

A Resistance Property Against High Velocity Impact on Oxynitride Glasses

Chang Wook Kim[†] and Hyung-Bock Lee

Department of Materials Science and Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea
(Received September 22, 2006; Accepted October 6, 2006)

질화유리의 고속충돌 저항물성

김창욱[†] · 이형복

명지대학교 신소재공학과
(2006년 9월 22일 접수; 2006년 10월 6일 승인)

ABSTRACT

Several oxynitride glasses were fabricated by means of adding Si_3N_4 powders as nitrogen source to Ca-Al-Si-O-N (CAS) and Mg-Al-Si-O-N (MAS) glass powders, and heat-treated in graphite crucible at 1600°C for 1 h. The physical and mechanical properties as well as impact resistance were generally increased and compared with each other. The impact resistance properties of those manufactured glasses were evaluated by DOP (depth of penetration) method which is a way to analyze armor materials. There were two means to be used herein; the copper jet impacted at hyper velocity by exploding K215 warhead and tungsten heavy alloy (WHA) impact bar at high velocity by firing in 30 mm solid propellant gun. The impact resistance properties against copper jet were increased and then decreased with increasing nitrogen content, while those against WHA bar were not changed apparently with nitrogen content.

Key words: Oxynitride glass, Mechanical properties, Impact resistance property, Copper jet, Tungsten impact bar

1. 서 론

질화유리는 산화물 유리에 비해 물리적, 화학적 특성 및 내열성이 우수하며, 질소 함침이 유리의 성질을 다양하게 변화시킨다는 관찰로부터 희귀한 성질을 갖는 새로운 유리 군이 개발될 수 있다는 가능성을 보여주고 있다.¹⁾ 질화유리는 플라스틱의 보강용으로 사용될 수 있으며, 고인성, 고강도 복합체의 질화유리 섬유 그리고 고영울, 고내열성을 갖으면서 화학적 내구성이 큰 유리를 제조할 수 있다. 아울러 화학적 내구성이 커짐에 따라 유해 중금속 폐기물과 방사성 폐기물의 고화 유리로의 적용 가능성도 갖고 있다. 이러한 고인성, 고영울의 질화유리는 Al_2O_3 및 SiC 계열의 세라믹스에서 영울 혹은 경도, 강도가 증가하면 재료의 고속충돌 저항물성이 증가³⁾한다는 연구결과부터 일반 유리에 비하여 고속충돌 저항성능이 향상될 가능성을 갖고 있다.

유리의 고속충돌 저항물성에 대한 연구는 텅스텐 충격봉이 유리에 충돌되었을 때 균열 및 충격파의 전파속도에 관한 연구⁴⁾를 비롯하여 유리 및 세라믹스의 고속충돌 저항물성 측정^{5,6)} 등이 있다.

본 연구에서는 일반 산화물 유리에 비해 기계적 물성

이 우수한 질화유리의 고속충돌에 대한 저항물성을 연구하기 위하여 산화물 유리 분말과 질화규소 분말을 혼합하여 열처리함으로써 질화유리를 제조하였으며, 산화물 모유리와 질화유리의 기계적 물성과 고속충돌 저항물성을 측정하여 비교연구하였다.

2. 실험 방법

2.1. 모유리의 조성 및 제조

$\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (CAS)계 및 $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (MAS)계 유리에서 각각 한 가지 조성의 모유리를 선택하였다. Loehman⁷⁾은 옥시나이트라이드계 유리의 유리 형성영역을 표시한 상 평형도를 제시하였는데 유리 형성영역 중에서 SiO_2 의 함량이 낮을수록 Si_3N_4 의 용해도가 크다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 Loehman이 제시한 조성 중에서 각기 SiO_2 의 함량이 최소량이 되도록 하여 유리 중에 Si_3N_4 의 용해도를 높일 수 있도록 하였다.

CAS계 유리의 출발원료인 CaCO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$, SiO_2 및 MAS계 유리의 출발원료인 MgO , $\text{Al}(\text{OH})_3$, SiO_2 를 정해진 조성비가 되도록 칭량하여 건식 불 밀링으로 혼합하였다. 불 밀링하여 혼합된 분말은 용융 도가니에 장입 효율을 높이기 위하여 직경 50 mm의 몰드에서 성형하여 두께 10 mm 정도의 성형체로 제조하였다. 성형체를 내용적 300 cc의 백금도가니에 채워 넣고 용융하였다. 용융된 유

[†]Corresponding author : Chang Wook Kim
E-mail : changwkim@mju.ac.kr
Tel : +82-31-330-6459 Fax : +82-31-330-6457

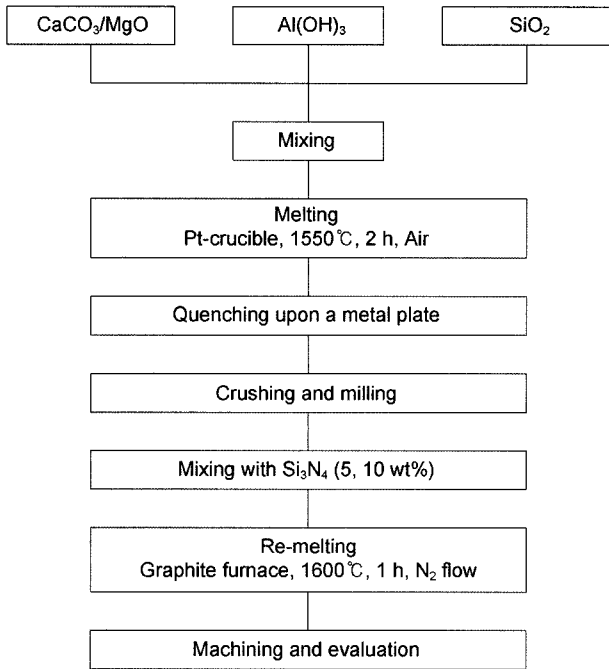


Fig. 1. Flow diagram of experiment.

리는 1550°C에서 약 2시간 동안 유지하여 균일한 유리상이 얻어지도록 하였다. 질화유리 제조와 평가를 위한 실험방법을 Fig. 1에 간략히 나타내었다.

2.2. 분쇄 및 혼합

용융된 유리는 분쇄가 용이하도록 금속판 위에 부어서 공기 중에서 냉각한 후, 분쇄와 건식 밀링으로 180 μm 이하의 모유리 분말을 제조하였으며, 모유리 분말에 소정의 Si₃N₄를 첨가하여 다시 건식 밀링하여 혼합분말을 제조하였다. CAS계와 MAS계 유리에 Si₃N₄ 첨가량을 달리하여 시편의 혼합분말을 제조하였으며, Table 1에 각 시편의 조성을 나타내었다.

2.3. 재용융

재용융시에는 120×120×80 mm³의 흑연도가니를 사용

하였다. 흑연도가니는 BN 슬러리로 코팅하였다. BN의 코팅 정도에 따라서 시료 표면에서의 반응에 의한 기포의 생성 정도가 현저히 달라짐으로 BN으로 균일하게 코팅하여야 한다. 도가니와 시편의 분리를 용이하게 하기 위하여 도가니를 BN으로 코팅한 후 흑연지(graphite sheet)로 안감을 낸 후 다시 BN으로 코팅하였다. BN의 코팅은 두껍게 하는 것이 보다 효과적이었다. 이처럼 코팅된 도가니에 혼합 분말을 두드려(tapping) 충전한 후 노내에 장입하였다.

재용융은 질소분위기의 흑연 발열체 노에서 행하여졌으며 1600°C에서 1시간 용융 후 노내에서 냉각하였다.

2.4. 평가

2.4.1. X-Ray Analysis

제조된 유리에 존재하는 결정상을 분석하기 위하여 CuKα를 target으로 하여 X-선 분석을 행하였다.

2.4.2. 질소 함유량 측정

산소/질소분석기(oxygen/nitrogen analyzer; Leco TC436)를 이용하여 유리 속의 질소 함유량을 조사하였다. 질소 함유량을 조사하기 위하여 유리를 가는 분말로 분쇄한 후 이를 여분의 SiO₂ 분말과 혼합하여 농도를 낮추어 시료를 제조한 후 유도로(induction furnace)에서 가스화하여 운반매체인 He 가스를 통과하는 column의 열전도도를 측정하는 방식으로 행하였다.

2.4.3. 기계적 물성 측정

밀도는 가스식 밀도측정기(Micrometritics, AccuPyc1330)를 사용하여 측정하였으며, 압축강도를 측정하기 위한 시편은 10×10×5 mm³의 크기였으며, 분당 5 mm의 cross-head speed로 측정하였다.

영율의 측정에는 10 MHz 압전 트랜스듀스를 이용하여 시편에서의 초음파의 종파(V_l)와 횡파(V_t) 속도를 측정하고, 이에 먼저 구하여진 밀도(ρ_s)와 다음의 관계식(1)을 이용하여 탄성률(E)을 구하였다.

$$E = \frac{\rho_s(3V_l^2V_t^2 - 4V_t^4)}{V_l^2 - V_t^2} \tag{1}$$

경도 측정에는 Vicker's 경도계를 사용하였다.

2.5. 고속충돌 저항물성 측정

40 mm K215 탄의 기폭시 발생하는 고속의 구리 제트와 30 mm 고체추진활강포(SPG: Solid Propellant Gun)에서 발사되는 텅스텐 충격봉이 시편에 고속으로 충돌하였을 때, 이에 대한 저항물성을 측정하였다.

2.5.1. 구리 제트에 대한 고속충돌 저항물성 측정

K215 탄에서 형성되는 고속의 구리 제트에 대한 시편의 고속충돌 저항물성을 측정하기 위한 실험장치도를 Fig. 2에 나타내었다. 구리 제트가 시편을 관통한 후의 관통능

Table 1. Compositions of Specimens

Specimen designation	Composition (mole %)
CAS-00#	42CaO·33Al ₂ O ₃ ·25SiO ₂
CAS-05#	42CaO·33Al ₂ O ₃ ·25SiO ₂ +5 wt% Si ₃ N ₄
CAS-10#	42CaO·33Al ₂ O ₃ ·25SiO ₂ +10 wt% Si ₃ N ₄
MAS-00#	25MgO·23Al ₂ O ₃ ·52SiO ₂
MAS-05#	25MgO·23Al ₂ O ₃ ·52SiO ₂ +5 wt% Si ₃ N ₄
MAS-10#	25MgO·23Al ₂ O ₃ ·52SiO ₂ +10 wt% Si ₃ N ₄

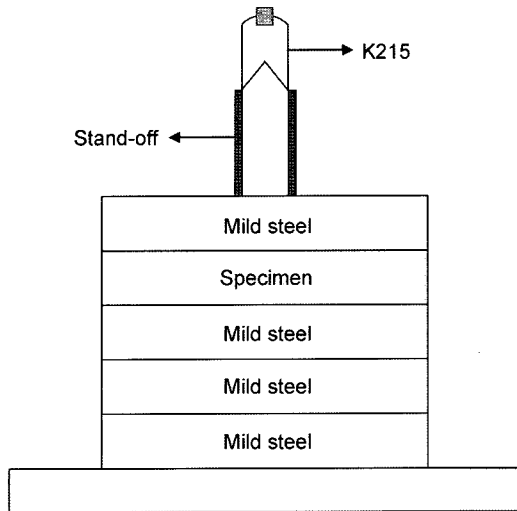


Fig. 2. Schematic diagram of experimental set-up for copper jet impact.

력을 확인하기 위한 확인판으로 100×100×22 mm 크기의 연강(mild steel)을 여러 장 적층하고 그 위에 물성을 측정하고자 하는 시편과 연강 1장을 설치하였다. K215 탄 charge diameter(CD: 31.75 mm)의 3배에 해당하는 이격거리(stand-off)에서 탄을 기폭시킴으로 인해 생성된 구리 제트가 고속으로 비행하여 적층된 시편에 충돌하게 됨으로써 이에 대한 고속충돌 저항물성을 측정하였다.^{3,5,8)}

시편의 고속충돌 저항물성은 방탄재료의 물성평가 방법으로 사용되는 관계식(2)를 사용하여 구할 수 있다.⁹⁾

$$\epsilon_m = \frac{\rho_m(d_0 - d)}{\rho_c t} \quad (2)$$

이때 시편의 밀도를 ρ_c , 두께를 t 라 하고 연강의 밀도를 ρ_m , 시편을 제외한 연강의 관통깊이를 d 라 하며, d_0 는 실험에 사용된 이격거리에서 기폭된 K215 탄의 연강에 대한 기준 관통력을 의미한다.

2.5.2. 텅스텐 충격봉에 대한 고속충돌 저항물성 측정

30 mm SPG는 추진제가 기폭되어 발생한 압력에 의해 사보(sabot)와 충격봉(텅스텐 중합금, L/D=10.7, $\phi=7$ mm)을 비행시키고, 사보 멈춤판에서 사보와 분리된 충격봉이 표적에 충돌하는 메커니즘을 갖고 있다. 충격봉의 충돌속도는 Fig. 3의 실험장치도와 같이 두 세트의 레이저와 광센서에 의해 충돌 직전에 측정된다.^{3,5,8)}

표적에는 확인판으로 100×100×22 mm 크기의 연강을 여러 장 적층하고 그 앞에 시편을 설치하였다. 충격봉은 약 1,500 m/sec의 속도로 시편과 충돌하도록 추진제 양을 조절하였다.

시편의 고속충돌 저항물성은 구리 제트에 대한 실험에서와 같이 시편을 제외한 연강의 관통깊이를 측정하여 식(2)를 이용하여 구할 수 있다. 여기서 d_0 은 특정 충돌속도

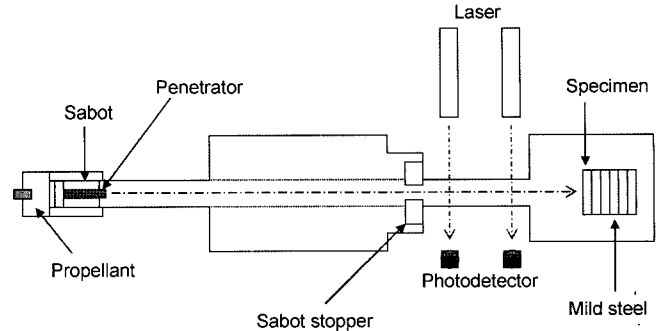


Fig. 3. Schematic diagram of experimental set-up for tungsten bar impact.

Table 2. Nitrogen Contents of Oxynitride Glasses

Specimen designation	Deposited Si ₃ N ₄ (wt%)	Detected N ₂ (wt%)	N ₂ detection ratio	Remarks
CAS-00	0	0.06		Impurities
CAS-05	5	4.75	95.0%	
CAS-10	10	6.96	69.6%	
MAS-00	0	0.10		Impurities
MAS-05	5	5.08	101.6%	Impurities
MAS-10	10	6.86	68.6%	

에서 충격봉의 연강에 대한 관통력을 의미한다. 따라서 30SPG에서 발사되는 텅스텐 충격봉에 대한 고속충돌 저항물성을 측정·계산하기 위해서는 해당 충돌속도에서 충격봉의 연강에 대한 기준 관통깊이를 먼저 구하여야 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 질소 함유량 변화

Table 2에서와 같이 CAS계 및 MAS계 유리에서 모두 질화규소 함유량이 증가함에 따라 질화유리 내의 질소 함유량이 증가하였다. CAS계 모유리(CAS-00#) 및 MAS계 모유리(MAS-00#)에서도 미량의 질소가 검출되는 것과 5 wt%의 질소를 첨가한 MAS-05# 시편에서 5.08 wt%의 질소가 검출된 것은 기기 검출 오차 범위 혹은 시료에 함유된 불순물인 것으로 사료되어 진다. 질화규소의 첨가량이 10 wt%로 증가하였을 때 CAS계 유리에 6.96 wt%와 MAS계 유리에 6.86 wt%의 질소가 함유되었다.

Frischat¹²⁾ 등의 연구결과에 따르면 첨가된 질소의 약 80%가 질화유리 내에 잔존한다고 알려져 있으며, 이는 제조공정에 따라서 많은 편차가 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 5 wt%의 질소가 투입되었을 경우에는 Table 2에서와 같이 투입량의 95.0%(CAS)와 101.6%(MAS)의 질소가 CAS(4.75 wt%)와 MAS(5.08 wt%) 유리에 함유되었지만, 10 wt%의 질소가 투입되었을 경우에는 상대적

으로 적은 양인 69.6%(CAS)와 68.6%(MAS)의 질소가 유리에 함유되었다. 투입 질소량이 증가함에 따라 질화유리 내에 함유되어지는 질소량이 상대적으로 감소함을 알 수 있다.

1600°C에서 1시간 동안 재용융한 유리의 색깔은 CAS계 유리와 MAS계 유리 모두 Si₃N₄ 함량에 관계없이 검정색으로 불투명하였다. Si₃N₄가 첨가되지 않은 모유리도 검정색으로 착색되었다. 질화유리에서의 착색 현상은 금속 Si의 석출에 의한 것으로 보고되어 있으며,^{10,11)} 질소 함유량에는 관계가 없는 것으로 알려져 있다. 질소원이

첨가되지 않은 모유리인 산화물 유리에서도 착색되었는데 이는 환원성 분위기로 인하여 유리 내에서 산소의 결함이 많이 발생하여 이러한 착색을 보이는 것으로 사료된다.

Fig. 4(A)는 모유리인 CAS계 유리에 10 wt%의 Si₃N₄를 혼합하여 재용융하기 전 혼합분말의 X-선 회절분석 결과이다. 약 20도에서 35도 사이에서 전형적인 비정질 패턴이 관찰되며 동시에 혼합된 Si₃N₄의 peak가 관찰되었다. Fig. 4(B)는 10 wt%의 Si₃N₄가 함유된 CAS계 유리의 재용융 후 X-선 회절분석 결과로서 모유리의 회절분석 결과와 유사하였으며, 첨가된 Si₃N₄는 모두 용해되었음을 알 수 있었다. 그러나, Si₃N₄의 첨가량이 20 wt%로 증가되었을 경우에는 Fig. 4(C)에 보인 것과 같이 1600°C에서 1시간의 재용융 처리 이후에도 여전히 결정상의 Si₃N₄의 peak가 관찰되었다. 이로부터 1600°C에서 Si₃N₄의 용해도는 적어도 10 wt% 이상에서 20 wt% 미만인 것을 알 수 있었다.

조성 결정을 위한 실험 초기에 Si₃N₄가 20 wt% 첨가된 CAS계 유리를 제조한 결과, 질화유리가 백탁되어지는 현상이 관찰되었다. 이처럼 용해되지 않은 질화규소가 유리에 남아 있는 경우, 시편의 색깔은 다른 질화유리와는 달리 회백색을 띠었다. 따라서 20 wt%의 Si₃N₄는 유리에 완전히 용해되지 않음으로 이후에는 20 wt%의 Si₃N₄가 함유된 조성의 시편은 더 이상 제조하지 않았다.

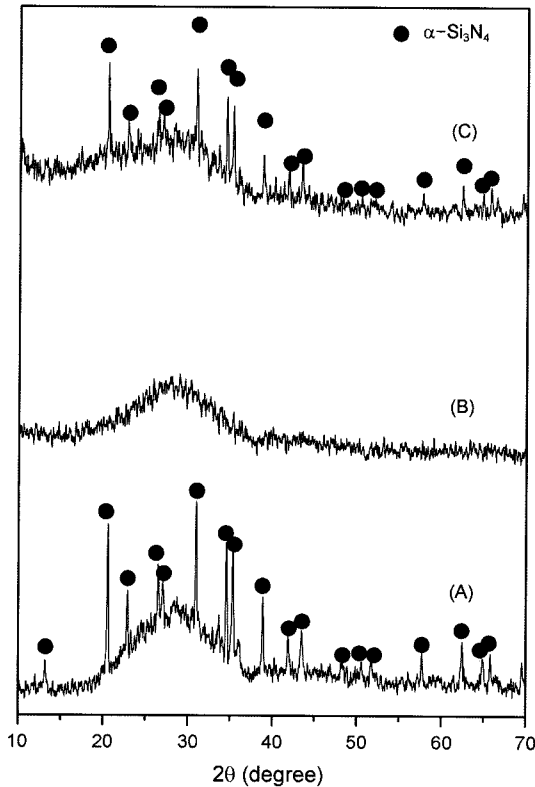


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of Ca-Al-Si-O glass (A) glass powder mixed with 10 wt% Si₃N₄, (B) melted glass mixed with 10 wt% Si₃N₄, and (C) melted glass mixed with 20 wt% Si₃N₄.

3.2. 기계적 물성

Table 3에 제조된 질화유리에서 측정된 기계적 물성인 밀도, 압축강도, 경도, 탄성률을 시편 조성별로 나타내었다. CAS/MAS-05의 증가율은 CAS/MAS-00과의 비율이며, CAS/MAS-10에 나타낸 증가율은 CAS/MAS-05와의 비율이다.

3.2.1. 밀도

질소 함유량 변화에 따른 질화유리의 밀도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. CAS계 및 MAS계 질화유리 모두 질화규소 함량의 증가에 따라서 밀도가 조금씩 증가하였으나 그 증가량은 매우 적었다. 질소를 함유하지 않은 CAS계 모유리의 밀도는 2.76 g/cm³이었으며, Si₃N₄가 10 wt% 첨가되었을 때의 밀도는 2.81 g/cm³로 1.8%의 밀도 증가를 나타내

Table 3. Mechanical Properties of Oxynitride Glasses

Specimen designation	Density		Compressive strength		Hardness		Young's modulus	
	g/cm ³	Increasing ratio	kgf/cm ²	Increasing ratio	GPa	Increasing ratio	GPa	Increasing ratio
CAS-00	2.76	-	1,200	-	6.7	-	96	-
CAS-05	2.78	0.7%	1,500	25.0%	7.5	11.9%	106	10.4%
CAS-10	2.81	1.1%	1,800	20.0%	8.1	8.0%	113	17.7%
MAS-00	2.66	-	1,400	-	6.9	-	104	-
MAS-05	2.73	2.6%	1,726	23.3%	8.4	21.7%	117	12.5%
MAS-10	2.74	0.4%	2,000	15.9%	9.4	11.9%	123	5.1%

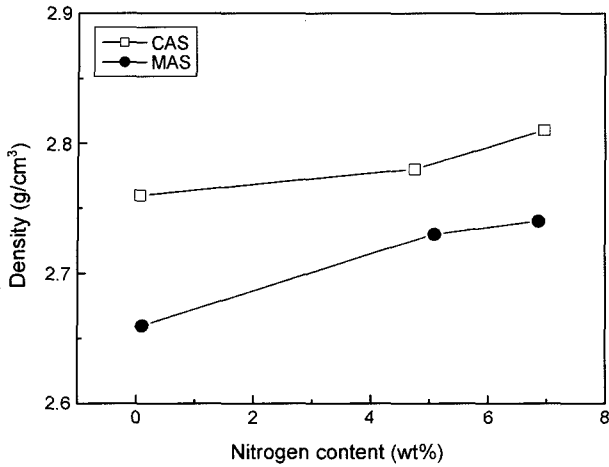


Fig. 5. Density of oxynitride glasses according to nitrogen content.

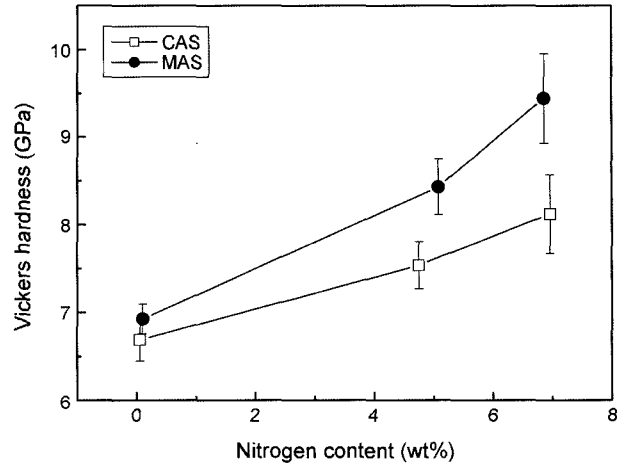


Fig. 7. Hardness of oxynitride glasses according to nitrogen content.

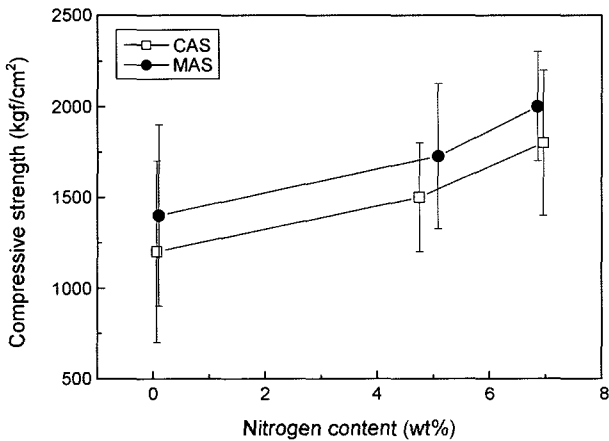


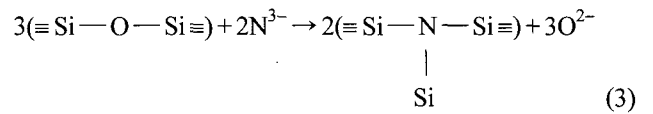
Fig. 6. Compressive strength of oxynitride glasses according to nitrogen content.

었다. MAS계 유리의 경우는 2.66 g/cm³에서 2.74 g/cm³로 밀도가 증가하여 그 증가율이 3.0%를 나타내었다. MAS계 유리에서 5 wt%(MAS-05)와 10 wt%(MAS-10)의 Si₃N₄가 투입된 질화유리 사이에서는 밀도변화가 거의 없었다. 이와 같이 밀도의 증가는 유리내에 존재하는 N의 함량과 관계가 있으며, N 함량의 증가에 따라 유리의 구조가 치밀해지기 때문¹³⁾인 것으로 사료된다.

3.2.2. 압축강도

Fig. 6은 압축강도와 질소 함량과의 관계를 나타낸 것이다. 상온에서의 압축강도는 질소가 함유됨으로써 큰 폭으로 증가하는 경향을 보여주고 있다. CAS-10은 CAS-00에 비해 압축강도가 50.0% 증가하였으며, MAS-10은 MAS-00에 비해 42.9%의 압축강도 값이 증가하였다. 산화물 유리 중의 O와 N이 반응하면 식(3)과 같이 O가 N으로 치환되어 2개의 Si를 1개의 O가 연결하는 대신 3개의 Si를 1개의 N이 연결짓는 구조를 이룬다. Sakka¹³⁾는 N-Si 결합이 O-Si 결합보다 강하고, 결합의 밀도가 증대되며, 중

심에 1개의 Si가 있는 3개의 사면체를 1개의 N이 연결하는 것은 N 근방의 구조를 치밀화하여 구조가 강화된다고 하였으며, 유리내의 질소 함유량이 증가하여 산화물 유리 중의 O가 N으로 치환되는 비율이 증가하면 할수록 유리의 압축강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다.



3.2.3. 경도

Fig. 7은 CAS계 및 MAS계 질화유리의 Si₃N₄ 함량에 따른 경도의 변화를 나타낸 것이다. CAS계 유리가 MAS계 유리보다 치밀함에도 불구하고 경도는 더 낮았다. 질소 함량의 증가에 따라 경도가 증가하였으며 10 wt%의 Si₃N₄가 첨가된 경우(질소 함유량 6.86 wt%)에 MAS계 질화유리의 경도는 9.4 GPa로서 모유리의 경도에 비해 36.2% 증가한 값을 보였다. 이는 유리 내의 O가 N으로 치환되는 비율이 증가함에 따라 결합력과 구조의 치밀화가 증대되기 때문에 나타난 효과로 보인다.

3.2.4. 탄성률

Fig. 8은 제조된 질화유리에서 검출된 질소 함유량과 탄성률과의 관계를 나타낸 것이다. CAS계 유리의 탄성률은 96 GPa에서 113 GPa로 17.7% 증가하였다. MAS계 유리의 탄성률은 모유리의 값이 104 GPa에서 약 6.86 wt%의 질소가 함유된 경우에 123 GPa로 18.3% 증가한 값을 보였다. 탄성률의 증가는 식(1)로부터 질화유리의 밀도가 모유리에 비하여 높으며, Sakka¹³⁾의 주장과 같이 구조의 치밀화 증가에 의한 영향으로 인한 것으로 사료된다.

3.3. 고속충돌 저항물성

재료의 고속충돌 저항물성은 식(2)를 이용하여 계산한

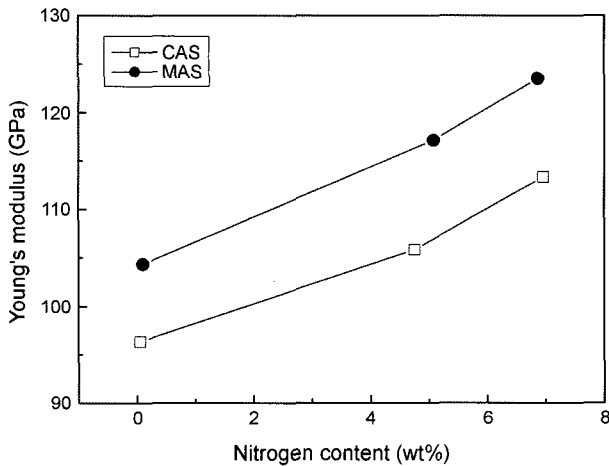


Fig. 8. Young's modulus of oxynitride glasses according to nitrogen content.

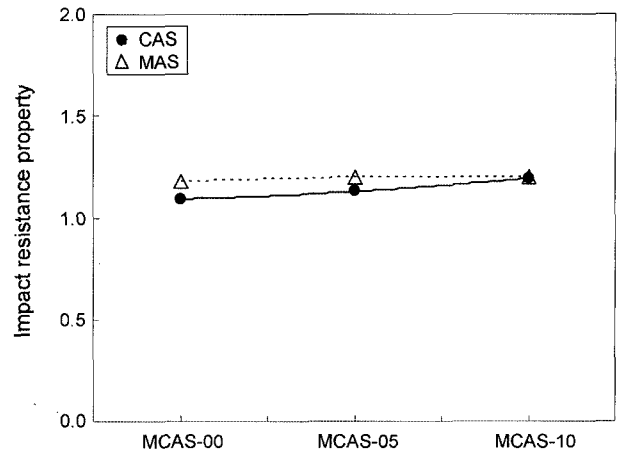


Fig. 10. Impact resistance properties of oxynitride glasses against high velocity tungsten bar.

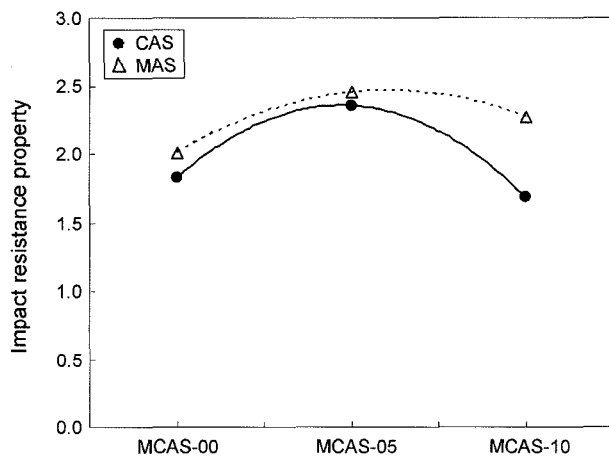


Fig. 9. Impact resistance properties of oxynitride glasses against high velocity copper jet.

후, 표준화한 결과임으로 절대값이 아닌 상대값이다.

3.3.1. 구리 제트에 대한 고속충돌 저항물성

Fig. 9에 고속의 구리 제트에 대한 CAS계와 MAS계 질화유리의 고속충돌 저항물성을 나타내었다. CAS계에서 모유리의 고속충돌 저항물성은 1.83을 나타내었다. 5 wt%의 Si₃N₄가 첨가된 CAS-05에서는 2.36의 고속충돌 저항물성을 나타내었다. 또한, CAS-10에서는 1.69의 저항물성을 나타내었다. CAS계 질화유리의 고속충돌 저항물성은 5 wt%의 Si₃N₄가 모유리에 첨가됨으로써 증가하다가 더 많은 질소원이 첨가되면 감소하는 경향을 보인다. MAS계 질화유리의 고속 제트에 대한 고속충돌 저항물성은 모 유리(2.01)로부터 MAS-05(2.45)와 MAS-10(2.27)로 CAS계 질화유리에서와 같이 고속충돌 저항물성이 증가하다가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 고속 제트의 충돌에 대한 저항성능에 영향을 주는 인자는 아직 명확히 규명되지 않

았으나,³⁾ CAS/MAS계 질화유리에서 Si₃N₄의 과다한 첨가는 고속충돌 저항물성의 향상에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 따라서 각 유리 조성에 따라 최적의 Si₃N₄ 첨가량이 있는 것으로 사료된다.

3.3.2. 텅스텐 충격봉에 대한 고속충돌 저항물성

Fig. 10은 질화유리의 텅스텐 충격봉에 대한 고속충돌 저항물성을 나타낸 것이다. CAS계의 고속충돌 저항물성은 모유리에서 1.09, CAS-05는 1.13 그리고 CAS-10은 1.19를 나타내었다. CAS계 유리에서는 텅스텐 관통자에 대해 고속충돌 저항물성이 질소 함량이 증가함에 따라 약간씩 증가함을 보여주고 있으나 그 증가량은 상대적으로 적었다. MAS 모유리의 고속충돌 저항물성은 1.18이었으며, 5 wt%와 10 wt%의 Si₃N₄가 첨가된 MAS-05와 MAS-10에서는 1.20의 고속충돌 저항물성을 나타낸 것과 같이 MAS계 유리에서는 질소원의 첨가가 고속충돌 저항물성의 향상에 거의 영향을 주지 않았다.

4. 결 론

Ca-Al-Si-O(CAS) 및 Mg-Al-Si-O(MAS)계 모유리에 5 wt%와 10 wt%의 Si₃N₄를 질소원으로 첨가하여 흑연 발열체 노내에서 흑연도가니에 분말을 넣고 1600°C 질소분위기에서 1시간 동안 열처리하여 질화유리를 제조하여 기계적 물성, 물리적 특성 및 고속충돌 저항물성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CAS계 유리에 10 wt%의 Si₃N₄를 첨가하면 밀도는 1.8% 증가하며 경도와 탄성률은 각각 20.9%와 17.8% 증가하였다. 또한 압축강도는 50.0% 증가하였다.
2. MAS계 유리에서는 10 wt%의 Si₃N₄를 첨가함으로써 밀도, 경도, 탄성률 및 압축강도가 각각 3.0%, 36.2%, 18.3% 그리고 42.9% 증가하였다.

3. 고속 구리제트에 대한 충돌저항물성은 CAS계와 MAS계 유리에서 Si_3N_4 를 5 wt% 첨가하면 모유리에 비해 29.0%와 21.9%가 증가하지만, Si_3N_4 를 10 wt% 첨가하면 CAS계 유리에서는 충돌저항물성이 14.6% 감소하고 MAS계에서는 12.9% 증가하였다.

4. 텅스텐 충격봉에 대한 충돌저항물성은 CAS계에서는 10 wt%의 Si_3N_4 가 첨가되면 9.2% 증가하였으나 MAS계에서는 1.7%만이 증가하여 Si_3N_4 첨가에 의한 충돌저항물성의 향상이 매우 적었다.

REFERENCES

1. R. A. L. Drew, "Nitrogen Glass," pp. 67-80, The Parthenon Press, Casterton Hall, England, 1986.
2. R. E. Loehman, "Oxynitride Glasses," *J. Non-Cryst. Solids*, **42** 433-46 (1980).
3. C.-S. Kim and H.-B. Lee, "The Relation between Physical/Mechanical Properties and Ballistic Properties in Several Engineering Ceramics(in Korean)," *J. Kor. Soc. Comp. Mat.*, **18** [6] 34-9 (2005).
4. J. H. Choi, C. H. Lee, S. N. Chang, and S. K. Moon, "Long-Rod Impact Phenomena: Role of Wave Interaction on Crack Propagation," *Int. J. Impact Eng.*, **17** 195-204 (1995).
5. C.-S. Kim and H.-B. Lee, "Synthesis of Alumina-Silica Ceramic Armor Material(I)(in Korean)," *J. Kor. Soc. Comp. Mat.*, **18** [6] 40-7 (2005).
6. T. J. Holmquist, M. Rajendran, D. W. Templeton, and K. D. Bishnoi, "A Ceramic Armor Material Database," TARDEC, ADA362926, 1-240 (1999).
7. R. E. Loehman, "Preparation and Properties of Oxynitride Glasses," *J. Non-Cryst. Solids*, **56** 123-34 (1983).
8. C.-S. Kim and H.-B. Lee, "Synthesis of Alumina-Silica Ceramic Material(II)(in Korean)," *J. Kor. Soc. Comp. Mat.*, **18** [6] 48-53 (2005).
9. T. J. Moynihan, S. C. Chou, and A. L. Mihalcin, "Application of the Depth-of-Penetration Test Methodology to Characterize Ceramics for Personnel Protection," *Army Research Lab.*, ADA376698 (2000).
10. D. R. Messier and E. J. Deguire, "Thermal Decomposition in the System Si-Y-Al-O-N," *J. Am. Ceram. Soc.*, **67** 602-05 (1984).
11. J. M. Shaw, G. Thomas, and R. E. Loehman, "Formation and Microstructure of Mg-Si-O-N Glasses," *J. Am. Ceram. Soc.*, **67** 643-47 (1984).
12. G. H. Frischat and C. Schrimpf, "Preparation of Nitrogen-Containing $\text{Na}_2\text{O-CaO-SiO}_2$ Glasses," *J. Am. Ceram. Soc.*, **63** [11-12] 714-15 (1980).
13. S. Sakka, M. Kamiya, and T. Yoko, "Preparation and Properties of Ca-Al-Si-O-N Oxynitride Glasses," *J. Non-Cryst. Solids*, **56** 147-52 (1983).