

사출성형에 의한 Al₂O₃/Paraffin Wax/High Density Polyethylen계 혼합물의 유동성 및 탈지 특성

김승겸[†] · 신대용 · 한상목 · 강위수*

강원대학교 신소재공학과

*강원대학교 생물산업공학전공

(2004년 2월 27일 접수; 2004년 4월 21일 승인)

Rheological and Debinding Properties of Al₂O₃/Paraffin Wax/High Density Polyethylen System Mixture by Injection Molding

Seung-Gyeom Kim,[†] Dae-Yong Shin, Sang-Mok Han, and Wie-Soo Kang*

Department of Advanced Materials Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

*Biological Systems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

(Received February 27, 2004; Accepted April 21, 2004)

초 록

세라믹 사출성형시 결합제의 조성에 따른 혼합물의 유동학적 특성과 제조조건에 따른 시편의 결합 생성 및 탈지공정에 대하여 조사하였다. 2 wt%의 stearic acid를 코팅한 세라믹 분말(65 wt% Al₂O₃·35 wt% 장석)에 결합제로 15, 20 및 25 wt%의 Paraffin Wax (PW)와 High Density Polyethylene (HDPE)을 첨가하여 160°C에서 2시간 혼합하였다. Capillary rheometer로 측정된 혼합물의 겔보기 점도는 shear rate가 1000 s⁻¹일 때 80~300 Pa·s로 사출성형에 적합한 유동성을 나타내었으며, 결합제의 조성에 의존하였다. 결합제의 조성이 15H5P5 (총 15 wt%의 결합제 중, HDPE/PW 비=5:5)인 사출성형 시편은 사출압력과 관계없이 short shot가 생성되었으나, 사출압력이 45 kgf/cm²인 20H5P5 사출성형 시편은 결합이 관찰되지 않았다. 사출성형 시편 중의 PW를 70°C의 n-heptane 용매에서 5시간동안 침지하여 제거한 후, 450°C에서 5시간 열처리하여 HDPE를 제거하였다. PW의 추출에 의해 형성된 연속기공을 통하여 HDPE의 효과적인 제거와 기계적 강도의 손상없이 사출성형이 가능한 결합제 조성은 20H5P5이었다. 1,300°C에서 5시간 소결한 20H5P5 시편의 부피비중은 2.8, 기공률은 3% 이하 및 3점곡강도는 약 2,400 kgf/cm²으로 구조용 재료로서 사용이 가능하였다.

ABSTRACT

The effects of compositions of binders on the rheological properties of mixtures and the preparation conditions on the formation of defects and the debinding characteristics of compacts for the injection molding of ceramic powders (65 wt% alumina·35 wt% feldspar) were studied. Ceramic powders were coated with 2 wt% of stearic acid and then mixed with 15, 20, and 25 wt% of Paraffin Wax (PW) and High Density Polyethylene (HDPE) as binders at 160°C for 2 h. Rheological properties were investigated by using capillary rheometer. Apparent viscosities of mixtures were 80~300 Pa·s at 1,000 s⁻¹ of a shear rate, it was good for the injection molding and depending on the compositions of binders. Short shot was formed at 15H5P5 (the ratio of HDPE : PW=5 : 5 in 15 wt% of binders) compacts without injection pressures and any noticeable defects were not formed at 45 kgf/cm² in 20H5P5 compacts. PW and HDPE were removed by the solvent extraction and thermal debinding method. Thermal debinding of HDPE at 450°C for 5 h, which followed the extraction of PW was using n-heptane solvent at 70°C for 5 h. Continuous pores in compacts, which facilitate the removal of HDPE by the thermal debinding, were found to form in the compacts when PW was removed by the solvent extraction. The optimum composition of binder at which binder was removed by thermal debinding without defects while maintaining the compact strength was 20H5P5. Bulk density, porosity and 3-point bending strength of 20H5P5 compact sintered at 1,300°C for 5 h were 2.8, < 3%, and 2,400 kgf/cm², respectively, and can be used as a structural materials.

Key words : Ceramic injection molding, HDPE, PW, Rheological properties, Debinding formation of defects

1. 서 론

분말사출성형은 금속 또는 세라믹 분말을 유기결합제와 혼합하여 사출성형 후, 성형시편 중의 결합제를 제거하고 소결을 거쳐 제품을 만드는 제조공법으로 대량생산

[†]Corresponding author : Seung-Gyeom Kim
E-mail : biengood76@hotmail.com
Tel : +82-33-250-6261 Fax : +82-33-250-6260

이 가능하고 소결 후, 기계적 가공이 필요 없어 가공비의 절감 및 성형시 가해지는 정수압에 의해 균일한 충전밀도를 얻을 수 있어 최근에 들어와 정밀부품 제조에 응용이 확대되고 있다.^{1,2)}

분말사출성형은 혼합, 사출, 탈지 및 소결 공정으로 이루어지며, 그 제조공정이 복잡하고 다양한 제조인자에 의해 많은 결함이 발생한다.²⁻⁶⁾ 결합제의 첨가량이 증가하면 혼합물의 점성 감소에 의해 유동성이 향상되어 사출성형에 유리하나, 결합제는 최종 제품에 불필요한 성분으로 결합제의 첨가량이 많을수록 탈지나 소결시 수축이 발생하여 시편에 균열이나 파괴가 발생한다.^{3,4)} 성형제품의 냉각이나 결합제의 제거를 위한 탈지공정 중, 잔류용력의 발생과 균열 등의 결함이 발생하고 결합제와 혼합된 세라믹 분말을 금형에 사출하면 시편의 표면부터 고화되어 연속적인 층이 발생하기도 한다.⁵⁾ 또한, 탈지공정은 시간 및 에너지가 다량 소모되는 공정이며 여러 형태의 결함이 발생한다. 탈지법에는 용매추출법, 열제거법 및 capillary 법 등이 있으며 탈지공정은 기공크기, 입자크기, 탈지시간 및 분위기 등에 영향을 받아, 결합제의 제거가 빠르면 내부응력이 발생하여 swelling, cracking이나 blistering 등의 결함이 발생한다.⁶⁾ 현재, 금속이나 플라스틱 사출성형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 세라믹 사출성형시 결합제의 첨가량에 따른 혼합물의 유동성, 탈지공정 및 소결제품의 물성에 관한 연구는 아직 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 사출성형을 이용하여 구조·전자재료로 널리 사용되는 Al_2O_3 세라믹스를 제조하기 위하여 $\alpha-Al_2O_3$ 와 장석의 세라믹 분말에 결합제로 high density polyethylene과 paraffin wax를 첨가하여 결합제의 첨가량과 조성에 따른 혼합물의 유동학적 특성과 제조조건에 따른 사출성형 시편의 결합생성 및 탈지공정과 소결시편의 물리·기계적 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 시편제조

사출성형용 출발원료로 $\alpha-Al_2O_3$ 분말(Smitomo Co., ASE-11, Japan)과 소성온도를 낮추기 위해 Table 1의 화학조성을 갖는 부여장석을 35 wt% 첨가하여 평균입경 $5.8 \mu m$, $0.4\sim 20 \mu m$ 의 입도분포를 갖는 세라믹 분말을 이용하였다. 세라믹 분말의 계면에너지를 감소시키고 분말의 분산 및 결합제와 젖음성을 향상시키기 위하여 계면활성제로서

Table 2. Compositions of Starting Materials (Unit : wt%)

Specimens	*Ceramics powders	Total binders (HDPE+PW)	HDPE	PW
20H6P4			12	8
20H5P5	80	20	10	10
20H4P6			8	12
15H5P5	85	15	7.5	7.5
25H5P5	75	25	12.5	12.5

*65 wt% alumina and 35 wt% feldspar mixed with 2 wt% SA.

Table 3. Preparation Conditions of Injection Molding

Injection pressure (kgf/cm ²)	40, 45, and 50
Barrel temperature (°C) (feed to nozzle)	150-160-170
Mould temperature (°C)	70
Cooling time (sec)	25

stearic acid (Samkwang Gohachem Co., Korea, SA)를 사용하였다.⁵⁾ 2 wt%의 SA를 toluene으로 용해시켜 세라믹 분말과 혼합하여 24시간 ball milling한 후, 80°C에서 24시간 건조하였다. 160°C로 예열시킨 co-rating screw형 혼합기에 high density polyethylene (Hyundai Petrochemical Co. Ltd., grade 5,200B, Korea, HDPE)와 paraffin wax (Serio Co., Japan, PW)를 Table 2와 같이 첨가하여 용융·혼합하였다. 용융·혼합된 결합제에 SA로 처리된 세라믹 분말을 혼합기에 넣어 160°C에서 2시간 혼합하였다.

시편의 제조는 Table 3의 조건으로 screw형의 사출성형기(Hyunjin Chemical, MFG-88314, Korea)를 사용하였다. TG 분석으로부터 결합제의 분해 개시온도와 종료온도를 조사하여 성형시편 중의 결합제 탈지조건을 결정하였다. 성형시편 중에 함유된 PW는 70°C의 n-heptane (C₇H₁₆, Kanto Chemical, Japan)에 5시간 침지하여 추출하는 용매 추출법을 이용하였으며, HDPE는 열제거법을 이용하여 제거하였다. 탈지시편을 1,100~1,400°C에서 5시간 소결하여 시편을 제조하였다.

2.2. 특성분석

세라믹 분말의 입자크기는 입도분석기(Shimazu, SA-CP3, Japan)를 이용하여 분석하였다. 결합제인 PW와 HDPE의 첨가에 의한 혼합물의 점도변화와 사출에 적당한 pseudoplastic 거동을 확인하기 위하여 capillary rheometer (Göttfert

Table 1. Chemical Composition and Thermal Properties of Buyeo Feldspar

(Unit : wt%)

Sample	Contents									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI	SK	
Feldspar	73.25	15.6	0.05	0.35	0.01	3.82	6.82	0.45	8	

Rheo-Tester 2000, Germany)를 이용하여 160°C에서 전단 속도에 따른 겔보기 점도와 전단응력을 측정하였다. 결합제의 열분해 특성 분석은 10°C/min의 승온속도로 열분석기(TG, Rigaku, PTC10, Japan)를 이용하였으며, 소결온도에 따른 시편의 결정상 분석은 XRD(Philips, PW-1710, Holland)를 이용하였다. 소결시편의 부피비중 및 기공률은 Archimedes법을 이용하였으며, 3점곡강도는 KS L 1291에 의하여 각주형 시편을 만능시험기(UTM, SFM, United Co., U.S.A.)를 이용하여 측정하였으며, 성형시편과 3점곡강도 시험을 행한 시편의 파단면에 Au를 코팅한 후 SEM(Akashi Co., SS130, Japan)을 이용하여 미세구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

사출성형시 결합제의 첨가량이 증가하면 혼합물의 점도가 감소하여 유동성이 향상되어 사출성형에 유리하나, 결합제는 최종제품에 불필요한 성분으로 결합제의 첨가량이 많을수록 탈지 및 소결시 수축이 발생하여 성형시편에 균열이나 파괴가 발생한다.³⁾

결합제의 첨가에 따른 혼합물의 유동성을 조사하고자 HDPE와 PW의 첨가량이 15, 20 및 25 wt%일 때와 결합제의 첨가량이 20 wt%일 때 HDPE와 PW의 첨가비에 따른 혼합물의 전단속도에 따른 겔보기 점도와 겔보기 전단응력의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)와 같이 결합제의 첨가량이 증가함에 따라 겔보기 점도와 겔보기 전단응력이 감소하였다. 전단속도가 증가함에 따라 겔보기 점도는 분자의 얽힘에 대한 전단력의 효과에 의한 전단묶어짐 (shear thinning) 현상에 의해 감소하였으며, 낮은 전단속도에서는 분자의 얽힘이 전단흐름을 방해하여 점도가 증가하였다.¹⁾ Fig. 1(b)와 같이 유동성을 향상시키는 PW의 첨가량이 증가할수록 겔보기 점도와 겔보기 전단응력은 감소하였다. 즉, PW의 첨가는 혼합물의 유동성을 증가시키나, 과량으로 첨가하면 성형체의 형상을 유지하는 HDPE가 감소하여 탈형이나 n-heptane에 의한 PW 추출시 균열이나 파괴가 발생한다. 일반적으로, 세라믹 사출성형시 1,000 s⁻¹의 전단속도에서 약 1,000 Pa·s 이하의 점도와 pseudoplastic 거동을 나타내야 하며, 전단속도와 전단응력의 log-log plot시 기울기인 flow behavior index, n의 값이 1 보다 작아야 한다.^{1,4)} Fig. 1(a),(b)와 같이 본 연구에서 이용한 혼합물은 1000 s⁻¹의 전단속도에서 약 80~300 Pa·s의 점도를 나타내었으며, Table 4와 같이 모든 조성의 n의 값이 1 보다 작아 사출성형용 혼합물 조성으로 적합하였다.

부적절한 사출압력은 성형체에 short shot, flash, weld line, void 및 warp과 같은 결함을 발생시킨다. 사출압력을 40, 45 및 50 kgf/cm²로 변화하여 사출압력에 따른 성형체의 변화를 Table 5에 표시하였다. 15 wt%의 결합제가 첨

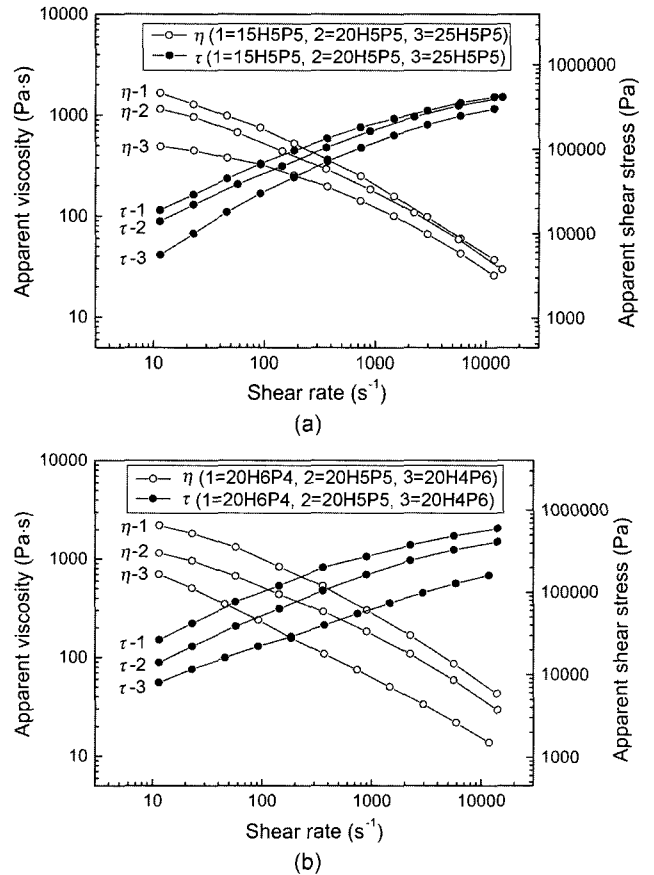


Fig. 1. Variation of apparent viscosity (η) and shear stress (τ) of the mixtures with (a) amounts of total binder and (b) compositions of binder at 160°C.

Table 4. Flow Behavior Indices of Mixtures

Shear rate (s ⁻¹)	Flow behavior index (n)				
	15H5P5	20H5P5	25H5P5	20H6P4	20H4P6
184.32	0.43	0.45	0.58	0.44	0.45
368.64	0.43	0.45	0.59	0.45	0.45
737.28	0.43	0.45	0.58	0.45	0.44
1474.6	0.42	0.44	0.57	0.43	0.44
2949.1	0.42	0.43	0.56	0.42	0.43
5898.2	0.41	0.42	0.54	0.40	0.43
11797	0.38	0.39	0.52	0.39	0.39

Table 5. Defects of Specimens with Injection Pressures

Specimen	Injection pressure (kgf/cm ²)	Defect
15H5P5	40	
	45	Short shot
	50	
20H5P5	40	Void
	45	None
	50	Flash

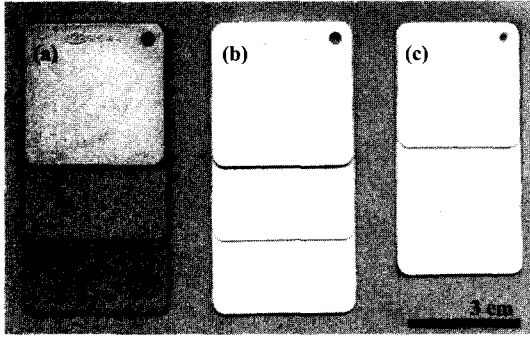


Fig. 2. The appearance of 20H5P5 specimens. (a) after molding, (b) after extraction of PW, and (c) sintered at 1300°C.

가된 15H5P5 조성은 사출성형이 가능하였으나, 사출압력과 관계없이 short shot 현상이 관찰되었다. 결합제가 20 wt% 이상 첨가된 시편들은 short shot가 관찰되지 않았으나, 40 kgf/cm²의 사출압력에서 성형체 내부에 작은 기공이, 50 kgf/cm²일 때 성형체에 flash 현상이 관찰되었다. 사출성형시 성형체에 발생하는 결합의 원인으로서는 금형온도, 혼합물의 점도, 사출압력 및 냉각시간 등이 있으나, 낮은 사출압력에서는 void, 높은 사출압력에서는 flash 현상이 발생한다.⁵⁾ 그러나, 45 kgf/cm²의 사출압력에서는 Fig. 2(a)와 같이 성형체에 결합이 관찰되지 않아 결합제의 첨가량이 20 wt% 이상, 사출압력이 45 kgf/cm²일 때 사출성형의 최적 조건임을 알 수 있었다.

n-heptane 용매에서 추출온도와 추출시간을 달리한 20H5P5 성형체 및 결합제의 첨가량이 20 wt%일 때 HDPE와 PW의 함량에 따른 PW의 추출률의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. PW의 추출거동은 *n*-heptane 용매가 성형체 내 PW 분자사이로 확산되는 과정과 PW 분자가 성형체 외부의 *n*-heptane 용매로 추출되는 과정에 의하며, HDPE는 50~80°C에서 *n*-heptane 용매에는 전혀 용해·확산되지 않고 안정하므로 *n*-heptane을 이용하여 성형체로부터 PW의 추출이 가능하다.⁸⁾ Fig. 3(a)와 같이 PW가 고체로 존재하는 50°C 이하의 추출온도에서는 PW의 추출은 거의 관찰되지 않았으며 성형체에는 미세한 균열이 발생하였다. 이는 낮은 추출온도에서는 저분자량인 *n*-heptane은 PW 분자사이로 빠르게 확산되지만, PW의 추출이 거의 일어나지 않아 성형체의 팽윤(swelling)에 의한 내부응력이 발생하였기 때문이다.⁶⁾ 또한, 80°C 이상의 추출온도에서는 증가된 열에너지가 *n*-heptane를 성형체로 빠르게 확산시켜 PW를 용해·추출시켜 PW의 추출률은 급격히 증가하였으나, 결합제의 연화에 의해 성형체에 결합이 발생하였다. 따라서, 60~70°C의 추출온도에서 성형체에 결합을 발생시키지 않고 PW의 추출이 가능하였다. 성형체 표면의 PW는 *n*-heptane 용매와 접촉하여 추출 초기시 다량의 PW가 추출되었는데, 이는 용매추출 초기에 성형체 내 PW 분자사이로 *n*-heptane이 먼저 흡수되고, 그 후 성형체 외부로 PW

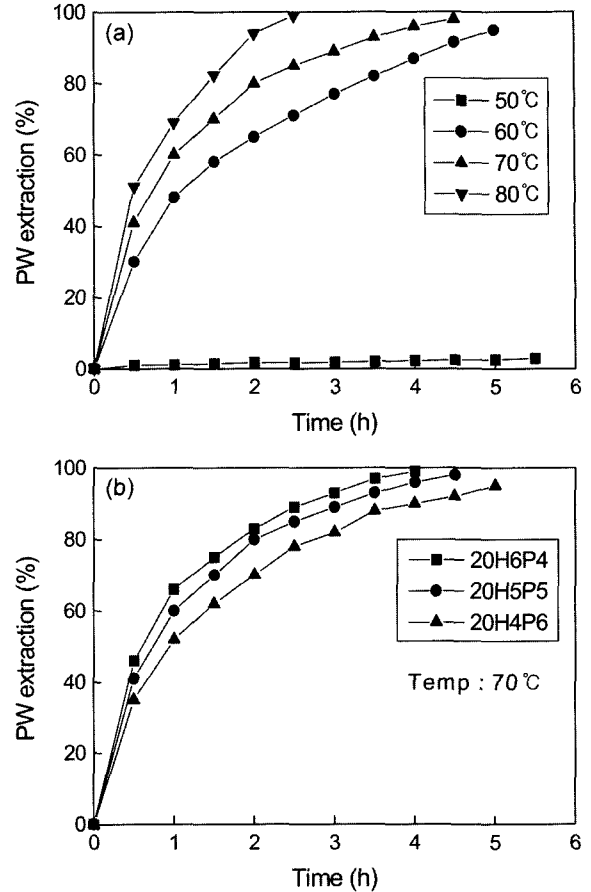


Fig. 3. (a) extractions of paraffin wax of 20H5P5 specimen and (b) different compositions of specimens with extraction time and extraction temperatures used *n*-heptane solution.

가 추출되어 생긴 공간에 *n*-heptane이 흡수되어 채워지기 때문이다. 그러나, 성형체 내부의 PW는 표면에 비해 *n*-heptane 용매와의 접촉 가능성이 감소하여 시간이 증가함에 따라 추출속도는 감소하였다. 또한, 분자량이 큰 PW 분자가 성형체 외부로 추출될 때 상대적으로 세라믹 분말과의 충돌 가능성이 높아 충돌간의 평균자유행로(mean free path)가 감소하여 PW의 추출률이 감소하였다.⁶⁾ Fig. 3(b)와 같이 PW의 첨가량이 증가함에 따라 성형체 내에 *n*-heptane에 의해 용해된 PW 분자의 농도가 증가하여 PW 분자간의 충돌 가능성이 높아져 추출률은 감소하였다. 따라서, 70°C의 *n*-heptane 용매 추출온도에서 PW의 추출시, 성형체에 결합이 관찰되지 않았으며, 5시간 추출 후 약 95% 이상의 PW의 추출이 가능하였다. PW를 추출한 성형체의 외관을 Fig. 2(b)에 나타내었다.

PW와 HDPE의 TG 곡선을 Fig. 4에 나타내었다. PW의 열분해는 200~300°C, HDPE는 350~450°C의 넓은 온도범위에 걸쳐 일어나는데, 이는 결합제로 이용되는 고분자의 분자량이 일정하지 않기 때문이다. 평균분자량이 50,000인 고분자에는 분자량이 수십~수십만인 고분자가 존재하

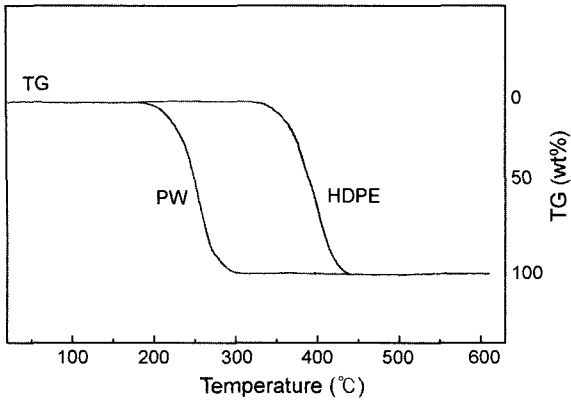


Fig. 4. TG curves of PW and HDPE.

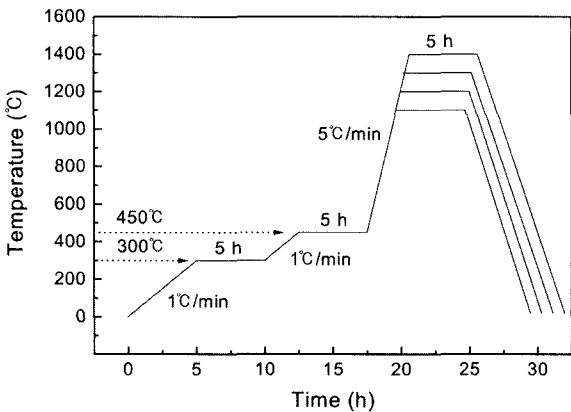


Fig. 5. Heating schedules for specimens.

며, 분자량이 작을수록 열적 성질이 낮아져 분자량이 작은 고분자부터 열분해 되고 온도가 증가함에 따라 분자량이 큰 고분자가 열분해 되기 때문이다.³⁾

TG 분석을 근거로 설정한 열처리 계획을 Fig. 5에 나타내었다. 승온속도를 1°C/min로 조절하여 결합체의 제거에 의한 시편의 붕괴현상을 방지하였다. 용매추출법에 의해 완전히 제거되지 않은 PW를 제거하기 위하여 300°C에서 5시간 유지하였으며, HDPE는 380~450°C에서 열분해 되어 PW의 추출에 의해 형성된 기공을 통하여 성형체에 결합을 발생시키지 않고 제거가 가능하였다. 따라서, HDPE의 제거는 PW의 첨가량이 중요하며 50 wt%의 PW의 첨가시 성형체에 형성된 연속기공을 통하여 HDPE의 제거가 가능하였다. 결합체 제거 후, 1,300°C에서 5시간 소결한 소결체의 외형은 Fig. 2(c)에 나타내었다.

결합체의 첨가량 및 조성에 따른 소결체의 열처리 온도에 따른 부피비중의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 열처리 온도가 증가함에 따라 결합체의 총첨가량과 관계없이 부피비중은 증가하였으며, 1,300°C에서 5시간 열처리한 소결체는 부피비중 2.65~2.7 및 3% 이하의 기공률을 나타내었다. 1,300°C 이상으로 열처리한 소결체의 부피비중과 기공률은 큰 변화를 나타내지 않았는데, 이는 출발원

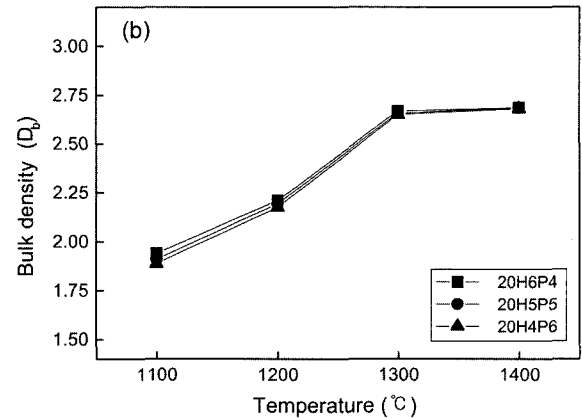
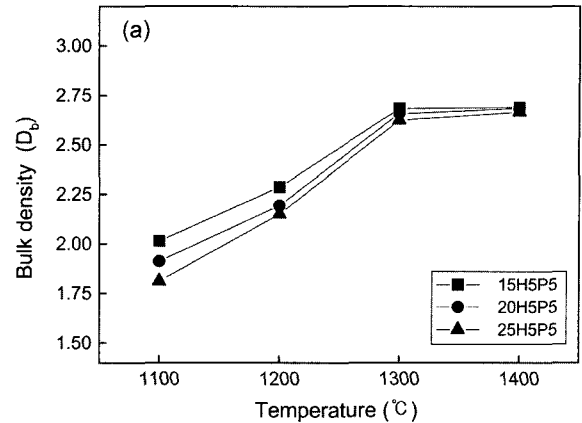


Fig. 6. Bulk density of the specimens with sintering temperatures, (a) addition amounts of binder and (b) compositions of binder.

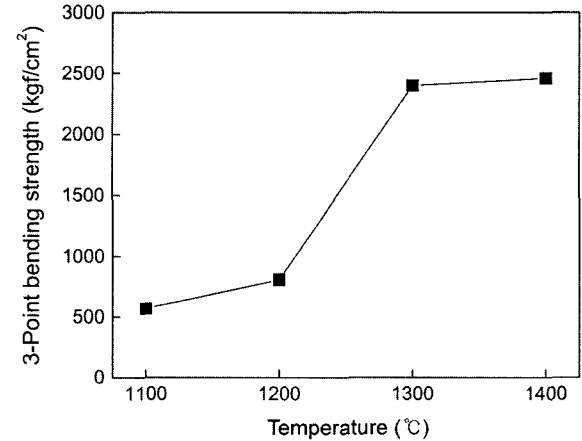


Fig. 7. 3-point bending strength of 20H5P5 specimens with sintering temperature.

료에 함유된 장석이 용융되어 형성된 액상에 의해 기공이 메워지고 모세관력에 의해 세라믹 입자가 서로 미끄러지며 재배열하여 입자간의 충전이 향상되어 치밀화되었기 때문이다.^{7,8)} 또한, 탈지공정 중 결합체가 위치하였던 자리가 기공으로 변하여 결합체의 총첨가량이 증가할

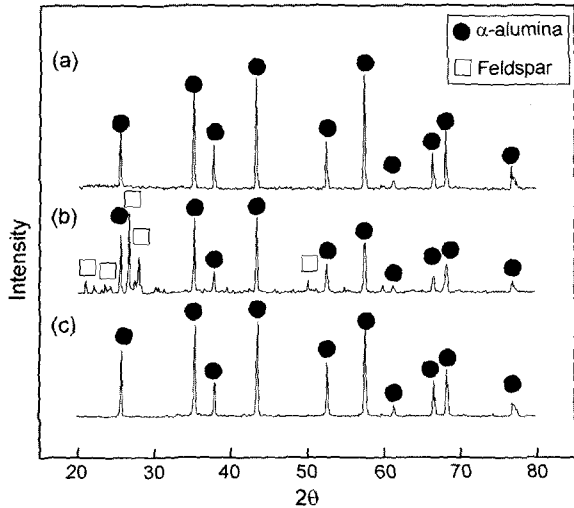


Fig. 8. XRD patterns of (a) pure α -alumina, (b) start material, and (c) sintered specimen at 1300°C .

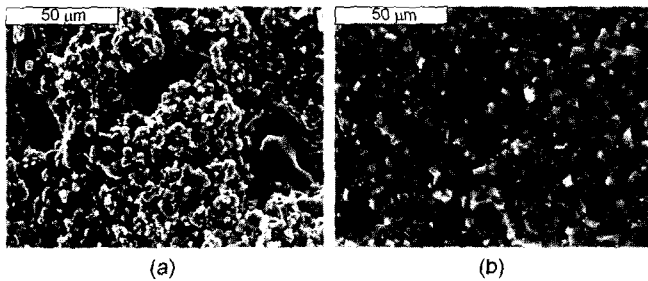


Fig. 9. SEM photographs of 20H5P5 specimen sintered at (a) 1200°C and (b) 1300°C for 5 h.

수축 부피비중은 감소하였으나, 결합제의 조성변화에 따른 부피비중은 큰 변화를 나타내지 않았다.

20H5P5 소결체의 열처리 온도에 따른 3점곡강도의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 열처리 온도가 증가함에 따라 Fig. 6의 부피비중과 같이 3점곡강도는 증가하였으며, $1,300^{\circ}\text{C}$ 에서 5시간 열처리한 소결체의 3점곡강도는 약 $2,400\text{ kgf/cm}^2$ 을 나타내었다. 구조용 재료로서 Al_2O_3 세라믹스의 실용화 강도를 $1,960\text{ kgf/cm}^2$ 로 예상한다면,⁷⁾ 본 연구에서 제조한 Al_2O_3 세라믹스는 부품뿐만 아니라 구조용 재료로서도 실용 가능함을 예상할 수 있다.

$1,300^{\circ}\text{C}$ 에서 5시간 열처리한 20H5P5 소결체의 XRD 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. $1,300^{\circ}\text{C}$ 로 열처리한 소결체에는 출발원료에 함유된 장석의 피크가 관찰되지 않았는데, 이는 장석이 용융되어 비정질 상태의 액상을 형성하기 때문이다.⁸⁾

열처리 온도에 따른 20H5P5 소결체의 미세구조를 Fig. 9에 나타내었다. $1,200^{\circ}\text{C}$ 에서는 소결이 완전히 진행되지 않아 기공과 입자가 관찰되었으나, $1,300^{\circ}\text{C}$ 에서는 장석의

용융으로 형성된 액상이 기공을 메워 치밀한 조직이 관찰되었다.

4. 결 론

2 wt%의 stearic acid를 코팅한 세라믹 분말(65 wt% Al_2O_3 ·35 wt% 장석)에 결합제로 15, 20 및 25 wt%의 PW와 HDPE를 첨가하여 160°C 에서 2시간 혼합하였다. 혼합물의 걸보기 점도는 shear rate가 1000 s^{-1} 일 때 $80\sim 300\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 로 사출성형에 적합한 유동성을 나타내었으며, 결합제의 조성에 의존하였다. 결합제의 조성이 15H5P5(총 15 wt%의 결합제 중, HDPE/PW 비=5:5)인 사출성형 시편은 사출압력과 관계없이 short shot가 생성되었으나, 사출압력이 45 kgf/cm^2 인 20H5P5 사출성형 시편은 결합이 관찰되지 않았다. 사출성형 시편 중의 PW를 70°C 의 n-heptane 용매에서 5시간동안 침지하여 제거한 후, 450°C 에서 5시간 열처리하여 HDPE를 제거하였다. PW의 추출에 의해 형성된 연속기공을 통하여 HDPE의 효과적인 제거와 기계적 강도의 손상없이 사출성형이 가능한 결합제 조성은 20H5P5이었다. $1,300^{\circ}\text{C}$ 에서 5시간 소결한 20H5P5 시편의 부피비중은 2.8, 기공률은 3% 이하 및 3점곡강도는 약 $2,400\text{ kgf/cm}^2$ 으로 구조용 재료로서 사용이 가능하였다.

REFERENCES

1. M. Dubus and Bulet, "Rheological Behaviour of a Polymer Ceramic Blend," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **17** 191-96 (1997).
2. H. O. Lee and H. S. Song, "Ceramic Injection Molding," *Ceramics*, **8** [3] 249-57 (1993).
3. J. R. Fried, "Polymer Science and Technology," pp. 377-90, Ja-you Academy (1996).
4. I. J. Jin and Y. S. In, "Injection Molding of Silicon Nitride Powders," *Polymer*, **14** [5] 558-65 (1990).
5. H. T. Lim and D. S. Lim, "Effect of Molding Temperature and Debinding Conditions on Fabrication of Alumina Component by Injection Molding," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **32** [5] 559-66 (1995).
6. T. S. Cho, W. Y. Jeung, and T. J. Moon, "The Extraction of Paraffin Wax by n-heptane Solvent from Sr-Ferrite/Paraffin Wax/HDPE Composites for Powder Injection Molding," *Polymer*, **18** [6] 1013-20 (1994).
7. D. Y. Shin, S. M. Han, and K. N. Kim, "Sintering Properties Remewed Al_2O_3 Ceramics with Particle Size and Addition Amount of Recycling Powder," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **38** [12] 1123-31 (2001).
8. J. H. Park, M. I. Hyung, M. S. Kang, and C. K. Cho, "Densification Behaviors of Mullite with Addition of Feldspar Formed by Pressureless Powder Packing Forming Method," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **36** [2] 186-92 (1999).