

## Characteristics of green colored opal glass with contents of iron oxide for LED light diffuser

Hyun-Woo Ku<sup>\*\*\*</sup>, Tae-Young Lim<sup>\*†</sup>, Seol Yoo\*, Jonghee Hwang\*, Jin-Ho Kim\*, Mi-Jai Lee\* and Dong Wook Shin<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, Seoul 153-801, Korea

<sup>\*\*</sup>Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received April 9, 2014)

(Revised May 17, 2014)

(Accepted May 30, 2014)

**Abstract** Translucent green colored opal glass was fabricated to substitute polycarbonate diffuser of LED lighting in order to solve the durability problem. Batch materials of green colored opal glass with the composition of calcium phosphate for opacifier and iron oxide for colorant were made and melted at 1550°C. As the results, translucent green colored opal glass was obtained, which had excellent optical properties compare with normal color glass for the diffuser of LED lighting, with no dazzling from direct light by high haze value over 90 % and low parallel transmittance value about 1 %. Therefore, it is concluded that this translucent green colored opal glass can be used for the glass diffuser materials of LED lighting with high heat resistance and high durability to substitute polycarbonate diffuser.

**Key words** Green color, Opal glass, LED diffuser, haze, Color glass

## LED diffuser용 green color 유백유리에 있어서 산화철 함량에 따른 특성

구현우<sup>\*\*\*</sup>, 임태영<sup>\*†</sup>, 유설\*, 김진호\*, 이미재\*, 황종희\*, 신동욱<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>한국세라믹기술원 광·디스플레이소재팀, 서울, 153-801

<sup>\*\*</sup>한양대학교 신소재공학과, 서울, 133-791

(2014년 4월 9일 접수)

(2014년 5월 17일 심사완료)

(2014년 5월 30일 게재확정)

**요약** LED 조명등의 내구성 문제를 개선할 목적으로 폴리카보네이트 광확산판 소재를 대체하기 위한 반투명 녹색 컬러유백유리를 제조하였다. 녹색 컬러유백유리의 원료로는 유백제로서 인산칼슘을, 착색제로서 산화철을 사용하였고, 1550°C에서 용융하였다. 그 결과로서 LED 조명등의 광확산판으로서 90 % 이상의 높은 헤이즈 값과 1 %의 낮은 평행광 투과율을 가짐에 따라 직사광에 의한 눈부심이 없어 일반 컬러유리에 비해 매우 우수한 광학특성을 나타내는 반투명의 녹색 컬러유백유리가 얻어졌다. 따라서 녹색 컬러유백유리가 높은 열저항성과 내구성을 가지고 폴리카보네이트 광확산판을 대체하기 위한 LED 조명등의 광확산판 소재로 사용될 수 있을 것으로 판단되었다.

### 1. 서 론

LED 조명은 기존의 백열전구 및 형광등에 비해 전력소모가 적으면서도 빛의 밝기가 세고 백열등의 100배, 형광등의 10배 이상의 긴 수명을 가지고 있어서 장기적인 경제성에 비추어 볼 때 차세대 조명으로 각광을 받으면서

기존의 조명제품을 대체하고 있다[1-4]. 현재 LED 튜브 램프의 일반적인 구조는 형광등과 유사하게 튜브 형태로 되어있으며, 튜브의 반쪽은 폴리카보네이트(polycarbonate) 재질로 되어있고, 나머지 반쪽은 알루미늄 금속재질로 되어 있다. LED 소자 뒷면은 방열을 쉽게 하기 위하여 알루미늄으로 되어 있으며 빛이 나아가는 방향의 반쪽 면은 유백색 플라스틱으로 되어있어 광을 확산시키는 역할을 하며, 육안으로 LED 광원을 직접 보았을 때 눈부심을 방지하는 효과가 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 플라스틱 재질의 확산판(diffuser)은 장시간 사용하면 자

<sup>†</sup>Corresponding author  
Tel: +82-2-3282-2426  
Fax: +82-2-3282-7814  
E-mail: tylim@kicet.re.kr

외선의 영향을 받아서 황변현상이 발생하여 투과율이 저하되거나 열에 의해 변형되는 단점을 가지고 있어 실외 또는 고온 분위기의 산업현장에서는 사용 수명이 더욱 단축된다. 또한 현재 사용되고 있는 폴리카보네이트 재질의 튜브램프는 저온(-35°C 이하)에서는 사용 환경 조건에 따라 파손되는 단점이 있어 냉동 창고와 같은 저온 용으로는 사용하기가 적합하지 않다. 따라서 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 LED 튜브 램프 또는 LED 전구의 확산판(diffuser)소재를 유백색 유리 또는 유백색 코팅유리로 대체하면 열 또는 자외선에 의한 변형이 없기 때문에 내구성을 증가시킬 수 있으며, 방열을 위해 사용하고 있는 알루미늄소재가 불필요하므로 제조 원가가 절감되어 LED 램프 시장이 보다 급속히 확장될 것으로 생각된다. 이에 따라 그 동안 1차적인 자체 연구를 통하여 조명용LED의 광 확산판(light diffuser) 소재로 사용할 수 있는 내열성과 광 특성이 우수한 반투명 백색 유백유리의 조성개발과 성형 및 냉각온도가 유백특성에 미치는 영향 등을 정립한 바 있다[5-8].

본 연구에서는 후속연구로서 백색조명이 아닌 컬러조명에 적용될 수 있는 컬러 유백유리 광확산판(light diffuser)을 개발하기 위한 실험을 진행하였다. 모든 사람은 빛과 함께 할 때, 보다 편안함을 느낄 수 있으며, 안정된 마음으로 아름다움과 행복을 추구하려는 본능을 가지게 된다. 이에 따라 이미 조명은 빛을 발하는 단순 기능에서 벗어나 생활과 사회 전 분야에 걸쳐 하나의 예술문화로 자리매김했다. 최근 화두로 떠오르고 있는 감성조명은 조명기기에서 나오는 색의 온도와 밝기를 사람의 심리상태와 생체리듬에 알맞게 적용시키면서 공간을 변화시킬 수 있는 조명기술을 말한다. 따라서 LED조명에 있어서도 광확산판으로 녹색(green), 청색(blue), 황색(yellow) 등과 같은 다양한 컬러의 유백유리를 개발하여 적용함으로써 우수한 감성조명소재로서 활용이 기대될 것으로 예상된다. 이에 따라 본 실험에서는 그린(green) 색을 띄는 컬러유백유리를 개발하기 위하여 기존실험을 통하여 개발된 백색 유백유리 조성에 착색제로서 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 함량 별로 투입량을 변화하여 용융유리를 제조하고, 제조된 유리샘플의 가시광선 투과율, 탁도(haze) 및 색차를 측정하여 컬러 LED 램프의 광확산판으로의 적용가능성을 파악하였으며, 일반 컬러유리와의 특성비교 분석도 실시하였다.

**2. 실험방법**

본 실험에서는 우선 그린컬러를 발현시킬 수 있는 착색제인 산화철(Iron oxide, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)을 투입한 컬러유리 조성에 유탁제인 인산칼슘(Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)을 투입한 컬러 유백

Table 1  
Batch composition of normal color glass (CGG-0) and opal color glass (CGG-1)

Main components	Batch composition (wt%)	
	CGG-0	CGG-1
SiO <sub>2</sub>	67.19	63.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.21	3.04
K <sub>2</sub> O	6.42	6.09
Na <sub>2</sub> O	11.88	11.26
CaO	5.61	5.68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	4.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.67	5.37

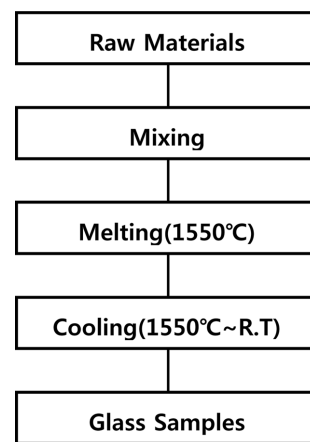


Fig. 1. Experimental procedure for preparing opal glass.

유리와 투입하지 않은 일반 컬러유리를 제조하여 특성을 비교하였으며, 각 조성의 배합비를 Table 1에 나타내었다.

또한 컬러 유백유리 조성에 있어서는 착색제의 함량에 따라 광 특성이 현저하게 변화되므로 Table 3에서 보는 바와 같이 동일한 인산칼슘계(calcium phosphate) 유백유리 조성에 착색제인 산화철(iron oxide)을 함량 별로 변화시키면서 유리를 제조하였다. Fig. 1에 도식된 실험 방법과 같이 배합 비에 따라 원료를 조합한 후 혼합하여 알루미늄이나 도가니에 넣고 1550°C에서 약 2시간 용융한 후 용융된 유리를 도가니 상태 그대로 전기로 내에서 고온의 용융온도에서부터 서서히 상온까지 로냉시켜 유리 샘플을 제조하였다.

제조된 유리샘플을 조명소재로서 가장 중요한 광학적 특성을 알아보기 위하여 두께 별로 일정하게 경면 연마한 후 UV/VIS/IR spectrometer(V570, JASCO, JAPAN)를 이용하여 전파장 영역에서의 광투과율과 컬러좌표인 색도(chromaticity)를 측정하였고, haze meter(NDH 5000, NIPPON DENSHOKU, JAPAN)를 이용하여 탁도(haze)를 비롯한 확산투과율(diffuse transmittance), 평행광투과율(parallel transmittance), 총 투과율(total transmittance) 등을 측정하였다. 측정에 사용한 탁도측정기는 JIS K

7136(ISO 14782) 및 JIS K 7361(ISO 13468)에 의한 탁도(haze) 및 투과율 측정방법을 적용한 장비로서 ‘NIPPON DENSOHKU’사의 NDH 5000 장비를 사용하여 측정하였고, 여기에서는 가시광선 영역 중 555 nm의 파장 값을 이용하여 투과율을 측정하였다. 또한 유리의 기본적인 특성 확인을 위해 TMA(Themomechainical Analyzer: Q400, TA, USA)를 통한 열팽창계수 및 연화점 측정기(SP-3A, ORTON, USA)를 이용한 연화점(softening point)을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 일반컬러유리와 컬러유백유리의 특성비교

동일한 컬러유리 조성에 유탁제(opacifier)를 투입하였을 경우 컬러유리의 특성이 어떻게 변하는지를 관찰하기 위하여, 착색제로서 산화철( $Fe_2O_3$ )을 약 5 wt% 투입한 유리에 대해서 유탁제로 인산칼슘( $Ca_3(PO_4)_2$ )을 5 wt% 투입하여 일반 컬러유리와 컬러 유백유리의 광학적 특성 차이를 관찰하였다.

그 결과 Table 2와 Fig. 2에서 보는 바와 같이 인산칼슘을 투입하지 않은 CGG-0의 일반 컬러유리의 경우에는 상대적으로 높은 투과율과 낮은 haze 값을 가진 유리가 얻어지면서 직사광을 통해 샘플 반대면의 형상이 투영되는데 비해 인산칼슘을 투입한 컬러 유백유리의 경우  $P_2O_5$  입자 성장으로 인하여 높은 haze 값과 낮은 평행광투과율(parallel transmittance)을 가짐에 따라 이면의 형상이 거의 투영되지 않는 반투명한 컬러유리가 얻어졌다. 이는 지난 실험에서 인산칼슘을 투입하여 제조한 유백유리를 예칭한 후 FE-SEM을 이용하여 표면을 관찰한 결과  $P_2O_5$  입자가 성장되어 0.5  $\mu m$  정도 크기의 물방울 모양 입자들이 표면에 형성된 것을 확인한 바 있으며 [9], 이러한 형상은 미국 Corning 사가 발표한 미국특허 4,309,218에 실린 사진과도 유사함을 확인할 수 있었다 [10].

Table 2  
Optical properties of normal color glass (CGG-0) and opal color glass (CGG-1)

Sample name	Thickness (mm)	Visible light transmittance (%)	Haze (%)	Total tranmittance (%)	Diffuse transmittance (%)	Parallel transmittance (%)
CGG-0	0.3	71.9	0.38	71.20	0.27	70.93
	0.5	62.1	0.29	61.30	0.18	61.12
	0.7	54.8	0.34	53.19	0.18	53.01
	0.9	48.3	0.39	46.45	0.18	46.27
CGG-1	0.3	42.0	98.84	37.86	37.42	0.44
	0.5	23.7	99.07	21.44	21.26	0.20
	0.7	13.7	99.07	11.80	11.69	0.11
	0.9	8.4	99.16	7.12	7.06	0.06

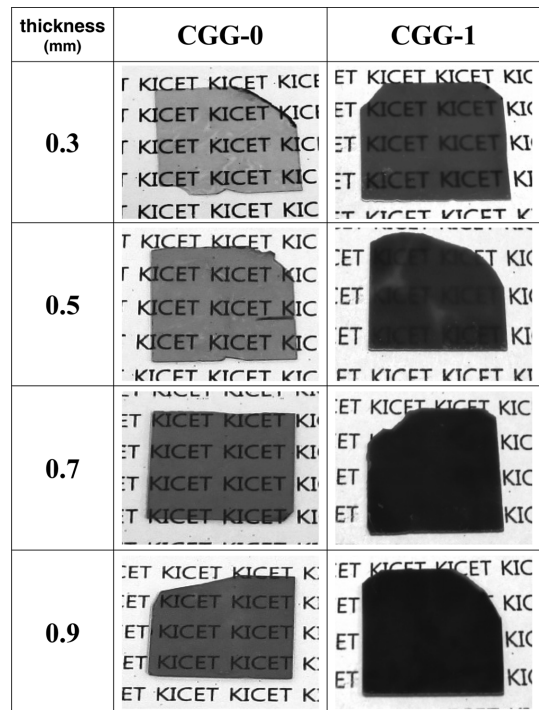


Fig. 2. Photographs of normal color glass (CGG-0) and opal color glass (CGG-1).

그리고 Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 동일한 착색제 함량과 동일한 유리두께를 갖는 시편에 있어서 상대적으로 일반 컬러유리인 CGG-0가 컬러 유백유리인 CGG-1에 비해 약 30~40%의 높은 가시광투과율을 나타내었으며, 유리두께에 따른 투과율의 변화는 비슷한 경향성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

헤이즈(haze) 특성에 있어서는 컬러 유백유리와 일반 컬러유리가 매우 큰 차이를 보였는데, Fig. 4에서 보는 바와 같이 유탁제를 투입한 컬러 유백유리인 CGG-1 시편의 경우에는 시편의 두께에 상관 없이 약 99% 정도의 높은 haze 값을 나타내었으며, Table 2에서와 같이 평행광투과율 또한 0.06~0.44%로 0.5% 이하의 매우 낮은 값을 나타내었다. 반면에 유탁제를 투입하지 않은 일반 컬러유리의 경우에는 시편의 두께에 상관 없이 약

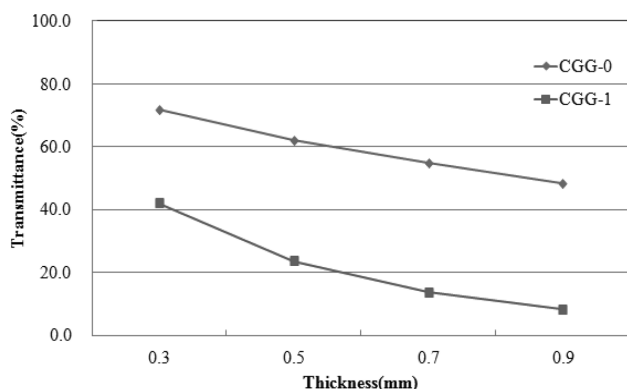


Fig. 3. Light transmittance of normal color glass (CGG-0) and opal color glass (CGG-1).

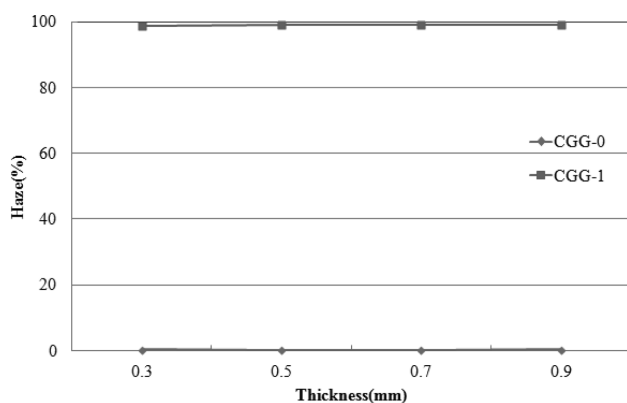


Fig. 4. Haze of normal color glass (CGG-0) and opal color glass (CGG-1).

1% 이하의 낮은 haze 값을 나타내었으며, 평행광투과율 또한 46.27~70.93%의 비교적 높은 값을 나타낸 것을 확인할 수 있었다. LED 조명용 광확산판(light diffuser)의 경우, 램프 내의 LED 소자가 직접 보이지 않아야 하고, 평행광 투과율에 비해 확산투과율이 높은, 즉 haze 값이 높은 소재 특성이 활용상 중요하기 때문에 유탁제를 첨가한 CGG-1 시편의 경우는 LED 조명용 광확산판으로서 양호한 광 특성을 나타내고 있는 것으로 판단되었다.

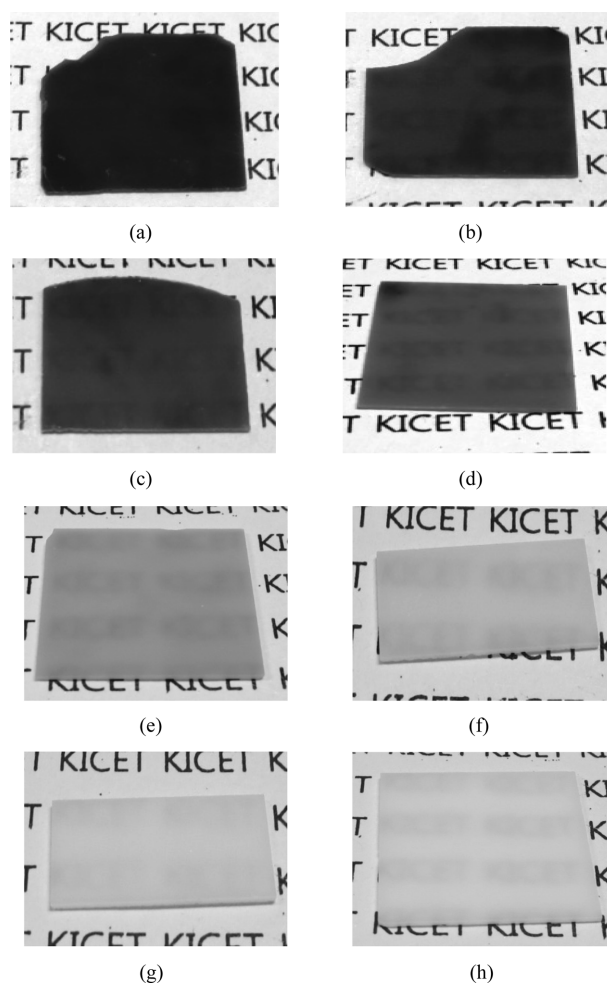


Fig. 5. Photographs of green colored opal glass with contents of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

3.2. 착색제 함량에 따른 컬러 유백유리의 광투과율 특성

유탁제로서 동일한 인산칼슘 함량을 갖는 유백유리 조성에 대해서 Table 3과 같이 착색제의 투입량을 0.09~5.37 wt% 까지 변화시키면서 유리시편을 제조하였으며, 제조된 시편을 두께 별로 경면연마한 후 컬러의 발색상태 및 광 특성을 관찰하였다. 이 중에서 0.7 mm 두께로

Table 3  
Batch composition of green colored opal glass

Main components	Batch composition (wt%)							
	CGG-1	CGG-2	CGG-3	CGG-4	CGG-5	CGG-6	CGG-7	CGG-8
SiO <sub>2</sub>	63.72	64.30	64.88	65.48	66.09	66.71	67.02	67.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.04	3.07	3.10	3.13	3.16	3.19	3.20	3.21
K <sub>2</sub> O	6.09	6.14	6.20	6.26	6.32	6.38	6.41	6.43
Na <sub>2</sub> O	11.26	11.37	11.47	11.58	11.68	11.79	11.85	11.89
CaO	5.68	5.73	5.78	5.84	5.89	5.95	5.97	6.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.80	4.84	4.89	4.93	4.98	5.02	5.05	5.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.37	4.52	3.65	2.76	1.85	0.93	0.47	0.09

Table 4  
Light transmittance of green colored opal glass

	Thickness (mm)	Sample name							
		CGG-1	CGG-2	CGG-3	CGG-4	CGG-5	CGG-6	CGG-7	CGG-8
Light transmittance (%)	0.3	42.0	45.4	50.8	51.2	54.8	59.9	60.3	62.6
	0.5	23.7	30.3	33.8	34.9	39.9	51.3	52.9	54.6
	0.7	13.7	17.9	23.9	26.7	35.1	44.7	46.8	50.6
	0.9	8.4	11.4	17.2	18.4	29.4	39.7	41.7	46.2

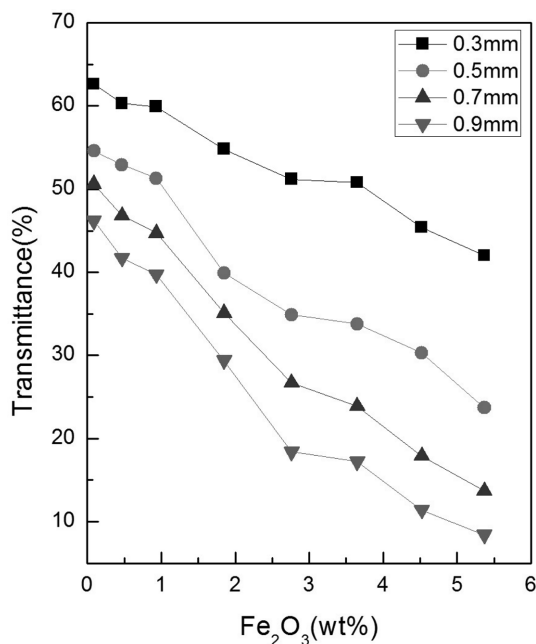


Fig. 6. Light transmittance of green colored opal glass with contents of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

경면연마한 샘플의 착색제 함량 별 컬러 특성을 보면, Fig. 5에서 보는 바와 같이 착색제인 산화철( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )를 약 4 wt% 이상 투입한 CGG-1과 CGG-2 시편에 있어서는 육안상으로 불균일한 컬러 유백유리 상태를 나타내었으며, 실제 가시광 투과율 측정 데이터도 최고값이 50% 이하의 낮은 값을 나타내었다. 착색제의 투입량변화에 따른 유백유리의 두께 별 가시광투과율을 Table 4와 Fig. 6에 나타내었으며, 그림에서와 같이 착색제의 투입량이 점차로 감소함에 따라 두께 별로 광투과율은 점차적으로 증가하는 추세를 나타내었다. 즉 유리두께 0.7 mm 시편의 경우, 산화철 투입량 약 5.37 wt%인 CGG-1에서는 13.7%의 광투과율, 3.65 wt%인 CGG-3에서는 23.9%의 광투과율을 나타내었으며, 투입량이 0.09 wt%까지 감소한 CGG-8의 광투과율 값은 50.6% 수준까지 증가하는 경향을 나타내었고, 이 값은 종전의 연구에서 착색제를 전혀 투입하지 않은 백색 유백유리의 투과율 값과 거의 동일한 값을 나타내었다[11].

따라서 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 착색제의 투입량에

따라 광학적인 특성이 균일한 경향성을 갖고 변화하고 있으며, 시편의 두께에 따른 상관관계도 일정한 경향성을 나타내고 있으므로, 향후 착색제의 투입량과 유리의 두께 조절을 통해 조명용 확산판으로서 필요한 광투과율 값을 손쉽게 설계할 수 있다는 면에서 매우 바람직한 광 특성을 나타내고 있는 소재가 얻어졌다고 판단되었다.

### 3.3. 컬러 유백유리의 탁도(haze) 특성

앞에서 언급한대로 조명용 LED의 광확산커버(lighting diffuser cover)로 사용되기 위해서는 광원으로부터 발생하는 직사광이 직접 전달되지 않아야 하고, 따라서 눈부심이 없어야 한다. 즉, 충분한 조도가 발휘될 수 있도록 확산판(diffuser) 소재가 일정 값 이상의 광투과율을 나타내되 직사광이 아닌 확산광이 투과될 수 있도록 높은 탁도(haze) 값을 나타내게 하는 것이 필요하다. 탁도 값은 확산투과율(diffuse transmittance)을 총투과율(total transmittance)로 나누어 백분율로 표시한 값으로 나타나며, 값이 높을수록 직사광에 의한 투과가 없이 확산판에 의한 산란광이 많다는 의미를 나타낸다. 따라서 탁도 값이 100%라는 것은 모든 투과광이 확산광에 의해 이루어진다는 것으로 조명용 확산소재로는 매우 바람직하다는 것을 나타낸다. 반면에 평행광투과율(parallel transmittance)은 총투과율에서 확산투과율을 뺀 값으로 나타나며, 직사광에 의한 투과율을 의미하므로 이 값이 높을수록 직사광에 의한 눈부심이 높아지므로 조명용 소재로는 적합하지 않다는 것을 의미한다. Table 5에서 보는 바와 같이, 본 실험에서 제조한 컬러 유백유리의 경우 착색제의 투입량에 따라 총투과율은 11.80~46.91%까지 큰 변화 폭을 나타내었으나 탁도(haze)의 경우에는 착색제의 함량에 상관 없이 99% 이상, 평행광투과율 값의 경우에도 1% 이하의 균일한 값을 나타냄으로써 조명용 광확산판으로서 매우 양호한 광특성치를 나타내었다.

### 3.4. 유백유리의 색도(Chromaticity) 특성

일반적으로 착색유리(color glass)에서는 유리의 초기 컬러 선정 및 일정하게 재현성있는 컬러의 관리를 위해

Table 5  
Haze and light diffusing characteristics of green colored opal glass

Sample name	Haze (%)	Total transmittance (%)	Diffuse transmittance (%)	Parallel transmittance (%)
CGG-1	99.07	11.80	11.69	0.11
CGG-2	99.10	15.59	15.45	0.14
CGG-3	99.19	20.86	20.69	0.17
CGG-4	99.13	24.19	23.98	0.21
CGG-5	99.23	32.53	32.28	0.25
CGG-6	99.22	40.95	40.63	0.32
CGG-7	99.18	42.49	42.14	0.35
CGG-8	99.25	46.91	46.56	0.35

\*Sample thickness : 0.7 mm.

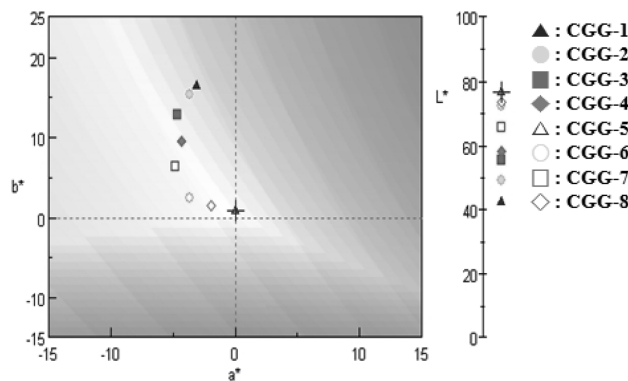


Fig. 7. Chromaticity of green colored opal glass.

색 좌표(chromaticity diagram)에 의한 정확한 컬러 측정이 이루어지고 있다[12]. 본 연구에서도 유백유리가 조명용 확산판으로서 일정한 조명색을 발현하는 광소재로서의 특성을 파악하기 위해서 실험을 통해 제조된 시편들이 나타내는 컬러특성을 파악하고, 착색제의 투입량 변화에 따라 컬러의 이동이 어떻게 이루어지는 지를 관찰하기 위해 spectrophotometer를 이용하여 색 좌표를 측정하였으며 이를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서와 같이 유리시편들의 색 좌표 값이 착색제의 투입량 증가에 따라 순백색을 나타내는 ‘0(zero)’에서부터 녹색색 방향으로 거의 일정한 경향성을 나타내며 좌표값이 이동하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 향후 다양한 컬러 농도를 나타내는 조명색을 착색제의 함량에 따라 색 차 값을 통해 설계할 수 있는 양호한 특성의 광 확산판(diffuser) 소재가 얻어졌다고 판단되었다. 또한 현재 사용되고 있는 LED 조명에서 LED 소자가 나타내는 색온도 특성에 따라 다양한 컬러의 조명색을 발현시킬 수도 있으리라 판단되었다.

아울러서 본 실험에 적용한 인산칼슘계 유백유리의 열팽창계수와 연화점을 측정된 결과 TMA를 이용하여 측정된 열팽창계수 값은  $6.2\sim 6.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었으며, 유리의 내열충격성은 열팽창계수값과 밀접한 상관관계를

갖고 반비례하기 때문에 규산알루미늄(aluminosilicate glass)계 내열유리와 유사한  $\Delta T$  135 $^{\circ}\text{C}$  정도의 우수한 열충격온도를 가질 것으로 예측되었고, 연화점(softening point) 또한 830~840 $^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었으므로 기존 LED 조명등의 폴리카보네이트 확산판(diffuser)을 대체할 수 있는 충분한 내열성을 나타낼 것으로 판단되었다[13-16].

#### 4. 결 론

감성조명용 LED의 광확산커버(Lighting diffuser cover)로 사용하기 위한 그린(green) 컬러 반투명 유백유리의 조성개발 및 특성에 대한 연구를 진행하였다. 착색제로서 산화철( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )를 원료로 하여 0.09~5.37 wt%까지 투입량에 따른 배치를 조합하고, 유탁제로는 인산칼슘을 사용하여 컬러 유백유리를 제조한 결과, 일반 컬러유리 외는 달리 착색제의 함량에 따른 광투과율의 변화와 관계없이 99% 이상의 높은 탁도(haze) 값과 1% 이하의 낮은 평행광투과율 값을 나타냄으로써 직사광투과에 의한 눈부심이 없이 조명용 LED 광확산커버에 사용 가능한 유백유리로서의 매우 적합한 광특성을 나타내었다.

특히 균일한 컬러 특성과 함께 두께 차에 따라 일정한 경향성을 갖는 광투과율 특성을 나타냄으로써, 필요한 컬러농도와 광학적 특성에 따라 적절하게 조명용 램프를 설계할 수 있는 양호한 특성의 유리확산판(glass diffuser) 소재가 얻어졌다.

따라서 본 연구결과를 토대로 향후 제조공정상에서 착색제 함량 및 유리 두께에 따른 특성 최적화를 통해 기존의 폴리카보네이트 확산판을 대체할 수 있는 고내열, 고내구성을 갖는 최적의 컬러유리 확산판을 상업적으로 개발하는데 있어서 충분히 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2013년도 지식경제부 글로벌 전문기술개발사업(정보통신)의 연구비 지원을 받아 수행된 것으로, 이에 감사드립니다.

#### References

[1] B.M. Jung and H.K. Jung, Proceeding of the KIIEE (Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers) 20(1) (2006) 31.  
 [2] H.W. Jang, Bulletin of KIEEME 25(5) (2012) 1.  
 [3] Y.M. Yu, Materials and Components of LED lighting

- for Technical Innovations, Korea Institute for Advancement of Technology (2010) 14.
- [ 4 ] Electronics Information Center, Technology and Patent of LED, Korea Electronics Technology Institute (2012) 12.
- [ 5 ] H.W. Ku, T.Y. Lim, J.H. Kim, M.J. Lee, J. Hwang and D.W. Shin, "Development and characterization of translucent opal glass for diffuser of LED lighting", Korean Journal of Materials Research 22(12) (2012) 650.
- [ 6 ] H.W. Ku, T.Y. Lim, J.H. Kim, M.J. Lee, J. Hwang and D.W. Shin, "Properties of calcium phosphate opal glass for LED light diffuser", Journal of Photonic Science and Technology 2(2) (2012) 57.
- [ 7 ] H.W. Ku, T.Y. Lim, J.H. Kim, M.J. Lee, J. Hwang and D.W. Shin, "Characteristics of opal glass by calcium phosphate opacifier for LED light diffuser", Journal of the Korea Ceramic Society 50(1) (2013) 75.
- [ 8 ] H.W. Ku, T.Y. Lim, J. Hwang, J.H. Kim, M.J. Lee and D.W. Shin, "Effect of forming and cooling temperature on the opaque properties translucent opal glass for the glass diffuser of LED lighting", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 23(5) (2013) 246.
- [ 9 ] H.W. Ku, T.Y. Lim, J. Hwang, J.H. Kim, M.J. Lee and D.W. Shin, "Effect of forming and cooling temperature on the opaque properties translucent opal glass for the glass diffuser of LED lighting", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 23(5) (2013) 249.
- [10] James E. Flannery, John L. Stempin and Dale R. Wexell, "Chemically durable phosphate opal glasses", U.S. Patent 4,309,218 (1980).
- [11] H.W. Ku, T.Y. Lim, J.H. Kim, M.J. Lee, J. Hwang and D.W. Shin, "Characteristics of opal glass by calcium phosphate opacifier for LED light diffuser", Journal of the Korea Ceramic Society 50(1) (2013) 75.
- [12] J.S. Lee, T.Y. Lim, M.J. Lee, J. Hwang, J.H. Kim and S.K. Hyun, "Fabrication and characterization of glass with E-glass fiber composition by using silica-alumina refused coal ore", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 23(4) (2103) 180.
- [13] H.J. Jung, Fusion Ceramic Materials (Text book for High School), Ministry of Education Science and Technology (2003) 42.
- [14] S. Kang, "Effects of modifiers on the properties of glass ceramics containing coal bottom ash", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 20(1) (2010) 53.
- [15] T.Y. Lim, S.S. Jung, J. Hwang and J.H. Kim, "A study on the fabrication of sodalime glass by using refused coal ore and its properties", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 20(1) (2010) 43.
- [16] H.J. Jung, Fusion Ceramic Materials (Text book for High School), Ministry of Education Science and Technology (2003) 193.