산(All-Bond Porcelain etchant gel, Bisco Inc., U.S.A.)으로 60초간 식각하고 60초 동안 물로 세척한 후 40초간 건조시켰다. 건조된 도재 표면을 silane coupling agent인 Monobond-S (Vivadent, Liechtenstein)로 60초간 처리한 후 건조시키고 접착성 레진인 Heliobond (Vivadent, Liechtenstein)를 얇게 도포하였다.

상아질 표면은 Syntac® primer(Vivadent, Liechtenstein)를 15초간 적용한 후 기름기 없는 공기로 건조시키고, Syntac® adhesive(Vivadent, Liechtenstein)를 10초간 적용하고 건조시킨 후 Heliobond를 얇게 도포하였다.

II 군 : 도재 표면에 50 $\mu$ m의 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 10초간 분사를 실시하였는데, 이때 압력은 60 psi로 하고 nozzle과 시편 사이의 거리는 10mm를 유지하였다. 알루미나 분사된 표면을 5분간 초음파 세척기로 세척한 후 Heliobond를 도포하였다. 상아질의 처리는 I 군과 동일하게 하였다.

III 군 : 도재 표면은 세척한 후 Heliobond를 도포하였고, 상아질 표면은 I 군과 동일하게 처리하였다.

IV 군 : 도재 표면은 I 군과 동일하게 처리하였고, 상아질 표면은 상아질 접착 처리과정을 시행하지 않았다.

표면처리된 각 시편을 이중경화 레진 시멘트인 Variolink II (Vivadent, Liechtenstein)를 이용하여 접착하였는데, 황색의 base와 점도가 높은 catalyst를 15초간 혼합하여 도재 표면과 상아질 표면에 고루 도포하고 정하중기로 2kg의 하중을 가한 상태에서 여분의 시멘트를 깨끗이 제거하고, liquid strip (Vivadent, Liechtenstein)을 도포한 후 측면 4군데와 윗면에서 각 40초씩 광선을 조사시켜 중합하였다.

파절 시험을 시행하기 전에, 접착된 시편을 30분간 상온에 그대로 방치한 후 37 $^{\circ}$ C의 수조에서 24시간 보관하였다가, 5 $^{\circ}$ C와 55 $^{\circ}$ C사이에서 15초의 계류시간을 갖도록 하여 500회의 thermocycling을 시행하였다.

### 4. 파절 시험 (Fig. 3)

본 실험에서는 치아와 도재가 접착된 시편을 Instron universal testing machine의 기저부와 평

Table 1. Surface treatment procedure of experimental groups

	Ceramic surface	Dentin bonding
Group I	HF etching	
	Silane Bonding resin	Yes
Group II	Sandblasting	
	Bonding resin	Yes
Group III	Bonding resin	Yes
	HF etching	
Group IV	Silane	No
	Bonding resin	

Table 2. Composition of materials used for surface treatment

Material	Composition
Syntac® Primer	Tetraethylene glycoldimethacrylate Maleic acid in watery acetone solution
Syntac® Adhesive	Polyethylene glycoldimethacrylate Glutaraldehyde 50% in watery solution
Monobond-S	3-Methacryloxypropyl-trimethoxysilane 1:1 solution of water/ethanol produced with acetic acid pH 4
Heliobond	Bis-GMA Triethylene glycol dimethacrylate

행하게 고정된 상태에서 1mm/min 의 cross head speed로 압력을 가하였다. 압력은 도재 디스크의 중앙에 지름이 4mm이고 끝이 반구형으로 만들어진 강화된 스테인레스 스틸 loading stylus를 이용하여 점진적인 하중을 가하였다. 하중이 가해지는 동안 연결된 computer에서 그래프를 얻어 도재가 완전히 파절(catastrophic fracture)되는 순간의 하중을 기록하고 파절이 일어난 표면의 양상을 육안과 SEM을 이용하여 관찰하였다.

### 5. 통계처리

각 군의 파절 저항을 비교 분석하기 위해서 SPSS/PC+ 통계 프로그램에서 One Way ANOVA

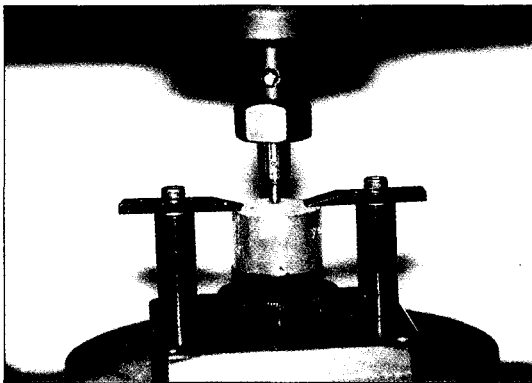


Fig. 3. Fracture test using Instron testing machine.

를 시행하였으며, LSD test를 이용하여 0.05의 유의 수준에서 사후 검정하였다.

## Ⅲ. 연구 결과

### 1. 파절 저항의 기록 (Table 3, 4, 5, Fig. 4)

Instron을 이용하여 도재 디스크에 압력을 가하여 도재가 파절(catastrophic fracture) 되는 순간의 하중값을 기록하고, 각 군별로 평균값을 구한 결과, I 군은 1947.10 N, II 군은 1677.40 N, III 군은 1491.60 N, IV 군은 1152.00 N으로 I, II, III, IV 군의 순으로 높은 하중에서 도재의 파절이 일어났다. 상아질 접착처리(dentin bonding procedure)를 행한 I, II, III 군 중 불산 식각과 silane 처리를 한 I군과 도재의 표면 처리를 생략한 III 군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 나타났고, I 군이 도재의 접착면에 알루미나 분사를 시행한 II 군보다 높은 파절 저항을 나타내었으나, 통계적인 유의성은 없었다. 그리고, 도재에 불산 식각과 silane 처리를 동일하게 시행한 I 군과 IV 군을 비교하면, 상아질 접착을 시행한 I 군이 상아질 접착을 생략한 IV 군보다 통계적으로 유의할 만한 높은 하중값을 보여, 상아질 접착처리가 도재의 파절 강도에 상당한 영향을 있음을 알 수 있었다.

Table 3. The mean and standard deviation of the fracture load ( N )

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
					Group I	10
Group II	10	1677.40	325.96	103.08	1444.22	1920.58
Group III	10	1491.60	281.76	89.10	1290.04	1693.16
Group IV	10	1152.00	366.11	115.77	890.10	1413.90
Total	40	1567.03	470.57	74.40	1416.53	1717.52

N : Number of specimen

Table 4. Analysis of Variance

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3345743.3	3	1115247.8	7.589	.000
Within Groups	5290333.7	36	146953.71		
Total	8636077.0	39			

Table 5. Multiple range test : LSD (P<0.05)

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
I	II	267.70	171.437	.124	-77.99	617.39
	III	455.50*	171.437	.012	107.81	803.19
	IV	795.10*	171.437	.000	447.41	1142.79
II	I	-269.70	171.437	.124	-617.39	77.99
	III	185.80	171.437	.286	-161.89	533.49
	IV	525.40*	171.437	.004	177.71	873.09
III	I	-455.50*	171.437	.012	-803.19	-107.81
	II	-185.80	171.437	.286	-533.49	161.89
	IV	339.60	171.437	.055	-8.09	687.29
IV	I	-795.10*	171.437	.000	-1142.79	-447.41
	II	-525.40*	171.437	.004	-873.09	-177.71
	III	-339.60	171.437	.055	-687.29	8.09

\* : The mean difference is significant at the .05 level.

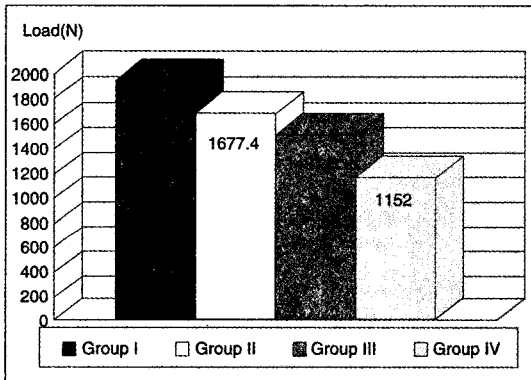


Fig. 4. Bar graph showing the mean fracture load.

## 2. 파절 양상의 관찰

I 군의 경우 도재가 여러 조각으로 파절되었으며, 도재의 많은 부분이 상아질에 붙어 있었고, SEM 사진에서 레진이 상아질에 부분적으로 남아있는 양상을 보였다(Fig. 5). II 군에서는 약간의 도재가 상아질에 붙어 있었고, SEM 사진에서 I 군과 마찬가지로 레진이 상아질에 많이 남아 있는 소견을 보이는 복합적 파절 양상을 관찰할 수 있었다(Fig. 6). III 군의 경우에는 도재는 상아질에 거의 남아 있지 않았고, 레진은 대부분 상아질에 붙어 있는, 도재와 레진 사이의 adhesive failure 양상을 보였으며(Fig. 7), IV 군에서는 도재는 상아질에서 완전히 분리된 상태로,

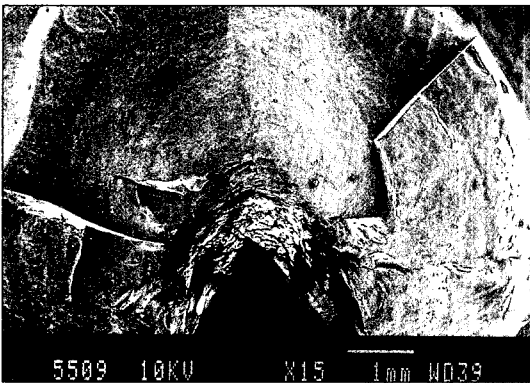


Fig. 5. SEM shows dentin surface after fracture test of group I specimen.

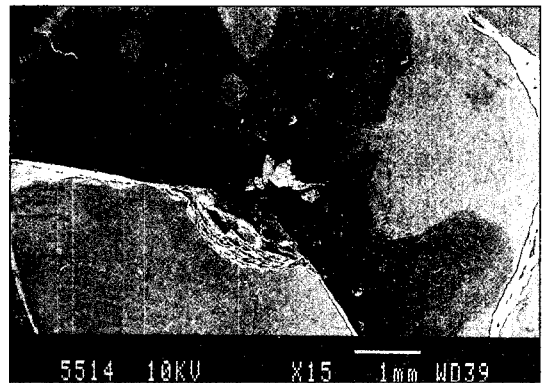


Fig. 6. SEM shows dentin surface after fracture test of group II specimen.

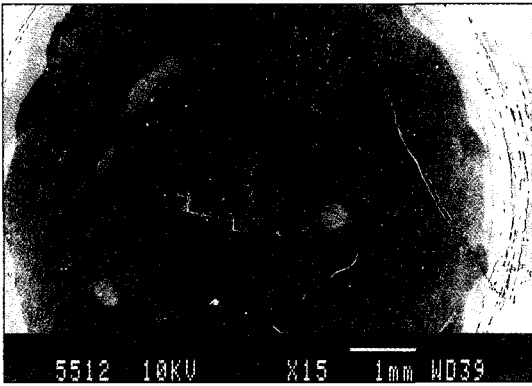


Fig. 7. SEM shows dentin surface after fracture test of group III specimen.

레진은 상아질에서는 거의 찾아볼 수 없었고, 대부분 상아질과 레진 사이의 adhesive failure의 양상을 보였다(Fig. 8).

#### IV. 총괄 및 고안

전부 도재관의 파절 저항에 영향을 미치는 요소로는 지지 물질의 탄성계수, 레진 접착체의 물성, 지대치 형성 방법, 시멘트층의 기포(void), 표면 거칠기, 잔여 응력(residual stress), 도재 수복물의 두께 등이 있다<sup>28,61,63</sup>.

압축 강도의 시험은 기하학적으로 규격화된 막대(geometrically well-defined bar)의 굽힘파절시험과 달리 표준화된 방법이 아니다. 많은 요소들이 결과에 영향을 미치는데, 시편의 두께, 적용되는 힘의 방향과 위치, 그리고 loading stylus의 반경 등이 중요하다<sup>68</sup>. 완전한 구치부 치관의 복잡한 입체적 형태에서는 표면 처리라는 한가지 변수에 대한 영향만을 보고자 하는 정량적인 파절 강도의 비교가 어렵기 때문에 본 실험에서는 간단한 디자인으로 도재 디스크에 point load를 가하여 하중치를 비교하였다. 본 실험과 같이 in vitro에서 도재 디스크를 이용하여 단순한 압력만을 가하여 파절 강도를 측정하는 것은 임상적인 상황과는 실제로 다른 점이 많다고 볼 수 있으며, 정적 시험(static testing)으로서는 피로 스트레스(fatiguing stress) 하에서의 장기적 물성에 대해 해답을 제시할 수는 없다<sup>70</sup>. 그러나, 상대적인 하중 저항 능력에 대한 아이디어를 제공할 수 있을 것으

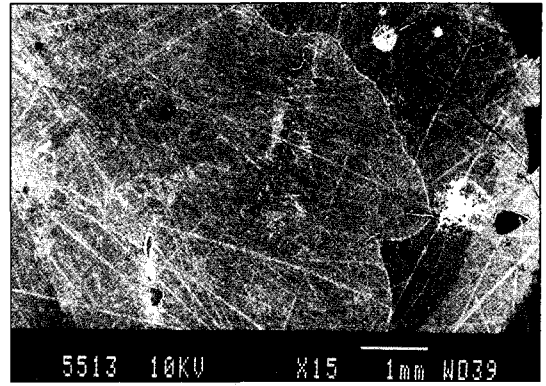


Fig. 8. SEM shows dentin surface after fracture test of group IV specimen.

로 생각된다.

전부 도재관의 파절 강도는 지지 구조(supporting structure)의 탄성계수(elastic modulus)에 영향을 받는데, Scherrer와 de Rijk<sup>61</sup>의 실험에 의하면 탄성계수가 14GPa인 물질에 접착된 수복물은 평균 2800N의 하중에 저항할 수 있는 반면, 2.94GPa의 탄성계수를 가지는 substrate에 접착된 수복물은 478N 정도의 하중에 저항한다고 하였다. 상아질의 탄성계수는 12.5GPa 정도이지만 본 실험에서 같은 군 내에서의 실험 성적이 다소 변이를 보이는 것은 지지 구조인 상아질의 탄성계수값이 일정하지 않은 데에도 그 원인이 있을 것으로 생각된다. Tsai 등<sup>70</sup>은 도재의 두께가 파절 강도에 미치는 영향을 연구하는데 있어서 개개 상아질 시편의 변이 요소를 제거하기 위하여 상아질과 유사한 탄성계수를 가지는 epoxy resin을 지지 구조로 이용한 바 있다.

도재 표면을 거칠게 하는 방법에는 diamond bur로 거칠게 하는 방법, 알루미늄나를 분사 하는 방법, 그리고 불산으로 식각하여 미세한 기계적 유지 구조를 얻는 방법 등이 있다. 이중 diamond bur로 도재관의 내면을 거칠게 하는 방법은 임상적으로는 잘 사용되지 않고, 알루미늄나 분사 방법은 비교적 간편하게 할 수 있는 방법으로서 50 $\mu$ m의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 0.4MPa의 압력으로 nozzle과의 거리를 10mm로 유지하면서 10초 동안 가볍게 알루미늄나 분사 하는 것이 추천되고 있으며<sup>37</sup>, 너무 과도하게 분사 하면 도재의 chipping이 일어날 수 있다. 본 실험에서도 도재에 알루미늄나 분사를 시행한 결과, 도재 표면 처리를 하지 않

은 경우에 비하여 높은 파절 저항을 나타냄을 알 수 있었다.

도재의 파절 강도는 재료 자체에 존재하는 흠의 분포에 의존한다. 따라서, 도재에 대한 파절강도의 큰 변이는 제작 과정 중에 생긴 초기 흠의 크기와 모양의 다양성과 관련이 있다. 파절 강도와 중요한 흠의 크기 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$K_{Ic} = Y\sigma_{fc}^{1/2}$$

여기서  $K_{Ic}$ 는 파절 인성(fracture toughness)이고  $Y$ 는 표면 스트레스 상태 및 파절선 침부(crack tip)의 형태에 의해 결정되는 기하 변수(geometric parameter)이며  $\sigma_{fc}$ 는 파절 강도(fracture strength),  $c$ 는 흠의 크기이다<sup>55)</sup>. 파절 인성은 적용된 스트레스 하에 존재하는 흠의 전파에 대한 재료의 저항으로 정의되며, 위의 관계에서 보면 파절 강도는 중요한 흠의 크기가 줄어들면 커짐을 알 수 있다.

본 실험에서 도재 접착면에 식각과 silane처리를 한 실험군이 표면 처리를 하지 않은 군에 비하여 유의성 있게 높은 파절 강도를 보였는데, Thompson과 Anusavice<sup>69)</sup>는 레진으로 접착한 수복물의 강도에 관여하는 요소로 산 식각에 의해 표면의 흠과 표면 에너지가 변화하고, 레진 접착제와 레진 시멘트가 산 식각시킨 표면에 잘 스며들게 하며, 도재와 접착제 계면에서 물분자를 감소시키는 것을 들었다. 레진으로 접착된 수복물의 파절 저항을 증진시키는 주된 기전은 불분명하나, 근래 연구에 의하면 첫번째 기전만이 유의하다고 보고 있다. 표면의 식각은 흠의 분포를 변형시키는 방법으로, 매우 작은 흠을 제거하고, 큰 흠의 크기를 감소시키며, 흠의 깊이를 감소시키는 효과를 기대하는 것이다. 이로 인해 강도가 개선되는 것은 도재와 레진 시멘트 간에 결합이 개선되고 스트레스 전달이 향상되기 때문이다.

도재의 식각이 결합강도에 미치는 영향에 관한 연구에서 Stangel과 Nathanson<sup>68)</sup>은 도재에 식각을 하고 접착을 시행한 경우 모든 군에서 강도가 증가하였다고 보고하면서, 도재의 식각이 결합강도에 가장 중요한 요소라고 하였고, 불산의 농도에 따른 미세 구조의 차이를 관찰한 결과 불산은 도재의 한 상(phase)을 선택적으로 용해하는데 유리상(glass phase)은 52% 불산에 용해되었고, 결정상(crystalline phase)은 20%의 불산에 용해되었다고 보고 하였다. 식각 시간의 영향에 대해서는 2.5분간 노출

된 경우의 미세구조는 glassbead로 처리한 효과를 나타내며 시간이 늘어나면 이 층이 용해되므로 전단결합강도는 2.5분간 식각한 것이 20분 식각 시보다 2-3 배 크다고 한 바 있다. 적절한 식각 시간은 임상적으로 1분 정도가 추천되고 있다<sup>15)</sup>. Bailey와 Bennett<sup>6)</sup>은 도재 표면에 여러가지 산으로 표면처리를 실시하고 관찰한 결과 불산과 황산의 시판 용액인 Stripit가 잔여 유리상에 침투하여 효과가 가장 우수하였고 ammonium bifluoride는 불산보다 취급에 있어 덜 위험하다는 장점으로 관심을 모으고 있다. Sorensen과 Engelman<sup>66)</sup>도 불산으로 3분간 식각하면 대부분의 장식계 도재에서 결합 강도가 유의하게 증가하였다고 하였다.

한편, Lu와 Harcourt<sup>42)</sup>는 도재의 파절 강도는 레진 시멘트를 이용한 접착에 의해 변형되는데, silane coupling agent가 콤포지트 레진과 도재의 결합에 중요한 역할을 한다고 하였다. Silane이 결합에 기여하는 기전은 우선 콤포지트 레진과 도재 사이에 화학적 결합이 일어나는 것으로 설명할 수 있다. 도재 표면에서 silane의 가수분해가 일어나고 silane과 레진 사이에 공유 결합이 이루어지며, 도재의 높은 silica 함량으로 인해 silane이 콤포지트 레진과 도재 표면을 화학적으로 연결하게 하는 것이다. 또한, silane이 도재 표면의 젖음(wetting)을 촉진하여 레진 시멘트가 식각된 도재 표면의 미세 구조 내로 흘러 들어가는 것을 촉진함으로써 흠의 수와 면적을 감소시키는 것이다. Stangel과 Nathanson도 silane 처리는 unfilled resin과 비교하여 식각과 상관없이 결합 강도를 증가시킨다고 하였다. Hayakawa와 Horie<sup>30)</sup>는 도재 표면의 OH기와 반응하는 silane agent가 사용되면 콤포지트 레진과 도재 사이의 강한 접착을 위해 불산 식각을 하지 않아도 된다고 주장하였다.

접착에 의한 파절 저항의 증가는 2가지 개념으로 설명할 수 있는데, 우선, 범랑질-레진-도재 계면에서의 강한 접착력에 의해 효율적으로 스트레스가 전달될 수 있고, 둘째로, crack의 기시를 방지하기 위해 표면을 변형시키고 레진을 도포함으로써 강화 효과를 나타낸다는 개념이다. Yoshinari와 Dérand<sup>73)</sup>은 도재 수복물이 상아질에 레진으로 접착된 경우 파절 강도의 명백한 증가를 보이는 이유로서 도재면을 식각시킴으로써 흠 침부에서의 곡률 반경(radius of curvature)을 증가시키고, 둘째로 silane과 레진 시멘

트로 흠 침부를 도포함으로써 흠 침부의 스트레스를 감소시키며, 시멘트, 도재관, 치아 간의 화학적 결합으로 가장 높은 인장 응력을 받는 도재의 내면을 따라 생기는 변형(strain)을 감소시키기 때문이라고 하였다. 도재의 흠이 레진으로 도포되면 균열(crack) 기사의 가능성이 감소되는데, 흠 침부에서의 스트레스는 흠 깊이의 제곱근에 비례하고 파절선 침부의 곡률 반경의 제곱근에 반비례한다<sup>3)</sup>. Grossman은 레진 시멘트가 치아와 도재관의 계면을 따라 스트레스를 전달하는 능력이 있음을 보고하였고, 2-dimensional photoelastic study 결과 지속적 하중(constant load)에서는 응력이 분포되는 면적이 레진 시멘트의 경우가 ZPC보다 크다고 하였다.

시멘트 자체의 탄성계수도 파절 강도에 영향을 미칠 수 있다. Anusavice와 Hojjatie의 유한요소분석 연구에 따르면 높은 탄성계수를 가지는 시멘트를 사용하면 응력이 감소한다고 하였으나, 여러 연구에 의하여 ZPC에 비하여 낮은 탄성계수를 가진 레진 시멘트로 접착된 수복물에서 더 높은 파절 저항이 보고되고 있다<sup>27,45)</sup>. 이러한 현상에 대한 설명으로는 레진 시멘트가 스트레스 전달에 있어 ZPC보다 우수하고, 이는 아마도 ZPC가 표면 흠으로 침투하는데 있어 취약하기 때문이라고 생각된다.

시멘트의 피막 후경도 파절 강도에 영향을 주는 요소로 고려해야 하는데, 몇몇 연구에 의하면 전부 도재관 하방의 시멘트 피막 후경이 가장 큰 부위는 교합면 하방에 존재하며, 그 범위는 100 $\mu$ m에서 160 $\mu$ m 사이라고 하였다<sup>18,60)</sup>. 이들의 연구에 따르면 전부 도재관의 임상적인 파절 저항에 대한 시멘트 피막후경의 영향은 피막후경이 300 $\mu$ m 이하에서는 무시해도 좋을 정도라고 결론지을 수 있다. 따라서 본 실험에서는 정하중기를 이용하여 2kg의 일정한 힘으로 접착한 시멘트 피막후경은 시편간에 동일하고 도재의 파절 강도를 비교하는데 유의한 영향을 주지 않았다고 가정하였다.

본 실험의 경우 모든 시편에서 파절이 일어나는 과정에는 공통적으로 두가지 주된 파절 양상이 존재한다. 첫번째 파절 양상은 Hertzian fracture로서 스틸 구에 의한 정점 하중(point loading)시 잘 경계지어진 원형의 파절(well defined ring and cone fracture)이 일어나는데, 이는 Johnson 등<sup>35)</sup>이 설명한 Hertz theory에 의한 것으로 indenter와 실험 시편 간

에 탄성계수의 차이를 나타내는 탄성 접촉(elastic contact)에 의한 것이다. 두번째 양상의 파절은 1mm/min저속 하중(low velocity loading)에 의한 굽힘 파절(flexural fracture)로 설명할 수 있는데, 이것은 저속 하중으로 인해 도재가 굴곡되어 밀면에는 인장력이 가해지고, 이중 굽힘파절 시험(biaxial rupture test specimen)에서와 같은 양상이 일어나는 것이다.

본 실험에서는 Empress 도재 시편 제작시 열가압(heat pressing) 후 다른 열처리, 즉 layering이나 staining, glazing에 해당되는 열처리를 하지 않았다. Dong 등<sup>22)</sup>은 다량의 백류석(leucite) 결정과 유리 기질로 구성되는 이질성 도재인 이 도재의 강도가 열가압 하는 동안에 증가되고, 또한 최종 수복물 완성을 위해 추가되는 열처리 과정에서 더욱 더 증가되는 것으로 보고했다. 또한 IPS-Empress에서는 추가적인 열처리 과정에서 열팽창계수가 낮은 유리질 내에서 열팽창계수가 높은 백류석이 강화되고, 열팽창계수가 달라짐으로 해서 발생하는 내부 응력이 한 상의 파괴응력 또는 계면의 결합력보다 높지 않도록 생각되는 과정에서 냉각 속도를 조절하여 서로 분리되지 않도록 유도하면 유리기질 내에서 접선 방향의 높은 압축응력이 발생되고, 열팽창계수가 큰 백류석 결정 안으로는 방사상 인장응력이 발생되어 초기에는 두 응력이 균형을 이루다가 최종적으로 강도를 증가시키는 중요한 역할을 담당하는 것으로 보고하였다<sup>43,44)</sup>. 따라서 실제 구치부 도재관의 제작시 거치게 되는 열처리 과정을 시행하면 본 실험에서 얻어진 하중값보다 높은 파절 강도를 나타낼 것이다

1992년, Pribster<sup>57)</sup>는 새로운 두가지 전부 도재관 제품(In-Ceram, IPS-Empress)을 치관의 형태로 제작하여 합착 후 압축 강도를 측정해 본 결과, 강도 면에서 In-Ceram이 964.3N, IPS-Empress가 814.1N으로 두 시스템 간의 통계학적 유의성은 없었으며, 단순시편의 형태로 측정된 수치와는 달리 이 둘은 임상에서 비슷한 압축 강도를 발휘할 수 있음을 암시했다. 이는 IPS-Empress 내면을 식각하고 silane처리한 후 이중경화 접착성 레진으로 접착하여 내부에 기계적인 유지를 도모하고 내부로부터 발생하는 균열에 대한 저항력을 높였기 때문이었다.

실험 결과에서 도재 내면의 처리보다 상아질의 표면 처리 즉 상아질 접착 과정(dentin bonding pro-



cedure)이 접착된 도재의 파절 강도에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. Groten과 Pittbster의 실험<sup>26)</sup>에서도 IPS-Empress 전부 도재관을 스틸 다이에 다양한 방법으로 접착한 결과 다이에 부가적인 표면 처리를 행한 경우 파절 저항이 거의 2배 가량 증가하였다고 보고한 바 있다. 상아질과의 결합이 이루어지면 유지를 위해 지켜져야 하는 통상적 지대치 형성 방법의 필요성을 감소시킬 수 있다<sup>17)</sup>. 즉 통상적 금관에 비해 적은 지대치 형성량이 필요하고 얇은 shoulder, chamfer, 또는 knife edge 형태의 마무리선 즉 도재 라미네이트를 위한 지대치 형성과 유사한 변연으로 충분하다고 하였으며<sup>34)</sup>, 이러한 변연 형태는 통상적 변연보다 우수한 심미성을 제공할 수 있을 것이다. 또한, 파절되는 면이 상아질, 접착제, 도재관을 통해 연속적이므로 파절 저항이 향상된다고 생각되고 있다.

본 실험에서는 도재의 두께를 균일하게 1.5mm로 제작하였는데, 임상에서 필요한 도재의 최소한의 두께는 도재에 대한 실험 성적, 개개 환자의 최대 교합력, 개개 치아의 저작압, 지대치의 탄성계수 등의 요소에 의해 결정되어야 한다. 임상 연구에 의하면 대구치의 평균 저작력은 565N이고 소구치의 경우는 288N으로 약 2배 정도의 차이가 있다. 따라서, 실제 임상에서 구치부의 전부 도재관을 위한 지대치 형성 시 균일하게 1.5mm의 삭제를 하는 것은 바람직하지 않다고 할 수 있다. 또한, 상아질의 탄성계수는 상대적으로 낮기 때문에 도재 내면에 인장응력이 높게 분포되며 따라서 자연치에 접착되는 전부도재관은 아말감이나 비귀금속 합금에 의해 지지되는 경우에 비해 도재의 두께를 더 부여해야 할 것이다.

디스크 형태의 시편을 이용한 본 실험 결과, 임상에서 IPS-Empress 전부 도재관의 파절 강도를 극대화 하기 위해서는 접착시 상아질 접착제를 반드시 사용하고, 도재에는 식각과 silane 처리를 해야 함을 확인할 수 있었다. 그러나, 앞서 언급했듯이, 실험 상아질 시편의 탄성계수를 표준화하는 방법, 자연치를 이용한 실제적인 지대치 형태의 표준화된 형성 방법, 구강내 환경과 비슷한 하중 및 피로 조건의 부여 등이 고려되어야 하겠고, 접착 과정을 통하여 실제적으로 도재관의 두께를 얼마만큼 줄일 수 있는가에 관한 정량적인 연구도 계획되어야 할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

전부 도재관 접착시 상아질 접착제 사용과 도재 표면 처리에 따른 도재의 파절 강도를 비교하기 위하여, 상아질 접착 처리를 시행하고 도재에 불산 식각과 silane 처리를 시행한 I군, 상아질 접착 처리를 시행하고 도재에 알루미늄 분사를 시행한 II군, 마찬가지로 상아질에 대한 접착 처리를 시행하고 도재 표면 처리를 생략한 III군, 상아질 접착 처리를 생략하고 도재에 불산 식각과 silane 처리를 시행한 IV군으로 나누어 이중경화 레진 시멘트로 접착하고, 500회의 thermocycling을 시행한 후, 도재의 파절 강도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실험군 중, I군이 가장 높은 하중에서 파절이 일어났고, 그 다음은 II군, III군, IV군의 순으로 높은 파절 하중 값을 나타내었다.
2. 상아질 접착 과정을 동일하게 시행한 I, II, III군의 경우, 식각과 silane 처리를 한 I군이 표면 처리를 하지 않은 III군에 비해 유의할 만한 높은 강도를 나타냈고( $p < 0.05$ ), II군과 III군 사이, I군과 II군 사이에서는 통계적으로 유의성 있는 차이는 나타내지 않았다( $p > 0.05$ ).
3. 도재에 불산 식각과 silane 처리를 한 I군과 IV군 중, 상아질 접착 과정을 시행한 I군이 상아질 접착 과정을 하지 않은 IV군 보다 유의성 있게 높은 파절 강도를 나타내었다( $p < 0.05$ ).

## 참 고 문 헌

1. Aida M, Hayakawa T. Adhesion of composite to porcelain with various surface conditions. *J Prosthet Dent* 1995 ; 73: 464-70.
2. Anagnostopoulous T, Eliades G. Composition, reactivity and surface interactions of three silane primers. *Dent Mater* 1993 ; 9 : 182-90.
3. Anusavice KJ, Hojjatie B. Tensile stress in glass ceramic : Effect of flaws and ceramic voids. *Int J Prosthodont* 1992 ; 5 : 351-8.
4. Anusavice KJ. Recent developments in restorative dental ceramics. *J Am Dent Assoc* 1993 ; 124 : 72-82.

5. Asmussen E, Munksgaard EC. Bonding of restorative resins to dentin promoted by aqueous mixtures of aldehydes and monomers. *Int Dent J* 1985 ; 35 : 160-5.
6. Bailey LF, Bennet RJ. Dicor surface treatment for enhanced bonding *J Dent Res* 1988 ; 67 : 925-31.
7. Bailey LF, Bennett RJ. Two year bond results of DICOR/LA cement system[abstract]. *J Dent Res* 1989 ; 68 : 393.
8. Beham G. IPS-Empress : A new ceramic technology. *Ivoclar Vivadent Report* 1990 ; 6 : 1-13.
9. Bowen RL. Bonding of restorative materials to dentin: The present status in the United States. *Int Dent J* 1985 ; 35 : 155-9.
10. Boyajian GK, Hart HI, Sausen RE. The Dicor inlay/onlay-Case report and summary of advantages. *W Virginia Dent J* 1988 ; 62 : 9.
11. Breker SC. Porcelain baked to gold. A new medium in prosthodontics.
12. Buonocore M. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955 ; 34 : 849-53.
13. Calamia JR, Simonsen RJ. The effect of coupling agents on bond strength of etched porcelain[abstract]. *J Dent Res* 1984 ; 63 : 179.
14. Chales RJ. Static fatigue of glass. *I J Appl Physiol* 1958 ; 29 : 1549-53.
15. Chen JH. Matsumura. Effect of different etching on the bond strength of a composite resin to a machinable porcelain *J Dent* 1998 ; 26 : 53-8.
16. Crocker WP. The cementation of porcelain jacket crowns with adhesive resins. *Br Dent J* 1992 ; 172 : 64-7.
17. Crothers AJR, Wassell RW, Allen R. The resin-bonded porcelain crown: A rationale for use on anterior teeth. *Dent update* 1993 ; 20 : 388-95.
18. Davis DR. Comparison of fit of two types of all-ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1988 ; 59 : 12-6.
19. De Boeyer JA, McCall W, Holden S, Ash MM. Functional occlusal forces: An investigation by telemetry. *J Prosthet Dent* 1978 ; 40 : 326-33.
20. Diaz-Arnold AM, Aguilino SA. An evaluation of the bond strengths of four organosilane materials in response to thermal stress. *J Prosthet Dent* 1989 ; 62 : 257-60.
21. Doering J, Jensen MT, Sheth J, Tolliver D, Chan D. Fracture resistance of resin-bonded etched porcelain full veneer. *Int Dent J* 1985 ; 35 : 155-9.
22. Dong JK, Luthy H, Wohlwend, and Scharer, P. Heat-pressed ceramics : Technology and Strength : *Int J Prothodontics* 1992 ; 5 : 9-16.
23. Doyle MG, Goodacre CJ, Andres CJ. The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crown: Part 3. *Int J Prosthodont*. 1990 ; 3 : 327.
24. Eden GT, Kacicz JM. Dicor crown strength improvement due to bonding [abstract]. *J Dent Res* 1987 ; 66 : 207.
25. Fiedlander LD, Munoz CA, Goodacre CJ, Doyle MG, Moor BK ; The effect of tooth preparation design on breaking strength of Dicor crowns: Part 1. *Int J Prosthodont* 1990 ; 3 : 159.
26. Grossman DG, Nelson JW : The bonded Dicor crown [abstract]. *J Dent Res* 1987 ; 66 : 206.
27. Grossman DF. Photoelastic examination of loaded crown interface[abstract]. *J Dent Res* 1989 ; 68 : 271.
28. Groten M, Pröbster L. The influence of different cementation modes on the fracture resistance of feldspathic ceramic crowns. *Int J Prothodont* 1997 ; 10 : 167-77.
29. Harvey CK, Kelly JR. Contact damage as a

- failure mode during in vitro testing. *J Prosthodont* 1996 ; 5 : 95-100.
30. Hayakawa T, Horie K. The influence of surface conditions and silane agents on the bond of resin to dental porcelain. *Dent Mater* 1992 ; 8 : 238-40.
  31. Holt M, Bertolotti RL, Lacy AM. Bond strength to laboratory fabricated laminate veneers (abstract). *J Dent Res* 1986 ; 65 : 314.
  32. IPS-Empress manual. Ivoclar Com, Schaan, Liechtenstein.
  33. Jen TW, Effect of acid etching on the flexural strength of a feldspathic porcelain and castable glass ceramic. *J Prosthet Dent* 1993 ; 70 : 238-40.
  34. Jensen ME, Sheth JJ, Tolliver D. Etched porcelain resin-bonded full-veneer crowns. In vitro fracture resistance. *Compend Contin Educ Dent* 1989 ; 10 : 336-47.
  35. Johnson KL, O' conner JJ, Woodward AC. The effect of the indenter elasticity on the Hertzian fracture of brittle materials. *Proc R Soc Cond A* 334 : 95-117.
  36. Jordan RF. *Esthetic composite bonding*. Philadelphia : BC Decker, 1987.
  37. Kato H, Matsumura H. Bond strength and durability of porcelain bonding systems. *J Prosthet Dent* 1996 ; 75 : 163-8.
  38. Kelly JR, Giordano R, Pobir R, Michael J. Fracture surface analysis of dental ceramics: clinically failed restorations. *Int J Prosthodont* 1990 ; 3 : 430.
  39. Kern M, Doglas WH, Fechtig T, Strub JR, Delong R. Fracture strength of all-porcelain. Resin bonded bridges after testing in an artificial oral environment. *J Prosthet Dent* 1993 ; 21 : 117.
  40. Kingery WD, Bowen HK, Uhlmann DR. *Introduction to ceramics*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons. 1996 ; 768-814.
  41. Land CH. A new system of restoring badly decayed teeth by means of an enameled metallic coating. *Independent Practitioner* 1986 ; 7 : 407.
  42. Lu R, Harcourt JK, Tyas MA. An investigation of the composite resin/porcelain interface. *Aust Dent J* 1992 ; 37 : 12-9.
  43. Mackert JR, Russell CM. Leucite crystallization during Empress processing (abstract). *J Dent Res* 1995 ; 74 : 166.
  44. Mackert JR, Russell CM. Leucite crystallization during processing of a heat pressed dental ceramic. *Int J Prosthodont* 1996 ; 9 : 261-5.
  45. Malament KA, Grossman DG. Clinical application of bonded Dicor crowns. A two year report (abstract). *J Dent Res* 1990 ; 69 : 199.
  46. Malament KA, Grossman DG. Bonded vs non-bonded Dicor crowns: Four year report (abstract). *J Dent Res* 1992 ; 71 : 321.
  47. Matsumura H, Kato M. Shear bond strength to feldspathic porcelain of two luting agents in combination with three surface treatment. *J Prosthet Dent* 1997 ; 70 : 511-7.
  48. Matsumura H, Kawahara M. A new porcelain repair system with silane coupler, ferric chloride, and adhesive opaque resin. *J Dent Res* 1989 ; 68 : 813-8.
  49. McInnes-Ledoux PM, Ledoux WR, Weinberg R. A bond strength study of lutable castable ceramic restorations. *J Dent Res* 1989 ; 68 : 823-5.
  50. Mclean JW, Hughes TH. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br Dent J* 1965 ; 119 : 251-67.
  51. Mclean JW. *The science and art of dental ceramics Vol II*. Chicago Quintessence publishing 1980 ; 21-2, 38-9.
  52. Myerson RL. Effect of silane bonding of acrylic resin to porcelain on porcelain structure. *J Am Dent Assoc* 1969 ; 78 : 113-9.
  53. Nathanson D. Etched porcelain restorations for improved esthetics. Part II: Onlays. *Compend Contin Educ Dent* 1987 ; 8 : 105-10.

54. Nordbo H, Rygh T, Henaug T. Clinical performance of porcelain laminate veneers without incisal overlapping : 3-year results. *J Dent* 1994 ; 22 : 342-5.
55. Petrouvic JJ, Mendiratta MG. Fracture from controlled surface flaws. In : *Fracture mechanics applied to brittle materials*. ASTMSTP 678. Freiman SW, editor. Philadelphia : American Society for Testing and Materials pp 83-102.
56. Prater RC, Burgess JO, Schwaiz RS, Smith JH. Evaluation of bond strength of six porcelain repair system. *J Prosthet Dent* 1989 ; 62 : 11-3.
57. Pröbster L : Compressive strength of two modern all ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 1992 ; 5 : 409.
58. Retief DH, Dentin bonding agents: A deterrent to microleakage? In: Anusavice KJ(ed). *Quality Evaluation of Dental Restorations Criteria for Placement and Replacement*. Chicago: Quintessence 1989 : 185-98.
59. Richards MW, Kelly JR. Indentation strength of unpressed and pressed Empress disk (abstract). *J Dent Res* 1994 ; 74 : 159.
60. Scherrer SS, Mojar P, Belser UC, Meyer JM. The Vita Hi-ceram crown system: A clinical and laboratory investigation (abstract). *J Dent Res* 1988 ; 60 : 214.
61. Scherrer SS, de Rijk WG. The fracture resistance of all-ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. *Int J Prosthodont* 1993 ; 6 : 462-7.
62. Scherrer SS, de Rijk WG, Belser UC. Fracture resistance of three all-ceramic crown systems compared to extracted teeth (abstract). *J Dent Res* 1994 ; 53 : 120 711.
63. Scherrer SS, de Rijk WG, Belser US, Meyer JM. Effect of cement film thickness on the fracture resistance of a machinable glass-ceramic. *Dent Mater* 1994 ; 10 : 172-7.
64. Shinohara N, Minesaki Y, Mukoyoshi N, Moriyama, Jimi T. The effect of the cementing material on the strength of the all-ceramic crown. *J JPN Prosthodont S* 1989 ; 33 : 416.
65. Simonson RJ, Calamia JR, Tensile bond strength of etched porcelain (abstract). *J Dent Res* 1983 ; 62 : 297.
66. Sorensen JA, Engelman MJ. Shear bond strength of composite to porcelain. *Int J Prosthodont* 1991 ; 4 : 17-23.
67. Sorenson JA, Kang SK, Avera SA. Microleakage of composite to various porcelain surface treatments(abstract). *J Dent Res* 1990 ; 69 : 359.
68. Stangel I, Nathanson D, Hsu CS. Shear strength of the composite bond to etched porcelain. *J Dent Res* 1987 ; 66 : 1460-5.
69. Thompson JY, Anusavice KJ. Effect of surface etching on the flexure strength and fracture toughness of Dicor disk containing controlled flaws. *J Dent Res* 1994 ; 73 : 505-10.
70. Tsai YL, Petsche DE, Anusavice KJ, Yang MC. Influence of Glass-ceramic thickness on Hertzian and bulk fracture mechanisms. *Int J Prosthodont* 1998 ; 11 : 27-32.
71. Uctasli S, Wilson HJ, Unterbrunk G, Zaimoglu A. The strength of a heat-pressed all-ceramic restorative material. *J. Oral Rehabilitation* 1996 ; 21 : 257-61.
72. Wohlwend A, Scharer P. The empress technique *Quintessenz Zahntech* 1990 ; 16 : 966
73. Yohinari M, Derand T. Fracture strength of all-ceramic crowns. *Int J Prosthodont* 1994 ; 7 : 329-37.

ABSTRACT

**THE EFFECT OF SURFACE TREATMENT ON FRACTURE  
STRENGTH OF DENTAL CERAMICS**

Shin-Won Lee, D.D.S., Sun-Hyung Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Jae-Ho Yang, D.D.S., M.S.D., Ph. D., Hun-Young Chung, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University*

The major influencing factors on the strength of all-ceramic crowns are types of dental ceramics, fabrication techniques, methods of abutment preparation and cementation modes of all-ceramic restorations. Zinc phosphate cement and glass-ionomer cement were used as an early luting media for all-ceramic crowns. Recently many studies have reported that resin cements have more advantages in increasing the fracture strength of restorations comparing with zincphosphate cement and glass-ionomer cement.

The purpose of this study is to investigate the effect of etching, silane treatment, sandblasting and dentin bonding agents on fracture strengths of dental ceramics.

40 flat dentin specimens and 40 ceramic discs of 1.5mm thickness and 8mm diameter were fabricated, and divided into 4 groups according to surface treatments. Surface treatments before cementation were as follows.

- Group I : (ceramic) : HF etching - silane treatment - application of bonding resin  
(dentin) : application of dentin bonding agent
- Group II : (ceramic) : sandblasting - application of bonding resin  
(dentin) : application of dentin bonding agent
- Group III : (ceramic) : application of bonding resin  
(dentin) : application of dentin bonding agent
- Group IV : (ceramic) : HF etching - silane treatment - application of bonding resin  
(dentin) : no dentin bonding procedure

Dentin specimens and ceramic discs were cemented with dual cure resin cement, and went through thermocycling. Compressive stresses were loaded on the centers of ceramic discs with Instron testing machine, and fracture strengths resistance for catastrophic fracture were measured. The results were as follows.

1. The group I showed the highest fracture resistance. The next was group II. And group III, IV followed.
2. There was a significant difference in the mean value of fracture strengths between group I and group III ( $p < 0.05$ ), but no significant differences between group I and group II, and group II and group III ( $p > 0.05$ ).
3. There was a significant difference in the mean value of fracture strengths between group I and group IV ( $p < 0.05$ ).

---

**Key words :** All-ceramic restoration, HF etching, Silane, Resin cement, Dentin bonding agent