

## IPS Empress 도재관의 파절강도 : 하악 제2소구치에서 교합면 두께와 측면 경사도에 따른 영향

원광대학교 치과대학 보철학교실, 치과생체재료학교실\*

김희진 · 이해형\* · 남영성 · 동진근

### I. 서 론

최근 들어 환자들의 심미적 욕구가 문화와 생활수준에 맞추어 지속적으로 높아지면서 거의 모든 치과 치료계획 수립과정에서 심미적인 요인은 가장 중요한 고려사항이 되었다.

현재 사용되고 있는 심미적으로 가장 만족스러운 수복물 중의 하나인 전부도재관은 생체 적합성이 우수하고 자연치질과 유사한 투과성을 가져, 잘 제작된 전부도재관은 인접 자연치와 구별하기가 어렵다. 그러나, 전부도재관은 자연치에 가까운 빛의 투과도를 가지는 심미적인 장점에도 불구하고 파절의 위험성이 크기 때문에<sup>1)</sup> 심미성이 요구되는 부위의 수복에 적극적으로 활용하지 못하였으며 이를 극복하기 위해 파절강도를 높이려는 노력이 지속적으로 연구되어왔다. 그 결과 최근에는 수종의 전부도재관 제품들이 적합성과 심미성 그리고 강화된 파절강도를 강조하면서 소개되기 시작하면서 전치부는 물론 구치부까지 사용가능 하도록 하였으며, 증가된 파절강도는 전부도재관의 임상적 사용을 가속시키는 계기가 되었다.<sup>2)</sup>

1990년 Zürich 치과대학에서 개발하여 Ivoclar사에 의해 상품화된 IPS Empress는 다양한 색조의 결정화된 잉곳(ingot)를 녹여 열가압 과정을 통해 성형하는 방법으로 제작이 간편하고 변형이 적은 왁스 소환법을 기초로 하고 있다 이 방법의 장점으로 자연치와 유사한 투명도와 마모도를 얻을 수 있으며, 우수한 형태 재현성과 변연 적합도를 보이며, 각 환자

의 상아질 색상에 맞는 레진 다이(die)가 다양한 색상으로 이루어져있기 때문에 색조재현성이 우수하고 복합 레진시멘트를 접착제로 사용할 경우 강도 또한 우수하다.<sup>3,7)</sup> IPS Empress는 도재의 소성과정에서 발생하는 수축을 최소화하기 위한 방법으로 미리 결정화시킨 글라스도재를 열과 압력을 가하여 성형하는 열가압법(heat-press technique)을 사용한다.

IPS Empress가 이러한 안정된 파절강도를 얻을 수 있는 요인은 회사에서 미리 잉곳(ingot)상태로 만들기 위한 소결 과정에서 형성된 약 40 vol.%의 백류석 결정들이 열가압성형 시 용융되어 좁은 주입선을 통과할 때 일어나는 결정들의 재분산과 최종 수복물의 완성을 위해 가해지는 몇 차례의 열처리에 의해 백류석이 강화 되었기 때문이다. 즉 유리기질 내에 백류석 결정이 고르게 분산되면 균열편향이 찾아지면서 파절을 위해 더 많은 에너지가 필요하게 되고<sup>8)</sup> 열처리에 의해 증가 된 백류석 결정이 유리기질에 비해 상대적으로 더 높은 열 팽창계수를 보유함으로써 냉각 시 더욱 빨리 수축 되므로 백류석 주변 기질에서 접선방향의 압축응력이 발생되고 이러한 압축응력은 균열에 대한 강한 저항력을 제공하게 된다.<sup>9)</sup>

전부도재관의 강도는 주로 도재의 종류 및 도재관의 제작방법, 치아형성 방법과 치아와 도재관의 접촉 방법에 많은 영향을 받는다. 특히 치과의사에 의해서 이루어지는 치아 형성 시 교합면과 측면의 삭제량, 측면의 경사도 그리고 변연 형성방법이 도재의 강도에 영향을 미친다.<sup>10)</sup>

일반적으로 IPS Empress system에서는 전부도재관을 위한 치아 형성 방법으로 교합면 삭제량은 1.5mm, 측면 경사각은 10°, 변연은 1mm 폭의 rounded shoulder를 추천하고 있다.<sup>3)</sup>

Friedlander 등<sup>7)</sup>은 변연 형성방법과 측면 경사도가 Dicor도재관의 파절강도에 미치는 영향에 대한 연구에서 1.2mm폭의 shoulder 변연과 10°의 측면 경사도에서 가장 높은 파절강도를 얻었다고 보고하였다. 김 등<sup>20)</sup>은 IPS Empress system을 이용한 도재관의 변연형태에 따른 파절강도를 연구하였고 rounded shoulder에서 파절강도가 가장 높게 나타났음을 보고 하였다. 동 등<sup>10)</sup>은 상악 제1 소구치에서 교합면 두께와 측면 경사도에 따른 IPS Empress 도재관의 파절강도에 대한 연구에서 교합면 두께 2.5mm, 측면 경사도 12°인 경우가 630 N으로 가장 높은 강도를, 교합면 두께 1.5mm 측면 경사도 4°인 경우가 378 N으로 가장 낮은 강도를 보였다고 보고하였다.

본 연구는 하악 소구치에서 치아 형성방법이 도재관의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 하악 제2소구치의 교합면 두께와 측면 경사도를 달리한 IPS Empress 도재관을 제작하고 파절 강도를 측정하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 실험용 금속 다이 제작

기본 모형 제작을 위해 하악 우측 제2소구치 경질 레진치 (Columbia Co., USA)를 이용하여 치아 형성을 하였는데 교합면은 guiding groove를 형성한 후 사면에 따라 1.5mm의 두께가 되도록 균일하게 삭제했고, 측면 경사각은 4°가 되게 하였으며 변연은 1.0mm 폭의 rounded shoulder로 형성하여 백아법 량 경계의 1mm 상방에 위치시켰다.

실리콘 인상재(Exaflex, GC, Japan)와 다이 제작용 레진(Epoxy Die, Ivoclar, Liechtenstein)을 이용하여 기본 모형을 복제하고 교합면은 각각 2.0mm, 2.5mm, 측면은 각각 8°, 12°가 되도록 추가로 삭제하여 교합면삭제 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 측면경사 4°, 8°, 12°로 구분하여 각군당 1개씩 모두 9개의 주모형을 제작하였다.

이상의 방법으로 제작된 각각의 주모형을 인상 채

득하고 납형을 얻어 니켈 크롬 합금(Rexillum, Jeneric/Pentron III, USA)으로 9개군을 각 군당 10개씩 총 90개의 실험용 금속 다이를 제작하였다.

### 2. IPS Empress 도재관 제작

도재관의 제작을 위하여 실험용 금속 다이로부터 실리콘 인상재와 초경석고를 이용하여 석고모형을 제작하였다. 석고모형에 die spacer를 제조회사의 지시에 따라 바르고 왁스(Green inlay casting wax, hard-type, Kerr, USA)로 납형을 제작하였는데, 납형이 동일한 외형과 두께를 갖도록 인상재를 이용하여 몰드(mold)를 만들고 연화된 왁스를 부어 납형을 복제하였다. 복제된 납형은 매몰 하였는데, 이때 납형 간의 거리는 3mm 이상, 매몰 링(paper ring)과 납형과의 거리는 10mm, 왁스 주입선의 직경은 3mm, 길이는 10mm가 되도록 하였고 납형의 교합면과 주입선이 이루는 각도는 45°가 되도록 하였다.

매몰재의 혼합 방법은 IPS Empress 매몰재 액과 증류수 그리고 매몰재 분말의 비율이 3ml : 12ml : 200g이 되도록 정확한 양을 계측하여 진공 혼합법으로 60초간 혼합하고 매몰링 하단부터 매몰재를 채웠다. 매몰재가 완전히 경화된 후 매몰링 기저부와 매몰링을 제거하고 매몰체의 기저부를 다듬었다.

매몰체와 세라믹 잉곳 그리고 alox plunger를 소환로에 넣고 실온에서 부터 시작하여 분당 5°C 씩 온도를 높여 250°C에서 30분간 계류시키고 다시 온도를 높여 850°C에서 90분간 계류시켰다. 700°C 까지 예열된 특수한 소환로(IPS Empress EP500 press furnace, Ivoclar, Liechtenatein)에서 IPS Empress 세라믹 잉곳(01)을 열가압 하였다.

가압 과정이 끝난 매몰체를 소환로에서 꺼내 실온까지 식힌 후, 50 $\mu$ m의 glass bead(Shofu Co., Japan)를 이용하여 펜 블라스터로 매몰재를 제거하였다. 도재관의 외형을 다듬은 후, 1회의 staining과정과 2회의 glazing과정을 거쳐 IPS Empress도재관을 완성하였다.

### 3. IPS Empress 도재관과 금속 다이의 합착

제작된 도재관은 각각의 금속모형과 복합 레진시멘트(Bistite resin cement, Tokuyama Soda Co.

LTD., Japan)를 사용하여 합착하였다. 합착에 앞서 도재관의 내면을 IPS Empress etchant를 이용하여 1분간 산 부식시키고, 증류수내에서 초음파 세척기로 수세를 시행하고 silane 처리 하였으며 금속모형의 피착면은 샌드블라스터로 표면 처리하였다.

동일한 양의 레진시멘트 A와 B를 제조회사의 지시대로 혼합하여 도재관 내면과 금속모형에 풀고루 바르고 압접한 후 여분의 시멘트를 붓으로 제거하였다. 일정한 힘을 가하기 위하여 10kg의 정하중기를 사용하였으며, 레진시멘트의 경화를 위해 15초 동안 광중합을 시행하였고 접착이 완료된 도재관은 37℃의 증류수에 24시간 보관하였다.

#### 4. 파절강도 측정

준비된 시편은 만능시험기(Z020, Zwick, Germany)를 사용하여 강도를 측정하였다. 치아의 장축이 30 경사진 상태로 유지될 수 있도록 금속 jig를 제작하여 금속모형을 넣고, 반경이 5mm인 반원형 봉 형태를 지닌 금속 기구를 이용하여 도재관의 기능 교두인 협측 교두의 설측 경사면 중앙부위에 하중이 가해지도록 하였다. 만능시험기의 시험속도는 1.0mm/min로 도재관이 파절될 때까지 하중을 가했다. 시편의 최대 파절강도는 만능시험기와 연결된 컴퓨터를 이용하여 측정하였다.

#### 5. 자료의 분석

측정결과는 SPSS program을 이용하여 이원 분산 분석(Two-way ANOVA)를 실시하였다. 한편 도재와 같이 분산이 큰 파절강도의 다양성을 확률 통계적으로 분석하기 위하여 Weibull 분석을 실시했다. 동일 조건하에 결과를 크기 순으로 배열할 때 파절강도  $\sigma$  인 재료가 이 응력하에서 파괴될 확률(Pf)은 다음과 같은 공식으로 계산되었다.

$$Pf = 1 - \exp [-(\sigma/\sigma_0)^m]$$

m : Weibull계수,

$\sigma_0$  : 특성강도(Characteristic Strength)

이 공식을  $\ln [1/(1-Pf)]$  와  $\ln \sigma$ 의 관계로 변환시킨 후, 파괴확률과 강도의 관계로 도시하였으며, 회기분석에 의해 Weibull계수(m)와 특성강도값( $\sigma_0$ )을 구하였다.

### Ⅲ. 연구성적

#### 1. 파절강도

IPS Empress 도재관의 평균 파절강도는 합면 두께 2.5mm, 측면경사도 12°의 경우가 1284 N으로 가장 높게 나타났으며, 교합면 두께 1.5mm, 측면 경사도 8인 경우가 951N으로 가장 낮게 나타났다(Table 1, Fig. 1). Two-way ANOVA test를 시행한 결과 교합

**Table 1.** Mean fracture strength and result of Weibull analysis according to the occlusal depth and axial inclination

Axial inclination	Occlusal depth(mm)	Mean(N)	SD	m-value	$\sigma_0$
4°	1.5	1017	149	6.74	1084
	2.0	1042	216	4.38	1142
	2.5	1087	170	6.14	1165
8°	1.5	951	215	4.32	1042
	2.0	1124	174	5.44	1216
	2.5	1255	243	4.80	1367
12°	1.5	1020	185	5.02	1108
	2.0	1011	193	5.02	1097
	2.5	1284	245	5.01	1394

m-value : Weibull modulus       $\sigma_0$  : Characteristic strength(N)

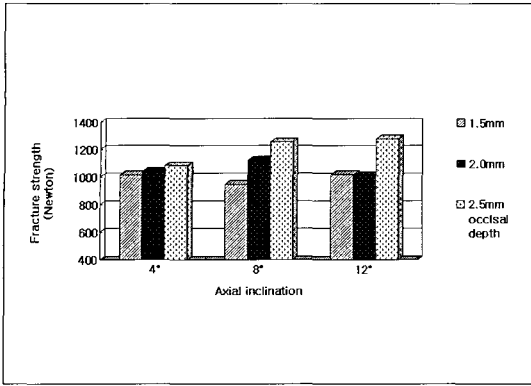


Fig. 1. Fracture strength according to the occlusal depth and axial inclination.

면 두께는 파절강도에 유의한 영향을 주었으나 ( $p < 0.05$ ), 경사도는 파절강도에 유의하게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 한편 파절강도에 미치는 두 인자의 상호작용의 유의성은 없었다. 따라서 일정한 교합면 삭제량에서 측면경사도는 Empress 치관의 파절강도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 (Table II). 한편 Weibull 분석 결과 파절강도의 분포는 큰 차이를 보이지 않았다 (Table I, Fig. 2).

## 2. 파절 양상

IPS Empress 도재관의 파절 양상은 교합면 두께와

Table II. Analysis of variance of fracture strength affected by taper and thickness

	freedom	Degrees of squares	Sum of square	Mean F	P
Taper	2	69538.356	34769.178	.858	.4278
Thickness	2	718412.794	359206.397	8.886	.0003
Taper					
x thickness	4	255539.252	63884.813	1.577	.1884
Residual	81	3281856.824	40516.751		

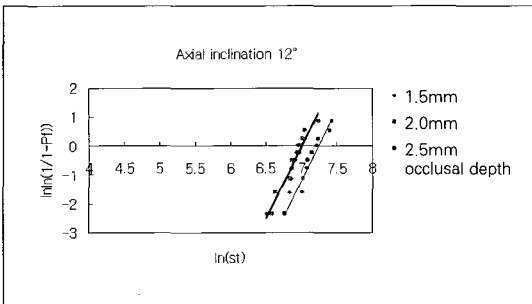
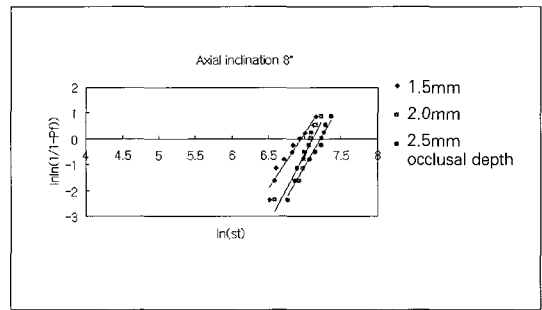
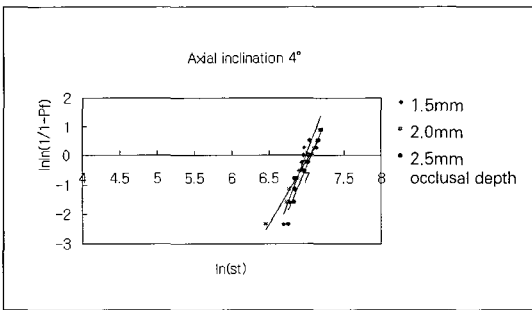
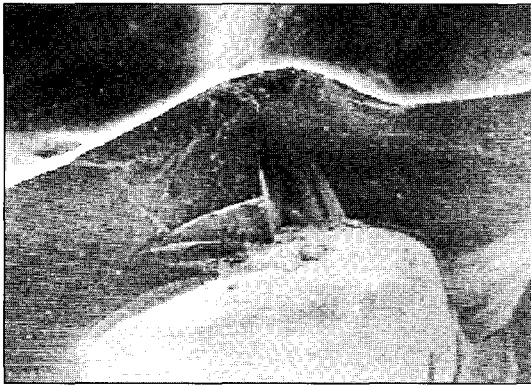
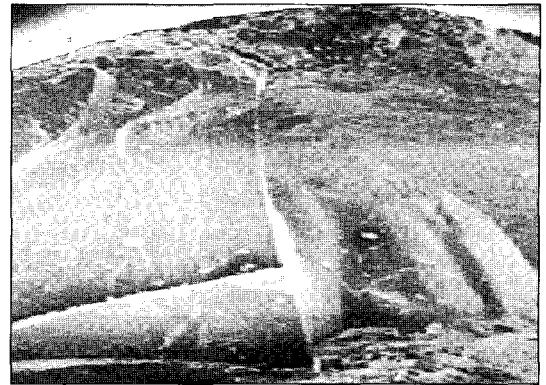


Fig. 2. Weibull plots of mean fracture strength according to the occlusal depth and axial inclination.



a (×20)



b (×50)

**Fig. 3.** SEM photograph of the fractured surface of the IPS Empress crown. Fracture initiated from the crown-die interface just below the loading site.

경사도 차이에 관계없이 유사한 형태로 하중이 가해진 협측교두의 설측 경사면 중앙부위 직하방에 수직적인 파절선이 나타났고(Fig. 3), 도재관의 파절은 변연 부위까지 일어났다.

#### IV. 총괄 및 고안

도재는 자연치와 유사한 광학적 특징을 가져 심미적이며 우수한 생체적합성을 가지나 취성이 크고 낮은 파절 저항성을 가져 임상에서의 사용이 위축되어 왔다. 수복물의 강도를 증가시키기 위해 도재의 하부 구조물로서 금속을 강화한 금속-도재 수복물이 널리 이용되어 왔으나<sup>11)</sup>투명도, 빛의 투과성, 산란 및 굴절 등이 자연치와 달라서 심미적으로 완전히 만족시키지 못하여<sup>12,13)</sup>심미성과 강도가 개선된 전부도재관 시스템에 대한 관심이 증가되고 있다.

근래에 개발된 대부분의 도재관 재료 및 제작 방법은 치아의 교합력을 견딜수 있는 충분한 강도를 지녔으며 최근 더욱 심미적이고 제작과정이 비교적 간단한 전부도재관 시스템이 많이 개발되어 임상에 사용되고 있다.

In-Ceram은 알루미늄으로 형성된 코어에 유리를 침투시켜 결정화하는 유리침투 도재계(glass infiltration ceramic system)으로서 강도가 증가되어 전치부위 고정성 국소의치로 사용이 가능하게 되었다.<sup>14,15)</sup>

Hi-ceram, Optec, Vintage<sup>16)</sup> 등은 도재를 내화모형상에서 축성하여 도재소성하는 내화모형계(refrac-

tory die system)로 특수한 장비가 필요하지는 않지만 제작과정이 복잡하다.

Dicor<sup>17)</sup>, Cerapearl<sup>18)</sup>, Olympus castable ceramics 등은 납형을 매몰하고 소환시키고 유리를 주조하여 제작하는 주조형 유리도재계(castable ceramic system)로 비교적 제작방법이 간편하다.

IPS-Empress system은 납형을 매몰하고 소환시킨 후 미리 결정화시킨 유리-세라믹을 열가압, 성형하는 시스템으로 약10년 이상을 성공적으로 사용하고 있다.

도재의 파절의 원인에 대하여 Kelly 등<sup>19)</sup>은 내면의 특정 부위에 인장응력이 과도하게 집중되거나 제작과정의 오류로 인하여 도재관 내면에 결합부위가 발생되어 일어나는 것으로 분석하였으며, Anusavice<sup>20)</sup>도 도재관의 기공이 있는 곳이나 결합 부위에 응력이 집중된다고 하였다. 도재 내부의 기포나 표면의 미세한 균열 등 흠집에서 시작되는 빠르고 연속적인 파절(propagation)이 발생하는데 현실적으로 이러한 흠집을 완벽하게 제거하기 어렵기 때문에 도재는 일반적으로 낮은 인장강도를 가지게 된다. 이러한 단점을 보강하기 위해 작은 crystal을 도재 구조물내에 첨가하거나 생성시키는 등 여러 가지 도재 강화기법을 이용하고 있다. Hi-ceram 등은 고강도 알루미늄을 유리 속에 분산시켜 도재를 강화시키고 Dicor ceramic은 유리를 주조한 후에 열처리 과정을 통한 결정화로 도재를 강화시키고 In-ceram은 저융점의 유리를 높은 온도에서 소결된 알루미늄 코어에 침적

시켜 도재를 강화한다.<sup>21-23)</sup>

본 연구에서 사용한 IPS Empress는 금속관 제작방법과 같이 왁스를 소환하여 얻어진 치아 몰드 내로 높은 열로써 도재를 점액성으로 녹인 후 강한 압력으로 압출 성형시키는 열가압 제작법(heat-press technique)을 활용하게 된다.<sup>3)</sup> 즉 미리 납형을 원하는 형태로 만들어 이를 매몰하고 예열 시킨 뒤, 미리 색상화 되어 있으면서 예열에 의해서 백류석(leucite)이 더욱 강화되는 ingot 형태의 도재를 녹여 EP500 소성로에서 열가압 시킨 후, 적절한 냉각을 거쳐 매몰재를 제거하고 내면과 외형을 다듬어서, 심미성과 형태가 우수한 수복물을 동시에 얻게 되는 간편한 술식이다. 이 시스템의 장점은 첫째, ingot이 자연치와 유사한 투명도를 갖고, 각 개인의 상아질 색상에 맞게 색상화 되어 있는 도재 코어를 사용하며, 반복 채색작업이 가능하기 때문에 심미성이 매우 우수한 점이고 둘째, 높은 압력으로 응축되므로 내부구조가 치밀해지고 기포가 적어 유리-도재계 보다 높은 굴곡 강도를 갖는다는 점이며 셋째, 미리 부분적으로 결정화된 ingot을 열가압 함으로써 소성으로 인한 수축이 최소화되고, 변연을 왁스로 직접 마무리하는 왁스 소환법을 이용함으로써 변연의 적합성이 우수한 점이다. 또한 기본재료인 ingot과 glazing 재료가 자연치아와 유사한 마모도를 보유하고 있으며<sup>24,15,25)</sup> 착색법을 활용할 경우, 도재 축성 대신에 전체적인 외형을 갖춘 납형을 만들어 왁스 소환법으로 얻어진 치아 몰드 내로 용융된 ingot을 주입시켜 적절한 형태의 수복물을 일시에 얻게 되므로 제작이 용이하다.

IPS Empress 도재관이 다른 전부 도재관에 비하여 안정된 파절강도를 보이는데 압출법을 사용함으로써 기존의 축성 도재보다 도재 내 기포와 기공이 적게 형성되어 균열에 대한 저항력이 높아지게 되고, 임상에서 레진 시멘트로 자연치아에 합착되므로 파절의 기시부가 될 수 있는 피착면 내부 미세 균열이 시멘트로 채워지게 되어 치아에 기계적, 화학적 결합을 이루기 때문이다.

IPS Empress 시스템은 파절강도 증가가 두 단계로 진행되는데 일차증가는 유리-도재계인 이 세라믹이 용융되어 중심이 바깥층 보다 빠른 흐름을 보이는 용융도체인 점액성 흐름현상과 갑자기 좁은 주입선을 통과하게 되는 기계적 쉬임을 통해 기질 내에서

강화상으로 작용하는 내부 결정들이 더욱 고르게 분산되기 때문이다.

Seghi와 Sorensen<sup>26)</sup>은 이러한 유리기질내의 결정들의 역할을 균열선단 상호작용(crack-tip interaction), 균열선단 보호화(crack-tip shielding), 균열교화(crack bridging) 등으로 설명하였는데 이 기전은 내부의 강화된 결정화 기질(crystalline matrix)로 인해 균열 편향의 꺾임이 더욱 잦아져 강도 증가가 일어나며 이러한 결정상(crystalline phase)의 양과 특성이 도재의 물리적, 시각적, 기계적 성질을 조절하는데 중요한 역할을 하며, 이 결정성 입자들이 도재 내에서 균열의 파급을 저지하여 파절에 대한 높은 저항을 갖게 된다고 하였다.<sup>27-29)</sup>

두 번째 단계로 열처리 과정에서 백류석이 증가되어 유리-도재 내부의 열팽창계수가 달라지게 되는데 이로 인해 내부에 응력이 형성되어 이 응력이 한 상(phase)의 파괴응력 또는 계면의 결합력보다 높아 냉각되는 과정에서 이들을 서로 분리시키지만 않는다면 상대적으로 낮은 열팽창률을 보이는 유리기질 내에서 접선방향의 높은 압축응력이 발생되고, 열팽창이 큰 백류석 결정상 안으로 방사상 인장응력이 발생되어 이차적으로 파절강도를 증가시키는 중요한 역할을 담당하게 되는 것이다.<sup>30)</sup>

결과적으로 IPS Empress 시스템은 제조회사에서 미리 소결시켜서 제작한 ingot 내의 약 40 vol.%의 결정들이 용융된 후 점액성 흐름으로 좁은 주입선을 통과하면서 발생하는 결정들의 재분산과 수복물의 완성을 위해 꼭 필요한 몇 차례 열처리를 통해 유리기질에 비해 열팽창률이 큰 약 1-5 $\mu$ m의 백류석 결정들의 균일한 성장과 생성으로 재편성된 내부응력으로 높은 강도를 얻게 되며 이러한 수복물의 피착면을 에칭하여 예리한 균열을 둔화시키고 또한 그 균열을 레진시멘트로 메우어 자연치에 긴밀하게 합착함으로써 안정된 최대강도를 얻게 된다.

전부 도재관의 파절강도에 대해서 임상에서 고려해야 할 사항으로 지대치 형성시 교합면과 측면의 삭제량, 측면 경사도 그리고 변연의 형태 등을 고려하여야 한다. 지대치 형성법은 일반적으로 측면 경사도는 6°에서 8°, 변연형태는 shoulder나 rounded shoulder를 추천하고 있으며 교합면의 삭제량은 Cerapearl crown(Kyocera, San Diego, USA)은 3.0mm, Dicor Crown과 Cerestore crown(Johnson

& Johnson Dental Products, East Windsor, USA)은 1.5mm에서 2.0mm를 추천하고 있으며 IPS Empress는 1.5mm를 추천하고 있다.<sup>31,17,32,33)</sup>

도재관의 파절강도는 힘이 가해지는 방향에 따라 차이가 있는데 소구치부 도재관의 경우 치관 장축이 10°의 경사각을 갖도록하여 파절강도를 측정할 결과 IPS Empress 도재관은 891 N, In-ceram 도재관(0.5mm core)은 1060 N이었다.<sup>34)</sup> 동 등<sup>10)</sup>의 연구 결과에 의하면 상악 제 1 소구치에서의 IPS Empress 도재관의 파절강도는 교합면 두께 2.5mm, 측면 경사도 12°인 경우가 630 N으로 가장 높게 나타났으며, 교합면 두께 1.5mm, 측면 경사도 4°인 경우가 378 N으로 가장 낮게 나타났다.

본 연구에서는 하악 제2소구치 교합면 삭제량을 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm 그리고 측면 경사도는 각각 4°, 8°, 12° 등 모두 9개의 실험군을 설정하고 IPS Empress 도재관을 제작하여 비교함으로써 IPS Empress 도재관 제작에 있어서 가장 적합한 치아 형성법을 알아보려 하였다.

본 연구의 결과에서 교합면 두께가 2.5mm, 측면경사도 12°인 경우가 1284 N으로 가장 높게 나타났고 교합면 두께가 1.5mm, 측면경사도 8°인 경우가 950 N으로 가장 낮게 나타났다 이와 같이 교합면 두께와 측면 경사도가 증가함에 따라 강도가 증가한다는 것은 충분히 예상되는 결과이지만 교합면의 두께가 두꺼워지고 측면 경사도가 증가함에 따라 강도는 증가하지만 이에 따라 치아 삭제량이 많아지므로 치수에 대한 위해성이 커지고 유지력 또한 저하된다. 따라서 성공적인 도재관 제작을 위해서는 해당 치아와 대합치아와의 최대 교합력, 사용될 도재의 강도, 치수의 크기 등을 고려한 치아 형성이 중요하다고 할 수 있다.

일반적으로 대합치에서의 최대 교합력은 대구치에서는 565 N, 소구치에서는 288 N, 견치에서는 208 N, 전치에서는 155 N으로 보고되어 있다.<sup>35)</sup> 본 연구 결과에 의하면 파절강도가 가장 낮게 측정된 교합면 삭제량 1.5mm, 측면 경사도 8°의 경우에서도 950 N이므로 IPS Empress도재관의 하악 소구치부 임상적용에 별 무리가 없으리라 사료된다.

접착제의 종류도 또한 도재관의 강도에 영향을 주는데 Grossman과 Nelson<sup>36)</sup>은 도재관과 치아의 접착시 광중합이나 자가중합형 레진 시멘트를 이용하여

도재관 내면을 산부식시키고 silane 처리를 시행하였을 때 좀 더 높은 강도를 얻을 수 있다고 보고하였다. 이러한 원인은 산부식과정에서 도재 내면에 생긴 결합부위의 굴곡을 넓게 하여 응력을 분산시키고, silane bonding agent와 레진 시멘트가 결합부위를 감싸는 피막을 형성하여 응력을 줄이고 저작 시 내면의 결합부위를 따라 일어나는 도재관의 변형을 감소시키기 때문이다.<sup>20)</sup>

본 연구에서 사용한 금속 시편은 치질과 탄성계수가 다르므로 실제 자연치아에서는 다른 결과가 나올 수 있겠으나 본 연구의 결과가 IPS Empress 도재관의 임상활용에 도움을 줄 수 있는 것으로 사료된다.

본 연구는 하악 제2소구치를 대상으로 치아 형성 방법이 IPS Empress 도재관의 파절강도에 미치는 영향을 알아보았으나 치아에 따라 형성방법과 교합력에도 차이가 있으므로 향후 다른 부위의 치아를 대상으로 시멘트 종류와 계면조건, 동적하중조건등을 달리한 파절강도에 대하여 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 치아 형성 방법이 도재관의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 IPS Empress system을 이용하여 교합면 삭제량과 측면 경사도를 달리한 도재관을 제작하고 파절강도를 측정하였다. 교합면의 삭제량은 1.5mm, 2.0mm, 2.5mm, 그리고 측면 경사도는 각각 4°, 8°, 12° 등 모두 9개의 실험군을 설정하였다. 금속다이를 제작하고 IPS Empress 도재관을 제작한 후 레진 시멘트를 이용하여 합착하고 만능시험기상에서 치아 장축이 30° 경사지게 하여 기능교두인 도재관의 협측교두의 설측사면 중앙 부위에서 하중을 가해 파절강도를 측정할 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. IPS Empress 도재관의 파절강도는 교합면 두께 2.5mm, 측면 경사도 12°인 경우가 1284 N으로 가장 높게 나타났으며, 절단면 두께 1.5mm, 측면 경사도 8°인 경우가 951 N으로 가장 낮게 나타났다.
2. 통계학적으로 경사도는 파절강도에 영향을 주지 않았지만(P>0.05), 교합면의 삭제량은 파절강도에 영향을 주었다(P<0.05).

3. IPS Empress 도재관의 파절 양상은 교합면 삭제량과 경사도에 관계없이 하중이 가해진 교합면 중앙 부위에서 치아 장축으로 수직적인 파절상을 보였다.

## References

1. Southan DE, Jorgensen KD. Faulty porcelain jacket crowns. *Aust Dent J* 1973; 18:152-156.
2. Oh SC, Dong JK. A study on the flexural strength of heat-pressed ceramics according to sprue designs, *J Korean Acad Prosthodont* 1997;35:130-140.
3. Dong JK, Luthy H, Wohelwend A, Scharer P. Heat-Pressed Ceramics. Technology and strength. *Int J Prosthodont* 1992;5:9-16.
4. Beham G. IPS-Empress. A new ceramic technology. *Ivoclar-Vivadent Report* 1990; 6:1-13.
5. Brodbeck U, Studer S, Lehner C. Six-year clinical experience with an all-ceramic restoration system. *Dental-Labor* 1995; III.
6. Yu HW, Song CY, Bae TS, Song KY, Park CW. A comparative study on the flexure strength of the ceramics for all-ceramic crowns. *J Korean Acad Prosthodont* 1994;32:195-211.
7. Paek SJ, Yang JH. A study on the fracture strength of all-ceramic crowns. *J Korean Acad Prosthodont* 1995;33:611-633.
8. Oh SC, Choi DG, Woo YH, Choi BB. A study on the flexure strength and microstructure of IPS Empress ceramics according to the sprue types. *Kyunghee Dent J* 1997;19:391-418.
9. Mutobe Y, Maruyama T, Kataoka S. In harmony with nature. Esthetic restoration of a nonvital tooth with IPS-Empress all-ceramic material. *QDT* 1997;83-85.
10. Dong JK, Oh SC, Kim SD. Fracture strength of the IPS Empress crown : The effect of occlusal depth and axial inclination on upper first premolar crowns. *J Korean Acad Prosthodont* 1999;37:127-133.
11. Mclean JW. Ceramics in clinical dentistry. *Br Dent J* 1988;187.
12. Wohlwend A., Strub JR., Scharer P. Metal ceramic and all porcelain restorations: Current consideration. *Int J Prosthodont* 1989;2:13-26.
13. Yamamoto M. Metal-Ceramics. Chicago. *Quintessence Int* 1987;219.
14. Claus H. Vita In-ceram. A new system for producing aluminum oxid crown and bridge substructures. *Quintessz Zahntech* 1990; 16:35.
15. Probst L. Survival rate of In-Ceram restoration. *Int J Prosthodont* 1993;259-263.
16. Vintage manual. Shofu Co. Tokyo, Japan.
17. Dicor laboratory manual. Densply international. York Pa 1987.
18. Hobo S, Iwata T. Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. II. Fabrication of the restoration. *Quintessence Int* 1985;16:207.
19. Kelly JR, Giordana R, Prober R, Gima MJ. Fracture surface analysis of dental ceramics. Clinically failed restorations. *Int J Prosthodont*. 1990;3:430.
20. Anusavice KJ, Hojjatie B. Tensile stress in glass-ceramic crowns. Effect of flaws and cement voids. *Int J Prosthodont* 1992;5:351.
21. Claus H. Das Hi-Ceram-Verfahren-metallfreie Kronen auf einem Keramikgerüst. *Dent Labor* 1987;35:479.
22. Optec Hsp laboratory technique manual. Jeneric/Pentro Inc Wallingford CN January 1988.
23. Schwickerrath H. Die In-Ceram Aluminiumoxid-Keramiken Innova-tiver dentalke-



- laischer Werkstoff. Dent Labor 1989; 37:1597.
24. Krejci I, Krejci D, Lutz F. Clinical evaluation of a new pressed glass ceramic inlay material over 1.5 years. Quintessence int. 1992;23:181-6.
  25. Tidehag P, Gunne J. A 2-year clinical follow-up study of IPS-Empress ceramic inlay. Int. J. Prosth 1995;8:456-460.
  26. Seghi RR, Sorensen JA. Relative flexural strength of six new ceramic materials. Int. J. Prosth. 1995;8:239-246.
  27. Green DJ. Microcracking mechanisms in ceramics. In. Bradt RC, Evans AG, Lange FF, Hasselman DP(des), Fracture Mechanics of ceramics. Vol.5. New York. plenum press. 1983:457-478.
  28. Green DJ, Hannink FHJ, Swain MV. Transformation toughening of ceramics. Boca Raton FL. CRC Press. 1989:57-91.
  29. Faber KT, Evans AG. Crack deflection processes, I Theory. Acta Metall. 1983; 31:565-576.
  30. Mackert JR Jr, Russel C. Leucite crystallization of a heat-pressed dental ceramic. Int J Prosthodont. 1996;9:261.
  31. Hobo S, Iwata T. Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. I. Theoretical considerations. Quintessence Int 1985;16:135.
  32. Adair PJ, Grossman DG. The castable ceramic crown. Int J Periodont Rest Dent 1984;4:32.
  33. Sozio RB, Riley EJ. Shrink free ceramic. Dent Clin North Am 1985;29:705-717.
  34. Schwickerath H. Was der Zahntechniker each ten sollte Herstellung von vollkeramischem Zahnersatz. Dent Labor. 1992;40:1501.
  35. Craig RG. Restorative dental materials. pp65. St Louis. CV Mosby. 1989.
  36. Grossman DG, Nelson JW. The bonded Dicor crown. J Dent Res. abstr No.800. 1987;66:206.
  37. Friedlander 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.

---

**Reprint request to:**

Jin-Keun Dong, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,  
 Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Wonkwang University,  
 344-2 Shinryong-Dong, Iksan 570-749, Korea  
 Tel. 82-63-850-1937  
 E-mail : Dong@wonkwang.ac.kr

ABSTRACT

## FRACTURE STRENGTH OF THE IPS EMPRESS CROWN : THE EFFECT OF OCCLUSAL DEPTH AND AXIAL INCLINATION ON LOWER SECOND PREMOLAR

Hee-Jin Kim, D.D.S., M.S.D., Hae-Hyoung Lee, D.D.S., Ph.D\*.,  
Young-Sung Nam, D.D.S., M.S.D., Jin-Keun Dong, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

*Department of Prosthodontics and Department of Biomaterials\*, School of dentistry, Wonkwang University*

The purpose of this study was to compare the fracture strength of the IPS Empress ceramic crown according to the occlusal depth (1.5mm, 2.0mm, 2.5mm) and axial inclination (4°, 8°, 12°) of the lower second premolar.

After 10 metal dies were made for each group, the IPS Empress ceramic crowns were fabricated and cemented with resin cement. The cemented crowns were mounted on the testing jig with inclination of 30 degrees and the universal testing machine was used to measure the fracture strength.

The results of this study were as follows :

1. The fracture strength of the ceramic crown with 2.5mm depth and 12° inclination was the highest (1284 N). Crowns of 1.5mm depth and 8° inclination had the lowest strength (951 N).
2. There were no significant differences in the fracture strength by axial inclination of the same occlusal depth group.
3. Most fracture lines began at the loading area and extended through proximal surface perpendicular to the margin, irrespective of occlusal depth.

---

**Key words** : Fracture strength, IPS Empress Crown, Axial inclination, Occlusal depth