



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2025년01월09일  
(11) 등록번호 10-2752872  
(24) 등록일자 2025년01월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03C 3/087 (2006.01) C03B 37/02 (2006.01)  
C03C 13/00 (2006.01) C03C 3/095 (2006.01)  
C03C 3/097 (2006.01) C08J 5/04 (2006.01)  
C08K 7/14 (2006.01) F03D 1/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
C03C 3/087 (2013.01)  
C03B 37/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-7018639

(22) 출원일자(국제) 2019년11월18일  
심사청구일자 2022년11월02일

(85) 번역문제출일자 2021년06월16일

(65) 공개번호 10-2021-0096140

(43) 공개일자 2021년08월04일

(86) 국제출원번호 PCT/US2019/061923

(87) 국제공개번호 WO 2020/112398  
국제공개일자 2020년06월04일

(30) 우선권주장  
62/771,250 2018년11월26일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌  
JP2017526607 A\*  
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 20 항

(73) 특허권자  
오웬스 코닝 인텔렉추얼 캐피탈 엘엘씨  
미국 43659 오하이오주 톨레도 원 오웬스 코닝 파크웨이

(72) 발명자  
코윈-에드슨 미첼 엘  
미국 43023 오하이오주 그랜빌 블루 스톤 코트 109

(74) 대리인  
특허법인코리아나

심사관 : 이영화

(54) 발명의 명칭 **향상된 탄성 계수를 갖는 고성능 섬유 유리 조성물**

**(57) 요약**

50.0 내지 65.0 중량% 양의 SiO<sub>2</sub>; 18.0 내지 23.0 중량% 양의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1 내지 8.5 중량% 양의 CaO; 9.0 내지 14.0 중량% 양의 MgO; 0.0 내지 1.0 중량% 양의 Na<sub>2</sub>O; 0.0 내지 1.0 중량% 양의 K<sub>2</sub>O; 1.0 내지 4.0 중량% 양의 Li<sub>2</sub>O; 0.0 내지 2.5 중량% 양의 TiO<sub>2</sub>; 0 내지 10.0 중량% 양의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 내지 5.0 중량% 양의 Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 및 0 내지 5.0 중량% 양의 Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함하는 유리 조성물이 제공된다. 본 발명의 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 높은 인성을 요구하는 적용에 사용될 수 있으며, 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수를 가질 수 있다. 그러한 적용은 풍력 터빈 블레이드 및 항공우주 산업 구조물을 형성하는 데 사용하기 위한 직물을 포함한다.

(52) CPC특허분류

*C03C 13/00* (2013.01)  
*C03C 3/095* (2013.01)  
*C03C 3/097* (2013.01)  
*C08J 5/043* (2021.05)  
*C08K 7/14* (2013.01)  
*F03D 1/0675* (2023.08)  
*C03C 2213/00* (2013.01)  
*Y02E 10/72* (2020.08)

(56) 선행기술조사문헌

CN103086605 A  
W02014062715 A1  
W02015009686 A1  
W02016183133 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

50.0 내지 55.6 중량% 양의 SiO<sub>2</sub>,

19.5 내지 23.0 중량% 양의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

1.0 내지 5.0 중량% 양의 CaO,

9.0 내지 14.0 중량% 양의 MgO,

0.0 내지 1.0 중량% 양의 Na<sub>2</sub>O,

0.0 내지 1.0 미만 중량% 양의 K<sub>2</sub>O,

1.0 내지 4.0 중량% 양의 Li<sub>2</sub>O,

0.0 내지 2.5 중량% 양의 TiO<sub>2</sub>,

0 내지 10.0 중량% 양의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

0 내지 5.0 중량% 양의 Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

0 내지 5.0 중량% 양의 Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 및

2.0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 총 농도

를 포함하는 유리 조성물로서,

상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유가 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수, 적어도 4,400 MPa 의 ASTM D2343-09 에 따른 인장 강도 및 2,500 °F 이하의 섬유화 온도를 갖는, 유리 조성물.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

0 내지 7.0 중량% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,

0 내지 7.0 중량% Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

0 내지 2.5 중량% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및

0 내지 2.0 중량% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

를 더 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 0.1 내지 5.5 중량% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 더 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 6.0 내지 10 중량%  $Y_2O_3$  를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 1.5 내지 10 중량%  $La_2O_3$  를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 6**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 2.1 초과와  $MgO/(CaO+SrO)$  의 비를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 7**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 조성물은  $B_2O_3$  가 본질적으로 없는, 유리 조성물.

**청구항 8**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 1.0 내지 3.5 중량%  $Li_2O$  를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 9**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 적어도 4 중량% 의  $Y_2O_3$ ,  $La_2O_3$ ,  $Ce_2O_3$ , 및  $Sc_2O_3$  를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 10**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 조성물은 2,277 °F 이하의 섬유화 온도를 갖는, 유리 조성물.

**청구항 11**

50.0 내지 55.6 중량% 양의  $SiO_2$ ,

19.5 내지 23.0 중량% 양의  $Al_2O_3$ ,

1 내지 8.5 중량% 양의  $CaO$ ,

9.0 내지 14.0 중량% 양의  $MgO$ ,

0.0 내지 1.0 중량% 양의  $Na_2O$ ,

0.0 내지 1.0 미만 중량% 양의  $K_2O$ ,

0.1 내지 3.5 중량% 양의  $Li_2O$ ,

0.0 내지 2.5 중량% 양의  $TiO_2$ ,

6.0 내지 10.0 중량% 양의  $Y_2O_3$ ,

0 내지 10.0 중량% 양의  $La_2O_3$ ,

0 내지 5.0 중량% 양의  $Ce_2O_3$ , 및

0 내지 5.0 중량% 양의  $\text{Sc}_2\text{O}_3$

을 포함하는 조성물로부터 형성된 유리 섬유로서,

상기 유리 섬유는 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수 및 2,500 °F 이하의 섬유화 온도를 갖는, 유리 섬유.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 조성물은 19.5 내지 21.5 중량%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  를 포함하는, 유리 섬유.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 조성물은 1.5 초과 내지 10 중량%  $\text{La}_2\text{O}_3$  를 포함하는, 유리 섬유.

**청구항 14**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 조성물은 2.1 초과  $\text{MgO}/(\text{CaO}+\text{SrO})$  의 비를 포함하는, 유리 섬유.

**청구항 15**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 조성물은  $\text{B}_2\text{O}_3$  가 본질적으로 없는, 유리 섬유.

**청구항 16**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 조성물은 1.5 내지 3.5 중량%  $\text{Li}_2\text{O}$  를 포함하는, 유리 섬유.

**청구항 17**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 섬유는 89 내지 100 GPa 의 탄성 계수를 갖는, 유리 섬유.

**청구항 18**

연속적인 유리 섬유를 형성하는 방법으로서,

제 1 항에 따른 용융된 조성물을 제공하는 단계, 및

상기 용융된 조성물을 오리피스를 통해 인발하여 연속적인 유리 섬유를 형성하는 단계를 포함하는, 연속적인 유리 섬유를 형성하는 방법.

**청구항 19**

폴리머 매트릭스, 및

50.0 내지 55.6 중량% 양의  $\text{SiO}_2$ ,

19.5 내지 23.0 중량% 양의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,

1.0 내지 5.0 중량% 양의  $\text{CaO}$ ,

9.0 내지 14.0 중량% 의 양의  $\text{MgO}$ ,

- 0.0 내지 1.0 중량% 의 양의 Na<sub>2</sub>O,
- 0.0 내지 1.0 미만 중량% 양의 K<sub>2</sub>O,
- 1.0 내지 4.0 중량% 양의 Li<sub>2</sub>O,
- 0.0 내지 2.5 중량% 양의 TiO<sub>2</sub>,
- 0 내지 10.0 중량% 양의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,
- 0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,
- 0 내지 5.0 중량% 양의 Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,
- 0 내지 5.0 중량% 양의 Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 및
- 2.0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 총 농도

를 포함하는 유리 조성물로부터 형성된 복수의 유리 섬유들로서, 상기 유리 섬유들이 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수, 적어도 4,400 MPa 의 ASTM D2343-09 에 따른 인장 강도 및 2,500 °F 이하의 섬유화 온도를 갖는, 상기 유리 섬유들

을 포함하는 강화 복합 제품.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서,

상기 강화 복합 제품은 풍력 터빈 블레이드의 형태인, 강화 복합 제품.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 출원은, HIGH PERFORMANCE FIBERGLASS COMPOSITION WITH IMPROVED ELASTIC MODULUS 라는 명칭으로 2018년 11월 26일에 출원된 미국 가출원 제 62/771,250 호를 우선권 주장하며, 그 전체 개시내용은 인용에 의해 본원에 포함된다.

**배경 기술**

[0002] 유리 섬유들은 통상적으로 "유리 배치 (glass batch)" 라고 하는 원하는 조성물을 산출하기 위해 특정 비율들로 조합된 다양한 미가공 (raw) 재료들로 제조된다. 이러한 유리 배치는 용융 장치에서 용융될 수 있고 용융된 유리는 부싱 또는 오리피스 플레이트를 통해 필라멘트들 (그 결과의 필라멘트들을 또한 연속적인 유리 섬유들이 라고 지칭) 로 인발된다. 윤활제들, 커플링제들 및 필름-형성 바인더 수지들을 포함하는 사이징 조성물은 그 후 필라멘트들에 적용될 수 있다. 상기 사이징이 적용된 후, 섬유들은 하나 이상의 스트랜드들로 모여지고 패키지로 권취되거나, 대안적으로 섬유들은 습식이면서 절단되고 수집될 수 있다. 수집된 절단된 스트랜드들은 그 후 건조되고 건식 절단된 섬유들을 형성하도록 경화되거나 이들의 습식 조건에서 습식 절단된 섬유들로서 패키징될 수 있다.

[0003] 그로부터 제조된 유리 섬유와 함께 유리 배치의 조성물은, 종종 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Li<sub>2</sub>O 등을 통상적으로 포함하는, 내부에 포함된 산화물들의 관점에서 표현된다. 수많은 유형의 유리들은 이들 산화물들의 양들을 변화시키거나 또는 유리 배치에서 산화물들의 일부를 제거함으로써 제조된다. 제조될 수 있는 이러한 유리들의 예들은, R-유리, E-유리, S-유리, A-유리, C-유리, 및 ECR-유리를 포함할 수 있다. 유리 조성물은 유리의 제품 특성 및 형태를 제어한다. 유리 조성물들의 다른 특징들은 미가공 재료 비용 및 환경적인 충격을 포함한다.

[0004] 예를 들면, E-유리는 일반적으로 알칼리가 없고, 전기 인가시에 공통적으로 사용되는 알루미늄보로실리케이트 (aluminoborosilicate) 이다. E-유리의 일 장점은, 그 액상선 온도가 유리 섬유들을 제조하기 위한 작동 온

도를 대략 1900°F 내지 2400°F (1038°C 내지 1316°C) 로 한다는 것이다. 인쇄 회로 기판들 및 우주항공 적용시에 사용되는 E-유리 섬유사들에 대한 ASTM 분류는, 52 내지 56 중량% SiO<sub>2</sub>, 16 내지 25 중량% CaO, 12 내지 16 중량% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 내지 10 중량% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0 내지 5 중량% MgO, 0 내지 2 중량% Na<sub>2</sub>O 및 K<sub>2</sub>O, 0 내지 0.8 중량% TiO<sub>2</sub>, 0.05 내지 0.4 중량% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 0 내지 1.0 중량% 불소로 된 조성물을 규정한다.

[0005] 붕소가 없는 섬유들은 상표명 ADVANTEX® (Owens Corning, Toledo, Ohio, USA) 으로 구입가능하다. 전체가 인용에 의해 본원에 통합된 미국특허 제 5,789,329 호에 개시된 바와 같은 붕소가 없는 섬유들은 붕소함유 E-유리보다 작동 온도들에서 상당한 개선을 제공한다. 붕소가 없는 유리 섬유들은 일반적인 사용 적용시에 사용하기 위해 E-유리 섬유들에 대한 ASTM 규정하에 있다.

[0006] R-유리는 E-유리 섬유들보다 더 높은 기계적 강도를 갖는 유리 섬유들을 제조하는 화학적 조성을 갖는 규소, 알루미늄, 마그네슘, 및 칼슘의 산화물로 주로 구성된 유리 계열이다. R-유리는 약 58 내지 약 60 중량% SiO<sub>2</sub>, 약 23.5 내지 약 25.5 중량% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 약 14 내지 약 17 중량% CaO+MgO, 약 2 중량% 미만의 다양한 성분들을 포함하는 조성물을 갖는다. R-유리는 E-유리보다 더 많은 알루미늄 및 실리카를 함유하고 섬유 형성 중에 보다 높은 용융 및 프로세싱 온도들을 요구한다. 전형적으로, R-유리에 대한 용융 및 프로세싱 온도들은 E-유리의 용융 및 프로세싱 온도들보다 높다. 프로세싱 온도에서 이러한 증가는 높은 비용의 백금 라이닝 처리된 용융기의 사용을 요구한다. 추가로, R-유리에서 형성 온도로의 액상선 온도의 근접은 유리가 약 1000 포와즈 (poise) 에서 또는 그 근방에서 통상적으로 섬유화되는 E-유리보다 더 낮은 점성에서 섬유화되는 것을 요구한다. 통상적인 1000 포와즈 점성에서 R-유리의 섬유화는 유리 실패를 발생시킬 가능성이 있고, 이는 프로세스를 중단시키고 생산성을 감소시킨다.

[0007] 고성능 유리 섬유들은 종래의 E-유리 섬유들과 비교하여 높은 강도 및 강성을 갖는다. 특히, 일부 제품들에 대해, 강성은 모델링 및 성능에 대해 중요하다. 예를 들면, 양호한 강성 특성들을 갖는 유리 섬유들로부터 제조된 복합재들, 예를 들어 풍력 터빈 블레이드들은 허용가능한 제한들 내에 블레이드들의 휨을 유지하면서 전기 발생 풍력 스테이션들에서 보다 긴 풍력 터빈 블레이드들을 허용한다.

[0008] 부가적으로, 높은 성능의 유리 조성물들은 원하는 형성 특성들 (예를 들면, 액상선 온도 및 섬유화 온도) 을 유지하면서 바람직한 기계적 및 물리적 특성들 (예를 들면, 탄성 계수 및 인장 강도) 을 갖는 것이 바람직하다. 탄성 계수는 섬유 강성의 척도로서, 재료에 가해진 응력과 동일한 재료에 의해 생성된 변형 사이의 관계를 규정한다. 강성 재료는 높은 탄성 계수를 가지고 탄성 부하 하에서 형상을 약간만 변화시킨다. 가요성 재료는 낮은 탄성 계수를 가지고 그 형상을 상당히 변화시킨다.

**발명의 내용**

[0009] 본 발명 개념의 다양한 모범적인 실시형태들은, 50.0 내지 65.0 중량% 양의 SiO<sub>2</sub>; 18.0 내지 23.0 중량% 양의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 1 내지 5.0 중량% 양의 CaO; 9.0 내지 14.0 중량% 양의 MgO; 0.0 내지 1.0 중량% 양의 Na<sub>2</sub>O; 0.0 내지 1.0 미만 중량% 양의 K<sub>2</sub>O; 1.0 내지 4.0 중량% 양의 Li<sub>2</sub>O; 0.0 내지 2.5 중량% TiO<sub>2</sub>; 0 내지 10.0 중량% 양의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0 내지 5.0 중량% 양의 Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 및 0 내지 5.0 중량% 양의 Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함하는 유리 조성물에 관한 것이다. 유리 조성물은 2.0 내지 10.0 중량% 양의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 총 농도를 포함한다.

[0010] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수 및 적어도 4,400 MPa 의 ASTM D2343-09 에 따른 인장 강도를 갖는다.

[0011] 유리 조성물은 0 내지 약 7.0 중량% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0 내지 약 7.0 중량% Ga<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0 내지 약 2.5 중량% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및 0 내지 2.0 중량% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 더 포함할 수 있다.

[0012] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 본질적으로 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 가 없다.

[0013] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 6.0 내지 10 중량% 의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다.

[0014] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 1.5 초과 내지 10 중량% 의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다.

- [0015] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 1.5 내지 3.5 중량% 의  $\text{Li}_2\text{O}$  를 포함한다.
- [0016] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 2.1 초과와  $\text{MgO}/(\text{CaO}+\text{SrO})$  의 비를 포함한다.
- [0017] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 조성물은 적어도 4 중량% 의  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , 및  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  포함한다.
- [0018] 본 발명 개념의 다른 모범적인 양태들은, 50.0 내지 65.0 중량% 양의  $\text{SiO}_2$ ; 18.0 내지 23.0 중량% 양의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 1 내지 8.5 중량% 양의  $\text{CaO}$ ; 9.0 내지 14.0 중량% 양의  $\text{MgO}$ ; 0.0 내지 1.0 중량% 양의  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0.0 내지 1.0 미만 중량% 양의  $\text{K}_2\text{O}$ ; 0.0 내지 4.0 중량% 양의  $\text{Li}_2\text{O}$ ; 0.0 내지 2.5 중량%  $\text{TiO}_2$ ; 6.0 내지 10.0 중량% 양의  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ; 0 내지 10.0 중량% 양의  $\text{La}_2\text{O}_3$ ; 0 내지 5.0 중량% 양의  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ; 및 0 내지 5.0 중량% 양의  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  를 포함하는 유리 조성물로 형성된 유리 섬유에 관한 것이다. 유리 섬유는 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수를 갖는다.
- [0019] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 조성물은 0.5 내지 3.5 중량%  $\text{Li}_2\text{O}$  를 포함한다.
- [0020] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 1.5 초과 내지 10 중량% 의  $\text{La}_2\text{O}_3$  를 포함한다.
- [0021] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 2.1 초과와  $\text{MgO}/(\text{CaO}+\text{SrO})$  의 비를 포함한다.
- [0022] 다양한 모범적인 실시형태들에서, 조성물은 적어도 4 중량% 의  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , 및  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  포함한다.
- [0023] 추가의 모범적인 실시형태들은 89 내지 100 GPa 의 탄성 계수를 갖는 유리 섬유에 관한 것이다.
- [0024] 본 발명의 개념의 또 다른 모범적인 양태들은, 용융 유리 조성물을 제공하는 단계; 및 상기 용융 조성물을 오리 피스를 통해 인발하여 연속 유리 섬유를 형성하는 단계를 포함하는, 연속 유리 섬유의 형성 방법에 관한 것이다.
- [0025] 본 발명 개념의 또 다른 모범적인 양태들은, 폴리머 매트릭스; 및 50.0 내지 65.0 중량% 양의  $\text{SiO}_2$ ; 18.0 내지 23.0 중량% 양의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 1 내지 5.0 중량% 양의  $\text{CaO}$ ; 9.0 내지 14.0 중량% 양의  $\text{MgO}$ ; 0.0 내지 1.0 중량% 양의  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 0.0 내지 1.0 미만 중량% 양의  $\text{K}_2\text{O}$ ; 1.0 내지 4.0 중량% 양의  $\text{Li}_2\text{O}$ ; 0.0 내지 2.5 중량%  $\text{TiO}_2$ ; 0 내지 10.0 중량% 양의  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ; 0 내지 10.0 중량% 양의  $\text{La}_2\text{O}_3$ ; 0 내지 5.0 중량% 양의  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ; 및 0 내지 5.0 중량% 양의  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  를 포함하는 유리 조성물로 형성된 복수의 유리 섬유들을 포함하는 강화 복합 제품에 관한 것이다. 유리 조성물은 2.0 내지 10.0 중량% 양의  $\text{La}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$  의 총 농도를 포함한다.
- [0026] 유리 섬유는 34 내지 40 MJ/kg 의 88 내지 115 GPa 의 탄성 계수 및 적어도 4,400 MPa 의 ASTM D2343-09 에 따른 인장 강도를 갖는다.
- [0027] 일부 모범적인 실시형태들에서, 강화 복합 제품은 풍력 터빈 블레이드의 형태이다.
- [0028] 본 발명의 앞서 말한 그리고 다른 목적, 특징, 및 이점은 이하의 상세한 설명의 고려로부터 이하에서 더 완전하게 드러날 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0029] 달리 규정되지 않는 한, 본원에 사용된 모든 기술적 및 과학적 용어들은 이 모범적인 실시형태들이 속한 본 기술분야의 당업자에게 통상적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 본원의 설명에 사용된 용어는 단지 모범적인 실시형태들의 설명을 위한 것이고 모범적인 실시형태들을 제한하도록 의도된 것이 아니다. 따라서, 본 발명의 일반적인 개념은 본원에 설명된 특정 실시형태들에 제한되도록 의도된 것이 아니다. 본원에 설명된 것과 유사하거나 또는 등가의 다른 방법들 및 재료들이 본 발명의 실시 또는 시험에 사용될 수 있지만, 바람직한 방법들 및 재료들이 본원에 설명된다.
- [0030] 명세서 및 첨부된 청구항에 사용된 바와 같이, 단수 형태는 맥락상 명백하게 달리 나타내지 않는 한 복수 형태를 또한 포함하도록 의도된다.
- [0031] 달리 나타내지 않는 한, 명세서 및 청구범위에 사용된 성분들의 양, 화학적 및 분자적 특성들, 반응 조건들 등을 나타내는 모든 수치는 모든 경우에 용어 "약" 에 의해 변경되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 나타내지 않는 한, 명세서 및 첨부된 청구범위에 개시된 수치적 파라미터들은 본 모범적인 실시형태들에 의

해 얻고자 추구하는 원하는 특성들에 따라 변할 수 있는 근사치들이다. 매우 적어도 각각의 수치적 파라미터는 유효 자리수 및 통상적인 반올림 근사치들의 수의 견지에서 구성되어야 한다.

- [0032] 모범적인 실시형태들의 넓은 범위를 설정하는 수치적 범위들 및 파라미터들은 근사치임에도 불구하고, 특정 실시예들에서 설정된 수치적 값들은 가능한 정확하게 기재되어야 한다. 그러나, 임의의 수치적 값은 반드시 각각의 시험 측정시에 발견된 표준 편차로부터 기인하는 소정의 에러들을 내재적으로 함유한다. 이러한 명세서 및 청구범위 전체에 걸쳐 주어진 모든 수치적 범위는, 보다 협소한 수치적 범위들이 본원에 모두 명백하게 기재되었지만, 보다 넓은 수치적 범위 내에 있는 모든 보다 협소한 수치적 범위를 포함한다. 더욱이, 실시예에 기재된 임의의 수치 값은 본원에 개시된 보다 넓은 조성 범위의 상한점 또는 하한점을 규정하도록 사용될 수 있다.
- [0033] 본 발명은 향상된 탄성 계수를 갖는 고성능 유리 조성물에 관한 것이다. 이러한 유리 조성물은, 더 많은 에너지를 발생시키기 위해 더 긴 블레이드를 필요로 하는 풍력 터빈과 같은 풍력 제품 분야에서 특히 흥미롭다. 더 긴 블레이드는 파괴 없이 인가된 힘을 견디기 위해 더 높은 탄성 계수를 갖는 재료를 필요로 한다. 대상 유리 조성물은 리튬 및 선택적으로 희토류 산화물을 포함한다. 추가로, 대상 유리 조성물은 이 공간에서 다른 유리 조성물보다 더 높은 수준의 마그네슘 및 알루미늄을 포함한다.
- [0034] 본원에 개시된 유리 조성물들은 유리 강화 섬유들의 제조시 폭넓게 사용되는 종래의 상업적으로 이용가능한 내화성-라이닝처리된 유리 노들에서 용융하는데 적절하다.
- [0035] 유리 조성물은 용융된 형태로 용융기에서 유리 조성물의 성분을 용융시킴으로써 획득가능하다. 유리 조성물은 ASTM C965-96(2007) 에 의해 결정된 바와 같이 약 1000 포와즈의 용융 점성에 상응하는 온도로서 규정된 낮은 섬유화 온도를 나타낸다. 섬유화 온도를 낮추면 유리 섬유들의 제조 비용을 감소시킬 수 있는데, 이는 유리 조성물의 성분을 용융시키는데 필요한 보다 긴 부상 수명 및 감소된 에너지 사용을 허용하기 때문이다. 따라서, 방출되는 에너지는 일반적으로 많은 상업적으로 이용가능한 유리 제형들을 용융하는데 필수적인 에너지보다 적다. 그러한 보다 낮은 에너지 요건들은 또한 유리 조성물과 연관된 전체 제조 비용을 낮출 수 있다.
- [0036] 예를 들면, 보다 낮은 섬유화 온도에서, 부상은 냉각기 온도에서 작동될 수 있고 따라서 전형적으로 보여지는 바와 같이 신속하게 "처지지 (sag)" 않는다. "처짐" 은 연장된 시간 주기 동안에 상승된 온도로 유지되는 부상이 그 결정된 안정성을 손실하는 경우에 발생하는 현상이다. 따라서, 섬유화 온도를 낮춤으로써, 부상의 처짐 속도는 감소될 수 있고, 부상 수명은 최대화될 수 있다.
- [0037] 일부 모범적인 실시형태들에서, 상기 유리 조성물은 2,650°F 미만, 2,600°F 이하, 2,550°F 이하, 2,510°F 이하, 2470°F 이하, 2420°F 이하, 2410°F 이하, 2405°F 이하, 2400°F 이하, 및 2390°F 이하, 및 2385°F 이하의 섬유화 온도를 갖는다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 2,600°F 이하, 예컨대 2,500°F 이하, 및 2,200°F 이하의 섬유화 온도를 갖는다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 2,000 °F, 예컨대 적어도 2,050 °F, 적어도 2,075 °F, 적어도 2,100 °F, 그리고 적어도 2,150 °F 의 섬유화 온도를 갖는다.
- [0038] 유리 조성물의 또 다른 섬유화 특성은 액상선 온도이다. 액상선 온도는 액체 유리와 액체 유리의 일차 결정질 상 사이에 평형이 존재하는 가장 높은 온도로서 규정된다. 액상선 온도는, 일부 경우들에서, 16 시간 동안 백금-합금 보트에서 온도 구배로 유리 조성물에 노출시킴으로써 측정될 수 있다 (ASTM C829-81(2005)). 액상선 온도 초과와 모든 온도에서, 유리는 완전히 용융되고, 즉 결정들이 존재하지 않는다. 액상선 온도 미만의 온도들에서, 결정들이 형성될 수 있다.
- [0039] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 2,600 °F 미만의 액상선 온도, 예컨대 2,500 °F 이하, 2,450 °F 이하, 2,405 °F 이하, 2,350 °F 이하, 2,300 °F 이하, 2,250 °F 이하, 2,225 °F 이하, 2,200 °F 이하, 2,175 °F 이하, 및 2,150 °F 이하의 액상선 온도를 갖는다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 2,130 °F 내지 2,490°F, 및 2,190°F 내지 2,405°F, 및 2,250°F 내지 2,450°F 를 포함하는, 2,050°F 내지 2,550°F 의 액상선 온도를 갖는다.
- [0040] 제 3 섬유화 특성은 섬유화 온도와 액상선 온도 사이의 차이로서 규정된 " $\Delta T$ " 이다.  $\Delta T$  가 너무 작다면, 용융 유리는 섬유화 장치 내에서 결정화되고 제조 프로세스에서 파단을 발생시킬 수 있다. 바람직하게는,  $\Delta T$  는 주어진 형성 점성에 대해서 가능한 한 큰 데, 이는 섬유화 동안 보다 큰 정도의 가요성을 제공하고 유리 분배 시스템 및 섬유화 장치 모두에서 실투를 방지하는데 도움을 주기 때문이다. 큰  $\Delta T$  는 보다 긴 부상 수명 및 보다 덜 민감한 형성 프로세스를 허용함으로써 유리 섬유들의 제조 비용을 추가적으로 감소시킨다.

- [0041] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 -60°F, 적어도 -20°F, 적어도 40°F, 적어도 80°F, 적어도 100°F, 적어도 110°F, 적어도 120°F, 적어도 135°F, 적어도 150°F, 및 적어도 170°F 의  $\Delta T$  를 갖는다. 다양한 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 100°F 내지 250°F, 120°F 내지 200°F, 150°F 내지 215°F 의  $\Delta T$  를 갖는다.
- [0042] 유리 조성물은 약 50.0 내지 약 65.0 중량%  $\text{SiO}_2$ , 약 18.0 내지 약 23.0 중량%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 약 9.0 내지 약 14.0 중량%  $\text{MgO}$ , 약 1.0 내지 약 5.0 중량%  $\text{CaO}$ , 약 0.0 내지 약 1.0 중량%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 0 내지 약 1.0 미만 중량%  $\text{K}_2\text{O}$ , 0 내지 약 2.5 중량%  $\text{TiO}_2$ , 0 내지 약 0.8 중량%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 및 약 0.0 내지 약 4.0 중량%  $\text{Li}_2\text{O}$  를 포함할 수 있다. 유리 조성물은 0 내지 약 10.0 중량%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , 0 내지 약 10.0 중량%  $\text{La}_2\text{O}_3$ , 0 내지 약 5.0 중량%  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , 및 0 내지 약 5.0 중량%  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  를 더 포함할 수 있다. 유리 조성물은 0 내지 약 7.0 중량%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , 0 내지 약 7.0 중량%  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , 0 내지 약 2.5 중량%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , 및 0 내지 약 2.0 중량%  $\text{V}_2\text{O}_5$  를 더 포함할 수 있다.
- [0043] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 52.0 내지 약 60.0 중량%  $\text{SiO}_2$ , 약 18.4 내지 약 21.5 중량%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 약 9.3 내지 약 12.0 중량%  $\text{MgO}$ , 약 1.5 내지 약 8.0 중량%  $\text{CaO}$ , 약 0.01 내지 약 0.5 중량%  $\text{Na}_2\text{O}$ , 약 0.01 내지 약 0.5 중량%  $\text{K}_2\text{O}$ , 약 0.01 내지 약 2.0 중량%  $\text{TiO}_2$ , 약 0.01 내지 약 0.6 중량%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 및 약 0.1 내지 약 3.5 중량%  $\text{Li}_2\text{O}$  를 포함할 수 있다. 유리 조성물은 약 1.0 내지 약 7.0 중량%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , 약 1.0 내지 약 7.0 중량%  $\text{La}_2\text{O}_3$ , 약 0.01 내지 약 4.0 중량%  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ , 및 약 0.01 내지 약 4.0 중량%  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  를 더 포함할 수 있다. 유리 조성물은 약 0.01 내지 약 5.5 중량%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , 약 0.1 내지 약 5.5 중량%  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ , 및 약 0.01 내지 약 2.0 중량%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  를 더 포함할 수 있다.
- [0044] 유리 조성물은 적어도 50 중량% 및 75 중량% 이하  $\text{SiO}_2$  를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 52 중량%, 적어도 55 중량%, 적어도 57 중량%, 적어도 58.5 중량%, 및 적어도 59 중량%  $\text{SiO}_2$  를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 70 중량% 이하, 68 중량% 이하, 65.5 중량% 이하, 64.5 중량% 이하, 62.5 중량% 이하, 및 60.5 중량% 이하  $\text{SiO}_2$  를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 50 중량% 내지 약 65 중량%, 또는 약 52 중량% 내지 약 60 중량%  $\text{SiO}_2$  를 포함한다.
- [0045] 원하는 기계적 및 섬유화 특성들 모두를 달성하도록, 유리 조성물의 하나의 중요한 양태는 적어도 약 15.0 중량% 및 25 중량% 이하의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  농도를 갖는 것이다. 25 중량% 초과  $\text{Al}_2\text{O}_3$  를 포함하면, 유리 액상선을 섬유화 온도 초과 수준으로 증가시키고, 이는 음의  $\Delta T$  를 발생시킨다. 15 중량% 미만의  $\text{Al}_2\text{O}_3$  를 포함하면 바람직하지 않은 낮은 탄성 계수를 갖는 유리 섬유를 형성한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 18.0 중량%, 적어도 18.4 중량%, 적어도 19.0 중량%, 적어도 19.5 중량%, 및 적어도 20.0 중량%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 18.4 내지 약 23 중량%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 약 18.8 내지 약 21.5 중량%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  를 포함한다.
- [0046] 유리 조성물은 보다 유리하게는 적어도 8.0 중량% 및 15 중량% 이하의  $\text{MgO}$  를 포함한다. 15 중량% 초과  $\text{MgO}$  를 포함하면 액상선 온도를 증가시키고, 이는 또한 유리의 결정화 경향을 증가시킨다. 8.0 중량% 미만을 포함하면  $\text{CaO}$  에 의해 치환된다면 바람직하지 않은 낮은 탄성 계수 및  $\text{SiO}_2$  로 치환된다면 점성에서 바람직하지 않은 증가를 갖는 유리 섬유를 형성한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 9.0 중량%  $\text{MgO}$ , 적어도 9.2 중량%, 적어도 9.3 중량%, 적어도 9.8 중량%, 적어도 10 중량%, 적어도 10.5 중량%, 적어도 11.0 중량%, 적어도 11.5 중량%, 적어도 12.0 중량%, 및 적어도 13 중량%  $\text{MgO}$  를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 9.0 내지 약 14 중량%, 또는 약 9.3 내지 약 12 중량%  $\text{MgO}$  농도를 포함한다.
- [0047] 유리 조성물은 최대 약 10.0 중량% 의 농도로  $\text{CaO}$  를 선택적으로 포함할 수 있다. 10 중량% 초과  $\text{CaO}$  를 포함하면, 낮은 탄성 계수를 갖는 유리를 형성한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 상기 유리 조성물은 0 내지 9 중량%, 0.5 내지 8.8 중량%, 1.0 내지 8.5 중량%, 1.5 내지 8.0 중량%, 및 2.0 내지 7.5 중량%  $\text{CaO}$  를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 1.0 내지 5.0 중량%  $\text{CaO}$ , 또는 1.2 내지 4.7 중량%  $\text{CaO}$ , 1.3 내지 4.55 중량%  $\text{CaO}$  를 포함한다.

- [0048] 일부 모범적인 실시형태들에서, MgO 및 CaO 의 총 농도는 적어도 10 중량% 및 22 중량% 이하, 12.0 중량% 내지 20 중량% 및 14 중량% 내지 18.5 중량% 이다.
- [0049] 유리 조성물은 최대 약 3.0 중량% TiO<sub>2</sub> 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 중량% 내지 약 2.5 중량% TiO<sub>2</sub>, 약 0.01 중량% 내지 약 2.0 중량% 및 약 0.1 내지 약 0.75 중량% TiO<sub>2</sub> 를 포함한다.
- [0050] 유리 조성물은 최대 약 1.0 중량% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 을 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 0 중량% 내지 약 0.8 중량% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 약 0.01 중량% 내지 약 0.6 중량% 및 약 0.1 내지 약 0.35 중량% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다.
- [0051] 유리 조성물은 최대 약 5.0 중량% Li<sub>2</sub>O 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0.0 중량% 내지 약 4.0 중량%, 약 0.1 중량% 내지 약 3.5 중량% 및 약 0.5 내지 약 3.0 중량% Li<sub>2</sub>O 을 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 1.0 내지 약 4.0 중량% Li<sub>2</sub>O, 약 1.5 내지 약 3.8 중량% Li<sub>2</sub>O 를 포함한다.
- [0052] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 2.0 중량% 미만, 0 내지 1.5 중량%, 0.05 내지 0.75 중량%, 및 0.1 내지 0.25 중량% 의 알칼리 금속 산화물 Na<sub>2</sub>O 및 K<sub>2</sub>O 를 포함한다. 유리 조성물은 각각의 산화물의 0.01 중량% 초과 의 양의 Na<sub>2</sub>O 및 K<sub>2</sub>O 모두를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 내지 약 1 중량%, 약 0.01 내지 약 0.5 중량%, 약 0.03 내지 약 0.3 중량%, 및 0.04 내지 약 0.15 중량% Na<sub>2</sub>O 를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 내지 약 1 중량%, 약 0.01 내지 약 0.5 중량%, 약 0.03 내지 약 0.3 중량%, 및 0.04 내지 약 0.15 중량% K<sub>2</sub>O 를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 1.0 중량% 미만, 예를 들어 0.75 중량% 미만, 또는 0.50 중량% 미만의 K<sub>2</sub>O 를 포함한다.
- [0053] 유리 조성물은 최대 약 1.5 중량% ZrO<sub>2</sub> 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0.01 중량% 내지 약 1.0 중량%, 약 0.05 중량% 내지 약 0.8 중량% 및 약 0.1 내지 약 0.5 중량% ZrO<sub>2</sub> 을 포함한다.
- [0054] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 최대 15.0 중량%, 0 내지 12.0 중량%, 또는 1.0 내지 10.0 중량% 희토류 산화물 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ("R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>") 을 포함한다. 유리 조성물은 0.01 중량% 초과 의 양의 임의의 R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 산화물을 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 내지 약 10 중량%, 약 1.0 내지 약 9.9 중량%, 약 3.0 내지 약 9.5 중량%, 및 6.0 내지 약 9.0 중량% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 내지 약 10 중량%, 약 0.01 내지 약 7.5 중량%, 약 0.05 내지 약 4.0 중량%, 및 0.1 내지 약 3.0 중량% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 내지 약 5.0 중량%, 약 0.01 내지 약 4.0 중량%, 약 0.05 내지 약 2.0 중량%, 및 0.1 내지 약 1.5 중량% Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0 내지 약 5 중량%, 약 0.01 내지 약 4.0 중량%, 약 0.05 내지 약 3.2 중량%, 및 0.1 내지 약 3.0 중량% Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함한다.
- [0055] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 1.0 중량%, 적어도 1.5 중량%, 적어도 1.75 중량%, 적어도 2.0 중량%, 적어도 2.1 중량%, 및 적어도 2.2 중량%, 및 적어도 2.5 중량% 인 CeO<sub>2</sub> + Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 총 농도를 포함한다.
- [0056] 유리 조성물은 최대 약 7.0 중량% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0.01 중량% 내지 약 5.5 중량%, 약 0.05 중량% 내지 약 3.5 중량% 및 약 0.1 내지 약 3.0 중량% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 포함한다.
- [0057] 유리 조성물은 최대 약 7.0 중량% Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0.01 중량% 내지 약 5.5 중량%, 약 0.05 중량% 내지 약 5.0 중량% 및 약 0.1 내지 약 4.5 중량% Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포

함한다.

- [0058] 유리 조성물은 최대 약 2.5 중량% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0.01 중량% 내지 약 2.0 중량%, 약 0.05 중량% 내지 약 1.5 중량% 및 약 0.1 내지 약 0.7 중량% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 포함한다.
- [0059] 유리 조성물은 최대 약 2.0 중량% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 약 0.01 중량% 내지 약 1.5 중량%, 약 0.05 중량% 내지 약 1.2 중량% 및 약 0.1 내지 약 1.0 중량% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 를 포함한다.
- [0060] 유리 조성물은 최대 약 1.0 중량% Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및/또는 Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 포함할 수 있다. 그러나, 다양한 모범적인 실시형태들은 Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 총 농도를 0.5 중량% 미만, 0.1 중량% 미만, 및 0.05 중량% 미만으로 제한한다.
- [0061] 유리 조성물은 최대 약 5.0 중량% ZnO 를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 0 중량% 내지 약 2.5 중량%, 약 0.01 중량% 내지 약 2.0 중량% 및 약 0.1 내지 약 1.0 중량% ZnO 를 포함한다.
- [0062] 본 발명의 유리 조성물에는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 불소가 없거나 실질적으로 없지만, 섬유화 및 마무리된 유리 특성들을 조정하도록 임의로 소량으로 첨가되며 수 퍼센트 미만으로 유지된다면 특성들에 악영향을 주지 않는다. 본원에서 사용된 바와 같이, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 불소가 실질적으로 없다는 것은 존재하는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 불소의 양들의 합이 조성물의 1.0 중량% 미만인 것을 의미한다. 존재하는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 불소의 양들의 합은 조성물의 약 0.5 중량% 미만이고, 약 0.2 중량% 미만이며, 약 0.1 중량% 미만이고, 약 0.05 중량% 미만일 수 있다.
- [0063] 유리 조성물은 유리 또는 섬유에 악영향을 주지 않고 불순물들 및/또는 미량의 재료를 더 포함할 수 있다. 이 불순물들은 미가공 재료 불순물로서 유리에 진입할 수 있거나 노 성분과 용융 유리의 화학적 반응에 의해 형성된 생성물일 수 있다. 미량의 재료의 비제한적인 예로서는 스트론튬, 바륨, 및 이들의 조합을 포함한다. 미량의 재료는 이들의 산화물 형태들로 존재할 수 있고 불소 및/또는 염소를 더 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 본 발명의 유리 조성물은 1.0 중량% 이하, 0.5 중량% 미만, 0.2 중량% 미만, 0.1 중량% 미만의 BaO, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및 SO<sub>3</sub> 각각을 포함한다. 특히, 유리 조성물은 약 5.0 중량% 미만의 조합된 BaO, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및/또는 SO<sub>3</sub> 를 포함할 수 있고, 각각의 BaO, SrO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및 SO<sub>3</sub> 은, 조금이라도 존재한다면, 1.0 중량% 미만의 양으로 존재한다.
- [0064] 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 조성물은 적어도 1.5, 적어도 1.7, 적어도 2.0, 적어도 2.1, 적어도 2.2, 및 적어도 2.3 의 MgO/(CaO+SrO) 의 비를 포함한다.
- [0065] 본원에 사용된 바와 같이, 용어 "중량 백분율", "중량%", "wt%" 및 "중량에 의한 백분율" 은 상호교환 가능하게 사용될 수 있으며, 총 조성물에 기초한 중량 백분율 (또는 중량에 의한 백분율) 을 나타낸다.
- [0066] 전술한 바와 같이, 본 발명의 유리 조성물은 바람직한 형성 특성을 유지하면서, 예상외로 최적화된 탄성 계수를 나타낸다.
- [0067] 섬유 인장 강도는 또한 여기에서는 간단히 "강도" 로 지칭한다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 인장 강도는 ASTM D2343-09 에 따른 Instron 인장 시험 장치를 사용하여 프리스틴 섬유 (pristine fibers) (즉, 사이징되지 않고 본래 그대로의 실험실에서 생성된 섬유) 상에서 측정된다. 전술한 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 모범적인 유리 섬유는 적어도 4,000 MPa, 적어도 4,250 MPa, 적어도 4,400 MPa, 적어도 4,500 MPa, 적어도 4,800 MPa, 적어도 4,900 MPa, 적어도 4,950 MPa, 적어도 5,000 MPa, 적어도 5,100 MPa, 적어도 5,150 MPa, 및 적어도 5,200 MPa 의 섬유 인장 강도를 가질 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 전술한 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 약 4200 MPa 내지 약 5500 MPa, 약 4300 MPa 내지 약 5,350 MPa, 약 4,600 MPa 내지 약 5,315 MPa 의 섬유 인장 강도를 갖는다. 유리하게는, 본원에 개시된 조성 파라미터들의 조합은 적어도 4,800 MPa, 적어도 4,900 MPa, 및 적어도 5,000 MPa 의 인장 강도를 갖는 유리 섬유를 제조할 수 있도록 하고, 이는 원하는 섬유화 특성들을 갖는 유리 조성물로 선행 기술에 의해 아직 달성되지 않았다.
- [0068] 유리 섬유의 탄성 계수는 "Glass Fiber Drawing and Measuring Facilities at the U.S. Naval Ordnance Laboratory", Report Number NOLTR 65-87, 1965년 6월 23일자의 리포트에서 강조된 음속 측정 절차에 따라 측정된 5 개의 단일 유리 섬유들에 대한 평균 측정값에 의해 결정될 수 있다.

- [0069] 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 모범적인 유리 섬유는 적어도 약 88 GPa, 적어도 약 89.5 GPa, 적어도 약 80.5 GPa, 적어도 약 91 GPa, 적어도 약 93 GPa, 적어도 약 95 GPa, 또는 적어도 약 96 GPa 의 탄성 계수를 포함할 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 모범적인 유리 섬유는 약 88 GPa 내지 약 115 GPa, 약 89 GPa 내지 약 100 GPa, 약 93.1 GPa 내지 약 98 GPa 의 탄성 계수를 포함한다.
- [0070] 탄성 계수는 그 후 비탄성률을 결정하는데 사용될 수 있다. 최종 물품에 강성을 추가하는 경량 복합재를 달성하도록 가능한 높은 비탄성률을 갖는 것이 바람직하다. 비탄성률은, 제품의 강성이 풍력 에너지 및 우주 항공 산업 적용에서와 같이 중요한 파라미터인 적용에서 중요하다. 본원에 사용된 바와 같이, 비탄성률은 다음의 식에 의해 산출된다:
- [0071] 비탄성률 (MJ/kg) = 계수 (GPa) / 밀도 (kg/입방미터)
- [0072] 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 모범적인 유리 섬유는 약 33.0 MJ/kg 내지 약 40.0 MJ/kg, 약 34.1 MJ/kg 내지 약 37 MJ/kg, 및 약 34.5 MJ/kg 내지 약 36.5 MJ/kg 의 비탄성률을 갖는다.
- [0073] 밀도는 어닐링되지 않은 벌크 유리에 대한 Archimedes 방법 (ASTM C693-93(2008)) 과 같이 당업계에 공지되고 공통적으로 허용된 임의의 방법에 의해 측정될 수 있다. 유리 섬유는 약 2.0 내지 약 3.0 g/cc 의 밀도를 갖는다. 다른 모범적인 실시형태들에서, 유리 섬유는 약 2.3 내지 약 2.8 g/cc, 약 2.4 내지 약 2.78 g/cc, 및 약 2.50 내지 약 2.75 g/cc 의 밀도를 갖는다.
- [0074] 일부 모범적인 실시형태들에 따르면, 전술한 유리 조성물로부터 유리 섬유들을 제조하기 위한 방법이 제공된다. 유리 섬유는 당업계에 공지되고 그리고 종래에 사용된 임의의 수단에 의해 형성될 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 섬유는 최종 조성물의 원하는 중량 백분율을 부여하도록 미가공 성분들을 획득함으로써 그리고 이 성분들을 적절한 양으로 혼합함으로써 형성된다. 본 방법은 본 발명의 유리 조성물을 용융된 형태로 제공하는 단계 및 유리 섬유를 형성하도록 부싱 내의 오리피스들을 통해 용융된 조성물을 인발하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0075] 유리 조성물의 성분들은 SiO<sub>2</sub> 를 위한 모래 또는 엽랍석, CaO 를 위한 석회암, 생석회, 규회석, 또는 백운석, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 를 위한 고령토, 알루미나 또는 엽랍석, MgO 를 위한 백운석, 백운석 생석회, 수할석, 원화회석, 활석, 버닝된 마그네사이트, 또는 마그네사이트, 및 Na<sub>2</sub>O 를 위한 탄산 나트륨, 나트륨 장석 또는 황산 나트륨을 포함하는 적절한 성분들 또는 미가공 재료들로부터 얻어질 수 있지만, 이에 한정되지 않는다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 하나 이상의 필요한 산화물들을 공급하기 위해 유리 컬렛이 사용될 수 있다.
- [0076] 혼합된 배치는 그 후 노 또는 용융기 내에서 용융될 수 있고 그 결과 용융된 유리는 전로 (forehearth) 를 따라 통과되고 개별적인 유리 필라멘트들을 형성하도록 전로의 저부에 위치한 부싱의 오리피스들을 통하여 인발된다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 노 또는 용융기는 종래의 내화물 용융기이다. 내화물 블록들로 형성된 내화물 탱크를 사용함으로써, 본 발명의 조성물에 의해 생성된 유리 섬유들의 생성과 연관된 제조 비용들은 감소될 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에서, 부싱은 백금 합금계 부싱이다. 유리 섬유의 스트랜드는 그 후 함께 개별적인 필라멘트들을 모음으로써 형성될 수 있다. 섬유 스트랜드는 의도된 적용에 적합한 종래의 방식으로 권취되고 추가로 프로세싱될 수 있다.
- [0077] 용융기, 전로, 및 부싱 내의 유리의 작동 온도는 유리의 점성을 적절히 조정하도록 선택될 수 있고, 제어 디바이스들과 같은 적절한 방법들을 사용하여 유지될 수 있다. 용융기의 전방 단부에서의 온도는 실투를 감소시키거나 제거하도록 자동적으로 제어될 수 있다. 용융된 유리는 그 후 유리 섬유를 형성하도록 부싱의 저부 또는 선단 플레이트 내의 구멍들 또는 오리피스들을 통해 당겨질 (인발될) 수 있다. 일부 모범적인 실시형태들에 따르면, 부싱 오리피스들을 통해 유동하는 용융된 유리의 스트림들은 조정된 속도로 절단되거나 권취 기계의 회전가능한 콜릿에 장착된 성형 튜브상에 복수의 개별적인 필라멘트들로 형성된 스트랜드를 권취함으로써 필라멘트들을 가늘게 한다. 본 발명의 유리 섬유는 본원에 설명된 임의의 방법들, 또는 유리 섬유들을 형성하기 위한 임의의 공지된 방법에 의해 얻어질 수 있다.
- [0078] 섬유들은 의도된 적용에 적합한 종래의 방식으로 추가로 프로세싱될 수 있다. 예를 들면, 일부 모범적인 실시형태들에서, 유리 섬유는 당업자에게 공지된 사이징 조성물로 사이징된다. 사이징 조성물은 어떠한 방식으로 제한되지 않으며, 유리 섬유에 적용하는데 적절한 임의의 사이징 조성물일 수 있다. 사이징된 섬유는, 생성물의 최종 용도에서 높은 강도 및 강성 및 낮은 중량을 요구하는 다양한 플라스틱 등의 기재들을 강화하는

데 사용될 수 있다. 그러한 적용으로서는, 풍력 블레이드들; 강화 콘크리트, 교량 등의 기반시설; 및 우주 항공 산업 구조물을 형성하는데 사용하기 위한 직물을 포함하지만, 이에 한정되지 않는다.

[0079] 이와 관련하여, 본 발명의 일부 모범적인 실시형태들은 경화가능한 매트릭스 재료와 조합하여 전술한 바와 같은 본 발명의 유리 섬유를 포함하는 복합재를 포함한다. 이는 또한 강화 복합 제품으로서 본원에서 지칭될 수 있다. 매트릭스 재료는 당업계에 공지된 임의의 적절한 열가소성 또는 열경화성 수지, 예를 들어 열가소성 물, 예를 들면 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 폴리아미드, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 및 폴리부틸렌, 및 열경화성 수지, 예를 들어 에폭시 수지들, 불포화된 폴리에스테르, 페놀계, 비닐에스테르, 및 엘라스토머일 수 있지만 이에 한정되지 않는다. 이들 수지는 단독으로 또는 조합하여 사용될 수 있다. 강화 복합 제품은 풍력 터빈 블레이드, 철근 (rebar), 파이프, 필라멘트 와인딩, 머플러 필링, 흡음재 등에 사용될 수 있다.

[0080] 추가로 모범적인 실시형태들에 따르면, 본 발명은 전술한 바와 같이 복합 제품을 제조하는 방법을 제공한다. 방법은 복수의 유리 섬유들과 적어도 하나의 폴리머 매트릭스를 조합하는 단계를 포함할 수 있다. 폴리머 매트릭스 재료 및 유리 섬유 둘 다는 전술한 바와 같을 수 있다.

[0081] 예

[0082] 본 발명에 따른 모범적인 유리 조성물은 이하의 표 1 ~ 9 에 개시된 산화물 중량 백분율을 갖는 최종 유리 조성물을 달성하도록 배치 성분들을 비율화된 양으로 혼합함으로써 제조되었다.

[0083] 미가공 재료들은 3 시간 동안 1,650°C 의 온도에서 전기 가열로에서 백금 도가니 내에서 용융되었다.

[0084] 섬유화 온도는, 본원에 내용이 인용된 "Standard Practice for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point" 로 명명된 ASTM C965-96(2007) 에서 설명된 바와 같은 회전 실린더 방법을 사용하여 측정되었다. 액상선 온도는, 본원에 내용이 인용된 "Standard Practices for Measurement of Liquidus Temperature of Glass" 로 명명된 ASTM C829-81(2005) 에 규정된 바와 같이 16 시간 동안 백금-합금 보트 내의 온도 구배에 유리를 노출시킴으로써 측정되었다. 밀도는, 본원에 인용된 "Standard Test Method for Density of Glass Buoyancy" 로 명명된 ASTM C693-93(2008) 에서 상세하게 설명된 바와 같은 Archimedes 방법에 의해 측정되었다.

[0085] 비탄성률은 측정된 계수 (GPa 단위) 를 밀도 (kg/m<sup>3</sup> 단위) 로 나눔으로써 계산되었다.

[0086] 강도는, 인용에 의해 그 내용이 본원에 포함된 "Standard Test Method for Tensile Properties of Glass Fiber Strands, Yarns, and Rovings Used in Reinforced Plastics" 로 명명된 ASTM D2343-09 에 따라 Instron 인장 시험 장치를 사용하여 프리스틴 섬유에 대해서 측정되었다.

표 1

성분	예 1 (중량%)	예 2 (중량%)	예 3 (중량%)	예 4 (중량%)	예 5 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	50.89	52.85	58	55.5	53.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.92	20.0	20.00	21.00	18.42
MgO	12.46	10.09	12.00	11.00	10.28
CaO	4.47	8.14	2.00	3.50	8.29
Li <sub>2</sub> O	2.20	2.00	2.00	2.00	2.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.31	0.00	0.00	0.32
K <sub>2</sub> O	0.01	0.12	0.00	0.00	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.11	0.00	0.00	0.12
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.63	0.00	0.00	0.64
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.49	3.00	0.00	4.00	3.00
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.50	3.00	3.00	3.00	3.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	3.00	3.00	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2193	2191	2326	2277	2185
액상선 온도 (°F)	2217	2171	2248	2293	2144
ΔT (°F)	-24	20	79	-16	42
밀도 (g/cc)	2.744	2.733	2.656	2.690	2.732
탄성 계수 (GPa)	98.0	94.4	94.3	94.1	94.1
비탄성률 (MJ/kg)	35.7	34.5	35.5	35.0	34.4
강도 (MPa)	-----	-----	4919	-----	-----

[0087]

표 2

성분	예 6 (중량%)	예 7 (중량%)	예 8 (중량%)	예 9 (중량%)	예 10 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	58.00	59.95	58.08	58.00	60.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.00	19.45	18.84	19	20.5
MgO	12.00	9.62	9.32	10.50	12.00
CaO	2.0	5.13	4.97	2.00	1.50
Li <sub>2</sub> O	2.00	1.85	1.79	1.50	2.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.00	0.00	7.00	3.00	3.00
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.0	2.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2319	2350	2338	2369	2355
액상선 온도 (°F)	2256	2405	2130	2307	2310
ΔT (°F)	63	-55	208	63	45
밀도 (g/cc)	2.651	2.602	2.673	2.692	2.600
탄성 계수 (GPa)	93.7	93.5	93.5	93.4	93.1
비탄성률 (MJ/kg)	35.3	35.9	35.0	34.7	35.8
강도 (MPa)	4929	4818	4830	-----	4984

[0088]

표 3

성분	예 11 (중량%)	예 12 (중량%)	예 13 (중량%)	예 14 (중량%)	예 15 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	58.00	60.50	59.00	55.60	60.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.0	20.5	22	19.02	22.00
MgO	11.00	12.0	12.0	10.61	14.00
CaO	3.00	1.50	3.00	8.562	0.00
Li <sub>2</sub> O	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	2.00	0.66	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.00	3.50	0.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	0.00	0.0	3.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2323	2367	2321	2208	2258
액상선 온도 (°F)	2222	2308	2316	2152	2262
ΔT (°F)	101	59	6	57	-4
밀도 (g/cc)	2.649	2.593	2.571	2.677	2.540
탄성 계수 (GPa)	93.0	92.8	92.8	92.5	92.4
비탄성률 (MJ/kg)	35.1	35.8	36.1	34.6	36.4
강도 (MPa)	---	5058	5035	-----	4936

[0089]

표 4

성분	예 16 (중량%)	예 17 (중량%)	예 18 (중량%)	예 19 (중량%)	예 20 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	57.33	60.00	61.20	63.50	60.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.61	20.00	19.85	20.50	19.55
MgO	10.94	12.00	9.82	12	19.67
CaO	8.83	2.00	5.23	2.00	5.15
Li <sub>2</sub> O	2.00	2.00	1.89	2.00	1.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	3.5
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2236	2371	2381	2465	2378
액상선 온도 (°F)	2190	2321	2235	2330	2191
ΔT (°F)	47	50	146	126	188
밀도 (g/cc)	2.620	2.596	2.577	2.546	2.607
탄성 계수 (GPa)	92.4	92.3	92.2	92.0	92.0
비탄성률 (MJ/kg)	35.3	35.5	35.8	36.1	35.3
강도 (MPa)	---	---	5056	5187	4927

[0090]

표 5

성분	예 21 (중량%)	예 22 (중량%)	예 23 (중량%)	예 24 (중량%)	예 25 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	59.50	62.00	58.00	60.00	60.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.00	21.00	19.50	20.50	20.50
MgO	11.00	12.00	11.00	12.00	12.00
CaO	2.00	3.00	2.00	1.50	1.50
Li <sub>2</sub> O	1.50	2.00	1.50	2.00	2.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.0	3.00	3.50
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.00	0.00	4.00	0.0	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2429	2420	2393	2360	2367
액상선 온도 (°F)	2367	2310	2360	2289	2310
ΔT (°F)	62	111	33	71	57
밀도 (g/cc)	2.631	2.545	2.655	2.597	2.597
탄성 계수 (GPa)	91.9	91.9	91.9	91.8	91.7
비탄성률 (MJ/kg)	34.9	36.1	34.6	35.4	35.3
강도 (MPa)	---	5234	-----	4953	4959

[0091]

표 6

성분	예 26 (중량%)	예 27 (중량%)	예 28 (중량%)	예 29 (중량%)	예 30 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	59.30	61.00	63.00	62.50	62.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.00	20.50	21.00	20.50	20.30
MgO	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00
CaO	4.00	2.50	2.00	3.00	3.30
Li <sub>2</sub> O	1.70	2.00	2.00	2.00	2.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.00	2.00	0.00	0.00	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2398	2380	2459	2398	2388
액상선 온도 (°F)	2289	2287	2341	2281	2268
ΔT (°F)	109	94	119	117	121
밀도 (g/cc)	2.629	2.571	2.529	2.543	2.540
탄성 계수 (GPa)	91.6	91.6	91.6	91.6	91.6
비탄성률 (MJ/kg)	34.8	35.6	36.2	36.0	36.0
강도 (MPa)	4934	---	5224	5197	5026

[0092]

표 7

성분	예 31 (중량%)	예 32 (중량%)	예 33 (중량%)	예 34 (중량%)	예 35 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	61.00	58.08	58.30	64.50	64.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.00	18.84	20.00	20.50	21.00
MgO	11.50	9.32	11.00	12.00	12.00
CaO	2.00	4.97	4.00	1.00	1.00
Li <sub>2</sub> O	1.50	1.79	2.00	2.00	2.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	7.00	0.0	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.00	0.00	0.00	0.0	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섭유 화 온도 (°F)	2380	2352	2306	2510	2481
액상선 온도 (°F)	2374	2167	2169	2387	2387
ΔT (°F)	7	186	138	123	115
밀도 (g/cc)	2.593	2.683	2.628	2.522	2.517
탄성 계수 (GPa)	91.5	91.5	91.5	91.4	91.4
비탄성률 (MJ/kg)	35.3	34.1	34.8	36.3	36.3
강도 (MPa)	----	4850	----	5315	5132

[0093]

표 8

성분	예 36 (중량%)	예 37 (중량%)	예 38 (중량%)	예 39 (중량%)	예 40 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	61.00	61.00	60.26	61.00	59.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.50	20.50	19.55	20.00	20.00
MgO	12.00	12.00	9.67	11.50	10.00
CaO	2.50	2.50	5.15	2.00	3.00
Li <sub>2</sub> O	2.00	2.00	1.86	1.50	1.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	2.00	0.00	4.00	3.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.0	3.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2356	2375	2388	2423	2412
액상선 온도 (°F)	2317	2299	2185	2376	2336
ΔT (°F)	40	77	203	48	76
밀도 (g/cc)	2.558	2.562	2.612	2.577	2.619
탄성 계수 (GPa)	91.3	91.3	91.1	91.1	91.1
비탄성률 (MJ/kg)	35.7	35.6	34.9	35.3	34.8
강도 (MPa)	----	---	4948	----	4875

[0094]

표 9

성분	예 41 (중량%)	예 42 (중량%)	예 43 (중량%)	예 44 (중량%)	예 45 (중량%)
SiO <sub>2</sub>	59.50	59.95	61.82	58.60	58.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.00	19.45	20.06	19.30	19.80
MgO	11.00	9.62	9.92	9.50	9.30
CaO	2.00	5.13	5.29	4.30	4.00
Li <sub>2</sub> O	1.50	1.85	1.91	1.80	1.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	6.50	6.50
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
특성					
섬유화 온도 (°F)	2408	2373	2443	2332	2346
액상선 온도 (°F)	2380	2205	2230	2195	2208
ΔT (°F)	28	168	213	138	138
밀도 (g/cc)	2.605	2.619	2.559	2.655	2.651
탄성 계수 (GPa)	91.0	91.0	91.0	93.1	93.1
비탄성률 (MJ/kg)	35	34.7	35.5	35.1	35.1
강도 (MPa)	----	4913	5016	----	-----

[0095]

표 10

성분	예 46 (중량%)	예 47 (중량%)	예 48 (중량%)	비교예
SiO <sub>2</sub>	58.60	58.00	59.00	60.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.55	19.53	19.07	15.80
MgO	9.30	10.74	10.49	8.00
CaO	4.25	3.91	3.81	13.40
Li <sub>2</sub> O	1.80	1.95	1.91	0.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.27
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.10
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.23
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.48
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	----
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.50	3.91	3.81	----
ZrO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	----
ZnO	0.00	0.00	0.00	----
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	----
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	1.91	----
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	----
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	----
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	----
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	----
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	----
특성				
섬유화 온도 (°F)	2340	2312	2332	2324
액상선 온도 (°F)	2183	2166	2185	2140
ΔT (°F)	158	147	148	184
밀도 (g/cc)	2.652	2.653	2.641	2.614
탄성 계수 (GPa)	92.9	92.8	92.4	87.5
비탄성률 (MJ/kg)	35	35	35	33.5
강도 (MPa)	----	---	----	4637

[0096]

[0097]

표 1 ~ 10 은 본 발명의 유리 조성물이 상업적인 고성능 유리 (비교예) 에 비해 갖는 탄성 계수의 개선을 나타낸다. 비교예는 87.5 GPa 의 탄성 계수를 나타내는데, 이는 본 발명의 조성물 중 임의의 조성물에서 나타나는 최소 탄성 계수 미만이다. 유익하게도, 본 발명의 조성물 각각은 적어도 88 GPa, 더 엄밀하게는 적어도 90 GPa 의 탄성 계수를 나타낸다.

[0098]

이상, 본 출원 발명을 포괄적으로 그리고 특정 실시형태들에 관하여 설명하였다. 바람직한 실시형태로 생각되는 것으로 본 발명을 설명하였지만, 당업자에게 알려진 매우 다양한 대안예들이 포괄적인 개시 내에서 선택될 수 있다. 본 발명은 아래에 제시된 청구항의 기재를 제외하고는 달리 제한되지 않는다.