

# 완전 소결에 의한 지르코니아 어뷰트먼트의 수축 등방성 평가

이호철\*, 박성준<sup>+</sup>, 김재덕<sup>++</sup>

(논문접수일 2011. 10. 19, 수정일 2011. 11. 03, 심사완료일 2011. 11. 22)

## Observation of the Shrinkage Characteristics of the Machined Zirconia Abutment by the full sintering process

Hocheol Lee\*, Seongjun Park<sup>+</sup>, Jaeduk Kim<sup>++</sup>

### Abstract

The full sintering process of zirconia has some extent of shrinkage and the custom abutment design should consider the pre-compensation volume of the shape. In this paper, we concentrated to reveal the asymmetric sintering characteristics. The circular profile of all six samples were measured using the three dimensional coordinate machine. After the full sintering process, the profiles were measured again. The roundness were compared to those of the original shapes and the percent of shrinkage were calculated. On the other hand, surface roughness was also investigated after the full sintering process. The final average surface roughness was improved by the sintering of the machined zirconia surface.

**Key Words** : Abutment(어뷰트먼트), Zirconia(지르코니아), Sintering(소결), Shrinkage(수축), Roundness(진원도)

## 1. 서론

지르코니아(zirconia,  $ZrO_2$ )는 산화지르코늄을 통틀어 이르는 말로 녹는점이 약  $2,700^\circ C$ 이다. 강도가 높고 심미성이 뛰어나기 때문에 인공 관절, 뼈 이식재, 인공치아(dental implant fixture, abutment), 치과 고정성 보철물(crown, bridge)의 소재로 폭넓게 응용하고 있으며 앞으로도 지르코니아의 생체용 구조 세라믹으로의 적용범위는 더욱 확대될 전망이다<sup>(1~3)</sup>. 또한, CAD/CAM 기술을 활용한 맞춤형 보철물에 대한 수요가 점점 증대되고 있으며<sup>(4~7)</sup>, 정확한 위치와 크기로 수요자의 구강형태에 적합한 보철물의 사용은 매우 중요하고, 적합성(fitness)이란 임상적 결과에 중대한 영향을 준다<sup>(8)</sup>. 그러나 임

상후의 적합성의 평가는 육안으로만 이루어지고 있으나, 제작 단계에서 이에 대한 엄밀한 평가는 실시되고 있지는 않다<sup>(9)</sup>. 한편 지르코니아 어뷰트먼트(abutment)는 치아 CAD/CAM 모델에 의한 형상가공 후에 완전소결(full sintering)을 하여 강도를 확보하도록 되어 있다. 완전소결공정은  $1200^\circ C$  이상의 고온에서 이루어지며, 소결과정에서 약 20% 수준으로 형상이 수축(shrinkage)된다. 따라서 CAD/CAM 형상모델링에서는 미리 형상 수축을 고려한 CAD 모델 설계가 필요하다. 본 논문에서는 특정의 상용 지르코니아 블록(block)을 이용하여 완전 소결후의 형상 수축에서의 등방성과 표면거칠기 변화를 실험으로 확인하고자 하였으며, 결과적으로 임상에서의 적합성을 제조단계에서 선형적으로 검증할 수 있도록 하고자 하였다. 실험

\* 한밭대학교 기계공학부 (hcllee@hanbat.ac.kr)  
주소: 305-719 대전시 유성구 동서대로 125(덕명동)  
+ 한밭대학교 기계공학부 기계공학전공  
++ 바텍(주)

방법으로서, 지르코니아 블록 6개를 원통 형상으로 가공하여 3차원 측정기(Carl zeiss Co., Contura G2)를 이용하여 직접적으로 진원도를 측정하였고, 완전 소결한 후 다시 진원도의 변화를 관찰하였다. 또한, 6개의 블록을 서로 다른 표면거칠기를 가지도록 표면 형상 가공하였고, 소결 전후의 표면거칠기 변화를 관찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

실험에 사용된 지르코니아 블록은 Fig. 1 과 같이 상용의 어뷰트먼트 소재로서 환봉의 형태로 구입되었으며, 약 800°C에서 1차 소결되었으며, 절삭가공이 가능한 정도를 가지고 있다. 각각의 블록에는 완전소결의 평균 수축율을 표기하고 있다. 사용된 크기는  $\varnothing 20\text{mm} \times 100\text{mm}$  이었다.

실험 시편으로의 가공은 스피들 회전수 20,000rpm의 고속가공을 적용하였고 사용된 고속가공기(Kitamura Co., Spark cut)는 Fig. 2와 같다.

사용된 공구는 초경재질의 볼엔드밀(ball end mill)을 사용하였으며, 이송속도는 800mm/min, 절삭깊이는 0.1mm으로 고정하였다. 가능한 서로 다른 표면거칠기를 임의적으로 생성하기 위해서 경로 간격(step of the tool path)을 0.05mm, 0.15mm,

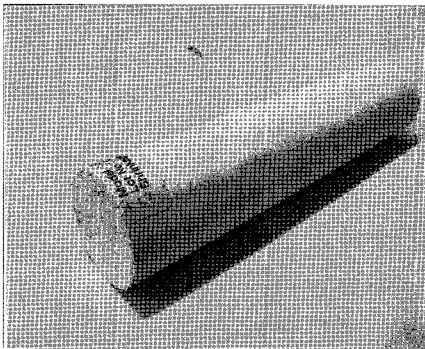


Fig. 1 Zirconia circular block

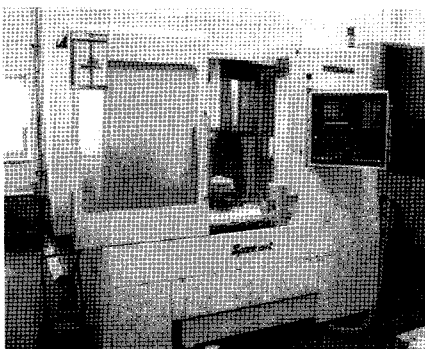


Fig. 2 Machining center to cut the shape of the zirconia

Table 1 Specimen numbering by the machining conditions

		Ball end mill(mm)	
		$\varnothing 3$	$\varnothing 6$
Step (mm)	0.05	#1	#4
	0.15	#2	#5
	0.3	#3	#6

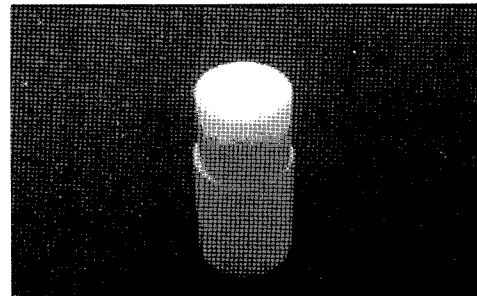


Fig. 3 The shape of the machined zirconia

0.3mm를 사용하고 볼엔드밀의 공구직경을 3mm과 6mm의 두 가지로 사용하여 결과적으로  $\varnothing 19\text{mm} \times 30\text{mm}$ 으로 원통 형상의 6개의 zirconia 시편을 고속가공기에서 제작하였으며 부여된 시편 번호는 Table 1과 같다.

가공된 지르코니아 시편의 형상은 Fig. 3과 같고, 실린더의 측면은 완전소결 전후의 진원도 변화, 상부 평면은 표면거칠기 변화를 확인하는 데 사용되었다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 진원도에 의한 수축 등방성 평가

3차원 측정기를 이용하여 가공 후 시편의 직경과 진원도를 측정하였다. 고속 가공된 소결 전의 6개의 지르코니아 시편에 대한 측정값은 Table 2와 같다.

시편들의 평균 직경 19.230mm에서 평균 진원도 22.6 $\mu\text{m}$ 를 보여주고 있다. 가공된 직경의 최대 편차는 0.1mm이나 진원도의 편차는 최대 4 $\mu\text{m}$ 으로 비교적 안정적인 결과를 보여주고 있

Table 2 Diameter and roundness of the zirconia before sintering

	Diameter (mm)	Roundness ( $\mu\text{m}$ )
#1	18.760	21
#2	18.982	22
#3	19.786	23
#4	19.557	21
#5	19.534	22
#6	18.760	25

다. 완전 소결후의 진원도 변화는 결과적으로 수축에 있어서의 재료의 수축 이방성을 나타내는 지표로 활용될 수가 있을 것으로 추측되었다. 각 시편의 직경과 진원도 측정 예는 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

3차원 측정기를 이용하여 완전 소결 후 6개 시편의 직경과 진원도를 같은 방법으로 Fig. 5와 같이 각각 측정 하였다. 소결 전에 거의 원형이었던 형상이 보다 타원형으로 변경되었으며 결과적으로 진원도가 상당히 약화되었다.

시편들의 평균 직경은 15.186mm, 평균 진원도는 35 $\mu$ m이었다. 소결에 의해 시편들은 일반적인 치밀화와 조립화 과정을 거치며 수축되었고 평균 수축률은 21.02% 으로 지르코니아 업체에서 기준으로 제시한 26.7% 보다 작은 값이었다. 수축율의 편차는 시편 #6을 제외하고는 21% 수준대로 동일하였다.

완전소결 전후의 진원도의 변화는 Fig. 6과 같으며, 소결에 의해 시편의 진원도 또한 상당히 변화하였으며 평균 12.4 $\mu$ m의 변화를 보였다. 이러한 진원도의 변화는 지르코니아가 완전 소결을 진행하는 과정 동안에 등방 수축을 하지 않았음을 명백히 보여주는 것이다. 등방 수축을 하지 않은 원인으로서는 지르코니아 블록의 프레스(press) 압축 과정에서의 조직 구성의 비 대

Table 3 Diameter and roundness of the specimen after sintering

	Diameter (mm)	Diameter change (mm)	Shrinkage rate (%)	Roundness ( $\mu$ m)
#1	14.668	4.092	21.8	34.1
#2	14.887	4.095	21.6	38.3
#3	15.510	4.276	21.6	38.5
#4	15.301	4.256	21.8	26.7
#5	15.379	4.155	21.3	40
#6	15.369	3.391	18.1	32.2

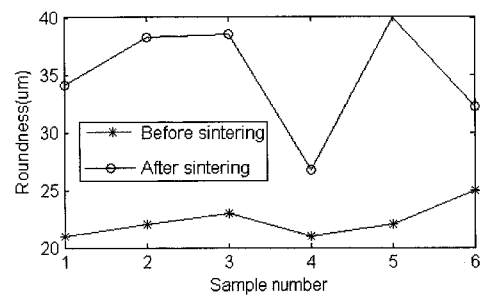


Fig. 6 Roundness plot of the machined zirconia

칭성과 완전소결에서의 온도분포의 비대칭성 등을 추정할 수가 있으며, 이에 대한 완전한 원인 파악과 해결을 위해선 후속의 추가 실험이 필요하다.

3.2 백색광간섭계에 의한 표면거칠기 변화 관찰

표면거칠기 비교를 위해 3개의 상용 어뷰트먼트(#s1, #s2, #s3)를 구입 후 절삭가공된 시편의 표면거칠기와 비교를 시도 하였다. 백색광 간섭계(Wyko Co., NT2000)으로 모든 시편의 표면 상태를 측정하였다. 사용된 측정 모드(mode)는 WSI(White light scanning interferometer) 와 PSI(Phase shift interferometer) 로 구분되어져 Fig. 7 과 같이 측정이 수행되었다.

측정된 표면거칠기는 WSI 모드에서 평균표면거칠기(Ra)으로 측정의 편차가 크고, 수백 nm 수준이었다.

완전소결 전의 6개 절삭 가공된 각 시편의 표면거칠기를 WSI 모드로 측정하였다. 간섭렌즈의 배율은 20 $\times$ 이며 그 결과

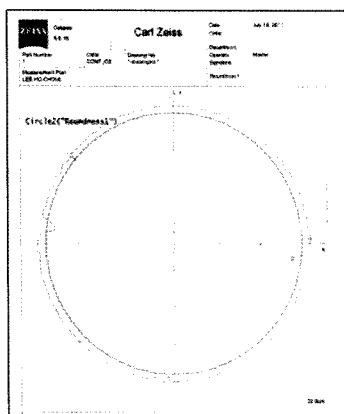


Fig. 4 Roundness plot of the zirconia before sintering

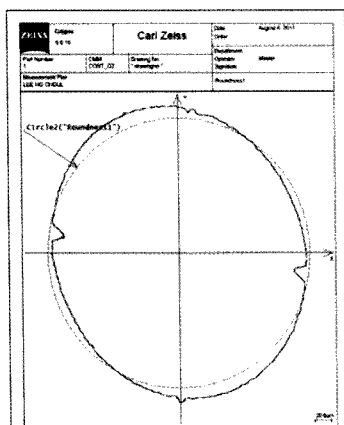
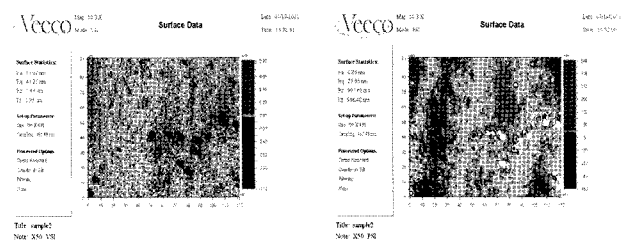


Fig. 5 Roundness plot of the zirconia after sintering



(a) WSI mode of the sample #s2 (a) PSI mode of the sample #s2

Fig. 7 Surface roughness of the commercial abutments

**Table 4 Surface roughness of the three commercial abutments using WSI mode**

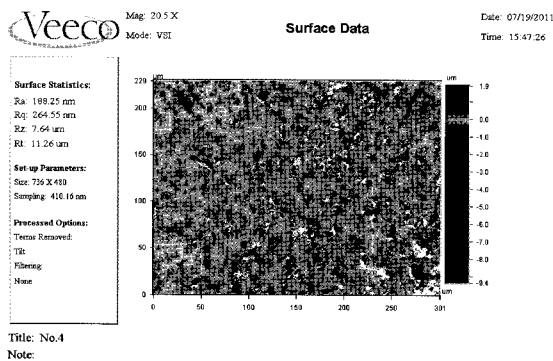
	Surface roughness (Ra, nm)
sample 1	321
sample 2	150
sample 3	131

는 다음 Fig. 8과 Table 5와 같다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 일부 흰색부분의 값은 표면상태의 버(burr) 등으로 인해서 측정 범위를 넘어선 것으로서 평균값의 산정에서 제외되었다. 이는 일부 돌출된 peak 점 등에서 빛이 산란된 것으로 추정된다. 실험에 사용된 시편의 측정된 표면 거칠기는 상용의 어부트먼트와는 평균적으로 큰 표면거칠기를 갖고 있었다.

같은 측정 방식으로 소결 후 각 시편의 표면거칠기를 WSI 모드로 측정하였다. 간섭렌즈의 배율은 20×이며 그 결과는 다음 Fig. 9와 Table 6과 같다. 소결전과 마찬가지로 기준높이 녹색에 비해 높은 빨간색과 낮은 파란색이 혼합하게 분포되어 있지만 측정되지 않은 흰색의 모습은 거의 나타나지 않았다.

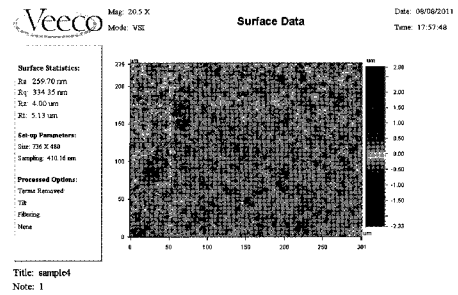
소결 후 시편의 표면거칠기 값은 소결 전보다 작거나 유지될



**Fig. 8 Surface roughness of specimen #4 using WSI of 20× magnification before sintering**

**Table 5 Surface roughness of specimens using WSI before sintering**

	Surface roughness (Ra, nm)
#1	246
#2	543
#3	1,160
#4	188
#5	286
#6	472



**Fig. 9 Surface roughness of specimen #4 using WSI mode of 20× magnification after sintering**

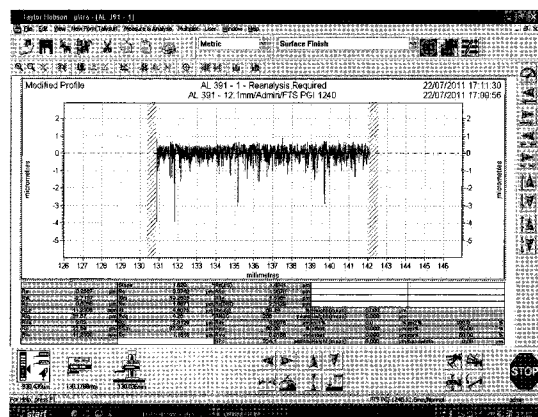
**Table 6 Surface roughness of specimens using WSI after sintering**

	Surface roughness (Ra, nm)	The change of the surface roughness (nm)
#1	251	-4
#2	324	219
#3	1,130	30
#4	243	-55
#5	247	39.3
#6	477	-5.2

것으로 추정되었지만, 일부 시편은 소결후의 표면거칠기 값이 다소 커진 것을 알 수 있다. 이는 결과적으로 소결전의 표면거칠기 값이 백색광간섭계로 측정할 만큼 충분히 작지 않아 적절히 측정되지 못한 것으로 판단되었다.

### 3.3 접촉식 표면거칠기 측정기에 의한 평가

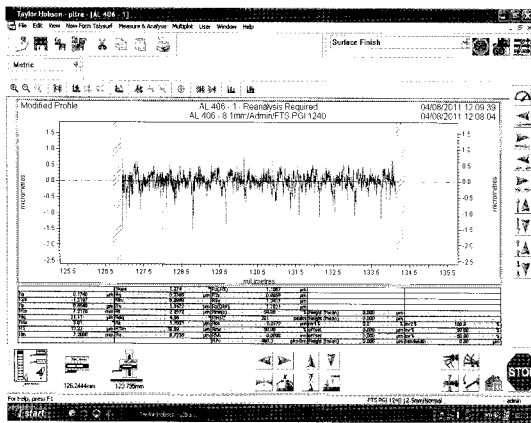
접촉식 표면거칠기 측정기(Taylor Hopson Co., Formtalsurf PGI-1240)를 이용하여 소결 전 각 시편의 가공면 표면거칠기를 측정 하였다. 측정은 각 시편 당 두 번 이루어졌으며 그 결과는 다음과 같다.



**Fig. 10 Surface roughness of specimen #1 using Formtalsurf before sintering**

**Table 7 Surface roughness of specimens using PGI-1240 before sintering**

	Measurement value(Ra, nm)
#1	259
#2	418
#3	1,014
#4	180
#5	222
#6	611



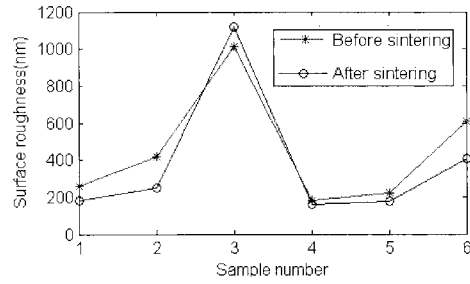
**Fig. 11 Surface roughness of specimen #1 using Formtalsurf after sintering**

같은 방식으로 소결 후 각 시편의 가공면 표면거칠기를 측정하였다. 측정은 각 시편에 대해 두 번 이루어졌으며 그 결과는 다음과 같다.

Fig. 10에서의 측정 결과, 표면거칠기의 측정 범위가 최저 4 μm, 최고 1 μm 까지 이었고, Fig. 11에서는 최저 1.5 μm, 최고 1 μm까지로 나타났다. 결과적으로 소결전 보다 소결한 후의 표면거칠기가 소결전보다 좋아진 것을 명백히 알려주고 있으며 구체적인 각 시편에 대한 표면거칠기 개선효과는 Table 8과 같다. 측정된 표면거칠기 값은 전반적으로 Fig. 12와 같이 향상되어졌으며, 소결전보다 평균 68nm 작아졌다. 세라믹 구조체 등

**Table 8 Surface roughness of specimens using PGI-1240 after sintering**

	Measurement value(Ra, nm)	Improvements (nm)
#1	184	75
#2	251	167
#3	1,117	-103
#4	159	21
#5	178	44
#6	409	202



**Fig. 12 Surface roughness plot of the machined zirconia**

의 재료는 소결과정에 있어서 일반적으로 조직이 치밀화되는 현상을 보이는 것으로 알려져 있으며<sup>(10)</sup>, 1차 소결 후 절삭가공된 지르코니아 어뷰트먼트의 완전 소결에 의해서도 조직 치밀화가 발생했을 것으로 판단된다. 따라서 표면거칠기의 개선 요인은 미세조직의 치밀화에 의한 결합도 변화가 그 주원인인 것으로 추정된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 지르코니아(zirconia) 완전소결 후 가공된 어뷰트먼트의 진원도 및 표면거칠기 변화에 대해 실험 연구하였다. 임의의 진원도 및 표면거칠기를 생성한 후, 완전소결을 적용하였고, 적용 후의 변화 결과를 측정 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 원통형의 지르코니아 시편 완전소결시 평균 직경은 21.1% 만큼 수축하였다. 이것은 zirconia업체에서 제시한 설계 기준치 26.7%와는 5.6%의 차이를 보였고, 결과적으로 완전소결된 어뷰트먼트의 임상 적합성에 영향을 줄 것으로 판단된다.
- (2) 또한, 지르코니아 완전소결시 가공된 초기 진원도가 크게 변화하였으며, 소재의 완전소결 수축의 등방성이 확보되지 못하였다. 소재의 수축 비등방성은 평균적으로 진원도 12.4μm의 증가치를 보여 임상에서 어뷰트먼트와 임플란트 결합에 영향을 주는 수치로 판단된다.
- (3) 지르코니아 소재를 다양한 절삭조건으로 임의의 표면거칠기를 생성하였고, 완전 소결 후 평균 68nm 작아져서 표면 거칠기가 개선된 효과를 보이며, 이것은 완전소결과정의 조직 치밀화 효과 등에 의해서 나타난 것으로 추정된다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부의 청정제조기반 산업원천기술개발사업인 “차세대 BT Micro-Factory 시스템 기술 개발”과제의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- (1) Lang, L., Sierralta, M., Hoffensperger, M., and Wang, R., 2003, "Evaluation of the Precision of Fit between the Procera Custom Abutment and Various Implant Systems," *Int J Oral Maxillofac Implants*, Vol. 18, No.5, pp. 652~658.
- (2) Heydecke, G., Sierralta, M., and Razoog, M., 2002, "Evolution and use of Aluminum Oxide Single-tooth Implant Abutments: a Short Review and Presentation of Two Cases," *Int J Prosthodont*, Vol. 15, No. 5, pp. 488~493.
- (3) Sundha, A., and Sjögrena, G., 2008, "A Study of the Bending Resistance of Implant-supported Reinforced Alumina and Machined Zirconia Abutments and Copies," *Dental Materials*, Vol. 24, Issue 5, pp. 611~617.
- (4) Gehrke, P., Dhom, G., Brunner, J., Wolf, D., Degidi, M., and Piattelli, A., 2006, "Zirconium Implant Abutments: Fracture Strength and Influence of Cyclic Loading on Retaining-screw Loosening," *Quintessence Int.*, Vol. 37, No. 1, pp. 19~26.
- (5) Lee, H., Kwon, S., Park, J., and Seong, M., 2010, "Process Planning of Cutting Process of Custom Zbutment for Dental Implant," *Proc. Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, April 2010, pp. 35.
- (6) Priest, G., 2005, "Virtual-Designed and Computer-Milled Implant Abutments," *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Vol. 63, Issue 9, pp. 22~32.
- (7) Grossmann, Y., Pasciuta, M., and Finger, I., 2006, "A Novel Technique using a Coded Healing Abutment for the Fabrication of a CAD/CAM Titanium Abutment for an Implant-supported Restoration," *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 95, Issue 3, pp. 258~261.
- (8) Maeng, H., and Sung, B., 2010, "Development of 3D Measuring System for Artificial Pontic using Spherical Coordinate System Mechanism," *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 19 No. 4, pp. 427~433.
- (9) Kunii, J., Hotta Y., and Tamaki, Y., 2007, "Effect of Sintering on the Marginal and Internal Fit of CAD/CAM-fabricated Zirconia Frameworks," *Dental Material Journal*, Vol. 26, No. 6, pp. 820~826.
- (10) Chae, K., 2001, "Densification Behavior of Fine SiC Particle-Dispersed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite by Sinter Plus HIP," *The Korean Ceramic Society*, Vol. 38, No. 2, pp. 179~182.