

코디어라이트 허니컴 압출용 혼합체의 점성거동에 관한 연구

송용익 · 김형태 · 이진구^a · 윤원중^b · 류성수*

한국세라믹기술원 엔지니어링세라믹센터, ^a(주) 코캣 중앙연구소,
^b경원대학교 화학생명공학과

A Study on Rheological Behavior of Cordierite Honeycomb Extrusion Paste

Yong-Ik Song, Hyung-Tae Kim, Jin-Gu Lee^a, Won Jung Yoon^b, and Sung-Soo Ryu*

Engineering Ceramics Center, Korea Institute of Ceramic Engineering
and Technology, Icheon 467-843, Korea

^aKOCAT Inc., Seoul 153-801, Korea

^bKyungwon University, Seongnam 461-701, Korea

(Received December 29, 2009; Revised February 3, 2010; Accepted February 12, 2010)

Abstract The rheological behavior of a cordierite honeycomb extrusion paste was investigated by measuring torque values in a Brabender plastograph. The extrusion pastes were formulated using binder (methyl cellulose, MC), solvent (water), plasticizer (poly ethylene glycol, PEG) and lubricants (oleic acid, OA). The mixing sequence and optimum organic binder, at least for homogeneous mixed state, can be determined from the rheological point of view. 3%MC-30% H_2O -1.5%PEG-1.0%OA with respect to the cordierite powder was chosen as a binder composition for the extrusion process of cordierite powder.

Keywords : Cordierite, Extrusion, Rheology, Honeycomb

1. 서 론

석탄화력발전소, 도시쓰레기 소각로, 의료폐기물소각로 등에서 같이 고온공정에서 수은을 포함한 Br, Cr, Cu, Ni, Zn 등과 같은 중금속의 유해가스 및 먼지가 다량 배출되고 있으며, 최근 환경규제가 가속화됨에 따라 이러한 유해가스 및 먼지를 제거할 수 있는 고온용 세라믹 필터의 개발이 요구되고 있다[1, 2].

세라믹 허니컴(honeycomb)은 일종의 다공성 재료로써 구조적으로 강도를 증진시키고, 형태적으로 비표면적을 증대시켜 활성을 높이는 등의 장점을 가지고 있어서 자동차용 삼원 촉매 담체, 탈질용 촉매 담체, 용융금속용 필터 등으로 많이 쓰여져 왔으며, 최근에는 경유 자동차의 매연제거용 필터를 비롯한 다

양한 고온가스 흡착용 세라믹 필터의 유망한 재료이다. 그 중 코디어라이트(cordierite)는 열충격 저항성이 높고 열팽창율이 작아서 고온 특성에 좋으며, 가격이 저렴하여 고온용 필터로의 적용에 적합하다고 할 수 있다[3, 4].

세라믹 필터를 제조하는 성형방법으로는 고압성형(hot pressing), 주입성형(slip casting), 젤-캐스팅(gel-casting), 압출성형(extrusion) 등이 있으나, 허니컴은 그 형태가 원주형, 각주형, 블록형, 판산형, 타원주형 등으로 다양하고, 특히, 내부는 벌집형태로 성형되어야 하기 때문에 주로 압출성형법에 의해 제조된다[4].

일반적으로 코디어라이트를 포함한 세라믹 재료들은 대부분의 경우 자체 보습능력이 매우 낮기 때문에 압출성형공정을 위해서는 그 자체로는 성형성이

*Corresponding Author : [Tel : +82-31-645-1447; E-mail : ssryu@kicet.re.kr]

매우 낮다. 따라서, 세라믹원료에 가소성을 부여하기 위해서는 메틸셀룰로오즈(methyl cellulose, MC), 폴리비닐알콜(poly vinyl butylal, PVB), 에틸셀룰로오즈, 폴리비닐부티날 등과 같은 유기화합물 형태의 여러 성형조제가 사용되며, 그 중, 결합제 역할을 하면서 물 보습력이 있는 MC와 가소제와 습윤제를 사용하여 분말과 함께 혼합함으로써 성형성을 크게 향상시킬 수 있다[5].

압출을 위한 적정 유기바인더 조성 즉, MC의 분자량, 물과 MC의 비, 가소제 종류 및 함량, 윤활제 함량 등의 점성거동에 영향을 미치는 인자들을 어떻게 조절하는가가 추후 원하는 형상의 코디어라이트 제품을 압출성형하기 위해 매우 중요하다[6]. 그러나, 압출을 위한 분말과 유기바인더의 혼합체(이하, 압출 혼합체)의 점성이 매우 높아 일반적인 점도 및 점성 거동을 측정하기가 어려울 뿐만 아니라 이와 관련된 연구도 거의 이루어지지 않아 최적의 바인더 조성을 위해서는 실험적으로 결정하는 상황이다.

점도는 토크(torque)와 직접적으로 관계가 있기 때문에[7] 본 연구에서는 점도측정대신에 토크값을 실시간으로 측정함으로써 코디어라이트 분말과 유기바인더의 혼합과정 중에 압출혼합체의 점성거동을 조사하여, 압출공정을 위한 최적의 유기바인더 조성을 선정하고, 이렇게 얻어진 성형체에 대해 최종 코디어라이트 압출 소결체를 제조하고자 하였다.

2. 실험방법

허니컴의 주성분인 코디어라이트는 kaolin, talc, alumina를 적당한 비율로 혼합하여 1200°C 부근의 온도에서 합성 및 소결된다. 따라서, 여기에 사용되는 초기 원료의 순도, 형상(morphology) 등이 중요한 인자로서 최종의 코디어라이트의 여러 가지 물성

에 큰 영향을 준다. 본 연구에서는 비교적 최종 제품의 가격경쟁력을 위해 저가의 원료분말(중국산)을 출발원료로써 사용하여 기본 코디어라이트 조성인 $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ 에 대해 실험을 진행하였다. 표 1은 사용된 원료분말의 화학분석, 평균입도, 비표면적을 나타낸 것이다. 표에서 보여주는 바와 같이 kaolin은 SiO_2 와 Al_2O_3 가 주로 구성되었으며, 함수량이 14%정도 되어있고, Talc는 SiO_2 와 MgO를 주성분으로 하고 있음을 알 수 있다. 평균입도는 6~20.7 μm 범위로 다소 큰 입자를 사용하였다. 분말의 비표면적은 각각 2.25와 3.38 m^2/g 를 보이는 Talc와 알루미나와는 달리 kaolin의 경우에 20.65 m^2/g 으로 높은 값을 나타내었다.

코디어라이트 합성은 원료분말을 무게비로 Kaolin 15%, Calcined Kaolin 30%, Talc 40%, Al_2O_3 40% 조성이 되도록 칭량하였으며, 수계에서 밀링을 하여 혼합하였다. 칭량된 분말은 250cc 날젠(Nalgen) 병에 볼과 분말의 무게비를 10:1이 하여 직경 5 mm의 알루미나 볼과 함께 장입하였다. 분산을 위해 수계분산제를 1.0 wt% 첨가하였으며, 밀링속도는 160 rpm으로 하였고, 밀링시간은 20시간으로 하였다.

압출성형을 위한 점성 특성을 부여하기 위해 유기 바인더로는 메틸셀룰로오즈(methylcellulose, MC, 분자량 4,000, 삼성정밀화학)를 결합제로, PEG(분자량 6000, Yakuri, 일본)를 가소제로, 윤활제로는 Oleic acid(대정화학)를 사용하였다. 그리고, 용매로는 증류수를 사용하였다.

본 연구에서는 코디어라이트 분말과 유기바인더의 혼합시 점성거동을 조사하기 위해 소형의 스크류(screw) 믹서인 Plastograph(Brabender사, 독일)를 사용하였다. 본 믹서는 torque rheometer가 mixture head에 부착되어 있어 분말과 바인더의 혼합중 토크 값을 측정함으로써, 분말혼합체의 조성에 따른 점성

Table 1. The chemical composition, average particle size, specific surface area of raw powders used for the synthesis of cordierite ceramic in this study

| Raw Powder | Chemical composition (wt%) | | | | | | | | | 평균입도 (μm) | 비표면적 (m^2/g) |
|------------------|----------------------------|-----------|-------|------|--------|---------|---------|-----------|-------|---------------------|---------------------|
| | SiO_2 | Al_2O_3 | MgO | CaO | K_2O | Na_2O | TiO_2 | Fe_2O_3 | L.O.I | | |
| Kaolin | 46.10 | 37.50 | 0.09 | 0.11 | 0.14 | 0.59 | 0.74 | 0.64 | 14.10 | 13.7 | 20.65 |
| Calcined Kaolin | 44.30 | 38.90 | 0.10 | 0.21 | 0.21 | 0.50 | 0.71 | 0.78 | 14.30 | 14.6 | 17.78 |
| Talc | 54.00 | 2.06 | 31.40 | 2.94 | - | - | 0.06 | 0.78 | 8.51 | 20.7 | 3.38 |
| Calcined Alumina | 11.90 | 81.90 | 0.13 | 1.40 | 0.25 | 0.64 | 0.07 | 0.38 | 0.21 | 6.0 | 2.25 |

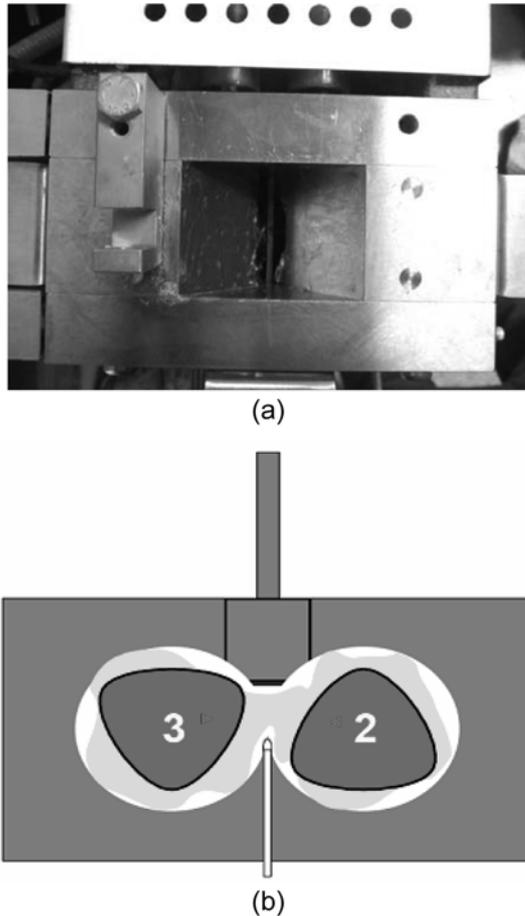


Fig. 1. (a) The head of a screw mixer introduced to investigate rheological behavior of the mixture of cordierite powder and organic binder (Plastograph, Brabender) and (b) a schematic of its cross section attached with a torque rheometer.

거동을 조사하고자 하였으며, 최종 압출성형 공정을 위한 최적 유기바인더 조성을 선정하고자 하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 Plastograph mixer를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 두 개의 스쿠류 사이에 분말과 바인더를 혼합하여 일정 회전속도에서 시간에 따라 토크값을 측정하였다. 그림 2는 이렇게 얻어진 전형적인 혼합시간에 따른 torque 값 변화에 대한 전형적인 그래프를 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 분말과 유기바인더의 혼합초기에는 혼합체의 점성이 거의 없기 때문에 매우 높은 토크값을 보이다가 시간이 증가함에 따라 토크값이 감소하면서 점차 정상상태(steady state)로 다가감을 알 수 있다.

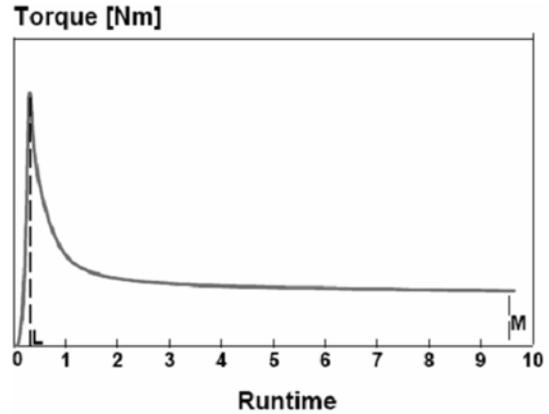


Fig. 2. A typical graph showing torque value for powder-binder mixture with mixing time using Plastograph mixer.

Plastograph mixer를 사용하여 유기바인더 변화에 따른 점성거동 조사를 위한 조성은 표 2에 나타내었다. 표 2에서 나타내는 바와 같이 결합제인 MC 함량, 용매와 결합제 비, 가소제의 함량 등을 변수로 압출성형체의 점성거동을 조사하였다. 이에 대한 자세한 실험내용은 다음과 같다. MC의 함량에 따른 점성거동을 조사하기 위해 용매(solvent)와 MC인 고분자 레진의 함량비(이하 S/R비)를 10으로 고정하고 코디에라이트 세라믹 분말(50 g)대비 MC 함량을 2, 4, 6%로 변화시켜 실험을 진행하였다. 이때, 가소제인 PEG는 MC 대비 100%로 고정하였으며, 습윤제인 oleic acid는 세라믹 분말대비 0.5%로 고정하였다. 또한, MC의 함량을 각각 2%, 3%, 4%에서 S/R비를 변화시키는 실험을 진행하였다. 그리고, 가소제의 함량에 따른 혼합거동을 조사하기 위해 0%, 50%, 75%로 변화시키는 실험을 병행하였다. 혼합시 회전속도는 50 rpm으로 고정하였으며, 온도는 18°C로 하였고, 혼합시간에 따른 토크값을 측정하였으며, 혼합이 끝난 후 압출혼합체의 균일한 혼합유무를 육안으로 관찰하였다. 또한, 조성 실험결과를 바탕으로 적절한 점성을 가지고, 혼합상태가 양호하다고 판단되는 조성에 대해 배치(batch) 함량을 50 g에서 200 g으로 증가하여 점성거동을 조사하였으며, 이 때, 윤활제인 Oleic acid 함량의 효과를 조사하였다.

유기바인더 조성 최적화 연구결과를 바탕으로 압출실험을 위한 적절한 바인더 조성이라 판단되는 조성으로 압출공정을 진행하였다. 압출을 위해서는 약 500 g의 분말 혼합체가 필요하며, 이를 위해 소형 믹

Table 2. Batch composition of organic binder for the investigation of rheological behavior of powder-binder mixture for extrusion in this study (wt%)

| Sample Name | S/R비 | MC함량 | Solvent (H ₂ O) | Plasticizer (PEG) | Dispersant (Oleic acid) | Batch Content(g) |
|-------------|------|------|----------------------------|-------------------|-------------------------|------------------|
| K01-B01 | 10 | 2.0% | 20.0% | 2.0% | 0.5% | |
| K01-B02 | 10 | 4.0% | 40.0% | 2.0% | 0.5% | |
| K01-B03 | 10 | 6.0% | 60.0% | 2.0% | 0.5% | |
| K01-B04 | 8 | 4.0% | 32.0% | 4.0% | 0.5% | |
| K01-B05 | 6 | 4.0% | 24.0% | 4.0% | 0.5% | |
| K01-B06 | 12 | 2.0% | 24.0% | 2.0% | 0.5% | |
| K01-B07 | 14 | 2.0% | 28.0% | 2.0% | 0.5% | 50 |
| K01-B08 | 8 | 3.0% | 24.0% | 3.0% | 0.5% | |
| K01-B09 | 10 | 3.0% | 30.0% | 3.0% | 0.5% | |
| K01-B10 | 12 | 3.0% | 32.0% | 3.0% | 0.5% | |
| K01-B11 | 10 | 3.0% | 30.0% | 0.0% | 0.5% | |
| K01-B12 | 10 | 3.0% | 30.0% | 1.5% | 0.5% | |
| K01-B13 | 10 | 3.0% | 30.0% | 2.25% | 0.5% | |
| K01-B14 | 12 | 2.0% | 24.0% | 1.0% | 0.5% | |
| K01-B15 | 10 | 3.0% | 30.0% | 1.5% | 0.5% | |
| K01-B16 | 8 | 4.0% | 32.0% | 2.0% | 0.5% | 200 |
| K01-B17 | 9 | 4.0% | 36.0% | 2.0% | 0.5% | |
| K01-B18 | 10 | 3.0% | 30.0% | 1.5% | 1.0% | |

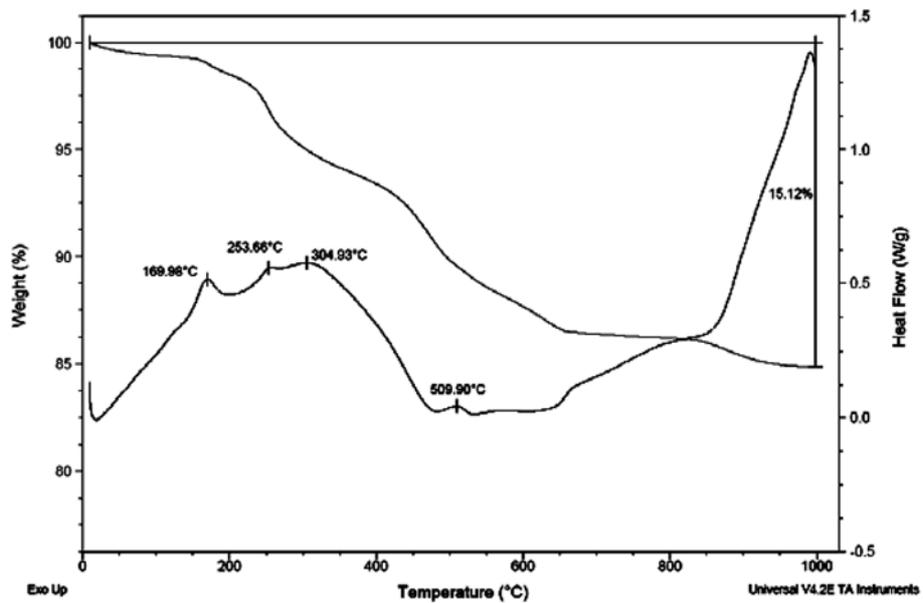


Fig. 3. TG-DTA analysis of cordierite extrusion mixture.

서를 통해 약 5회 순환공정을 거쳐 분말 혼합체를 제조하였다. 제조된 혼합체는 refrigerator에서 24시간 동안 aging 시킨 후 소형 2단 진공압출기를 통해 압

출성형체를 제조하였다. 성형체 형상은 내경 5 mm, 외경 10 mm의 튜브형 몰드를 이용하였으며, 100 cm 이상 압출을 함으로써 압출성을 간접 평가하였다.

건조된 압출성형체들은 그림 3의 열분석결과를 바탕으로 하여 500°C에서 3시간 유지시켜 탈바인딩 후 원하는 온도에서 다시 승온 후 소결을 진행하였다. 소결체의 흡수율과 기공율은 허니컴을 제조한 후 내부에 촉매를 코팅하기 위해 중요한 물성으로써 흡수율은 건조된 시편의 무게에서 물이 흡수된 시편의 무게를 나눈 값으로 나타내어지며, 아래의 식을 이용하였다.

$$\text{Water Absorption (\%)} = \frac{W-D}{D} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W는 포수무게이고, D는 건조무게이다.

기공률은 체적에 대한 개기공 (open pore)의 백분율로 나타내며, 아래식을 이용하였다.

$$\text{Apparent porosity (\%)} = \frac{(W-D)}{V} \times 100 \quad (2)$$

여기서, W는 포수무게이고, D는 건조무게, V는 소결체의 부피를 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 압출혼합체의 점성거동 결과

그림 4는 용매와 결합제인 MC 레진의 함량비(S/R)를 10으로 일정하게 한 후 MC함량변화(2%, 3%, 4%)에 따른 점성거동을 시간에 따른 토크값의 변화로 비교한 결과이다. MC 함량과 관계없이 분말과 바인더의 혼합 후 시간에 따라 토크 값 변화는 혼합

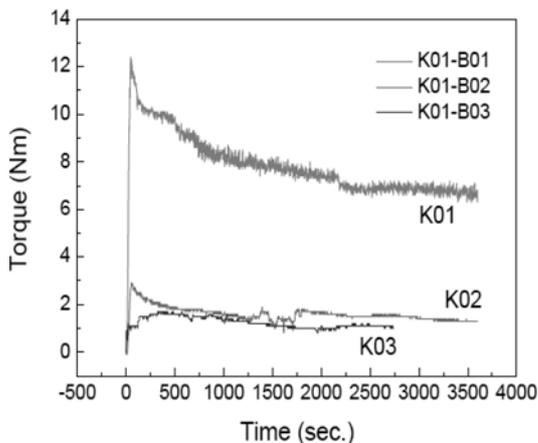


Fig. 4. Change of torque values with mixing time for cordierite powder-organic binder paste with different methylcellulose resin contents.

초기 급격하게 증가하다가 점점 정상상태(steady state)로 다가가는 거동을 보인다. 그 중 2.0% MC (K01-B01)의 경우 MC 함량의 부족으로 초기 12 Nm이상의 높은 토크값을 보이며, 시간이 증가함에 따라

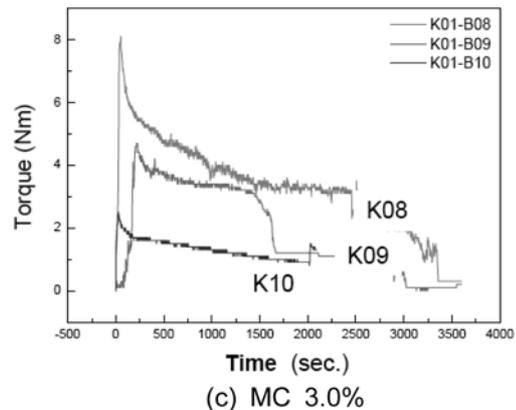
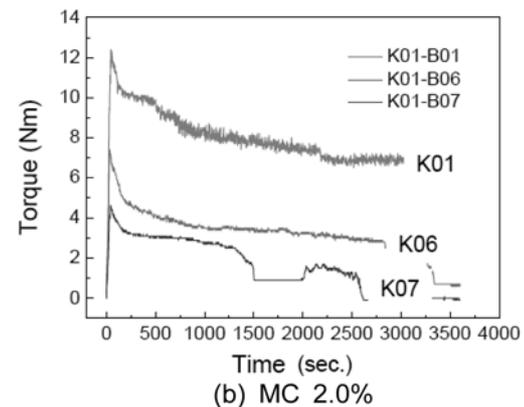
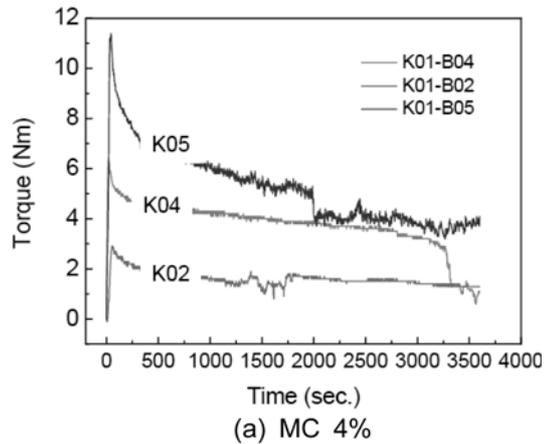


Fig. 5. Change of torque values for cordierite powder-binder mixture with weight ratio of solvent to methylcellulose resin.

라 6 Nm이상의 높은 값을 가지면 안정화되는 것을 알 있다. 그러나, MC 함량이 증가함(4%, 6%)에 따라 초기 토크값은 낮은 값을 보이며, 시간이 경과함에 따라 토크값이 2이하로 낮음을 알 수 있다. 이것으로 보아 MC함량이 증가함에 따라 분말 혼합체의 점성이 낮아지고, 가소성은 증가할 것으로 판단된다.

유기바인더에서 용매인 H₂O는 결합제인 MC를 용해하여, 세라믹 분말의 가소성을 부여하는 역할을 한다. 따라서, 바인더 조성에서 용매의 함량뿐만 아니라, 결합제의 함량과의 상대적인 비를 고려하여 적정 용매량이 결정되어야 한다. 따라서, 용매와 결합제인 MC 레진의 함량비(S/R)에 따른 혼합체의 토크값의 변화를 조사하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 그림 4에서 K02 조성을 기준으로하고, 4.0%의 MC 함량에 대해 S/R을 6(B05), 8(B04), 10으로 변화시키 후 토크값 변화를 비교한 것으로 S/R이 감소함에 따라 토크값은 증가하며, S/R이 6인 경우에는 초기 토크값이 급격증가하고, 시간이 경과하여도 높은 토크값을 유지함을 알 수 있으며, 혼합이 잘 되지 않음을 관찰할 수 있었다. 그림 5(b)의 경우에는 MC를 2.0%로 고정하고, S/R 값을 10에서 12, 14로 증가하면서 토크값 변화를 비교한 그래프로써, S/R이 10인 경우에는 혼합이 어려우며, S/R이 증가함에 따라 토크 값은 급격이 떨어지며, S/R이 14(K07)의 경우에는 시간이 증가함에 따라 토크값이 0에 근접함으로써 혼합하기에는 점성이 너무 낮은 상태를 보였다. 그림 5(c)의 경우에는 MC를 3.0%로

고정하고, S/R을 8, 10, 12로 변화하면서 토크값 변화를 비교한 그래프로써, MC 2.0%와 3.0%에서와 마찬가지로 S/R이 증가함에 따라 토크값을 감소하나, 상대적으로 비교적 좁은 범위에서 토크값 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

그림 6은 가소제 함량 변화에 따른 혼합시간에 따른 점성 거동을 조사한 결과이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 가소제가 MC대비 0%, 25%의 경우에는 유사한 혼합거동을 보이며, 50% 첨가시 토크 값이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 그러나, 50%이상 첨가시 분말과 바인더를 함께 혼합한 경우에는 그 거동 차이를 확인하기가 어려워 바인더 상태로 혼합하여 가소제에 따른 토크 값 변화를 비교하였으며, 이를 그림 7에 나타내었다.

그림 7은 코디어라이트 분말없이 유기바인더만을 혼합하여 가소제의 역할을 조사하고자 하였다. 그림에서 보여주는 바와 같이, 가소제가 없을 경우(KB01), 혼합시간이 증가함에 따라 분말과 바인더 혼합체에서와는 달리 토크값이 오히려 증가하고, 가소제가 50% 이상일 경우, 토크값이 거의 상승되지 않음을 알 수 있다. 그러나, 가소제가 결합제인 MC 함량에 대하여 100%의 경우에는 점성이 매우 떨어져, 유기물의 상호 혼합 후 바인더의 형태가 유지되지 않음을 육안으로 관찰할 수 있었다. 이 결과로부터 본 연구에서의 코디어라이트 압출공정시 가소제 함량은 결합제 대비하여 무게비로 50%를 첨가하였다.

코디어라이트 분말의 압출성형공정을 위해 스쿠루

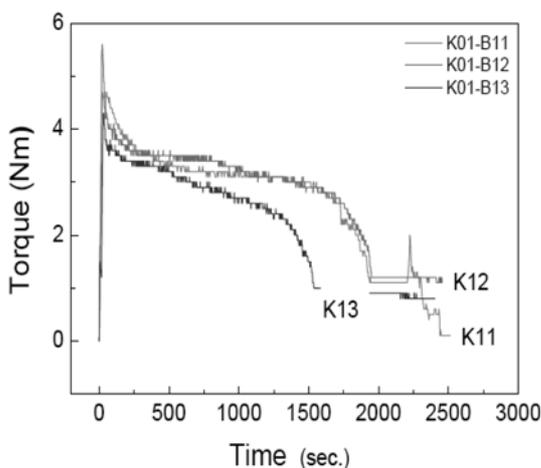


Fig. 6. Change of torque values for cordierite powder-binder mixture with plasticizer content.

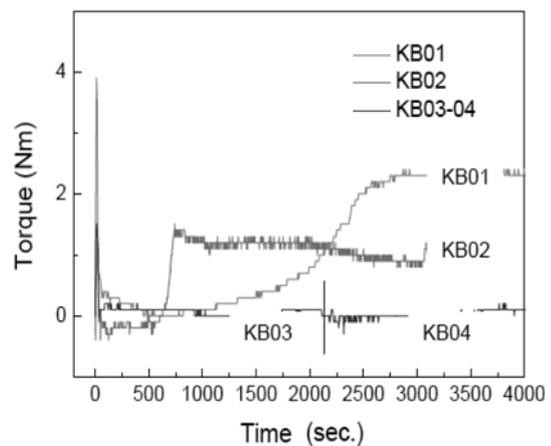


Fig. 7. Change of torque values for polymer binder mixture with plasticizer content.

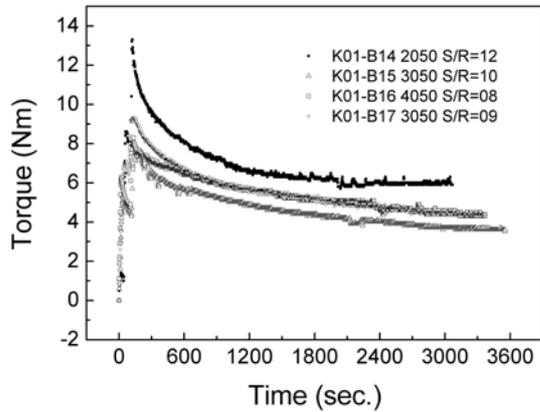


Fig. 8. The comparison of torque value as a function of mixing time after scale-up from 50 g to 200 g for powder-binder mixture with organic binder compositions characterized by the well-mixed state.

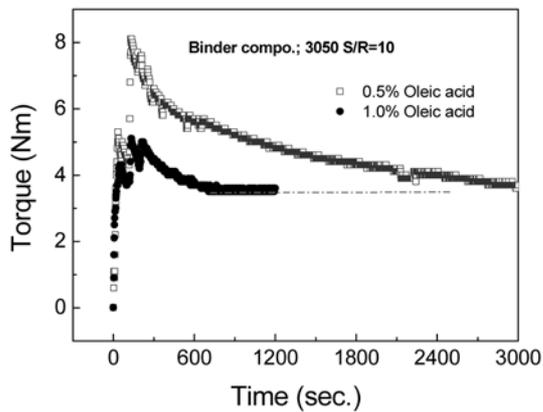


Fig. 9. Change of torque values with mixing time for cordierite powder-organic binder mixture with 0.5% and 1.0% oleic acids.

타입의 Plastograph mixer를 이용하여 코디어라이트 분말과 유기 바인더 혼합체의 혼합시간에 따른 토크값을 측정된 결과 및 육안상으로 최종 압출혼합체의 상태를 관찰한 결과로부터 토크값이 2~4 Nm의 범위가 되는 바인더 조성이 이후 본 연구에서 코디어라이트 압출공정을 진행하기에 적합할 것으로 판단하고, 이러한 범위에 있는 조성들에 대해 양산성을 고려하여 batch 함량을 50 g에서 200 g으로 증가하여 다시 혼합시간에 따른 토크값을 측정하였으며, 이를 그림 8에 나타내었다. 그림에서 보여주는 바와 같이 MC가 2.0% 일때는 토크값이 8 Nm이상으로 높게 나타났고, MC가 3.0%와 4.0%일때는 각각 S/R이

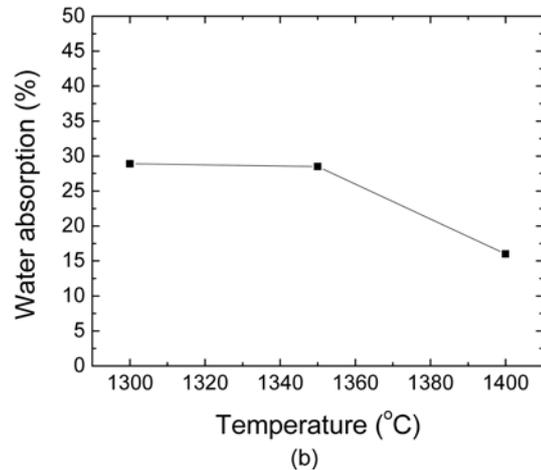
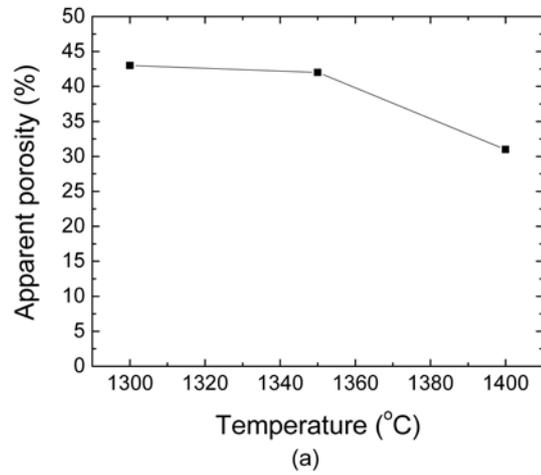


Fig. 10. (a) apparent porosity and (b) water absorption with sintering temperature for cordierite specimen produced by extrusion method which is sintered at 1350 for 3h in air.

10과 9인 조성에서 유사한 거동을 보임을 알 수 있다. MC가 3.0%에서 S/R이 10으로 증가시킨 경우 토크값은 4 Nm로 상대적으로 낮은 값을 보였다.

그림 9는 윤활제인 oleic acid함량의 효과를 조사한 것이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 oleic acid 함량을 분말대비 1.0% 첨가한 경우, 0.5% 첨가에 비해 초기 토크값이 낮고, 정상상태에 도달하는 시간도 짧음을 알 수 있었다. 따라서, 최종 압출성형을 위해 1.0%의 oleic acid를 첨가하였다.

이상과 같이 코디어라이트 압출을 위해 바인더 조성실험으로 MC 함량, S/R, 가소제 함량, 윤활제의 함량 등에 대한 점성거동을 조사한 결과로부터, 코디

어라이트 분말 100%에 대해 무게비로 MC는 3%, 가스제 1.5%(MC의 50%), Oleic acid 1.0%, 용매와 결합제의 무게비인 S/R은 10인 유기바인더 조성을 압출성형을 위한 최종 조성으로 선정하였다.

3.2. 코디어라이트 압출성형체의 소결결과

그림 10은 압출 시편에 대한 소결온도에 따른 흡수율과 기공율을 나타낸 그래프이다. 그림에서 10(a)에서 보여주는 바와 같이 기공율은 1300°C와 1350°C에서 소결시편의 경우 40% 이상으로 높은 값을 보였으며, 1400°C에서 소결후에는 밀도증가로 인해 약 31%로 감소하였다. 그림 10(b)의 흡수율 또한 기공율 변화 경향과 유사하며, 1300°C와 1350°C소결 후에 28%에서 1400°C에서 16%로 감소하였다. 이러한 본 연구에서의 40% 이상의 기공율과 28%의 흡수율은 기존의 결과[4]와 유사한 값으로 허니컴 재료로서의 응용가능성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

스쿠류타입의 Plastograph mixer를 이용하여 코디어라이트 분말과 바인더 혼합체의 토크값 측정으로부터 압출공정을 위한 최적의 유기바인더 조성을 선정하고자 하였다. 이를 위해 바인더 조성실험으로 메

틸셀룰로오즈 함량, 용매와 메틸셀룰로오즈 함량비, 가스제 함량, 윤활제의 함량 등을 달리하여 압출혼합체 대한 점성거동을 조사하였다. 그 결과 코디어라이트 분말 100%에 대해 무게비로 MC는 3%, 가스제 1.5%(MC의 50%), Oleic acid 1.0%, 용매와 결합제의 무게비인 S/R은 10인 유기바인더 조성을 압출성형을 위한 최종 조성으로 결정하였다. 이를 적용하여 압출공정을 통해 제조된 코디어라이트는 40%이상의 기공율과 약 28%의 흡수율을 보임으로써 허니컴의 응용 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] J. D. Chung: Environ. Eng. Res., **2** (1997) 33.
- [2] Y. Sawada, K. Hiramatsu, H. Kawamoto, T. Araki, M. Yamada and J. Iida: Gas Cleaning at High Temperat, **2** (1999) 393.
- [3] F. A. Costa Oliveira and C. J. Fernandes: Ceram. Int., **28** (2002) 79.
- [4] A. Yamuna, R. Johnson, Y. R. Mahajan and M. Lalithanbika: Journal of the European Ceramic Society, **24** (2004) 65.
- [5] 조항근, 남승하: 요업기술, **12** (1997) 20.
- [6] P. Forzatti, D. Ballardini and L. Sighicelli: Catalysis Today, **41** (1998) 87.
- [7] R. N. Das, C. D. Madhusoodana and K. Okada: Journal of the European Ceramic Society, **22** (2002) 2893.