

수중 전부도재관의 파절강도에 관한 비교연구

서울대학교 치과대학 치과보철학교실

白丞鎭 · 梁在鎬

1. 서론

최근 도재전장주조관(metal-ceramic crown)에 비해 금속을 사용하지 않아 더욱 심미적이고 제작 과정이 비교적 간단한 전부도재관 시스템이 많이 개발되어 임상에 사용되고 있다.

Hi-ceram⁽⁸⁴⁾, Optec⁽⁶⁷⁾, Vintage⁽⁸³⁾ 등과 같은 내화모형계(refractory die system)는 도재를 내화모형상에서 축성하여 도재소성하기 때문에 특수한 장비가 필요하지 않지만, 그 제작과정이 복잡하고, 내화모형과 인접하는 도재의 표면에 파절의 원인이 되는 기공이나 미세결합이 형성되는 단점을 보였다⁽⁵⁵⁾.

Dicor^(1, 18), Cera Pearl^(35, 36), Olympus castable ceramics⁽³⁷⁾ 등과 같은 주조형 유리도재계(castable glass ceramic system)는 납형(wax pattern)을 매몰하고 소환시킨 후 유리를 주조하여 제작하므로 비교적 간편하게 수복물을 제작할 수 있으나, 유리의 결정화 과정(ceramming)에서 부가적인 수축을 일으키는 단점을 보였다⁽⁷³⁾.

IPS-Empress system^(9, 88)와 같은 열가압도재계(heat-pressed ceramic system)는 납형을 매몰하고 소환시킨 후 미리 결정화시킨 glass ceramic을 가열시킨 후 가압하여 성형하는 것으로, 유리의 결정화 과정이 필요 없어 제작이 간편하고, 변형이 적을 뿐 아니라, staining 제작법과 layering 제작법을 사용하기 때문에 그 적용범위가 크고 매우 심미적인 수복물을

제작할 수 있으나, 아직 그 임상 적용 기간이 짧아 예후가 불분명한 단점이 있다.

In-Ceram⁽⁷²⁾과 같은 유리침투도재계(glass infiltration ceramic system)는 알루미늄으로 형성된 코어(core)에 glass를 침투시켜 결정화함으로써 그 강도가 현저히 증가되어 전치부의 가공의치용으로 사용이 가능하다는 장점이 있으나^(14, 78), 강도의 보강을 위해 alumina의 함량을 너무 증가시킨 나머지 투명도, 빛의 투과, 산란 및 굴절등이 자연치와 달라서 부자연스럽게 보이는 단점을 보였다. 최근에는 코아의 두께를 최소 0.5mm까지 줄이고 veneering도재의 두께를 증가시킴으로써 심미성을 개선시키려는 시도들이 있으나, 강도상의 많은 손실을 야기할 것으로 추측되고 있다⁽⁴⁶⁾.

전부도재관의 파절저항은 치아삭제를 통한 치질

전부도재관의 파절저항은 치아삭제를 통한 치질의 적절한 지지^(2, 6, 22, 65), 적절한 환자선택, 재료의 강도^(17, 46, 47, 62, 71, 74), 접착제의 종류^(20, 24, 34, 48), 등에 의해 영향을 받는다. 전부도재관은 구강내에서 압축, 인장, 전단 응력의 복합된 응력 상태하에 놓이게 된다⁽⁷⁾. 이러한 도재의 파절은 교합력, thermal shock⁽⁶⁴⁾, aqueous degradation⁽⁶³⁾, 도재의 미세결합부(flaw)에 연관된 응력(stress)과 변형(strain)^(57, 58) 등에 의해 생긴다. McLean등⁽⁶⁸⁾은 미세균열의 전파가 피로현상(fatigue phenomenon)에 의해 발생된다고 하였다. 도재의 파절저항성을 평가하기 위해 편의상 압축강도를 측정하

지만, 파절은 인장응력을 받는 결합부에서 균열전파에 의해 일어나므로 굽힘시험에 의한 강도측정이 널리 응용되고 있다^(8, 39, 70, 75), 그러나 이러한 방법은 도재를 시멘트로 접착하기 전단계의 측정방법이며, 시멘트로 접착한 실험크기의 전부도재관에서도 같은 양상으로 나타나는지는 아직 확실히 밝혀지지 않았다.

Malament^(49, 50)과 Ellison⁽²⁶⁾은 Dicor 전부도재관을 복합레진시멘트로 접착하면 인산아연시멘트나 글래스 아이오노머시멘트로 접착한 것에 비해 그 실패율이 현저히 감소한다고 보고하였다. 레진시멘트는 다른 시멘트보다 압축강도, 인장강도, 탄성율이 크며⁽⁶⁶⁾, 불산부식과 silane처리로 인해 전부도재관 내면의 미세결합부를 채울 수 있는 능력이 뛰어나서 균열전파를 방지한다고 여겨져 왔다. 국내에서도 1986년부터 Dicor에 관한 연구가 양, 김, 조^(90, 91, 93)에 의하여 임상적 연구 및 변연적합, 결합력등에 관한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 최근 임상에서 사용되는 5종의 전부도재관과 대조군인 1종의 도재전장주조관을 글래스아이오노머시멘트와 복합레진시멘트로 접착한 후 파절하중을 측정하고 그 파절양상을 관찰 하였으며, 다소 흥미있는 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

1) 전부도재관

전부도재관용으로 사용되는 5종의 전부도재관과 대조군으로서 1종의재전장주조관을 사용하였으며 그 상품명과 특성은 Table 1과 같다.

2) 접착용 시멘트

전부도재관의 접착용으로 사용되는 글래스아이오노머시멘트(Fuji I Glass Ionomer cement, G.C.Co., Japan)와 복합레진시멘트(Bisitite dual cure resin cement-clear, Tokuyama Soda Co., Japan)를 사용하였다.

2. 실험방법

1) 주모형(master die)의 제작

상악중절치용의 전부도재관을 위한 치아삭제를 주모형 제작의 기준으로 삼았다. Fig. 1과 같이 전방에서 보면 축벽경사 3°, 높이 7mm, 치경부폭경 7mm, 변연 1mm shoulder가 되도록 설계하여 fig 2와 같이 단층입체도를 완성한 후 그 정보를 NC(numerical control) milling machine(Wado, Japan)에 연결된 control

Table. 1. Ceramic materials used in this study

Brands	Method	Manufacturer
Vintage	refractory die	Shofu Co., Tokyo, Japan
Dicor	castable glass ceramic	Dentsply International, York, PA, USA
Empress	heat-pressing ceramic (staining)	Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein
Empress	heat-pressing ceramic (layering)	Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein
In-Ceram	glass infiltration	Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany
VMK 68	metal-ceramic	Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany

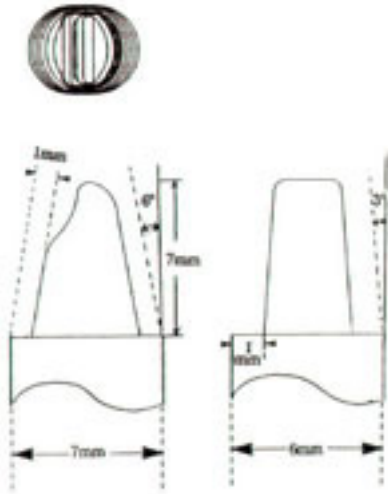


Fig. 1. Dimensions of the master die

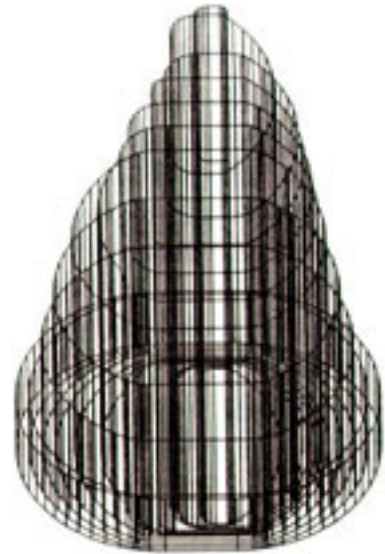


Fig. 2. 3-dimensional view of the mater die

part(FANUE 300C)의 컴퓨터에 입력시켰다. 입력된 정보에 의해 자동으로 밀링 머신이 작동되어 스테인레스 스틸 모형을 제작하였다. 밀링후 예리한 선각을 러버 휠로 마무리하고 50 μ 의 산화알루미늄으로 분사하였다. 완성된 금속모형의 형태는 Fig. 3과 같다.

2) 전부도재관의 제작

전부도재관의 축벽의 두께가 강도에 중요한 영향을 미치므로 동일한 형태의 전부도재관을 만드는 것이 필수적이었다. 전부도재관의 외형을 육안으로 판단하기 어려우므로 외형을 쉽게 점검하고 그 형태의 구별을 용이하게하기 위해 가철성의 형판(template)을 제작하였다(Fig. 4).

각각의 전부도재관의 제작은 제조회사의 지시사항을 준수하여 제작하였다.

① Vintage 도재관의 제작

고무인상재로 금속모형의 인상을 체득하여 내화성 매몰재(Lamina Vest, Shoufu, Japan)를 주입하고 1시간 경과 후 인상체와 분리하여 소환로에서 700 $^{\circ}$ C에서 980 $^{\circ}$ C(1분단 60 $^{\circ}$ C 상승)까지 올려 5분간 계류시켰다. 매몰재를 실온까지 식힌 후 도재를 축성하여 진공 상태에서 1차 소성(680 $^{\circ}$ C \rightarrow 965 $^{\circ}$ C, 1분간 60 $^{\circ}$ C 상승)과 2차 소성(680 $^{\circ}$ C \rightarrow 960 $^{\circ}$ C)을 하고, 대기압 하에서

glazing(680 $^{\circ}$ C \rightarrow 935 $^{\circ}$ C)을 하였다. 매몰재를 제거하고, 선택적인 내면삭제를 통해 금속모형상에 완전한 장작을 얻은 후 형판에 맞게 그 크기를 조정하여 도재관을 완성하였다(Fig. 5).

② Dicor 도재관의 제작

금속모형에 die spacer를 두겹 바른 후 왁스 mold를 위치시키고 용해된 왁스를 집어 넣어 납형을 만들었다. 변연 부위의 수축된 곳에 왁스를 첨가하고, 그 외형을 형판으로 확인한 후 매몰(분말 : 67.5gm, 증류수 : 9cc)하였다. 매몰재가 경화된 후 소환로에서 30분 동안 250 $^{\circ}$ C까지 가열하여 30분동안 계류시킨 후 1시간 동안 950 $^{\circ}$ C까지 더 가열하여 30분 동안 계류시켰다. Dicor 주조기의 가마(muffle) 온도가 1085 $^{\circ}$ C-1100 $^{\circ}$ C로 가열되었을 때 Dicor ingot가 담겨있는 cartridge를 넣고 1350 $^{\circ}$ C까지 온도를 올린 후 주조용 링을 위치시켜 주조하고 실온까지 식혔다. 매몰재를 샌드블라스터(공기압 : 40 psi, 25 μ 산화알루미늄)로 제거하고 디스크로 주입선을 자른 후 Dicor ceramming 매몰재(분말 : 100g, 증류수 : 38-40cc)로 완전히 덮어 ceramming tray에 위치시켰다. 이것을 실온의 ceramming 소환로에 넣고 2시간 동안 1073 $^{\circ}$ C로 가열하여 유지시키고, 6시간 동안 200 $^{\circ}$ C로

온도를 낮추었다. 그 후 실까지 식힌 다음 매몰재를 제거하고, 선택적인 내면삭제를 통해 금속모형상에서 완전한 장착을 얻은 후 shading porcelain을 도포하여 도재소성(600℃에서 940℃까지 대기압 하에서 도재소성하고 1분간 유지)하였다. 3회의 shading과정과 1회의 glazing을 시행하여 도재관을 완성하였다(Fig. 6, 7).

③ Empress(staining)도재관의 제작

Dicor 전부도재관의 제작 때와 같은 방법으로 제작한 납형을 Empress curcible former에 주입선(직경 : 2-3mm, 길이 : 6-8mm)으로 부착하여 매몰(분말 : 200g, 매몰액 : 38cc+증류수 : 4cc)하였다. 매몰재가 경화된 후 Empress ingot와 산화알루미늄 press cylinder를 함께 소환로에 넣고 온도를 850℃까지 올린 후 90분간 계류시켰다.

mold내에 무색의 Empress ingot(O I 또는 O II)와 산화알루미늄 press cylinder를 집어 넣어 미리 700℃까지 가열된 압축기계(IPS-Empress EP500 Fumace)의 가마에 위치시킨 후 뚜껑을 닫아 1분에 60℃씩 상승시켜 1050℃ 까지 가열하고, 20분간 계류시킨 후 압축시켰다. mode를 압축기계에서 빼내 실온까지 식히고 샌드블라스터(공기압 : 2bar, 50 μ glass bead)로 매몰재를 제거하였다. 디스크로 주입선을 자르고, 선택적인 내면삭제를 통해 금속모형상에 완전한 장착을 얻은 후 staining porcelain을 도포하여 도재소송(580℃에서 850℃까지 진공상태에서 도재소성하고 2분간 유지)하였다. 3번의 staining 과정과 1번의 glazing을 시행하여 도재관을 완성하였다(Fig. 8, 9).

④ Empress(layering)도재관의 제작

제작방법은 staining 방법과 대부분 동일하였다. 무색의 ingot대신 preclored ingot(A2 Shade)를 사용하였으며, 온도를 1180℃까지 가열하여 압축성형하였다. 금속모형상에 완전한 장착을 얻은 후 두께가 0.8mm가 되게 일률적으로 삭제하였다. Veneering porcelain(S1 incisal)으로 축성하여 소송(1분에 60℃씩 상승시켜 580℃에서 910℃ 까지 진공상태에서 소성하고 1분간 유지)한 후 형판을 이용하여 외형을 완성하였다(Fig 10, 11).

⑤ In-Ceram 도재관의 제작

금속모형에 die spacer를 두겹 바르고 실리콘 인상재로 인상을 채득하고, 경석고를 주입하여 2시간 경과 후 인상체로부터 제거하였다. Al₂O₃분말 38g에 액 5ml를 섞어 액상 slip을 만들어 경석고 모형 위에 축성하고, 날카로운 기구를 사용하여 변연을 덮고 있는 여분을 제거한 후 In-Ceram소환로에 넣고 소성시켰다. 처음 6시간 동안 20℃에서 120℃로 상승시키고, 1분에 10℃씩 상승시켜 1120℃까지 올린 후 2시간 동안 계류시켰다. 다이아몬드 회전기구로 coping의 두께가 0.5mm가 되게 삭제하였다(Fig. 12). A3 shade의 In-Ceram glass 분말을 증류수와 섞어 coping에 도포한 뒤 백금박 위에 위치시키고, In-Ceram 소환로에 넣어 온도를 급격히 1100℃로 올렸다. coping을 꺼내 샌드블라스터(공기압 : 50Kg, 50 μ 산화알루미늄)로 분사한 후 Vitadur N 도재로 축성하고 소성하여 전부도재관을 완성하였다(Fig. 13).

⑥ VMK 68 도재전장주조관의 제작

Will-Ceram Y(Williams Dental Co., Amherst, NY) 도재전장주조관용 금속으로 주조한 후 coping의 두께가 0.3mm 되게 조정하였고, metal collar부위는 되도록 얇게 하였다. 그 위에 VMK 68 도재로 축성하고 소성하여 도재전장주조관을 완성하였다(Fig 14, 15).

3) 인공치관의 두께측정

전부도재관의 두께는Fig.16과 같이 5군데의 측정점에서 caliper(Renfert praecimeter, Germany)를 측정하였다. 측정점은 전부도재관의 순면에서 2군데(d₁, d₂), 설면에서 2군데(d₃, d₄), 절단부에서 1군데(d)를 선정하였다.

4) 전부도재관의 접착

① 글래스아이오노머시멘트 접착군

15℃의 glass slab위에서 분말과 액을 60초간 [P/L ratio = 1,3 : 1]g/ml]혼합하였다. 시멘트를 전부도재관 내면에 얇게 도포한 후 금속모형에 위치시키고, 일정한 수지압(finger pressure)을 가하여 8분간 유지하였다. 접착된 전부도재관은 37℃ 증류수에 24시간 보관하였다.

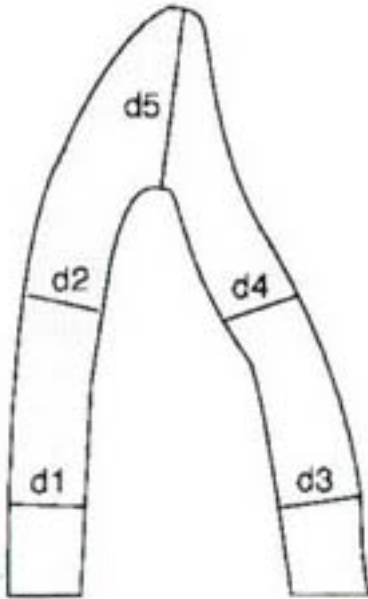


Fig. 16. Thickness measuring point of crown

② 복합레진시멘트 접착군

각 군마다 나머지 6개의 전부도재관 내면을 8% 불산으로(All-Bond porcelain etchant, BISCO, U.S.A.) 1분간 부식시킨 후 세척하였다. 그리고 silane(Porcelain primer, BISCO, U.S.A)을 제조회사의 지시에 따라 전부도재관 내면에 도포하였다. 이중중합(dual-cured) 복합레진시멘트 base와 catalyst를 잘 혼합하여 전부도재관 내면에 얇게 도포한 후 금속모형에 위치시켜 일정한 수지압을 가한 상태에서 4개의 측벽을 20초간 광중합시켰다. 접착된 도재관은 37°C 증류수에 24시간 보관하였다.

5) 파절하중의 측정

전부도재관의 접착된 금속모형을 Instron 만능시험기(Model 1125, Instron Corp., Canton, Mass.) 위의 testing jig에 수직선에서 30° 경사지게 견고하게 고정하였다. Loading stylus는 직경이 4mm인 강화된 스테인레스 스틸 구로 하였다. 하중이 가해지는 부위는 절단면에서 2mm 설측으로, 근·원심 방향으로 중심에 위치시켰고, 그 위치는 교합지(Accufilm II, Parkell, U.S.A.)를 사용하여 확인하였다. Cross-head speed는 0.5mm/min 였으며, 전부도재관이 파절될 때까지 하중을 가하였다(Fig. 17).

III. 실험결과

1. 인공치관 두께

5개의 측정점에서 측정한 인공치관의 두께는 모든 전부도재관군과 대조군인 VMK 68 도재전장주조관에서 매우 미세한 차이를 나타냈다. 그 측정치는 Table 2와 같다.

2. 파절하중

파절하중을 Table 3에 표시하였다. 글래스아이오노머시멘트 접착군에서는 파절하중이 In-Ceram에서 51.58kg으로 가장 크고, Vintage에서 18.33kg으로 가장 작게 나타났는데, 각 군간의 유의성을 검증한 결과 In-Ceram군은 나머지 군과 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$), (Table 4, 5).

레진시멘트 접착군에서는 파절하중이 In-Ceram에

Table 2. Mean thickness of all test crowns at the 5 measuring points(mean±standard deviation)

	Vintage	Dicor	Empress (staining)	Empress (layering)	In-Ceram	VMK 68
d1	1.07±0.08	1.05±0.05	1.08±0.09	1.19±0.05	1.21±0.02	1.19±0.05
d2	1.51±0.11	1.50±0.03	1.48±0.04	1.49±0.09	1.55±0.08	1.49±0.06
d3	1.01±0.10	1.04±0.04	1.02±0.06	1.07±0.08	1.08±0.06	1.07±0.08
d4	0.83±0.14	0.86±0.10	0.82±0.11	0.91±0.15	0.85±0.06	0.90±0.11
d5	2.19±0.09	2.25±0.08	2.17±0.12	2.21±0.06	2.09±0.11	2.20±0.07

서 52.28kg으로 가장 크고, Vintage에서 22.75kg으로 작게 나타났는데, 각 군간의 유의성을 검증한 결과 Vintage는 나머지 군과 유의한 차이를 보였다

($p < 0.05$), (Table 6, 7). 레진시멘트 결착군의 파절하중은 글래스아이오노머시멘트 접착군의 파절하중에 비해 Empress-layering에서 가장 크게 증가하였고

Table. 3. Fracture load measured, (Kg)

Cement	Tooth No	Vintage	Dicor	Empress (staining)	Empress (layering)	In-Ceram	VMK 68
Glass Ionomer Cement	1	20.00	29.00	35.00	24.00	40.00	120.00
	2	18.00	22.50	22.00	31.00	48.50	92.00
	3	19.00	26.50	19.50	28.00	56.00	106.00
	4	16.00	31.00	29.00	27.00	58.00	114.00
	5	19.50	18.50	18.00	28.00	57.00	142.00
	6	17.50	16.50	20.00	23.50	50.00	98.00
	M	18.33	24.00	23.92	26.92	51.58	112.00
	SD	1.47	5.81	6.67	2.80	6.87	17.89
Resin Cement	1	26.50	41.00	53.00	48.00	43.50	
	2	30.00	51.00	45.00	56.50	57.00	
	3	24.00	39.50	35.00	45.00	52.00	
	4	20.50	35.00	54.00	44.00	48.00	
	5	18.00	52.00	39.50	55.00	53.00	
	6	17.50	38.00	38.00	54.00	62.00	
	M	22.75	42.75	44.08	50.42	52.58	
	SD	4.97	7.07	7.99	5.43	6.51	

M : mean SD : standard deviation

Table. 4. Comparative data for compressive load(Kg) at failure-G.I. cement

Brand	N	Mean	SD	Tukey Grouping
Vintage	6	18.33	1.47	A
Dicor	6	24.00	5.81	A
Empress-staining	6	23.92	6.67	A
Empress-layering	6	26.92	2.80	A
In-Ceram	6	51.58	6.87	B

N : sample size SD : standard deviation ($\alpha = 0.05$)

Table. 5. One-Way ANOVA-G.I. cement($\alpha=0.05$)

Source	df	Sum of Squares	Mean Squares	F value	P
Model	4	4073.716667	1018.429167	37.58	0.0001
Error	25	677.458333	27.098333		
Correted total	29	4751.175000			

df : degree of freedom p : probability

Table. 6. Comparative data for compressive load at failure-Resin cement

Brand	N	Mean	SD	Tukey Grouping
Vintage	6	22.75	4.95	A
Dicor	6	42.75	7.07	B
Empress-staining	6	44.08	7.99	B
Empress-layering	6	50.42	5.43	B
In-Ceram	6	52.58	6.51	B

N : sample size SD : standard deviation ($\alpha=0.05$)

Table. 7. One-Way ANOVA-Resin cement($\alpha=0.05$)

Source	df	Sum of Squares	Mean Squares	F value	P
Model	4	3341.866667	835.466667	19.86	0.0001
Error	25	1051.875	42.075		
Correted total	29	4393.741667			

df : degree of freedom p : probability

(187%), In-Ceram에서 가장 낮게 증가하였는데 (102%), 통계적인 유의성을 검증한 결과 Vintage와 In-Ceram에서는 차이가 없었으며, 나머지 군에서는 유의한 차이를 보였다.($p<0.05$),(Table 8, Fig. 18).

3. 파절 양상

In-Ceram의 일부를 제외하고는 균열의 생성과 파절이 거의 동시에 일어나는 single-phase 실패를 나타냈다(Fig. 19). 파절은 대부분 하중이 가해진 곳에서

Table. 8. Student T-Test($\alpha=0.05$)

Brand	Cement	N	Mean	SD	T value	df	P
Vintage	G.I.	6	18.33	1.47	-2.0882	10.0	0.0633
	Resin	6	22.75	4.95			
Dicor	G.I.	6	24.00	5.81	-5.0179	10.0	0.0005
	Resin	6	42.75	7.07			
Empress (staining)	G.I.	6	23.92	6.67	-4.7471	10.0	0.0003
	Resin	6	44.08	7.99			
Empress (layering)	G.I.	6	26.92	2.80	-9.4273	10.0	0.0000
	Resin	6	50.42	5.43			
In-Ceram	G.I.	6	51.58	6.87	-0.2587	10.0	0.8011
	Resin	6	52.58	6.51			

N : sample size SD : standard deviation df : degree of freedom p : probability

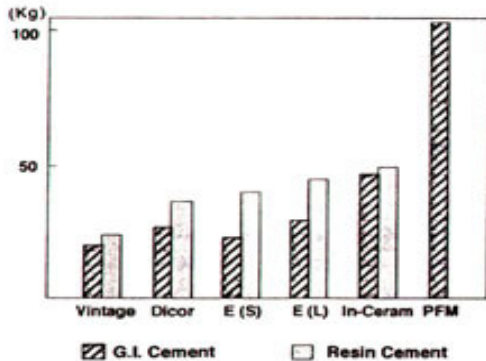


Fig. 18. Comparison of the fracture load(Kg).

금속모형의 절단부를 따라 근·원심쪽 인접면을 따라 순층의 치경부까지 퍼져 나가서 전부도재관의 설층과 순층을 분리시키는 썸기형 파절(wedge fracture)의 양상을 보였다. 그러나 이러한 파절은 설층의 치경부 쪽으로는 퍼지지 않았다. In-Ceram의 일부에서는 하중이 가해진 곳에서 균열이 시작되어 방사상으로 파절이 일어나서, 설층의 치경부 쪽으로도 퍼져 나가는

two-phase 실패를 나타냈다. 글래스아이오노머시멘트 접착군에서는 파절이 주로 순층 변연까지 퍼져 나가는 양상을 보였으며, 레진시멘트 접착군에서는 파절이 주로 순층 치경부 1/3부위까지만 퍼져 나가는 양상을 보였다(Fig. 20). 대조군인 VMK 68 도재전장주조관의 파절양상은 two-phase 실패를 나타냈으며, 주로 근심이나 원심쪽 1/4 정도의 도재가 떨어져 나가는 양상을 보였다.

IV. 총괄 및 고안

치과용 도재는 치과용 수복재료로서 오래전부터 사용되어왔다. Land⁽⁴⁵⁾에 의해 백금박을 사용하는 전부도재관 제작법이 소개된 이후 지금까지 사용되고 있지만 파절에 대한 저항성이 부족한 단점을 보였다^(79, 80).

이 방법은 미세결합들이 치경부에 집중되고, 이들이 수복물의 표면에까지 연결되는 취약성을 나타내는데⁽⁷⁹⁾, 이는 백금박의 낮은 젖음성(wettability)때문이다

(80)

이러한 취약한 전부도재관의 강도보강을 위해 도재 전장구조관이 소개되었다⁽⁸⁵⁾. 이 도재전장구조관은 금속표면의 산화물과 도재간의 화학적 결합, 금속표면의 요철에 의한 기계적 결합, 도재와 금속간의 열수축 차이에 의해 도재층에 형성되는 압축응력등으로 인해 높은 파절강도를 나타낸다⁽⁸⁵⁾. 그러나 금속 때문에 빛의 전도, 반사, 흡수가 자연치와 차이를 보이고^(81, 82), 투명도의 결여로 인해 치경부가 불투명해 보이며, 금속의 투과 및 자극으로 치은이 변색되는 단점을 나타낸다⁽⁸⁹⁾.

최근에 도재전장구조관의 심미적 단점을 극복하기 위해 강도를 증진시킨 여러가지 전부도재관들이 소개되었고 임상적으로 많이 사용되는 추세이다.

내화모형법(Hi-Ceram⁽⁸⁴⁾, Optec HSP⁽⁶⁷⁾, Vintage⁽⁶³⁾)은 내화모형상에 축성한 도재를 내화모형과 함께 열처리하기 때문에 내화모형과 결합되는 도재 표면에 미세기공이나 결합이 형성되는 단점을 보였다. 본 연구에서는 Vintage 전부도재관을 제작하였는데, 그 파절강도가 가장 낮게 나타났다. 이는 손으로 축성된 도재가 미세기공을 함유할 확률이 크고, 동질성(homogeneity)의 결여로 인해 인장강도가 작게 나타났기 때문이라 여겨진다.

Dicor^(1, 18)는 용융된 glass를 원심주조법에 의해 주조성형 후 열처리 과정에서 tetrasilica9mica type)의 crystal로 구성된 crystalline phase를 얻게 되어 도재의 강도를 증진시키는 방법이다. Cera-Pearl⁽³⁶⁾(Kyocera, Tokyo, Japan)은 용융된 calcium phosphate-based glass를 중력주조법(gravity casting)에 의해 주조성형 후 열처리 과정에서 oxyapatite의 결정화를 유도하고, 이 결정구조가 수분과 접촉시 hydroxyapatite crystal로 구성된 crystalline phase를 얻게 되어 도재의 강도를 증진시키는 방법이다. 그러나 glass matrix가 완전히 crystalline phase로 전환되어야만 미세기공이나 결합이 없게 되는데, 실제로는 glass matrix가 잔존하여 강도의 증가에 한계가 있다. 열처리 과정을 수행하는 동안 부가적인 도재수축과, 원하는 색상의 shading porcelain을 여러 번 도포하여 소성할 때 생기는 도재

수축 때문에 변연적합성에 영향을 미치는 단점이 있었다⁽⁷³⁾. 본 연구에서는 Dicor 전부도재관을 제작하였다.

성형된 도재의 열처리 과정에서의 필연적인 수축을 없애기 위해 미리 결정화 처리를 한 유리 도재를 용융시켜 압력을 가해 도재를 성형하는 IPS-Empress⁽⁹⁾가 개발되었다. 이것은 다량의 백류석(leucite)결정과 glass matrix로 구성되는 이질성(heterogenous)도재이다. 백류석 결정은 동질성(homogenous) 도재에서 보여지는 미세기공이나 결합이 서로 연결되어 균열이 퍼져나가는 것을 방지하기 때문에 파절저항이 향상된다고 한다.

백류석 결정과 glass matrix는 열팽창계수가 다르므로 서로 분리되면서 냉각될 수 있고, 이 경우는 응력이 발생되지 않지만, 만일 서로 분리되지 않으면서 냉각될 경우는 열팽창 계수가 작은 glass matrix는 접선방향(tangential)의 압축응력이 작용하고, 열팽창계수가 큰 백류석 결정에는 반경방향(radial)의 인장응력이 서로 균형을 이루다가, 냉각의 최종단계에서 백류석 결정에 가해지는 인장응력이 백류석 결정의 인장강도보다 커지면서 백류석 결정에 균열이 형성되고, glass matrix와 백류석 결정사이의 부분적인 분리가 생기면서 인장응력이 줄어 든다. 그러나 glass matrix의 압축강도는 glass matrix에 가해지는 압축응력보다 크므로 백류석 결정과의 인접면에 계속 압축응력이 가해지는 상태로 남게 된다. 이러한 잠재적인 압축응력으로 인해 미세파절을 줄일 수 있기 때문에 굽힘강도가 증가된다고 보고하였으나, 백류석 결정에 의한 강도의 증가에는 한계가 있음을 나타냈다⁽³¹⁾.

McLean과 Hughes⁽⁵⁹⁾은 알루미늄 결정을 glass matrix에 용융시켜 생성된 알루미늄 강화형 도재를 소개하였다. 이것은 기존의 치과형 도재보다 최소 50%이상의 굽힘강도 증가를 나타냈으나^(38, 61), 기존의 도재소성 방법을 사용하였기 때문에 알루미늄을 수복물의 50%(by weight) 정도 밖에 함유시킬 수 없었다⁽⁵⁹⁾. 이러한 고강도 도재 코아의 사용이 정착되면서 이는 slip-cast 알루미늄 도재로 발전되었다⁽⁴³⁾. Slip casting은 다공성의 mold위에 알루미늄 suspension slip으로 코아를 형성하는데, 다공성의 mold가 모든 액상을 모세관 현상으로 빨아들여 견고한 slip layer를

형성하는 것이다. Sadoun⁽⁷²⁾은 도재소성된 알루미늄아 slip-cast코아에 알루미늄아와 열팽창계수가 같은 약 0.5-3.5 크기의 low-fusing glass를 도포시키고, 이것이 소성될 때 모세관현상에 의해 다공성의 알루미늄아 코아로 퍼져 들어가서, 아주 치밀한 alumina-glass의 복합구조를 형성시켜 강도를 크게 증가시킨 In-Ceram을 개발하였다.

In-Ceram에서는 도재의 취약부위인 기공이 low-fusing glass로 채워져 그 크기가 감소되고⁽³¹⁾, 강도가 큰 알루미늄아를 다량 함유함으로써 균열전파가 억제되며⁽⁶⁵⁾, 알루미늄아와 glass 사이의 열팽창의 차이로 인해 경계면에 생기는 압축응력이 외부로부터 작용하는 인장응력을 감소시킴으로써 그 강도의 증가를 얻는다⁽²⁹⁾. 그러나 강도보강을 위해 알루미늄아의 함량을 너무 증가시킴으로 인해 불투명도가 증가되어, 전부도재관의 장점인 투명도가 줄어들면서 심미적인 불리함을 야기시킬 수 있다. 그래서 코아의 두께를 0.5mm정도까지 줄이려는 노력이 시도 되었는데⁽⁴⁶⁾, 이는 강도의 손실을 야기하리라 믿어졌다. 본 실험에서는 글래스아이오노머 시멘트 접착군에서 In-Ceram의 파절강도가 다른 전부도재관에 비해 약 2배 정도밖에 증가되지 않아 이미 보고된 것보다 낮게 나타났는데, 이것은 코아의 두께가 너무 얇았기 때문에 생겼다고 추측된다.

치과용 도재의 강도를 증가시키기 위해서는 도재의 표면결합부를 없애야 하고 탄성률을 증가시켜야 한다⁽⁵⁴⁾. 도재의 두께가 너무 얇으면(0.5mm이하) 너무 유연해지므로 쉽게 파절이 생길 수 있다⁽⁴⁰⁾. 도재 코아의 stiffness는 수복물 자체의 굽힘강도에 아주 중요한 역할을 한다⁽¹³⁾. 전부도재관의 두께는 최소 1mm는 되어야 하며, 이상적으로는 1.5mm가 되어야 한다. 전부도재관은 최대강도를 얻기 위해서는 치경부나 인접면의 load-bearing area를 최소 1.0mm 두께의 코아 도재로 보강 하여야 하며⁽⁶⁶⁾, 심미성을 위해 절단면과 순측은 0.3mm정도로 줄일 수 있다. 그러나 In-Ceram 코아의 두께를 전반적으로 1mm에서 0.5mm로 줄인 경우 굽힘강도가 현저히 감소하였다⁽⁷⁷⁾. 본 실험에서도 이미 보고된 바와는 다르게 다른 전부도재관에 비해 파절강도의 현저한 증가는 나타나지 않았다.

치과용 도재의 강도측정은 diametral tensile

test^(68, 87), uni-axial flexure test^(5, 15, 39, 57, 60)(3점 또는 4점 굽힘시험) bi-axial flexure test^(51, 75, 92) 등에 의해 이루어졌다. Diametral tensile test는 간단한 방법이기에는 하나 시편에 복합 응력분포가 형성되어 여러가지 형태의 파절을 초래하고, 파절전에 시편이 심하게 변형될 수 있어 실험의 유효성이 줄게된다⁽⁷⁾. 그래서 주로 굽힘시험에 의한 강도측정을 시행하고 있는데, 굽힘시험의 장점은 순수한 인장응력을 시편의 한 측면에서 얻을 수 있다는 점이다⁽¹⁰⁾. Uni-axial flexure test는 시편 하면에 주로 인장응력을 작용시켜 균열전파를 유도한다. 그러나 이 방법은 선단파절이 자주 나타나 파절강도 값의 편차가 증가하는 단점이 있다. 이러한 현상을 줄이려면 큰 시편을 만들어야 하는데 다수의 비교적 큰 도재 시편을 만드는 것은 쉽지 않고, 큰 시편에서 나타나는 열팽창계수와 결함의 양상이 작은 크기의 시편에 동일하게 반영되지 않는 문제점을 나타냈다⁽⁶⁰⁾.

최근에는 원판시편을 이용하는 bi-axial flexure test^(51, 75)가 주로 적용하는데, 중앙 하중부에 최대의 인장응력이 발생되어 부적절한 선단파절이 감소되기 때문에 uni-axial flexure test보다 신빙성이 있는 실험방법으로 평가되며, 약간 굽은 시편과 시편 선단의 조건에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다⁽⁸⁶⁾.

이미 보고된 바 있는 전부도재관용 도재의 평균 굽힘강도를 비교하면 대체로 유리 도재(Dicor), 백류석 강화 도재(Optec), 알루미늄아 코아 도재(Hi-Ceram)에서 비슷한 강도를 나타냈으며(90-14Mpa)^(13, 74) 그에 비해 Empress는 약간 더 크게 나타났고(160-180Mpa)⁽²¹⁾, In-Ceram에서 가장 크게(400-446Mpa)⁽⁷⁴⁾ 나타났다. 그러나 test bar를 통해 얻은 굽힘강도들이 전부도재관의 파절강도를 바로 대변하지는 못한다. 이미 측정된 굽힘 강도가 많은 차이를 나타냈는데 그 이유는 도재의 강도가 매우 조정하기 힘든 다양한 요소에 의해 그 측정치가 다르게 나타날 수 있기 때문이다⁽⁶⁰⁾. 더욱이 접착용 시멘트의 종류가 전부도재관의 파절강도에 많은 영향을 미친다고 보고되고 있어 실물크기의 전부도재관을 제작하여 모형에 시멘트로 접착한 후의 파절하중을 측정하는 파열시험(rupture test)이 더 큰 의미가 있으리라 생각된다. 따

라서 본 논문에서는 이 파열시험을 통해 파절하중(Kg)을 측정하여 파절강도를 비교하였다.

파열시험을 통한 전부도재관의 파절하중에 대해서 많은 보고들이 있었다. 내화모형법에 의한 전부도재관의 파절하중에 대해 Ludwig⁽⁴⁷⁾는 18.2Kg(ZPC, 30° 경사하중)와 55.79Kg(ZPC, 90° 수직하중)을, Miller등⁽⁶²⁾는 27.20Kg(ZPC, 90° 수직하중)을 보고하였는데, 본 논문에서는 Vintage에서 18.33Kg(G.I. 시멘트, 30° 경사하중)와 22.75Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)으로 나타났다.

Dicor의 파절하중에 대해 Ludwig⁽⁴⁷⁾는 25.8Kg(ZPC, 30° 경사하중)와 161.46Kg(ZPC, 90° 수직하중)을, Miller등⁽⁶²⁾은 23.19Kg(ZPC, 90° 수직하중)을, Dickinson등⁽¹⁷⁾은 38Kg(ZPC, 30° 경사하중)와 42.75Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)으로 나타났다.

Empress-staining의 파절하중에 대해 Ludwig⁽⁴⁷⁾는 34.2Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)과 222.36Kg(레진시멘트, 90° 수직하중)을, Pröbster⁽⁶⁹⁾는 83Kg(ZPC, 90° 수직하중)을 보고하였는데 본 논문에서는 23.92Kg(G.I. 시멘트, 30° 경사하중)과 44.08Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)으로 나타났다.

Empress-layering의 파절하중에 Pröbster⁽⁶⁹⁾는 대해 76.5Kg(ZPC, 90° 수직하중)을 보고하였는데, 본 논문에서는 26.92Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)과 50.42Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)으로 나타났다. In-Ceram의 파절하중에 대해 Pröbster⁽⁶⁹⁾는 98.32Kg(ZPC, 90° 수직하중)을 보고하였는데, 본 논문에서는 51.58Kg(G.I. 시멘트, 30° 경사하중)과 52.58Kg(레진시멘트, 30° 경사하중)으로 나타났다.

이상의 실험성적으로 보면 술자에 따라 파절하중의 차이가 크게 나타났다. 이러한 파절하중의 차이는 지대치 형성의 설계⁽²⁸⁾, 인공치관의 두께, 하중이 가해지는 방향⁽⁴⁷⁾, 하중이 가해지는 위치, loading stylus의 방경, thermocycling 시행여부^(4, 41), 지지모형(supporting die)의 탄성계수, 접착재의 종류에 따라 다르게 나타나기 때문이다. 비록 술자마다 측정치는 다르지만 보편적으로 In-Ceram을 제외한 전부도재관관에서 비슷한 파절하중을 나타냈으며, 90° 수직하중에 비해 30° 경사하중이 가해질 때 파절하중이 현저

하게 감소되는 것으로 나타났다. 전부도재관이 주로 사용되는 상악전치에서는 기능 운동시 절단부 정중앙에 하중이 가해지는 경우는 드물며, 설측에 치아장축 방향과 평균 30° 각도를 이루며 주로 하중이 가해진다고 예측되므로 90° 수직하중의 측정치보다는 30° 경사하중의 측정치를 비교하는 것이 더 의미있다고 생각된다.

전부도재관의 성공에 대한 가장 기본적인 평가기준은 기능운동시 그 하중에 의해 파절되지 않는 충분한 파절강도를 지녀야 하는 것이다. 인간의 평균 저작력은 구치부에서 40N(4.08Kg)⁽¹⁶⁾이며, 평균 최대교합력은 중절치 부위에서 170N(17.5Kg)⁽⁴²⁾, 구치부에서는 245N(24.9Kg)⁽⁴⁴⁾으로 나타났다. 보통 전부도재관이 아무런 제한없이 사용되려면 200N(20.4Kg) 정도의 하중에 견딜 수 있으면 된다는 것이 보편화되고 있다. 기능시 90°의 수직하중만이 작용한다고 가정하더라도, 모든 전부도재관의 90° 파절하중이 20Kg를 훨씬 초과하기 때문에 안전하다고 볼 수 있다. 30°의 경사하중만이 작용한다고 하더라도 글래스아이오노머시멘트로 접착할 때 Vintage(18.33Kg)를 제외하고는 30° 경사의 파절하중이 20Kg 이상을 나타냈으므로 별 문제 없이 사용할 수 있다고 생각된다. 더욱이 레진시멘트로 접착할 때 Vintage(22.75Kg)를 제외하고는 모두 40Kg이상의 파절하중을 나타냈으므로 임상적으로 아무런 문제없이 사용될 수 있다고 생각된다.

전부도재관의 파절강도와 접착용 시멘트와의 관계에 대해서 여러 보고들이 있었다.

Eden(24)과 Duffin등⁽²³⁾은 Dicor 도재관을 인산아연시멘트, 글래스아이오노머시멘트, 레진시멘트로 접착하여 파절강도를 측정하였는데, 파절하중이 글래스아이오노머시멘트, 인산아연시멘트, 레진시멘트 순으로 증가함을 보고하였다. Hsu등⁽³⁴⁾은 레진과 장석 도재 사이의 전단결합 강도는 도재 내면을 불산부식 후 silane처치를 한 것이 불산부식 후 silane처치를 하지 않은 것에 비해 약 3.5배이상 증가하였고, 불산부식과 silane처치를 모두 하지 않은 것에 비해 6배이상 증가한다고 하였다.

McInnes-Ledoux⁽⁵³⁾는 Dicor와 식각된 범랑질 사이의 결합강도는 10배 정도 크며, Dicor와 상아질 사

이의 결합강도는 레진시멘트가 약 2배정도 더 크게 나타난다고 하였다. Doering^(49, 20)은 이러한 현상이 강력한 dentin bonding agent와 복합레진시멘트가 조합하중으로 인한 응력을 전부도재관내에 축적되게 하지 않고, 그 대신 전부도재관내에 전부도재관과 접촉하는 치아면으로 잘 분산시키기 때문이라고 하였다.

Calamia⁽¹²⁾은 도재 내면을 불산으로 부식할 때 그 농도의 차이에 따라 전단결합강도의 차이가 있었으며, 부식시간이 길수록 전단결합강도가 감소한다고 하였다. 또한 알루미늄 도재보다 장식도재의 결합강도가 더 증가한다고 하였다. 그래서 결합강도를 최대로 하기 위해서는 각각의 도재에 대해 불산의 농도와 부식시간이 달라야 한다고 주장하였다.

본 논문에서는 In-Ceram을 제외한 전부도재관군에서 레진시멘트 접착군의 파절하중이 글래스아이오노머시멘트 접착군보다 Vintage에서 128%, Dicor에서 156%, Empress에서 185%정도 증가하였으므로, 전부도재관 내면을 불산으로 부식하고 silane처리한 후 레진시멘트로 접착하였을 때 파절저항이 증가되는 것으로 나타났다. In-Ceram의 레진접착군에서 파절강도가 증가하지 않은 것은 In-Ceram의 알루미늄 코아가 너무 알루미늄을 많이 함유하고 있어 불산부식이 잘 되지 않았기 때문으로 사료된다.

Anusavice⁽³⁾와 Scherrer⁽⁷⁶⁾는 지지모형의 탄성계수가 커질수록 파절강도가 증가한다고 보고하였다. 본 실험에서는 탄성계수가 아주 큰 스테인레스 스틸 모형(E=7200 Gpa)을 사용하였지만 탄성계수가 작은 상아질(E=18.3 GPa)을 사용하였다면 그 파절강도가 줄었으리라 예견된다.

Empress layering technique이나 Willi technique(veneered Dicor)⁽³⁰⁾은 단지 심미적인 이유에서 발전된 기술이나, 주조형 도재 코어나 백류석 강화도재 코아에 장식 도재를 도포하면 강도변화에 영향을 미칠 것으로 사료된다. Ferro⁽²⁷⁾은 Dicor의 파절강도가 veneering 후 약간 감소 한다고 보고하였고, Miller⁽⁶²⁾은 약간 증가한다고 보고하였지만 통계적 유의성은 없었다. Probst⁽⁶⁹⁾와 Campbell⁽¹³⁾은 Empress의 굽힘강도가 veneering 후 각각 18%와 40%정도 감소한다고 보고하였고, 동등⁽²¹⁾은 44% 증가

한다고 보고하였다. 본 실험에서는 staining 방법의 전부도재관보다 layering 방법의 전부도재관의 강도가 약간 증가한 것으로 나타났으나 통계적인 유의성은 없었다. 그러나 이러한 veneering을 한 경우, glass나 백류석 강화 도재와 그위에 축적되는 veneering 도재 사이의 열팽창이나 열전도 차이로 인해 구강내에서 기능중 파절될 가능성이 클 수 있다고 생각된다.

전부도재관의 파절양상은 In-Deram의 일부를 제외하고는 균열과 파절이 거의 동시에 일어나는 single-phase 실패가 나타났다. 파절은 대부분 하중이 가해진 곳에서 삭제된 금속모형의 절단부를 따라 근 원심쪽 인접면을 따라 순측의 치경부까지 퍼져나가 전부도재관의 순측과 설측도재를 분리시키는 썩기모양의 파절양상을 보였다. 이러한 양상은 Maruyama⁽⁵²⁾, Ludwig⁽⁴⁷⁾, Dickinson⁽¹⁷⁾이 이미 보고한 파절양상과 비슷하였다. 글래스아이오노머시멘트 접착군에 비해 레진시멘트 접착군에서는 파절된 파편의 크기가 작았다. 이는 레진시멘트가 글래스아이오노머시멘트보다 인장강도가 커서 도재가 금속모형으로부터 분리된 것에 대해 저항하기 때문이 아닌가 사료된다. 전부도재관의 임상적 성공에 대한 신뢰성있는 예측을 위해서는, 구강상태와 유사한 동적응력 상태에서의 수복물에 대한 평가와 여러 종류의 시멘트에 의한 영향등 여러가지 요인들을 고려한 더 많은 연구가 필요하리라 본다.

V. 결론

임상에 사용되고 있는 5종의 전부도재관(Vintage, Dicor, Empress-staining, Empress-laying, In-Ceram)의 파절강도를 비교하기 위하여 각군마다 균일한 크기의 전부도재관을 제조회사의 지시에 따라 12개씩 제작한 후 6개씩을 글래스아이오노머시멘트와 복합레진시멘트로 주조형에 접착하여 증류수에 24시간 보관 후 만능시험기(Instron)로 파절하중을 측정(cross-head speed:0.5mm/min.)하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 글래스아이오노머시멘트 접착군의 파절하중은 In-Ceram($51.58 \pm 6.87\text{Kg}$), Empress-layering($26.92 \pm 2.80\text{Kg}$), Dicor($24.00 \pm 5.81\text{Kg}$), Empress-staining($23.92 \pm 6.67\text{Kg}$), Vintage($18.33 \pm 1.47\text{Kg}$) 순으로 나타났다. 통계적으로 In-Ceram은 나머지 군과 유의한 차이를 보였으며($p < 0.05$), Empress-layering, Dicor, Empress-staining, Vintage는 각 군간에 차이가 없었다($p > 0.05$).
2. 복합레진시멘트 접착군의 파절하중은 In-Ceram($52.58 \pm 6.51\text{Kg}$), Empress-layering($50.42 \pm 5.43\text{Kg}$), Empress-staining($44.08 \pm 7.99\text{Kg}$), Dicor($42.75 \pm 7.07\text{Kg}$), Vintage($22.75 \pm 4.97\text{Kg}$) 순으로 나타났다. 통계적으로 In-Ceram, Empress-layering, Empress-staining, Dicor는 각 군간에 유의한 차이가 없었으며($p > 0.05$), Vintage는 나머지 군에서는 차이를 보였다($p < 0.05$).
3. 모든 전부도재관군에서 복합레진시멘트 접착군의 파절하중은 글래스아이오노머시멘트 접착군의 파절하중보다 크게 나타났다. 통계적으로 Vintage와 In-Ceram에서는 유의한 차이가 없었으며($p < 0.05$), 나머지 군에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).
4. 전부도재관의 파절양상은 주로 하중이 가해진 곳에서 순면 치경부까지 이어져 순측과 설측도 재를 분리시키는 썩기모양의 단순 파절양상을 나타냈다.

Reference

1. Adair, P.J., Grossman, K.G. : The castable ceramic crown. *Int. J. Perodont. Rest. Dent.*, 2 : 33-45, 1984.
2. Argue, J.E. : The preparation of teeth for porcelain jacket crowns. *J. Am. Dent. Assoc.*, 17:1259, 1930.
3. Anusavice, K.J. : Dental ceramics and metal-ceramics, *Academy of Dental Materials*, 159-172, 1989.
4. Anusavice, K.J., Lee, R.B. : Effect of firing temperature and water exposure on crack propagation in unglazed porcelain [abstract]. *J. Dent. Res.*, 67 : 925, 1988.
5. Anusavice, K.J., Hojjatie, B. : Stress distribution in metal-ceramic crowns with a facial porcelain margin. *J. Dent. Res.*, 66 : 1497-1498, 1987.
6. Bartels, J.C. : Full porcelain veneer crown. *J. Prosthet. Dent.*, 7 : 533, 1957.
7. Ban, S., Anusavice, K.J. : Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J. Dent. Res.*, 69 : 1791-1799, 1990.
8. Ban, S., Hasegawa, J., Anusavice, K.J. : Effect of loading conditions on bi-axial flexure strength of dental cements. *Dent. Mater.*, 8 : 100-104, 1992.
9. Beham, G. : IPS-Empress : A new ceramic technology. *Ivoclar-Vivadent Report*, 6 : 1-13, 1990.
10. Berenbaum, R., Brodie, I. : Measurement of the tensile strength of brittle materials. *Br. J. Appl. Physics*, 10 : 281-287, 1959.
11. Borom, M.P., Turkalo, A.M. : Strength and microstructure in lithium disilicate glass-ceramic. *J. Am. Ceram. Soc.*, 58 : 385, 1975.
12. Calamia, T.R., Valduanathan, J., Vaidyanathan, T.K., Hirsch, S.M. : Shear bond strength of etched porcelains [abstract]. *J. Dent. Res.*, 65 : 828 : 1986.
13. Cambell, S. D. : A comparative stength study of metal ceramic and all-ceramic esthetic materials : Modulus of rupture. *J. Prosthet. Dent.*, 62 : 476-9, 1989.
14. Claus, H. : Vita In-ceram, a new system for producing aluminum oxide crown and bridge substructures. *Quitessenz Zahntech.*, 16 : 35-46, 1990.
15. Coffey, J.P., Anusavice, K.J., Dehoff, P.H., Lee,

- R.B., Hojjate, B. : Influence of contraction mismatch and cooling rate on flexural failure of PFM systems. *J.Dent. Res.*, 6 : 61-65, 1988.
16. Deboever, J.A., McCall, W.D., Holdern, S., Ash, M.M. : Functional occlusal forces : An investigation by telemetry. *J. Prosthet. Dent.*, 40 : 326-333, 1978.
 17. Dickinson, A.J.G., Moore, B.K., Harris, R.K., Dykema, R.W. : A comparative study of the strength of aluminous porcelain and all ceramic crowns. *J. Prosthet. Dent.*, 61 : 297-304, 1989.
 18. Dicor Manual. Dentsply International Inc., York, Pa.
 19. Doering, J., Jensen, M.E., Sheth, J., Tolliver, D., Chan, D. : Etched porcelain resin bonded full veneer crowns : In vitro fracture resistance. *Cmpend. Cont. Educ. Dent.*, 10 : 336-446, 1989.
 20. Doering, J., Jensen, M.E., Sheth, J., Tolliver, D., Chan, D. : Fracture resistance of resin-bonded etched-porcelain full veneer crowns [abstract]. *J. Dent. Res.*, 66 : 207, 1987.
 21. Dong, J.K., Luthy, H., Wohlwend, A., Scharer, P. : Heat-Pressed Ceramics : Technology and strength. *Int. J. Prosthodont.*, 5 : 9-16, 1992.
 22. Doyle, M.G., Munoz, C.A., Goodacre, C.J., Friedlander, L.D., Moore, B.K., The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crowns, Part 2., *Int. J. Prosthodont.*, 3 : 241, 1990.
 23. Duffin, J.L., Bales, D.J., Johnson, G.H. Fracture resistance of castable ceramic crowns [abstract]. *J. Dent. Res.*, 68 : 235, 1989.
 24. Eden, G. T., Kacicz, J.M. : Dicor crown strength improvement due to bonding
 25. Eichner, K. : Aufschlusse uber den kauvorgang durch elektronische Kaukraftmessungen. *Dtsch. Zahnarztl. Z.*, 19 : 415-426, 1964.
 26. Ellison, J.A., Lugassy, A.A., Setcos, J.C., Moffa, J.P. : Clinical trial of cast glass-ceramic crowns : Seven year findings [abstract]. *J.Dent. Res.*, 71 : 207, 1992.
 27. Ferro, K.J., Myers, M.L., Graser, G.N. : Fracture strength of full-contoured ceramic crowns and porcelain-veneered crowns of ceramic coping. *J. Prosthet. Dent.*, 71 : 462-7, 1994.
 28. Friedlander, L.D., Munoz, C.A., Goodacre, C.J., Doyle, M.G., Moore, B.K. : The effect of tooth preparation design on the breaking strength of Dicor crowns. Part 1. *Int.J. Prosthodont.*, 3 : 159-168, 1990.
 29. Fischer, J., Schmid, M., Kappert, H.F., Strub, J.R. : Cefugeaus-building der dentalkeramischen Kernmasse In-Ceram und thermische Dehnung ihrer Einzelkomponenten. *Dtsch. Zahnarztl. Z.*, 46 : 461-463, 1991.
 30. Geller, W., Kwiatkowski, S.J. : The Willi's Glas crown : A new solution in the dark and shadowed zones of esthetic porcelain restorations. *Quintessence Dent. Technol.*, 11 : 233-42, 1987.
 31. Grey, N.J.A., Piddock, V., Wilson, M.A. : Invitro comparison of conventional crowns and a new aoo-ceramic system. *J. Dent.*, 21 : 47-51, 1993.
 32. Grossman, D.G., Nelson, J.W : The bonded Dicor crowns : Four-year report [abstract]. *J. Dent. Res.*, 66 : 206, 1987.
 33. Hondurm, S.O. : A review of the strength properties of dental ceramics. *J. Prosthet. Dent.*, 67 : 859, 1992.
 34. Hsu, C.S., Stangel, I., Nathanson, D. : Shear bond strength of resin to etched porcelain [abstract]. *J. Dent. Res.*, 64 : 296, 1985.
 35. Hobo, S, Iwata, T. : Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. I. Theoretical considerations. *Quintessence Int.*, 16 : 135-141, 1985.
 36. Hobo, S, Iwata, T. : Catable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. II. Fabrication of the restoration. *Quintessence Int.*,

- 16 : 207-216, 1985.
37. Iijima, H., Hakamazuka, Y., Ito, S. and Hata, Y. : Clinical application and evaluation of Olympus Castable Ceramics(OCC). *J. Dent. Res.*, 70 : 757, 1991.
38. Johnston, W.M., O'Brien, W.J. : The shear strength of dental porcelain. *J. Dent. Res.*, 59 : 1409-1411, 1980.
39. Jones, D.W. : The strength and strengthening mechanism of dental ceramics. First Symposium on Ceramics. Chicago : Quintessence Publishing. Co., Inc., 83-141, 1983.
40. Johns, D.W. : Chemical strengthening of three dental porcelain materials. In : Yamada HN(ed.), *Dental Porcelain, The State of the Art-1977*, Los Angeles, USC, 342, 1977.
41. Kem, M., Fechtig, T., Strub, J : Influence of water storage and thermal cycling on the fracture strength of all-porcelain, resin-bonded fixed partial dentures. *J. Prosthet. Dent.* 71 : 251-6, 1994.
42. Kawamura, Y. : *Oral Physiology*. Kyoto, Japan, Nagamatsu Shoten, 212-227, 1976.
43. Kingery, W.D., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R. : *Introduction to Ceramics*. 2nd ed. New York : John Wiley & sons, 371, 1976.
44. Kober, K.H., Ludwig, K. : Maximale Kaukraftals Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. *Dent. Labor.*, 31 : 55-60, 1983.
45. Land, C.H. : A new system of restoring badly decayed teeth by means of an enamelled metallic coating. *Independent Practitioner*, 7 : 407, 1886.
46. Levy, H., Daniel, X. : Working with the In-Ceram porcelain system. *Prothese. Dentaire*, N° 44-45 Juin/Juillet, 1990.
47. Ludwig, K. : Studies on the ultimate strength of all-ceramic crowns *Dental-labor*, No. 5/91, 647-651.
48. Malament, K.A. : Bonded vs non-bonded Dicor crowns : Four-year report [abstract]. *J.Dent.Res.*, : 72 : 321, 1992.
49. Malament, K.A. : Considerations in posterior glass-ceramic restoration. *Int. J. Pero. Dent.*, 4 : 33-49, 1988.
50. Malament, K.A., Grossman, D.G., The cast glass-ceramic restoration. *J.,Prosthet. Dent.*, 57 : 674, 1987.
51. Marshall, D.B. : All Improved biaxial flexure test for ceramics. *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 59 : 551-533, 1980.
52. Maruyama, T., Koh, N., Hino, T., Miyauchi, S. : Clinical use of a new castable glass ceramic material *Int. J. Prosthodont.*, 4 : 138-146, 1991.
53. McInnes-Ledoux, P.M., Ledoux, W.R., Weinberg, R., Pappold, A. : Luting castable ceramic restorations-s bond strength study [Abstract]*J. Dent. Res.*, 66 : 245, 1987.
54. McLean, J.W. : Long-term esthetic dentistry. *Quintessence Int.*, : 20 : 701, 1989.
55. McLean, J.W. : Ceramics in clinical dentistry. *Br. Dent. J.*, 164 : 187-194, 1988.
56. McLean, J.W.(ed.) : *Dental ceramics : Proceedings of the First International Symposium on Ceramics*, Chicago : Quintessence, 1983.
57. McLean, J.W. : *The Science and Art of Dental Ceramics*, vol. 1. Chicago, Quintessence Publishing. Co. Inc., 1979.
58. McLean, J.W. : *The Science and Art of Dental Ceramics*, vol. II. Chicago, Quntessence Publishing. Co. Inc., 21-2, 38-9, 1980.
59. McLean, J.W. and Hughes, T.H. : The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br. Dent. J.*, 119 : 251-267, 1965.
60. McLean, J.W., Kedge, M.I. : High strength ceramics. *Quintessence Int.*, 18 : 97-106, 1987.
61. Meyer, J.M., O'Brien, W.J., Yu, C.U. : Sintering of dental porcelain enamel. *J. Dent. Res.*, 55 :

- 696-699, 1976.
62. Miller, A., Long, J., Miller B., Cole, J. : Comparison of the fracture strengths of ceramometal crowns versus several all-ceramics J.Prosthet Dent., 68 : 38-41, 1992.
 63. Morena, R., Beaudrear, G.M., Lockwood, P.E. : Fatigue of dental ceramics in a simulated oral environment. J. Dent. Res., 65 : 993-997, 1986.
 - 64) Morena, R., Lockwood, P.E., Fairhurst, C.W. : Fracture toughness of commercial dental porcelains. Dent. Mater., 2 : 58-62, 1986.
 65. Nuttall, E.B. : Factors influencing success of porcelain jacket restoration J. Prosthet.Dent. 11 : 743, 1961.
 66. O'Brien, W.J. : Dental Matrials. Quintessence Publishing Co., Chicago, 1989.
 - 67) Optec HSP laboratory technique manual. Jeneric/Pentro Inc, Wallingford, CN. January, 1988.
 68. Powers, J.M., Farsh, J.W., Craig, R.G. : Modulus of elasticity and strength properties of dental ceramics. J. Am. Dent. Assoc., 92 : 588-591, 1976.
 69. Proster, L. : Compressive strength of two modern all-cceramic crowns. Int. J.Prosthodont., 5 : 409-414, 1992.
 70. Rodrigues, A., Nathanson, D., Goldstein, R. : Fracture resistance of different porcelain crown systems in-vitro(abstract). J. Dent. Res., 66 : 270, 1987.
 71. Rosenstiel, S.F., Porter, S.S. : Apparent fracture toughness of all-ceramic crown system. J. Prosthet. Dent., 62 : 529-32, 1989.
 72. Sadoun, M. : All ceramic bridges with the slip casting technique. Presented at the 7th International Symposium on Ceramics, Paris, September, 1988.
 73. Scharer, 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.
 74. Seghi, R.R., Sorensen, J.A., Engelman, M.J., Roumanas, E., Torres, T.J. : Flexural strength of new ceramic materials. J.[abstract]. Dent. Res., 69 : 299, 1990.
 75. 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.
 76. Scherrer, S.S., de Rijk, W.G. : The fracture resistance of all-ceramic crowns on supporting structures with different elastic moduli. Int. J. Prosthodont., 6 : 462-467, 1993.
 77. Sorensen, JA., Avera, S.P., Fanuscu, M.I. : Effect of veneer porcelain on all ceramic crowns [abstract]. J. Dent. Res., 71 : 320, 1992.
 78. Sorensen, J.A., Knode, H., Torres, T.J., In-ceram all-ceramic bridge technology. Quint. Dental. Tech., 41-46, 1992.
 79. Southan, D.E., Jorgensen, K.D. : An explanation for the occurrence of internal faults in porcelain jacket crowns. Aust. Dent. J., 18 : 152-156, 1973.
 80. Southan, D.E., Jorgensen, K.D. : Faulty porcelain Jacket crowns. Aust. Dent. J., 17 : 436-440, 1972.
 81. Sproull, R.C. : Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. J. Prosthet. Dent., 29 : 416-424, 1973.
 82. Sproull, R.C. : Color marthcing in dentistry. Part II Practical applications of the organization of color. J. Prosthet. Dent, 29 : 556-566, 1973.
 83. Vintage manual, Shofu Co., Tokyo, Japan.
 84. Vita Zahnfabrik : Vita Hi-Ceram Working Instruction. Bad Sackingen, Gemany, 1988.
 85. Vrijioef, M.M.A., Spanauf, A.J., Renggli, H.H. : Axial stengths of foil, all-ceramic and PFM molar crowns. Dent. Mater., 4 : 15-19, 1988.
 86. Wachtman, J.B., Capps, W., Mandel, J. : Biaxial

- flexure tests of ceramic substrates. *J. Mater.*, 7 : 188-198, 1972.
87. Williams, P.D., Smith, D.C. : Measurement of the tensile strength of dental restorative materials by use of a diametral compression test. *J. Dent. Res.*, 50 : 436-42, 1971.
88. Wohlwend, A : The Empress Technique : The new technique for the fabrication of the full ceramic crown, inlay, and veneers. *Quintessenz Zahntech.*, 16 : 966-978, 1990.
89. Yanamoto, M. : *Metal Ceramics*. Chicago : Quintessence 219-291, 1987.
90. 김정호, 양재호, 이선형 : 주조도재관과 도재전장관의 치경부 변연 적합도에 관한 비교연구. *대한치과보철학회지*, 26 : 1, 1988.
91. 양재호 : Dicor crown의 적용분포 및 파절에 관한 임상적 연구(1). *대한치과보철학회지*, 28 : 1, 1990.
92. 유형우, 송창용, 배태성, 송광엽, 박찬운 : All-ceramic crown용 도재의 굽힘강도에 관한 연구. *전북치대논문집* 11 : 1, 1993.
93. 조매숙, 양재호 : Dicor와 G-CERA 포스린 라미네이트 비니어의 전단결합강도에 관한 비교연구. *대한치과보철학회지*, 30 : 1, 1992.

Explanation of figures

- Fig. 3. Stainless steel dies used.
- Fig. 4. Crown template used.
- Fig. 5. Vintage Crowns
- Fig. 6. Dicor casting body before(left) and after(right) ceramming.
- Fig. 7. Dicor crowns.
- Fig. 8. Empress pressed body for straining technique.
- Fig. 9. Empress–staining crowns
- Fig. 10. Empress ceramic core for layering technique.(core thickness : 0,8mm)
- Fig. 11. Empress–layering crowns.
- Fig. 12. In–Ceramic ceramic core(core thickness : 0,5mm)
- Fig. 13. In–Ceramic ceramic
- Fig. 14. Metal–ceramic coping(coping thickness : 0,3mm)
- Fig. 15. Vita VMK 68 metal–ceramic crowns
- Fig. 17. Test Crowns in the measuring apparatus.
- Fig. 19. Fracture load registered for Vintage.
- Fig. 20. Progression of the fracture lines for Dicor crowns.
(lefr two : G.I. cement, right two : Resin ciment)
- Fig. 21. Vintage crown centered with G.I. cement after fracture test.
- Fig. 22. Vintage crown centered with resin cement after fracture test.
- Fig. 23. Dicor crown centered with G.I. cement after fracture test
- Fig. 24. Dicor crown centered with resin cement after fracture test.
- Fig. 25. Empress–staining crown centered centered with G.I. cement after fracture test.
- Fig. 26. Empress–staining crown with resin cement after fracture test.
- Fig. 27. Empress–layering crown centered centered with G.I. cement after fracture test.
- Fig. 28. Empress–layering crownwith resin cement after fracture test.
- Fig. 29. In–Ceran crown centered with with G.I. cement after fracture test
- Fig. 30. In–Ceran crown centered resin cement after fracture test.
- Fig. 31. Vita VMK 68 metal–ceramic crown centered with G.I. cement after fracture test

논문사진부도 ①



Fig. 3

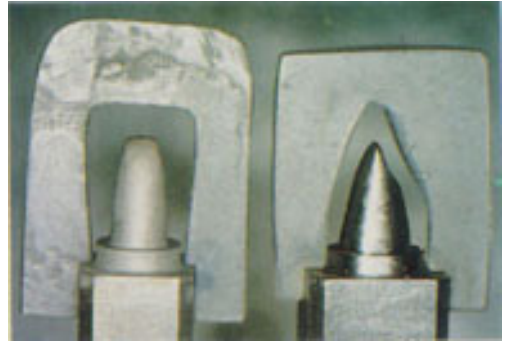


Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7

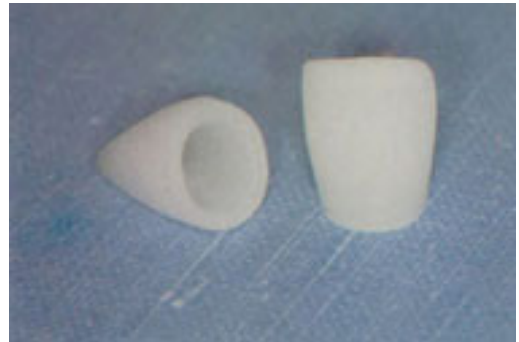


Fig. 8

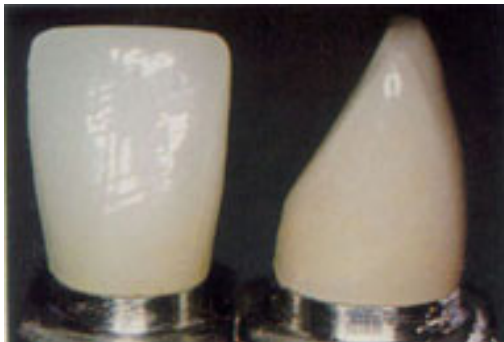


Fig. 9

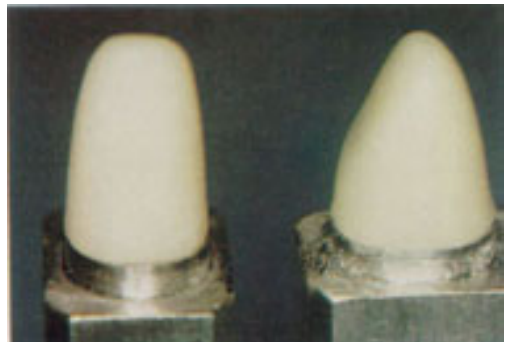


Fig. 10

논문사진부도 ②



Fig. 11

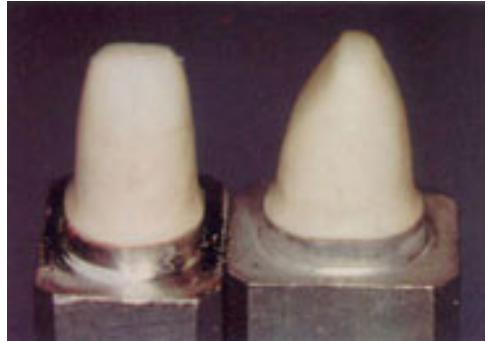


Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15



Fig. 19



Fig. 17

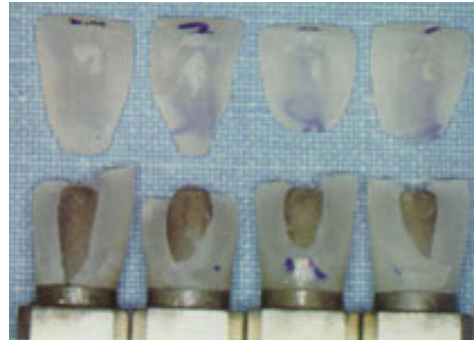


Fig. 20

논문사진부도 ③

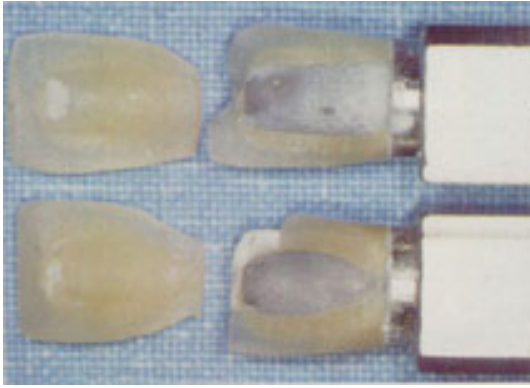


Fig. 21

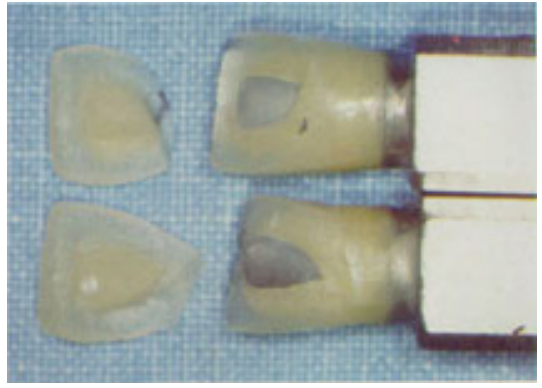


Fig. 22

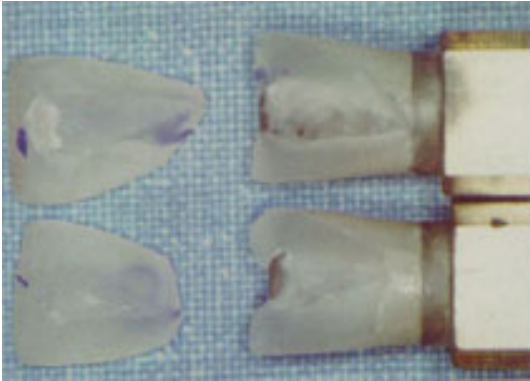


Fig. 23

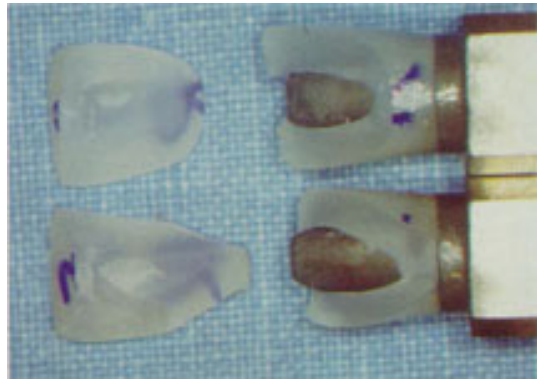


Fig. 24



Fig. 25



Fig. 26

논문사진부도 ④

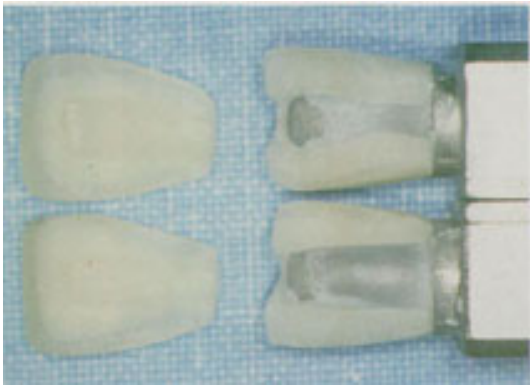


Fig. 27



Fig. 28



Fig. 29



Fig. 30

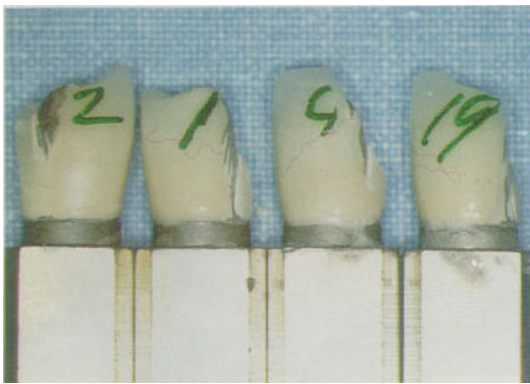


Fig. 31

=Abstract=

A STUDY ON THE FRACTURE STRENGTH OF ALL-CERAMIC CROWNS

Seung-Jin Paek · Jae-Ho Yang

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

The purpose of this study was to compare the fracture strength of five kinds of all-ceramic crowns (Vintage, Dicor Empress-staining, Empress-layering, In-Ceram) luted with glass ionomer cement and composite resin cement and to evaluate the effect of cements on the fracture strength of all ceramic crowns. Five groups of twelve uniform sized all-ceramic crown specimens were fabricated. Six specimens of each group were cemented with glass ionomer cement (Fuji G.I. Cement) and the remaining six specimens of each group were etched, silane-treated, and cemented with composite resin cement (Bistite resin cement).

The crowns were stored in water (37°C) for 1 day prior to loading in an Instron, using a steel ball (diameter 4mm) at a crosshead speed of 0.5mm/min. The crowns were angled 30°, so the steel ball contacted with the crowns 2mm lingual from the mid-incisal edge.

The results obtained were summarized as follows ;

1. With G.I. cement, mean fracture load (Kg) were :
Intage : 18.33 ± 1.47 ; Empress-staining : 23.92 ± 6.67 ; Dicor : 24.0 ± 5.81 ; Empress-layering : 26.92 ± 2.80 ; In-Ceram : 51.58 ± 6.87 ; ANOVA revealed a significant difference existed ($p < 0.05$) between the group A (Vintage, Dicor, Empress-staining, Empress-layering) and group B (In-Ceram).
2. With Resin cement, mean fracture load (Kg) were :
Intage : 22.75 ± 4.97 ; Dicor : 42.75 ± 7.07 ; Empress-staining : 44.08 ± 7.99 ; Empress-layering : 50.42 ± 5.43 ; In-Ceram : 52.58 ± 6.51 ; ANOVA revealed a significant difference existed ($p < 0.05$) between the group A (Vintage) and B (Dicor, Empress-staining, Empress-layering, In-Ceram).
3. Resin cement significantly increased the fracture strength of the all-ceramic crowns for Dicor (156%), Empress-staining (185%), Empress-layering (187%) ($p < 0.05$); but did not increase the fracture strength of Vintage (128%) and In-Ceram (101%) ($p > 0.05$).
4. Majority of the all-ceramic crowns show a wedge fracture extending through proximal surfaces to an apex, usually apical third (with G.I. cement) or middle third (with Resin cement) of the facial surface.

Key words : Vintage, dicor, Empress, In-Ceram, fracture strength, G.I. cement, Resin cement