

# 도재소부전장금관용 Opaque 분말과 도재전장관용 core 분말의 물리화학적 성질 및 금속과의 결합력에 대한 비교연구

부산대학교 치과대학 치과보철학교실

임장섭, 정창모, 전영찬

## I. 서론

도재소부전장금관은 Brecker<sup>(1)</sup>가 도재-금합금 용착술을 개발함으로써 임상에 적용되기 시작하였으며 그 후 많은 선학들의 연구와 임상적 실험에 의해 도재소부전장금관용 합금의 개발과 더불어 물리적 성질 및 결합력에 관한 재료학적 단점들이 보와되어 왔다<sup>(2-9)</sup>. 또한 도재분말 자체도 세분화된 사용목적에 따라 구성성분을 달리한 도재가 생산되어 물리적 성질과 심미적인 면에서 상당한 발전을 이루어 왔다<sup>(10, 11)</sup>.

도재소주전장금관의 순면 치경부 금속 collar는 변연적합성을 좋게 하고 변연부에 집중되는 응력에 대해 도재의 파절 저항성을 높이는 효과를 가지고 치은열구가 얇은 경우, 치은퇴축으로 인해 보철물의 변연을 치은 상부에 위치시켜야 하는 경우 등에서 심미적인 문제를 가져올 수 있다<sup>(12)</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위해 collarless 도재소주전장금관이 소개되었으며 이는 도재전장관의 심미적 우수성과 도재소주전장금관의 파절에 대한 저항력 등의 장점을 이용한 것으로, 많은 선학들이 적응증 및 제작방법에 관하여 연구, 보고한 바 있다<sup>(13-19)</sup>.

그러나 collarless 도재소주전장금관 역시 내부금속

관으로 인해 도재색조의 측면에서 자연치와 유사한 심미성을 획득하기 어려운 실정이며<sup>(20, 21)</sup>, 이를 해결하기 위해 최근에는 도재 색조의 최대 장애요소인 내부 금속관을 백금박<sup>(13)</sup> 또는 고강도 불투명 도재<sup>(22-24)</sup>로 대체하고자 하는 연구가 이루어지고 있다.

그러나 근간에 소개되고 있는 이러한 시도는 과다한 치질의 삭제와 특수한 장비, 고도의 숙련된 제작기법 등을 요구하고 있어 광범위한 임상적용을 위해서는 아직도 몇가지 해결해야 할 문제점을 안고 있다<sup>(25, 26)</sup>.

한편 Anusavice 등<sup>(27)</sup>은 내부금속관의 순면변연의 위치에 따른 수복물의 응력양상을 유한요소분석법으로 분석하였고, Tanaka<sup>(28)</sup>는 백금박을 이용하여 순면 피개면적을 최소화시킨 내부금속관 제작법을 소개한 바 있다.

저자는 이러한 Anusavice 등<sup>(27)</sup>과 Tanaka<sup>(28)</sup>의 도재소주전장금관 제작기법에서, 도재전장관용 core 분말의 금속결합성에 관하여 조사 분석하기 위하여, 도재전장관용 core 분말과 도재소주전장금관 opaque 분말에 대해 열팽창계수를 포함한 열 성질과 정량, 정성분석을 통한 물리화학적 성질, 4점하중 굴곡시험을 통한 금속과의 결합력, 입도분포등을 측정, 비교하였다.

Table 1. Materials used in this study.

	Commercial Products	Code
Ceramic Alloy	Bond-on 4	
Porcelains	Duceram Jacket opaque powder	J
	Opaque powder	O
	Vita Hi-Ceram powder	H
	VMK Paint-On 88 powder	V

Table 2. Composition and technical data\* of alloy Bond-on 4.

Composition(%)	: Pd(79.7) Sn(6.5) Ga(6.0) Cu(5.0) Au Pt Ag Ru(balance)
Linear Expansion Coefficiency(mm/mK)	: (25~500)°C : 13.7 : (25~600)°C : 14.00
Melting range(°C)	: 1155 - 1290
Vickers Hardness No.	: 260
0.2% -Proof-Stress(N/mm <sup>2</sup> )	: 575
Tensile strength(N/mm <sup>2</sup> )	: 820
Elongation(%)	: 30

\*Manufacturer's data

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 실험재료

도재소부용 합금으로는 팔라듐 합금(Bond-on 4)을, 도재 분말로는 Duceram 도재전장관용 core 분말과 도재소주전장금관 opaque 분말, 그리고 Vita 도재전장관용 core 분말(Hi-Ceram)과 도재소주전장금관용 opaque 분말(VMK Paint-On 88)을 사용하였다(표 1, 2).

### 2. 성분분석 및 입도분포 측정

각 도재분말의 성분분석은 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrophotometer, Oxford QX-2000, England)를 이용하여 시행하였고 입도분포는 MALVERN Instruments(MALVERN Instruments SB, OC., U.S.A.)를 이용하여 평균입자 직경과 입도분포곡선을 구하였다.

### 3. 열팽창계수의 측정

#### 1) 시편 제작

도재의 열팽창계수 측정용 시편제작을 위하여 도재분말을 제조회사가 지정하는 각각의 special liquid와 혼합하고 몰드에 주입하여 축성, 건조한 후 전기도재료를 이용하여 제조회사의 지시에 따라 소성하였다. 소성된 도재시편을 저속 다이아몬드 절단다(Beuhler Ltd., Germany)로 절단하여 열팽창 측정기(Dilatometer Motoyama, Japan)의 규격에 맞는 15×8×40(mm)의 시편으로 제작하였으며, 각 도재분말마다 1개씩, 총 4개의 시편을 제작하였다.

#### 2) 열간선평창율의 측정 및 열팽창계수의 계산

모든 시편의 원래길이를 micrometer로 측정한 후 열간선평창 측정기(Dilatometer Motoyama, Japan)을 이용하여 계측온도구간 25~600°C, 온도 상승속도

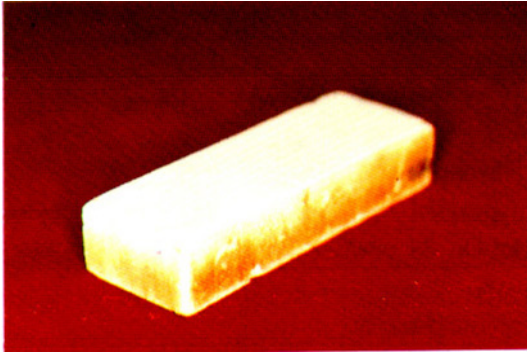


Fig. 1. For the dilatometric measurement, Bar-shaped porcelain specimen was prepared with the dimension of 15×8×40(mm) after final trimming.

8℃/min에서 열간선팅창율을 측정하였으며 열팽창 계수( $\alpha$ ) $\Delta L/L_0 \cdot \Delta T$ 의 공식으로부터 계산하였다. 여기서  $L_0$ 는 시편의 원래길이,  $\Delta L$ 은 시편의 길이변화,  $\Delta T$ 는 온도구간을 나타낸다.

시편의 열팽창계수를 측정하기 전에 표준시편(alumina 순도 99.9%)을 이용하여 calibration을 시행하였고 동일조건에서 기기자체의 열팽창곡선을 base line으로 설정하고 얻어진 열팽창 곡선에서 base line 만큼 제외하여 시편의 순수한 열팽창 곡선을 구하였다.

#### 4. 결합강도의 측정

##### 1) 시편 제작

두께 1mm의 plastic판으로 42×26×1(mm)의 납형을 준비한 후 10 gauge round wax로써 주입선을

설치하고 고온 인산염 매몰재(Hi-Temp)로 매몰한 후 통법에 따라 소환, 주조하였다.

주조된 금속 시편은 aluminum oxide disc를 이용하여 주입선을 절단하고 표면의 요철정도와 금속의 두께변화에 의해 순수 결합력의 측정이 방해받지 않도록 선반을 이용하여 0.7mm 두께로 정밀 가공하였다. 이후 저속 다이아몬드 절단기(Beuhler Ltd., Germany)를 이용하여 25×8×0.7(mm)가 되도록 절단해서 각 도재 분말당 9개씩, 도합 36개의 금속시편을 만들고, sand blasting 후 degassing을 시행하였다.

이후 도재 축성을 위한 jig(opaque 도재용, 14×8×0.6 ; dentin 도재용, 14×8×0.7 unit : mm)를 제작하여 도재의 균일한 두께와 도재-금속 변연부의 명확한 경계 형성을 이루도록 하였으며, jig 제작시 각각 opaque도재용 0.1mm, dentin 도재용 0.2mm씩을 두겹게 형성한 것은 소성 후의 도재수축을 보상하기 위함이었다.

opaque 도재층은 1차 wash opaque firing과 jig를 이용한 0.6mm 두께의 2차 cover firing 후 Parallelometer(Cendres & Metaux SA, CH-2501, Switzerland)를 이용하여 0.5mm 두께로 조정하였고, dentin 도재층은 제조회사에서 지정하는 각각의 dentin 도재분말(표 3)로 jig를 이용하여 1.2mm 두께로 축성, 소성한 후 1mm 두께로 조정하였다. 이후 glaze firing을 실시하여 소성횟수는 총 4회로 제한하였다.

최종적으로 완성된 시편은 0.7mm 두께의 금속판과 1.5mm 두께의 도재층이 되도록 하였다(그림 2, 3).

Table 3. Composition of test specimens for 4 point flexural bending test.

Group	Ceramic Alloy	Porcelains		No.
JG	Bond-on 4	Duceram Jacket opaque	Duceram dentin	9
OG	Bond-on 4	Duceram opaque	Duceram dentin	9
HG	Bond-on 4	Vita Hi-Ceram	Vitadur dentin	9
VG	Bond-on 4	Vita VMK Paint-On 88	Vita VMK 68 dentin	9

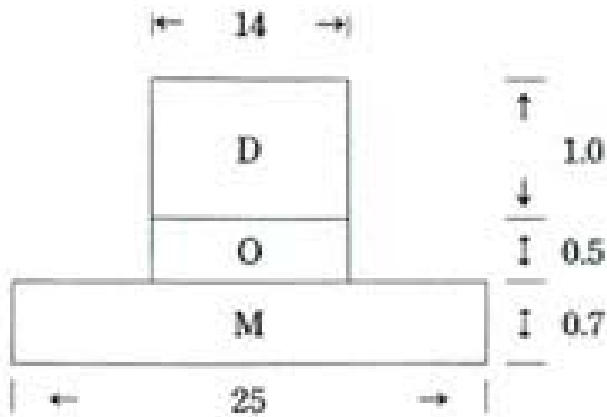


Fig. 2. Schematic diagram of specimen for 4 point flexural bending test.(Unit : mm)

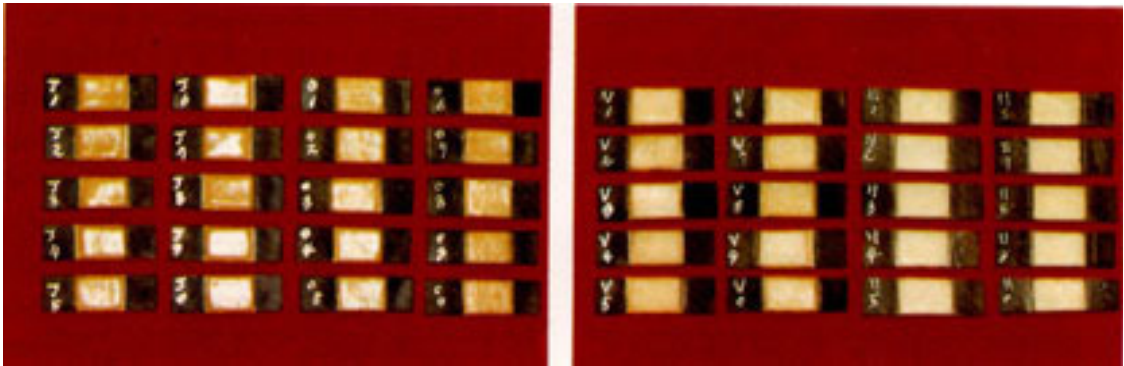


Fig. 3. Prepared specimens for 4 point flexural bending test.

## 2) 결합강도의 측정

그림 4와 같이 만능 시험기(Instron Co., Model 4301, U.S.A.)에서 4점하중 전달 장치를 시편 상하에 위치시킨 후 cross head speed 0.5 mm/min의 속도로 하중을 가하여 금속과 도재의 계면에서 분리가 일어나 기록상의 하중이 급격히 감소하는 때의 하중을 본 실험에서 요구하는 하중값으로 하였다.



Fig. 4. Four point flexural test arrangement. Upper two load points were 14mm apart and the distance between two lower supports was 23mm.

## III. 실험성적

### 1. 성분분석

EDS를 이용한 각 도재분말의 성분분석 결과를 표 4로 정리하였으며 SEM 상을 관찰하였다(Fig. 11).

표 4에서 보듯이 도재의 주성분은  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$

등으로 구성되며 이 밖에 미량의 착색제( $TiO_2$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$ ,  $ZrO_2$ )와 점성조절제( $CaO$ ,  $Na_2O$ ), 금속결합제( $Fe_2O_3$ ) 등의 첨가물을 포함하고 있었다.

Table 4. Chemical composition(wt%)of tested porcelains.

Code	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	MgO	LOI*
J	56.35	30.16	8.78	0.12	2.17	0.19	0.05	t'	t	—	2.18
O	69.65	16.60	11.05	0.12	1.82	0.21	0.05	t	t	—	0.50
H	26.59	63.64	4.04	0.84	3.10	t	1.42	—	—	0.07	0.30
V	59.04	16.16	10.58	1.59	6.04	t	6.16	—	—	0.01	0.43

t' : trace element

LOI\* : Loss of Ignition

각 도재 구성성분간의 두드러진 특징으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 조성비율의 차이를 관찰할 수 있었으며 Duceram Jacket opaque powder : 30.16%, Duceram Opaque powder : 16.60%, Vita Hi-Ceram powder : 63.64%, Vita VMK Paint-On 88 powder : 16.16% 등으로 나타났다.

한편, SiO<sub>2</sub>는 Duceram Jacket opaque powder : 56.3%, Duceram Opaque powder : 69.65%, Vita Hi-Ceram powder : 26.59%, Vita VMK Paint-On 88 powder : 59.4% 정도로 함유되고 있었다.

기타 미량의 첨가물 중 도재수복물의 색조 조절의 목적으로 TiO<sub>2</sub>(황갈색), MgO(자주색), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(갈색) 등이 0.05%~1.4% 정도로 함유되어 있었고 Vita VMK Paint-On 88 powder에는 TiO<sub>2</sub>가 6.16%로 비교적 많이 함유되어 있었다.

점성조절제로 첨가되는 Na<sub>2</sub>O, CaO, MgO, ZrO<sub>2</sub> 등은 0.1%에서 많게는 약 8% 정도로 관찰되었다. 이 중 Na<sub>2</sub>O가 비교적 높은 비율을 차지하고 있었으며 Duceram Jacket opaque powder : 2.17%, Duceram Opaque powder : 1.82%, Vita Hi-Ceram powder : 3.10%, Vita VMK Paint-On 88 powder : 6.04%로 나타났다.

금속결합제로 첨가되는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 Duceram 제품에 서만 관찰되었고 도재전장관용 core 분말과 도재소부 전장금관용 opaque 분말간에 별다른 조성비율의 차이는 없었다.

표 4에서 보이는 Loss of Ignition은 시료 분석과정 중에 상실되는 양으로써 주로 화합물 내에 존재하는 결합수(H<sub>2</sub>O), 부착수 등과 유기성분(CO<sub>2</sub>) 등으로 추정

된다.

## 2. 입도분포 분석

MALVERN Instruments를 이용한 입도분포 분석 결과를 표 5와 그림 6에 나타내었다. 표 5에서 나타난 D [v, 0.9]은 최대 10% 범위내의 평균입자직경을, D

Table 5. Result of particle size analysis.

Code	D[v, 0.9]	D[v, 0.1]	D[v, 0.5]*
J	62.05μm	1.32μm	11.70μm
O	85.53μm	1.31μm	16.48μm
H	50.22μm	2.93μm	18.63μm
V	64.60μm	1.87μm	20.02μm

\*D[v, 0.9] : mean particle size within maximum 10%

D[v, 0.1] : mean particle size within maximum 10%

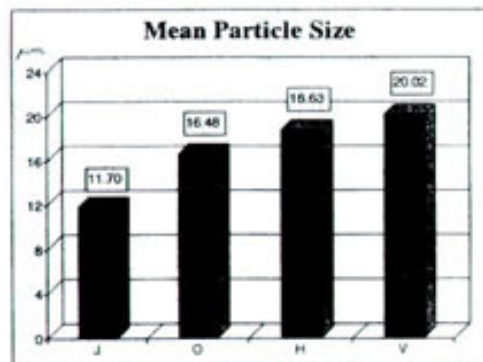


Fig. 5. Comparison of the mean particle size of porcelain powders.

[v, 0.1]은 최소 10% 범위내의 평균입자직경을, 그리고 D [v, 0.5]은 전체 평균입자직경을 나타낸다. 표 5에서 알 수 있듯이 평균입자직경은 Duceram Jacket opaque powder : 11.70 $\mu\text{m}$ , Duceram Opaque powder : 16.49 $\mu\text{m}$ , Vita Hi-Ceram powder : 18.63 $\mu\text{m}$ , Vita VMK Paint-On 88 powder : 20.02 $\mu\text{m}$  등으로 나타나 각 회사별로 도재소부전장금관용 opaque 분말쪽이 도재전장관용 core 분말보다 더 큰 평균입자 직경을 갖는 것으로 관찰되었다.

입자크기에 따른 加藤一男(29)의 분류(표6)로서 10 $\mu\text{m}$  이하의 超微粒, 10-30 $\mu\text{m}$ 의 微粒, 30-50 $\mu\text{m}$ 의 中粒, 50 $\mu\text{m}$  이상의 大粒으로 나누어 볼 때 시험도재 모두 평균입자직경으로는 미립구간의 범위에 속하였으나 입도분포곡선(그림6)과 표6에서 관찰할 수 있듯이 Duceram Jacket opaque powder와 Duceram Opaque powder는 10 $\mu\text{m}$  이하가 각각 47.0%와 40.1%, Vita Hi-Ceram powder와 Vita VMK Paint-On 88 powder는 10 $\mu\text{m}$  이하가 각각 30.7%와

27.0% 등으로 나타나 Duceram Jacket opaque powder와 Duceram Opaque powder에서 초미립형의 입자가 다소 많은 것으로, 또 도재소부전장금관용 opaque분말보다 도재전장관용 core분말에서 초미립의 입자가 다소 많은 것으로 관찰되었다. 그러나 30 $\mu\text{m}$  이하의 微粒구간으로 볼 때는 Duceram Jacket opaque powder : 69.1%, Duceram Opaque powder : 60.8%, Vita Hi-Ceram powder : 63.3%, Vita VMK Paint-On 88 powder : 72.4% 등으로 나타나 각 도재간에 별다른 차를 보이지 않았다.

Table 6. Particle size distribution(%).

particle size( $\mu\text{m}$ )	J	O	H	V
~10 ultrafine	47.0	40.1	30.7	27.0
10~30 fine	22.1	20.7	32.6	45.4
30~50 medium	12.9	13.8	18.8	17.4
50~ rough	18.0	25.4	17.9	10.2

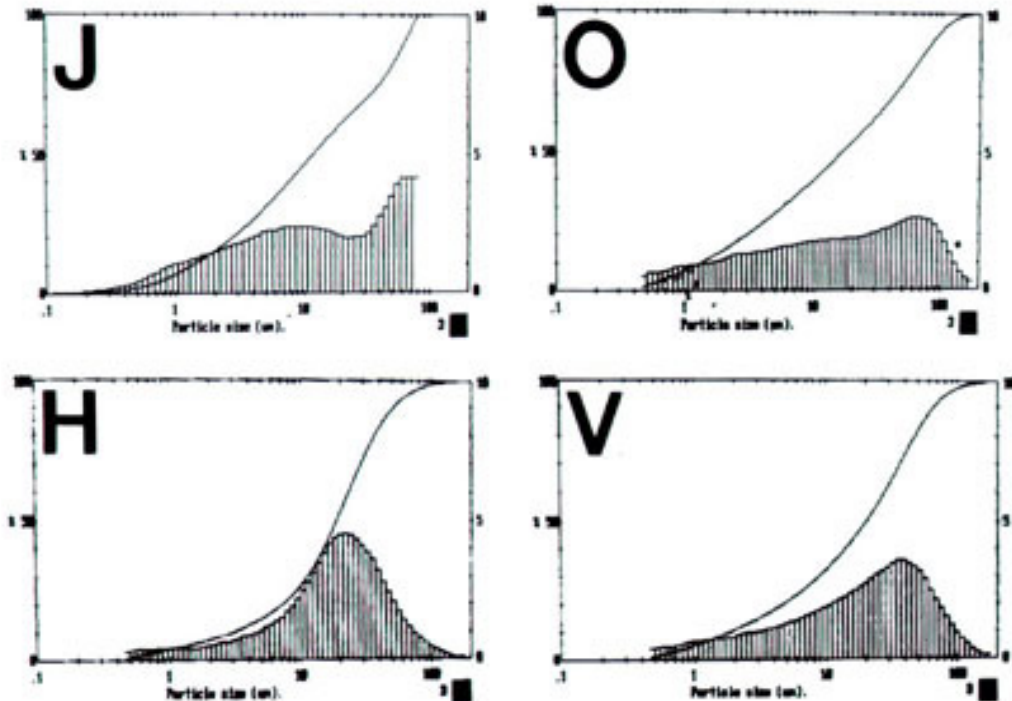


Fig. 6. Diagram showing the particle size distribution of porcelain powders.

### 3. 도재 열팽창 곡선과 열팽창계수

온도증가에 따른 단위길이 시편의 길이증가로 표시 되는 도재 열팽창곡선을 그림 7에 나타내었다.

시편의 원래길이를 micrometer로 측정한 후 열간 선팽창 측정기(Dilatometer Motoyama, Japan)를 이용하여 계속온도두간 25-600°C, 온도 상승속도 8°C/min에서 열간선팽창율을 측정하였으며 도재의 열팽창곡선은 계속온도 구간에서 거의 비선형팽창 거동으로 나타났다.

한편 본 실험에서는 각 온도 계속구간이 비교적 넓어서 도재의 유리화 온도를 추정하기에는 무리가 있었으므로 600°C에서의 선팽창율로부터 각 도재의 선팽창계수를 계산하였다. 즉 600°C에서 Duceram Jacket opaque은 0.71%, Duceram Opaque은 0.86%, Vita Hi-Ceram은 0.47%, Vita VMK Paint-On 88은 0.96%의 선팽창율을 보였으므로 선팽창계수로 Duceram Jacket opaque은  $12.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Duceram Opaque은  $14.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Vita Hi-Ceram은  $8.17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Vita VMK Paint-On 88은  $16.69 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 계산하였다(그림 8).

제조회사(30)에 따르면 Bond-on 4의 25-600°C 온도구간에서의 선팽창계수가  $14.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로 알려져 있으므로 측정된 도재시편의 선팽창계수와와의 차는 각각 Duceram Jacket opaque powder :  $1.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Duceram Opaque powder :  $0.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Vita Hi-

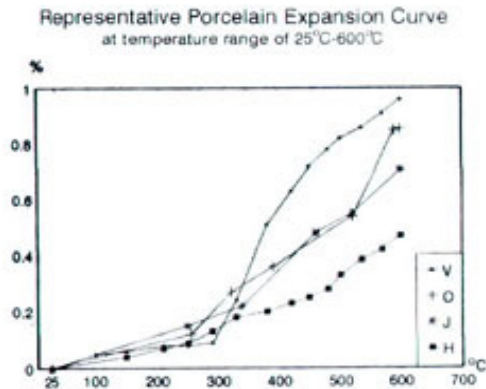


Fig. 7. Representative porcelain expansion curve at temperature range of 25-600°C.

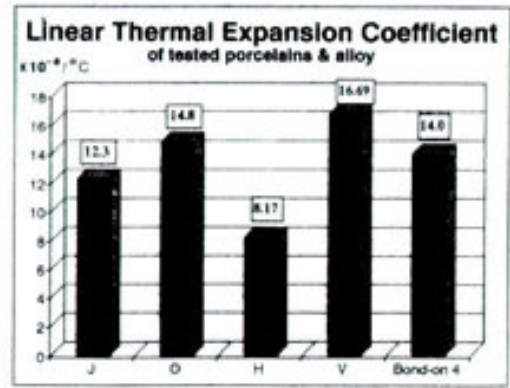


Fig. 8. Comparison of the thermal expansion coefficient of tested porcelains and ceramic alloy Bond-on 4 at temperature range of 25-600°C.

Ceram :  $5.83 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Vita VMK Paint-On 88 :  $2.69 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  등으로 나타났다. Vita Hi-Ceram 도재분말과 Bond-on 4간의 선팽창계수 차가 가장 컸으며 이는 본 실험에서 도재의 소성 후 냉각과정에서 도재층 내부에 multiple crack의 양상으로 나타났다(Fig. 12-C).

### 4. 4점하중 골곡시험에 의한 결합강도

금속과 도재간의 열성질의 차이로 인한 부적합 정도와 결합력간의 상관성을 알아보기와 4점하중 골곡시험을 시행하였으며(그림 9) 이때 나타난 하중치를 표 7에 정리하였다.

만능시험기(Instron Co., Model 4301, U.S.A.)에서 4점하중 전달장치를 시편 상하에 위치시키고 cross head speed 0.5mm/min이 속도로 하중을 가하여 금속과 도재의 계면에서 분리가 일어나 기록기상의 하중이 급격히 감소하는 때의 하중을 본 실험에서 요구하는 하중값으로 하였다.

4점하중 골곡시험을 통한 각 시편군의 평균 결합강도는 Duceram Jacket opaque group : 8.56kg, Duceram Opaque group : 8.56kg, Vita Hi-Ceram group : 16.13kg, Vita VMK Paint-On 88 group : 11.93kg등으로 나타났으며 이는 표 8과 그림 10에 나타내었다.

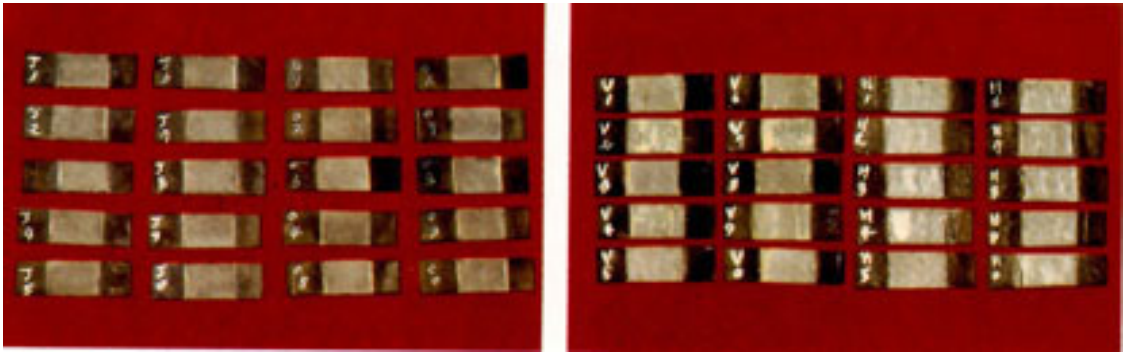


Fig. 9. Specimens after 4 point flexural bending test.

Table 7. Bond strength(kg) between porcelain and metal strip from the 4 point flexural bending test.

Group/No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
JG	10.6	8.9	4.4	6.6	5.0	13.9	6.5	7.3	
OG	9.2	8.4	3.0	8.7	9.5	7.2	4.8	7.1	8.9
HG	13.8	14.6	23.2	17.6	16.4	14.3	12.7	14.2	18.4
VG	11.9	14.3	11.6	12.8	10.6	12.1	8.5	10.7	14.8

이들 평균치의 유의성을 검증하고자 Jacket Opaque Group과 Opaque Group, 두 군의 소그룹 Duceram Jacket Opaque과 Vita Hi-Ceram, Duceram Opaque과 Vita VMK Paint-On 88을 2 way ANOVA로 검증한 결과 각각 F값이 5.01, 33.83으로 유의수준  $\alpha = 0.05$ 로써 통계학적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 사후 비교로서 Duceram Jacket Opaque, Duceram Opaque, Vita Hi-Ceram, Vita VMK Paint-On 88의 각각에 대한 유의성을 T-test로 검증한 결과 전체적으로는 F값이

14.61로 유의수준  $\alpha = 0.01$ 로써 통계학적으로 유의성이 있었으며( $p < 0.01$ ), JG와 HG, HG와 OG, HG와 VG군간에 유의수준  $\alpha = 0.05$ 로써 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며( $P < 0.05$ ), JG와 OG간에는 통계학적으로 유의한 차가 없었다. T-test의 결과는 표 9에 나타내었다.

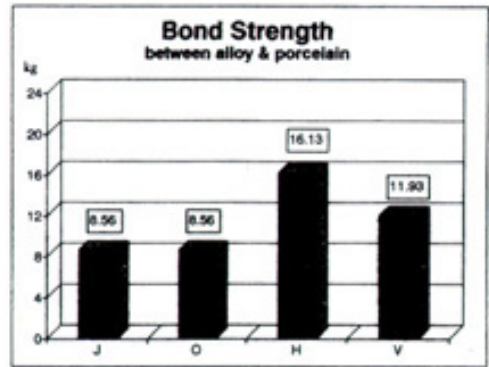


Fig. 10. Comparison of the mean flexural failure loads determined from the four point flexural test.

Table 8. Mean values of bond strength(kg) from the 4 point flexural bending test.

Group	No. of specimens	Mean(S.D.)
JG	9	8.56(3.33)
OG	9	8.56(2.14)
HG	9	16.13(3.05)
VG	9	11.93(1.82)

Table 9. T-test for mean bond strength.

Group	HG	OG	VG	F-value
JG	5.69**	0.00	2.53*	14.61
HG		5.69**	3.16**	
OG			2.53*	

\*\* : significant,  $p < 0.01$  \* : significant,  $p < 0.05$



## IV. 총괄 및 고찰

### 1. 도재 성분분석에 대하여

도재는 기본적으로 같은 성분원소를 함유하지만 그 성분원소의 조성비율에 따라서 여러가지 다른 물리적 성질을 나타내게 된다. 표 4에서 보듯이 도재의 주성분은  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$  등으로 구성되며 이 밖에 미량의 착색제( $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $ZnO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $MgO$ )와 점성 조절제( $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $BaO$ ,  $MgO$ ,  $Li_2O$ ,  $ZrO_2$ ), 금속결합제( $Fe_2O_3$ ,  $SnO_2$ ,  $In_2O_3$ ) 등의 첨가물을 포함하고 있다.

본 실험에 사용된 도재전장관용 core분말과 도재소부전장관용 opaque분말의 각 구성성분간의 두드러진 특징으로  $Al_2O_3$ 의 조성 비율의 차이를 관찰할 수 있었으며 이러한  $Al_2O_3$ 는 도재성분 내에서  $K_2O$ ,  $SiO_2$  등과 함께  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ 의 화합물(장석)로 존재하며 대략  $1290^\circ C$  정도의 용융점을 가짐으로 인해 도재 소성과정 동안 도재수복물의 형태를 유지하는 역할을 하고 불투명도 증가와 도재강도 증진의 목적으로 사용된다<sup>(31)</sup>. 따라서 일반적으로 도재소부전장관용의 opaque powder보다는 도재전장관의 core material에 다량 첨가되며 본 실험에서도 이를 확인할 수 있었다.

한편  $SiO_2$ 도 장석의 일부로서 도재소성 과정동안의 내화성 골조로 작용하고 강도증진과 불투명도 증가에 관여하는 것으로 알려져 있다<sup>(31)</sup>.

또  $Al_2O_3$ 와  $SiO_2$ 는 장석에서  $K_2O$ 가 씻겨져 나간 형태인  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (Kaolin)으로도 존재하는데 이것은 물과 반응할 때 점성을 가지게 되어 도재분말을 작업가능한 형태로 만들어 주는 역할을 하게 된다<sup>(31)</sup>.

기타 미량의 첨가물 중 도재수복물의 색조 조절의 목적으로 첨가되는 coloring pigments로  $TiO_2$ (황갈색),  $MgO$ (자주색),  $Fe_2O_3$ (갈색),  $CoO$ (청색),  $CuO$ (녹색),  $Ni_2O$ (갈색) 등이 있으며 형광성을 위해  $UO_3$ 를 첨가하기도 한다. 또한  $Na_2O$ ,  $BaO$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Li_2O$ ,  $ZrO_2$  등은 점성 조절제로 첨가된다<sup>(31)</sup>.

한편 도재소부전장관용 opaque분말에는 열팽창률을 높이기 위해 알칼리성 내용물을 좀더 포함시키고 있으며 opacifier로  $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $ZnO_2$ ,  $ZrO_2$  등을, 금속결합제로 을 첨가시키고 있다.

본 실험의 성분분석 결과에서 보듯이 대조전장관용 core분말과 도재소부전장관용 opaque분말에서 금속과의 결합성분은 뚜렷한 조성비 차를 관찰할 수 없었으며 열팽창계수 차를 고려하여 도재-금속을 선택한다면 도재전장관용 core분말을 이용한 도재소부전장관용도 결합력에 있어서는 별다른 문제점이 없을 것으로 사료되었다.

### 2. 입도분포 분석결과에 대하여

입자크기에 따른 加藤一男<sup>(29)</sup>의 분류로써  $10\mu m$  이하의 초미립,  $30\mu m$  이하의 미립,  $30-50\mu m$ 의 중립,  $50\mu m$  이상의 대립 등으로 나누어 볼 때 시험도재 모두 평균 입자 직경으로는 미립구간의 범위에 속하였으나 Duceram Jacket Opaque Powder, Duceram Opaque Powder는  $10\mu m$  이하의 비율이 각각 47.0%와 40.1%, Vita Hi-Ceram과 Vita VMK Paint-On 88은  $10\mu m$  이하의 비율이 각각 30.7%와 27.0% 등으로 나타나 Duceram Jacket Opaque Powder와 Duceram Opaque Powder에서 초미립형의 입자가 다소 많은 것으로, 또 도재소부전장관용 opaque분말보다 도재전장관용 core분말에서 초미립형의 입자가 다소 많은 것으로 관찰되었다. 그러나  $30\mu m$  이하의 미립구간으로 볼때는 Duceram Jacket Opaque Powder : 69.1%, Duceram Opaque Powder : 60.8%, Vita Hi-Ceram : 63.3%, Vita VMK Paint-On 88 : 72.4% 등으로 나타나 각 도재간에 별다른 차를 보이지 않았다.

이러한 도재분말의 입도분포는 수복물의 투명도와 강도 등에 영향을 미칠 수 있으므로 일반적으로 enamel powder에는 조립의 양을 많게 하거나, 혹은 조립의 범위를 확장시켜 투명도를 증진시키고 opaque powder에는 미립자를 많게 하여 효과적으로 금속색을 차단시키는 한편, condensation이 용이하도록 하

여 도재 수복물이 강도를 증가시키고, 금속에 강하게 밀착하도록 하는 효과를 얻고 있다.

또한 加騰日男<sup>(32)</sup>은 1종류의 입도로는 공극률이 45%인데 반해 2종류로는 25%, 3종-다종류에서는 공극률이 22%정도로 감소될 수 있다고 보고하였으며 충분한 condensation에 의해 분말상이 최대밀도가 되게 하는 것이 이차적 기포발생의 방지와 수축율의 감소, 나아가 도재 자체의 파절강도를 증진시킬 수 있다고 주장하였다.

이러한 성질을 이용하여 제조회사에 따라 입도분포 양상이 bimodal distribution을 갖는 도재<sup>(33)</sup>(DeTreys, Wienand Sohne & Co., Germany)가 시판되고 있으며 본 실험에 사용된 도재분말 역시 각 구간별로 일정비율 이상의 입도분포를 갖는 다종류의 분말상으로 관찰되었다. 또한 입도분포 분석결과에서 평균입자 직경, 입도분포구간 등에서 전재전관용 core 분말과 도재소부전장금관용 opaque분말 간의 뚜렷한 차는 관찰할 수 없었다.

### 3. 열팽창계수 측정 및 결합강도 비교 실험에 대하여

도재소부전장금관의 임상적 성공을 위해서는 금속과 도재간의 결합력<sup>(34, 35)</sup>과 함께 도재자체의 인장강도<sup>(31)</sup>, 도재-금속간의 열성질의 차이로 인한 잔류응력<sup>(36-38)</sup>, 내부금속구조의 적절한 설계<sup>(39)</sup>, 도재의 적용기법<sup>(40)</sup>, 합금의 금속학적 조성<sup>(41)</sup>, 적절한 냉각속도<sup>(36, 38, 42)</sup> 등의 많은 관련요인에 대한 고찰이 필요하다.

이 중 도재와 금속간의 열팽창 혹은 수축량의 부조화는 도재-금속간의 잔류응력을 유발할 수 있으며<sup>(43-46)</sup>, 이 응력과 저작 등에 의한 응력, 구강내 온도변화에 의한 열응력등이 수복물에 가해질 때 수복물의 파절을 일으켜 임상적 실패를 야기하는 것으로 간주되고 있다<sup>(46-49)</sup>. 또한 이러한 도재와 금속간의 열팽창의 차이로 인한 잔류응력은 외부에서 가해지는 하중이 없어도 시간 경과에 의해 임상적 실패를 일으킬 수 있는 것으로 보고되고 있으며<sup>(50, 51)</sup> 도재층의 균열<sup>(5)</sup>, 수복물의 변형<sup>(53, 54)</sup>, 도재-금속간의 결합력 저하<sup>(55, 56)</sup> 등의 원인으로

간주되고 있다.

도재와 금속간의 열팽창 차이에 의해 나타날 수 있는 응력( $\sigma$ )의 양은 주로 다음과 같은 Timoshenko<sup>(57)</sup>의 열응력공식으로 표현된다.

$$\sigma = K\Delta\alpha\Delta T$$

여기서 K는 시편형태와 기타변수를 고려한 계수이며,  $\Delta\alpha$ 는 열팽창계수의 차이를 그리고  $\Delta T$ 는 냉각시에 사용된 온도구간을 의미한다.

한편 도재는 소성 과정 중 어느 온도에 도달하면 용융되어 점성과 유동성을 나타내고 금속과 도재와의 결합계면에 잔류응력이 존재하지 않게 되지만 이 온도 이하에서는 도재와 금속 계면에 응력이 잔존하게 되는데 이때의 온도를 유리화 온도(glass transition temperature)<sup>(58, 59)</sup>로 표현하고 있다.

따라서 위의 공식을  $\Delta T$ 를 지정하기 위한 개념으로 변형시키면

$$\sigma = K\int_{T_0}^{T_1} (\Delta\alpha) dT$$

의 형식으로 표현될 수 있다<sup>(37, 47)</sup>. 여기서는  $T_0$ 는 대상으로 하는 실온 혹은 구강내의 온도이며  $T_g$ 는 도재의 유리화 온도로 간주되어진다. 즉  $T_g$ (glass transition temperature)의 값에 의해 도재와 금속간에 발생할 수 있는 응력( $\sigma$ )은 심하게 영향을 받을 수 있다. 따라서  $T_g$  값의 결정에 관해 많은 실험이 이루어지고 있는데 Lung 등<sup>(60)</sup>은 열팽창 곡선의 기울기가 급격히 증가하는 온도를 유리화 온도로 정하였으며 유리화 온도 이상에서 도재는 비교적 낮은 점성을 가지며 응력이 작용하지 않지만 유리화 온도 이하에서 도재는 응력에 저항한다고 하였다.

또한 유리화 온도라고 하는 것은 도재의 가열과정 중에 생기는 것으로 냉각시에 생기는 것으로 냉각시에 생기는 이 온도점은 유리화 온도와 차이를 보이는 hysteresis 현상을 보일 수 있다. 그러므로 일반적으로 행하는 도재의 열팽창계수 측정실험에서는 도재의 유리화 온도 혹은 연화 온도라는 용어가 사용되어 왔

으며, 냉각의 관점에서는 도재의 응고온도<sup>(55)</sup>라는 용어로 사용되고 있다. 엄밀한 의미에서 도재-금속간의 잔류응력은 도재의 수축과정 중에 발생한다는 사실에서 도재 열팽창 곡선보다 도재 수축곡선을 얻어야 할 것이나 선행<sup>(58)</sup>의 연구에 의하여 그 차이는 매우 적으며 더욱이 열팽창계수 측정장치의 온도상승속도에서는 거의 일치한다고 하였다.

한편 도재와 금속간 열팽창의 차이가 수복물에 미치는 영향 중 결합력에 관해서는 Caffey 등<sup>(55)</sup>이 4점하중 굴곡실험을 통하여 열팽창계수의 부조화와 냉각속도가 도재-금속간의 결합력에 미치는 영향을 보고하였고 Asaoks 등<sup>(61)</sup>은 도재-금속간의 열팽창계수 부조에 의해 잔류응력이 존재하는 경우의 결합강도를 실험, 보고한 바 있다.

이러한 도재-금속간의 잔류응력과 결합력 측정에 이용된 시편에 관하여 살펴보면 bimaterial strip<sup>(35, 46)</sup>, split ring<sup>(57, 62)</sup>, semicircular arch<sup>(62)</sup>, disc<sup>(62)</sup>, porcelain coated ring<sup>(63)</sup> 등의 여러가지 형태가 이용되어 왔으며 이에 대해 Anusavice 등<sup>(64)</sup>은 유한요소법으로 각 실험에 사용된 시편의 형태에서 나타날 수 있는 응력 분포를 분석하였는데 그 결과 따르면 다양한 형식의 응력 집중이 시편 형태에 따라 다르게 나타날 수 있어 실험 방법의 차이에 따라 결합력 측정이 영향을 받을 수 있다고 하였다.

본 연구에 사용한 4점하중 굴곡강도 시험법은, DeHoff 등<sup>(65)</sup>이 주장한 바와 같이 계면에서 형성된 응력의 분산이 도재와 금속 결합부의 양 끝단에 집중적으로 나타나서 도재-금속간 잔류응력의 존재를 결합강도 측정으로 인지할 수 있다고 하는 것이다.

이러한 4점 하중법은 과거에 사용되어 오던 3점 하중법<sup>(66)</sup>을 개량한 것으로써 하중을 받았을 때 시편의 응력이 도재와 금속 결합부의 양끝단에 정확히 가하여진다는 특징을 가지며 이는 유한요소분석법으로 Anusavice 등<sup>(64)</sup>에 의해 검정이 이루어진 바 있다.

이 실험 방법의 장점은 시편 제작과 실험 과정이 용이하고 도재층의 두께와 금속판의 두께가 임상적으로 타당성이 있으며<sup>(67)</sup> 도재와 금속간이 파절이 하중 적용부에서 대부분 일어난다고 하는 것이다<sup>(68)</sup>.

4점 하중법의 문제점은 금속판의 탄성률에 의해서 결합력이 심하게 영향을 받는다는 것으로 도재의 굴곡이 일어나기 이전에 금속판의 굴곡이 일어나야 하므로 우선 금속판 굴곡에 필요한 하중이 측정되어야 한다는 것이다<sup>(65)</sup>. 따라서 수종의 금속판을 비교할 때 탄성율이 큰 금속인 경우에는 더욱 큰 결합강도를 보이는 것으로 나타나게 되며 이를 다시 금속간의 동일한 탄성율로 환산한 경우에만 비교가 가능해지는 것이다<sup>(6, 41)</sup>. 본 실험에서는 금속을 한 종류만 선택하였으며 금속면의 처리, 도재의 축성 등을 동일 조건으로 일정하게 시행하고자 노력하였다. 따라서 본 실험에 나타난 수치가 재료의 결합력을 직접 의미한다고는 할 수 없으나 다만 동종 재료내에서 결합 기전이 같은 범위내에서는 비교가 가능하다고 생각된다.

4점 하중법의 또 다른 문제점으로 결합력 측정 시편에서 도재 두께가 얇은 경우에 도재층 내부의 파절이 일어날 수 있으며 이때 측정되는 하중은 결합력이 측정되는 것이 아니고 도재의 인장강도가 측정되므로 본 실험에서도 선행들의 연구에서와 같이 금속 : 도재의 두께비가 1 : 2이상이 되도록 하였다<sup>(67)</sup>.

또한 본 실험에서는 금속과 도재의 열팽창량의 차이로 인하여 나타난 응력이 모두 잔류 응력으로 존재한다는 가정하에 실험이 시행되었다. 그러나 DeHoff 등<sup>(69)</sup>은 열 부조에 의해 발생된 응력이 시간의 경과에 따라 재료가 가지는 탄성율과 항복강도에 의해 재료로 흡수되어 버린다고 보고하였다. 즉 시간의 경과에 의해 재료의 변형이 나타나고 그만큼 응력이 감소한다는 것이다. 따라서 이들은 응력을 두가지로 나누어, 재료가 흡수하지 못하고 영원히 남게 되는 잔류응력과 시간과 경과에 변형이나 균열을 보이면서 없어져 버리는 임시 응력으로 나누고 있다.

본 실험에서는 만능 시험기에서 하중전달 장치를 시편 상하에 위치시키고 cross head speed 0.5mm/min의 속도로 하중을 가하여, 금속과 도재의 계면에서 분리가 일어나 기록 기상의 하중이 급격히 감소하는 때의 하중을 본 실험에서 요구하는 하중값으로 하였다.

그러나 실험결과에서 보이는 바와 같이 도재와 금속

간의 분리는 여러단계를 거치면서 일어나는 것으로 관찰되었고 도재와 금속간의 분리로 인지될 수 있는 기록기상의 peak는 같은 시편내에서도 서로 그 크기가 달랐다. 따라서 저자는 최후에 나타나는 peak를 최대 결합강도로 인식하고 이때의 하중값을 선택하였다. 그러나 이 peak에 대한 해석여부에 따라 결합 하중의 결정에 지대한 영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 고찰이 좀 더 필요한 것으로 사료된다.

도재와 금속간의 결합력 증진을 위해서는 열팽창계수를 일치시켜야 한다는 이론과 구강내 조건에서 도재층에 약간의 압축잔류응력이 작용하도록 하여야 한다는 이론이 제기되고 있다<sup>(70)</sup>, 잔류응력의 계산 방법은 De-Hoff 등<sup>(70)</sup>이 주장한 바와 같이 금속의 열팽창계수로부터 도재의 열팽창계수를 뺀 결과에 시편의 형태적인 요인을 가하는 방법이 주로 이용되고 있다. 그 결과에서 음수값을 보이는 것은 도재쪽에 인장응력을 발생시키기 때문에 도재층 균열을 유발할 수 있는 것으로 간주되며, 미약한 양수값을 가지는 것은 도재외층에 압축응력을 발생시켜 도재자체 강도를 우수하게 하고 도재전장 수복물의 파절강도를 증가시키며, 나아가 도재의 강도 증진으로 인한 결합력의 증가를 유도할 수 있는 것으로 간주된다. 따라서 도재와 금속의 선택시에 금속의 열팽창 계수가 약간 큰 것을 선택하여 도재의 표면에 미약한 양수값의 압축잔류응력이 나타나도록 하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 그러나 이때 양수의 값이 지나치게 큰 경우에는 도재층 박리를 일으키려는 경향을 보이게 되며 따라서 도재와 금속간 결합력은 오히려 저하되는 것으로 알려져 있다<sup>(49)</sup>.

Anusavice 등<sup>(62)</sup>은 금속과 도재의 열팽창계수의 차이가 얼마나 될 때 결합력의 저하를 초래할 수 있는가에 관하여 금속의 것이 도재의 것에 비하여  $1.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  내지  $2.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  이상의 차이를 보이는 경우 도재층의 균열과 결합력의 감소를 보인다고 하였다.

본 실험 결과에서는 Bond-on 4 alloy와의 열팽창계수 차이가 각각  $1.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,  $0.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 나타났던 Duceram 도재전장관용 core 분말과 도재소부전장관용 opaque 분말은 결합력에 있어서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 따라서 열성질의 관

점에서 볼 때 Duceram 도재분말은 Bond-on 4 alloy와 무리없이 사용될 수 있으며 도재외층에 압축 잔류응력이 나타나게 하기 위해서는 오히려 도재전장관용 core분말쪽이 더 유리할 것으로 사료되었다. 한편 Vita 도재분말은 Vita Hi-Ceram :  $5.83 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Vita VMK Paint-On 88 :  $2.69 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  등으로 비교적 큰 열팽창계수 차를 보여 열성질의 부조화 양이 크게 나타났으며 특히 열팽창계수 차이가 가장 컸던 Vita Hi-Ceram 도재분말에서는 소성 후 냉각 과정에서 multiple crack의 양상을 관찰할 수 있었다. 이상에서 살펴본 바와 같이 도재-금속간의 잔류응력이 결합강도에 미치는 영향은 많은 변수를 포함하고 있으며 열팽창의 차이가 결합강도에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 금속의 주조 과정이나 전처리 과정에서 금속내에 존재하게 되는 잔류응력등의 파악도 반드시 선행되어야 할 것으로 사료된다.

## V. 결론

최근에 소개되고 있는 몇가지 도재소부전장금관의 제작방법<sup>(27, 28)</sup>중 내부금속관과 도재전장관용 core 분말과의 결합에서, 상이한 열성질의 차로 인한 예상되는 낮은 결합력과 도재전장관용 core 분말내의 금속과의 결합성분 비율 등의 문제점을 생각하고 도재소부전장관용 opaque 분말과 도재전장관용 core 분말에 대해 열팽창계수를 포함한 열성질과 정량, 정성분석을 통한 물리화학적 성질, 입도분포, 4점하중 굴곡시험을 통한 금속과의 결합력 등을 비교해 보았다.

도재소부용 합금으로는 Bond-on 4를, 도재분말로 는 Duceram 도재분말과 Vita 도재분말을 사용하였으며 각 도재분말의 성분분석은 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrophotometer, Oxford QX-2000, England)를 이용하였고 입도분포측정은 MALVERN Instruments(MALVERN Instruments SB.CO., U.S.A.)를 이용하여 평균입자직경과 입도분포곡선을 구하였다. 열간선팽창 측정기(Dilatometer, Motoyama, Japan)로 25-600 $^{\circ}\text{C}$  온도 구간에서의 선

팽창율을 측정하고 이로부터 각 도재의 열팽창계수를 계산하였다. 금속과의 결합력은 25×8×0.7(mm)의 금속판 위에 각각의 도재로 14×8×1.5(mm)의 도재층이 되도록 준비한 후 만능시험기(Instron Co., U.S.A.)에서 4점하중 굴곡시험을 통하여 측정하였다. 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도재전장관용 core 분말과 도재소부전장금관용 opaque 분말의 구성 성분간의 두드러진 특징으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 조성비율의 차이를 관찰할 수 있었으며 Duceram Jacket opaque powder : 30.16%, Duceram Opaque powder : 16.60%, Vita Hi-Ceram powder : 63.64%, Vita VMK Paint-On 88 Powder : 16.16% 등으로 나타났다.
2. 도재전장관용 core 분말과 도재소부전장금관용 opaque 분말과 구성 성분중 금속결합제로 추측되는 성분은 별다른 조성 비율의 차이를 나타내지 않았다.
3. 도재소부전장금관용 opaque 분말은 열팽창률을 높이기 위해 알칼리성 내용물을 조금 더 많이 포함하고 있었다.
4. 입도분포 분석결과에서 도재전장관용 core분말과 도재소부전장금관용 opaque 분말간에 평균 입자직경, 입도분포구간 등에서 뚜렷한 차이는 없었다.
5. 25-600℃ 온도구간에서의 열팽창계수 측정시험에서 도재소부전장금관용 opaque 분말이 도재전장관용 core 분말보다 다소 큰 열팽창계수를 나타내었다.
6. 4점하중 굴곡시험에서의 평균 결합강도는 Duceram Jacket opaque Group : 8.56kg, Duceram Opaque Group : 8.56kg, Vita Hi-Ceram Group : 16.13kg, Vita VMK Paint-On 88 Group : 11.93kg 등으로 나타나 Duceram 제품에서는 도재전장관용 core 분말과 도재소부전장금관용 opaque 분말간에 통계학적으로 유의한 결합강도 차가 없었다.

## Reference

1. Brecker, S.C. : Porcelain baked to gold : A new medium in prosthodontics, J. Prosthet. Dent., 6 : 801, 1956.
2. Carter, J.M. and Sorensen, S.E. : Adherence of a nickel-chromium alloy and porcelain, J. Prosthet. Dent., 41 : 167, 1979.
3. Dale, J.W. and Moster, J.B. : A clinical evaluation of semiprecious alloys for dowels and cores, J. Prosthet. Dent., 38 : 161, 1977.
4. Dale, J.W. and Moster, J.B. : Semiprecious alloys for casting restorations : a Preliminary report, J. Prosthet. Dent., 38 : 627, 1977.
5. Huget, E.F., Vlica, J.M. and Wall, W.M. : Characterization two ceramic-basemetal alloy, J. Prosthet. Dent., 40 : 637, 1978.
6. Moffa, J.P. et al. : An evaluation of nonprecious alloys for use with porcelain veneers, Part 1. Physical properties, J. Prosthet. Dent., 30 : 424, 1973.
7. Pretson, J.D. and Berger, R. : Some laboratory variables affecting ceramometal alloys, Dent. Clin North. A., 717, Oct., 1977.
8. Ronald, P.L. and Richard, J.G. : Bond strength studies of precious, semiprecious and non precious metal alloys with two porcelains, J. Prosthet. Dent., 37 : 228, 1977.
9. Weiss, P.A. P : New Design Parameters utilizing the properties of Ni-Cr superalloys, Dent. Clin. North Am., 21 : 769, 1977.
10. J. Prosthet. Dent., 21 : 227, 1969.
11. Philip. R.W. : Skinner's Science of Dental Materials, ed., 8., W.B. Saunders Co., p.49, p. 1973.
12. Pameijer, C.H. and Kikutake, T. : Enhancing esthetic in porcelain fused to metal through technique modifications, Dent. Clin. North Am., 29 : 753, 1985.

13. Choung, C.K. et al. : Procedure for a simplified collarless metal-ceramic restoration using gold powder, *J. Prosthet. Dent.*, 47 : 449, 1982.
14. Vickery, R.C. et al. : the direct fabrication of restorations without foil on a refractory dies, *J. Prosthet. Dent.*, 21 : 227, 1969.
15. Toogood, G.D. and Archivald, T.F. : Technique for establishing porcelain margins, *J. Prosthet. Dent.*, 40 : 464, 1978.
16. Schneider, D.M. : Porcelain shoulder adaptation using direct refractory dies, *J. Prosthet. Dent.*, 36 : 583, 1976.
17. Sozio, R.B. and Riley, E.J. : A precision ceramic-metal restroation with a facial butted margin, *J. Prosthet. Dent.*, 37 : 517, 1977.
18. 김경선, 이선형 : 도재전장주조관의 순측치 경부 변연 적합도에 관한 주사전자현미경적 연구, *대한치과보철학회지*, 23 : 113, 1986.
19. Prince, J., Donovan, T.E. and Presswood, R.G. The all porcelain labial margin for ceramometal restorations ; A new concept, *J. Prosthet. Dent.*, 50 : 793, 1983.
20. Sorensen, J.A. and Torres, T.J. : Improved color matching of metal-ceramic restorations. Part I : A systematic method for shade determination, *J. Prosthet. Dent.*, 58 : 133, 1987.
21. Sorensen, J.A. and Torres, T.J. : Improved color matching of metal ceramic restorations. Part II : Procedures for visual communication, *J. Prosthet. Dent.*, 58 : 669, 1987.
22. Sozio, R.B. and Riley, E.J. : The shrinkfree ceramic crown, *J. Prosthet. Dent.*, 49 : 182, 1983.
23. Adair, P.J. : The castable ceramic crowns, *Int. J. Perio. Rest. Dent. J.*, 4 : 32, 1984.
24. Villiam, J. and O'Brien, B.S. : magnesia Cermic Jacket Crowns, *Dent. Clin. North Am.*, 29 : 710-723, 1985.
25. 김경남 : 치과용 도재의 최근 경향, *대한치과 의사협회지*, 24 : 692-695, 1986.
26. McLean, J.W. and Kedge, M.I. : High-Strength Ceramics, *Perspectives in Dental Ceramics*, 1st ed., p. 153, Quintessence pub. co., 1988.
27. Anusavice, K.J., Hojjate, B. : Stress distribution in metal-ceramic crowns with a facial porcelain margin, *J. Dent. Res.*, 66 : 1493-1498, 1987.
28. Tanaka, A. : Fabrication of bridge using the sunrise metal ceramic system, *Quintess. dent. Tech., Yearbook*, 13 : 87, 1989.
29. 加藤一男 : 陶材의 팽창과 수축의機構, *齒科技工, 別冊 陶材* 昭和 54年 9月, p.23-31.
30. Technical Data of Alloy Bond-on 4 R, Degussa A.G., Germany.
31. Craig, R.G. : *Restorative Dental Materials*. 7th ed., Mosby Company, 1985.
32. 加藤一男 : 工業と製品, *工業技術協會*, 57 : 284, 1974.
33. Marquis, P.M. : *Perspectives in Dental Ceramics*, 1st ed., p. 15-27, Quintessence pub. co., 1988.
34. Cascone, P.J. : The effect of thermal properties on porcelain to metal compatibility, *J. Dent. Res.*, 58 : 682, 1969.
35. Nielsen J.P. and Tuccillo, J.J. : Calculation of interfacial stress in dental porcelain bonded to gold alloy substrate, *J. Dent. Res.*, 51 : 1043-1047, 1972.
36. Anusavice, K.J. Twiggs, S.W., DeHoff, P.H. and Fairhurst, C.W. : Correlation of thermal shock resistance with thermal compatibility data for porcelain-metal systems, *J. Dent. Res.*, 61 : 419, 1982.
37. Fairhurst, C.W., Anusavice, K.J., Ringle, R.D. and Twiggs, S.W. : Porcelain-metal thermal compatibility, *J. Dent. Res.*, 60 : 815-819, 1983.
38. Anusavice, K.J., DeHoff, P.H., Twiggs, S.W. and Lockwood, P.C. : Thermal shock resistance of porcelain discs, *J. Dent. Res.*, 62 : 1082, 1983.
39. Miller, L.L. : *Framework Design in Ceramometal Restorations*, *Dent. Clin. North Am.*, 21 : 699, 1977.

40. Kashiwase, M. L Effect of metal surface preparation on bubbles in metal ceramics, *Shikwa Gakuho*, 78 : 1171, 1978.
41. Baran, G.R. : Phase changes in base metal alloys along the metal porcelain interface, *J. Dent. Res.*, 48 : 551, 1982.
42. Guinn III, J.W. et al. : The effect of cooling rate on the apparent bone strength of porcelain-metal couples, *J. Prosthet. Dent.*, 48 : 551, 1982.
43. Milton, A.B., Klein, G. and Howard, M.C. : An evaluation and comparison of porcelains fused to cast metals, *J. Prosthet. Dent.*, 10 : 1055-1064, 1960.
44. Vincent, P.F., Stevens, L. and Basford, K.E. : A comparison of the casting ability of precious and nonprecious alloys for porcelain veneering, *J. Prosthet. Dent.*, 37 : 527-536, 1977.
45. Campbell, S.D. : A comparative strength study of metal ceramic and allceramic esthetic materials, modulus of rupture, *J. Prosthet. Dent.*, 62 : 476-479, 1989.
46. Bertholotti, R.L. : Calculation of interfacial stress in porcelain fused to metal systems, *J. Dent. Res.*, 59 : 1971-1977, 1980.
47. Scherer, G.W. : Use of a bimaterial strip to predict expansion compatibility, *J. Dent. Res.*, 66 : 1340, 1987.
48. Bagby, M., Marshall, S.J. and Marshall, G.W. P : Metal ceramic compatibility, a review of the literature, *J. Prosthet. Dent.*, 63 : 21-25, 1990.
49. Prasad, A., Day, G.O. and Tobey, R.G. : A new dimension for evaluation of porcelain alloy compatibility, *Perspectives in dental Ceramics*, 1st ed., p.65, Quintessence pub. co., 1988.
50. Anusavice, K.J. and Lee, R.B. : Effect of firing temperature and water exposure on crack propagation in unglazed porcelain, *J. Dent. Res.*, 68 : 1075-1081, 1989.
51. Phillips, R.W. : Skinner's science of dental materials, 8th ed., Philadelphia : W.B. Saunders Company, p. 502-503, 1982.
52. Anusavice, K.J., DeHoff, P.H., Hojjatie, B. and Gray, A. : Influence of tempering and contraction mismatch on crack development in ceramic surfaces, *J. Dent. Res.*, 68 : 1182-1187, 1989.
53. Bridger, D.V. and Nicholls, J.I. : Distortion of ceramometal fixed partial dentures during the firing cycle, *J. Prosthet. Dent.* 45 : 507-514, 1981.
54. Hobo, S. : Distortion of occlusal porcelain during glazing, *J. Prosthet. Dent.*, 47 : 154-156, 1982.
55. Coffey, J.P., Anusavice, K.J., DeHoff, P.H., Lee, R.B. and Hojjatie, B. : Influence of contraction mismatch and cooling rate on flexural failure of PFM systems, *J. Dent. Res.*, 67 : 61-65, 1988.
56. Gavelis, J.R., Lim, S.B., Guckes, A.D., Morency, J.D. and Sozio, R.B. : A comparison of the bond strength of two ceramometal systems, *J. Prosthet. Dent.* 48 : 424-428, 1982.
57. Timosenko, S. : Analysis of bimetal thermostats, *J. Opt. Soc. Am.* 11:233, 1925.
58. Fairhurst, C.W., Hashinger, D.T. and Twiggs, S.W. : The effect of thermal history on porcelain expansion behavior, *J. Dent. Res.*, 68 : 1313-1315, 1989.
59. Bertollort, R.L. and Fukui, H. : Measurement of softening temperatures in dental bake on porcelains, *J. Dent. Res.*, 61 : 480-483, 1982.
60. Lund, P.S., Goodkind, R.J. and Swanson, S. : Residual stress in several ceramometal systems, *J. Prosthet. Res.*, 62 : 278, 1989.
61. Asaoka, K. and Tesk, J.A. : transient and residual stress in a porcelain-metal strip, *J. Dent. Res.*, 69 : 463-469, 1990.
62. Anusavice, K.J., DeHoff, P.H., Gray, A. and Lee, R.B. : Delayed crack development in porcelain due to incompatibility stress, *J. Dent. Res.*, 65 : 1086-1091, 1988.
63. Oram, D.D., Davies, E.H., Cruickshanks Body :

- Fracture of ceramic and metaloceramic cylinders, *J. Prosthet. Res.*, 52 : 221, 1984.
64. Anusavice, K.J., DeHoff, P.H. and Fairhurst, C.W. : Cinoarative evaluation of ceramic-metal-bond test using finite element stress analysis, *J. Dent. Res.*, 59 : 608-613, 1980.
  65. DeHoff, P.H., Anusavice, K.J. and Hathcock, P.W. : An evaluation of the four pont flexural test for metal-ceramic bond strength, *J. Dent. Res.*, 61 : 1066-1069, 1982.
  66. Caputo, A.A., Dunn, D. and Rsibick, M.H. : A flexural method for evaluation of metal-ceramic bond strength, *J. Dent. Res.*, 56 : 1501-1506, 1977.
  67. Barghi, N. and Lorenzana, R.E. : Optimum thickness of opaque and body porcelain, *J. Prosthet. Res.*, 48 : 282-284, 1982.
  68. Schaffer, S.P. : An approach to determiing the bond strength of ceramo-metal systems, *J. Prosthet. Res.*, 48 : 282-284, 1982.
  69. DeHoff, P.H. and Anusavice, K.J. : Analytical model to predict the effects of heating rate and applied load on glass transition temperatures of dental porcelain, *J. Dent. Res.*, 65 : 643-647, 1986.
  70. DeHoff, P.H. and Anusavice, K.J. : Analysis of allo-porcelain compatibility using a multi-component material strip equation, *J. Dent. Res.*, 64 : 1347-1344, 1985.



## Legend for figures

Fig. 11. SEM micrographs of tested ceramic powders

a ; Duceram Jacket opaque powder( $\times 5000$ )

b ; Duceram Ioaqye oiwder( $\times 5000$ )

c ; Vita Hi-Ceram powder( $\times 500$ )

d ; Vita VMK Paint-On 88 powder( $\times 2000$ )

Fig. 12. Photomicrographs of surface of porcelain after firing( $\times 15$ )

a ; JG, b : OG, c ; HG, d ; VG

Fig. 13. Photomicrographs of posttested metal surface at metal-opaque porcelain interface( $\times 15$ )

a ; JG, b : OG, c ; HG, d ; VG

Fig. 14. Photomicrographs of posttested opaque porcelain surface at metal-opaque porcelain interface( $\times 15$ )

a ; JG, b : OG, c ; HG, d ; VG

Fig. 15. Photomicrographs of posttested metal surface at line of force application( $\times 15$ )

a ; JG, b : OG, c ; HG, d ; VG

사진부도 1

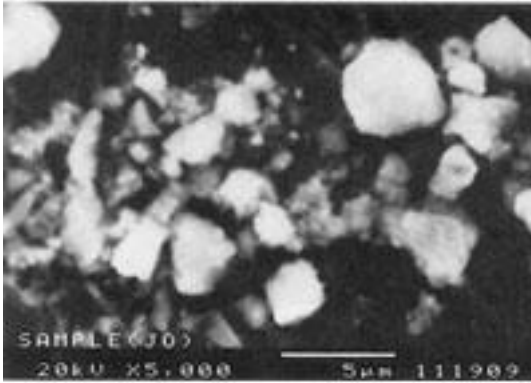


Fig. 11-a

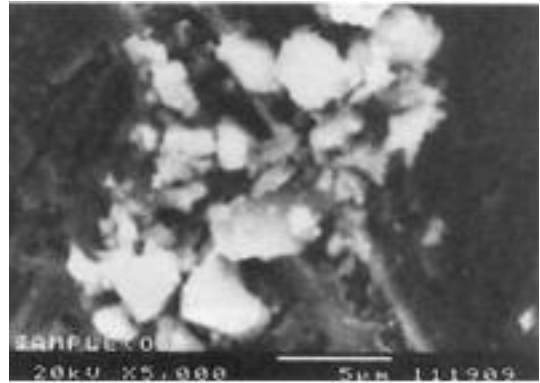


Fig. 11-b

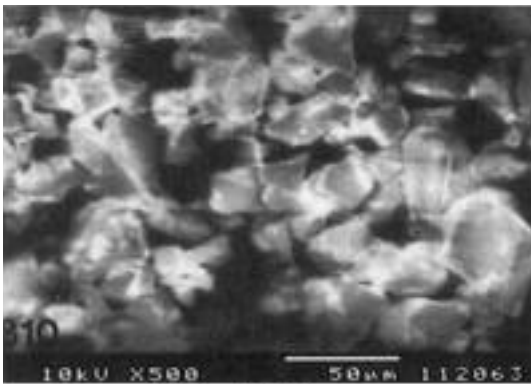


Fig. 11-c

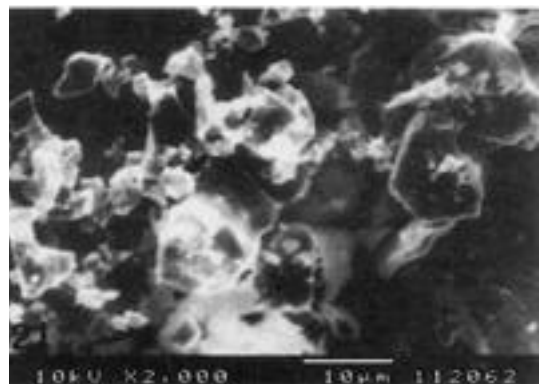


Fig. 11-d

사진부도 2

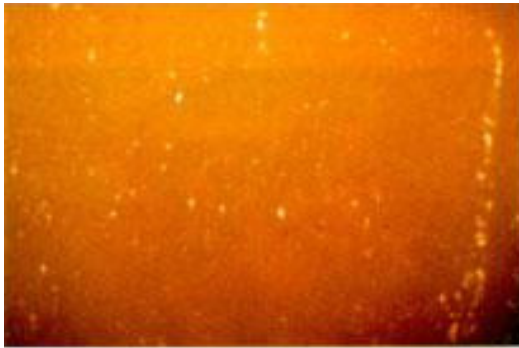


Fig. 12-a



Fig. 12-b



Fig. 12-c



Fig. 12-d



Fig. 13-a



Fig. 13-b



Fig. 13-c



Fig. 13-d

사진부도 3



Fig. 14-a



Fig. 14-b



Fig. 14-c



Fig. 14-d

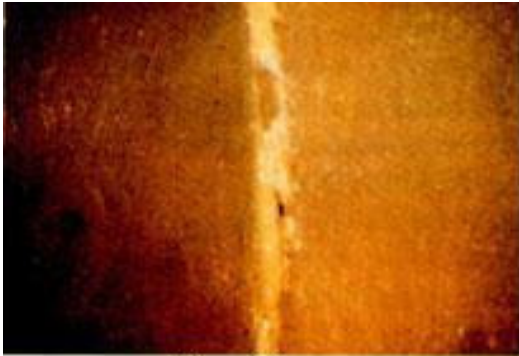


Fig. 15-a

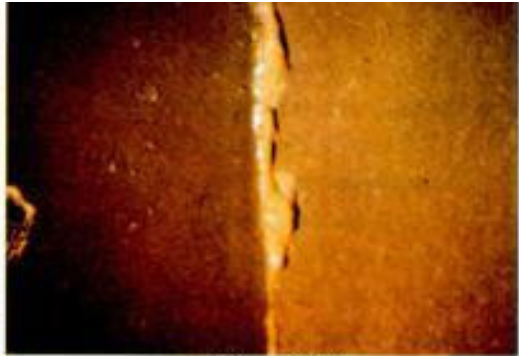


Fig. 15-b



Fig. 15-c



Fig. 15-d

=Abstract=

## **A COMPARATIVE STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND BOND STRENGTH TO METAL BETWEEN THE REGULAR OPAQUE POWDER AND CORE POWDER**

**Jang-Seop Lim, Chang-Mo Chung, Young-Chan Jeon**

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

The purpose of this study were to investigate the chemical composition, mean particle size, linear thermal expansion coefficient and metal-bonding strength of the regular opaque powder and core powder.

In this study, 4 types of ceramic powders, namely Duceram Jacket Opaque powder, Duceram Opaque powder, Vita Hi-Ceram powder, Vita VMK Paint On-88 powder were used. Chemical composition was evaluated by EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrophotometer, Oxford QX-2000, England), particle size was measured by MALVERN Instruments(MALVERN Instruments SB. OC., U.S.A.. and linear thermal expansion coefficient was measured by dilatometer(Motoyama, Japan). Bond strength was measured by the Universal testing machine(Istron Co., Ltd., U.S.A.).

The Results were as follows :

1. Through recognition of the relative difference in chemical composition between the core powder and the regular opaque powder, the difference in the proportion of  $Al_2O_3$  in each type of material is demonstrated ; Duceram Jacket Opaque powder : 30.16%, Duceram Opaque powder : 16.60%, Vita Hi-Ceram : 63.64%, Vita VMK Paint-On 88 : 16.16%.
2. There was no significant difference in the proportion of metal-bonding materials between the core powder and the regular opaque powder.
3. In the regular opaque powder, alkaline materials were incorporated in order to increase the coefficient of thermal expansion.
4. In the particle size analysis, there was no significant difference in mean particle size or in the particle size distribution between the core powder and the regular opaque powder.
5. In the thermal expansion test for temperature range of 25-600°C, the regular opaque powder had higher coefficient of thermal expansion than that of core powder.
6. In the 4 point flexural bending test, there was no statistically significant difference in the mean bond strength between the core powder and the opaque powder among the Duceram products.