

## All-ceramic Crown 용 도재의 굽힘강도에 관한 비교연구

전북대학교 치과대학 보철학교실  
유형우 · 송창용 · 배태성 · 송광엽 · 박찬운

### 제1장 서 론

도재는 심미성과 생체적합성이 우수하지만 취성이 크고 파절에 대한 저항성이 낮으므로, 수복물의 강도증진을 위해 도재의 하부구조물로서 금속을 강화한 metal-ceramic restoration이 널리 이용되어 왔으나<sup>4)</sup>, 투명도, 빛의 투과, 산란 및 굴절 등이 자연치와 달라서 자연스럽지 못하기 때문에<sup>5),6)</sup> 심미성과 강도가 개선된 core용 도재를 이용한 all-ceramic system에 대한 관심이 증가되고 있다.

현재 이용되는 all-ceramic system의 제작기법 중, 내화모형법(Optec HSP<sup>2)</sup>, Hi-Ceram<sup>3)</sup>)은 도재를 내화모형상에 축성된 다음 sintering을 시행하기 때문에 die와 인접한 도재의 표면에 파절의 원인이 되는 기공이나 미세결합이 형성되는 단점을 보였다<sup>4)</sup>. 기공을 최소화하기 위한 방법으로 castable glass-ceramic system(Dicor<sup>1)</sup>, Cera Pearl<sup>2)</sup>, Olympus Castable Ceramics<sup>3)</sup>)들이 소개되었으나, glass의 결정화 과정에서 부가적인 수축이 야기되는 단점을 보였다<sup>6)</sup>. 도재의 소성과정에서 발생하는 수축을 최소화하기 위한 방법으로 미리 결정화시킨 glass ceramic을 열과 압력을 가하여 성형하는 heat-press technique(IPS-Empress<sup>7)</sup>)이 소개되었으며, 또한 alumina로 형성된 core에 glass를 침투시켜 결정화시키는 기법(Vita In-Ceram system)<sup>5),6)</sup>이 소개되어 임상적으로 응용되고 있다.

수복물은 구강내에서 압축, 인장, 전단의 복합된 응력상태 하에 놓이게 되며 한가지 응력만을 받는 상태는 찾아보기 어렵다<sup>8)</sup>. 취성재료의 파절 저항성을 평가하기 위해 편의상 압축강도를 측정하지만,

파절은 인장응력을 받는 결합부에서 균열전파에 의해 일어나므로, 굽힘시험에 의한 강도의 측정이 널리 응용되고 있다<sup>3),5),9)</sup>. 3점굽힘이나 4점굽힘시험을 위한 시편은 폭에 비해 길이가 길어서, 얇은 두께의 균일한 시편을 제작하는데 어려움이 있어, 최근에는 도재의 굽힘 파절강도를 평가하기 위해 원판형의 시편을 이용한 bi-axial flexure test가 응용되고 있다. 이 방법은 중심 하중부에서 최대 인장응력이 발생하여 3점굽힘이나 4점굽힘시험 시에 나타나는 선단(edge)의 파절이 감소되기 때문에 취성재료의 굽힘강도를 평가하는 데 있어서 uni-axial flexure test(3점, 4점굽힘시험)보다 신뢰도가 높은 실험 방법으로 평가되고 있다<sup>8)</sup>. Wachtman 등<sup>8)</sup>은 bi-axial flexure test는 약간 굵은 시편과 시편 선단과 조건에 의해 영향을 받지 않음을 보고하였고, Ban과 Anusavice<sup>5)</sup>는 Piston-on-three ball 법에 의해 인산아연시멘트, 도재, 레진의 굽힘강도를 측정하여 시편의 두께, 지름의 차이가 결과에 큰 영향을 미치지 않음을 보고하였으며, Ban 등<sup>6)</sup>은 piston 대신 ball을 이용한 ball-on-three ball 법에 의하여 치과용 시멘트의 bi-axial flexure test 시의 시편 크기의 효과를 평가하였다.

경도에 관하여 Seghi 등<sup>6)</sup>은 Vickers diamond를 사용한 압흔법에 대하여 보고하였으며, Marshall 등<sup>4)</sup>은 재료의 Knoop 경도와 탄성계수 사이에는 비례 관계가 성립함을 보고하였으나, Jones<sup>2)</sup>는 치과재료의 경도와 그 밖의 다른 성질간에는 비례적인 관계가 성립되지 않는다고 보고하였다.

본 연구에서는 최근 임상에서 사용되는 4종의 all-

ceramic crown 용 도재와 대조군으로서 metal-ceramic restoration 용 Vita VMK 68 도재의 경도와 bi-axial flexure strength를 측정하였으며, 파절면과 파절면을 0.25% 불산으로 처리한 면을 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰한 결과, 다소의 지견을 얻었기에 그 결과를 보고하는 바이다.

## 제2장 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에서는 IPS-Empress, Vita In-Ceram 및 Hi-Ceram의 core 용 도재와 Vitadur-N과 VMK 68의 상아질용 도재를 이용하였다(Table 2.1).

Table 2.1 Materials used in this study

Materials	Brand
Ceramic core*	IPS-Empress
Ceramic core**	Vita In-Ceram
Ceramic core**	Vita Hi-Ceram
Dentin porcelain**	Vitadur-N
Dentin porcelain**	Vita VMK 68

<Manufacturer>

\* Ivoclar AG, Schoan, Leichtenstein

\*\* Vita Zahnfabrik.H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, Germany

### 2. 실험방법

#### 1) 시편의 제작

작경 12mm, 두께 1mm의 시편을 제작하기 위하여, IPS-Empress는 직경 12mm의 금형을 이용하여 두께 1.2mm가 되도록 납형을 형성 후 제조회사의 지시에 따라 제작하였고, Vita In-Ceram과 Hi-Ceram은 IPS-Empress에 사용된 금형의 복제 인상체를 이용하여 내화모형을 형성 후 제조회사의 지시에 따라 제작하였으며, Vitadur-N과 VMK 68 도재는 내경 13.5mm의 rubber mold를 제작 후 slurry 형태로 혼합된 도재를 vibration and blotting technique을 사용하여 축성한 다음, 제조회사의 지시에 따라 소성하였다. 소성된 시편의 양면을 320grit의 diamond abrasive steel backed wheel로 연마하여 두께를 조절한 다음, 400, 600 grit SiC 연마지로 연마하고, 표면의 결함을 제거하기 위하여 15 $\mu$ m alumina 단계까지 연속적으로 연마하였으며, 인장을 받는 표면을 1 $\mu$ m alumina까지 연마하였다. 준비된 모든 시편을 증류수 하에서 5분간 초음파 세척한 다음 습기가 차단된 건조기 내에 실험 전 3일간 보관하였다.

각 도재의 제작 방법, 소성 주기 그리고 완성된 시편의 최종 크기를 Table 2.2와 Table 2.3에 표시하였다.

#### 2) bi-axial flexure strength의 측정

본 연구에서는 시편의 크기가 작고 굽은 시편에서도 비교적 용이하게 강도를 측정하는 것이 가능한 ball-on-three ball 법<sup>9)</sup>을 적용하여 굽힘강도를 측정하였다. Fig 2.1에 표시된 것과 같이 직경 9mm의

Table 2.2 Dimensions and manufacturing methods of specimens

Brand	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Methods
IPS-Empress*	12.04± 0.02	0.97± 0.03	Burnout of wax patterns & heat-press
Vita In-ceram**	12.19± 0.04	1.01± 0.02	Slip casting & glass infiltration
Vita Hi-Ceram**	12.09± 0.05	0.98± 0.04	Vibration & blotting technique
Vitadur-N***	11.69± 0.05	0.98± 0.03	Vibration & blotting technique
Vita VMK68***	11.62± 0.06	1.00± 0.02	Vibration & blotting technique

<Mold>

\* Metal

\*\* Special refractory die material

\*\*\* Rubber(female) & Duralay resin(male)

Table 2.3 Firing Schedule

Brand	heating-up(°C)	Hold
Vita In-ceram*		
Sintering	20-120 (6hours)	2 hours
Glass infiltration	120-1120 (2hours)	6 hours
IPS-Empress**	20-1100 (30min)	20 min
Vita Hi-Ceram***		
Firing of die	700-1180 (8min)	3 min
1st, 2nd firing	600-1000 (10min)	3 min
3rd firing	600-1700 (10min)	3 min
Vitadur-N***		
(3 times firing)	600-960 (6min)	1 min
Vita VMK 68***		
(3 times firing)	600-930 (6min)	1 min

<Furnace>

\* Vita Inceramat      \*\* IPS-Empress EP 500

\*\*\* Vita Vacumat 300

supporting circle 상의 중앙 하중점으로 부터 거리가 동일한 3위치에 직경 1.5mm의 강구를 위치시킨 다음, 재료시험기(Instron Co, Model 4201)의 cross head speed 0.5mm/min에서 굽힘시험을 실시하였다.

bi-axial flexure strength의 계산을 위해 Marshall<sup>40)</sup>과 Shetty 등<sup>41)</sup>이 발전시킨식 (2.1)-(2.3)을 적용하였다.

$$\sigma = \frac{AP}{t^2} \quad (2.1)$$

and

$$A = \left(\frac{3}{4\pi}\right) \left[ 2(1+\nu) \ln\left(\frac{a}{r_o^*}\right) + (1-\nu) \frac{(2a^2 - r_o^{*2})}{2b^2} + (1+\nu) \right] \quad (2.2)$$

and

$$r_o^* = \sqrt{1.6r_o^2 + t^2} - 0.675t \quad (2.3)$$

여기에서,

$P$  = 파괴시 적용된 하중

$\nu$  = Poisson's ratio(0.25)

$a$  = support circle의 반지름

$b$  = 시편의 반경

$t$  = 시편의 두께

$r_o^*$  = piston 대신 쓰인 ball의 반지름

$r_o^*$  = 하중이 균일한 상태로 여겨질 때 시편과 loading ball 사이의 접촉에 대한 평형 상태의 반경이다.

본 연구에서는 bi-axial flexure strength의 계산을 위해 Poisson's ratio를 0.25로 설정하였다<sup>19)</sup>.

취성재료의 파괴강도는 재료의 균질성의 함수로 표시되는 통계적 분포로 나타내야 하며, 일반적으로 Weibull 분포(식 2.4)가 널리 적용되고 있다<sup>56)</sup>.

$$P_i = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_o}\right)^m\right] \quad (2.4)$$

여기에서,

$P_i$  = 파괴확률, 측정치의 강도 순위를  $i$  시편의 총수를  $N$ 으로 표시할 때  $P_i = \frac{i}{(N+1)}$  로

정의되며,

$m$  = Shape parameter(Weibull modulus)

$\sigma_o$  = Scale parameter(Characteristic strength)이다.

측정치의 회귀분석에 의하여  $m$ 과  $\sigma_o$ 값을 계산한 다음 personal computer(Macintosh II, Apple Computer Inc.)를 이용하여 결과치를 산출하고 도시하여 각 군간의 bi-axial flexure strength와 파괴확률 사이의 관계를 분석하였으며, 또한 각 군간의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 분산분석을 시행한 다음 Schéffe의 다중범위검증법에 의하여 각 군을 비교하였다.

### 3) 경도측정

본 연구에서는 미소경도측정기(Matsuzawa Seiki Co, Ltd.)에 능각 136°의 Vickers pyramid를 장착한 다음 압흔하중 1kg, 유지시간 20초의 조건으로 각군당 10개씩의 압흔을 형성하여 Vickers 경도를 측정하였다.

Vickers pyramid 압흔 시의 경도( $H$ )는 식(2.5)로 표시된다<sup>2)</sup>.

$$H = 0.4635 P/a^2 \text{ [kg/mm}^2\text{]} \quad (2.5)$$

여기에서,

$P$  = 압흔하중

$a$  = 표면에 형성된 압흔상의 대각선의 반길이어다.

각 군간의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 분산분석을 시행한 다음 Schéffe의 다중범위검증

법에 의하여 각 군을 비교하였다.

4) 현미경 관찰

도재시편의 파절양상을 평가하기 위하여 파절면과 파절면을 0.25% 불산용액으로 30초간 처리한 면을 주사전자현미경(Hitachi X-650)으로 관찰하였다.

제3장 실험성적

1. bi-axial flexure strength

Fig. 3.1은 Weibull modulus  $m$ 과 characteristic strength  $\sigma_0$ 를 계산하기 위하여  $\ln \ln(1-P)^{-1}$ 과  $\ln \sigma$ 의 관계를 도시한 것으로써 회귀분석 결과 높은 상관관계를 나타냈다( $r^2 > 0.9$ ). Weibull modulus는 Vitadur-N에서 24.61로 가장 크고 IPS-Empress에서 8.82로 가장 작은 값을 보였으며, Characteristic strength는 Vita In-Ceram이 353.26MPa로 가장 크고 Vitadur-N에서 63.20MPa로 가장 작은 값을 보였다. 평균 bi-axial flexure strength는 Vita In-Ceram이 339.12MPa로 가장 크고 Vitadur-N에서 61.99MPa로 가장 작게 나타났으며, 각 군간의 유의성을 검증한 결과 Vita In-Ceram 군과 Vita Hi-Ceram 군은 각각 나머지 군과 유의한 차이를 보였고, IPS-Empress 군과 Vitadur-N 군간에도 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ , Table 3.1-3.2).

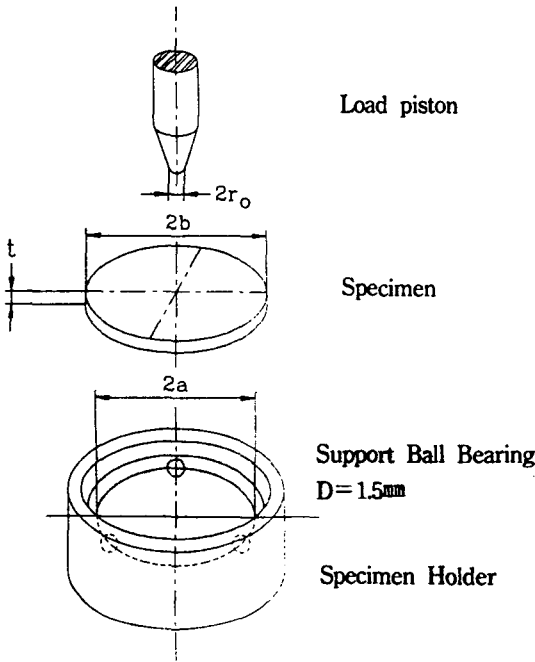


Fig. 2.1 Schematic illustration of a ball-on-three-ball loading system.

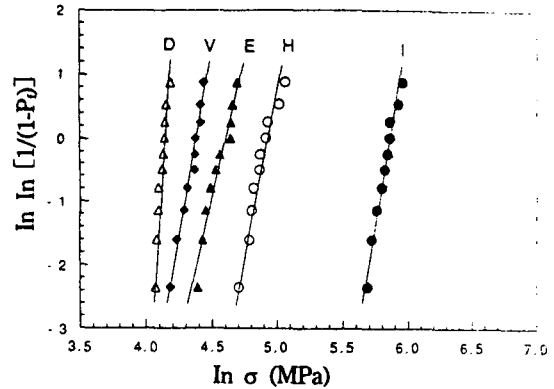


Fig. 3.1 Weibull plots of bi-axial flexure strength data.

Table 3.1 Results of Weibull analysis

Brand	$\bar{\sigma}$ (MPa)	S.D. (MPa)	$m$	$\sigma_0$ (MPa)	$\sigma_{0.5}$ (MPa)	C.V.	$r^2$
Vita In-Ceram	337.69	36.58	11.17	353.26	341.86	0.11	0.96
Vita Hi-Ceram	132.02	17.32	9.12	139.32	133.84	0.13	0.94
IPS-Empress	95.12	12.87	8.82	100.53	96.44	0.14	0.95
Vita VMK 68	79.96	8.26	11.28	80.50	77.92	0.05	0.97
Vitadur-N	61.82	3.13	24.61	63.20	62.27	0.11	0.91

- $\bar{\sigma}$  : Mean Strength
- $m$  : Weibull Modulus
- $\sigma_0$  : Characteristic strength
- S.D. : Standard deviation
- C.V. : Coefficient of Variation
- $\sigma_{0.5}$  : Strength predicted at the 50% level of failure
- $r^2$  : Value of the coefficient of determination

Table 3.2 Comparative data for the bi-axial flexure strength

Brand	N	M.S. (MPa)	S.D. (MPa)	Scheffé	Grouping* (p=0.05)
Vita In-Ceram	10	339.12	29.83	A	
Vita Hi-Ceram	10	132.64	14.62	B	
IPS-Empress	10	95.57	10.49	C	
Vita VMK 68	10	77.30	6.58	C	D
Vitadur-N	10	61.99	2.42		D

\* Means with the same letter are not significantly different.

M.S. : Mean Strength

S.D. : Standard Deviation

Fig. 3.2는 계산된 Weibull modulus  $m$ 과 characteristic strength  $\sigma_0$ 를 Weibull 분포 식(2.4)에 대입하여 파괴확률과 bi-axial flexure strength의 관계를 도시한 것이다.

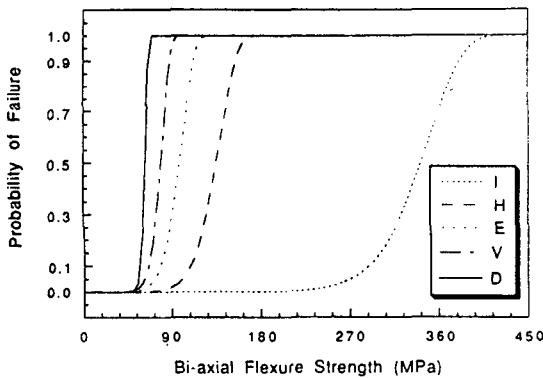


Fig 3.2 The Weibull distributions calculated from Weibull constants of the five groups.

## 2. 경도 측정

측정된 평균 Vickers 경도치는 Vita In-Ceram이 980.55kg/mm<sup>2</sup>로 가장 크고, Vita VMK 68이 373.34kg/mm<sup>2</sup>로 가장 작게 나타났으며, 각 군간의 유의성을 검증한 결과, Vita In-Ceram 군과 Vita Hi-Ceram 군은 각각 나머지 군과 유의한 차이를 보였고, IPS-Empress 군과 Vita VMK 68 군간에도 유의한 차이를 보였다(P<0.05, Table 3.3).

Fig. 3.3은 bi-axial flexure strength와 Vickers 경도치의 상관관계를 조사하기 위하여 도시한 것으로서, 높은 굽힘강도를 보이는 도재군에서 보다 큰 경도치를 나타내는 경향을 보였다.

## 3. 현미경 관찰(Fig. 3.4, 3.5)

bi-axial flexure test 후 파절 단면의 관찰 시, 기공의 수, 크기, 형태는 재료에 따라 다양한 차이를

Table 3.3 Vicker's hardness numbers

Brand	N	V.H.N. (kg/g <sup>2</sup> )	S.D. (kg/mm <sup>2</sup> )	Scheffé	Grouping* (P=0.05)
Vita In-Ceram	10	980.55	38.82	A	
Vita Hi-Ceram	10	563.57	30.93	B	
IPS-Empress	10	426.79	6.29	C	
Vitadur-N	10	395.88	8.11	C	D
Vita VMK 68	10	373.34	9.61		D

\* Means with the same letter are not significantly different.

V.H.N. : Vickers hardness number

S.D. : Standard deviation

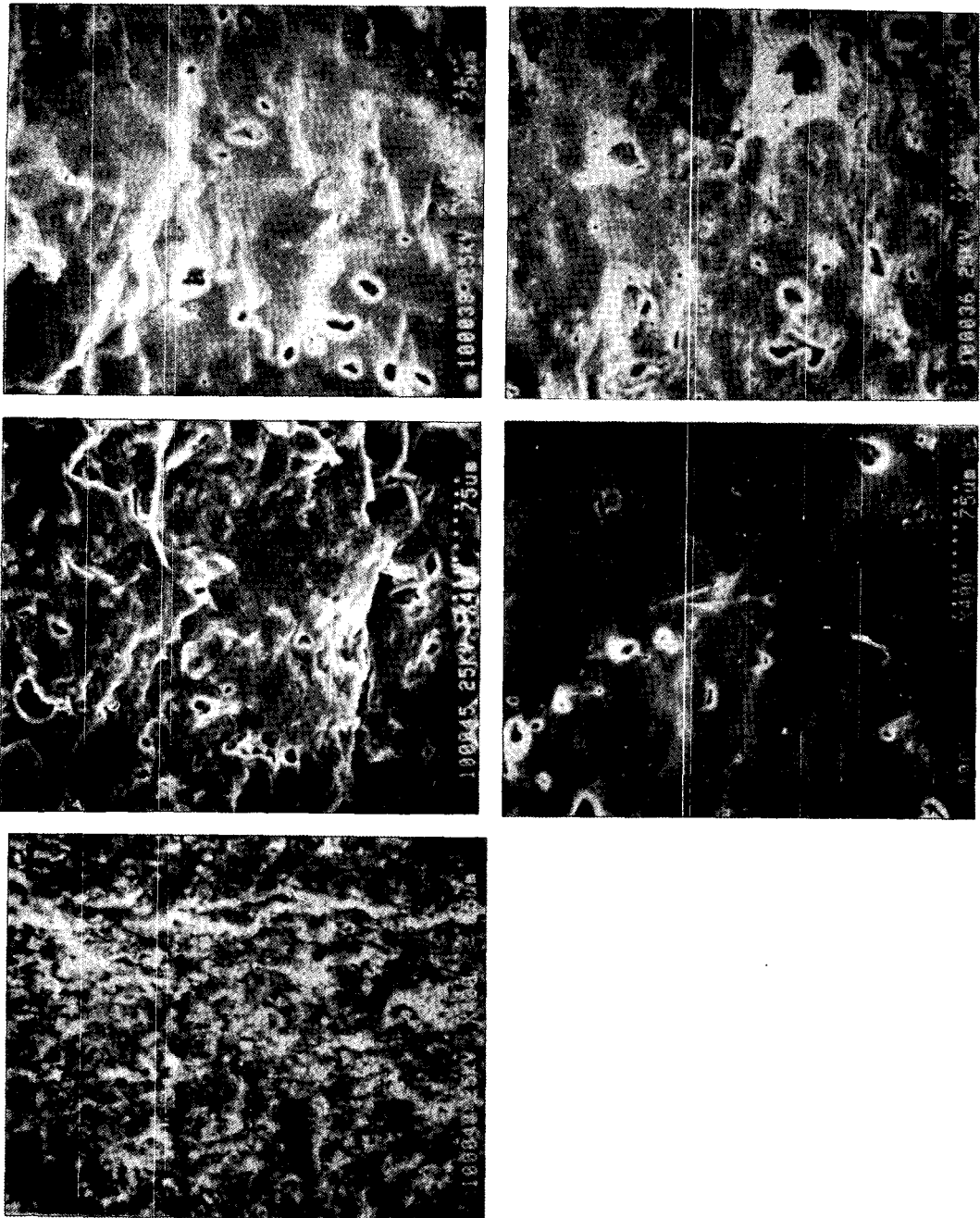
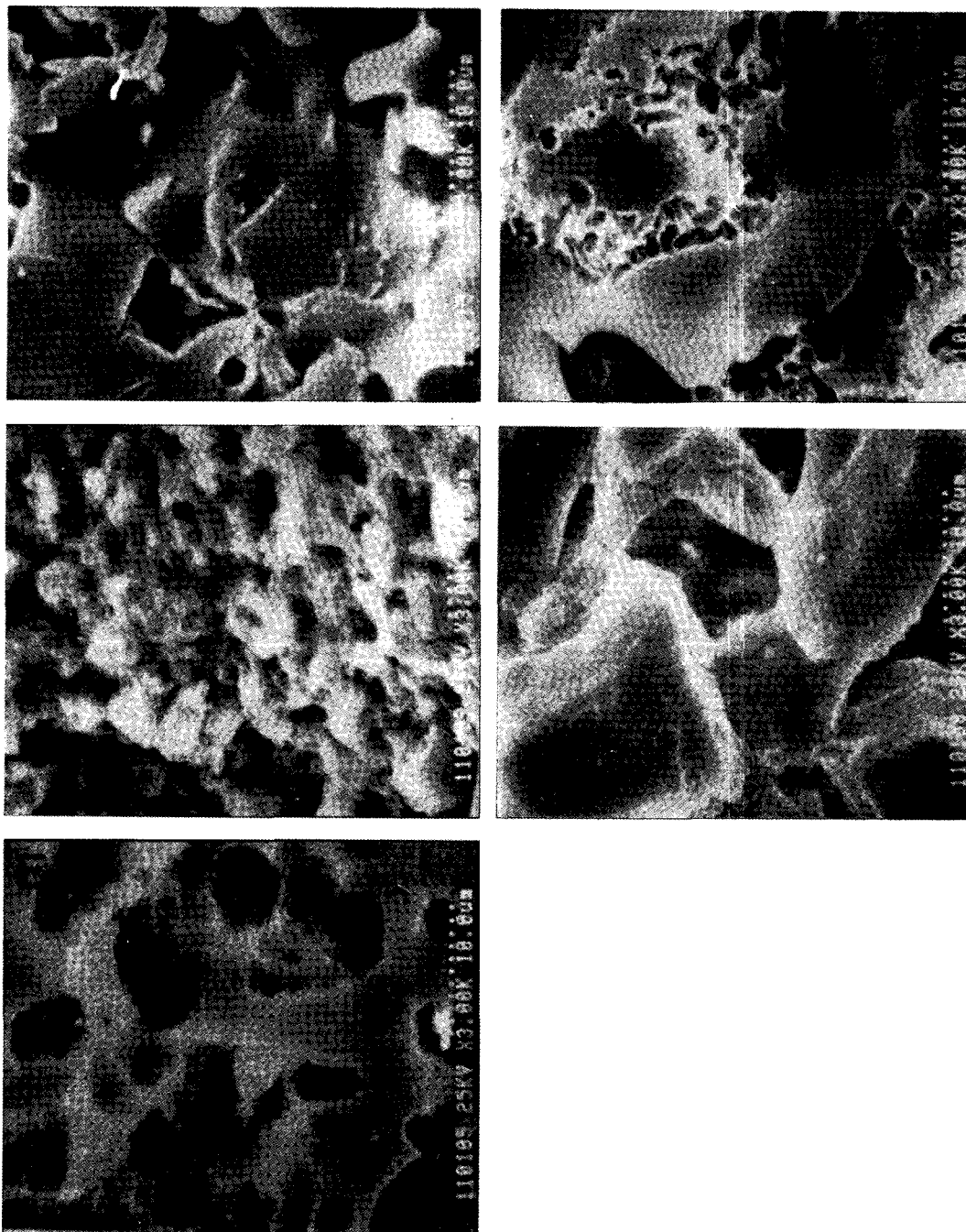


Fig. 3.4 SEM image of fractured surfaces that were subjected to bi-axial flexure for Vitadur-N (D), Vita VMK 68 (V), Vita In-Ceram (I), Vita Hi-Ceram (H), IPS-Empress (E) specimens. ( ×400 )



**Fig. 3.5 SEM image of fractured surface be treated with 0.25 % hydroflouric acid ( 30 s ) that were subjected to bi-axial flexure for Vitadur-N ( D ), Vita VMK 68 ( V ), Vita In-Ceram ( I ), Vita Hi-Ceram ( H ), IPS-Empress ( E ) specimens. (  $\times 3000$  )**

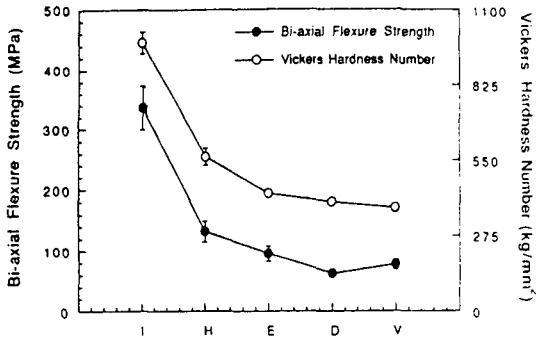


Fig. 3.3 The graph to compare bi-axial flexure strength with Vickers hardness number.

나타냈으며, 각 도재간의 기공과 강도 사이에는 상관성을 보이지 않았다. 기공의 수는 Vita VMK 68과 Vita In-Ceram, Vitadur-N, Vita Hi-Ceram, IPS-Empress 순으로 적게 나타났고, Vita VMK 68과 Vita In-Ceram에서는 불규칙한 형태의 기공을 보인 반면 Vita Hi-Ceram에서는 보다 원형인 형태의 기공들을 보였으며, IPS-Empress에서는 미세한 기공들이 분포되어 있는 양상을 보였다. 또한 1.25% 불산으로 30초간 산부식시킨 파절단면의 관찰 시, Vita VMK 68과 Vitadur-N에서는 크고 불규칙한 입자들이 분포된 양상을 나타냈고 Vita In-Ceram과 Vita Hi-Ceram에서는 많은 alumina 입자들이 응집되어 있는데 Vita In-Ceram이 Vita Hi-Ceram보다 작고 치밀한 alumina 입자들의 분포양상을 나타냈으며, IPS-Empress에서는 leucite 결정으로 보이는 다양한 형태의 많은 입자들의 분포를 나타냈다.

#### 제4장 총괄 및 고안

우수한 심미성과 내마모성, 생체적합성으로 인해 도재는 치과용 수복재료로서 오래전부터 사용되어 왔다. 백금박을 사용하는 전통적인 도재전장관이 Land<sup>30)</sup>에 의해 소개된 이후 우수한 임상결과를 얻기 위해 계속적으로 발전되어 왔지만<sup>7)</sup> 파절에 대한 저항성의 부족으로 종종 수복물의 파절을 보이는 단점을 보였다<sup>71,72)</sup>. 백금박에 의한 제작에서는 미세결합들이 치경부에 집중되고, 이들이 변연의 작은 통로를 따라 수복물의 표면과 연결됨으로서 취약한 성상을 나타내게 되는데<sup>7)</sup>, 이것은 백금박의 낮은 젖음성(wettability)으로 인한 도재와 백금박 사이의

적합성의 불량 때문이다<sup>73)</sup>.

이러한 기존의 porcelain jacket crown의 단점 때문에 심미적 수복은 대부분 높은 파절강도를 보이는 metal-ceramic restoration에 의해 수행되어 왔다<sup>44)</sup>. metal-ceramic restoration은 파절에 대한 저항성이 큰 금속을 하부구조물로 사용하고 있을 뿐만 아니라, 금속표면의 산화물과 도재간의 화학적 친화성에 의한 결합, 금속표면의 요철에 따른 기계적 결합, 도재와 금속간의 열수축의 차이에 의한 도재층에 형성되는 압축응력 등으로 인해 높은 파절강도를 나타내기 때문이다<sup>48,80)</sup>. 그러나 금속 하부구조에서 야기되는 빛의 전도, 반사 그리고 흡수가 자연치와 시각적인 효과<sup>44,51,73,74)</sup>의 차이를 보이기 때문에 높은 명도, 치경부의 심한 불투명성과 회암색의 치은을 보이는 단점 등을 나타낸다<sup>80,85)</sup>. 치경부의 비심미성을 해결하기 위해 porcelain butt-joint를 갖는 metal-ceramic restoration을 형성함으로써 치경부의 불투명성을 감소시키는 광섬유 효과(fiberoptic effect)로 인해 치은으로의 빛의 전도를 증가시켜 심미성을 증진시켰지만<sup>77,84)</sup>, 금속을 감추기 위해 사용되는 opaque 도재층으로 인해 너무 밝고 자연스럽지 못한 점을 궁극적으로 해결하지는 못하였다.

금속 하부구조물을 이용하지 않음으로써 빛의 전도를 증가시켜 보다 좋은 심미성과 생체적합성을 얻음과 동시에 강도를 증진시키기 위한 여러가지 all-ceramic system들이 소개되어 왔다.

내화모형법<sup>82,79)</sup>은 도재를 내화모형상에 축성한 다음 소성하는 방법으로, 소성과정 중 내화모형이 함께 sintering되어 수복물의 균열전파에 의한 파절의 원인이 되는 미소기공이나 결합이 die와 결합되는 도재표면에 형성되는 단점을 보였다<sup>44)</sup>. 본 연구에서는 내화모형법에 의하여 Vita Hi-Ceram core 용 도재시편을 제작하였다. 시편의 표면 연마 과정에서 내화 모형과 접촉되었던 표면이 반대측 표면보다 연마가 용이하였는데, 이는 도재와 내화 모형 사이의 접촉면에 많은 미소기공들이 형성되어 치밀하지 못한 구조가 형성되었기 때문이라고 생각된다.

기공을 최소화하기 위한 방법<sup>30)</sup>으로서 수종의 ca-stable glass-ceramic system(Dicor, Cera-Pearl)이 소개되었다. Dicor system(Dentsply International, York,



PN, USA)<sup>1)</sup>은 용융된 glass를 주조 성형 후 열처리에 의해 mica 결정화 형성함으로써 도재의 강도를 증진시키는 방법이다. Cera Pearl systc. (Kyocera, Tokyo, Japan)<sup>20)</sup>은 calcium phosphate-based Cera Pearl glass를 주조성형 후 열처리를 시행함으로써 oxyapatite의 결정화를 유도하며 이 결정구조가 수분과 접촉 시 hydroxyapatite로 전환되어 굽힘강도를 증진시키는 방법이다<sup>20)</sup>. 그러나 이러한 system들은 열처리에 의한 결정화 과정(cerammig)을 수행하는 동안 부가적인 도재의 수축을 야기하는 단점을 보였다<sup>6)</sup>.

도재의 성형 후 부가적인 열처리에 의한 수축을 극복하기 위해 미리 결정화 처리가 이루어진 glass-ceramic을 열과 압력 하에서 성형하는 heat-pressure technique(IPS-Empress)<sup>7)</sup>이 소개되었다. 이 system은 다량의 leucite 결정화를 포함하는데, 열팽창계수가 큰 leucite 결정에는 반경방향의 응력이 형성되고 열팽창계수가 작은 주위의 glass내에는 접선방향으로 압축응력이 발생하여 굽힘강도가 증가됨을 보고하였으나<sup>7,10)</sup>, leucite 결정에 의한 강도 증가에 한계를 나타내어 수복물의 선택에 제한이 따른다<sup>22)</sup>.

alumina 강화형 도재가 McLean과 Hughes<sup>46)</sup>에 의해 소개되어 기존의 feldspathic porcelain보다 50% 이상의 굽힘강도 증가를 나타내었으나<sup>28,49)</sup>, 기존의 sintering 법을 사용했던 이유로 alumina를 수복물 전체의 40-50% 정도만 함유시킬 수 밖에 없는 제한성을 보였다<sup>46)</sup>. 최근 sintering된 alumina coping에 2차적으로 glass를 침투시켜 결정화 처리를 함으로써 강도를 증진시키는 Vita In-Ceram system이 소개되었는데<sup>58,63)</sup>, 강도의 증가는 도재의 취약한 부위인 기공을 glass로 채워 기공을 감소시키고<sup>22)</sup>, 강도가 큰 alumina를 다량(85%) 함유함으로써 균열전파가 억제되며<sup>60)</sup>, alumina와 glass 사이의 열팽창의 차이로 인해 경계면에 발생하는 압축응력이 외부로부터 작용하는 인장응력을 감소시킴<sup>20)</sup>으로써 얻어진다고 보고하였다.

심미성과 내구성이 우수한 도재수복물의 제작을 위해 새로운 재료와 적용기법이 소개되고 있다. 취성이 큰 도재에 의한 구치부 수복물과 bridge의 제작시 임상적 성공여부에는 어떠한 요인이 결정적으로 작용하는지 확실하게 단정지을 수 없지만<sup>15,20)</sup>

<sup>20)</sup>, 중요한 성질중 하나로 강도를 꼽을 수 있다. 구강내 수복물은 대개 압축, 인장, 전단응력의 복합된 응력상태 하에 놓이게 되며 한가지 응력만을 받는 상태는 찾아보기 어렵다<sup>5)</sup>. 편의상 취성재료의 압축강도를 측정하기도 하지만, 도재는 소성과 준비과정에서 다양한 결합을 포함하므로 굽힘시험에 의한 강도 측정방법이 널리 적용되고 있다<sup>3,5,28,45,47)</sup>.

치과용 도재의 강도를 결정하기 위해 diametral tensile test<sup>17,56,62)</sup>, uni-axial flexure test(3점 또는 4점굽힘시험)<sup>11,13,75)</sup>와 bi-axial flexure test에 의한 측정이 이루어져 왔다. diametral tensile test는 간단한 방법이기도 하나 시편에 복합 응력분포를 형성하게 되어 여러가지 파절의 형태를 초래하고, 만약 파절 전에 시편이 심하게 변형되면 실험자료의 유효성을 잃게 되며<sup>5)</sup>, Zidan 등<sup>80)</sup>은 이 방법이 치과용 레진 계통의 재료의 실험에 적당치 못하다고 하였다. 굽힘시험의 주된 장점은 순수한 인장응력을 시편의 한쪽면에서 얻을 수 있다는 점이며<sup>9)</sup>, 3점 또는 4점굽힘시험이 취성재료<sup>10)</sup>와 금속과 도재로 형성된 구조물<sup>19)</sup>에 시행되어져 왔다. 이러한 uni-axial flexure test들에 있어서 시편 하면에 작용되는 주된 응력은 인장응력이며 이 응력이 대개 취성재료의 균열전파의 개시에 관여한다. 그러나 이러한 실험 방법은 파절강도 값의 편차를 증가시키는 바람직하지 못한 선단의 파절을 보이는 단점을 지니고 있고, 비교적 큰 시편과 관련된 공학재료를 위해 설계되었기 때문에 통계적 평가를 위한 많은 수의 큰 시편을 치과재료로 만들기에는 어려운 점이 많으며, 큰 시편에서 나타나는 열팽창계수와 결합의 특성이 작은 크기의 임상적 치과재료에 동일하게 반영이 되지 않는다는 문제점을 보이게 된다<sup>5)</sup>.

최근에는 bi-axial flexure test가 취성재료의 파괴특성을 결정하기 위해 자주 적용되는데, 이는 중앙하중부에 최대의 인장응력이 발생되어 부적절한 선단의 파절이 감소되기 때문에 취성재료의 굽힘강도를 측정함에 있어서 uni-axial flexure test보다 신빙성이 있는 실험 방법으로 생각되고 있으며, 또한 약간 굽은 시편과 시편 선단의 조건에 거의 영향을 받지 않는 결과를 보였다<sup>81)</sup>. 이 방법은 하중의 조건에 따라 다양한 종류로 발전되어졌는데 Kirstein과 Woolley<sup>20)</sup>는 piston-on-three ball, Wil-

shaw<sup>43)</sup>는 piston-on-ring, Mckinney와 Herbert<sup>43)</sup>는 ball-on ring, Kao 등<sup>31)</sup>은 ring-on-ring, Radford와 Lange<sup>60)</sup>는 ball-on-three ball, Marshall<sup>40)</sup>은 ring-on-spring의 형태를 제안하였다. Wachtman 등<sup>81)</sup>은 7%의 coefficient of variation을 보이는 8가지의 alumina에 대한 bi-axial flexure strength의 값을 구하였으며, 다른 실험에서도 유사한 결과치를 나타냈음을 보고하였고, Pleka와 Wiederhorn<sup>54)</sup>은 기존의 4점굽힘시험과 bi-axial flexure test에 있어서 파괴특성을 비교하였다. Morena 등<sup>50)</sup>은 piston-on-three ball 법을 사용하여 치과용 도재의 동적파괴 특성을 조사하여 수명을 예측하였고, Ishizaki와 Kameda<sup>29)</sup>은 ball-on-ring 법을 사용하여 광중합 레진의 굽힘강도를 측정하였으며, Ban과 Anusavice<sup>5)</sup>는 작고 약간 굽은 시편에 영향을 적은 piston-on-three ball 법을 사용하여 인산아연시멘트, 도재, 레진 간의 굽힘강도를 측정하여 시편의 두께, 지름의 차이가 결과에 크게 영향을 미치지 않음을 보고하였다. Shetty 등<sup>60)</sup>은 ball-on-ring, piston-on-three ball과 ring-on-ring의 3가지 형태의 시험법을 평가하여 파괴응력의 존재에 대한 불확실성을 이유로 support ring이 12개의 ball로 구성된 ball-on-ring 법이 가장 만족할 만한 결과를 보인다고 하였으나, kirstein과 Wolley<sup>39)</sup>는 얇은 원형의 aluminum 판에서 응력은 지지하는 ball의 수나 힘을 가하는 방향에 영향을 받지 않는다고 설명하였으며, 이러한 이유로 Ban 등<sup>6)</sup>은 보다 간단한 ball-on-three ball 법을 사용하여 치과용 시멘트의 bi-axial flexure test에 대한 시편의 크기의 효과를 보고하였고, 너무 두꺼운 시편은 하중을 가하는 상부에서 파절의 기시점이 발생하므로 이 실험법에 의한 측정이 불가능하다고 설명하였다.

세라믹스와 같은 취성재료가 높은 응력 또는 복잡한 응력분포를 나타내는 경우 결과와 응력분포를 고려하는 통계적 평가가 필요하며, 일반적으로 가장 큰 결합부에서 파괴가 일어난다고 가정하는 취약연쇄이론(Weakest Link Theory)을 적용한 Weibull 분포가 재료의 파괴확률을 평가하기 위해 이용된다<sup>61)</sup>. 이 방법은 2개의 매개변수, 즉 재료의 결합분포에 따른 균질성을 나타내는 Weibull modulus( $m$ , shape parameter)와 characteristic strength( $\sigma_0$ , scale parameter)에 의해 재료의 파괴

확률이 가시적으로 표시되므로, 재료의 파괴특성을 고려한 수복물의 설계에 적용될 수 있다. McCabe와 Walls<sup>42)</sup>는 실험치로부터 계산된  $m$ 값이 95% 신뢰한도를 보이는 Weibull 분포에서 의미있는 결과를 나타내기 위해서는 최소 30개의 시편이 필요하다고 하였으며, Ritter 등<sup>60)</sup>은 수복물의 수명을 예측하기 위해서는 최소 100개의 시편이 필요하다고 보고하였고, Anusavice 등<sup>4)</sup>은 재료의 신뢰성을 예측하고자 할 경우 95% 신뢰한도를 얻기 위해서는 많은 수의 시편이 요구되지만, 도재의 처리효과를 비교 시 90% 이상의 적합도를 보이는 6개의 시편을 실험 군으로 채택하기도 하였다. 그렇지만, Giovan과 Sines<sup>21)</sup>, Setty 등<sup>60)</sup>, Lamon과 Evans<sup>37)</sup> 등의 학자는 이 방법이 복잡한 구조를 갖는 multi-axial stress가 발생하는 경우 정확한 파절강도를 평가하기에는 제한성이 있음을 보고하였다. 본 연구에서는 5종의 도재의 파절특성을 평가하기 위하여 각 군 공히 10개씩의 시편을 제작한 다음 bi-axial strength를 비교하였다.

측정 방법에 따른 강도의 차이에 관하여, Quinn<sup>50)</sup>은 세라믹 재료의 3점굽힘강도가 4점굽힘강도보다 15% 정도 더 크게 나타남을 보고하였으며, Shetty 등<sup>60)</sup>은 alumina의 bi-axial flexure strength가 4점굽힘강도보다는 크고 3점굽힘강도보다는 작음을 보고한 반면, Pletka와 Wiederhorn<sup>54)</sup>은 magnesium aluminosilicate glass의 4점굽힘강도가 bi-axial flexure strength는 보다 크다고 보고하였다. Giovan과 Sines<sup>21)</sup>는 dense alumina의 bi-axial flexure strength가 uni-axial flexure strength보다 8.1-8.5% 정도 작음을 보고하였으며, Pletka와 Wiederhorn<sup>54)</sup>은 5종의 도재에 대한 bi-axial flexure strength와 4점굽힘강도간에는 일정한 관련성이 있음을 조사하였다. 그러나 Ban과 Anusavice<sup>5)</sup>는 uni-axial과 bi-axial flexure strength간에는 일정한 관련성이 없음을 보고하였으며, 이는 각 시편의 상이한 표면 조건과 크기에 의한 것이라고 하였다. 본 연구에서는 Vita In-Ceram, Vita Hi-Ceram, IPS-Empress, Vita VMK 68, Vitadur-N의 순서로 평균 bi-axial flexure strength가 339.12, 132.64, 95.57, 77.30, 61.99 MPa로서, 이전의 uni-axial flexure test의 연구 결과보다는 낮은 수치를 보였는데, 이는 시편의 표면조건과 크기, 파절강도를 측정하는 방법의 차

이에 따른 결과라고 사료된다.

도재의 강도에 관하여, Craig<sup>29)</sup>는 장식도재의 경우 굽힘강도가 61.8-90.2MPa로 나타남을 보고하였고, Leinfelder<sup>30)</sup>는 대부분의 치과용 도재에서 30.4~69.6 MPa로 나타남을 보고하였다. 본 연구에서 측정된 Vita VMK 68 도재의 bi-axial flexure strength는 77.30 MPa, Vitadur-N은 61.99MPa를 보였다. all-ceramic crown 용 도재 중, alumina를 다량 포함하는 Vita Hi-ceram core 용 도재<sup>79)</sup>의 굽힘강도<sup>53,87)</sup>와 파괴인성<sup>50)</sup>의 증가됨이 보고되었다. philo<sup>87)</sup>는 150MPa, 제조회사는 180MPa의 3점굽힘강도가 나타남을 보고하였고<sup>79)</sup>, Sallustio<sup>64)</sup>는 637.33lb의 압축강도를 나타남을 보고하였다. 본 연구에서 bi-axial flexure strength를 측정된 결과 132.64MPa로서 philo<sup>87)</sup>가 제시한 3점굽힘강도보다 낮은 용력치를 보였으며, 통계적 분석 시 Vita In-Ceram보다 낮은 강도를 보였지만 그 밖의 다른 도재와는 유의한 차이로서 굽힘강도가 더 크게 나타났다( $p < 0.05$ ). 용융된 glass를 주조 성형 후 결정화 처리하는 Dicor 도재에 대하여 Adair와 Grossman<sup>1)</sup>는 152MPa, philo<sup>87)</sup>는 240MPa의 굽힘강도를 보고하였고, Jones 등<sup>30)</sup>은 ceramming 처리 후 파괴인성이 feldspathic porcelain과 비슷함을 보고하였으나, Kvam<sup>35)</sup>은 cerammed glass ceramic이 기존의 core 용 도재보다 낮은 파괴인성을 나타낸다고 보고하였다. 결정화 처리된 glass-ceramic을 열과 압력을 가하여 성형하는 IPS-Empress<sup>7)</sup> 도재에 대해 동 등<sup>16)</sup> heat-pressing 시 126MPa의 3점굽힘강도를, Pröbster<sup>57)</sup>는 완성된 도재전장관에 대해 750-814 N의 압축강도를 보였으며, 본 연구에서는 heat-pressing 시 95.57MPa의 bi-axial flexure strength를 보여 동 등<sup>16)</sup>이 제시한 126MPa의 3점굽힘강도보다 낮은 값을 나타냈다. sintering된 alumina에 glass를 침투시켜 결정화 처리하는 Vita In-Ceram<sup>57,63)</sup> 도재에 대하여 Pröbster와 Diehl<sup>58)</sup>은 400MPa의 3점굽힘강도를 보고하였고, Pröbster<sup>57)</sup>는 인간의 평균 저작력이 40N<sup>14,18,27)</sup>, 최대 저작력이 245N<sup>34)</sup>-540N<sup>70)</sup>인데 비하여 Vita In-Ceram crown의 압축강도가 944N을 보여 구치부에 이용될 수 있는 가능성을 시사하였으며, Grey 등<sup>22)</sup>은 metal-ceramic 수복물과 유사한 1609±459N의 압축강도를 보고하였고, 현재까지 소개된 치과용 도재 중 가장 높은 굽힘강도를 보여<sup>58, 67)</sup> all-ceramic crown 뿐만 아니라 bridge까지도 제작

가능함이 보고되었다<sup>58,63)</sup>. 본 연구에서는 339.12 MPa의 bi-axial flexure strength를 보여 Pröbster와 Diehl<sup>58)</sup>이 제시한 3점굽힘강도보다 낮은 결과를 나타냈으나 통계적 분석 시 다른 도재와는 유의한 차이로서 굽힘강도가 가장 크게 나타났다( $p < 0.05$ ).

도재의 굽힘강도와 기공간의 관련성에 관하여, Jones<sup>29)</sup>는 도재의 강도는 균열의 기시점으로 작용하는 기공의 형태와 양에 크게 의존한다고 하였고, Binns<sup>9)</sup>는 도재의 기공에 대한 주된 요인은 sintering 시 가스의 함입때문으로 기공의 양, 크기, 형태는 주로 유리화(glass phase) 시의 점도(viscosity)에 따라 결정된다고 하였고, 또한 이 밖에도 도재 입자의 크기과 분포, 고체화 과정 중 내부응력의 발달에 의해서도 영향을 받는다고 하였으며, 도재 내부의 원형의 기공은 유리화 시 좋은 흐름성에 기인한다고 하였다. philo<sup>87)</sup>는 alumina로 강화되지 않은 또는 강화된 전통적인 porcelain jacket crown, metal-ceramic restoration용 도재, Cerestore 도재, Dicor 도재간의 굽힘강도와 기공 사이에는 상관관계가 없음을 보고하였다. 본 연구에서는 bi-axial flexure test 후 파절 단면의 관찰 시, 기공의 수, 크기, 형태는 재료에 따라 다양한 차이를 나타냈으며, 각 도재간의 기공과 강도 사이에는 상관성을 보이지 않았다. 기공의 수는 Vita VMK 68과 Vita In-Ceram, Vitadur-N, Vita Hi-Ceram, IPS-Empress 순으로 적게 나타났고, Vita VMK 68과 Vita In-Ceram에서는 불규칙한 형태의 기공을 보인 반면 Vita Hi-Ceram에서는 보다 원형인 형태의 기공들을 보였으며, IPS-Empress에서는 미세한 기공들이 분포되어 있는 양상을 보였다. 또한 1.25% 불산으로 30초간 산부식시킨 파절단면의 관찰 시, Vita VMK 68과 Vitadur-N에서는 크고 불규칙한 입자들이 분포된 양상을 나타냈고, Vita In-Ceram과 Vita Hi-Ceram에서는 많은 alumina 입자들이 용입되어 있는데 Vita In-Ceram이 Vita Hi-Ceram보다 작고 치밀한 alumina 입자들의 분포 양상을 나타냈으며, IPS-Empress에서는 leucite 결정으로 보이는 다양한 형태의 많은 입자들의 분포를 나타냈다(Fig. 3.4, 3.5). 이상의 관찰 결과로 보아 본 연구에서 사용한 도재들의 강도는 기공에 의한 영향보다는 도재의 조성 및 sintering mechanism에

의해 더 큰 영향을 받는 것으로 사료된다.

경도에 관하여 Seghi 등<sup>60)</sup>은 Vickers diamond 압흔 시, Vita VMK 68 도재는 760MPa, Dicor 도재는 440MPa를 보고하였고, Kvam 등<sup>30)</sup>은 Vitadur-N 도재에서 660-870MPa, Dicro 도재에서 360-410MPa로 나타남을 보고하였으며, Taira 등<sup>70)</sup>은 Vita VMK 68 도재에서 5.87GPa로 나타남을 보고하였다. 또한 Marshall 등<sup>41)</sup>은 세라믹 재료의 Knoop 경도와 탄성계수 사이에는 비례관계가 성립함을 보고하였으나, Jones<sup>29)</sup>는 치과재료의 경도와 그 밖의 다른 성질간에는 비례적인 관계가 성립되지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서 사용된 도재들의 Vickers 경도는 Vita In-Ceram, Vita Hi-Ceram, IPS-Empress, Vitadur-N, Vita VMK 68의 순으로 980.55, 426.79, 395.88, 373.34kg/mm<sup>2</sup>을 보여, 높은 굽힘강도를 보이는 도재 군에서 보다 큰 경도치를 나타내는 경향을 보였다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, In-Ceram system이 높은 강도를 나타내어 crown 뿐만 아니라 짧은 bridge의 영역까지 확장하여 적용될 수 있으리라 생각되지만, 도재의 파절은 결합부의 응력집중에 의해 야기될 수 있으므로 파절에 대한 내적 요인은 항상 존재한다<sup>80)</sup>. 따라서 수복물의 임상적 성공을 위해서는 적절한 수복 부위의 선택, 세심한 수복물의 설계와 치질의 삭제 등을 고려해야 하며, 위의 system들의 임상적 성공에 대한 신뢰성 있는 예측을 하기 위해서는 구강상태와 유사한 동적응력 상태 하에서의 완성된 수복물에 대한 평가, 도재에 가해진 응력을 상아질 쪽으로 분산시키는 cement의 종류에 따라 영향 등의 여러 요인들을 고려한 더 많은 연구가 필요하리라고 사료된다.

## 제5장 결 론

본 연구에서는 최근 임상적으로 사용되는 4종의 all-ceramic crown 용 도재(Vita In-Ceram, Vita Hi-Ceram, IPS-Empress, Vitadur-N)와 대조군으로서 metal-ceramic restoration 용인 Vita VMK 68의 파절 저항성을 평가하기 위하여 bi-axial flexure strength와 Vickers hardness를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Weibul modulus는 Vitadur-N에서 24.61로 가장 크고 IPS-Empress에서 8.82로 가장 작은 값을

보였으며, Characteristic strength는 Vita In-Ceram이 353.26MPa로 가장 크고 Vitadur-N에서 63.20MPa로 가장 작은 값을 보였다.

2. 평균 bi-axial flexure strength는 Vita In-Ceram이 339.12MPa로 가장 크고 Vitadur-N에서 61.99MPa로 가장 작게 나타났으며, 각 군간의 유의성을 검증한 결과, Vita In-Ceram 군과 Vita Hi-Ceram 군은 각각 나머지 군과 유의한 차이를 보였고, IPS-Empress 군과 Vitadur-N 군간에도 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ ).
3. 측정된 평균 경도치는 Vita In-Ceram이 980.55kg/mm<sup>2</sup>로 가장 크고, Vita VMK 68이 373.34kg/mm<sup>2</sup>로 가장 작게 나타났으며, 각 군간의 유의성을 검증한 결과, Vita In-Ceram 군과 Vita Hi-Ceram 군은 각각 나머지 군과 유의한 차이를 보였고, IPS-Empress 군과 Vita VMK 68 군간에는 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ ).

## 참고문헌

1. Adair, P.J. and Grossman, D.G.: The castable ceramic crown. *Int. J. Periodont. Rest. Dent.*, 2: 33-45, 1984.
2. Anstis, G.R., Chantikul, P., Lawn, B.R. and Marshall, D.B.: A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I. Direct crack measurements. *J. Am. Ceram. Soc.*, 64: 533-538, 1981.
3. Anusavice, K.J. and Hojjatie, B.: Stress distribution in metal-ceramic crowns with a facial porcelain margin. *J. Dent. Res.*, 66: 1497-1498, 1987.
4. Anusavice, K.J., Shen, C., Vermost, B. and Chow, B.: Strengthening of porcelain by ion exchange subsequent to thermal tempering. *Dent. Mater.*, 8: 149-152, 1992.
5. Ban, S. and Anusavice, K.J.: Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J. Dent. Res.*, 69: 1791-1799, 1990.
6. Ban, S., Hasegawa, J. and Anusavice, K.J.: Effect of loading conditions on bi-axial flexure strength of dental cements. *Dent. Mater.*, 8: 100-104, 1992.
7. Beham, G.: IPS-Empress: A New Ceramic Technology. *Ivoclar-Vivadent Report*, 6: 1-13, 1990.

8. Berenbaum, R. and Brodie, I. : Measurement of the tensile strength of brittle materials. *Br. J. Appl. Physics*, 10 : 281-287, 1959.
9. Binns, D. : The chemical and physical properties of dental porcelain. In : McLean, J.W., Craig, R.G., eds. *Dental Ceramics. Proceedings of the first international symposium on ceramics*. Chicago : Quintessence publishing Co. Inc., 41 : 82, 1983.
10. Borom, M.P. and Turkalo, A.M. : Strength and microstructure in lithium disilicate glass-ceramic. *J. Am. Ceram. Soc.*, 58 : 385, 1975.
11. Bryant, R.W. and Mahler, D.B. : Modulus of elasticity in bending of composites and amalgams. *J. Prosthet. Dent.*, 56 : 243-248, 1986.
12. Craig, R.G. : *Restorative Dental Material*. Mosby Company 6th ed., 1989.
13. Coffey, J.P., Anusavice, K.J., Dehoff, P.H., Lee, R.B. and Hojjate, B. : Influence of contraction mismatch and cooling rate on flexural failure of PFM systems. *J. Dent. Res.*, 6 : 61-65, 1988.
14. DeBoever, J.A., McCall, W.D., Holden, S., and Ash, M.M. : Functional occlusal forces : An investigation by telemetry. *J. Prosthet. Dent.*, 40 : 326-333, 1978.
15. Dickinson, A.J.G. : A comparative study of the strength of aluminous porcelain and all ceramic crowns. *J. Prosthet. Dent.*, 61 : 297-304, 1989.
16. Dong, J.K., Luthy, H., Wohlwend, A. and Schärer, P. : Heat-Pressed Ceramics : Technology and Strength. *Int. J. Prosthodont.*, 5 : 9-16, 1992.
17. Earnshaw, R. and Smith, D.C. : The Tensile and Compressive Strength of Plaster and Stone. *Aust. Dent. J.*, 11 : 415-422, 1966.
18. Eichner, K. : Aufschlüsse über den Kauvorgang durch elektronische Kaukraftmessungen. *Dtsch Zahnärztl Z.*, 19 : 415-426, 1964.
19. Fairhurst, C.W., Lockwood, P.E., Ringle, R.D., Thompson, W.O. : The effect of glaze on porcelain strength. *Dent. Mater.*, 8 : 203-207, 1992.
20. Fischer, J., Schmid, M., Kappert, H.F. and Sturb, J.R. : Cefugeaus-building der dentalkeramischen Kernmasse In-Ceram und thermische Dehnung ihrer Einzelkomponenten. *Dtsch Zahnärztl Z.*, 46 : 461-463, 1991.
21. Giovan, M.N. and Sines, G. : Bi-axial and uni-axial data for statistical comparison of a ceramic's strength. *J. Am. Ceram. Soc.*, 62 : 510-515, 1979.
22. Grey, N.J.A., Piddock, V. and Wilson, M.A. : In vitro comparison of conventional crowns and a new all-ceramic system. *J. Dent.*, 21 : 47-51, 1993.
23. Hobo, S. and Iwata, T. : Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. I. Theoretical considerations. *Quintessence Int.*, 16 : 135-141, 1985.
24. Hobo, S. and Iwata, T. : Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. II. Fabrication of the restoration. *Quintessence Int.*, 16 : 207-216, 1985.
25. Iijima, H., Hakamazuka, Y., Ito, S. and Hata, Y. : Clinical application and evaluation of Olympus Castable Ceramics(OCC). *J. Dent. Res.*, 70 : 757, abstr. No. 142, 1991.
26. Ishizaki, H. and Kameda, Y. : The bending strength of visible light cured posterior composite resins using one point concentrated load test. *Jpn. J. Conserv. Dent.*, 31 : 107-121, 1988.
27. Jager, K., Graber, G., and Schrutl, L. : Aufbau und Test einer Messkette zur Kaukraftmessung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.*, 99 : 670-675, 1989.
28. Johnston, W.M. and O'Brien, W.J. : The shear strength of dental porcelain. *J. Dent. Res.*, 59 : 1409-1411, 1980.
29. Jones, D.W. : The strength and strengthening mechanism of dental ceramics. *First Symposium on Ceramics*. Chicago : Quintessence Publ. Co., Inc., 83-141 : 1983.
30. Jones, D.W., Rizkalla, A.S. and King, H.W. : Fracture toughness and dynamic modulus of tetrasilicic-micaglass-ceramic. *J. Can. Ceram. Soc.*, 57 : 39-46, 1988.
31. Kao, R., Perrone, N. and Capps, W. : Largo-deflection solution of the coaxial-ring-circular-glass-plate flexure problem., *J. Am. Ceram. Soc.*, 54 : 566-571, 1971.

32. Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. : Introduction to Ceramics. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 371, 1976.
33. Kirstein, A.F. and Woolley, R.M. : Symmetrical bending of thin circular elastic plates of equally spaced point supports. J. Res. Natl. Bur. Stds., 71C : 1-10, 1967.
34. Korber, K.H., and Ludwig, K. : Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. Dent. Labor., 31 : 55-60, 1983.
35. Kvam, K. : Fracture toughness determination of ceramic and resin based dental composite. J. Dent. Res., 68 : 997, 1989.
36. Kvam, K., Herö, H. and Öilo, G. : Fracture toughness measurements of some dental core ceramics : a methodologic study. Scand. J. Dent. Res., 99 : 527-532, 1991.
37. Land, C.H. : A new system of restoring badly decayed teeth by means of an enamelled metallic coating. Independent Practitioner, 7 : 407, 1886.
38. Land, C.H. : A new system of restoring badly decayed teeth by means of an enamelled metallic coating. Independent Practitioner, 7 : 407, 1886.
39. Leinfelder, K.F., Lemons, J.E. : Clinical restorative materials and techniques. LEA & FEBIGER, P. 297, 1988.
40. Marshall, D.B. : All Improved Biaxial Flexure Test for Ceramics. Am. Ceram. Soc. Bull, 59 : 551-553, 1980.
41. Marshall, D.B., Noma, T., and Evans, A.G. : A simple method for determining elastic-modulus to hardness ratios using Knoop indentation measurements. Communication of the American Ceramic Society, C : 175-176, 1982.
42. McCabe, J.F. and Walls, A.W.G. : The treatment of results for tensile bond Strength testing. J. Dent., 14 : 165-168.
43. McKinney, K.R. and Herbert, C.M. : Effect of Surface Finish on Structural Ceramic Failure. J. Am. Ceram. Soc., 53 : 513-516, 1970.
44. McLean, J.W. : Ceramics in clinical dentistry. Br. Dent. J., 164 : 187-194, 1988.
45. McLean, J.W. : The Science and Art of Dental Ceramics, vol. 1. Chicago, Quintessence Publ Co. Inc., 1979.
46. McLean, J.W. and Hughes, T.H. : The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. Br. Dent. J., 119 : 251-267, 1965.
47. McLean, J.W. and Kedge, M.I. : High strength ceramics. Quintessence Int., 18 : 97-106, 1987.
48. McLean, J.W. and Sced, I.R. : The bonded alumina crown. The bonding of platinum to aluminous dental porcelain using tin oxide coatings. Austral. Dent. J., 21 : 119-127, 1976.
49. Meyer, J.M., O'Brien, W.J. and Yu, C.U. : Sintering of dental porcelain enamel. J. Dent. Res., 55 : 696-699, 1976.
50. Morena, R., Beaudreau, G.M. and Lockwood, P.E. : Fatigue of dental ceramics in a simulated oral environment. J. Dent. Res., 65 : 993-997, 1986.
51. Nixon, R.L. : How to select color for porcelain veneers. Synergy, 4-8, 1989.
52. Optec HSP laboratory technique manual. Jeneric/Pentro Inc, Wallingford, Conn. Jnuary, 1988.
53. Piddock, V. : Evaluation of a new high-strength aluminous porcelains. Clin. Master., 4 : 349-360, 1989.
54. Pletka, B.J. and Wiederhorn, S.M. : A Comparison of Failure Predictions by Strength and Fracture Mechanics Techniques. J. Mater. Sci., 17 : 1247-1268, 1982.
55. Pletka, B.J. and Wiederhorn, S.M. : Fracture Mechanics of Ceramics, Vol. 4, Crack Growth and Microstructure, Brads, R.C., Hasselman, D.P.H., and Lange, F.F., eds., New York : Plenum press ; 745-759, 1978.
56. Powers, J.M., Farah, J.W. and Craig, R.G. : Modulus of elasticity and strength properties of dental ceramics. J. Am. Dent. Assoc., 92 : 588-591, 1976.
57. Pröbster, L. : Compressive strength of two modern all-ceramic crowns. Int. J. Prosthodont., 5 : 409-414, 1992.
58. Pröbster, L. and Diehl, J. : Slip-casting alumina ceramics : A review of the flexure test. J. Am.

- Ceram. Soc., 74 : 2037, 1991.
59. Quinn, G.D. : Desing data for engineering ceramics : A review of the flexure test. *J. am. Ceram. Soc.*, 74 : 2037, 1991.
  60. Ritter, J.E. : Fracture ; Reliability Critcria for Brittle Matreials. In ; *Encyclopedia of Materials Science and Engineering*, M.B.Bever, Ed., Oxfor ; Pergamon Press, 1852-1858, 1986.
  61. Ritter, J.E. : Fracture ; Reliability Critcria for Brittle Matreials. In ; *Encyclopedia of Materials Science and Engineering*, M.B.Bever, Ed., Oxfor ; Pergamon Press, 1852-1858, 1986.
  62. Ritter, J.E., Bandyopadhyay, N. and Jakus, K. : Statistical reproducibility of the dynamic and static fatigue experiments. *Ceramic Bulletin*, 60 : 798-806, 1981.
  63. Sadoun, M. : *All Ceramic Bridges With the Slip Casting Technique*. Presented at the 7th International Symposium on Ceramics, Paris, September, 1988.
  64. Sallustio, F.W., Waskewicz, G.A. and Billy, E.J. : The effect of venting on the strength of Dicor and Hi-Ceram ceramic crowns. *Int. J. Prosthodont.*, 5 : 463-468, 1992.
  65. Schärer, P., Sato, T. and Wohlwend, A. : A comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown systems. *J. Prosthet. Dent.*, 59 : 534-542, 1988.
  66. Seghi, R.R., Denry, I. and Brajevic, F. : Effects of ion exchange on hardness and fracture toughness of dental ceramics. *Int. J. Prosthodont.*, 5 : 309-314, 1992.
  67. Seghi, R.R., Sorensen, J.A., Engelman, M.J., Roumanas, E. and Torres, T.J. : Flexural sternghth of new ceramic materials. *J. Dent. Res.*, 69 : 299, abstr. No. 1521, 1990.
  68. Shetty, D.K., Rosenfield, A.R., McGuire, P., Bansal, G.K. and Duckworth, W.H. : Biaxial flexure tests for ceramics. *Ceramic Bull.*, 59 : 1193-1197, 1980.
  69. Shetty, D.K., Rosenfiled, A.R., Duckworth, W.H. and Held, P.R. : A bi-xial flexure test for evaluating ceramic strength. *J. Am. Ceram. Soc.*, 66 : 36-42, 1983.
  70. Sonnenburg, M., Fethke, K., Riodel, S., and Voelker, H. : Zur Belastung der Zahne des menschlichen Kiefers. *Zahn-, Mund und Kieferheilkd.* 66 : 125-132, 1978.
  71. Southan, D.E. and Jorgensen, K.D. : An explanation for the occurrence of internal faults in porcelain jacket crowns. *Aust. Dent. J.*, 18 : 152-156, 1973.
  72. Southan, D.E. and Jorgensen, K.D. : Faulty porcelain Jacket crowns. *Aust. Dent. J.*, 17 : 436-440, 1972.
  73. Sproull, R.C. : Color marthcing in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. *J. Prosthet. Dent.*, 29 : 556-566, 1973.
  74. Sproull, R.C. : Color matching in dentistry. Part t. The three-dimensional nature of color. *J. Prosthet. Dent.*, 29 : 416-424, 1973.
  75. Söderholm, K.J.M. : Flexure strength of repaired dental composites. *Scand. J. Dent. Res.*, 94 : 364-369, 1986.
  76. Taira, M., Nomura, Y., Wakasa, K., Yamaki, M., Matrui, A. : Studies on fracture toughness of dental ceramics. *J. of Oral Reh.*, 17 : 551, 1990.
  77. Touati, B. and Plissart, A. : Facettes collées en céramique : vers une prothèse a minima. *Réalités cliniques* 1 : 51-66, 1990.
  78. Vines, R.F. & Semmelman, J.O. : Densification of dental porcelain. *J. Dent. Res.*, 16 : 950, 1957.
  79. Vita Zahnabrik : Vita Hi-Ceram Working Instructions. Bad Sackingen, Germany, 1988.
  80. Vrijoef, M.M.A., Spanauf, A.J. and Renggli, H.H. : Axial strengths of foil, all-ceramic and PFM molar crowns. *Dent. Mater.*, 4 : 15-19, 1988.
  81. Wachtman, J.B., Jr., Capps, W. and Mandel, J. : Bi-axial flexure tests of ceramic substrates. *J. Mater.*, 7 : 188-194, 1972.
  82. Williams, P.D. and Smith, D.C. : Measurement of the tensile strength of dental restorative materials by use of a diametral compression test. *J. Dent. Res.*, 50 : 436-442, 1971.
  83. Wilshaw, T.R. : Measurement of tensile strength

- of ceramics. *J. Am. Ceram. Soc.*, 51 : 111, 1968.
84. Winter, R. : Creation porcelain ; negating the need for an all-ceramic restoration. Lecture at the 17th annual session of the American Academy of Esthetic Dentistry. Santa Fe, NM. 1992.
85. Yamamoto, M. : Metal Ceramics. Chicago : Quintessence, 219-291, 1987.
86. Zidan, O., Asmussen, E. and Jorgnesen, K.D. : Tensile strength of restorative resins. *Scand. J. Dent. Res.*, 88 : 285-289, 1980.
87. filo, G. : Flexural strength and internal defects of some dental procelains. *Acta Odontol. Scand.*, 46 : 313-322, 1988.



## A COMPARATIVE STUDY ON THE FLEXURE STRENGTH OF THE CERAMICS FOR ALL-CERAMIC CROWNS

Hyung-Woo Yu, D. D. S., Chang-Yong Song, D. D. S., M. S. D., Tae-Seong Bae, Ph. D., Kwang-Yeob Song, D. D. S., M. S. D., Ph. D., Chan-Woon Park, D. D. S., M. S. D., Ph. D.

*Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chonbuk National University*

The purpose of this study was to evaluate the fracture resistance of the four kinds of dental porcelains for the all-ceramic crown (Vita In-Ceram, Vita Hi-Ceram, IPS-Empress, Vitadur-N) and one kind for the metal-ceramic crown (Vita VMK 68) was used as the control group.

In order to determine the fracture resistance, the bi-axial flexure strength was measured at a crosshead speed of 0.5mm/min, and the Vickers hardness was measured at an indentation load of 1kg for 20 seconds.

The results obtained were summarized as follows ;

1. The maximum Weibull modulus of 24.61 for Vitadur-N and the minimum one of 8.82 for IPS-Empress were observed ; the maximum characteristic strength of 353.26MPa for Vita In-Ceram and the minimum that of 63.20MPa for Vitadur-N were also observed.
2. The maximum mean bi-axial flexure strength of 339.12MPa for Vita In-Ceram and the minimum one of 61.99MPa for Vitadur-N were calculated.

Results of the Schêffe test indicated that the statistically significant difference ( $P < 0.05$ ) existed between Vita In-Ceram or Vita Hi-Ceram and the others ; also between IPS-Empress and Vitadur-N.

3. The maximum mean hardness of 980.55kg/mm<sup>2</sup> for Vita VMK 68 appeared.

Results of the Schêffe test indicated that statistically significant difference ( $P < 0.05$ ) existed between Vita In-Ceram or Vita Hi-Ceram and the others ; also between IPS-Empress and Vita VMK 68.