

열가압 및 열처리에 따른 IPS Empress 2 세라믹의 굴곡강도와 미세구조

원광대학교 치과대학 치과보철학교실, 취리히대학교 치과대학 치과보철학교실*

오상천 · 동진근 · Heinz Lüthy* · Peter Schäfer*

I. 서 론

IPS Empress 시스템은 왁스소환법(lost wax technique)을 활용하여 백류석이 강화된 세라믹을 열가압(heat-pressing) 성형하는 비교적 간편한 방법으로, 1991년 처음 소개된 이래 심미적 전부도재 단일 수복물(인공치관, 라미네이트, 인레이/온레이) 형태로 7년 이상을 임상에서 성공적으로 사용되어져 왔다¹⁾. 그러나 이 재료는 굴곡강도가 200 MPa 이하로 고정성 국소의치(bridge)를 제작하는데는 그 강도가 충분치 못하였고²⁾, 이러한 제한을 극복하기 위해 기존의 IPS Empress 유리-세라믹처럼 심미적 특성을 유지하면서 단일수복물 뿐만이 아니라 고정성 국소의치 형태로도 사용이 가능한 IPS Empress 2 유리-세라믹 (Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein)이 최근에 소개되었다³⁾.

기존의 IPS Empress 유리-세라믹의 강도는 열가압하는 과정에서 증가되고 추후에 가해지는 열처리(subsequent heat treatments)에 의해서 이차로 더 증가되며⁴⁾, 이러한 추가적 강도 증가는 백류석 결정량의 증가와 관련 있는 것으로 알려져 있다⁵⁾. 즉 IPS Empress 유리-세라믹은 최종 수복물을 위한 일련의 기공과정(열가압, 열처리)을 통해 강도 증가가 일어나는 것이다.

IPS Empress 2 시스템은 기존의 IPS Empress와 유사한 이름과 제작 방법 그리고 장비를 그대로 활용하지만, leucite-based glass-ceramic인 IPS Empress 유리-세라믹과는 화학기반부터 완전히 다른 새로운 조성의 lithium disilicate glass-ceramic으로 그의 결정량과 결정형태가 서로 큰 차이를 보이는 것으로 보고된다⁶⁾. 따라서 열가압 그리고/또는 열처리에 따른 강도변화가 기존의 IPS Empress 유리-세라믹과는 다를 것으로 사료되었고, 이러한 조건에 따른 IPS Empress 2 유리-세라믹의 굴곡강도와 미세구조 변화를 연구한 결과, 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

본 연구는 고정성 국소의치 하부구조(substructure, framework)를 위한 IPS Empress 2 유리-세라믹 잉곳(Type 2, class 1, shade 300, Ivoclar, Liechtenstein)을 사용하였다. 잉곳을 굴곡바(flexure bar, rectangular bar) 형태로 자르거나, 열가압 또는/그리고 열처리하여, 이를 각 15개씩 4 군으로 분류하였다(Table 1).

1군의 시편을 위해서는 회사에서 제공되는 실린더형의 잉곳($\varnothing 11.0 \times 15.0\text{mm}$)을 저속 다이아몬드 줄 톱(Well, W Ebner, Switzerland)으로 최종 굴곡

*본 연구는 한국과학재단 1998년도 하반기 박사후연수 지원에 의하여 수행되었음

Table 1. Pressing and Heat Treatment Condition of Each Group

Group no.	Pressing	Heat treatment condition
Group1.	-	No heat treatment
Group2	+	No heat treatment
Group3	+	Simulated wash firing
Group4	+	Simulated wash, dentin/incisal, staining(2times) /glazing(2times), and corrective firing(2times)

Table 2. Firing Schedules of the IPS Empress 2 System

Firings	B	t ↑	T	S	H	V1	V2
Pressing	700	60	920	.	20	500	920
Wash firing	403	60	800	6	1	450	799
Dentin/Incisal firing	403	60	800	6	2	450	799
Glaze/Stain firing	403	60	770	6	2	450	769
Corrective firing	403	60	750	4	1	450	749
DA/OD)	/403	/60	/700	/4	/1	/450	/699

B: stand-by temperature(°C); t ↑: temperature increase(°C/min); T: pressing temperature(°C); S: re-pressing time(min.); H: holding time(min); V1: vacuum on(°C); V2: vacuum out(°C); DA: dentin/add-on, 50/50(°C); OD: only add-on(°C)

바(2.0×4.0×14.0mm)보다 약간 더 큰 바로 만들어 SiC disk(#320, #1200)를 이용하여 연마기계(Knuth-Rotor, Struers, Denmark) 상에서 각 면을 단계적으로 연마한 후, 굴곡실험 시 변연에 의한 오차를 줄이기 위해 바의 예리한 선각(line angle)들을 부드럽게 처리하였다. 그리고 2군, 3군, 4군의 시편을 위해서는 미리 플라스틱으로 바를 만든 후, 주입선(∅2.8×7.0mm)을 플라스틱 바의 장축과 나란하게 부착하고 매몰하였으며, 잉곳을 제외한 매몰링과 alox plunger를 회사의 지시대로 예열한 후, EP 500 퍼니스에서 잉곳을 열가압하여 세라믹 바로 성형하였다. 그 후, 앞에서 상술한 방법으로 최종 시편의 크기와 형태로 다듬은 후, 3군과 4군의 시편만을 Table 2에 정리한 스케줄대로 열처리를 시행하였다.

굴곡강도를 평가하기 위해 10mm의 지지간격과 1.0mm/min의 cross-head speed로 만능시험기(RM 50, Schenck-Trebel, Germany) 상에서 3점 굽힘시험(three-point bending test)을 시행하였고, 아래의 공식⁷⁾을 통해 하중을 굴곡강도(σ_f flexure strength)로 전환시켰다.

$$\sigma_f = 1.5(F \cdot L) / (b \cdot d^2)$$

F는 파절 하중값(N), L은 지지간격(mm), b는 시편의 폭(mm), 그리고 d는 시편의 두께(mm)를 의미한다. 그리고 굴곡강도를 .001 유의수준에서 Duncan's multiple comparison test를 통해 통계학적 분석을 시행하였다.

시편의 미세구조를 파악하기 위해서 주사전자현미경(Model 1810, Amray, Germany) 하에서 각 그룹의 최고/최저 강도를 보였던 시편의 식각되지 않은(non-etching) 파절면과 평균값에 근접한 식각된 연마면을 관찰하였다. 표면을 30% H₂SO₄와 4% HF를 함유한 혼합용액으로 약 10~15초간 처리한 후, 신속히 물과 에탄올로 이를 씻어 건조시켰다. 그 후 gold-palladium으로 ion sputter coating을 하고 주사전자현미경을 통해서 시편의 중앙부를 일률적으로 관찰하였다.

Ⅲ. 연구 성적

각 그룹의 굽힘강도 평균과 표준편차 그리고 통계학적 분석 결과를 Table 3에 정리하였다. 열가압 과정을 전후로 1군과 2군간에는 유의성있는 강도 차이를 보였으나(P<0.001), 그 후 열처리에 의한 2군, 3

Table 3 Flexure Strength (MPa) and Duncan's Multiple Test Results

Group no.	Mean strength(SD)	Duncan's multiple test
1	312(39)	A
2	387(44)	B
3	361(35)	B
4	357(28)	A B

The same letters are not significantly different. ($P < .001$)

군, 그리고 4군 사이에서는 유의한 강도 증가가 없었고($P > 0.001$), 최종 수복물을 가상하여 수 차례 열처리한 4군과 회사에서 제공된 최초 잉곳의 1군 사이에서도 유의성있는 강도 차이를 발견할 수 없었다($P > 0.001$). Fig. 1은 비슷한 조건으로 실험하였던 Dong 등⁴⁾의 연구 결과와 본 실험 결과를 간접 비교한 것으로 IPS Empress 2 유리-세라믹이 IPS Empress 유리-세라믹보다 약 2~4배 더 강한 굴곡 강도를 보여 주고, 열가압이나 열처리를 포함한 가공과정에 의해서 강도가 크게 증가한 기존의 IPS Empress 유리-세라믹에 비해 IPS Empress 2 유리-세라믹은 강도가 크게 변화되지 않음을 보여 준다.

Fig. 2와 3은 IPS Empress 2 유리-세라믹의 주사전자현미경적 미세구조를 보여 주는 사진으로, 식각된 면에서 IPS Empress 2 유리-세라믹은 긴 막대기 모양의 수많은 lithium disilicate 결정들이 여러

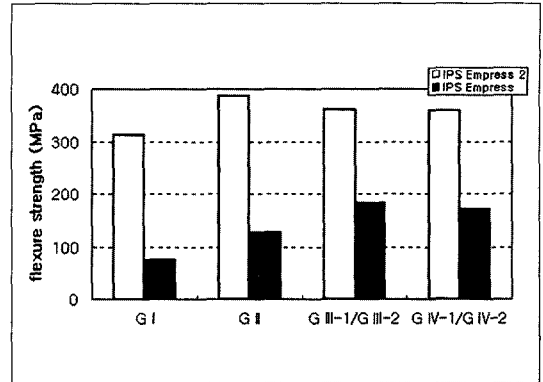
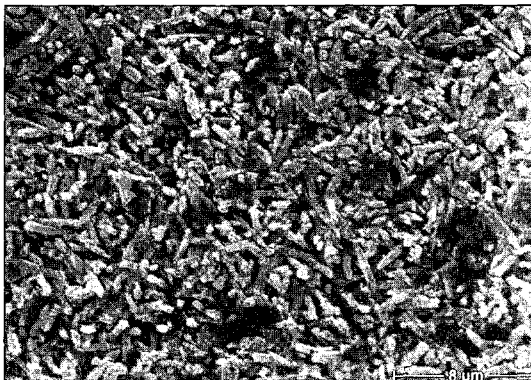
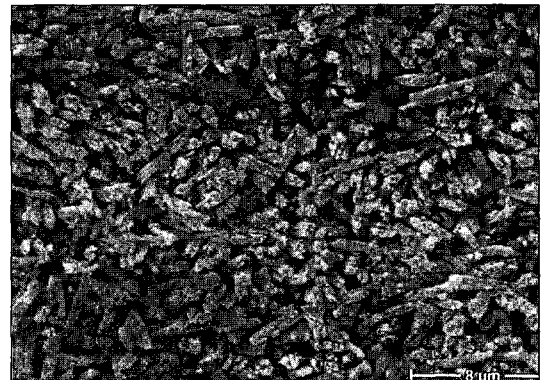


Fig 1. Flexure strength comparison between IPS Empress 2 and conventional IPS Empress: G I, as-received; G II, practical heat-pressing; G III-1, simulated initial heat treatment after heat-pressing (one wash firing); G III-2, simulated initial heat treatment after heat-pressing (two veneer firings); G IV-1, simulated full heat treatments after heat-pressing (one wash, one dentin/incisal, two staining, two glazing, and two corrective firings); G IV-2, simulated full heat treatments after heat-pressing (two veneer, three staining, three glazing, and one final glazing firing). The data of IPS Empress is referred to Dong et al⁴⁾.

방향으로 매우 치밀하게 얽혀진 미세구조를 보였다. 모든 그룹들이 비슷한 양상을 보였지만, 열가압을 전후로 유리기질 내 lithium disilicate 결정들은 약간

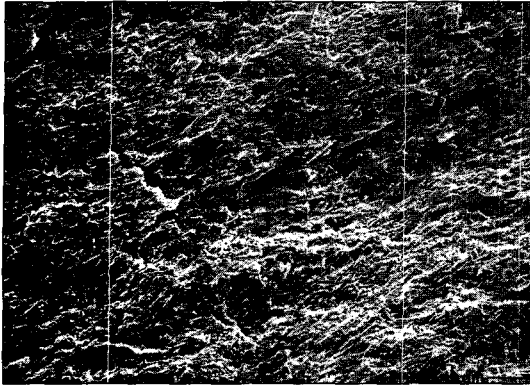


(a)

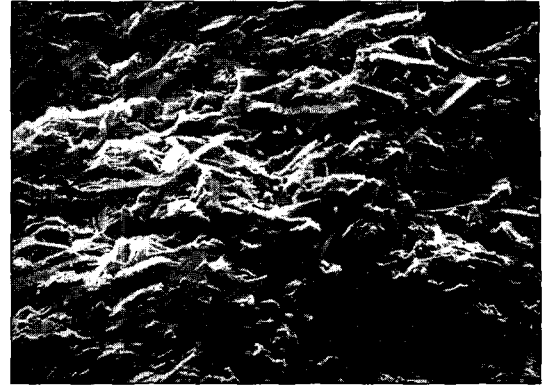


(b)

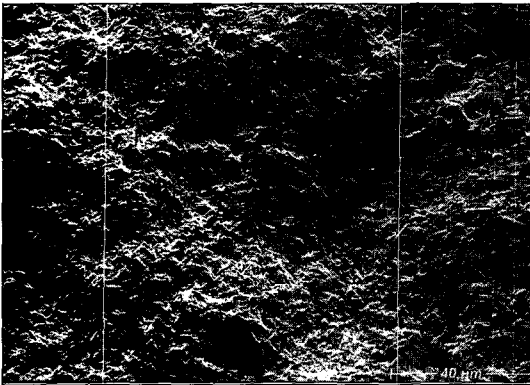
Fig. 2. Scanning electron micrographs of (a) as-received material, (b) only heat-pressed material, observed at same original magnification ($\times 5000$).



(a)



(b)



(c)

Fig 3. Scanning electron micrographs of non-etched fracture surface of (a), (b) high valued specimen and (c) low valued specimen of lithium disilicate glass-ceramic.

더 치밀해지고 크기도 약 2배정도(직경/길이: 0.5/3.4mm에서 1.0/6.0mm로) 더 커 보였다. 식각되지 않은 파절면에서만 이차결정상인 lithium orthophosphate 결정으로 보이는 작은 구형의 조각들을 관찰할 수 있었고, 강도가 높은 시편일수록 더욱 분명하게 단이 쌓인 것 같은 상(step-like pattern)을 보였으며 인장력을 받았던 하단의 파절면에서 더 많은 잔 균열들을 볼 수 있었다.

IV. 총괄 및 고안

유리-세라믹(glass-ceramic)은 특수한 열처리 과정에서 열 변화에 의해 글라스의 조절된 핵형성(controlled nucleation)과 결정화 과정(crystallization)으로 형성되는 유리-결정 생성물(glass-ceramic product)이다⁹⁾. 치과용 유리-세라믹은 Dicor(Densply Inc., York, U.S.A.)⁹⁾의 mica-based glass-ceramic, Cerapearl(Kyocera, San Diego, U.S.A.)⁹⁾의

hydroxyapatite-based glass-ceramic, IPS Empress(Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein)²⁾의 leucite-based glass-ceramic, IPS Empress 2(Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein)³⁾의 비니어도제인 fluorapatite-based glass-ceramic과 골격구조물을 위한 lithia-based glass-ceramic 등으로 나열할 수 있다.

최근 제2소구치까지의 3-unit 계속가공의치와 구치부 단일수복물로 사용이 가능한 IPS Empress 2 시스템이 소개되었다³⁾. 이 수복물은 종래의 IPS Empress 시스템에서 층형성법을 대체하므로 내부의 골격/framework) 구조물인 lithium disilicate ceramic과 이 위에 전장되는 fluorapatite ceramic으로 구성된다. IPS Empress 2 유리-세라믹은 SiO₂-Al₂O₃-K₂O 시스템인 기존의 IPS Empress 유리-세라믹과는 전적으로 다른 화학적 기반을 갖는 SiO₂-Li₂O 시스템으로, 세라믹의 구성 조성(w%)은 57-80 SiO₂, 11-19 Li₂O, 0-13 K₂O, 0-11 P₂O₅, 0-8 ZnO,

0-6 MgO, 0.1-6 La₂O₃, 0-5 Al₂O₃, 그리고 0-8 부수 첨가물로 되어있다⁶⁾. 초기 lithia-based glass-ceramic은 조절이 불가능한 미세균열과 화학적 저항이 취약하고 부적절한 투명도를 보이는 등 여러 단점이 있었으나¹⁰⁻¹⁴⁾, 새로운 lithium disilicate glass-ceramic에 fluorapatite glass-ceramic으로 전장되는 IPS Empress 2 수복물은 높은 굴곡강도, 탁월한 심미성, 높은 투명도, 양호한 마모도, 그리고 하부 치아 조직에 직접 결합 등의 장점을 지니는 것으로 보고된다³⁾.

기존의 IPS Empress 강화기전에 대하여 Dong 등⁴⁾은 IPS Empress 시스템에서 수복물 제작을 위한 열가압 과정이 수복물 형태 형성뿐만 아니라 강도를 증가시키는 역할을 하고 최종 보철물을 위한 수차례의 열처리가 강도를 더욱 강화시키는 것으로 보고하였으며, Mackert 등⁵⁾은 열처리에 의한 추가적인 강도 증가가 단지 두 번째 열처리까지에서 발생하는 백류석 결정량의 증가와 관련이 있음을 보고하였다. 그러나 본 연구를 통한 IPS Empress 2 유리-세라믹은 열처리가 아닌 단지 열가압에 의해서만 강도가 일부 증가되었고 계속되는 열처리에 의해서는 더 이상 증가되지 않았으며 오히려 최종 수복물을 가상하여 모든 열처리를 한 경우와 최초의 잉곳 사이에서 강도 차이를 보이지 않아 IPS Empress 유리-세라믹과는 달리 기공과정이 강도 증가에 별 영향력이 없음을 추론할 수 있었다. 또한 IPS Empress 2 세라믹은 IPS Empress 세라믹에 비해 매우 높은 굴곡강도를 보였는데 잉곳 상태에서는 약 4배, 열가압 후에는 약 3배 그리고 열처리 후에도 약 2배의 높은 평균 강도를 보였다. 이러한 IPS Empress 2 유리-세라믹의 굴곡강도(357 MPa)는 Frank 등¹⁵⁾의 연구 결과(350 MPa)와 유사했으며, In-Ceram Spinel의 굴곡강도(378 MPa)¹⁶⁾에 버금가는 것이었다.

전자현미경 분석은 치과도재의 미세구조를 파악하기 위한 유용한 방법으로 평가된다. 기존의 IPS Empress 세라믹의 미세구조에 대하여 Dong 등⁴⁾은 IPS Empress 유리-세라믹은 초기 잉곳 상태에서는 백류석 결정들이 포도상의 균락형태를 이루다가 열가압 과정을 거치면서 넓게 분산된 상을 보이는 것으로 보고했으나, 본 연구에서 IPS Empress 2 유리-세라믹은 유리 기질 내에 60vol% 이상의 lithium disilicate 결정을 포함하고 있으므로 열가압 전후의

결정의 분산변화는 육안으로 구별하기가 상대적으로 어려웠다. Nakamoto 등¹⁶⁾은 또한 기존의 IPS Empress의 미세구조가 열가압 또는 잉곳의 종류에 따라 다르고 미세구조 관찰을 위해서는 파절면보다 마모면이 용이한 것으로 보고하였으나, 표면에서 유리 기질이 선택적으로 용해되는 IPS Empress 2 유리-세라믹에서는 파절면과 마모면의 차이를 구분할 수 없었다. 또한 동과 오¹⁷⁾는 IPS Empress 유리-세라믹은 약 1~5 μ m 직경의 불규칙한 타원형으로 보이는 백류석 결정들이 내부와 그 주위에 미세균열이 보이는 음형을 이루는데, 특히 결정 내부의 균열은 굵은 주균열들이 타원형 결정의 장축방향의 직각으로 뻗어있고 많은 작은 균열들이 이 주 균열들을 수직으로 연결하여 수많은 조각상을 보이는 것으로 보고했으나, 본 IPS Empress 2 유리-세라믹의 미세구조는 기존의 IPS Empress와는 매우 달랐다. 이들은 우선 결정을 싸고 있는 유리기질이 강산에 선택적으로 용해됨으로써 표층의 일부 결정들은 씻겨 나가고 일부가 유리기질과 결합된 여러 방향의 lithium disilicate 결정들이 표면에 양형으로 나타나므로 결정을 더욱 선택적으로 녹였던 IPS Empress 유리-세라믹과는 정반대의 양상을 보였다. 또한 유리기질 내에 긴 막대기 형태의 성숙된 lithium disilicate 결정들이 60 vol% 이상으로 치밀하게 들어차 서로 엇갈려 있는 양상(interlocking pattern)을 보였고, 대부분 긴 lithium disilicate 결정들은 끊어진 채로 표면에 박혀 있는 모습이였다. 또한 식각되지 않은 파절면에서 lithium orthophosphate crystal로 보이는 작은 등근상을 볼 수 있었으나 식각 후에는 볼 수 없었으며 이는 이 결정이 강산에 용해되었거나 이를 감싸고 있던 표면의 유리기질이 용해되어 더 이상 표면에 고착되지 못하고 세척 과정에서 씻겨 나간 것으로 추정되었다. 모든 그룹들은 비슷한 미세구조를 보였지만 열가압된 경우가 가압되지 않은 경우보다 약간 더 치밀하고 크기도 약 2배정도 더 커져있음을 알 수 있었다. 이러한 차이는 초기 잉곳과 단지 열가압 한 시편 사이에서 더욱 크게 나타났는데 이는 IPS Empress 2 유리-세라믹이 920 $^{\circ}$ C의 용융 온도에서 실내 온도로 냉각되는 과정에서 일어난 결정의 성숙으로 판단되었다. 식각되지 않은 파절면에서 높은 강도의 시편일수록 수평으로 배열된 긴 lithium disilicate 결정이 둘로 쪼개진 상을 많이 보였는데 이는

파절 과정에서 균열선이 결정 내부로 파급되어 결정들을 길게 두 쪽으로 가른 결과이며 이러한 상이 식각 후에는 보이지 않은 것은 누워 있던 반쪽의 긴 결정들이 산에 의해서 주위 유리기질이 용해되면서 표면에서 분리되고 세척과정에서 씻겨 나가기 때문인 것으로 추측되었다. 즉 대부분의 결정이 중간에서 끊어진 채로 유리기질에 박혀있는 모습을 보이고 가끔 결정이 들로 쪼개진 것 같은 상이 나타나는 것을 근거로 볼 때, IPS Empress 2 유리-세라믹의 주 균열파급은 결정 내부를 관통하는 양상(trans-crystal pattern)인 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구를 통해 IPS Empress 2 유리-세라믹이 기존의 IPS Empress 유리-세라믹보다 더욱 높은 굴곡강도를 보이는 것은 1) 60vol% 이상의 높은 결정 함유율, 2) 긴 막대기 형태의 주 결정들이 서로 얽혀있는 미세구조, 3) 열가압 후 냉각과정에서 일어나는 결정 크기의 증가, 4) 외력에 의한 주된 균열 파급의 결정 내 관통 등이 원인이 되어 발휘되는 것으로 유추할 수 있었다. 그러나 이는 단지 골격구조인 lithium disilicate glass-ceramic만을 대상으로 한 실험실 결과이므로 이를 임상적 의미로 확대하는 것은 무리가 있으며 추후에 fluorapatite glass-ceramic 전장에 따른 변화와 좀더 임상적인 조건하에서의 실험이 요구된다.

V. 결 론

열가압과 열처리에 따른 IPS Empress 2 유리-세라믹의 굴곡강도와 미세구조를 평가한 결과, 열가압에 따라 굴곡강도 증가와 미세구조 변화가 있었지만 그 후 이어지는 열처리에 의해서는 추가적인 강도 증가와 뚜렷한 미세 구조 변화를 관찰할 수 없었다. 또한 최종 보철물 제작을 가상하여 꼭 필요한 열가압과 열처리를 시행했던 시편과 이미 회사에서 소결되어 제공되는 잉곳 상태의 시편 사이에서 유의성있는 강도 차이를 발견할 수 없었으므로 IPS Empress 2 유리-세라믹은 기존의 IPS Empress 유리-세라믹과는 달리, 열가압과 열처리 같은 기공과정이 그들의 굴곡강도 증가에 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Lehner CR, Studer S, Schärer P. Seven-year results of leucite-reinforced glass-ceramic crowns. IADR, Nice 1998, abstract 1368.
2. IPS-Empress working procedures, Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein, 1991.
3. IPS-Empress 2 working procedures, Ivoclar AG, Schaan, Liechtenstein, 1998.
4. Dong JK, Lüthy H, Wohlwend A, Schärer P. Heat-pressed ceramics: Technology and Strength. *Int J Prosthodont* 1992;9(5):9-16.
5. Mackert JR, Russell CM. Leucite crystallization during processing of a heat-pressed dental ceramic. *Int J Prosthodont* 1996;9(3):261-265.
6. Höland W. Materials science fundamentals of the IPS Empress 2 glass-ceramic. Ivoclar-Vivadent-Report 1998;12:3-10.
7. Marin J. Strength of materials. New York: MacMillan, 1948:83-148.
8. Grossman DG. Cast glass ceramics. In : O'Brien WJ, ed. *Dent Clinics North Am. Philadelphia: Saunders* 1985: 725-39.
9. Hobo S, Iwata T. Castable apatite ceramics as a new biocompatible restorative material. I. Theoretical considerations. *Quintessence Int.*, 16:135-141. 1985.
10. Stooky SD. Catalyzed crystallization of glass in theory an practice. *Ind Eng Chem* 1959;51:805-808.
11. McMillan PW, Phillips SV, Partridge G. The structure and properties of a lithium zinc silicate glass-ceramics. *J Marter Sci* 1966;1:269-279.
12. Freiman SW, Hench LL. Effect of crystallization on the mechanical properties of Li₂O-SiO₂ glass-ceramics. *J Am Ceram Soc* 1972;55(2):86-90.
13. Borom MP, Turalo AM, Doremus RH. Strength and microstructure in lithium

- disilicate glass-ceramics. *J Am Ceram Soc* 1975;58:385-391.
14. Anusavice KJ, Zhang NZ, Moorhead JE. Influence of colorants on the crystallization and mechanical properties of lithia-based glass-ceramics. *Dent Mater* 1994;10:141-146.
 15. Frank M, Schweiger M, Rheinberger V, Höland W. High-strength translucent sintered glass-ceramic for dental restorations. Proceedings of the 6th International Otto Schott Colloquium in Jena, Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 71C (1998), P.345-348.15.
 16. Seghi RR, Sorensen JA. Relative flexural strength of six new ceramic materials. *Int J Prosthodont* 1995;8:239-246.
 17. Thompson JY, Anusavice KJ, Balasubramaniam B, Mechosky Jr. JJ. Effect of microcracking on the fracture toughness and fracture surface fractal dimension of lithia-based glass-ceramics. *J Am Ceram Soc* 1995;78(11):3045-49.
 18. Nakamoto H et al. Microstructure of etched IPS Empress heat-pressed ceramics observed by SEM. *J Nihon Univ Sch Dent* 1996;38(1):31-36.
 19. Dong JK, Oh SC. A study on the microstructure of IPS Empress ceramic according to the heat treatment and the sprue type, *J Korean Acad of Prosthodont* 1998;36(3):73-86.

Reprint request to:

Sang-Chun Oh, D.D.S., Ph.D.

Dept. of prosthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University
344-2, Shinyong-Dong, Iksan, Chunbuk, 570-749, Korea
scoh@wonkwang.ac.kr

ABSTRACT

FLEXURE STRENGTH AND MICROSTRUCTURE OF IPS EMPRESS 2 GLASS-CERAMIC ON HEAT-PRESSING AND HEAT TREATMENTS

Sang-Chun Oh, Jin-Keun Dong, Heinz Lüthy*, Peter Schärer*

*Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Wonkwang University
Clinic of Fixed and Removable Prosthodontics and Dental Materials Science,
Center of Dental and Oral Medicine, University of Zurich, Zurich, Switzerland**

This investigation was designed to determine whether heat-pressing and/or simulated heat treatments affected the flexure strength and the microstructure of the lithium disilicate glass-ceramic in the IPS Empress 2 system. Four groups of the specimens were prepared as follows: group 1 - as-received material; group 2 - heat-pressed material; group 3 - heat-pressed and simulated initial heat-treated material; group 4 - heat-pressed and the simulated heat-treated material with full firings for a final restoration. The three-point bending test and the scanning electron microscope (SEM) analysis was conducted for the purpose of this study. The flexure strength of group 2 was significantly higher than that of group 1. However, there were no significant differences in strength among group 2, 3, and 4, and between group 1 and 4. The SEM micrographs of the lithium disilicate glass-ceramic showed the closely packed, multi-directionally interlocking microstructure of numerous lithium disilicate crystals protruding from the glass matrix. The crystals of the heat-pressed materials (group 2, 3, and 4) were a little denser and about two times bigger than those of the as-received material (group 1). This change of microstructure is more obviously exhibited particularly between group 1 and 2. However, there was no a marked difference among group 2, 3, and 4 after the heat-pressing procedure. Although there were significant increase of the strength and some changes of the microstructure after the heat-pressing operation, the combination of the heat-pressing and the simulated subsequent heat treatments did not produce the increase of strength of IPS Empress 2 glass-ceramic.

Key words : IPS Empress 2 system, Lithium disilicate glass-ceramic, Heat-pressing procedure, Simulated subsequent heat treatments, Flexure strength, Microstructure