

## 반복성형이 2 종류 열가압 성형용 글라스-세라믹의 기계적 성질에 미치는 영향

임청하<sup>1,2</sup>, 신재우<sup>2,3</sup>, 석정진<sup>4</sup>, 지정희<sup>2,4</sup>, 이민호<sup>4</sup>, 배태성<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Saemirae Dental Laboratory, <sup>2</sup>전북대학교 대학원 바이오나노시스템공학과, <sup>3</sup>Shin's dental Lab., <sup>4</sup>전북대학교 치의학전문대학원 치과생체재료학교실

### Effect of repeat processing on mechanical properties of two pressable glass-ceramic dental materials

Chung-Ha Lim<sup>1,2</sup>, Jae-Woo Shin<sup>2,3</sup>, Jung-Jin Seok<sup>4</sup>, Jeong-Hui Ji<sup>2,4</sup>, Min-Ho Lee<sup>4</sup>, Tae-Sung Bae<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Saemirae Dental Laboratory, 2F, 962-2, Jorye-dong, Suncheon-si, Jeollanam-do, Korea 540-967, <sup>2</sup>Dept. of Bio-Nano System Engineering, Graduate School, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea, <sup>3</sup>Shin's dental Lab. 859-1 Duam-dong, Buk-gu, Gwangju 500-809, Korea, <sup>4</sup>Dept. of Dental Biomaterials, School of Dentistry, Chonbuk National University, Chonju, 561-756

(Received: Jan. 10, 2014; Revised: Mar. 17, 2014; Accepted: Mar. 17, 2014)

DOI : <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2014.41.1.1>

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effect of repeat processing on the mechanical properties of two pressable glass-ceramic dental materials. IPS e.max ZirPress of apatite-reinforced glass-ceramic material and IPS e.max Press of lithium disilicate-reinforced glass-ceramic material were used in this study. Twenty disc specimens (13.0 mm × 1.5 mm) for each material were prepared by 4 times repeated heat-pressing. Sprue and button parts were reused to make specimens for every repeated heat-pressing. This study compared the biaxial flexural strength, Vickers hardness, fracture toughness, and the X-ray diffraction response. Microstructures were examined using a scanning electron microscope (SEM). IPS e.max Press showed the decrease of the biaxial flexural strength and fracture toughness values and the increase in sizes of the lithium disilicate crystals after repeat processing for 3 times. IPS e.max ZirPress showed the decrease in Vickers hardness value after repeat processing for 2 times. Based on these results of this study, clinically acceptable limits of the repeat number of heat-pressing were twice in the case of the IPS e.max Press and to be once in the case of the IPS e.max ZirPress.

**Key Words:** mechanical property, pressing, glass-ceramic

## 서론

결손치의 수복 시 기능적인 측면과 더불어 심미적인 측면이 강조되면서 심미성이 우수한 all-ceramic 재료에 관심이 집중되어 왔으며, 근래에는 심미성, 강도 및 변연 적합도의 측면에서 열가압 성형용 글라스-세라믹에 대한 관심이 증가되어 왔다.

글라스-세라믹은 글라스 조직에 미세 결정상을 석출하

여 강도의 개선을 유도한 세라믹 재료로서, 심미성이 우수한 반면 강도와 파괴인성이 종래의 장식계 포세린과 큰 차이를 보이지 않는 점과 결정화 과정에서 나타나는 큰 수축 등이 문제점으로 지적되었다(Southan과 Jorgensen, 1972; Dickinson 등, 1984; Schärer 등, 1988). 글라스-세라믹의 이러한 문제점을 보완하기 위해서 결정화 열처리를 한 글라스-세라믹 잉곳(ingot)을 사용하는 열가압 성형법이 도입되었으며, 높은 점도로 인하여 주형에 대한 주입이 용이하지 않기 때문에 열과 압력을 가하여 주입 성형하는 방법이 채택되었다(Beham, 1990; Lee, 2000).

열가압 성형용 글라스-세라믹 재료로는 류사이트(leucite)

\* 교신저자 : 배태성, 561-756, 전북 전주시 덕진구 덕진1가 664-14, 전북대학교 치과대학 치과재료학교실 E-mail: bts@jbn.u.ac.kr

결정상을 강화한 재료, 아파타이트(apatite) 결정상을 강화한 재료 및 lithium disilicate 결정상을 강화한 재료 등이 사용되고 있다. 류사이트 결정상을 강화한 IPS Empress (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), OPC(Jeneric Pentron, Wallingford, CT, USA) 등의 재료는 심미성과 변연적합도의 면에서는 우수하지만, 수복물의 낮은 파절강도로 인해서 인레이, 온레이 및 전치부 단일치관 등에 제한적으로 사용되어 왔다(Höland 등, 2000). IPS Empress 2 시스템(Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)은 미세한 침상의 lithium disilicate 결정상을 고밀도로 석출시켜서 맞물림 구조를 생성하고 있기 때문에 강도와 파괴인성이 종래의 글라스-세라믹에 비해 우수하다(von Clanusbrush 등, 2000; Höland 등, 2000). 그렇지만, IPS Empress 2 시스템에서는 열가압 성형과정에서 결정립이 조대화되며 강도와 파괴인성이 저하되는 문제점을 보였으며(Jung 등, 2003), 이러한 문제점을 보완하여 강도와 광투과성이 더욱 개선된 IPS e.max 시스템(Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)이 도입되었다.

Fluorapatite 결정상을 강화한 IPS e.max ZirPress를 사용한 4개의 임상연구(Gehrt 등, 2012; Christensen 등, 2008; Sailer 등, 2009; Fasbinder 등, 2008)에서는 최대 4년간의 관찰기간 동안 95.7%의 성공률을 보여주었다. 그리고, 15%의 보철물에서 chipping이 일어났지만, 1.6%만 수리가 불가능하였고 나머지는 모두 구강 내에서 수리가 가능하였다. Lithium disilicate 결정상을 강화한 IPS e.max Press를 사용한 4개의 임상연구(Böning 등, 2006; Etman과 Woolford, 2010; Guess 등, 2013; Gehrt 등, 2013)에서는 평균 6년간의 관찰기간 동안 96.8%의 성공률을 보였고, 단지 3.1%의 보철물에서만 chipping이 발생하였으며, 모두 구강 내에서 수리가 가능하였다.

IPS e.max ZirPress와 IPS e.max Press는 임상적 요구에 따라서 다양한 종류의 잉곳을 사용하며, 대부분의 치과기공소에서는 열가압 성형 후 주입선(sprue) 부분을 포함하는 잉곳의 나머지 부분을 재사용하는 경우가 빈번하다. 본 연구에서는 실험재료로서 fluorapatite 결정상을 강화한 IPS e.max ZirPress와 lithium disilicate 결정상을 강화한 IPS e.max Press를 선택한 다음, 열가압 성형의 과정에서 글라스-세라믹 잉곳의 재사용이 기계적 성질에 미치는 영향을 평가하기 위해서 4회의 반복 열가압 성형을 하고서 반복 열가압 성형이 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구재료

본 연구에서는 Ivoclar Vivadent 사(Liechtenstein)에서 제작된 열가압 성형용의 글라스-세라믹 재료 중에서 전장용으로 사용되는 침상의 fluoroapatite 결정을 함유하는 IPS e.max ZirPress와 코어용으로 사용되는 침상의 lithium disilicate 결정을 함유하는 IPS e.max Press를 시험재료로 사용하였다. IPS e.max ZirPress와 IPS e.max Press는 높은 투명도를 갖는 HT(high translucency) 잉곳을 선택하여 사용하였다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 시편제작

1회차 열가압 성형으로 각각 5개씩의 시편을 제작하였고, 2회차로부터 4회차에 이르는 열가압 성형 과정에서는 열가압 성형 후 잔류하는 부분을 재사용하여 각각 5개씩의 시편을 제작하였다. 직경 13.0 mm × 두께 1.5 mm 원판상 시편을 제작하기 위해서 금형에 자가중합형 패턴 레진(GC Corporation, Tokyo, Japan)을 주입하여 동일한 크기의 패턴을 준비하였다. 레진 패턴에 주입선을 부착하고서 원추대에 고정된 다음, 매물재인 prime vest HS(BK Giulini, Ludwigshafen, Germany)를 혼수비 0.25로 혼합하여 매물을 하고서 실온에서 30분 동안 방치하였다. 이후 주형을 850°C에서 50분간 소환한 다음 예비가열을 하지 않은 잉곳을 주형과 함께 열가압 성형 전기로(Programat EP3000/G2, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)에 넣고서 열가압 성형을 하였다. IPS e.max Press HT 잉곳은 910°C에서 15분간 유지하고 IPS e.max ZirPress HT 잉곳은 900°C에서 15분간 유지한 후, IPS Alox Plunger를 사용하여 crosshead speed 300  $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 압축력을 가하여 열가압 성형을 하였으며, 성형 완료 후 전기로에서 주형을 빼내고 실온이 될 때까지 냉각하였다. 시편의 표면에 부착되어 있는 매물재의 제거를 위해서 50  $\mu\text{m}$  글라스 비드를 2기압으로 분사 처리하였고, 표면을 균일화하기 위해서 #600 ~ #2,000의 SiC 연마지로 순차적으로 연마하였으며, 연마과정에서 생성된 미세 결함을 제거하기 위해서 인장면을 평균입경 1  $\mu\text{m}$ 의 diamond paste (Buehler Ltd, Lake Bluff, IL, USA)로 미세 연마를 하였다.

#### 2.2 2 축 굴곡시험

반복 열가압 성형이 파절강도에 미치는 영향을 평가하

기 위해서 원판상 세라믹 재료의 강도 평가 시 널리 적용되고 있는 시험방법의 하나로써 ISO 6872:1995(E)에서 규정하고 있는 2축 굴곡시험을 실시하였다. 재료시험기 (4201, Instron, Canton, MA, USA)에 2축 굴곡시험용 하중장치를 고정한 다음 직경 10 mm 유지원주상에 직경 1.5 mm 강구 3개가 등간격으로 위치되어 있는 시편유지장치를 장착하였다. 이어서 준비한 시편이 중앙부에 오도록 위치 시키고서 직경 1.6 mm 하중봉을 사용하여 crosshead speed 0.5 mm/min으로 압축력을 가하였으며, 시편에서 파절이 일어나는 순간의 하중을 측정하였다. 2축 굴곡강도 ( $\sigma$ )는 식 (1)~(3)를 적용하여 계산하였다.

$$S = -0.2387 \frac{P(X-Y)}{d^2} \tag{1}$$

$$X = (1 + \nu) \ln \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2 + \left( \frac{1-\nu}{2} \right) (r_2/r_3)^2 \tag{2}$$

$$Y = (1 + \nu) [1 + \ln (r_1/r_3)^2] + (1 - \nu) (r_1/r_3)^2 \tag{3}$$

여기에서, S는 최대굴곡강도(MPa), P는 시편의 파절하중 (N),  $\nu$ 는 Poisson 비(0.25로 설정),  $r_1$ 은 지지원의 반경 (mm),  $r_2$ 는 하중부의 원주반경(mm) 및  $r_3$ 는 시편의 반경(mm)이다.

### 2.3 파괴인성시험

파괴인성의 측정을 위해서 압자압입법을 적용하였다. 미소경도측정기 (HM-124, Mitutoyo Corporation, Tokyo, Japan)에 비커스 압자를 고정하고서 압입하중 9.8 N, 유지시간 15초의 조건에서 압자를 압입한 다음 비커스 경도와 압흔의 대각선 방향을 따라서 형성된 초기균열길이 c를 광학현미경(DM2500M, Leica Microsystems, Germany)을 사용하여 400배의 배율에서 측정하였다(Fig. 1).

비커스 압자를 이용한 압흔법에 의한 파괴인성의 측정 시 일반적으로 다음의 보편화된 공식 (4)와 (5)가 적용된다(Anstis 등, 1981; Marshall과 Lawn, 1977).

$$K_{IC} = 0.016 \left( \frac{E}{H} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{P}{c_0^{\frac{3}{2}}} \right) \tag{4}$$

$$H = 0.4635 \frac{P}{a^2} \tag{5}$$

여기에서, H는 비커스 경도, E는 탄성계수(IPS e,max Press: 95 GPa, IPS e,max ZirPress: 65 GPa, Guess 등, 2011),  $c_0$ 는 초기균열길이,  $a$ 는 압흔부 대각선의 반길이,

P는 압입하중을 나타낸다. 측정은 실온 ( $23 \pm 1$ ) $^{\circ}$ C, 상대습도 ( $50 \pm 10$ )%의 조건에서 시행하였고, 측정오차를 줄이기 위해 압흔을 형성한 다음 5분 이내에 초기균열길이를 측정하였다.

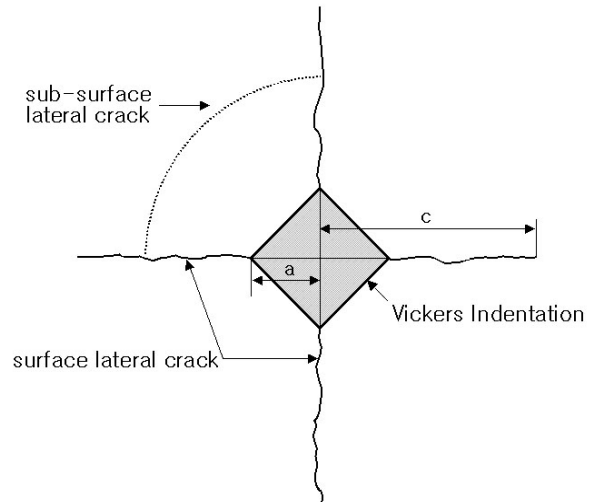


Fig. 1. Schematic diagram of Vickers indentation showing c and a dimensions in a radial / median crack.

### 2.4 표면분석

반복 열가압 성형한 시편의 표면에서 결정상의 변화를 조사하기 위해서 X-선 회절기(Dmax III-A type, Rigaku Corporation, Tokyo, Japan)로 Cu K $\alpha$ 의 관구를 사용하여 step size 0.05, step time 0.5초로 10-70 $^{\circ}$  범위에서 분석을 시행하였고, 결정상의 형태학적 미세구조를 관찰하기 위해서 주사전자현미경(scanning electron microscope: SEM; JSM-5900, JEOL, Japan Electron Optics, Tokyo, Japan)으로 가속전압 20 kV 조건에서 산부식한 표면을 관찰하였다. IPS e,max Press의 경우에는 9% HF 수용액으로 30초간 산부식을 하였고, IPS e,max ZirPress의 경우에는 1% HF 수용액으로 1분간 산부식을 하였다.

### 2.5 통계적 분석

반복 열가압 성형이 2축 굴곡강도와 파괴인성에 미치는 영향을 분석하기 위해 일원배치분산분석(Oneway ANOVA) 후 Tukey test를 시행하였다( $p=0.05$ ).

## III. 결 과

Fig. 2는 반복 열가압 성형에 따른 IPS e,max ZirPress와 IPS e,max Press의 2축 굴곡강도를 측정된 결과로서,

두 글라스-세라믹 재료 모두 1회차 열가압 성형 시 각각  $(82.3 \pm 5.2)$  MPa과  $(326.8 \pm 29.9)$  MPa로서 가장 높은 강도값을 보였다. IPS e,max ZirPress는 2회차 반복 열가압 성형군에서  $(70.5 \pm 11.1)$  MPa로서 강도의 감소 경향을 보였지만 이후에는 뚜렷한 변화를 보이지 않았고, IPS e,max Press는 3회차 반복 열가압 성형군에서  $(296.6 \pm 46.4)$  MPa로서 뚜렷하게 강도의 감소를 나타냈지만 통계학적인 유의차를 보이지는 않았다( $P > 0.05$ ).

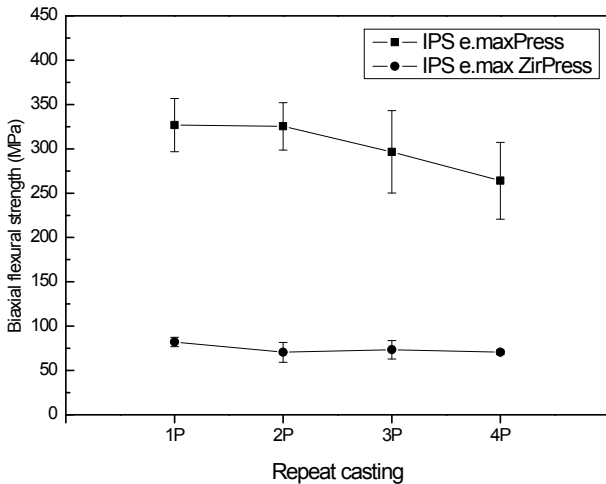
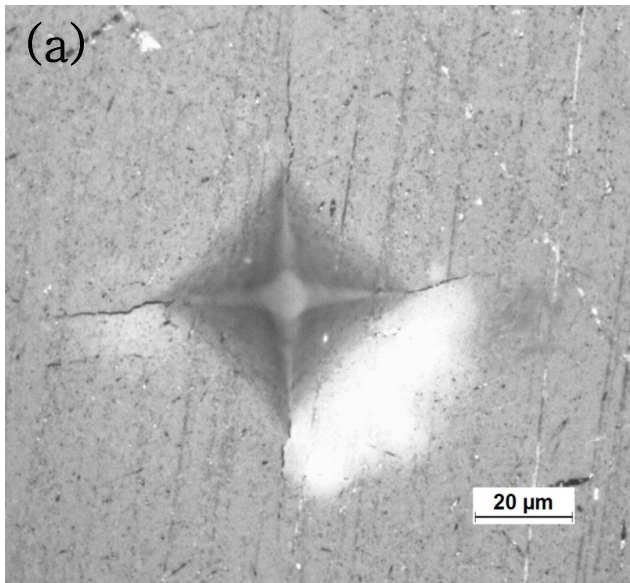


Fig. 2. Biaxial flexural strength of IPS e,max ZirPress and IPS e,max Press after repeat processing.

Fig. 3은 IPS e,max ZirPress와 IPS e,max Press를 4회 반복 열가압 성형한 후 압입하중 9.8 N으로 비커스 압자를 압입했을 때 형성된 압흔상을 관찰한 것이다. 공통적



으로 비커스 압자의 압흔상, 압흔의 대각선 방향으로 성장한 미세균열 및 표면에 나란한 방향으로 성장한 lateral crack에 의한 chipping 양상이 관찰되었다.

Fig. 4는 반복 열가압 성형에 따른 IPS e,max ZirPress와 IPS e,max Press의 비커스 경도의 변화를 도시한 결과이다. 두 글라스-세라믹 재료 모두 1회차 열가압 성형 시 각각  $(609.8 \pm 37.6)$  kg/mm<sup>2</sup>과  $(582.5 \pm 16.9)$  kg/mm<sup>2</sup>의 가장 높은 경도값을 보였다. IPS e,max ZirPress는 2회차 반복 열가압 성형군에서 경도의 감소를 보였지만 통계학적인 유의차를 보이지 않았고( $P > 0.05$ ), 이후에는 열가압 성형이 반복됨에 따라서 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. IPS e,max Press는 반복 열가압 성형에 따른 뚜렷한 경도의 변화를 보이지 않았다.

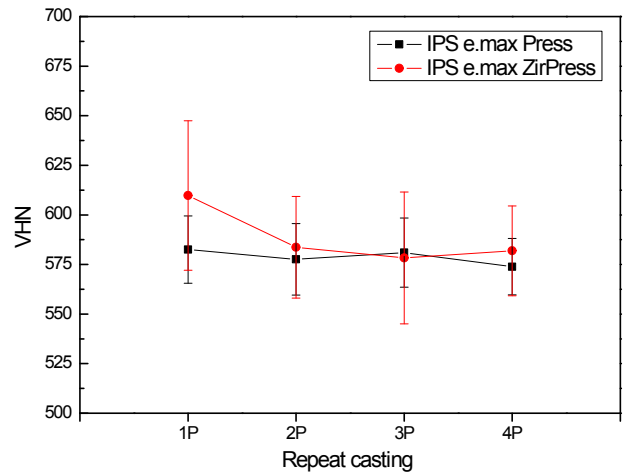


Fig. 4. Vickers hardness values of IPS e,max ZirPress and IPS e,max Press after repeat processing.

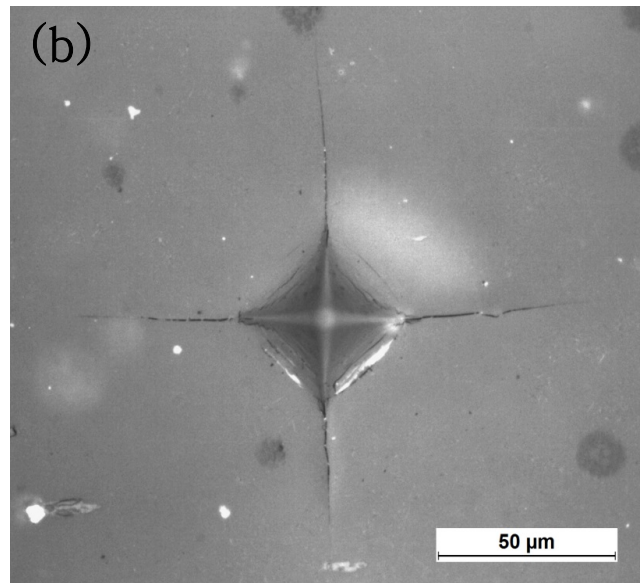


Fig. 3. Vickers produced indentation crack pattern after heat pressed for 4 times. (a) IPS e,max ZirPress, (b) IPS e,max Press.

Fig. 5는 반복 열가압 성형에 따른 IPS e,max ZirPress과 IPS e,max Press의 파괴인성의 값을 나타낸 결과이다. IPS e,max ZirPress와 IPS e,max Press의 파괴인성값은 각각 3회차와 1회차 열가압 성형 시  $(0.78 \pm 0.16) \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 과  $(2.10 \pm 0.31) \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로서 가장 높게 나타났다. IPS e,max ZirPress는 열가압 성형의 횟수가 반복됨에 따라서 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. IPS e,max Press는 1회차 열가압 성형군에서 가장 높은 값을 보인 후 열가압 성형이 반복됨에 따라서 완만하게 감소하여 3회차에서  $(1.83 \pm 0.21) \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 을 보였지만 통계학적인 유의차를 보이지는 않았다( $P > 0.05$ ).

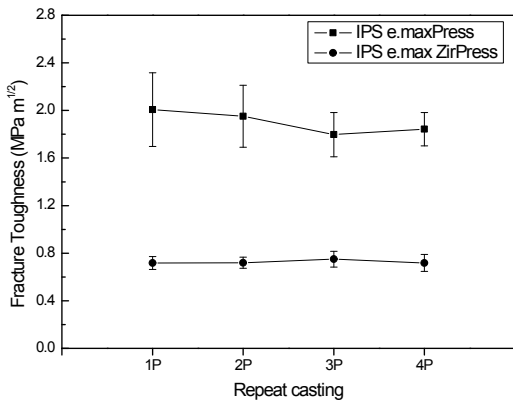


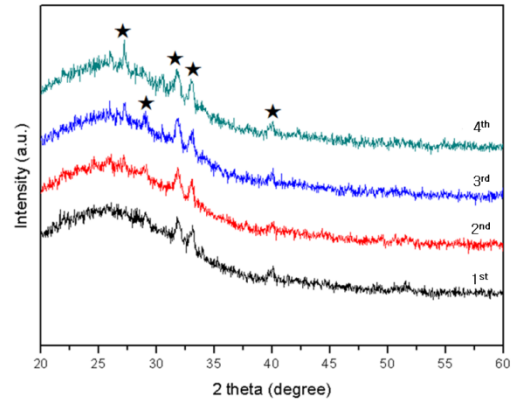
Fig. 5. Fracture Toughness results of IPS e,max ZirPress and IPS e,max Press after repeat processing.

Fig. 6은 IPS e,max ZirPress와 IPS e,max Press의 반복 열가압 성형에 따른 X-선 회절 (XRD) 분석 결과로서, 반복 열가압 성형의 횟수에 따른 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. IPS e,max ZirPress에서는 공통적으로 26.5°, 28.3°, 31.7°, 32.9° 및 40.1°에서 fluorapatite 피크가 관찰되었다. 단, 3회차 반복 열가압 성형 시 28.3°의 피크가 다른 열가압 성형군에 비해 높게 관찰되었다. IPS e,max Press는 모든 반복 열가압 성형군에서 공통적으로 22.6°, 23.1°, 24.2°, 31.7°, 44.2°, 46.1° 및 51.8°에서 lithium disilicate 피크가 관찰되었으며, 열가압 성형의 횟수가 증가함에 따라서 피크의 세기가 비례하여 증가되는 경향을 보였다.

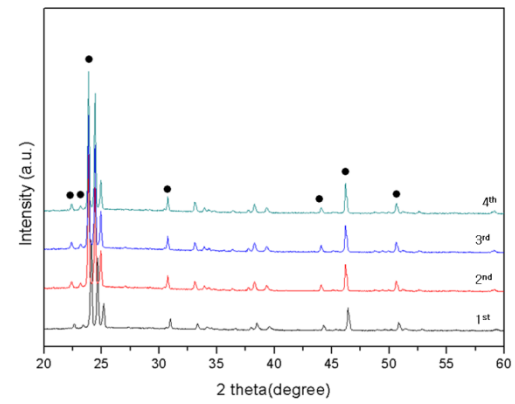
Fig. 7은 IPS e,max ZirPress의 반복 열가압 성형 후 표면을 SEM으로 관찰한 사진으로서, fluorapatite의 침상 결정은 열가압 성형의 횟수 반복에 관계없이 전체적으로 균일한 분포 양상을 보였다.

Fig. 8은 IPS e,max Press의 반복 열가압 성형 후 표면을 SEM으로 관찰한 사진으로서, 반복 열가압 성형의 횟수가 증가됨에 따라서 lithium disilicate의 침상 결정들이 조대화되는 경향을 보였다. 1회차 열가압 성형군과 2회차 반복 열가압 성형군에서 얻어진 결정[Fig. 8. (a), (b)]의

크기는 약 3 μm로 거의 변화를 보이지 않았지만, 3회차 반복 열가압 성형군부터는 결정상의 크기 증가가 관찰되었고, 4회차에서는 4~5 μm로 lithium disilicate의 침상 결정들이 조대화된 양상을 보였다.



(a)



(b)

Fig. 6. X-ray diffraction patterns of specimens. (a) IPS e,max ZirPress, (b) IPS e,max Press. [(1st~4th: heat pressed for 1~4 times), (★: fluorapatite phase, ●: lithium disilicate phase)]

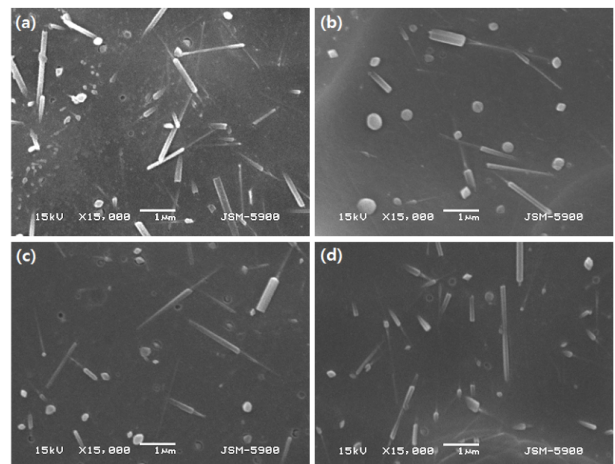


Fig. 7. SEM images of IPS e,max ZirPress by repeat processing. (a) 1<sup>st</sup>; (b) 2<sup>nd</sup>; (c) 3<sup>rd</sup>; (d) 4<sup>th</sup>.

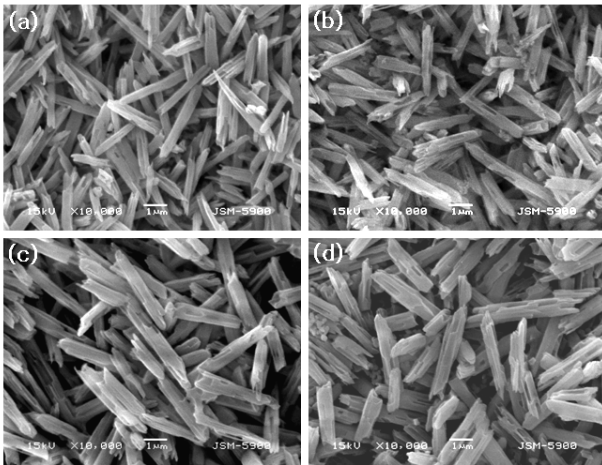


Fig. 8. SEM images of IPS e.max Press by repeat processing. (a) 1<sup>st</sup>; (b) 2<sup>nd</sup>; (c) 3<sup>rd</sup>; (d) 4<sup>th</sup>.

#### IV. 고찰

글라스-세라믹은 글라스 조직에 미세결정상을 석출하여 강도 개선을 유도한 세라믹 재료로서, 심미성은 우수하지만 파절강도가 낮고 결정화 열처리 과정에서 일어나는 수축으로 인해서 변연적합도가 떨어지는 등의 문제점을 보였다(Southan과 Jorgensen, 1972; Dickinson 등, 1984; Schärer 등, 1988). 글라스-세라믹의 이러한 단점을 보완하기 위해서, 열가압 성형법에서는 결정화 열처리를 한 글라스-세라믹 잉곳을 글라스 전이온도보다 낮은 온도로 가열한 다음 압력을 가하여 주입 성형하는 방법을 채택하고 있다(Beham, 1990; Lee, 2000).

본 연구에서는 열가압 성형용 글라스-세라믹을 고온에서 반복 열가압 성형하는 것이 기계적 성질에 영향을 미칠 것이라는 가정 하에, fluorapatite 결정을 강화한 IPS e.max ZirPress와 lithium disilicate 결정을 강화한 IPS e.max Press를 시험재료로 선택한 다음 1~4회차 반복하여 열가압 성형을 하고서 반복 열가압 성형이 기계적 성질과 결정조직의 변화에 미치는 영향에 관하여 조사를 하였다.

반복 열가압 성형이 결정상의 구조적인 변화에 미치는 영향을 조사하기 위해 XRD 분석을 실시한 결과, 열가압 성형이 반복됨에 따라서 결정상의 구조적인 변화는 관찰되지 않았다.

열가압 성형용 글라스-세라믹의 강도와 파괴인성에 관하여, Cattell 등(1999)은 정방정의 류사이트 결정을 면적 비로 25.4% 강화한 Empress와 35.2% 강화한 OPC의 2축 굴곡강도가 각각 120.1 MPa과 139.1 MPa을 보였다고 하였고, Gorman 등(2000)은 2축 굴곡강도와 파괴인성이

Empress의 경우 각각 134.4 MPa과 1.33 MPa<sup>1/2</sup>을 보였고, OPC의 경우 각각 153.6 MPa과 1.36 MPa<sup>1/2</sup>을 보였다고 하였다. Höland 등(2000)은 류사이트 결정을 강화한 Empress의 경우에는 3점 굴곡강도와 파괴인성이 각각 112 MPa과 1.3 MPa<sup>1/2</sup>을 보였지만, lithium disilicate 결정을 강화한 Empress 2의 경우에는 각각 400 MPa과 3.3 MPa<sup>1/2</sup>을 보였다고 하였고, Albakry 등(2003)은 IF(indentation fracture)법을 적용하여 측정된 Empress 2의 파괴인성 값은 short crack과 long crack에 대해서 각각 1.53과 1.16 MPa<sup>1/2</sup>을 보인다고 하였다.

본 연구에서 2축 굴곡강도와 파괴인성을 조사한 결과, IPS e.max ZirPress가 IPS e.max Press에 비해서 상대적으로 낮은 강도를 나타냈는데, 이는 SEM 관찰 결과(Fig. 7과 8)에서 미루어 알 수 있듯이, IPS e.max ZirPress에 포함된 fluorapatite 침상결정의 함량이 IPS e.max Press에 포함된 lithium disilicate 침상결정의 함량에 비해서 치밀하지 못하여 상대적으로 밀도가 낮기 때문이며, 강도의 개선을 위해서는 fluorapatite 결정의 함량 증가가 필요할 것으로 생각된다. IPS e.max ZirPress의 2축 굴곡강도의 값은 1회차에서 (82.3±5.2) MPa로서 가장 높았고, 파괴인성의 값은 3회차에서 (0.78 ± 0.16) MPa<sup>1/2</sup>으로서 가장 높았지만, 반복 열가압 성형에 따른 뚜렷한 변화를 보이지 않았는데, 이는 SEM 관찰의 결과(Fig. 7)로부터 미루어 알 수 있듯이, 글라스 기질에 포함된 fluorapatite 침상결정의 분포가 열가압 성형의 반복회수에 관계없이 전체적으로 균일한 분포 밀도를 보였기 때문이라고 생각된다. lithium disilicate 결정을 강화한 IPS e.max Press의 2축 굴곡강도와 파괴인성의 값은 각각 1회차 열가압 성형 시 (326.8±29.9) MPa과 (2.10±0.31) MPa<sup>1/2</sup>으로서 가장 높게 나타났고, 3회차로부터 뚜렷하게 저하를 나타냈는데, 이는 SEM 관찰의 결과(Fig. 8)로부터 미루어 알 수 있듯이, 3회차 반복 열가압 성형 시로부터 관찰되는 결정립의 조대화로 인하여 균열의 진전이 용이해져서 파절에 대한 저항성이 저하되었기 때문이라고 생각된다. 또한 반복 열가압 성형이 비커스 경도의 변화에 미치는 영향을 조사한 결과, IPS e.max Press는 반복 열가압 성형에 따른 뚜렷한 경도의 변화를 보이지 않았고, IPS e.max ZirPress에서만 2회차로부터 경도의 감소를 나타냈다.

이상의 결과로부터, 임상적으로 허용이 가능한 반복 열가압 성형의 범위는 IPS e.max Press의 경우는 2회차까지가 적절하다고 생각한다. 또한 IPS e.max ZirPress의 경우에는 경도를 제외하고는 반복 열가압 성형에 따른 뚜렷한 기계적 성질의 변화를 보이지 않았지만, 전장용 세라믹 재료에서 경도가 중요한 특성임을 고려할 때 2회차

이상의 반복 열가압 성형에서 나타난 경도의 저하는 임상적으로 내구수명의 저하로 이어질 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구는 글라스 기질에 fluorapatite 침상결정을 강화한 전장용의 IPS e.max ZirPress와 lithium disilicate 결정을 강화한 코어용의 IPS e.max Press의 반복 열가압 성형이 기계적 성질의 변화에 미치는 영향을 평가하기 위해서 4회의 반복 열가압 성형을 시행한 다음, 2축 굴곡강도, 비커스 경도, 파괴인성 및 결정상의 변화에 미치는 영향에 관하여 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. IPS e.max ZirPress는 4회 반복 열가압 성형 시 2축 굴곡강도와 파괴인성의 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. 그렇지만, 비커스 경도는 2회차 반복 열가압 성형 시부터 감소하는 경향을 보였다.
2. IPS e.max Press는 4회 반복 열가압 성형 시 3회차로부터 침상의 lithium disilicate 결정의 조대화가 일어나며 2축 굴곡강도와 파괴인성의 저하 경향을 보였다.

결론적으로, fluorapatite 침상결정을 강화한 IPS e.max ZirPress와 lithium disilicate 결정을 강화한 IPS e.max Press의 임상적으로 허용될 수 있는 반복 열가압 성형의 범위는, IPS e.max ZirPress와 IPS e.max Press에서 각각 1회차와 2회차로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- Albakry M, Guazzato M, Swain MV (2003). Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. *J Dent* 31:181-188.
- Anstis GR, Chantikul P, Lawn BR, Marshall DB (1981). A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness :I direct crack measurements. *J Am Ceram Soc* 64:533-538.
- Beham G (1990). IPS-Empress : A new ceramic technology. Ivoclar-Vivadent Report 6:1-13.
- Böning K, Ullmann U, Wolf A, Lazarak K, Walter M (2006). Dreijährige klinische Bewährung konventionell zementierter Einzelkronen aus Lithiumdisilikat-Keramik, *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 61: 604-611.
- Cattell MJ, Knowles JC, Clarke RL, Lynch E (1999). The biaxial flexural strength of two pressable ceramic systems. *J Dent* 27:183-196.
- Christensen RP, Eriksson KA, Ploeger BJ (2008). Clinical performance of PFM, zirconia and alumina three-unit posterior prostheses. IADR Abstract #1566, Toronto.
- Denry IL, Holloway JA (2004). Effect of post-processing heat treatment on the fracture strength of a heat-pressed dental ceramic. *J Biomed Mater Res (Appl Biomater)* 68B:174-179.
- Dickinson AJG, Moore BK, Harris RK, Dykema RW (1984). A comparative study of the strength of aluminous porcelain and ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 51:273.
- Etman MK, Woolford MJ (2010). Three-year clinical evaluation of two ceramic crown systems: a preliminary study. *J Prosthet Dent* 103:80-90.
- Fasbinder, D.J., Dennison, J.B., G.F. NEIVA (2008). Clinical Evaluation of CAD/CAM Zirconium Ceramic Crowns and Fixed Partial Dentures. IADR Abstract #539, Dallas.
- Fisher H, Hemelik M, Telle R, Marx R (2005). Influence of annealing temperature on the strength of dental glass ceramic materials. *Dent Mater* 21:671-677.
- Gehrt M, Tinschert J, Schley J, Wolfart S (2012). Heat pressed veneered zirconia crowns: 4 Years of Clinical Performance. IADR Abstract #150, Helsinki.
- Gehrt, M., Wolfart, S., Rafai, N., Reich, S., Edelhoff, D (2013). Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. *Clin Oral Invest* 17: 275-284.
- Gorman CM, McDevitt WE, Hill RG (2000). Comparison of two heat-pressed all-ceramic dental materials. *Dent Mater* 16:389-395.
- Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NR (2011). All-ceramic system: Laboratory and clinical performance. *Dent Clin N Am* 55:333-352.
- Guess PC, Selz CF, Steinhart Y-N, Stampf S, Strub JR (2013). Prospective Clinical Split-mouth Study of Press and CAD/CAM Fabricated All-Ceramic Partial Coverage Restorations : 7-Years Results. *Int J Prosthodont* 26:21-25.

- Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V (2000). A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed Mater Res (Appl Biomater)* 53:297-303.
- Jung JO, Min KS, Ahn SG, Bae TS, Park CW (2003). Effect of TiO<sub>2</sub> on the crystallization and microstructure of pressable lithium disilicate glass-ceramics in the SiO<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-ZnO-ZrO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> system. *J Korean Res Soc Dent Mater* 30:163-170.
- Lee HH (2000). Recent dental ceramics: Processing and strengthening. *Clinical Dentistry* 20:106-115.
- Marshall DB, Lawn BR (1977). Indentation technique for measuring stresses in tempered glass surfaces. *J Am Ceram Soc* 60:86-87.
- Sailer I, Gottnerb J, Kanelb S, Hammerle CH (2009). Randomized controlled clinical trial of zirconia-ceramic and metal-ceramic posterior fixed dental prostheses : a 3-year follow-up. *Int J Prosthodont* 22(6):553-560.
- Schärer P, Sato T, Wohlwend A (1988). A comparison of the marginal fit of three cast ceramic crown system. *J Prosthet Dent* 59:534-542.
- Southan, DE, Jorgensen KD (1972). Precise porcelain jacket crowns. *Aust Dent J* 18:152-156.
- von Clausbruch SC, Schweiger M, Höland W, Rheinberger V (2000). The effect of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on the crystallization and microstructure of glass-ceramics in the SiO<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-ZnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> system. *J Non-Crystalline Solids* 263&264:388-394.