

G6 : 유리 및 비정질 세라믹스

G6-1 | 구형 글래스 소재를 위한 에어로졸 공정

*강윤찬¹

¹고려대학교

에어로졸 공정은 금속, 글래스, 세라믹 및 이들의 복합소재 등 다양한 조성을 가지는 소재들의 대량 합성 공정으로서 최근에 많은 관심의 대상이 되고 있다. 금속, 세라믹 등의 분말 소재는 다양한 액상 및 고상 합성 공정들이 개발 된 반면에, 고온의 용융 과정이 반드시 필요한 글래스 소재는 전통적인 용융 공정으로 대부분의 분말들이 합성되고 있다. 에어로졸 공정은 기상공정으로서 고온 적용이 가능하기 때문에 응집이 없는 구형의 글래스 분말 소재 합성이 가능하다. 에어로졸 공정 중에서도 용액을 미세한 액적으로 분무하고, 기상에서 건조, 분해, 용융, 냉각 과정을 거쳐 글래스 분말 소재를 합성하는 분무열분해 공정은 서브마이크론 크기의 미세한 구형 글래스를 합성할 수 있는 유일한 공정으로 최근에 관심의 대상이 되고 있다. 본 강연에서는 분무열분해 공정에 의한 글래스 소재 합성 기술, 구형 글래스 형성 기구, 구형 글래스 소재의 활용 등에 대해 발표한다.

G6-2 | 다중유리 3D 프린팅 기술 개발

최순룡¹, *문형수¹, 윤희숙²

¹코닝정밀소재, ²한국재료연구원

3D printing or additive manufacturing of glass recently draws attentions as this allows for forming complex shapes made of glass, which are otherwise difficult to make with traditional forming processes, while keeping the superior inherent properties of glass such as mechanical strength, thermal- and chemical-durability, compositional tunability, and optical transparency. Multi-material 3D printing technology further explores the material design capability using glass as well as its potential functionalities. KIMS (Korea Institute of Materials Science) proprietary multi-material 3D printing technique has successfully demonstrated various 3D structures printed with multi-ceramics and with different functionalities. In collaboration with KIMS, this study suggests an approach of forming 3D complex structure with designed material properties by combining multi-material printing technique and selecting combinations of glass compositions to print. One simple embodiment of the 3D designed multi-glass structure shown in this study is the core-shell structure with two different compositional glasses having dissimilar glass transition temperature (T_g) and thermal expansion coefficient (CTE). Selecting combinations of glass compositions or its modification is important as this determines not only the co-sintering capability without cracking during the binder burn-out or sintering step or immature sintering of one of the glass compositions but also the mechanical properties of the sintered 3D parts—imparting compressive

residual stress in the shell layer which then results in higher fracture resistance. The hardness value of the fully sintered multi-glass core-shell structured part is shown to be equivalent to that of the chemically strengthened parts by ion exchange. For effective multi-glass precision 3D printing and its co-firing, one must consider the thermal properties, physical properties, particle properties, and sintering behavior of those multiple compositional glasses to print.

G6-3 | Mixed-Alkali Effect in Borate Glasses

YEO Tae-min¹, *CHO Jung-wook¹

¹Pohang University of Science and Technology

The mixed-alkali effect, characterized by non-linear variations in transport properties and glass transition temperature (T_g), has been extensively studied in glass science. This investigation focuses on mixed-alkali borate glasses to elucidate the complex interplay between T_g , fragility, and structural properties. Differential scanning calorimetry (DSC) is utilized to determine T_g and fragility, while nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) provides structural insights. The results demonstrate a consistent negative deviation in T_g and fragility with alkali mixing, regardless of the alkali combinations or total alkali oxide content. Notably, the maximum deviation in T_g consistently occurs at the midpoint of mixing, in agreement with the matrix-mediated coupling model. The ratio of tetrahedral boron units (N_4) does not exhibit significant variations with alkali mixing, underscoring the influence of mixed alkalis themselves on glass properties. Additionally, no clear relationship is observed between the fragility deviation and T_g deviation, indicating that the depression of fragility is not solely attributed to the depression of T_g , in contrast to previous research. These results contribute to a deeper understanding of the mixed-alkali effect and its impact on glass properties in alkali borate systems, providing valuable insights for the design and development of functional glasses.

G6-4 | ZnO를 함유한 붕규산염계 유리의 용출성, 제타전위 및 항균 특성간의 관계

황민성^{1,2}, *정재엽²

¹부산대학교, ²한국세라믹기술원

항균유리 개발은 여러가지 보건 이슈들과 위생과 관련하여 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 ZnO를 함유하고 있는 붕규산염계 유리의 조성, 용출성, 제타전위, 항균활성 같은 특성과의 상관관계를 분석하였다. $20\text{Na}_2\text{O}-30\text{ZnO}-x\text{B}_2\text{O}_3-(50-x)\text{SiO}_2$ ($x=10, 20, 30, 40$ mol%) 유리를 제작하여

용출성과 항균력 간의 상관관계를 분석하였다. 제타전위와 항균력 간 상관관계를 확인하기 위해 $20\text{Na}_2\text{O}-30\text{ZnO}-10\text{B}_2\text{O}_3-40\text{SiO}_2$ 및 $20\text{Na}_2\text{O}-30\text{ZnO}-40\text{B}_2\text{O}_3-10\text{SiO}_2$ 유리에서 Na_2O 를 5 및 10 mol%의 CaO 로 대체하였다. SiO_2 가 풍부한 조성보다 B_2O_3 가 풍부한 조성에서 더 많은 Zn^{2+} 이온이 방출되었고 B_2O_3 농도가 증가할수록 항균력이 향상되었다. CaO 를 함유한 유리의 표면 제타전위는 더욱 증가하였으며 항균력 또한 향상되었다. 유리구조 분석을 통해 유리 조성과 용출성 간 상관관계를 분석하였고, 항균력은 ROS(활성산소) 양을 기준으로 분석하였다. $\text{SiO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$ 비율이 가장 낮은 조성이 가장 높은 용출성과 99.9%의 항균력을 보였다. 또한, $10\text{CaO}-10\text{Na}_2\text{O}-30\text{ZnO}-10\text{B}_2\text{O}_3-40\text{SiO}_2$ 유리는 Zn^{2+} 이온의 제한된 방출에도 불구하고 99.9%의 항균력을 나타냈다. 따라서 유리의 표면 제타전위를 조절함으로써 항균력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

G6-5 | GMP 공정용 $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$ 계 유리의 조성에 따른 물성 및 구조분석

홍석진¹, *정운진¹

¹공주대학교

최근 광통신 및 고분해능 카메라 등 정밀 광학 소자의 발전으로 인해 소형 고굴절 광학렌즈의 이용이 확대되고 있다. 특히, 경제성 확보를 위해서는 Glass Molding Press (GMP) 공정에 적합한 고굴절 렌즈 유리 소재의 확보가 필수적이다. 기존의 고굴절 유리 조성은 대부분 Gd_2O_3 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , La_2O_3 등의 고비중 산화물을 중심으로 구성되어 있으며, 특히 $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Ta}_2\text{O}_5$, $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 와 같은 lanthanum borate계 유리가 우수한 광학적 특성과 낮은 성형온도로 인해 폭넓게 사용되어 왔다. 그러나, 일반적인 lanthanum borate계 유리는 화학적 내구성이 취약하고 유리 성형 범위가 제한되어 SiO_2 또는 ZnO 와 같은 유리 안정화 요소가 필요하다. 이에 따라, $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Ta}_2\text{O}_5$ 또는 $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Nb}_2\text{O}_5$ 또는 $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$ 를 기반으로 한 3성분계 또는 4성분계 유리에 대한 보고는 있었으나, ZnO 를 주성분으로 하는 $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$ 4성분계 유리 system의 조성에 따른 광학적, 열적 특성 및 구조변화에 대한 체계적인 연구는 보고되지 않았다. 본 연구에서는 GMP용 고굴절 유리 system으로 $\text{B}_2\text{O}_3-\text{La}_2\text{O}_3-\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{ZnO}$ 기반의 4성분계 유리 system에서의 유리 형성 영역을 탐색하고 광학적 및 열적 특성을 평가하였다. 형성된 유리의 열적 특성은 DTA를 통해 확인하였으며, 조성 변화에 따른 굴절률과 밀도 변화를 측정하였다. 또한, 조성에 따른 구조 변화를 확인하기 위해 Raman spectroscopy 및 NMR 분석을 실시하였으며, 이를 통해 유리 조성에 따른 구조적 변화와 이와 연관된 물성 변화의 설명을 시도하였다.

G6-6 | Rietveld refinement를 통한 도자기의 비정질상 정량분석

김지인^{1,2}, 안계석², INADA Miki³, HIROAKI Katsuki¹, 김종영¹, *피재환¹

¹한국세라믹기술원, ²경기대학교, ³ Kyushu University

비정질상을 정량평가하기 위해서는 PXRD, TGA-DSC, TRS

(Transmission Raman spectroscopy), ss-NMR 등의 방법이 활용되고 있다. 이 중에서 PXRD가 단순성과 용이성으로 인해 가장 널리 사용되는 정량기법 중 하나이다. PXRD를 활용한 정량 분석 방법으로는 RIR (Reference Intensity Ratio) method와 Rietveld refinement법이 있다. 특정 peak를 사용하는 RIR method보다는 전체 패턴을 사용하는 Rietveld refinement가 정확도에서 더 유리하기 때문에 Rietveld refinement를 통해 결정질을 정량 분석하여 비정질상을 정량 평가하는 것이 일반적이다. 본 실험에서도 비정질량을 계산하기 위해 ZnO 를 내부표준물질로 혼합하여 평가하였다. 그러나 세라믹 소결체 내부에는 비정질상과 결정질상의 계면 영역도 존재하고 이들이 결정질상 정량 평가에 활용되는 Rietveld refinement에 어떠한 영향을 미치는지에 관해서는 연구가 부족하고 또한 비정질상 정량평가에 어떻게 보정되어야 할지에 대해 연구가 필요하다. 비정질상은 일반 세라믹의 강도 저하의 원인으로, 세라믹 소결 촉진제로 사용되는 장식, 석회석 등의 저용점 원료들이 비정질상 생성을 촉진시킨다. 이에 Rietveld refinement를 활용하여 비정질상을 정량적으로 평가하여 세라믹의 물성변화 평가에 활용 가능하다. 하여 본 실험에서는 비정질상을 생성하는 장식 계열의 용체를 대신하여 첨가한 bone ash가 비정질상 및 결정질상에 미치는 영향에 대해 평가한 결과를 공유하고자 한다.

G6-7 | 고효율 및 심미성 향상을 위한 건물 일체형 태양광 유리 연구

*김정환¹

¹동아대학교

현재 태양광 시스템은 전 세계적으로 지속 가능한 발전과 온실가스 감축을 위한 노력으로 빠르게 확대되고 있습니다. 특히 건물일체형 태양광 (BIPV) 시스템은 가까운 미래의 제로 에너지 건물 수요를 충족하기 위한 강력하고 다용도의 솔루션으로 각광받고 있습니다. 이러한 관점에서 BIPV는 건물의 기후 환경 내에서 태양 에너지를 수집하여 전기를 생산하는 태양전지를 통합하는 미적, 경제적 및 기술적인 해결책을 제공합니다. 본 발표에서는 BIPV 시스템의 개요와 함께 다양한 사용 가능한 재료와 응용 분야에 대해 논의합니다. 더 나아가, 색상을 갖춘 BIPV 모듈의 성능과 특성을 평가하기 위해 다양한 색상이 적용된 BIPV 모듈과 일반 BIPV 모듈 간의 성능을 비교 분석하였습니다. 이를 통해 색상이 BIPV 시스템의 성능과 미적 요소에 미치는 영향을 평가하고자 하였습니다.

G6-8 | Development of halide-based glass-ceramic electrolyte for all-solid-state batteries (ASSBs)

PARK Young Ji^{1,2}, KANG Tae Wook¹, LEE YounKi², *KIM Sun Woog¹

¹Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology,

²Gyeongsang National University

All-solid-state lithium-ion batteries using inorganic solid-state electrolytes instead of organic liquid electrolytes

are expected to be the next-generation batteries due to their high electrochemical stability, non-flammability, reliability, long cycle performance, high energy density, and applicability for large-scale batteries in electronic devices. Especially, Glass-ceramic electrolytes have garnered significant attention due to their impressive ionic conductivity, wide potential window, absence of leakage and environmental impact, robust chemical stability, and non-flammable characteristics. In this study, based on the $\text{Li}_2\text{O-LiX}$ ($\text{X} = \text{Cl}$ or Br)- $\text{B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ glass system was developed by adjusting the content ratio of B_2O_3 and Al_2O_3 . The glass matrix was prepared through the conventional melt-quenching technique. The halide-based glass was sintered at 530°C (T_c -Crystalline temperature) for 6hr. The XRD pattern of the glass-ceramic solid electrolyte sample was identical to the single phase of $\text{Li}_4\text{B}_4\text{Al}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$. Owing to its high crystallinity and density, the halide-based glass-ceramic electrolyte (LBACL-electrolyte) exhibited a total ionic conductivity of 1×10^{-4} S/cm. Finally, the assembled coin cell with the LBACL-electrolyte, LiCoO_2 as cathode, and Li foil as anode was charged and discharged by using a battery cyler.

G6-9 | 조성비 변화 및 이온 교환에 따른 $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 유리의 기계적 물성 분석 및 MD simulation을 통한 구조 해석

박성영¹, 박경대¹, *정운진¹

¹공주대학교

Sodium alumino-silicate (SAS)계 유리는 열특성이 우수하며, 이온 교환을 통한 화학 강화 후 표면 압축 강도가 형성되어 기계적 특성이 증진된다. 이로 인해 태양전지 커버 유리 및 다양한 모바일 디스플레이용 커버 유리로 널리 사용되고 있다. 유리의 이온 교환 특성은 유리의 기계적 특성을 결정하며, 유리 조성에 따라 좌우되므로, 조성에 따른 유리 구조 변화 및 화학 강화 특성 변화에 대해 이해하는 것이 중요하다. 최근 본 연구진이 수행한 SAS 유리의 압축 강도(CS)와 침투 깊이(DOL)에 대한 B_2O_3 의 영향에 대한 연구에 따르면, B_2O_3 의 구조적 역할에 의해 이온 교환 시 K^+ 이온의 확산 속도가 느려지며 DOL은 감소하는 것을 확인하였다. 그러나, CS 및 DOL은 유리 망목 구조를 결정하는 주요 성분인 SiO_2 , Al_2O_3 및 Na_2O 에 의해서도 크게 변화되므로, 최적의 화학 강화 조성 탐색을 위해서는 이들의 변화에 따른 유리 구조 및 화학 강화 특성 변화에 대한 상관 관계를 이해해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 기준 조성으로부터 SiO_2 , B_2O_3 농도를 각각 57.5 mol%, 2.5 mol%로 고정하고, Al_2O_3 , Na_2O 함량을 변화시켜 $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ 기반 유리를 제조하였다. Pt-10%Rh 도가니에서 기존의 용융-급냉법으로 유리를 제조하고 열적 및 기계적 특성을 분석하였다. 유리 표면의 이온 교환

과정을 통해, 이에 따른 화학 강화 특성 및 Vickers hardness, Young's modulus 등의 기계적 특성을 평가하고 Raman, NMR, XPS 분석을 통해 조성에 따른 구조 변화를 관찰하였다. 또한 MD simulation을 통해 조성에 따른 유리 내 구조 변화를 예측하였으며, 이를 통해 화학 강화 특성과의 관계를 설명하고자 하였다.

G6-10 | 비침지 건식 이온교환 공정을 위한 스프레이 도포용 슬러리 분석

이진혁¹, 이지인¹, 고세영¹, 박상우¹, *최용규¹

¹한국항공대학교

화학강화 유리의 구현을 위한 이온교환 공정은 공히 용융 알칼리 염에 해당 유리를 침지하여 유리 내부에 존재하는 알칼리 이온을 이온반경이 더 큰 알칼리 이온으로 치환하는 방식의 침지 습식 공정이 주를 이루고 있으나, 이러한 공정은 다량의 폐 알칼리염 발생에 의한 환경오염 문제를 유발하며 연속공정의 적용이 어렵다는 단점을 가진다. 반면, 이에 대비되는 비침지 건식 공정의 경우 알칼리염을 포함하는슬러리 또는 페이스트를 유리 표면에 분사 또는 도포하여 임의의 위치에 도포막을 형성하고 후속 열처리를 통하여 유리 표면부에 압축응력을 부여하게 된다. 이러한 비침지 방식 이온교환에 대한 기존 연구는 주로 카올리나이트 계열 점토 입자를 지지체로 활용하여 실시되었으나, 해당 점토류 입자의 조성 및 형태로 인하여 이온교환 후 의도하지 않은 변형 및 표면의 오염이 발생하는 등의 문제가 보고된 바 있다. 이에 해당 문제점들을 해결하기 위한 방안으로서, 본 연구에서는 단순 이성분계 금속산화물 입자를 도입하여 침지 방식에 준하는 이온교환의 균일도 및 표면 품질을 얻고자 하였다. 구체적으로 본 연구에서는 기존 비침지 이온교환 공정에 적용되는 점토류 기반 지지체를 대체할 수 있는 새로운 금속산화물 입자를 다양한 기준을 설정하여 도입하고자 하였으며, 본 발표에서는 서로 상이한 금속 산화물 지지체입자가 나타내는 효과를 유리의 표면 품질 및 표면 압축응력/이온교환 깊이 등의 측면에서 상호 비교한 결과를 보고하고자 한다.

G6-11 | 위치선택적 이온교환을 통한 실리케이트 유리의 거시적 변형

박상우¹, 이지인¹, 고세영¹, 이진혁¹, *최용규¹

¹한국항공대학교

실리케이트 조성의 판유리는 유리소재 특유의 점탄성 변형 거동 특성을 활용하여 형상의 변형을 유도한다. 일례로, 스마트폰의 커버 윈도우에 채용되는 3D 곡면 유리 및 자동차의 정보 디스플레이에 적용되는 곡면 커버 윈도우 유리 공히 적절한 온도에서 기계적인 압력을 부가하여 해당 변형을 달성한다. 한편, 이온반경이 서로 상이한 알칼리 이온 사이에 발생하는 상호확산을 통하여 표면부에 압축응력을 부여하는 화학강화 공정에서 '위치 선택적' 이온교환을 효과적으로 발생시키면 해당 판유리를 적절한 형태로 변형시킬 수 있게 된다. 기존 용융 알칼리염에 침지하는 방식의 이온교환 공정의 경우 '위치 선택적' 이온교환의 구현이 매우

난해함은 주지의 사실이다. 이에 본 연구에서는 스프레이 분사 또는 페이스트 도포 방식의 건식 이온교환 공정을 적용하여 '위치 선택적' 이온교환을 통한 판유리의 거시적 변형이 효율적으로 제어 가능함을 제안하고자 하며, 이를 위하여 상이한 조성, 두께 및 중형비를 가지는 실리케이트 판유리를 대상으로 도포막 형성 위치 및 이온교환 조건 등을 변화시킴에 따라 발생하는 유리의 거시적 형상 변화 사례를 소개한다.