



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년10월25일

(11) 등록번호 10-2036799

(24) 등록일자 2019년10월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03C 3/097 (2006.01) C03B 5/00 (2006.01)  
C03C 21/00 (2006.01) C03C 3/083 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7016419

(22) 출원일자(국제) 2012년11월15일

심사청구일자 2017년10월11일

(85) 번역문제출일자 2014년06월16일

(65) 공개번호 10-2014-0095564

(43) 공개일자 2014년08월01일

(86) 국제출원번호 PCT/US2012/065263

(87) 국제공개번호 WO 2013/074779

국제공개일자 2013년05월23일

(30) 우선권주장

61/560,434 2011년11월16일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2011057504 A\*

US03357876 A1\*

US20040187521 A1

US3433611 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

코닝 인코포레이티드

미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트  
플라자

(72) 발명자

그로스, 티모써 미카엘

미국, 뉴욕 14892, 웨이버리, 풀튼 스트리트 452

(74) 대리인

청운특허법인

전체 청구항 수 : 총 8 항

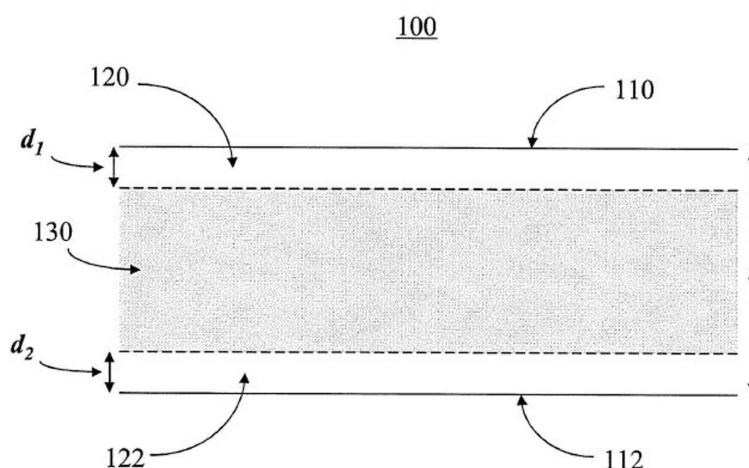
심사관 : 김은정

(54) 발명의 명칭 높은 균열 개시 임계값을 갖는 이온 교환가능한 유리

### (57) 요약

샤프 충격에 기인한 손상에 대해 내성이 있고, 빠른 이온 교환이 가능한 알칼리 알루미늄실리케이트 유리들은 제  
공된다. 상기 유리들은 적어도 4 mol% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하고, 이온 교환된 경우, 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균  
열 개시 하중을 갖는다.

대표도 - 도1



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

알칼리 알루미노실리케이트 유리로서,

40 mol% 내지 70 mol%의  $\text{SiO}_2$ ; 11 mol% 내지 25 mol%의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 4 mol% 내지 15 mol%의  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 13 mol% 내지 20 mol%의  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 1 mol% 미만의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 포함하고,  $\text{K}_2\text{O}$ 가 없고,  $\text{Li}_2\text{O}$ 가 없으며 및  $\text{MgO}$ 를 포함하고, 여기서 상기 알칼리 알루미노실리케이트 유리는 적어도 10  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환될 수 있고, 여기서:

- i. 상기 알칼리 알루미노실리케이트 유리는  $\text{R}_2\text{O}$ 를 포함하고,  $\text{R}_2\text{O}$ 는  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ , 및  $\text{Cs}_2\text{O}$ 로 이루어진 군으로부터 선택된 1가 양이온 산화물이며; 및
- ii.  $1.3 < [(\text{P}_2\text{O}_5 \text{ (mol\%)} + \text{R}_2\text{O (mol\%)})/\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (mol\%)}] \leq 2.3$ 이고;

여기서  $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 인 알칼리 알루미노실리케이트 유리.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유리는:  $1.5 < [(\text{P}_2\text{O}_5 \text{ (mol\%)} + \text{R}_2\text{O (mol\%)})/\text{M}_2\text{O}_3 \text{ (mol\%)}] \leq 2.0$ 을 만족하는 알칼리 알루미노실리케이트 유리.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 알칼리 알루미노실리케이트 유리는 50 mol% 내지 65 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 14 mol% 내지 20 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 4 mol% 내지 10 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 14 mol% 내지 20 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함하는 알칼리 알루미노실리케이트 유리.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 유리의 포타슘/소듐 내부확산 계수는  $410^\circ\text{C}$ 에서  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  내지  $6 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 범위이거나; 또는 상기 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 상기 압축층은 적어도 300 MPa의 압축 응력하에 있거나; 또는 상기 이온 교환된 유리는 적어도 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는 알칼리 알루미노실리케이트 유리.

#### 청구항 7

a. 청구항 1의 알칼리 알루미노실리케이트 유리를 제공하는 단계, 및

b. 상기 알칼리 알루미노실리케이트 유리를 24시간 이하의 시간 동안 이온 교환 욕에 침지시켜, 상기 알칼리 알루미노실리케이트 유리의 표면으로부터 적어도 10  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 확장하는 압축층을 형성시키는 침지 단계를 포함하는 알칼리 알루미노실리케이트 유리의 강화방법.

#### 청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 유리는:  $1.5 < [(P_2O_5 \text{ (mol\%)} + R_2O \text{ (mol\%)})/M_2O_3 \text{ (mol\%)}] \leq 2.0$ 을 만족하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리의 강화방법.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

청구항 7에 있어서,

상기 유리의 포타슘/소듐 내부확산 계수는  $410^\circ\text{C}$ 에서  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  내지  $6 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 범위이거나; 또는 상기 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 상기 압축층은 적어도  $300 \text{ MPa}$ 의 압축 응력하에 있거나; 또는 상기 이온 교환된 유리는 적어도  $12 \text{ kgf}$ 의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리의 강화방법.

#### 청구항 11

청구항 1, 2, 또는 6의 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 포함하는 전자 장치.

#### 청구항 12

삭제

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

삭제

#### 청구항 15

삭제

#### 청구항 16

삭제

#### 청구항 17

삭제

#### 청구항 18

삭제

#### 청구항 19

삭제

#### 청구항 20

삭제

#### 청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37



삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 출원은 2010년 11월 16일자에 출원된 미국 가 특허출원 제61/560,434호의 우선권을 주장하며, 상기 출원의 전체적인 내용은 참조로서 본 발명에 모두 포함된다.

### 배경 기술

[0002] 본 개시는 내손상성 유리에 관한 것이다. 좀더 구체적으로, 본 개시는 이온 교환에 의해 선택적으로 강화된 내손상성 유리에 관한 것이다. 더욱 구체적으로, 본 개시는 이온 교환에 의해 선택적으로 강화된 내손상성, 인 함유 유리에 관한 것이다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0003] 강화된 경우, 샤프 충격 (sharp impact)에 기인한 손상에 대해 내성이 있고, 빠른 이온 교환이 가능한 알칼리 알루미늄실리케이트 유리들 (alkali aluminosilicate glasses)은 제공된다. 상기 유리들은 적어도 4 mol%  $P_2O_5$ 를 포함하고, 이온 교환된 경우, 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중 (Vickers indentation crack initiation load)을 갖는다.

#### 과제의 해결 수단

[0004] 따라서, 하나의 관점은 적어도 약 4%의  $P_2O_5$ 를 포함하는 알칼리 알루미늄실리케이트 유리를 포함하고, 여기서 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 적어도 약 10  $\mu m$ 의 층의 깊이로 이온 교환되고, 및 여기서:

[0005] i.  $0.6 < [M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)] < 1.4$ ; 또는

[0006] ii.  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.3$ 이고;

[0007] 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며,  $R_xO$ 는 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물 (cation oxides)의 합이고,  $R_2O$ 는 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 1가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $0.6 < [M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)] < 1.4$ 를 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $0.6 < [M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)] < 1$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.3$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $1.5 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.0$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ , 및  $ZnO$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리

는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수 (potassium/sodium interdiffusion coefficient)를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층 (compressive layer)을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다.

[0008] 또 다른 관점은 약 40 mol% 내지 약 70 mol% SiO<sub>2</sub>; 약 11 mol% 내지 약 25 mol% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 약 4 mol% 내지 약 15 mol% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 및 약 13 mol% 내지 약 25 mol% Na<sub>2</sub>O를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 50 mol% 내지 약 65 mol% SiO<sub>2</sub>; 약 14 mol% 내지 약 20 mol% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 약 4 mol% 내지 약 10 mol% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 및 약 14 mol% 내지 약 20 mol% Na<sub>2</sub>O를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의 K<sub>2</sub>O를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은 Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O, MgO, CaO, SrO, BaO, 및 ZnO로 이루어진 군으로부터 선택된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다.

[0009] 또 다른 관점은 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 강화시키는 방법을 포함하고, 상기 방법은 적어도 약 4%의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하는 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 제공하는 단계, 여기서:

[0010] i.  $0.6 < [M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1.4$ ; 또는

[0011] ii.  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.3$ 이고;

[0012] 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며, R<sub>x</sub>O는 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이고, R<sub>2</sub>O는 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 2가 양이온 산화물의 합이며; 및 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리의 표면으로부터 적어도 10 μm의 층의 깊이로 확장하는 압축층을 형성하기 위해 약 24 시간까지의 시간 동안 이온 교환 욕에서 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 침지시키는 단계를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $0.6 < [M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1.4$ 를 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $0.6 < [M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.3$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $1.5 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.0$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의 K<sub>2</sub>O를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환 유리는 적어도 약 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다.

[0013] 또 다른 관점은 적어도 약 4 mol% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 포함하고, 여기서  $[M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1.4$ 이고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며, R<sub>x</sub>O는 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $[M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1.2$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $[M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은 Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O, MgO, CaO, SrO, BaO, 및 ZnO로 이루어진 군으로부터 선택된다.

- [0014] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 40 mol% 내지 약 70 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 약 11 mol% 내지 약 25 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 15 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 약 13 mol% 내지 약 25 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함한다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 50 mol% 내지 약 65 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 10 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함한다.
- [0015] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 1 mol% 미만의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 약 0 mol%의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 1 mol% 미만의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 약 0 mol%의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 더욱 포함한다.
- [0016] 구현 예는 이온 교환될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 10  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 20  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 40  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 500 MPa의 압축 응력 하에 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 750 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 또 다른 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 15 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 20 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410°C에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410°C에서 약  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  내지 약  $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 범위이다.
- [0017] 또 다른 관점은 적어도 약 4 mol%의  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 제공하는 데 있다. 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 10  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환되고, 여기서  $0.6 < [\text{M}_2\text{O}_3(\text{mol}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{mol}\%)] < 1.4$ 이며, 여기서  $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 이고,  $\text{R}_x\text{O}$ 은 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.6 < [\text{M}_2\text{O}_3 (\text{mol}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{mol}\%)] < 1$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < [\text{M}_2\text{O}_3 (\text{mol}\%)/\text{R}_x\text{O}(\text{mol}\%)] < 1$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{BaO}$ , 및  $\text{ZnO}$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다.
- [0018] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 40 mol% 내지 약 70 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 약 11 mol% 내지 약 25 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 15 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 약 13 mol% 내지 약 25 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함한다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 50 mol% 내지 약 65 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 10 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함한다.
- [0019] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 약 1 mol% 미만의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 약 0 mol%의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 약 1 mol% 미만의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물은 약 0 mol%의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 더욱 포함한다.
- [0020] 상기 관점의 구현 예들은 이온 교환될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 10  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 20  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 40  $\mu\text{m}$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적

어도 약 500 MPa의 압축 응력 하에 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 750 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 15 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 20 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다.

[0021] 본 개시의 또 다른 관점은 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 강화시키는 방법을 제공하는 데 있다. 상기 방법은 적어도 약 4 mol%의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 제공하는 단계, 여기서:

[0022] i.  $0.6 < [M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1.4$ ; 또는

[0023] ii.  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.3$ 이고;

[0024] 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며, R<sub>x</sub>O는 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이고, R<sub>2</sub>O는 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 2가 양이온 산화물의 합이며; 및 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리의 표면으로부터 적어도 10 μm의 층의 깊이로 확장하는 압축층을 형성하기 위해 약 24 시간 동안 이온 교환 욕에서 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 침지시키는 단계를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $0.6 < [M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1.4$ 를 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $0.6 < [M_2O_3(\text{mol}\%)/R_xO(\text{mol}\%)] < 1$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.3$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는  $1.5 < [(P_2O_5 + R_2O)/M_2O_3] \leq 2.0$ 을 만족한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의 K<sub>2</sub>O를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 유리는 적어도 약 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 압축층은 표면으로부터 적어도 70 μm의 층의 깊이로 확장한다.

[0025] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 하에 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 500 MPa의 압축 응력 하에 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 약 750 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 7 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 15 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 20 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다.

[0026] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O, MgO, CaO, SrO, BaO, 및 ZnO로 이루어진 군으로부터 선택된 1가 및 2가 양이온 산화물을 포함한다.

[0027] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 40 mol% 내지 약 70 mol% SiO<sub>2</sub>; 약 11 mol% 내지 약 25 mol% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 약 4 mol% 내지 약 15 mol% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 및 약 13 mol% 내지 약 25 mol% Na<sub>2</sub>O를 포함한다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 50 mol%

내지 약 65 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 10 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함한다.

[0028] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 조성물은 1 mol% 미만의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 조성물은 약 0 mol%의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 조성물은 1 mol% 미만의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 방법에 사용된 조성물은 약 0 mol%의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 더욱 포함한다.

[0029] 이들 및 다른 관점, 장점 및 특징은 다음의 상세한 설명, 첨부된 도면, 및 첨부된 청구항으로부터 명백해 질 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 이온 교환에 의해 강화된 유리 시트의 개략적 단면도이고; 및

도 2는 410℃의 용융  $\text{KNO}_3$  욕에서 이온 교환되고 700℃에서 어닐링된 0.7 mm 두께 샘플에 대한 압축 응력의 함수에 따른 층의 깊이의 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 사용될 수 있거나, 결합하여 사용될 수 있거나, 제조에 사용될 수 있거나, 또는 개시된 방법 및 조성물의 구현 예들인 물질, 화합물, 조성물, 및 성분은 개시된다. 이들 및 다른 물질은 본 명세서에 개시되고, 이들은 이들 물질의 조합, 서브셋, 상호작용, 그룹 등이 개시되는 경우, 이들 화합물들의 각각 다양한 개별 및 집합적 조합 및 치환의 특정 기준이 명확하게 개시되지 않을 수 있지만, 각각은 본 명세서에서 구체적으로 고려되고 기재된 것으로 이해된다.

[0032] 따라서, 만약 치환기 A, B, 및 C의 부류가 개시될 뿐만 아니라 치환기 D, E, 및 F의 부류, 및 조합 구현 예의 예인, A-D가 개시된다면, 그 다음, 각각은 개별 및 집합적으로 고려된다. 따라서, 실시 예에 있어서, 각각의 조합 A-E, A-F, B-D, B-E, B-F, C-D, C-E, 및 C-F은 구체적으로 고려되고, A, B, 및 C; D, E, 및 F의 개시; 및 조합 예 A-D로부터 개시된 것으로 간주될 것이다. 유사하게, 이들의 어떤 서브셋 또는 조합은 또한 구체적으로 고려되고 개시된다. 따라서, 예를 들어, A-E, B-F, 및 C-E의 서브-그룹은 구체적으로 고려되고, A, B, 및 C; D, E, 및 F의 개시; 및 조합 예 A-D로부터 개시된 것으로 간주될 수 있다. 이러한 개념은 조성물의 어떤 성분 및 제조 방법에서 단계 및 개시된 조성물을 사용하는 것을 포함하지만, 이에 제한되지 않는 본 개시의 모든 관점에 적용한다. 따라서, 만약 수행될 수 있는 다양한 부가적 단계가 있다면, 이들 부가적 단계 각각은 개시된 방법의 어떤 특정 구현 예 또는 구현 예의 조합으로 수행될 수 있다고 이해되고, 이러한 각각 조합은 구체적으로 고려되고, 개시되는 것으로 간주될 수 있다.

[0033] 부가적으로, 군 (group)이 원소의 군 및 이의 조합 중 적어도 하나를 포함하는 것으로 기재되는 경우, 상기 군은 개별적으로 또는 서로 조합하여, 인용된 원소의 어떤 수로 이루어지거나, 또는 필수적으로 이루어지거나, 포함할 수 있는 것으로 이해된다. 유사하게, 군이 원소의 군 및 이의 조합 중 적어도 하나로 이루어지는 것으로 기술되는 경우, 상기 군은 개별적으로 또는 서로 조합하여, 인용된 원소의 어떤 수로 이루어질 수 있다는 것으로 이해된다.

[0034] 더군다나, 만약 특별한 상황에서 별도로 언급되지 않는다면, 상한 및 하한 값을 포함하는, 수의 값의 범위가 본 명세서에 인용된 경우, 상기 범위는 이의 말단점, 및 상기 범위 내의 모든 정수 및 분획을 포함하는 것으로 의도된다. 본 개시의 범주가 범위를 규정하는 경우 인용된 특정 값으로 제한되는 것으로 의도되는 않는다. 더욱이, 양, 농도, 또는 다른 값 또는 파라미터는 범위, 하나 이상의 바람직한 범위 또는 바람직한 상한 값 및 바람직한 하한 값의 목록으로 제공된 경우, 이것은 어떤 상한 범위 또는 바람직한 값 및 어떤 하한 범위 또는 바람직한 값의 어떤 쌍으로부터 형성된 모든 범위들을 구체적으로 개시하는 것으로서, 이러한 쌍들이 개별적으로 개시되었는지의 여부와 상관없이, 이해될 것이다. 마지막으로, 상기 용어 "약"이 범위의 말단-점 또는 값으로 묘사하는데 사용된 경우, 상기 개시는 특정 값 또는 말단 점을 포함하는 것으로 이해될 수 있다.

[0035] 본 명세서에 사용된 바와 같은, 상기 용어 "약"은 양, 크기, 제형, 파라미터, 및 다른 정량 및 특징이, 공차,



전환 인자, 반올림, 측정 오차 및 이와 같은 것, 및 기술 분야의 당업자에게 알려진 다른 인자들을 반영하여, 정확하지 않지만, 요구된 바와 같이, 대략 및/또는 더 크거나 또는 더 작을 수 있는 것을 의미한다. 일반적으로, 양, 크기, 제형, 파라미터 또는 다른 품질 또는 특징은 이렇게 명확하게 언급되지 않아도 "약" 또는 "대략"이다.

[0036] 본 명세서에 사용된 바와 같은, 용어 "또는"은 포괄적이고; 더욱 구체적으로, 문구 "A" 또는 "B"는 "A, B 또는 A 및 B 모두"를 의미한다. 배타적인 "또는"은, 예를 들어, "A이거나 또는 B" 및 "A 또는 B 중 하나"와 같은 용어로서 본 명세서에서 표기된다.

[0037] 단수는 구현 예의 요소 및 성분들을 설명하는데 사용된다. 이들 단수의 사용은 이들 요소 또는 성분들 중 하나 또는 적어도 하나가 존재한다는 것을 의미한다. 비록 단수 형태로 표시된 경우일 지라도, 특별한 언급이 없는 한, 본 명세서에 사용된 단수는 적어도 하나 또는 그 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다. 유사하게, 본 명세서에 사용된 "상기" 또한 특별한 언급이 없는 한, 단수 또는 복수일 수 있다.

[0038] 구현 예를 설명할 목적을 위하여, 파라미터의 "함수"인 변수 또는 다른 변수에 대한 본 명세서의 기준이 상기 변수가 배타적으로 기재된 파라미터 또는 변수의 함수인 것을 뜻하는 것으로 의도되지 않는 것에 주목해야 한다. 오히려, 기재된 파라미터의 "함수"인 변수에 대한 본 명세서의 기준은 상기 변수가 단일 파라미터 또는 복수의 파라미터의 함수일 수 있도록 말단 개방되는 것으로 의도된다. 또한, 특별한 언급이 없는 한, "상부", "하부", "외부", "내부" 등과 같은 용어는 편의에 의한 단어이지 제한 용어로서 해석되지 않는다.

[0039] "바람직하게", "일반적으로" 및 "통상적으로"와 같은 용어는, 본 명세서에 활용된 경우, 어떤 특성이 기재된 구현 예의 구조 또는 기능에 대해 임계적, 필수적, 또는 중요하다는 것을 암시하거나 또는 범주를 제한하기 위해 활용되지 않는다는 것에 주목해야 한다. 오히려, 이들 용어는 특정 구현 예에서 활용될 수 있거나 또는 활용될 수 없는, 선택적 또는 부가적 특성을 강조하거나 또는 구현 예의 특정 관점을 확인하기 위한 것으로 단순히 의도된다.

[0040] 구현 예를 규정하고 설명하기 위한 목적을 위하여, 용어 "실질적으로" 및 "대략적으로"는 어떤 정량적 비교, 값, 측정, 또는 다른 표현에 기여될 수 있는 내재한 불확실성을 표현하기 위해 본 명세서에 활용되는 것에 주목해야 한다. 상기 용어 "실질적으로" 및 "대략적으로"는 또한 정량적인 표현이 쟁점의 주제의 기본 함수에서 변화를 결과하지 않고 언급된 기준으로부터 변할 수 있는 정도를 나타내기 위해 본 명세서에 활용된다.

[0041] 하나 이상의 청구항은 전환 문구로서 용어 "여기서"를 활용할 수 있는 것에 주목해야 한다. 구현 예를 규정하기 위한 목적을 위하여, 이러한 용어는 일련의 구조의 특징의 설명을 도입하는데 사용된 개방-형 전환 문구로서 청구항에 도입되고, 좀더 일반적으로 사용된 개방-형 서두 용어 "포함하는"과 같은 방식으로 이해될 수 있다는 것에 주목해야 한다.

[0042] 상기 유리 조성물을 생산하는데 사용된 원료 및/또는 장비의 결과로서, 의도적으로 첨가되지 않은 어떤 불순물 또는 성분들은 최종 유리 조성물에 존재할 수 있다. 이러한 물질이 소량으로 상기 유리 조성물에 존재하고, 본 명세서에서는 "이물질 (tramp materials)"이라 한다.

[0043] 본 명세서에 사용된 바와 같은, 0 wt% 또는 mol%의 화합물을 갖는 유리 조성물은 상기 화합물, 분자, 또는 원소가 상기 조성물에 목적을 갖고 첨가되지 않지만, 상기 조성물이 화합물을, 통상적으로 이물질 또는 극소량으로 포함할 수 있다는 것을 의미하는 것으로 정의된다. 유사하게, "소듐-없는", "알칼리-없는", "포타슘-없는" 또는 이와 유사한 것은 상기 화합물, 분자, 또는 원소가 목적을 갖고 상기 조성물에 첨가되지 않지만, 상기 조성물은 소듐, 알칼리, 또는 포타슘을, 대략적으로 이물질 또는 극소량으로 여전히 포함할 수 있다는 것을 의미하는 것으로 정의된다. 특별한 언급이 없는 한, 본 명세서에 인용된 모든 구성분의 농도는 몰 퍼센트 (mol%)의 관점으로 표현된다.

[0044] 본 명세서에 기재된 비커스 압입 균열 임계 측정 (Vickers indentation cracking threshold measurements)은 0.2 mm/min의 속도로 유리 표면에 압입 하중을 적용하고, 그 다음 제거하여 수행된다. 최대 압입 하중은 10 초 동안 유지된다. 상기 압입 균열 임계값은 10 인텐트 (indent)의 50%가 인텐트 임프레션 (indent impression)의 코너로부터 발산하는 어떤 수의 방사/평균 균열 (radial/median crack)을 나타내는 압입 하중으로 정의된다. 상기 최대 하중은 상기 임계값이 제공된 유리 조성물에 대해 충족될 때까지 증가된다. 모든 압입 측정은 50% 상대 습도에서 실온으로 수행된다.

[0045] 일반적으로 도면, 특히 도 1을 참조하면, 예시는 특정한 구현 예를 설명하기 위한 목적이지만, 여기에 첨부된 청구항 또는 개시를 제한하는 것으로 의도되지 않는 것으로 이해될 것이다. 도면은 스케일이 필수적인 것은 아니

고, 도면의 어떤 특성 및 어떤 관점은 관심의 명확도 및 개념에서 스케일 또는 개략적으로 확대되어 나타낼 수 있다.

[0046] 높은 내손상성을 갖는 (즉, 15 kilograms force (kgf)를 초과하는, 몇몇 구현 예에 있어서, 20 kgf를 초과하는 비커스 균열 임계값을 갖는), 화학적으로 강화된 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 통상적으로  $[(Al_2O_3(mol\%) + B_2O_3(mol\%))/(\Sigma \text{개질제 산화물 (mol\%)})] > 1$ 을 만족하는 조성물을 가지며, 여기서 상기 개질제 산화물은 알칼리 및 알칼리 토 산화물을 포함한다. 이러한 유리는 발명의 명칭 "Crack and Scratch Resistant Glass and Enclosures Made Therefrom"으로, Kristen L. Barefoot *et al.*에 의해, 2010년, 8월 18일에 출원된 미국특허 제12/858,490호에 이미 기술되었다.

[0047] 향상된 내손상성의  $P_2O_5$ -함유 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 발명의 명칭 "Ion Exchangeable Glass with Deep Compressive Layer and High Modulus"로 Dana Craig Bookbinder *et al.*에 의해, 2010년 11월 30일 출원된, 미국 가 특허출원 제61/417,941호에 이미 기술되었다. 본 명세서에 기재된 유리는 각각  $AlPO_4$  및  $BPO_4$ 를 형성하기 위해  $Al_2O_3$  및  $B_2O_3$ 로 배치된 (batch) 인산염을 함유하고, 하기 조성물 규칙을 따른다:

[0048]  $0.75 \leq [(P_2O_5(mol\%) + R_2O(mol\%)) / M_2O_3(mol\%)] \leq 1.3$ 이고,

[0049] 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이다.

[0050] 본 명세서에 기재된 구현 예는  $P_2O_5$ -함유 알칼리 알루미늄실리케이트 유리 및, 이온 교환에 의해 화학적으로 강화된 경우, 적어도 약 7 kgf, 8, kgf, 9, kgf, 10, kgf, 11 kgf, 12 kgf, 13 kgf, 14 kgf, 15 kgf 16 kgf, 17 kgf, 18 kgf, 19 kgf, 및, 몇몇 구현 예에 있어서, 적어도 약 20 kgf의 비커스 균열 임계값을 달성하는, 이로부터 제조된 제품을 포함한다. 이들 유리 및 유리 제품의 내손상성은 적어도 약 4 mol%  $P_2O_5$ 의 첨가에 의해 향상된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 내손상성은 적어도 약 5 mol%  $P_2O_5$ 의 첨가에 의해 향상된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기  $P_2O_5$  농도는 약 4 mol% 내지 약 10 mol%의 범위 및, 다른 구현 예에 있어서, 약 4 mol% 내지 약 15 mol%의 범위이다.

[0051] 본 명세서에 기재된 구현 예는 일반적으로 미국 가 특허출원 제61/417,941호에 기재된 조성 공간 (composition space)의 유리 및 유리 제품에 속한다. 부가적으로, 본 개시에 기재된 유리는 명목상으로 사면체 인 (tetrahedral phosphorus) 구조 단위당 하나의 이중-결합 산소를 함유하는 주로 사면체 배위 인산 ( $PO_4^{3-}$ ) 군을 포함한다.

[0052] 몇몇 구현 예에 있어서,  $M_2O_3$  대  $\Sigma R_xO$ 의 비는 장점이 있는 용융 온도, 점도, 및/또는 액상 온도를 갖는 유리를 제공한다. 몇몇 구현 예는 비  $(M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%)) < 1.4$ 으로 기재될 수 있고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이고, 여기서  $\Sigma R_xO$ 는 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 상기 유리 및 유리 제품은 4 mol%초과의  $P_2O_5$ 을 포함하고, 여기서 상기 비  $(M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%))$ 는 1.4 미만이고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며, 여기서  $\Sigma R_xO$ 는 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $(M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%))$ 의 비는 1.0 미만이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $(M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%))$ 의 비는 1.4, 1.35, 1.3, 1.25, 1.2, 1.15, 1.1, 1.05, 1.0, 0.95, 0.9, 0.85, 0.8, 0.75, 또는 0.7 미만이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.6 < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < 1.4$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.6 < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < 1.2$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.6 < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < 1$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < 1.4$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < 1.2$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < 1.0$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $Y < (M_2O_3(mol\%)/R_xO(mol\%)) < Z$ 이고, 여기서 Y는 약 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1.0, 1.05, 또는 1.1이고, X는 독립적으로 약 1.4, 1.35, 1.3, 1.25, 1.2, 1.15, 1.1, 1.05, 1.0, 0.95, 0.9, 0.85, 0.8이며, 여기서  $X > Y$ 이다. 이러한 1가 및 2가 산화물은 알칼리 금속 산화물 ( $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ), 알칼리 토 산화물 ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ ), 및  $ZnO$ 와 같은, 그러나 이에 제한되지 않는 전이



금속 산화물을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다.

- [0053] 몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 유리는 부등식 (inequality)  $[(Al_2O_3(mol\%) + B_2O_3(mol\%))/(\sum \text{개질 제 산화물 (mol\%)})] < 1.0$ 을 만족한다.
- [0054] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 유리 구조에 대해 허용하는 충분한  $P_2O_5$ 를 가질 수 있고, 여기서  $P_2O_5$ 는 상기 구조에 상당히, 또는 부가적으로,  $MPO_4$ 로 존재한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 이러한 구조는  $[(P_2O_5 (mol\%) + R_2O (mol\%))/M_2O_3 (mol\%)] > 1.24$ 의 비에 의해 기재될 수 있고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ ,  $P_2O_5$ 는 4 mol% 이상이고, 여기서  $R_2O$ 는 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 유리는 4 mol% 초과와  $P_2O_5$ 를 포함하고, 여기서  $[(P_2O_5(mol\%) + R_2O (mol\%))/M_2O_3 (mol\%)]$ 의 비는 1.24 초과이며, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이고, 여기서  $R_2O$ 는 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $[(P_2O_5(mol\%) + R_2O (mol\%))/M_2O_3 (mol\%)]$ 의 비는 1.3 초과이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 비는  $1.24 \leq [(P_2O_5(mol\%) + R_2O (mol\%))/M_2O_3 (mol\%)] \leq 2.8$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 상기 유리 및 유리 제품은 4 mol% 초과와  $P_2O_5$ 를 포함하고, 하기 비로 설명된다:
- [0055]  $S \leq [(P_2O_5(mol\%) + R_2O (mol\%))/M_2O_3 (mol\%)] \leq V$ ,
- [0056] 여기서 S는 독립적으로 약 1.5, 1.45, 1.4, 1.35, 1.3, 1.25, 1.24, 1.2, 또는 1.15이고, V는 독립적으로 약 2.0, 2.05, 2.1, 2.15, 2.2, 2.25, 2.3, 2.35, 2.4, 2.45, 2.5, 2.55, 2.6, 2.65, 2.7, 2.75, 또는 2.8이다.
- [0057] 본 명세서에 기재된 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리 및 제품은 다수의 화학적 성분을 포함한다. 산화물인,  $SiO_2$ 는 유리의 네트워크 구조를 안정화시키는 기능으로, 유리의 형성에 포함된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 40 내지 약 70 mol%  $SiO_2$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 50 내지 약 70 mol%  $SiO_2$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 55 내지 약 65 mol%  $SiO_2$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 40 내지 약 70 mol%, 약 40 내지 약 65 mol%, 약 40 내지 약 60 mol%, 약 40 내지 약 55 mol%, 약 40 내지 50 mol%, 약 40 내지 45 mol%, 50 내지 약 70 mol%, 약 50 내지 약 65 mol%, 약 50 내지 약 60 mol%, 약 50 내지 약 55 mol%, 약 55 내지 약 70 mol%, 약 60 내지 약 70 mol%, 약 65 내지 약 70 mol%, 약 55 내지 약 65 mol%, 또는 약 55 내지 약 60 mol%  $SiO_2$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 또는 70 mol%  $SiO_2$ 를 포함한다.
- [0058]  $Al_2O_3$ 는, 다른 이점들 중에서, a) 가장 낮은 가능한 액상 온도의 유지하고, b) 팽창 계수를 낮추며, 또는 c) 변형점을 향상시키는 것을 제공할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 11 내지 약 25 mol%  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 14 내지 약 20 mol%  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 11 내지 약 25 mol%, 약 11 내지 약 20 mol%, 약 11 내지 약 18 mol%, 약 11 내지 약 15 mol%, 약 12 내지 약 25 mol%, 약 12 내지 약 20 mol%, 약 12 내지 약 18 mol%, 약 12 내지 약 15 mol%, 약 14 내지 약 25 mol%, 약 14 내지 약 20 mol%, 약 14 내지 약 18 mol%, 약 14 내지 약 15 mol%, 약 18 내지 약 25 mol%, 약 18 내지 약 20 mol%, 또는 약 20 내지 약 25 mol%  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 또는 25 mol%  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다.
- [0059] 구현 예에서  $B_2O_3$ 의 존재는 내손상성을 향상시킬 수 있지만, 또한 압축 응력 및 확산도에 대해 유해할 수 있다. 본 명세서에 기재된 유리는 일반적으로  $B_2O_3$ 를 함유하지 않거나- 또는 없다. 몇몇 구현 예에 있어서, 약 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 2, 3, 또는 4 mol%의  $B_2O_3$ 는 존재할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 4, 3, 2, 또는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 는 존재할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 이물질  $B_2O_3$ 는 존재할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 0 mol%의  $B_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어

서,  $B_2O_3$ 의 양은 0.5 mol% 이하, 0.25 mol% 이하, 0.1 mol% 이하, 약 0.05 mol% 이하, 0.001 mol% 이하, 0.0005 mol% 이하, 또는 0.0001 mol% 이하이다. 몇몇 구현 예에 따르면, 상기 유리 조성물은 의도적으로 첨가된  $B_2O_3$ 가 없다.

[0060]  $P_2O_5$ 로서 유리에 인산의 첨가는 내손상성을 개선하고, 이온 교환을 방해하지 않는다는 것을 발견하였다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리에 대해 인산의 첨가는, 실리카 (유리에서  $SiO_2$ )가, 사면체 배위 붕소 및 인산으로 이루어지는, 사면체 배위 알루미늄 및 인산 및/또는 붕소 인산염 ( $BPO_4$ )으로 이루어진, 알루미늄 인산염 ( $AlPO_4$ )에 의해 대체되는 구조를 생성한다. 본 명세서에 기재된 유리는 일반적으로 4 mol% 초과와  $P_2O_5$ 를 함유한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 4 내지 약 15 mol%  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 4 내지 약 12 mol%  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 4 내지 약 10 mol%  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 6 내지 약 10 mol%  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 4 내지 약 15 mol%, 약 6 내지 약 15 mol%, 약 8 내지 약 15 mol%, 약 10 내지 약 15 mol%, 약 12 내지 약 15 mol%, 약 4 내지 약 12 mol%, 약 4 내지 약 10 mol%, 약 4 내지 약 8 mol%, 약 4 내지 약 6 mol%, 약 6 내지 약 12 mol%, 약 6 내지 약 10 mol%, 약 6 내지 약 8 mol%, 약 8 내지 약 12 mol%, 약 8 내지 약 10 mol%, 약 10 내지 약 12 mol%  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 또는 15 mol%  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다.

[0061]  $Na_2O$ 는 구현된 유리에서 이온 교환하기 위해 사용될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 13 내지 약 25 mol%  $Na_2O$ 를 포함할 수 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 13 내지 약 20 mol%  $Na_2O$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 13 내지 약 25 mol%, 약 13 내지 약 20 mol%, 약 13 내지 약 18 mol%, 약 13 내지 약 15 mol%, 약 15 내지 약 25 mol%, 약 15 내지 약 20 mol%, 약 15 내지 약 18 mol%, 약 18 내지 약 25 mol%, 약 18 내지 약 20 mol%, 또는 약 20 내지 약 25 mol%를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 또는 25 mol%  $Na_2O$ 를 포함할 수 있다.

[0062]  $R_xO$ 는 일반적으로 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물을 묘사한다. 상기 제공된  $R_xO$ 는 상기 유리의 이온 교환을 위해 장점을 제공할 수 있다. 이러한 1가 및 2가 산화물은 알칼리 금속 산화물 ( $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ), 알칼리 토 산화물 ( $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ ), 및  $ZnO$ 과 같은, 그러나 이에 제한되지 않는, 전이 금속 산화물을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물의  $R_xO$ 의 양은  $(M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%)) < 1.4$ 으로 기재된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물의  $R_xO$ 의 양은  $(M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%)) < 1.0$ 으로 기재된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물에서  $R_xO$ 의 양은  $0.6 < (M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%)) < 1.4$ 으로 기재된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 조성물에서  $R_xO$ 의 양은  $0.6 < (M_2O_3(mol\%)/\Sigma R_xO(mol\%)) < 1.0$ 으로 기재된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 7 내지 약 30 mol%의  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 14 내지 약 25 mol%의  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 7 내지 약 30 mol%, 약 7 내지 약 25 mol%, 약 7 내지 약 22 mol%, 약 7 내지 약 20 mol%, 약 7 내지 약 18 mol%, 약 7 내지 약 15 mol%, 약 7 내지 약 10 mol%, 약 10 내지 약 30 mol%, 약 10 내지 약 25 mol%, 약 10 내지 약 22 mol%, 약 10 내지 약 18 mol%, 약 10 내지 약 15 mol%, 약 15 내지 약 30 mol%, 약 15 내지 약 25 mol%, 약 15 내지 약 22 mol%, 약 15 내지 약 18 mol%, 약 18 내지 약 30 mol%, 약 18 내지 약 25 mol%, 약 18 내지 약 22 mol%, 약 18 내지 약 20 mol%, 약 20 내지 약 30 mol%, 약 20 내지 약 25 mol%, 약 20 내지 약 22 mol%, 약 22 내지 약 30 mol%, 약 22 내지 약 25 mol%, 또는 약 25 내지 약 30 mol%를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 또는 30 mol%  $R_xO$ 를 포함할 수 있다.

[0063]  $M_2O_3$ 는 상기 조성물에서  $Al_2O_3$  및  $B_2O_3$ 의 양을 설명한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 11 내

지 약 30 mol%  $M_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 14 내지 약 20 mol%  $M_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 11 내지 약 30 mol%, 약 11 내지 약 25 mol%, 약 11 내지 약 20 mol%, 약 11 내지 약 18 mol%, 약 11 내지 약 15 mol%, 약 12 내지 약 30 mol%, 약 12 내지 약 25 mol%, 약 12 내지 약 20 mol%, 약 12 내지 약 18 mol%, 약 12 내지 약 15 mol%, 약 14 내지 약 30 mol%, 약 14 내지 약 25 mol%, 약 14 내지 약 20 mol%, 약 14 내지 약 18 mol%, 약 14 내지 약 15 mol%, 약 18 내지 약 25 mol%, 약 18 내지 약 20 mol%, 또는 약 20 내지 약 25 mol%  $M_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 약 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 또는 30 mol%  $M_2O_3$ 를 포함할 수 있다.

[0064] 몇몇 구현 예에 있어서  $K_2O$ 는 이온 교환을 위해 사용될 수 있지만, 압축 응력에 대해 해로울 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은  $K_2O$ 가 없다. 상기 유리 조성물은, 예를 들어,  $K_2O$  함량이 0.5 mol% 이하, 0.25 mol% 이하, 0.1 mol% 이하, 약 0.05 mol% 이하, 0.001 mol% 이하, 0.0005 mol% 이하, 또는 0.0001 mol% 이하인 경우, 실질적으로  $K_2O$ 가 없는 것이다. 몇몇 구현 예에 따르면, 상기 유리 시트는 의도적으로 첨가된 소금이 없다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 0 내지 약 1 mol%  $K_2O$ 를 포함할 수 있다. 다른 구현 예에 있어서, 상기 유리는 0 내지 약 1 mol% 초과  $K_2O$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 0 내지 약 2 mol%, 0 내지 약 1.5 mol%, 0 내지 약 1 mol%, 0 내지 약 0.9 mol%, 0 내지 약 0.8 mol%, 0 내지 약 0.7 mol%, 0 내지 약 0.6 mol%, 0 내지 약 0.5 mol%, 0 내지 약 0.4 mol%, 0 내지 약 0.3 mol%, 0 내지 약 0.2 mol%, 또는 0 내지 약 0.1 mol%를 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 또는 1 mol%  $K_2O$ 를 포함할 수 있다.

[0065] 부가적인 성분은 부가적인 이점을 제공하기 위해 상기 유리 조성물에 혼입될 수 있다. 예를 들어, 부가적인 성분은 (예를 들어, 상기 유리를 생산하는데 사용된 용융된 배치 물질로부터 가스성 함유물의 제거를 촉진하기 위한) 청징제 및/또는 다른 목적을 위해 첨가될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 자외선 흡수제로서 유용한 하나 이상의 화합물을 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 3 mol% 이하의  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $ZnO$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $MoO_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $La_2O_3$ ,  $HfO_2$ ,  $CdO$ ,  $SnO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CeO_2$ ,  $As_2O_3$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $Cl$ ,  $Br$ , 또는 이의 조합을 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 0 내지 약 3 mol%, 0 내지 약 2 mol%, 0 내지 약 1 mol%, 0 내지 0.5 mol%, 0 내지 0.1 mol%, 0 내지 0.05 mol%, 또는 0 내지 0.01 mol%의  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $ZnO$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $MoO_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $La_2O_3$ ,  $HfO_2$ ,  $CdO$ ,  $SnO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CeO_2$ ,  $As_2O_3$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $Cl$ ,  $Br$ , 또는 이의 조합을 포함할 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 0 내지 약 3 mol%, 0 내지 약 2 mol%, 0 내지 약 1 mol%, 0 내지 약 0.5 mol%, 0 내지 약 0.1 mol%, 0 내지 약 0.05 mol%, 또는 0 내지 약 0.01 mol%의  $TiO_2$ ,  $CeO_2$ , 또는  $Fe_2O_3$ , 또는 이의 조합을 포함할 수 있다.

[0066] 몇몇 구현 예에 따르면, 상기 유리 조성물 (예를 들어, 상기에서 논의된 어떤 유리)는, 예를 들어, 상기 유리가 청징제로서  $Cl$  및/또는  $Br$ 을 포함하는 경우에 있어서,  $F$ ,  $Cl$ , 또는  $Br$ 을 포함할 수 있다.

[0067] 몇몇 구현 예에 따른, 유리 조성물은  $BaO$ 를 포함할 수 있다. 어떤 구현 예에 있어서, 상기 유리는 약 5 미만, 약 4 미만, 약 3 미만, 약 2 미만, 약 1 미만, 0.5 미만, 또는 0.1 mol% 미만의  $BaO$ 를 포함할 수 있다.

[0068] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 실질적으로  $Sb_2O_3$ ,  $As_2O_3$ , 또는 이의 조합이 없을 수 있다. 예를 들어, 상기 유리는 0.05 mol% 이하의  $Sb_2O_3$  또는  $As_2O_3$  또는 이의 조합을 포함할 수 있고, 상기 유리는 0 mol%의  $Sb_2O_3$  또는  $As_2O_3$  또는 이의 조합을 포함할 수 있으며, 또는 상기 유리는, 예를 들어, 의도적으로 첨가된  $Sb_2O_3$ ,  $As_2O_3$ , 또는 이의 조합이 없을 수 있다.

[0069] 몇몇 구현 예에 따르면, 상기 유리는 상업적으로-제조된 유리에서 통상적으로 발견된 오염원을 더욱 포함할 수 있다. 부가적으로, 또는 선택적으로, 다양한 다른 산화물 (예를 들어,  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $ZnO$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $MoO_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $WO_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ ,  $La_2O_3$ ,  $P_2O_5$ , 및 이와 유사한 것)은, 다른 유리 성분에 대한 조정에도, 상기 유리 조성물의 용융 또는 형성 특징을 절충하지 않고, 첨가될 수 있다. 몇몇 구현 예에 따른, 이러한 다른 산화물을 더욱 포함하는 상기 유리의 경우에 있어서, 각각의 이러한 다른 산화물은 통상적으로 약 3 mol%, 약 2 mol%, 또는 약 1 mol%를

초과하지 않는 양으로 존재하고, 이들의 총 조합된 농도는 통상적으로 약 5 mol%, 약 4 mol%, 약 3 mol%, 약 2 mol%, 또는 약 1 mol% 이하이다. 몇몇 상황에 있어서, 더 많은 양은 전술된 범위 밖으로 조성물을 배치하지 않도록 사용되지 않는 한 사용될 수 있다. 몇몇 구현 예에 따르면, 상기 유리는 또한 배치 물질과 연관된 및/또는 상기 유리를 생산하는데 사용된 용융, 청징, 및/또는 형성 장비에 의해 유리에 도입된 다양한 오염원을 포함할 수 있다.

[0070] 몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리 및 제품은 약 40 mol% 내지 약 70 mol%  $\text{SiO}_2$ ; 약 11 mol% 내지 약 25 mol%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 15 mol%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 및 약 11 mol% 내지 약 25 mol%  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함한다.

[0071] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 높은 내손상성을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 7 kilograms force (kgf) 초과와 비커스 균열 임계값을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 12 kgf 초과와 비커스 균열 임계값을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 15 kgf 초과와 비커스 균열 임계값을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 20 kgf 초과와 비커스 균열 임계값을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리 조성물은 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 또는 25 kgf 초과와 비커스 균열 임계값을 갖는다.

[0072] 구현된 유리의 비-제한 예 (여기서 상기 유리 두께는 0.7 mm이다)는 표 1에 기재된다.

[0073] [표 1]

[0074] 유리 조성물 및 특성

샘플	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
SiO <sub>2</sub> (mol%)	61	59	57	62	60	58	60	60	60	60	60	60
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mol%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mol%)	15.5	16.5	17.5	15.5	16.5	17.5	16	16	16	16	16	16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mol%)	7	7	7	6	6	6	5	5	6	6	7	7
Na <sub>2</sub> O (mol%)	16.5	17.5	18.5	16.5	17.5	18.5	16	16	16	16	16	16
MgO (mol%)	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	1	0
ZnO (mol%)	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	1
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.388	2.401	2.412	2.393	2.406	2.416						
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.41	30.43	30.47	30.01	30.03	30.08						
연화점 (°C)	615	620	625	633	638	640						
어닐링점 (°C)	675	678	682	693	697	699						
연화점 (°C)	963	958	951	973	978	969						
T200P (°C)	1732	1708	1683	1752	1720	1698						
T35000P (°C)	1284	1274	1260	1304	1289	1275						
T160000P (°C)	1195	1186	1176	1215	1202	1191						
액상온도 (°C)	775	740	730	770	790	770						
0.7 mm 어닐링된 부분의 두께												
410°C, 8 hr 압축응력 (MPa)	665	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상						
410°C, 8 hr 층의 깊이 (μm)	113	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상	FSM의 한도 이상						
410°C, 1 hr 압축응력 (MPa)	764	806	866	805	863	922						
410°C, 1 hr 층의 깊이 (μm)	40	38	38	39	37	36						
410°C, 4 hr 압축응력 (MPa)	706	747	804	745	805	FSM의 한도 이상						
410°C, 4 hr 층의 깊이 (microns)	80	82	80	77	77	FSM의 한도 이상						
410°C, 4 hr 비커스 표면 개시 하중 (kgf)	>25	>20	>20	>15	>25	>15						
470°C, 6 min 압축응력 (MPa)	736	780	837	778	836	894						
470°C, 6 min 층의 깊이 (μm)	23	23	23	23	23	23						
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) / R <sub>x</sub> O	0.94	0.94	0.95	0.94	0.94	0.95	0.84	0.84	0.89	0.89	0.94	0.94
(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O) / M <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.52	1.48	1.46	1.45	1.42	1.40	1.5	1.5	1.5	1.5	1.54	1.5
어닐링된 부분의 410°C에서 K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup> 이온-교환 내부 확산 계수 x 10 <sup>-10</sup> (cm <sup>2</sup> /s)	5.78	5.65	5.50	5.43	5.16	4.69						

[0075]

[0076] 구현된 유리의 비-제한 예 (여기서 상기 유리 두께는 1.0 mm이다)는 (이온 교환 데이터에 대하여, 만약 SOC가 제공되지 않는 경우, 사용된 결점은 1.0 mm 두께 이온-교환 부를 사용한 3.0인) 표 2에 기재된다.

[0077] [표 2]



[0078] 유리 조성물 및 특징

실시 예	1	2	3	4	5	6	7
mol%로 SiO <sub>2</sub>	61.0	59.0	57.0	62.0	60.0	58.0	58.0
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.5	16.5	17.5	15.5	16.5	17.5	17.4
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	6.1
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.5	17.5	18.5	16.5	17.5	18.5	18.5
mol%로 MgO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.94	0.94	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.52	1.48	1.46	1.45	1.42	1.40	1.41
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.52	1.48	1.46	1.45	1.42	1.40	1.40
wt%로 SiO <sub>2</sub>	50.5	48.5	46.6	51.9	49.9	48.0	48.0
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.8	23.0	24.3	22.0	23.3	24.6	24.4
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.7	13.6	13.5	11.9	11.8	11.7	11.8
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.1	14.8	15.6	14.2	15.0	15.8	15.8
wt%로 MgO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	none	none	none	none	none	none	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.388	2.401	2.412	2.393	2.406	2.416	2.416
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.41	30.43	30.47	30.01	30.03	30.08	30.08
변형점(°C)	615	620	625	633	638	640	640
어닐링점(°C)	675	678	682	693	697	699	699
연화점(°C)	963	958	951	973	978	969	969
200 P 점도에서 온도 (°C)	1732	1708	1683	1752	1720	1698	1698
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1284	1274	1260	1304	1289	1275	1275
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1195	1186	1176	1215	1202	1191	1191
액상 온도(°C)	775	740	730	770	790	770	890
액상 점도(P)	2.91E+10	8.74E+10	4.40E+11	1.67E+11	2.46E+10	2.04E+11	7.09E+08
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))							

[0079]

실시 예	1	2	3	4	5	6	7
근사 가상 온도(°C)	675	678	682	693	697	699	795
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	777	820	881	819	878	938	804
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	40	38	38	39	37	36	43
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)	718	760	818	758	819	초과	
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)	80	82	80	77	77	초과	
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>25	>20	>20	>15	>25	>15	
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)	678	초과	초과	초과	초과	초과	
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)	113	초과	초과	초과	초과	초과	
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	5.7E-10	5.1E-10	5.1E-10	5.4E-10	4.9E-10	4.6E-10	6.6E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr	5.7E-10	6.0E-10	5.7E-10	5.3E-10	5.3E-10		
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr	5.7E-10						

[0080]

실시예	8	9	10	11	12	13	14
mol%로 SiO <sub>2</sub>	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	62.0
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.0	5.0	6.0	6.0	7.0	7.0	5.0
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0
mol%로 MgO	3.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	3.0
mol%로 ZnO	0.0	3.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.84	0.84	0.89	0.89	0.94	0.94	0.83
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.31	1.31	1.38	1.38	1.44	1.44	1.33
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.53
wt%로 SiO <sub>2</sub>	51.1	50.2	50.3	49.8	49.6	49.4	53.1
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.1	22.7	22.8	22.5	22.5	22.3	21.8
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.1	9.9	11.9	11.8	13.7	13.6	10.1
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.0	13.8	13.8	13.7	13.7	13.6	13.3
wt%로 MgO	1.7	0.0	1.1	0.0	0.6	0.0	1.7
wt%로 ZnO	0.0	3.4	0.0	2.2	0.0	1.1	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	none	none	none	none	none	none	none
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.417	2.453	2.406	2.428	2.393	2.404	2.423
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.21	29.28	29.76	29.83	30.35	30.38	28.95
변형점(°C)	643	621	623	619	611	621	680
어닐링점(°C)	696	681	684	681	675	683	730
연화점(°C)	964	954.3	963.5	963.4	965	967.4	989.1
200 P 점도에서 온도 (°C)	1668	1677	1695	1698	1714	1713	1676
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1247	1252	1268	1265	1280	1277	1252
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1162	1166	1181	1178	1193	1190	1167
액상 온도(°C)	960						1100
액상 점도(P)	1.85E+07						6.28E+05
지트론 파괴 온도 (°C)	1240						>1265
지트론 파괴 점도 (P)	39255						<28281
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.015	3.132	3.055	3.122			2.999

[0081]



실시 예	8	9	10	11	12	13	14
근사 가상 온도(°C)	798	754	767	745	778	778	824
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	932	963	833	895	817	820	970
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	32	28	33	32	39	39	33
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	901	959	813	874	797	796	959
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	44	38	48	46	54	53	44
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>30	>20	>20	>20	>20	>20	>20
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)	895	949	808	868	787	781	
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)	54	46	57	55	65	65	
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)	884	942	792	842	770	772	
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)	63	54	64	63	76	76	
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	3.6E-10	2.8E-10	3.9E-10	3.6E-10	5.4E-10	5.4E-10	3.9E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.4E-10	2.6E-10	4.1E-10	3.7E-10	5.2E-10	5.0E-10	3.4E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr	3.4E-10	2.5E-10	3.8E-10	3.6E-10	5.0E-10	5.0E-10	
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr	3.5E-10	2.6E-10	3.6E-10	3.5E-10	5.1E-10	5.1E-10	
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0082]

실시 예	15	16	17	18	19	20	21
mol%로 SiO <sub>2</sub>	61.0	63.1	61.2	61.3	60.8	60.9	60.3
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.8	13.9	15.9	15.8	16.0	15.8	15.7
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.9	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	5.5
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.3	13.9	15.8	16.0	16.1	15.8	16.0
mol%로 MgO	3.8	4.1	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.77	0.77	0.90	0.88	0.88	0.86	0.85
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.36	1.36	1.30	1.32	1.31	1.31	1.37
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.63	1.65	1.43	1.45	1.44	1.47	1.53
wt%로 SiO <sub>2</sub>	52.5	54.6	52.0	52.1	51.7	51.9	51.0
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.6	20.4	23.0	22.7	23.1	22.8	22.5
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.0	10.2	10.0	9.8	9.8	9.8	10.9
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.6	12.4	13.8	14.0	14.1	13.9	13.9
wt%로 MgO	2.2	2.4	1.1	1.1	1.1	1.4	1.4
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.411	2.404	2.413	2.415	2.417	2.418	2.416
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	28.98	28.89	29.32	29.26	29.28	29.17	29.38
변형점(°C)	659	672	631	630	628	630	631
어닐링점(°C)	709	734	689	687	685	683	685
연화점(°C)	980.3	999.4	977.9	973.6	969.2	968.2	960.6
200 P 점도에서 온도 (°C)	1695	1711	1704	1699	1698	1691	1687
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1260	1270	1285	1273	1274	1268	1263
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1173	1183	1197	1187	1188	1182	1177
액상 온도(°C)			970				
액상 점도(P)			2.97E+07				
지트론 파괴 온도 (°C)			>1260				
지트론 파괴 점도 (P)			<52623				
응력 광학 계수 (nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> )			3.095				3.014

[0083]

실시 예	15	16	17	18	19	20	21
근사 가상 온도(°C)	797	831	787	784	781	775	782
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	919	875		918	966	954	
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	36	32		37	35	35	
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	917	863	879	906	926	942	912
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	48	45	47	49	46	48	47
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	15-20	>20	15-20	15-20	15-20	15-20
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)	881	855	856	906	924	910	878
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)	56	56	57	59	55	56	55
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)	874	854	858	869	898	896	
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)	65	65	66	67	64	65	
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	4.6E-10	3.6E-10		4.9E-10	4.3E-10	4.3E-10	
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	4.1E-10	3.6E-10	3.9E-10	4.3E-10	3.7E-10	4.1E-10	3.9E-10
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr	3.7E-10	3.7E-10	3.8E-10	4.1E-10	3.6E-10	3.7E-10	3.6E-10
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr	3.7E-10	3.7E-10		4.0E-10	3.6E-10	3.7E-10	
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0084]

실시 예	22	23	24	25	26	27	28
mol%로 SiO <sub>2</sub>	60.3	62.3	61.3	60.8	60.5	62.2	62.1
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.9	14.7	15.7	16.0	15.9	14.6	14.6
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.5	4.9	5.0	5.0	5.2	5.0	5.0
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.2	15.0	16.0	16.1	16.3	15.1	15.2
mol%로 MgO	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	3.1	0.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.88	0.82	0.87	0.88	0.87	0.80	0.80
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.36	1.36	1.34	1.32	1.35	1.37	1.38
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.48	1.56	1.46	1.45	1.47	1.59	1.59
wt%로 SiO <sub>2</sub>	50.9	53.3	52.1	51.6	51.2	53.4	52.4
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.8	21.3	22.6	23.0	22.9	21.2	20.9
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.9	10.0	10.0	10.0	10.4	10.1	9.9
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.1	13.2	14.0	14.1	14.2	13.3	13.2
wt%로 MgO	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.8	0.0
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.415	2.415	2.414	2.417	2.416	2.413	2.449
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.49	29.07	29.30	29.31	29.40	29.02	29.10
변형점(°C)	632	644	638	639	636	652	614
어닐링점(°C)	688	695	694	696	694	702	671
연화점(°C)	965.7	980.7	975.7	972.1	970.6	977.2	950
200 P 점도에서 온도 (°C)	1690	1699	1703	1698	1691	1704	1702
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1267	1267	1278	1275	1269	1263	1253
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1181	1179	1191	1189	1183	1178	1167
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.058	3.045	3.029	3.045	3.041	3.044	3.156

[0085]

실시 예	22	23	24	25	26	27	28
금사 가상 온도(°C)	773	795	780	782	769	796	762
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)						873	901
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)						33	29
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	900	858	902	906	909	870	862
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	47	47	47	47	46	47	41
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	15-20	15-20	15-20	>20	>20	15-20
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)	896	846	890	906	900	862	880
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)	55	56	56	55	53	55	49
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)						864	870
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)						61	54
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr						3.9E-10	3.0E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.9E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.7E-10	3.9E-10	3.0E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr	3.6E-10	3.7E-10	3.7E-10	3.6E-10	3.3E-10	3.6E-10	2.8E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr						3.3E-10	2.6E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0086]



실시 예	29	30	31	32	33	34	35
mol%로 SiO <sub>2</sub>	62.2	60.3	60.0	60.0	59.9	60.7	60.3
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.8	15.6	15.6	15.8	15.7	15.4	15.5
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	5.4
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.3	15.9	16.2	16.4	16.3	15.9	15.8
mol%로 MgO	2.5	3.0	0.0	2.6	2.9	2.9	3.0
mol%로 ZnO	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.83	0.82	0.81	0.83	0.82	0.82	0.82
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.37	1.34	1.36	1.35	1.35	1.35	1.37
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.54	1.54	1.56	1.52	1.54	1.54	1.56
wt%로 SiO <sub>2</sub>	53.2	51.4	50.3	51.0	51.0	51.8	51.2
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.5	22.5	22.1	22.8	22.7	22.4	22.3
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.0	10.1	9.8	10.0	10.1	10.0	10.8
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.5	14.0	14.0	14.4	14.3	14.0	13.8
wt%로 MgO	1.5	1.7	0.0	1.5	1.7	1.7	1.7
wt%로 ZnO	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.411	2.424	2.46	2.423	2.426	2.422	2.422
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.12	29.07	29.15	29.17	29.08	29.06	29.20
변형점(°C)	642	646	618	641	633	630	625
어닐링점(°C)	696	696	674	693	682	681	676
연화점(°C)	972.7	960.3	941.8	960	952.8	957.2	950.7
200 P 점도에서 온도 (°C)	1713	1664	1668	1676	1670	1673	1672
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1271	1240	1238	1246	1243	1250	1241
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1185	1155	1153	1162	1160	1164	1157
액상 온도(°C)						995	975
액상 점도(P)						6.97E+06	1.21E+07
지트론 파괴 온도 (°C)						1240	1265
지트론 파괴 점도 (P)						41251	23823
응력 광학 계수 (nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> )	3.05	2.938	3.112	3.009	2.994	3.018	3.266

[0087]

실시 예	29	30	31	32	33	34	35
근사 가상 온도(°C)	795	794	749	791	779	775	772
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)			921	927			
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)			28	33			
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	868	943	921	946	948	890	834
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	48	46	41	48	46	44	48
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	>20	15-20	10-15	10-15	>20	>20
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)	862	941	895	921	936	885	818
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)	55	54	47	55	51	55	52
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)			894	924		875	
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)			52	61		63	
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr			2.8E-10	3.9E-10			
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	4.1E-10	3.7E-10	3.0E-10	4.1E-10	3.7E-10	3.4E-10	4.1E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr	3.6E-10	3.4E-10	2.6E-10	3.6E-10	3.1E-10	3.6E-10	3.2E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr			2.4E-10	3.3E-10		3.5E-10	
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0088]

실시 예	36	37	38	39	40	41	42
mol%로 SiO <sub>2</sub>	60.0	60.4	60.2	62.8	61.3	61.1	60.9
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.6	15.6	15.5	14.4	15.1	15.2	15.3
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.5	5.0	4.9	4.1	4.7	4.8	4.9
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.3	16.4	16.4	15.6	15.7	15.8	15.8
mol%로 MgO	2.5	2.5	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.83	0.83	0.80	0.77	0.81	0.81	0.81
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.39	1.37	1.38	1.37	1.35	1.35	1.35
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.55	1.53	1.57	1.58	1.55	1.55	1.55
wt%로 SiO <sub>2</sub>	50.8	51.4	51.4	54.5	52.6	52.3	52.1
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.4	22.5	22.4	21.1	22.0	22.1	22.2
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.9	10.1	9.9	8.3	9.5	9.7	9.9
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.2	14.4	14.4	14.0	13.9	13.9	13.9
wt%로 MgO	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.419	2.421	2.427	2.422	2.422	2.422	2.422
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.35	29.17	29.00	28.58	28.92	28.98	29.03
변형점(°C)	619	624	632	653	635	634	632
어닐링점(°C)	672	677	680	704	685	684	682
연화점(°C)	954.2	956.8	952.6	977.4	963.1	961.8	957.4
200 P 점도에서 온도 (°C)	1675	1680	1659	1709	1693	1690	1689
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1246	1255	1229	1263	1257	1256	1254
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1161	1169	1145	1176	1170	1170	1168
액상 온도(°C)	985	990					
액상 점도(P)	1.00E+07	9.03E+06					
지트론 파괴 온도 (°C)	1260	1240					
지트론 파괴 점도 (P)	27805	45159					
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	2.986	3.005	3.008				

[0089]



실시 예	36	37	38	39	40	41	42
근사 가상 온도(°C)	767	768	778	793	773	772	770
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)		925		979	973	967	967
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)		34		30	30	29	29
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	903	928	934	980	978	975	948
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	46	46	46	42	41	41	41
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	15-20	10-15	15-20	15-20	15-20	15-20	10-15
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)		923	943	930	934	927	925
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)		54	53	53	51	51	51
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)		920		949	948	943	941
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)		59		59	57	57	57
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)				15-20	15-20	15-20	10-15
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr		4.1E-10		3.2E-10	3.2E-10	3.0E-10	3.0E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.7E-10	3.7E-10	3.7E-10	3.1E-10	3.0E-10	3.0E-10	3.0E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr		3.4E-10	3.3E-10	3.3E-10	3.1E-10	3.1E-10	3.1E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr		3.1E-10		3.1E-10	2.9E-10	2.9E-10	2.9E-10

[0090]

실시 예	43	44	45	46	47	48	49
mol%로 SiO <sub>2</sub>	60.4	60.2	60.1	60.0	59.9	60.1	59.3
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.5	15.6	15.6	15.6	15.7	15.6	15.3
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.2	5.7
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.9	16.0	16.0	16.0	16.1	16.1	16.5
mol%로 MgO	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.79
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.37	1.46
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.54	1.55	1.55	1.54	1.54	1.55	1.65
wt%로 SiO <sub>2</sub>	51.5	51.3	51.2	51.1	51.0	51.2	50.2
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.4	22.5	22.6	22.6	22.7	22.5	22.0
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.1	10.2	10.2	10.2	10.3	10.4	11.4
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.0	14.0	14.0	14.1	14.1	14.1	14.5
wt%로 MgO	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.423	2.424	2.425	2.424	2.424	2.423	2.424
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.09	29.10	29.10	29.11	29.14	29.14	29.27
변형점(°C)	628	629	633	630	629	615	603
어닐링점(°C)	680	680	680	681	680	664	651
연화점(°C)	954	952.8	956.5	953.3	953	944.5	929.6
200 kPa 점도에서 온도 (°C)	1684	1678	1676	1681	1678	1681	1665
35 kPa 점도에서 온도 (°C)	1257	1245	1248	1249	1251	1242	1225
160 kPa 점도에서 온도 (°C)	1171	1160		1163	1166	1158	1141
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))							

[0091]

실시 예	43	44	45	46	47	48	49
근사 가상 온도(°C)	770	769	765	770	769	752	737
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	975	964	992				
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	29	29	27				
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	960	955	990	945	948	939	905
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	41	40	38	38	38	38	39
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	25-30	25-30	>20	>20	>20	15-20	10-15
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)	930	933	970				
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)	50	50	53				
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)	948	940					
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)	56	56					
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	25-30	20-25					
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	3.0E-10	3.0E-10	2.6E-10				
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.0E-10	2.8E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.7E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr	3.0E-10	3.0E-10	3.3E-10				
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr	2.8E-10	2.8E-10					
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0092]

실시 예	50	51	52	53	54	55	56
mol%로 SiO <sub>2</sub>	61.8	56.9	60.1	60.2	60.1	61.1	61.0
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.5	13.4	15.0	15.4	15.2	14.6	14.9
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.0	10.0	6.0	5.4	5.7	5.4	5.5
mol%로 Na <sub>2</sub> O	19.5	19.6	15.7	15.9	15.9	15.2	15.5
mol%로 MgO	0.0	0.0	3.0	3.0	3.0	3.5	3.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.69	0.68	0.80	0.81	0.80	0.78	0.80
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.82	2.21	1.44	1.38	1.42	1.41	1.41
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.82	2.21	1.64	1.58	1.62	1.65	1.62
wt%로 SiO <sub>2</sub>	52.9	46.0	50.9	51.2	50.9	52.2	51.9
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.5	18.4	21.6	22.2	21.9	21.2	21.5
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.1	19.1	11.9	10.7	11.3	10.9	11.0
wt%로 Na <sub>2</sub> O	17.2	16.3	13.7	13.9	13.9	13.4	13.6
wt%로 MgO	0.0	0.0	1.7	1.7	1.7	2.0	1.7
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.426	2.408	2.413	2.419	2.416	2.415	2.415
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	28.96	30.85	29.45	29.23	29.34	29.10	29.21
변형점(°C)	574	522	626	637	630	649	639
어닐링점(°C)	625	568	679	688	681	701	689
연화점(°C)	872.9	825.1	947.3	955.1	949.9	969.4	961
200 kPa 점도에서 온도 (°C)	1651	1587	1686	1679	1684	1678	1698
35 kPa 점도에서 온도 (°C)	1162	1126	1248	1253	1248	1248	1256
160 kPa 점도에서 온도 (°C)	1075	1040	1162	1169	1163	1163	1172
액상 온도(°C)	990	915	1000				
액상 점도(P)	9.59E+05	2.61E+06	6.34E+06				
지트론 파괴 온도 (°C)	1235	>1245	1275	>1270		>1300	
지트론 파괴 점도 (P)	11856	<6194	22653	<26470		<15377	
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))			3.069	3.107	2.986	3.089	3.064

[0093]

실시 예	50	51	52	53	54	55	56
근사 가상 온도(°C)	710	650	769	776	769	790	777
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)			850	891	870	852	867
410°C 1 h 층의 길이 (mm)			47	37	38	37	38
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	501	496	857	873	848	841	829
410°C 2 hr 층의 길이 (mm)	90	88	52	49	52	50	50
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	>20	20-30	>20	>20	>20	10-15
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)			842	863	834	836	832
410°C 3 hr 층의 길이 (mm)			59	64	63	63	64
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)			828	859	842	826	835
410°C 4 hr 층의 길이 (mm)			70	72	70	73	72
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 길이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr			7.8E-10	4.9E-10	5.1E-10	4.9E-10	5.1E-10
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	1.4E-09	1.4E-09	4.8E-10	4.3E-10	4.8E-10	4.4E-10	4.4E-10
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr			4.1E-10	4.8E-10	4.7E-10	4.7E-10	4.8E-10
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr			4.3E-10	4.6E-10	4.3E-10	4.7E-10	4.6E-10
DFSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0094]

실시예	57	58	59	60	61	62	63
mol%로 SiO <sub>2</sub>	60.2	60.2	60.3	60.4	60.3	60.4	60.2
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.0	15.3	15.1	15.5	15.3	15.4	15.1
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.5	6.0	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.6	15.4	15.1	15.4	15.3	15.4	15.2
mol%로 MgO	3.5	3.0	3.6	2.5	3.1	2.8	3.4
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.78	0.83	0.81	0.86	0.83	0.85	0.81
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.41	1.40	1.39	1.38	1.39	1.38	1.40
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.65	1.59	1.63	1.54	1.59	1.56	1.63
wt%로 SiO <sub>2</sub>	51.3	50.9	51.1	50.9	51.0	50.9	50.9
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.7	21.9	21.7	22.2	21.9	22.1	21.7
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11.0	11.9	11.7	11.8	11.8	11.8	11.9
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.8	13.4	13.2	13.4	13.3	13.4	13.3
wt%로 MgO	2.0	1.7	2.0	1.4	1.7	1.6	1.9
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.42	2.41	2.42	2.41	2.42	2.41	2.41
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.13	29.49	29.32	29.57	29.43	29.50	29.41
변형점(°C)	647	627	634	624	627	625	627
어닐링점(°C)	697	682	684	680	680	679	679
연화점(°C)	962.8	952	959.1	954.6	951	951.6	954.9
200 P 점도에서 온도 (°C)	1677	1728	1679	1693	1685	1687	1673
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1247	1257	1246	1259	1253	1257	1235
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1163	1173	1160	1173	1168	1171	1151
액상 온도(°C)			1090				
액상 점도(P)			6.79E+05				
지트론 파괴 온도 (°C)			1265				>1250
지트론 파괴 점도 (P)			25644				<27583
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.046		3.092		3.085		3.037

[0095]



실시 예	57	58	59	60	61	62	63
근사 가상 온도(°C)	784	776	778	779	779	773	787
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	883						
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	37						
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	870	879	910	878	869	885	885
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	52	46	45	47	50	46	45
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	30-40	30-40	30-40	20-30	20-30	30-40
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)	861						
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)	63						
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)	853						
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)	71						
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	4.9E-10						
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	4.8E-10	3.8E-10	3.6E-10	3.9E-10	4.4E-10	3.7E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr	4.7E-10						
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr	4.5E-10						
D FSM DOL ~ $1.4*2*(Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0096]

실시 예	64	65	66	67	68	69	70
mol%로 SiO <sub>2</sub>	59.9	60.0	60.1	60.1	60.2	60.2	57.1
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.5	15.3	15.5	15.2	15.4	15.0	17.5
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.4	5.3	3.6	5.6	5.8	5.8	6.8
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.9	15.6	15.5	15.4	15.4	15.2	18.4
mol%로 MgO	3.1	3.6	3.1	3.6	3.0	3.6	0.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.81	0.80	0.83	0.80	0.83	0.80	0.95
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.38	1.37	1.24	1.38	1.39	1.40	1.44
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.58	1.60	1.44	1.61	1.58	1.63	1.45
wt%로 SiO <sub>2</sub>	50.9	51.2	53.1	51.1	50.9	51.2	46.8
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.3	22.1	23.1	21.9	22.0	21.7	24.2
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10.8	10.7	7.6	11.2	11.7	11.6	13.2
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.0	13.7	14.1	13.5	13.5	13.3	15.5
wt%로 MgO	1.8	2.1	1.8	2.0	1.7	2.0	0.0
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.419	2.421	2.417	2.419	2.415	2.416	2.41
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.23	29.12	28.17	29.23	29.43	29.29	30.41
변형점(°C)	637	640	631	638	629	634	619
어닐링점(°C)	689	689	683	687	681	684	679
연화점(°C)	958	962.4	956.3	962.4	954.1	959.7	953.7
200 kPa 점도에서 온도 (°C)	1680	1670	1675	1665	1681	1676	1680
35 kPa 점도에서 온도 (°C)	1253	1249	1245	1240	1253	1247	1246
160 kPa 점도에서 온도 (°C)	1168	1165	1159	1155	1167	1162	1165
액상 온도(°C)							855
액상 점도(P)							1.99E+09
지트론 파괴 온도 (°C)							1225
지트론 파괴 점도 (P)							50768
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))							2.997

[0097]



실시 예	64	65	66	67	68	69	70
근사 가상 온도(°C)	778	776	773	774	771	772	776
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)							808
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)							43
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							>50
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	929	925	914	914	898	900	
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	48	47	49	48	50	48	
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	>20	>20	>20	>20	>20	
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr							6.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	4.1E-10	3.9E-10	4.3E-10	4.1E-10	4.4E-10	4.1E-10	
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0098]

실시 예	71	72	73	74	75	76	77
mol%로 SiO <sub>2</sub>	56.4	55.5	56.2	56.3	57.4	57.3	56.4
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.4	17.4	16.5	14.5	16.6	14.5	16.5
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8.0	8.9	8.0	7.9	7.0	6.9	7.9
mol%로 Na <sub>2</sub> O	18.1	18.0	18.1	18.0	17.8	18.1	19.0
mol%로 MgO	0.1	0.1	1.0	3.1	1.0	3.0	0.0
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.96	0.97	0.86	0.69	0.88	0.69	0.87
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.50	1.54	1.59	1.79	1.50	1.72	1.62
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.50	1.55	1.65	2.00	1.56	1.93	1.62
wt%로 SiO <sub>2</sub>	45.6	44.4	45.8	46.7	47.3	48.0	45.9
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.9	23.7	22.8	20.4	23.2	20.6	22.8
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15.2	16.8	15.4	15.5	13.6	13.8	15.1
wt%로 Na <sub>2</sub> O	15.1	14.9	15.2	15.4	15.2	15.6	16.0
wt%로 MgO	0.0	0.0	0.6	1.7	0.5	1.7	0.0
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.41	2.41	2.42	2.43	2.42	2.43	2.42
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.82	31.19	30.54	29.86	30.16	29.49	30.58
변형점(°C)	603	591	586	571	601	588	586
어닐링점(°C)	661	648	642	619	658	634	642
연화점(°C)	932.5	916.5	909.5	877.4	928.3	900.7	906.5
200 P 점도에서 온도 (°C)	1653	1660	1641	1603	1660	1616	1644
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1227	1224	1214	1171	1233	1183	1212
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1142	1138	1128	1086	1148	1098	1126
액상 온도(°C)	800						
액상 점도(P)	2.74E+09						
지트론 파괴 온도 (°C)	1265						
지트론 파괴 점도 (P)	18914						
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.038		3.005	2.998	2.992	2.977	

[0099]

실시 예	71	72	73	74	75	76	77
근사 가상 온도(°C)	756	742	735	703	752	717	734
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	888			734	816	809	
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	43			44	49	45	
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)	40-50						
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)		731	706	706	804	775	711
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)		62	62	60	58	59	68
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)		>40	>40	>20	30-40	>20	>20
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	6.6E-10			6.9E-10	8.5E-10	7.2E-10	
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr		6.9E-10	6.8E-10	6.4E-10	5.9E-10	6.2E-10	8.3E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0100]

실시 예	78	79	80	81	82	83	84
mol%로 SiO <sub>2</sub>	56.3	57.2	57.6	50.4	56.4	55.9	55.4
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.5	16.5	15.5	19.8	18.1	18.1	18.1
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.9	6.9	6.8	9.8	7.2	7.7	7.7
mol%로 Na <sub>2</sub> O	20.0	19.1	20.0	19.9	18.2	18.2	18.1
mol%로 MgO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.78	0.86	0.78	0.99	0.99	0.99	0.96
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.80	1.58	1.73	1.50	1.41	1.43	1.43
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.80	1.58	1.73	1.50	1.41	1.43	1.46
wt%로 SiO <sub>2</sub>	46.1	47.0	47.7	39.4	45.8	45.2	44.9
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.5	23.0	21.7	26.3	24.9	24.8	24.8
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15.3	13.5	13.3	18.1	13.9	14.7	14.7
wt%로 Na <sub>2</sub> O	16.9	16.2	17.0	16.0	15.2	15.1	15.1
wt%로 MgO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.42	2.42	2.43	2.42	2.41	2.41	2.42
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.36	30.22	29.94	31.72	30.65	30.81	30.74
변형점(°C)	572	601	582	588	617	610	607
어닐링점(°C)	624	658	634	644	676	670	664
연화점(°C)	879.4	924.2	888.5	904	951.4	947.1	939.1
200 P 점도에서 온도 (°C)	1623	1659	1634	1603	1672	1660	1664
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1180	1224	1190	1192	1254	1250	1233
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1093	1138	1104	1111	1170	1166	1152
액상 온도(°C)					865	800	
액상 점도(P)					5.74E+08	5.51E+09	
지트론 파괴 온도 (°C)					1215	1245	
지트론 파괴 점도 (P)					69204	38105	
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	2.97		2.935	2.999	3.051	3.028	3.044

[0101]

실시 예	78	79	80	81	82	83	84
근사 가상 온도(°C)	692	751	699	716	750	750	740
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	694		750	796	909	887	843
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	64		60	46	41	42	41
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)				30-40	>50	>50	
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	680	751	732	749			837
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	81	66	75	63			56
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>20	>20	>30	30-40			>40
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	1.5E-09		1.3E-09	7.5E-10	6.0E-10	6.3E-10	6.0E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	1.2E-09	7.8E-10	1.0E-09	7.0E-10			5.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0102]

실시 예	85	86	87	88	89	90	91
mol%로 SiO <sub>2</sub>	58.3	58.3	58.6	58.3	58.4	58.4	59.2
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.8	15.6	15.4	15.6	15.4	15.1	15.3
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.8	6.7	6.7	6.8	6.7	6.7	6.8
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.9	15.7	15.2	15.6	15.4	15.1	15.5
mol%로 MgO	3.1	3.0	3.1	3.5	3.5	3.5	3.1
mol%로 ZnO	0.0	0.5	0.9	0.0	0.5	1.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.83	0.81	0.80	0.81	0.79	0.77	0.82
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.43	1.43	1.42	1.44	1.44	1.45	1.45
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.63	1.66	1.68	1.67	1.70	1.75	1.66
wt%로 SiO <sub>2</sub>	48.6	48.6	48.9	48.8	48.8	48.9	49.5
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.4	22.1	21.9	22.1	21.8	21.5	21.7
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.4	13.2	13.1	13.4	13.3	13.3	13.4
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.6	13.5	13.1	13.5	13.3	13.1	13.4
wt%로 MgO	1.7	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	1.7
wt%로 ZnO	0.0	0.5	1.0	0.0	0.5	1.1	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.42	2.42	2.43	2.42	2.42	2.43	2.41
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.81	29.70	29.62	29.72	29.63	29.52	29.78
변형점(°C)	612	614	611	615	614	616	612
어닐링점(°C)	664	666	661	666	663	664	666
연화점(°C)	932.6	935.5	928.4	934	932.5	932.8	942.5
200 P 점도에서 온도 (°C)	1660	1656	1654	1655	1651	1650	1675
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1235	1231	1226	1232	1227	1220	1244
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1150	1147	1141	1147	1143	1136	1158
액상 온도(°C)							975
액상 점도(P)							1.07E+07
지트론 파괴 온도 (°C)							>1300
지트론 파괴 점도 (P)							<14599
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.109	3.112	3.069	3.049	3.082	3.021	3.03

[0103]



실시 예	85	86	87	88	89	90	91
근사 가상 온도(°C)	753	755	748	754	749	749	758
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)							873
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)							33
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	861	862	861	850	881	874	853
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	49	47	46	47	46	45	45
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>40	>40	>40	>40	>40	>40	>50
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr							3.9E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	4.3E-10	3.9E-10	3.7E-10	3.9E-10	3.7E-10	3.6E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0104]

실시 예	92	93	94	95	96	97	98
mol%로 SiO <sub>2</sub>	59.2	59.3	59.3	59.3	59.2	59.3	58.4
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.0	14.8	15.1	14.8	14.6	15.1	16.0
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7	6.8
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.2	14.9	15.1	14.9	14.8	15.2	15.9
mol%로 MgO	3.1	3.0	3.5	3.6	3.6	3.6	2.7
mol%로 ZnO	0.5	1.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.80	0.78	0.81	0.78	0.75	0.80	0.86
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.46	1.47	1.45	1.46	1.48	1.45	1.41
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.71	1.74	1.69	1.74	1.80	1.69	1.58
wt%로 SiO <sub>2</sub>	49.6	49.6	49.7	49.8	49.7	49.9	48.7
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.3	21.0	21.5	21.1	20.7	21.5	22.7
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.4	13.4	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.2	12.9	13.1	12.9	12.8	13.2	13.7
wt%로 MgO	1.7	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
wt%로 ZnO	0.6	1.1	0.0	0.6	1.1	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.43	2.41	2.41	2.42	2.43	2.411	2.414
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.61	29.79	29.71	29.59	29.48	29.64	29.87
변형점(°C)	615	613	617	620	620	616	612
어닐링점(°C)	669	663	668	671	669	669	666
연화점(°C)	936.3	934.5	939.7	938.2	942.5	940.7	940.2
200 P 점도에서 온도 (°C)	1667	1666	1663	1670	1657	1666	1661
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1241	1234	1233	1235	1216	1240	1243
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1156	1148	1147	1151	1133	1153	1158
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.067	3.117	3.08	3.115	3.091		

[0105]

실시 예	92	93	94	95	96	97	98
근사 가장 온도(°C)	760	751	757	759	756	760	758
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)						864	896
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)						29	30
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	831	844	832	850	838	870	889
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	46	44	45	47	44	43	42
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>40	>40	>40	>40	>40	40-50	>50
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr						3.0E-10	3.2E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.7E-10	3.4E-10	3.6E-10	3.9E-10	3.4E-10	3.3E-10	3.1E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0106]

실시 예	99	100	101	102	103	104	105
mol%로 SiO <sub>2</sub>	58.2	59.4	56.6	56.3	59.9	60.5	60.9
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.6	16.0	16.0	16.1	15.1	15.1	15.0
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.8	6.8	7.6	7.7	6.8	6.8	6.8
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.8	16.0	15.9	16.2	15.1	15.0	15.1
mol%로 MgO	3.6	1.7	3.7	3.6	3.1	2.6	2.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.80	0.90	0.82	0.81	0.83	0.86	0.88
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.45	1.43	1.47	1.48	1.45	1.44	1.46
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.68	1.53	1.70	1.71	1.66	1.61	1.59
wt%로 SiO <sub>2</sub>	48.7	49.3	46.8	46.5	50.2	50.7	50.9
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.1	22.6	22.5	22.6	21.4	21.4	21.3
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.4	13.3	14.9	15.0	13.5	13.4	13.5
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.6	13.8	13.6	13.8	13.0	13.0	13.0
wt%로 MgO	2.0	1.0	2.1	2.0	1.7	1.4	1.2
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.415	2.406	2.417	2.417	2.405	2.4	2.396
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.70	30.05	30.04	30.08	29.78	29.87	29.98
변형점(°C)	612	613	596	598	607	607	613
어닐링점(°C)	664	671	649	652	663	663	671
연화점(°C)	937.7	951.1	918.5	919.9	945.2	949.4	955.8
200 P점도에서 온도 (°C)	1658	1698	1631	1637	1682	1695	1709
35 kP점도에서 온도 (°C)	1235	1262	1215	1219	1251	1262	1271
160 kP점도에서 온도 (°C)	1150	1176	1131	1135	1164	1174	1182
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))							

[0107]

실시 예	99	100	101	102	103	104	105
근사 가상 온도(°C)	754	767	739	743	758	759	768
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	895	889	855	853	839	823	817
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	29	32	28	28	30	31	31
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	890	843	865	856	846	820	803
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	43	49	41	42	44	45	46
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>50	>50	>50	>50	40-50	40-50	40-50
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	3.0E-10	3.6E-10	2.8E-10	2.8E-10	3.2E-10	3.4E-10	3.4E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.3E-10	4.3E-10	3.0E-10	3.1E-10	3.4E-10	3.6E-10	3.7E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0108]

실시 예	106	107	108	109	110	111	112	113
mol%로 SiO <sub>2</sub>	56.8	55.8	55.7	55.9	56.0	55.8	55.8	59.9
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.9	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	15.7
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.2	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.8	5.4
mol%로 Na <sub>2</sub> O	17.9	16.1	16.3	16.6	16.6	17.0	17.0	16.2
mol%로 MgO	0.1	2.0	0.1	1.5	0.1	1.3	0.1	2.6
mol%로 ZnO	0.0	0.0	2.0	0.0	1.4	0.0	1.2	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.99	0.98	0.83
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.40	1.33	1.34	1.35	1.35	1.37	1.38	1.38
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.41	1.44	1.45	1.44	1.43	1.44	1.45	1.55
wt%로 SiO <sub>2</sub>	46.3	45.3	44.8	45.3	45.1	45.3	44.9	50.7
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.7	24.9	24.6	24.8	24.6	24.8	24.6	22.5
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.9	14.9	14.7	14.8	14.6	14.8	14.8	10.9
wt%로 Na <sub>2</sub> O	15.0	13.5	13.5	13.9	13.8	14.2	14.1	14.2
wt%로 MgO	0.0	1.1	0.0	0.8	0.0	0.7	0.0	1.5
wt%로 ZnO	0.0	0.0	2.1	0.0	1.6	0.0	1.4	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.409	2.411	2.436	2.411	2.430	2.411	2.427	2.419
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.63	30.69	30.69	30.71	30.70	30.72	30.74	29.34
변형점(°C)	617	621	609	618	604	617	613	629
어닐링점(°C)	677	679	666	676	663	676	671	684
연화점(°C)	956.5	950.7	935.8	949.4	939	949.5	941.5	953
200 P 점도에서 온도 (°C)	1673	1651	1650	1655	1659	1661	1681	1681
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1259	1247	1238	1247	1242	1250	1256	1256
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1174	1164	1154	1164	1161	1167	1171	1171
액상 온도(°C)								
액상 점도(P)								
지트콘 파괴 온도 (°C)								
지트콘 파괴 점도 (P)								
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))		3.088	3.118	3.127	3.183	3.036	3.124	3.147

[0109]



실시 예	106	107	108	109	110	111	112	113
금사 가상 온도(°C)	775	751	742	755	736	751	745	775
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)		869	916	912	921	899	922	969
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)		29	29	32	32	33	32	30
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)								
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	854	884	895	892	901	868	889	933
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	59	42	44	46	46	49	49	46
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	20-30
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)								
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)								
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)								
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)								
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)								
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)								
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)								
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr		3.0E-10	3.0E-10	3.6E-10	3.6E-10	3.9E-10	3.6E-10	3.2E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	6.2E-10	3.1E-10	3.4E-10	3.7E-10	3.7E-10	4.3E-10	4.3E-10	3.7E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr								
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr								
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr								

[0110]

실시 예	114	115	116	117	118	119	120
mol%로 SiO <sub>2</sub>	59.2	58.4	57.9	57.1	56.5	56.8	57.4
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.1	16.5	16.8	17.2	17.6	16.8	16.6
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.8	6.2	6.5	6.9	7.3	7.1	7.1
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.6	17.0	17.3	17.7	18.0	17.1	16.7
mol%로 MgO	2.2	1.7	1.3	0.9	0.5	2.1	2.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.86	0.88	0.90	0.93	0.95	0.88	0.88
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.39	1.40	1.42	1.43	1.44	1.44	1.43
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.53	1.51	1.49	1.48	1.47	1.56	1.56
wt%로 SiO <sub>2</sub>	49.7	48.7	47.9	46.9	46.0	46.8	47.4
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.9	23.3	23.6	24.0	24.4	23.5	23.3
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11.5	12.2	12.8	13.5	14.0	13.8	13.8
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	14.5	14.2
wt%로 MgO	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	1.1	1.2
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.418	2.415	2.416	2.416	2.414	2.419	2.415
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.58	29.86	30.07	30.30	30.54	30.14	30.14
변형점(°C)	624	618	616	616	615	609	610
어닐링점(°C)	681	677	675	674	674	666	666
연화점(°C)	954.9	950.5	948.1	947.9	949.3	930.8	940.6
200 P 점도에서 온도 (°C)	1680	1673	1676	1670	1667	1654	1660
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1257	1253	1254	1250	1249	1235	1240
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1171	1168	1169	1166	1164	1151	1156
액상 온도(°C)		955					
액상 점도(P)		2.67E+07					
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.038	3.050	3.080	3.004	3.093		

[0111]

실시 예	114	115	116	117	118	119	120
근사 가상 온도(°C)	764	750	745	765	747	746	741
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	942	953	918	899	888	921	900
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	30	31	34	36	38	34	34
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)		>50					
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	945	924	901	868	853	913	895
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	46	47	50	54	50	46	45
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	20-30	>50	>50	>40	>50	>50	30-40
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	3.2E-10	3.4E-10	4.1E-10	4.6E-10	5.1E-10	4.1E-10	4.1E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.7E-10	3.9E-10	4.4E-10	5.2E-10	4.4E-10	3.7E-10	3.6E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0112]

실시 예	121	122	123	124	125	126	127
mol%로 SiO <sub>2</sub>	57.9	57.0	57.4	58.0	59.0	58.9	58.9
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.4	16.7	16.6	16.2	15.5	15.7	16.0
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.1	7.3	7.3	7.4	6.4	6.5	6.4
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.5	16.7	16.5	16.3	15.4	15.7	16.0
mol%로 MgO	2.1	2.0	2.0	2.0	3.5	3.0	2.5
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.88	0.89	0.89	0.88	0.82	0.84	0.86
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.44	1.43	1.44	1.46	1.41	1.41	1.40
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.56	1.56	1.57	1.59	1.64	1.60	1.56
wt%로 SiO <sub>2</sub>	47.8	46.9	47.2	47.8	49.6	49.4	49.2
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.0	23.4	23.1	22.6	22.1	22.4	22.7
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.8	14.2	14.3	14.4	12.8	12.8	12.7
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.0	14.2	14.0	13.8	13.4	13.6	13.8
wt%로 MgO	1.1	1.1	1.1	1.1	2.0	1.7	1.4
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.411	2.415	2.412	2.409	2.415	2.414	2.413
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.16	30.26	30.27	30.26	29.59	29.70	29.79
변형점(°C)	609	607	607	605	617	612	613
어닐링점(°C)	667	663	663	662	669	666	669
연화점(°C)	941.6	937.7	936.6	940.1	940.6	941.4	948.7
200 P 점도에서 온도 (°C)	1670	1658	1661	1665	1666	1669	1677
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1247	1238	1241	1244	1241	1244	1250
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1161	1154	1156	1159	1156	1159	1165
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))					3.056	3.038	3.055

[0113]

실시 예	121	122	123	124	125	126	127
근사 가상 온도(°C)	742	742	739	730	765	755	754
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)	885	889	876	857			
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)	34	35	34	35			
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	874	870	861	838	907	889	896
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	46	47	47	47	43	44	45
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>50	>50	>50	40-50	40-50	30-40	40-50
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr	4.1E-10	4.3E-10	4.1E-10	4.3E-10			
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.7E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.9E-10	3.3E-10	3.4E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 * (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0114]

실시 예	128	129	130	131	132	133	134
mol%로 SiO <sub>2</sub>	58.2	57.8	57.9	56.8	56.9	56.9	56.8
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.1	16.5	16.3	16.5	16.8	17.0	17.5
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.3	6.5	6.4	6.5	6.4	6.4	6.4
mol%로 Na <sub>2</sub> O	15.9	16.5	16.3	16.5	16.8	17.1	17.1
mol%로 MgO	3.5	2.6	3.0	3.6	3.1	2.5	2.0
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 CaO	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.83	0.86	0.84	0.82	0.84	0.86	0.91
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.38	1.39	1.39	1.40	1.38	1.38	1.34
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.60	1.55	1.58	1.62	1.56	1.53	1.46
wt%로 SiO <sub>2</sub>	48.8	48.2	48.3	47.5	47.4	47.3	47.0
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.9	23.4	23.1	23.3	23.8	24.0	24.6
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12.5	12.7	12.7	12.8	12.5	12.5	12.5
wt%로 Na <sub>2</sub> O	13.7	14.2	14.0	14.2	14.4	14.6	14.6
wt%로 MgO	1.9	1.4	1.7	2.0	1.7	1.4	1.1
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
wt%로 CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.421	2.419	2.420	2.426	2.426	2.424	2.420
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.58	29.82	29.72	29.64	29.70	29.81	30.00
변형점(°C)	615	616	616	615	615	623	624
어닐링점(°C)	666	671	670	666	669	679	681
연화점(°C)	937.8	945.7	941.6	930.6	933.9	949.7	952.4
200 kPa 점도에서 온도 (°C)	1655	1658	1658	1641	1646	1646	1657
35 kPa 점도에서 온도 (°C)	1235	1236	1236	1224	1233	1236	1246
160 kPa 점도에서 온도 (°C)	1152	1154	1154	1141	1151	1152	1162
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))	3.021	3.007	3.015				

[0115]



실시 예	128	129	130	131	132	133	134
근사 가상 온도(°C)	763	743	764	760	760	748	748
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)							
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	925	925	927	978	981	975	983
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	43	45	44	40	40	41	41
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	20-30	30-40	20-30	>30	>30	>30	>30
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.3E-10	3.6E-10	3.4E-10	2.8E-10	2.8E-10	3.0E-10	3.0E-10
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
DFSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0116]

실시 예	135	136	137	138	139	140	141
mol%로 SiO <sub>2</sub>	57.8	58.8	55.8	55.9	55.8	57.8	56.9
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.0	16.5	17.0	18.0	18.1	17.0	16.9
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.4	6.4	7.6	7.7	7.7	6.6	7.0
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.6	16.2	17.3	16.2	16.7	17.2	17.0
mol%로 MgO	2.0	2.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	0.0	0.0	2.0	2.0	1.5	1.2	2.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>2</sub> O	0.91	0.90	0.88	0.98	0.99	0.92	0.88
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.36	1.37	1.46	1.33	1.35	1.40	1.43
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.48	1.49	1.59	1.45	1.44	1.48	1.55
wt%로 SiO <sub>2</sub>	48.0	49.0	45.5	45.2	45.1	47.6	46.7
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.9	23.3	23.5	24.7	24.8	23.8	23.5
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12.6	12.6	14.7	14.8	14.8	12.8	13.6
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.2	13.9	14.5	13.5	13.9	14.6	14.4
wt%로 MgO	1.1	1.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
wt%로 CaO	0.0	0.0	1.5	1.5	1.1	0.9	1.5
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.416	2.410	2.421	2.429	2.419	2.423	2.427
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	29.96	29.93	30.46	30.56	30.71	30.09	30.16
변형점(°C)	619	620	623	607	620	622	615
어닐링점(°C)	676	677	680	660	676	679	669
연화점(°C)	948.8	957.8	947.1	916.9	944.6	946.4	928
200 P점도에서 온도 (°C)	1673	1684	1638	1652	1650	1674	1656
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1254	1261	1214	1238	1242	1248	1230
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1171	1176	1130	1156	1157	1163	1147
액상 온도(°C)							
액상 점도(P)							
지트론 파괴 온도 (°C)							
지트론 파괴 점도 (P)							
응력 광학 계수 (nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> )							

[0117]

실시 예	135	136	137	138	139	140	141
근사 가상 온도(°C)	754	755	730	753	750	749	753
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)							
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)							
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	953	922	895	898	896	925	906
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	42	42	45	38	43	45	45
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>30	>30	>30	>30	>30	>30	>30
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)							
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)							
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)							
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	3.1E-10	3.1E-10	3.6E-10	2.6E-10	3.3E-10	3.6E-10	3.6E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr							
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \times (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr							

[0118]

실시 예	142	143	144	145
mol%로 SiO <sub>2</sub>	57.5	58.1	58.2	58.4
mol%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.7	16.0	16.0	16.0
mol%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.9	6.2	6.2	6.2
mol%로 Na <sub>2</sub> O	16.7	16.0	16.1	16.1
mol%로 MgO	0.1	3.6	3.4	3.1
mol%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0
mol%로 SnO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1
mol%로 CaO	2.0	0.1	0.0	0.0
mol%로 (M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/R <sub>x</sub> O	0.89	0.81	0.82	0.83
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>2</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.42	1.39	1.40	1.40
mol%로 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + R <sub>x</sub> O)/(M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.54	1.62	1.61	1.59
wt%로 SiO <sub>2</sub>	47.3	48.8	48.9	49.0
wt%로 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.3	22.8	22.8	22.8
wt%로 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	13.5	12.4	12.3	12.3
wt%로 Na <sub>2</sub> O	14.2	13.9	14.0	14.0
wt%로 MgO	0.1	2.0	1.9	1.7
wt%로 ZnO	0.0	0.0	0.0	0.0
wt%로 SnO <sub>2</sub>	0.2	0.1	0.1	0.1
wt%로 CaO	1.5	0.0	0.0	0.0
조성 분석	XRF	XRF	XRF	XRF
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.425	2.422	2.421	2.418
몰 부피 (cm <sup>3</sup> /mol)	30.12	29.52	29.54	29.61
변형점(°C)	615	621	619	616
어닐링점(°C)	669	672	671	670
연화점(°C)	930.1	938.5	938.9	941.3
200 P 점도에서 온도 (°C)	1655	1652	1662	1664
35 kP 점도에서 온도 (°C)	1232	1232	1240	1243
160 kP 점도에서 온도 (°C)	1147	1148	1157	1159
액상 온도(°C)				
액상 점도(P)				
지트론 파괴 온도 (°C)				
지트론 파괴 점도 (P)				
응력 광학 계수 ((nm·Mpa <sup>-1</sup> ·mm <sup>-1</sup> ))				

[0119]

실시 예	142	143	144	145
근사 가상 온도(°C)	750	765	772	770
410°C 1 hr 압축응력 (MPa)				
410°C 1 h 층의 깊이 (mm)				
410°C 1 hr 비커스 균열 개시 하중(kgf)				
410°C 2 hr 압축응력 (MPa)	902	961	953	948
410°C 2 hr 층의 깊이 (mm)	48	40	42	41
410°C 2 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)	>30	>30	>30	>30
410°C 3 hr 압축응력 (MPa)				
410°C 3 hr 층의 깊이 (mm)				
410°C 4 hr 압축응력 (MPa)				
410°C 4 hr 층의 깊이 (mm)				
410°C 4 hr 비커스 균열 개시 하중 (kgf)				
410°C 8 hr 압축응력 (MPa)				
410°C 8 hr 층의 깊이 (mm)				
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$ at 410°C 1 hr				
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$ at 410°C 2 hr	4.1E-10	2.8E-10	3.1E-10	3.0E-10
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$ at 410°C 3 hr				
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$ at 410°C 4 hr				
D FSM DOL ~ $1.4 \times 2 \cdot (Dt)^{0.5}$ at 410°C 8 hr				

[0120]

[0121]

이온 교환은 전자 제품, 자동차 제품, 가전 제품, 건축용 부품, 또는 높은 수준의 내손상성이 요구되는 다른 영역에서 사용하기 위한 화학적으로 강화된 유리 제품에 널리 사용된다. 이온 교환 공정에 있어서, 제1 금속 이온 (예를 들어,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , 등에서 알칼리 양이온)을 함유하는 유리 제품은 상기 유리에서 존재하는 제1 금속 이온보다 더 크거나 또는 더 작은 제2 금속 이온을 함유하는 이온 교환 욕 또는 매체와 적어도 부분적으로 함침되거나 또는 접촉된다. 상기 제1 금속 이온은 상기 유리 표면으로부터 상기 이온 교환 욕/매체로 확산하는 동안, 상기 이온 교환 욕/매체로부터의 제2 금속 이온은 상기 유리의 표면 아래의 층의 깊이로 상기 유리에서 상기 제1 금속 이온을 대체한다. 상기 유리에서 더 작은 이온에 대한 더 큰 이온의 치환은 상기 유리 표면에 압축 응력을 생성하는 반면, 상기 유리에서 더 큰 이온에 대한 더 작은 이온의 치환은 통상적으로 상기 유리의 표면에 인장 응력을 생성한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 제1 금속 이온 및 제2 금속 이온은 1가 알칼리 금속 이온이다. 그러나,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Tl}^+$ ,  $\text{Cu}^+$ , 및 이와 유사한 것과 같은 다른 1가 금속 이온은 또한 이온 교환 공정에 사용될 수 있다. 적어도 하나의  $\text{Ag}^+$  및  $\text{Cu}^+$ 이 상기 유리에서 금속 이온에 대해 교환된 예에 있어서, 이러한 유리는 특히 향균 및/또는 향미생물 적용에 대해 특히 유용하다.

[0122]

이온 교환에 의해 강화된 유리 시트의 부분의 단면도 (즉, 상기 유리 시트의 말단은 도시되지 않음)는 도 1에 개략적으로 나타낸다. 도 1에 도시된 비-제한 예에 있어서, 강화 유리 시트 (100)은 두께 ( $t$ ), 중심부 (130), 및 서로 실질적으로 평행인, 제1 표면 (110) 및 제2 표면 (112)를 갖는다. 압축층 (120, 122)는 각 표면 아래의 층의 깊이 ( $d_1$ ,  $d_2$ )로, 각각 제1 표면 (110) 및 제2 표면 (112)으로부터 확장한다. 압축층 (120, 122)은 압축 응력 하에 있는 반면, 중심부 (130)는 인장 응력, 또는 장력 (tension) 하에 있다. 중심부 (130)에서 인장 응력은 압축층 (120, 122)에 압축 응력을 균형을 맞추고, 따라서, 강화 유리 시트 (100) 내에 평형을 유지한다.



몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 상기 유리 및 유리 제품은 적어도 약 300 MPa의 압축 응력 및/또는 적어도 약 10  $\mu\text{m}$ 의 압축층의 깊이를 달성하도록 이온 교환될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 본 명세서에 기재된 상기 유리 및 유리 제품은 적어도 약 500 MPa의 압축 응력 및/또는 적어도 약 40  $\mu\text{m}$ 의 압축층의 깊이를 달성하도록 이온 교환될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 또는 1000 MPa의 압축 응력을 달성하도록 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 10  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 70  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 또는 110  $\mu\text{m}$  이상의 층의 깊이를 달성하도록 이온 교환된다.

[0123] 높은 내손상성에 부가하여, 본 명세서에 기재된 유리는 원하는 압축 응력의 수준 및 상대적으로 짧은 시간의 압축층의 깊이를 달성하기 위해 이온 교환될 수 있다. 용융  $\text{KNO}_3$  염에서 4시간 동안 410°C에서 이온 교환 후에, 예를 들어, 약 700 MPa 초과 압축 응력 및 약 75  $\mu\text{m}$  초과 압축층의 깊이를 갖는 압축층은 이들 유리에서 달성될 수 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환은 약 400°C, 410°C, 420°C, 430°C, 440°C, 450°C, 460°C, 470°C, 480°C, 490°C, 500°C, 510°C, 520°C, 530°C, 540°C, 또는 550°C 이상에서 수행된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환은 약 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 또는 10 시간을 초과하여 수행된다.

[0124] 도 2는 표 1에서 샘플 a-f에 대한 압축 응력의 함수에 따른 층의 깊이의 그래프이다. 0.7 mm 두께 샘플은 700°C에서 어닐링되고, 1 시간 내지 8시간 동안의 시간 범위 동안 410°C에서 (도 2에서 군 "b-d") 또는 6분 동안 470°C에서 (도 2에서 군 "a") 용융  $\text{KNO}_3$  염 욕에서 이온 교환된다. 6분 동안 470°C에서 이온 교환된 샘플은 깨짐성 한계 (frangibility limit) (즉, 상기 유리 샘플이 도 2에서 선 1에 의해 표시된, 깨지기 쉬운 거동을 나타내는 점) 이하인 압축 응력 및 층의 깊이를 나타낸다. 상기 깨짐성 한계에 도달하기 위해 0.7 mm 두께 샘플에 대해 요구된 이온 교환 시간은 410°C에서 한 시간보다 다소 많다. 약  $10^{11}$  Poise (즉, 어닐링되지 않은, 다운-인발 샘플)에 상응하는 점도를 갖는 더 높은 가상 온도를 갖는 샘플에 있어서, 상기 깨짐성 한계는 또한 유사하기 짧은 시간을 충족할 수 있지만, 상기 압축 응력은 더 낮을 것이고, 상기 층의 깊이는 어닐링된 샘플보다 더 깊을 것이다. 한 시간 동안 이온 교환된 샘플 (군 "b")은 상기 깨짐성 한계 바로 이하인 압축 응력 및 층의 깊이를 나타내고, 4 또는 8시간 동안 이온 교환된 샘플들 (각각, 군 "c" 및 "d")은 상기 깨짐성 한계를 초과하는 압축 응력 및 층의 깊이를 나타낸다.

[0125] 본 명세서에 기재된 유리의 이온 교환에 대한 능력은 이들 유리가 상기 유리의 비커스 균열 개시 임계값을 특징으로 하는, 내손상성이 바람직한 속성인, 적용에 사용된 다른 알칼리 알루미늄실리케이트 유리의 것보다 상당히 더 큰 포타슘 및 소듐 내부확산 계수를 갖는다는 사실에 적어도 부분적으로 기인할 수 있다. 410°C에서, 본 명세서에 기재된 유리는 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $3.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $4.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ , 또는  $4.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $6.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $7.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $9.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $1.0 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $1.2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$  및 몇몇 구현 예에 있어서, 약  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $3.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $4.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ , 또는  $4.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  내지 약  $7.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $9.0 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $1.0 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ ,  $1.2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ , 또는  $1.5 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 범위로 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 이러한 유리들에 대조적으로, 미국 특허출원 제12/858,490호, 제12/856,840호, 및 제12/392,577호에 기재된 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는  $1.5 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  미만의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다.

[0126] 구현 예는 적어도 약 4 mol%의  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함하는 알칼리 알루미늄실리케이트 유리를 포함하고, 여기서  $[\text{M}_2\text{O}_3 (\text{mol}\%)/\text{R}_x\text{O} (\text{mol}\%)] < 1.4$ 이며, 여기서  $\text{M}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3$ 이고,  $\text{R}_x\text{O}$ 는 알칼리 알루미늄실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $[\text{M}_2\text{O}_3 (\text{mol}\%)/\text{R}_x\text{O} (\text{mol}\%)] < 1$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 0 mol%의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 1 mol%의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 0 mol%의  $\text{B}_2\text{O}_3$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{BaO}$ , 및  $\text{ZnO}$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄실리케이트 유리는 410°C에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$ 의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410°C에서 약  $2.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  내지 약  $1.5 \times$



$10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다.

[0127] 구현 예는  $0.6 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 포함하고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며,  $R_xO$ 는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 \leq [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] \leq 1.0$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ , 및  $ZnO$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s 범위이다.

[0128] 또 다른 구현 예는 적어도 약 4%의  $P_2O_5$ 를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 포함하고, 여기서 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 20 μm의 층의 깊이로 이온 교환되며, 여기서  $0.6 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 이고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며,  $R_xO$ 는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.6 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.0$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 \leq [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] \leq 1.0$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ , 및  $ZnO$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다.

[0129] 또 다른 구현 예는 적어도 약 4%의  $P_2O_5$ 를 포함하는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 포함하고, 여기서  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$ 이며, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이고,  $R_2O$ 는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ , 및  $ZnO$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 410℃에서 적어도 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s의 포타슘/소듐 내부확산 계수를 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 포타슘/소듐 내부확산 계수는 410℃에서 약  $2.4 \times 10^{-10}$  cm<sup>2</sup>/s 내지 약  $1.5 \times 10^{-9}$  cm<sup>2</sup>/s의 범위이다.

[0130] 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 40 mol% 내지 약 70 mol%  $SiO_2$ ; 약 11 mol% 내지 약 25 mol%  $Al_2O_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 15 mol%  $P_2O_5$ ; 및 약 13 mol% 내지 약 25 mol%  $Na_2O$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 50 mol% 내지 약 65 mol%  $SiO_2$ ; 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $Al_2O_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 10 mol%  $P_2O_5$ ; 및 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $Na_2O$ 를 포함한다.

몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ , 및  $ZnO$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0131] 몇몇 구현 예에 있어서, 전술된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 20  $\mu m$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 40  $\mu m$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 유리 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 500 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 압축 응력은 적어도 750 MPa이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 압축 응력 층은 약 500 MPa 내지 약 2000 MPa이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 8 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다.

[0132] 구현 예는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 강화시키는 방법을 포함하고, 상기 방법은 전술된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 제공하는 단계, 및 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리의 표면에서 적어도 20  $\mu m$ 의 층의 깊이로 확장하는 압축층을 형성하기 위해 약 24 시간의 기간 동안 이온 교환 욕에서 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리를 함침시키는 단계를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 4 mol%의  $P_2O_5$ 를 포함하고, 여기서  $[M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 이며, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이고,  $R_xO$ 는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $[M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는  $0.6 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 를 포함하고, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이며,  $R_xO$ 는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 및 2가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 < [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] < 1.4$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서,  $0.8 \leq [M_2O_3 \text{ (mol\%)} / R_xO \text{ (mol\%)}] \leq 1.0$ 이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 4%의  $P_2O_5$ 를 포함하고, 여기서  $1.3 < [(P_2O_5 + R_2O) / M_2O_3] \leq 2.3$ 이며, 여기서  $M_2O_3 = Al_2O_3 + B_2O_3$ 이고,  $R_2O$ 는 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리에 존재하는 1가 양이온 산화물의 합이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 40 mol% 내지 약 70 mol%  $SiO_2$ ; 약 11 mol% 내지 약 25 mol%  $Al_2O_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 15 mol%  $P_2O_5$ ; 및 약 13 mol% 내지 약 25 mol%  $Na_2O$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 약 50 mol% 내지 약 65 mol%  $SiO_2$ ; 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $Al_2O_3$ ; 약 4 mol% 내지 약 10 mol%  $P_2O_5$ ; 및 약 14 mol% 내지 약 20 mol%  $Na_2O$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $K_2O$ 를 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $K_2O$ 를 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 1 mol% 미만의  $B_2O_3$ 을 더욱 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 0 mol%의  $B_2O_3$ 을 포함한다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 1가 및 2가 양이온 산화물은  $Li_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $SrO$ ,  $BaO$ , 및  $ZnO$ 로 이루어진 군으로부터 선택된다.

[0133] 몇몇 구현 예에 있어서, 전술된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 20  $\mu m$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 유리는 적어도 약 40  $\mu m$ 의 층의 깊이로 이온 교환된다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 상기 유리의 표면으로부터 층의 깊이로 확장하는 압축층을 가지며, 여기서 상기 압축층은 적어도 500 MPa의 압축 응력 하에 있다. 몇몇 구현 예에 있어서, 압축 응력은 적어도 750 MPa이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 압축 응력 층은 약 500 MPa 내지 약 2000 MPa이다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 8 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다. 몇몇 구현 예에 있어서, 상기 이온 교환된 알칼리 알루미늄오실리케이트 유리는 적어도 약 12 kgf의 비커스 압입 균열 개시 하중을 갖는다.

[0134] 통상적 구현 예가 예시의 목적을 위한 것인 반면, 전술된 기재는 개시 또는 첨부된 청구항의 범주를 제한하지 않는다. 따라서, 다양한 변형, 적용, 및 변경은 본 개시 또는 첨부된 청구항의 사상 및 범주로부터 벗어나지 않고 기술분야의 당업자에게 발생할 수 있다.

부호의 설명

- [0135]
- 100: 강화 유리 시트

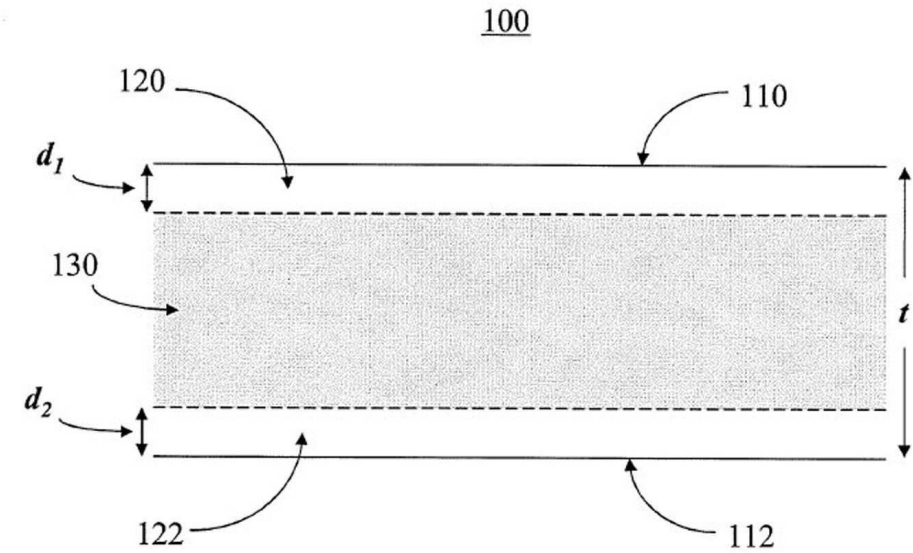
110: 제1 표면 (110)
- 120: 제2 표면

120, 122: 압축층
- 130: 중심부

$d_1, d_2$ : 층의 깊이

도면

도면1



도면2

