

주입선 설계에 따른 Heat-pressed ceramic의 파절강도에 관한 연구

원광대학교 치과대학 치과보철학교실

오상천*、동진근

I. 서론

자연치아와 유사한 빛의 투과도를 갖는 전부도재관은 전치부에 심미적 수복이 필요할 경우, 우선적으로 고려될 수 있다. 그러나 초기의 전부도재관들은 파절에 대한 취약성이 커^(1, 2), 그들의 심미적인 장점에도 불구하고 임상에서의 활용이 위축되어 왔으며, 이를 극복하기 위한 노력이 꾸준히 계속되었다. 그 결과 최근에는 수종의 전부도재관 제품들이 적합성과 심미성 그리고 강화된 파절강도의 특징을 강조하면서 소개되기 시작하였다. 이러한 재료들의 등장은 전부도재관의 사용범위를 전치부는 물론 구치부까지 가능하도록 하였으며, 증가된 파절강도는 금속-도재관 출현 이후 주춤했던 전부도재관의 임상적 사용을 가속시키는 계기가 되었다.

열가압 도재계인 IPS-Empress system⁽³⁻¹²⁾은 변연의 적합도나 심미성이 돋보이는 전부도재관 시스템 중 하나이다. 이는 납형을 제작하여 매몰, 소환한 후, 1180°C의 고온으로 가열된 가압소성로(IPS-Empress EP 500)에서 가압 성형되는 왁스 소환법(lost wax principle)의 비교적 간편한 술식을 활용하고 있다. 이 IPS-Empress system은 빛의 투과도가 자연치와 유

사하고, 미리 색상화된 상아질 ingot를 사용하므로 인접 자연치와 자연스러운 조화를 얻을수 있는 또한 미리 결정화되어서 체적변화를 단지 생각하는 동안에 팽창률이 비슷한매몰재로 조절하기 때문에 다른 시스템들에 비해 비교적 변형률이 적은 장점을 지닌다. 따라서 이 system은 심미성이 강조되는 부위의 단순관, 인레이, 온레이 그리고 라미네이트 비니어 등에 사용된다.

Dong등⁽⁷⁾은 이 세라믹의 강도가 열가압되는 동안에 증가되고, 또한 최종 수복물 완성을 위해 추가되는 열처리과정에서 더욱더 증가되는 것으로 보고했다. 이러한 강도증가는 초기에 균상으로 모여있던 백류석결정(luecite crystal)들이 열가압과정을 통해서 유리기질 내로 넓게 분산됨으로써 가능했고, 이후에 열팽창계수가 낮은 유리기질 내에서 열팽창계수가 높은 백류석이 부가적인 열처리 과정에서 강화되어, 유리기질 내에서 접선방향의 높은 압축응력이 발생되고, 결정상 안으로 방사상 인장응력이 형성되어 강도가 증가되는 것으로 추정하였다. 특히 백류석 결정의 고른 분산은 포도송이와 같은 균상의 백류석 분포양상을 보이는 불균질의 기질구조(heterogenous matrix structure)의 ingot가 연화되어 좁은 주입선을 통해 압출되는 과정에서

* 이 논문은 오상천의 1996학년도 원광대학교 교내 연구비 지원에 의한 결과임.

고른 분산이 이루어 지는 것으로 추론했다.

따라서 IPS-Empress system에서 주입선은 특별한 의미를 갖게 된다. 즉 매몰시 납형을 적절한 위치에 고정하고, 녹은 금속을 주형에 주입하는 통로로서의 기공이 역할뿐만이 아니라, 전부도재관의 가장 큰 단점이 파절강도를 증가시키는 중요한 요인으로 기존의 주입선 개념과는 전혀 다른 새로운 의미가 부여되는 것이다. 그러나 그간 치의학 분야에서는 주입선에 대한 연구가 단지 금속주조물에 한정되어 왔고, 금속이 아닌 다른 재료 즉, 세라믹과 관련된 주입선의 연구는 거의 전무한 상태로, 앞으로 이에 대한 많은 연구가 있어야 될 것으로 사료된다.

본 실험에서는 Dong등⁽⁶⁾에 의해서 보고되고, 여러 선학들^(7, 11, 12, 57)에 의해서 인용된 “IPS-Empress세라믹 강도의 초기증가는 연화된 ingot가 좁은 주입선을 통과하는 과정에서 포도송이처럼 균상으로 모여있던 백류석결정들이 균일하게 퍼져 나간 혼합의 결과다”라는 이론에 근거하여, 실제 임상에서 사용되는 주입선을 이용하여, 직경과 수를 달리 한 형태변화가 세라믹의 강도에 어떠한 영향을 주는지 알아보고자, 직경 2.8mm의 단일 주입선과 직경 1.8mm의 이중 주입선을 이용하여⁽³⁾ 원형의 도재시편을 제작하고, 이를 이축굽힘시험법(biaxial bending test)을 이용하여, IPS-Empress세라믹의 굽힘파절강도를 측정, 비교해 본 결과, 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시편제작

직경 14mm, 두께 1.4mm의 원판형 시편을 제작하기 위하여, 두께 1.6mm의 파라핀 왁스를 이용하여 총 18개의 원판형의 납형을 제작한 후, 9개씩 나누어 각 시편에 한쪽은 직경 2.8mm의 주입선을 한 개 부착하고 나머지 9개에는 직경 1.8mm의 주입선을 두 개씩 V자형으로 부착하여 두군으로 나누었다. 이때 모든 연결부위에 예리한 각이 남지 않도록 하였으며, 출구가 점점 좁아지는 깔대기 형태가 되지 않도록 하였고, 또

한 이를 IPS-Empress ring base위에 원판형의 압출성형물(시편) 끼리는 최소한 3mm 그리고 압출성형물과 investment gauge 사이에는 최소한 8mm의 거리가 유지되도록 주의하여 부착하였다.

이후 제조회사의 지시대로 매몰, 소환, 압출성형, 그리고 매몰재 제거과정을 거쳐 소성된 세라믹 시편을 제작하였고, 이때 도재시편 제작을 위한 착색법(staining technique)에 사용되는 미리 압축되고 진공 소성된 IPS-Empress Opacity Ingot(T1)를 사용하였다. 그후 1.4mm의 두께가 되도록 150, 400, 600 grit SiC연마지를 사용하여 단계적으로 연마하였으며, 이렇게 준비된 시편은 증류수에서 5분간 초음파 세척을 한 다음, 실온에서 7일간 보관하였다.

2. 이축굽힘시험(bi-axial bending test)에 의한 굽힘파절강도의 측정

본 실험에서는 두께가 얇은 취성재료의 굽힘파절강도에 주로 사용되는 이축굽힘시험법을 적용했으며, 특히 Fig. 1에서 부여주는 piston-on-three ball법을 활용하여 주입선의 종류에 따른 IPS-Empress ceramics의 굽힘파절강도를 실온의 대기중에서 측정하였다. 직경 14mm의 시편이 안착될 수 있는 원통형 jig의 안쪽에 직경 3.2mm의 강구, 3개를 중앙에서 동일한 거리로 정삼각형의 꼭지점에 해당하는 곳에 위치시키고, 그 위에 시편을 얹어, 만능시험기(Zwick 145641, Zwick, Germany) 상에서 cross head speed 1.0mm/min의 조건으로 직경 11.8mm의 supporting circle의 중앙점에 하중을 가하여 파절 순간의 하중치(N)를 구하였다. 이때 원판형 시편의 표면에 좀더 균일한 하중을 가하기 위해 시편과 piston 사이에 약 50 μ m의 plastic film을 개재시켰으며, 9개의 시편 가운데 가장 높은 값과 낮은 값을 제외한 나머지 7개의 파절시 부하 하중값을 얻은 후, 아래와 같은 Marshall⁽⁸⁾에 의해서 정립된 공식(공식 1, 공식 2, 공식 3)을 이용하여, 시편하부의 중심점에서 파괴응력인 굽힘파절강도(σ)를 구하였다.

$$\sigma = AP / t^2 \quad (\text{공식 1})$$

and

$$A = (3/4\pi) [2(1+\nu) \ln(a/r_0) + (1-\nu) (2a^2 - r_0^2) / 2b^2 + (1+\nu)] \quad (\text{공식 2})$$

and

$$r_0 = (1.6 r_0^2 + t^2)^{1/2} - 0.675 t \quad (\text{공식 3})$$

여기에서

P = 파절시 적용된 하중

ν = Poisson's ratio (0.25)

a = support circle의 반지름

b = 시편의 반경

t = 시편의 두께

r_0 = 표면에 접촉된 piston의 반지름

r_0 = 공식(2.3)에서 주어진 평형상태의 반지름

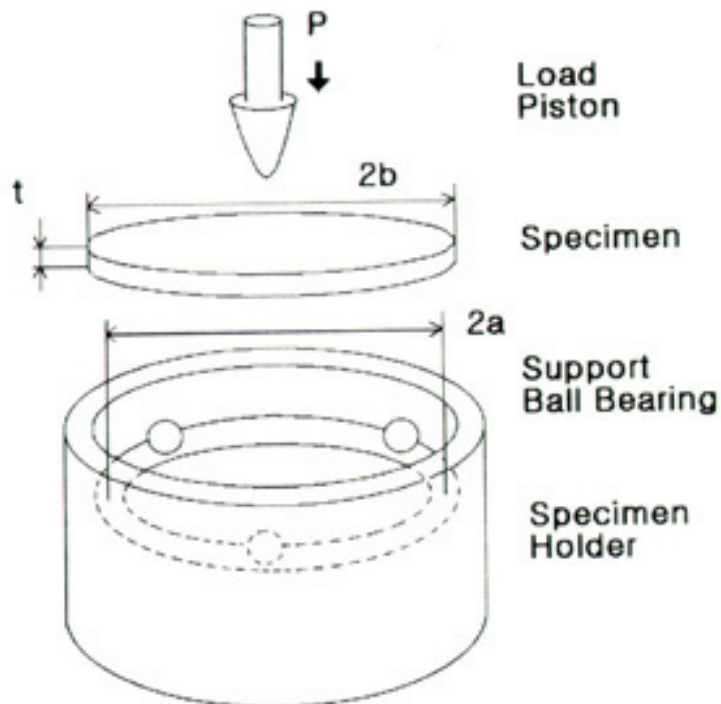


Fig. 1. Schematic illustration of piston-on-three-ball bi-axial flexure test.

a , the radius of the support circle; b , the radius of disc specimen; t , the thickness of the specimen; and r_0 the radius of the piston at the surface of contact.

Table I. Mean flexural strengths of heat-pressed ceramics according to sprue designs(Mpa)

(MPa)			
Group	N	Mean	Standard deviation
single sprue, Φ 2.8 mm	7	140.4	8.0
double sprue, Φ 1.8 mm	7	151.8	10.3

Paired t value, 2.33; probability(2-tail), 0.05

III. 실험성적

주입선의 직경과 수를 달리한 형태변화와 IPS-Empress ceramics의 굽힘파절강도와와의 관계를 알아보기 위해 각 원판형 시편을 이축굽힘시험법(bi-axial bending test)을 실시한 결과는 다음과 같았다. 직경 1.8mm의 주입선을 두개 사용한 경우는 평균 굽힘파절강도가 151.8MPa이었으며, 직경 2.8mm의 주입선을 하나 사용한 시편의 평균 굽힘파절강도는 140.4MPa로 나타났고, 두 군의 통계학적 유의차를 알아보기 위해 t-검정(t-test)을 실시한 결과 두 그룹간에는 통계학적 유의성이 있었다(Table 1).

IV. 총괄 및 고찰

전치부의 결손을 심미적으로 수복해 주기 위한 최초의 도재관과 인레이가 1880년대 후반 C. H. Land에 의해서 소개되었다. 그 후 수종의 전부도재관들이 사용되기 시작했는데 이들은 자연치아와 유사한 빛의 투과도를 지니는 심미적인 장점이 있었음에도 불구하고 파절강도가 매우 낮아^{1, 2)} 실제적 임상 활용에 어려움이 많았다. 그 후 도재수복물의 파절강도를 증가시키려는 노력이 계속되어, 치과 주조용 합금과 유사한 열팽창계수를 갖는 치과도재의 개발로 심미성을 위해서 통상적으로 사용되는 도재-금속관의 활용이 가능하게 되었다¹³⁻¹⁹⁾. 그러나 이 도재-금속관은 내부의 금속으로 인해 적절한 투명감을 얻기가 어려웠고, 변연부와 인접한 치은이 변색되는 심미적 한계점이 있었으며²⁰⁻²²⁾,

이를 해결하기 위해 변연을 도재로 하는 여러 가지 기술적 방법들과²³⁻²⁵⁾, 근본적으로 심미적 결함을 초래하는 내부금속을 없애고 도재의 물성을 강화시켜 본래의 전부도재관의 장점을 최대한으로 살리려는 노력이 계속되었다. 그 결과 최근에는 심미성이 강조되는 전치부에서 치아를 단독으로 수복하거나, 구치부 영역에서 활용임 가능한 몇몇 새로운 전부 도재관 제품들이 소개되어 많은 연구가 이루어지고 있고³⁰⁻⁴⁴⁾, 특히 IPS-Empress IPS-Empress system은 심미와 기능면에서 비교적 높은 성공률이 보고되고 있다²⁶⁻²⁹⁾.

열가압제작법(IPS-Empress system)은 미리 결정화된 세라믹과 자연치와 유사한 투명도를 지니는 상아질 세라믹 코어의 사용으로 적합도로와 심미성이 매우 돋보이는 최근에 소개된 새로운 전부도재관 제작법의 하나이다³⁻⁷⁾. 이 방법은 주조형 유리도재계와 같이 간편한 왁스 소환법에 의해 제작되는 것으로, 미리 납형을 만들어 매몰하고 예열에 의해서 백류석이 강화된 세라믹을 EP500소성로에 넣어 열가압시킨 후, 적절한 냉각을 거쳐 매몰재를 제거하고 내면과 외형을 잘 다듬어서, 심미성과 형태가 우수한 수복물을 만들어 내는 간편한 술식이다. 여기에 사용되는 ingot는 각 환자마다 다른 상아질의 색으로 밀 다양하게 색상화되어 있고, 자연치와 유사한 빛의 투과도를 작고 있어 매우 심미적이다. 또한 미리 결정화되어 열처리과정에서 필수적이었던 도재수축이 미세하고, 체적변화를 단지 냉각하는 동안에 팽창률이 비슷한 매몰재에 의해서 조절되기 때문에 이전에 열거한 다른 시스템에 비해 변연 접합도가 좋은 장점이 있다²⁶⁻²⁸⁾. 그러나 깊은 치은 연하 변연에서는 사용할수 없으며, 이같이와 같은 비정

상적인 약기능 환자는 피해야 하고, 소수 잔존치에는 사용될 수 없으며, 금속-도재관으로도 사용될수 없는 단점도 있다⁽⁸⁾.

1992년, Dong등⁽⁶⁾은 다량의 백류석 결정과 유리기질로 구성되는 이질성도재인 이 세라믹의 강도가 열가압하는 동안에 증가되고, 또한 최종 수복물 완성을 위해 추가되는 열처리과정에서 더욱더 증가되는 것으로 보고했다. 또한 파절양상을 보기 위해 파절면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 초기에는 포도송이처럼 균상으로 모여있던 백류석결정들이 좁은 주입선을 통과한 후 유리기질 내에 골구로 넓게 퍼져있음을 알게 되었고, 이것이 초기 강도 증가와 관련이 있는 것으로 생각했다. 따라서 제작과정에 있어 독특한 과정주의 하나인 압출성형 과정이 단순히 모양을 부여하는 수단으로서 뿐만 아니라, 세라믹의 강도를 증가시키는 중요한 과정임을 강조했다. 또한 일반 도재에서 처럼 장석이 고온에서 액화되면 무기질이면서 결정성광물인 백류석이 동시에 형성되는데⁽⁴⁵⁻⁴⁷⁾, 이것이 일반 도재-금속관에서는 열처리가 반복될 경우 서로 다른 열팽창계수의 부조화를 일으켜 파절의 원인으로 작용하지만⁽⁴⁸⁻⁵⁰⁾ IPS-Empress에서는 다른 의미가 부여되었다. 즉 추가적인 열처리 과정에서 열팽창계수가 낮은 유리질 내에서 열팽창계수가 높은 백류석이 강화되고, 열팽창계수가 달라짐으로 해서 발생하는 내부응력이 한상의 파괴응력 또는 계면의 결합력보다 높지 않도록 냉각되는 과정에서 냉각속도를 조절하여 서로 분리되지 않도록 유도하면 유리기질 내에서 접선방향의 높은 압축응력이 발생되고, 열팽창계수가 큰 백류석결정 안으로는 방사상 인장응력이 발생되어 초기에는 두 응력이 균형을 이루다가 최종적으로 강도를 증가시키는 중요한 역할을 담당하는 것으로 보고하였다^(7, 10, 12).

1992년, Pröbster⁽⁵¹⁾는 새로운 두가지 전부도재관 제품(In-ceram, IPS-Empress)을 치관의 형태로 제작하여 합착 후 압축강도를 측정해 본 결과, In-ceram의 경우 주로 내부 코어는 남고 외부 veneer가 깨져 나갔으며, Empress의 경우는 세라믹이 통째로 깨지는 경향을 보였다. 따라서 강도면에서 In-ceram이 964.3 N 그리고 IPS-Empress가 814.1 N으로 둘

간의 통계학적 유의성은 없었으며, 단순시편의 형태로 측정된 수치와는 달리 이들은 임상에서 비슷한 합착 강도를 발휘할수 있음을 암시했다. 이는 IPS-Empress 내면을 etching을 하고 silane처리 한 후 이중경화 접착성레진으로 접착하여 내부에 기계적인 유지를 도모하고 내부로부터 발생하는 균열에 대한 저항력을 높였기 때문이었다⁽⁵²⁾.

1993년, Lüthy등⁽⁷⁾은 IPS-Empress에서 사용되는 staining technique와 layering technique의 제작된 ingot의 파절강도를 비교해 보았는데, 이들의 파절강도는 통계학적 유의성이 없었으며, 따라서 이 두 가지 방법이 임상에서 우열없이 사용될수 있음을 시사했다. 또한 다른 조건의 상황에서 즉 IPS-Empress core 아래 veneer porcelain을 두고 파절강도를 실험한 결과, 파절강도(77±9 MPa)가 급격히 감소되었는데 이는 McLean^(17, 19, 53)에 의해 측정된 장식도재(81±14 MPa)와 비슷한 수준으로 모든 치과용 도재에서 파절강도와 탄성계수가 밀접한 연관성을 나타내고, 두께를 제외한 하부구조의 견고성이 도재의 성질로 보아 이와 같은 급격한 파절강도의 저하는 veneer porcelain이 열가압된 도재에 비해 낮은 탄성계수와 취약한 견고성을 지니고 있기 때문인 것으로 추측했다. 또한 이러한 조건에서 glazing을 실시한 결과, 강도가 50 MPa정도 더 증가되었는데 이는 glazing에의해 표면강도가 증가된 것으로 도재보다도 열팽창계수가 낮은 glaze가 냉각중에 압축응력을 발생하였기 때문이다⁽⁵⁴⁻⁵⁶⁾.

1994년, Dentry⁽⁵⁰⁾ 등은 도재전장주조관 또는 전부도재관에서 사용하는 장식도재(Ceramco, Vita VMK, Cerinate, Empress, Mirage, Optec)를 대상으로 그 내부에 함유되어 있는 백류석(leucite) 결정의 특성을 조사해 본 결과, 백류석은 Optec에서 가장 많이 함유되어 있었으나, 백류석결정 내부에 포함되어 있는 알루미나는 Optec보다 Empress 강도에 대한 이론적 근거를 간접적으로 제시했다.

1994년, Myers등⁽⁵⁷⁾은 구강내 상황과 유사한 환경을 제공하여, 도재의 파절강도를 유추해 보았다. 즉 수분상태에서 지속적인 피로응력을 가한 결과, 도재(IPS-Empress, Optec-HSP) 등의 파절강도는 응력

집중이 수분에 의해서 가속화되기 때문에 건조한 상태에서 보다 많이 감소된 수치를 보였고, 즉 건조한 상태에서 Optec-HSP의 이축굽힘강도(bi-axial flexural strength)는 174 MPa 로 137.7 MPa인 Empress보다 더 높은 것으로 보고되었으나, 수분이 항상 존재하는 구강내에서는 균열성장지수(n)가 Optec-HSP는 26, empress는 31로 차이를 보여 수분상에서는 Optec-HSP가 오히려 Empress보다 더 높은 응력집중을 받아 수분상에서 지속적인 응력을 받게될 경우 쉽게 파절될 것으로 추측했다.

1995년, Seghi와 Sorensen 등⁽⁵⁸⁾은 근래에 소개된 6가지 새로운 도재재료(Soda-lime, Vita VMK68, Mark II, IPS-Empress, Dicor MGC, In-ceram)의 파절강도를 비교 연구하였는데, 대조군인 기존의 장식도재와 soda-lime glass에 비해 IPS-Empress를 포함한 모든 새로운 도재재료에서 유의성있는 강도증가를 보인 것으로 보고했다. 지난 20년동안 선학들의 연구를 통해 밝혀진 것처럼 도재강도 증가는 내부 미세구조의 조절과 변화에 의해서 일어나는데, 이러한 새로운 도재들 또한 주로 유리(glass)로 이루어진 장식도재와는 다른 미세구조를 보유하고 있었고, 따라서 내부의 증가된 결정화 기질(crystalline matrix)에서 일어나는 균열편향(crack deflection)들이 주요 강화기전으로 작용하고 있었으며, 이런 결정화단계(crystalline phase)의 양과 특성은 도재의 물리적, 시각적, 기계적 성질을 조절하는 중요한 열쇠가 되었다^(50, 59).

도재수복물의 물성을 개선하는 방법은 도재를 강화하는 방법과 도재수복물의 설계시 응력집중과 인장응력을 최소화하는 방법이 있다⁽⁶⁰⁻⁶²⁾. 도재를 강화시키는 방법으로 크게 두가지를 들 수 있는데 첫째 잔류압축응력을 이용하는 방법으로 이온교환의 방법, 열템퍼링(thermal tempering), 그리고 열팽창계수의 부조화 등이 있고, 둘째 균열진행의 저지방법으로 crack-tip interaction, crack-tip shielding, crack bridging 등이 있으며, 이들 각각의 기전은 도재의 제2상에서 합체된 결정성 입자들이 균열파급을 저지하여 결국 파절강도의 증가를 가져오게 하는 것이다^(63, 64).

Crack-tip interaction⁽⁶³⁻⁶⁶⁾은 미세구조적으로 내부의 입자들이 장애물이 되어 균열이 더 이상 진행되지 못하게 하는 것으로, 이러한 방해물들은 일반적으로 제 2상에서 형성된 결정입자들이 균열면의 진행을 방해하고 방향을 바꾸어 빗겨가게 한다. 이렇게 방향이 바뀐 균열면의 재형성은 편향된 부위에서 균열을 일으키는 힘을 감소시킨다. 균열이 균열파급을 촉진하는 인장응력이 정상치가 되도록 균열면을 벗어나 편향되면 균열은 더 이상 순수한 인장응력을 받지않고 오히려 다소의 뒤틀린 변형력을 받게 되는데, 현미경적 수준에서 이러한 복잡한 양상의 파절이 균열파급을 억제시키는 것이다.

Crack-tip Shielding⁽⁶⁴⁻⁶⁶⁾은 균열선단부에 형성된 높은 응력(stress)에 의해서 촉발된 보호 작용이 이러한 높은 응력을 감소시키는 역할을 할 때 발생하는 기전으로, transforming toughening과 microcrack toughening으로 나타난다. transforming toughening은 외력을 받으면 구조가 변화하는 결정을 이용하는 것으로 주로 zirconia가 이용되는데 한가지 단점은 굴절율이 주위의 유리와 달리 높아 불투명하기 때문에 심미적으로 좋지 않다는 것이다. microcrack toughening은 각기 다른 열팽창계수나 탄성률을 갖는 다변화재료에서 발생하는 국소화된 잔류응력이 세라믹 내에서 발생하는 Crack-tip Shielding의 다른 형태로 세라믹내에서 발생하는 국소화된 잔류응력이 균열의 진행응력이 균열의 진행을 촉진시키는 인장력에 대해 반작용 역할을 하여 균열을 보호한다. 이러한 강화기전은 IPS-Empress나 Optec-HSP 같이 백류석이 강화된 도재에서 나타나며, 즉 백류석의 높은 열팽창계수와 체적감소는 백류석결정들이 유리기질보다 더 수축하게 되고, 백류석상태에서 미세균열을 일으키는 압축력이 결정 주위의 유리기질 내에서 발생되며, 이러한 잔류 압축력은 도재 균열파급을 막는 반작용으로 작용하게 된다⁽⁵⁸⁾. 본 실험에서도 좀더 좁은관인 $\phi 1.8\text{mm}$ 의 이중 주입선이 더 높은 파절강도를 보였는데 이는 더욱 고르게 퍼진 백류석결정의 도움으로 압축과 인장응력이 시편 내에서 더욱 균일하게 재편성된 결과로 사료되었다.

Crack bridging⁽⁶⁸⁾은 도재의 이차상태가 균열 파급을 방지하는 인대(ligament)로써 작용하는 세번째 도재강화 기전으로, Hi-ceram, Vita-dur-N, Mirage II처럼 큰 입자인 Al₂O₃가 강화된 도재에서 주로 작용한다⁽⁶⁷⁾.

1996년, Mackert 등⁽¹⁰⁾은 열 가압된 도재(IPS-Empress)의 제작 과정에서 강화되는 백류석과 강도의 관계를 알아 보는 연구에서, 가압 직후에는 백류석 양이 별로 증가되지 않았으나, 일차 착색소환 후 유의성 있는 증가를 보였고, 이차 착색소환 후 더욱 더 증가된 양상을 보였으나, 그 이후의 열처리에는 더 이상의 백류석결정의 유의성있는 증가를 보이지 않는 것으로 보고했다. 즉 열가압 후에 백류석 양의 큰 변화가 오르는 상태에서 초기의 강도증가는 백류석강화와는 별개로 백류석결정의 고른 분산에 의한 것이었으며, 이후에 연속되는 열처리 과정에 의해서 백류석이 강화되어 파절강도가 증가되어 가고 있음을 보고하였다. 이는 이미 Dong등⁽⁶⁾에 의해서 설명되었던 내용과 일치하는 것이었다.

그러나 1996년 Uctasli등⁽¹¹⁾은 열가압된 core도재 수복물의 완성을 위해 필요한 부가적인 열처리 과정이 이미 형성된 백류석 결정에 긍정적인 결과를 주지 않는 것으로 보고했다. 즉 부가적 열처리 과정이 열가압된 ingot의 파절 강도를 증가시키지 않으며, 코어재료의 적절한 강도는 높은 온도와 조절된 기압에 의해서 수행되는 열가압 과정에서만 얻어지는 것으로 주장하여 기존의 연구들과는 상이한 결과를 보고했다.

도재물의 기계적강도는 치과수복물의 임상적 성공을 좌우하는 중요한 요인중의 하나이다. 통상 압축응력은 도재, 시멘트, 아말감, 그리고 레진과 같이 잘 깨지는 치과 재료들을 측정하기 위해서 사용되나 대부분의 취성재료는 압축보다 인장 상태에서 더욱 약하므로 인장응력이 표면의 흠이 있는 취성 재료의 치과 수복물의 파절강도 측정을 위해서 더욱더 의미있는 특성으로 고려되고 있다⁽⁶⁹⁾.

취성이 강한 도재의 파절강도를 측정하기 위해서는 일반적으로 이축굽힘시험(bi-axial bending test), 단축굽힘시험(three, four-point bending test), 그리

고 간접인장시험법(diametral tensile test) 등이 사용되어 왔다.

취성치과재료의 인장응력을 측정하기 위해서 간접인장시험법(diametral tensile test)이 흔히 사용되고⁽⁷⁰⁻⁷²⁾, 이러한 방법은 취성재료를 원주상 시편으로 제작하여 압축에 의해 재료의 극한인장강도(ultimate tensile strength)를 측정하는 간접인장시험법으로 인장력을 평가하기 위한 단순한 실험적 방법이다. 그러나 시편내에 복합응력이 형성되는 까닭에 다양한 형태의 파괴양상을 초래하게 되며, 만약 파절전에 시편이 심하게 변형되면 그 자료는 신뢰성을 상실하게 되는 단점이 있다.

또한 순수한 인장응력이 시편의 한쪽면에 형성되는 3점굽힘과 4점굽힘 강도시험이 단일 구조의 취성재료와 금속-도재 수복물임 강도평가를 위해 사용된다⁽⁷³⁻⁷⁵⁾. 이러한 단축굽힘시험은 시편의 하부에서 인장력으로 집중응력이 일어나고, 파절강도의 변이를 심화시키는 변연파절을 초래한다. 더구나 이러한 방법은 비교적 큰 시편과 관계되는 공학재료를 위해 고안되었기 때문에 큰 시편에서 나타나는 열팽창계수와 결합의 특성이 작은 수치의 변화가 요구되는 치과재료에서는 잘 반영되지 않으며, 통계학상으로 유의성있는 결과를 얻기 위해서는 실제적으로 많은 양의 시편이 필요하게 되므로 종종 부적절하게 된다. 게다가 많은 시편내에서 생기는 중합수축 또는 열수축 차이 그리고 표면흡입의 특성들 때문에 잔류응력의 상태들이 실제 임상에서 활용되고 있는 수복물과는 다른 양상을 보이는 단점들이 있다.

따라서 최근에는 이축굽힘시험이 두께가 얇은 치과취성재료의 굽힘강도를 알아보기 위해 주로 사용되고 있다. 이 방법은 하중중심부에서 최대 인장응력이 발생하므로 주입선(sprue)이 있었던 부적절한 시편의 가장자리 파절이 감소되고, 측정시 약간 뒤틀린 시편도 측정이 용이하며 시편 선단의 조건에 대한 영향을 최소화한으로 줄인 방법으로 단축굽힘시험보자 신뢰도가 더 높은 방법으로 평가되고 있다. 시편의 지지와 하중을 가하는 방식에 따라 여러 가지의 측정 방법이 제안되고 있으며((1) ring-on-ring⁽⁷⁶⁾, (2) piston-on-

ball⁽⁷⁹⁾, (5) piston-on-three-ball⁽⁸⁰⁾, (6) ring-on-spring⁽⁸¹⁾ 이 중에서 piston-on-three-ball법이 일부 유리와 도재에서와 같이 약간 뒤떨릴 수 있고, 특히 얇고 작은 시편의 치과 취성재료에서 많이 추천되고 있는 방법으로 원판형 시편의 중앙에서 그리고 각각으로부터 동일한 거리에 위치된 3개의 금속구슬위에 시편을 얹고 중앙점에서 하중을 가하는 방식이다. 시편은 대개 12-50 mm의 직경과 1-3 mm의 두께의 범위에서 제작된다. 본 실험에서도 이 기준에 따라 직경 14mm, 두께 1.4mm의 원판형 시편을 만들었고, 시편의 마무리 과정 중에 4개의 시편 가장자리에 자그마한 흠집과 결함이 발생되었으나, 이의 굽힘파절강도의 수치는 비교적 안정됨을 보여 이축굽힘시험의 장점을 확인할 수 있었다.

왁스 소환법을 사용하는 IPS-Empress system의 경우 주입선의 설치는 필수적이다. 더구나 도재의 초기 파절강도 증가를 유도하는 역할을 수행하는 것으로 그것의 설치 과정은 매우 중요하다. 제조회사⁽⁸⁾는 주입선의 직경을 납형의 크기에 따라 2-3 mm의 wax wire를 사용하고, 길이는 너무 짧을 경우 도재물 속에 기포가 형성되므로 냉각시 매몰재와 도재의 수축이 잘 조화가 이루어 지도록 약 6-8 mm의 길이를 사용하며, 가압하는 동안 매몰재가 떨어져 나와 주조물에 입자로 산재될 수 있고 기포나 주름 등이 생겨 취약부위를 만들 수 있으므로 주입선의 연결부위를 예각이나 날카롬무 없이 부드럽게 이행될 수 있도록 마무리하며, 점점 가늘어 지는 형태(tapered sprue)를 사용해서는 안되고, 연화된 세라믹이 균일하게 압력을 받게 하기 위해서 가장 두꺼운 부위에서 교합면쪽으로 약 45°의 각도를 갖게 해야 하며, 작고 얇은 전치 도재관이나 좁은 isthmus를 갖는 경우는 직경 2 mm의 주입선을 두개 설치하는 것도 주형내에 고른 압력을 가압 성형을 위해 추천하고 있다.

일반적으로 치광영역에서 주입선은 매몰을 위해 납형을 적절한 위치에 고정하고, 주조시 용융물의 완전한 주입을 위한 통로로써 납(wax)나 금속으로 만들어진 좁은 관으로 정의되고 있다⁽⁹⁰⁾. 주입선의 효과는 용융된 금속이 얼마나 쉽게 그것을 잘 통과해서 주형을

잘 채우느냐에 달려있다⁽⁸²⁾. 따라서 다양한 주입선의 설계와 주조능력에 대한 평가가 가장 많이 이루어 왔다⁽⁸³⁾. 즉 주입선의 연결부위를 확장시킨 경우⁽⁸⁴⁾, 주조물의 최대 두께보다 더욱 두꺼운 주입선을 사용하는 경우⁽⁸⁵⁾, 두꺼운 주조물을 위해서 긴 주입선을 사용하고, 얇은 주조물일 경우 짧은 주입선을 사용하는 경우⁽⁸⁶⁾, 연결부위가 좁아지는 주입선을 사용하는 경우^(88, 89) 각 각각의 조건에서 우수했던 것으로 주장되었다. 그 결과 흐름능력과 주입선의 수 그리고 직경과는 비례관계를 보였고, 주입선의 길이 뿐만이 아니라 그것의 형태와 모양 그리고 위치와 방향이 중요한 요인으로 파악되었다. 그러나 본 연구에서는 다소 다른 의미를 보였다. 즉 불균질의 기질 구조의 특성을 지닌 IPS-Empress ceramic의 강도증진을 위한 주입선은 직경이 2.8 mm인 것(140.0 MPa)보다 1.8mm인 경우(152.5 MPa)에서 굽힘파절강도가 증가되는 양상을 보여 주입선의 직경과는 반비례관계에 있었고, 또한 금속에서 주입선의 부착부위는 기포나 주조결함이 많이 발생하는 취약부로 가능하면 수를 늘리지 않도록 강조하고 있으나⁽⁹⁰⁾ 본 연구에서는 굵은 것 하나보다는 가는 것 두개가 더 강도가 높고, 연결부위의 결함도 드물어, 굵은 것보다는 가는 것을 여러 개 사용하는 것이 도재파절강도 면에서 더욱 유리할 것으로 사료되었다. 따라서 열가압 성형물의 정밀도에 영향을 주지 않는 범위 내에서 주입선의 직경이 좁을수록, 좁은 주입선의 수가 많을수록 세라믹의 파절강도는 증가될 것으로 사료되었으며, 주입선의 수와 직경에 따른 형태변화가 세라믹의 굽힘파절강도 증가에 직접적인 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 또한 이상을 종합해 볼 때, 전부 도재관 제작법 중 도재관의 성형을 위해 주입선을 사용하게 되는 IPS-Empress system 경우, 좁은 주입선을 통해 열가압되는 과정에서 연화된 불균질성 기질의 ingot 내에 결정성 입자들이 더욱 고르게 확산될 수 있는 입체적인 주입선 설계의 고려도 흥미 있을 것으로 사료되었다.

그러나 본실험은 아직 부가적인 열처리후에 변화가 고려되지 않은 상황이고, 또한 본 연구결과를 일차적으로 증명할 수 있는 미세구조 변이에 대한 연구가 병

행되지 않아 앞으로 이에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 사료되며, 또한 그간 치의학에서 주입선에 대한 연구가 단지 금속속주조물을 대상으로 연구되어 온 까닭에, 국내외적으로 이에 대한 문헌이 드물 상황에서 앞으로 많은 연구가 좀더 복합적이고 체계적으로 진행되어야 할 것으로 사료되었다.

V. 결론

최근에 소개된 heat-pressed ceramic(IPS-Empress, Ivoclar)은 심미성이 강조되는 부위에서 단 일관이나 인레이/온레이 그리고 라미네이트 비니어 등으로 사용되며, 여기에 사용되는 ingot는 부분적으로 미리 결정화 되고, 색상화된 glass-leucite ingot이며, 이 ingot의 파절강도의 증가과정은 연화된 ingot가 좁은 주입선을 통과하는 열가압과정과 부과적인 열처리과정에서 최고치를 나타낸다. 따라서 저자는 파절강도의 초기증가를 일으키는 열가압과정의 효과를 극대화시키기 위하여 주입선의 형태에 변화를 주어 단지 열가압된 IPS-Empress ceramic의 파절강도를 이축 굽힘시험으로 평가해 보았다. 시편은 주입선의 직경에 따라 $\varnothing 2.8$ mm의 주입선을 하나 사용한 원형시편과 $\varnothing 1.8$ mm의 주입선을 두 개 사용한 원형시편을 각각 9개씩 제작하였고, 이를 만능시험기를 이용하여 굽힘 파절강도를 측정하여 비교하였다. 그 결과 $\varnothing 1.8$ mm의 이중 주입선의 경우(152.5 MPa)가 $\varnothing 2.8$ mm의 단일 주입선을 사용한 경우(140.0 MPa)보다 유의성있게 높은 파절강도를 보여, 열가압 성형물에 변형을 주지 않는 범위에서 주입선의 직경과 수에 따른 형태변화가 IPS-Empress ceramic의 굽힘파절강도 증가에 직접적인 영향을 주고 있음을 알수 있었다.

Reference

1. Southan, D.E., and Jorgensen, K.D. : Faulty procelain jacket crowns, Aust. Dent. J., 18 : 152-156, 1973.
2. Southan, D.E., and Jorgensen, K.D. : Faulty procelain jacket crowns, Aust. Dents. J., 17 : 436-440, 1972.
3. Beham, G. : IPS-Empress : A new ceramic technology, Ivoclar Vivadent Report, 6 : 1-13, 1990.
4. Wohlwend, A., Scherer, P. : Die Empress-Technik. Eine neue Möglichkeit. Einzelkronen, Inlays and Verblendschalen herzustellen, Quintessenz Zahntech, 16 : 966-978, 1990.
5. Heinenberg, B.J. : IPS-Empress mit neuer keramik technologie. Quintessenz Zahntech, 17 : 475-479, 1991.
6. Don, J.K., Luthy, H., Wohlwend, A., and Scharer, P. : Heat-Pressed ceramics : technology and strength, Int. J. prosthodontics., 5 : 9-16, 1992.
7. Luthy, H., Dong, J.K., Wohlwend, A., and Scharer, P. : Effects of veneering and glazing on the strength of heat-pressed ceramics, Schweiz Monatsschr Zahnmed, 103 : 1257-60, 1993.
8. IPS-Empress manual. Ivoclar Com., Schann, Liechtenstein.
9. Richards, M.W., and Kelly, J.R. : Indentation-strength of unpressed and pressed Empress disk [Abstract], J. Dent. Res., 74 : 159, 1994.
10. Mackert, J.R., and Russell, C.M. : Leucite crystallization during Empress processing [Abstract], J. Dent., Res., 74 : 166, 1995.
11. Uctasli, S., Wilson, J.J., Unterbrunk, G., and Zaimoglu, A. : The strength of a heat-pressed all-ceramic restorative material, J. Oral Rehabilitation, 23 : 257-261, 1996.

12. Mackert, J.R. and Russell, C.M. : Leucite crystallitation during processing of a heat-pressed dental ceramic, *Int. J. Prosthe.*, 9 : 261-265, 1996.
13. Vines, R.F., and Semmenlamn, J.O. : Densification of dental porcelain, *J. Dent. Res.* 36 : 950, 1957.
14. McLean, J.W. : A higher strength porcelain for crown and bridge work, *Br. Dent. J.*, 119 : 268, 1965.
15. Sherrill, C.A., and O'Brien, W.J. : Transverse strength of aluminous and feldspathic porcelain, *J. Dent. Res.*, 53 : 683, 1974.
16. Sced, I.R., et al. : The strengthening of aluminous porcelain with bonded platinum foils, *J. Dent. Rest.*, 56 : 1067, 1977.
17. McLean, J.W., et al. : A new metal-ceramic crown, *J. Prosthodont.*, 40 : 273, 1978.
18. Hopkins, K. : A method of strengthening aluminous porcelain jacket crowns, *Br. Dent. J.*, 151 : 225, 1981.
19. McLean, J.W. : Ceramics in clinical dentistry, *Br. Dent. J.*, 165 : 187-194, 1988.
20. Sproull, R.C. : Color matching in dentistry. part 1. The three-dimensional nature of color, *J. Prosthet Dent.*, 29 : 416-424, 1973
21. Sproull, R.C. : color matching in dentistry. part 2. Practical applications of the organization of color, *J. Prosthet Dent.*, 29 : 556-566, 1973.
22. Yamamoto, M. : *Metal Ceramics*. Chicago : Quintessence, 219-291, 1987.
23. Goldstein, R.E. : Esthetic principle for ceramo-metal restorations, *Dent., Clin. North. Am.*, 21 : 803, 1977.
24. Goodacre, C.J., Van Roekel, N.B., Dykema, R.W., and Ullmann, R.B. : The collarless metal-ceramic crown, *J. Prosthet. Dent.*, 38 : 615, 1977.
25. Belles, D.M., Cronin, R.J., and Duke, E.S. : Effect of metal design and technique on the marginal characteristics of the collarless metal ceramic restoration, *J. Prosthodont.*, 65 : 611, 1991.
26. Krejci, I., Krejci, D., and Lutz, F. : Clinical evaluation of a new pressed glass ceramic inlay material over 1.5 years, *Quintessence int.*, 23 : 181-6, 1992.
27. Sorensen, J.A., Fanuscu, M.I., Choi C., and Mifo, W. : Status of clinical trial on Empress crown %Abstract%, *J. Dent. Res.*, 74 : 159, 1995.
28. Tidehag, P., and Gunne, J. : A 2-year clinical follow-up study of IPS-Empress ceramic inlay, *Int. J. Prosthe.*, 8 : 456-460, 1995.
29. Kelly, J.R., Nishimura, I., and Campbell, S.D. : Ceramics in dentistry : Historical roots and current perspectives, *J. Prosthe. Dent.*, 75 : 27, 1996.
30. Vita Zahnfabrik : Vita Hi-Ceram Working Instructions, Bad Sackingen, Germany, 1988.
31. Optec HSP laboratory technique manual, Jeneric/pentro Inc., Wallingford, C.N. January, 1988.
32. Vintage manual, Shofu Co., Tokyo, Japan.
33. Grossman, D.G., and Nelson, J.W. : The bonded Dicor crown「Abstract」, *J. Dent. Res.*, 66 : 206, 1987.
34. Dicor manual, Densply International Inc., York, Pa.
35. Adair, P.J., and Grossman, D.G. : The castable ceramic crown, *Int. J. Periodont. Rest. Dent.*, 2 : 33-45, 1984.
36. Grossman, D.G. : Processing a dental ceramic by casting methods, In : O'Brien, W. J., Craig, R.G., eds. : *Proceedings of conference on recent developments in dental ceramics*, Columbus, Ohio : American Ceramic Society, 19-40, 1985.
37. Hobo. S. and Iwata. T. : Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative

- material, I. Theoretical considerations., *Quintessence Int.*, 16 : 135-141, 1985.
38. Iijima, H. Hakamazuka, Y., Ito, S., and Hata, Y. : Clinical application and evaluation of Olympus Castable Cermaic(OCC), *J. Dent. Res.*, 70 : 757, abst. No. 142, 1991.
 39. Scharer, P., Sato, T., and Wohlwend, A. : A comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown system, *J. Prosthet. Dent.*, 59 : 534-542, 1988.
 40. Geller, W., and Kwaitkowski, S.T. : The Willis glass crown : A new solution in the dark and shadowed zones of esthetic porcelain restorations, *Quint. Dent. Tech.*, 11 : 233-42, 1987.
 41. Campbell, S. D. : Esthetic modification of cast dental-ceramic restorations, *Ins. J. Prostho.*, 3 : 123-9, 1990.
 42. Pröbster, C., and Diehl, J. : slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations, *Quint. Int.*, 23 : 25-31, 1992.
 43. Clause, H. : Vita In-Ceram, a new system for producing aluminum oxide crown and bridge substructures(German), *Quintessenz Zahntech.*, 16 : 35-46, 1990.
 44. Kelly, J.R., Test, J.A., and Sorensen, J.A. : Failure of all-ceramic fixed partial dentures in vitro and in vivo : analysis and modeling, *J. Dent. Res.*, 74 : 1253-8, 1995.
 45. Fairhurst, C.W., Anusavice, K.J., Hashunger, D.T., Ringle, R.D. and Twiggs, S.W. : Thermal expansion of dental alloys and porcelains, *J. Biomed. Mater. Res.*, 4 : 435-446, 1980.
 46. Mackert, J.R., and Evans, A.L. : quantitative x-ray diffraction determination of leucite thermal instability in dental porcelain, *J. Am. Ceram. soc.*, 74 : 450-453, 1991.
 47. Mackert, J.R. and Evans, A.L. : Effect of cooling rate on leucite volume fraction in dental porcelains, *J. Dent. Res.*, 70 : 137-139, 1991.
 48. Anusavice, J.J., and Gray, A.Z. : Influence of framework design, contraction mismatch, and thermal history on porcelain checking in fixed partial dentures, *Dent. Mater.*, 5 : 58-63, 1989.
 49. Mackert, J.R. Butt, M.B., and Fairhurst, C.W. : The effect of the leucite transformation on porcelain expansion, *Dent. Mater.*, 2 : 3236, 1986.
 50. Denty, I.L, Rosenstiel, S.F., and Holloway, J.A. : Characterization of crystalline leucite in feldspathic dental porcelains [Abstract], *J. Dent. Res.*, 73 : 369, 1994.
 51. Pröbster, L. : Compressive strength of two modern all-ceramic crowns, 5 : 409-414, 1992.
 52. Vaidyanathan, T.K, Vaidyanathan, J., and Prasad, A. : Properties of a new dental porcelain, *Scanning microscopy*, 3 : 1023-1033, 1989.
 53. Mclean, J.W. and Kedge, M.I. : High strength ceramics, *Quintessence Int.*, 18 : 97-106, 1987.
 54. Fairhurst, C.W., Lockwood, P.E., Ringle, R.D., and Thompson, W.O. : The effect of glaze on porcelain strength, *Dent. Mater*, 8 : 203-207, 1992.
 55. Kingery, W.D., Bowen, H.K., and Uhlmann, D.R. : Introduction to ceramics, 2nd edition, John wiley & Sons, New York, 1976.
 56. Jones, D.W. : The strength and strengthening mechanisms of dental ceramics, In : McLean, J.W.(ed) : Dental ceramics, Quintessence, Berlin, p83-141, 1983.
 57. Myers, M.L., Eraglr, J.W., Fairhurst, C.W., and Ringle, R.D. : Fatigue failure parameter of IPS-Empress porcelain, *Int. J. Prostho.*, 7 : 549-553, 1994.
 58. Seghi, R.R. and Sorensen, J.A. : Relative Flexural strength of six new ceramic materials, *Int. J. Prostho.*, 8 : 239-246, 1995.
 59. Grossman, D.G. : Structure and physical

- properties of Dicor/MGC glass-ceramic, In : International symposium on computer restorations「abstract 6」, University of Zurich, Switzerland, 1991.
60. 김병훈 외 9명 : 세라믹스 총론, 반도출판사, 1987.
 61. 이준근 : 세라믹의 기계적 특성, 반도출판사, 1994.
 62. 김경남 외 6명 : 치과재료학, 군자출판사, 1995.
 63. Green, D.J. : Microcracking mechanisms in ceramics, In : Bradt, R.C., Evans, A.G., Lange, F.F., and Hasselman, D.P.(eds), Fracture Mechanics of ceramics, Vol.5. New York : plenum press. 457-478, 1983.
 64. Green, D.J. Hannink, R.H.J., and Swain, M.V. : Transformation toughening of ceramics, Boca Raton, F.L. : CRC Press, 57-91, 1989.
 65. Faber, K.T., and Evans, A.G. : Crack deflection processes, I Theory. Acta Metall, 31 : 565-576, 1983.
 66. Faber, K.T., and Evans, A.G. Crack deflection processes, II Experiment. Acta Metall, 31 : 577-584, 1983.
 67. Steinbrech, R., Khehans, R, and Schaarwachter, W. : Increase of crack resistance during solw crack growth in Al_2O_3 bend specimens, J. Mater. Sci., 18 : 265-269, 1973.
 68. Swanson, P.L, Fairbanks, C.J., Lawn, B.R., Mai, Y.W., and Hockey, B.J. : Crack-interface grain bridging as a fracture resistance mechanism in ceramics, J. Am. Ceram. Soc., 70 : 279-284, 1987.
 69. Ban, S., and Anusavice, J.J. : Influence of test method on failure stress of brittle dental materials, J. Dent. Res., 69 : 1791-1799, 1990.
 70. Earnshaw, R. and Smith, D.C., : The tensile and compressive strength of plaster and stone, Aust. Dent. J., 11 : 415-422, 1966.
 71. 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.
 72. 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.
 73. Berenbaum, R., and Brodie, I. : Measurement of the tensile strength of brittle materials, Br. J. Appl. Physics, 10 : 181-187, 1959.
 74. Bryant, R.W. and Mahler, D.B. : Modulus of elasticity in bending composite and amalgams, J. Prosthet. Dent., 56 : 243-248, 1986.
 75. 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., 67 : 61-65, 1988.
 76. Kao, Ro., Perone, N., and Dapps, W. : Large deflection solution of the coaxial-ring-circular-glass-plate flexure problem, J. Am. Ceram. Soc., 54 : 566-571, 1971.
 77. Wilshaw, T.R. : Measurement of the tensile strength of ceramic, J. Am. Ceram. Soc., 51 : 111, 1968.
 78. McKinny, K.R., and Herbert, C.M. : Effect of surface finish on structural ceramic failure, J. Am. Ceram. Soc., 53 : 513-516, 1970.
 79. Shety, D.K., Rosefifeid, A.R., Duckworth, W.H. and Held, P.R. : A biaxial-flexure test for evaluating ceramic strength, J. Am. Ceram. Soc., 66 : 36-42, 1983.
 80. Korsteom. A.F. and Woolley, R.M. : Symmetrical bending of thin circular elastic plates of equally spaced point supports, J. Res. Natl. Bur. Stds., 71(C) : 1-10, 1967.
 81. Marshall, D.B : An improved biaxial failure test for ceramics, Am. Ceram. Soc. Bull. 59 : 551-553, 1980.
 82. Peregrina, A.M., and Rieger, M.R. : Evaluating

- six sprue designs used in making high-palladium alloy castings, *J. Prosthet. Dent.*, 56 : 192-6, 1986.
83. Capadona, J.A., and Albright, D.L. : Review of fluidity testing as applied to lost polystyrene investment casting. *AFS Trans*, 78 : 43, 1970.
 84. Asger, K., and Peyton, F.A. : Pits on inner surfaces of cast gold crowns, *J. Prosthet. Dent.*, 9 : 448-56, 1959.
 85. Ryge, G., Kozak, S.F., and Fairhurst, C.W. : Porosities on dental gold castings, *J. Am. Dent. Assoc.*, 54 : 746-54, 1957.
 86. Leinfelder, K.F., Fairhurst, C.W., and Ryge, G. : Porosities in dental gold castings. II. Effects of mold temperature, sprue size, and dimension of wax pattern, *J. Am. Dent. Assoc.*, 67 : 817-21, 1963.
 87. McLean, J.W. : *The science and art of dental materials*. 2nd ed. Vol 2. Chicago : Quintessence Publishing, 223-6, 1980.
 88. Vainer, S. : The effect of a new sprue design on the castability of a nonnoble alloy, Master thesis, Ohio State University, Columbus, Ohio, 1982.
 89. Moran, R.E. : A comparison of the effects of a cylindrical sprue design on internal porosity in full crown castings on base metal alloy, Master thesis, Ohio State University, Columbus, Ohio, 1983.
 90. Burnett, C.A. Maguire, H. : Sprue design in removable partial denture casting, *J. Dent.*, 24 : 99-103, 1996.

=Abstract =

A STUDY ON THE FLEXURAL STRENGTH OF HEAT-PRESSED CERAMICS ACCORDING TO SPRUE DESIGNS

Sang-Chun Oh*, Jin-Keun Dong

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University

A heat-pressed technique(IPS-Empress, Ivoclar) has been described to construct single unit crown, inlay/onlay and veneers using a partially pre-cerammed and pre-colored glass-leucite ingot that has the greatest strength by the combination of heat-pressed procedure through the small-diameter sprue and heat treatment procedure. The purpose of this study was to evaluate the flexure strength of a heat-pressed ceramic material(IPS-Empress) without simulated firing treatments according to pontic designs. Two groups of 9 disks(1.4mm thick, 14mm in diameter) each using two types of sprues with different diameters(Φ 2.8, Φ 1.8) and numbers were prepared. The specimens were mounted in the testing jig. The flexural strengths were determined, by means of the bi-axial bending test, by loading the center of disk to failure using a universal testing machine(Zwick 145141, Zwick, Germany) at a cross-head speed of 1.0 mm/min. The means flexural strength value of one group using a sprue with Φ 2.8 was 140.4 ± 8.0 Mpa. That of the other group using two sprues with Φ 1.8 was 151.8 ± 10.3 Mpa. After analysis, results showed that there was a statistical difference between groups($t=2.33$ $p<0.05$). No clinical implications were drawn from these data because of absence of simulated firing treatment.