

**(19) 대한민국특허청(KR)**
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0025603

(43) 공개일자 2025년02월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C03C 3/095 (2006.01) C03C 13/00 (2006.01)
 C03C 3/085 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 C03C 3/095 (2013.01)
 C03B 37/02 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2024-7037625
 (22) 출원일자(국제) 2023년04월17일
 심사청구일자 없음
 (85) 번역문제출일자 2024년11월12일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2023/065833
 (87) 국제공개번호 WO 2023/205596
 국제공개일자 2023년10월26일
 (30) 우선권주장
 63/332,032 2022년04월18일 미국(US)

(71) 출원인
 오웬스 코닝 인텔렉추얼 캐피탈 엘엘씨
 미국 43659 오하이오주 톨레도 원 오웬스 코닝 파
 크웨이
 (72) 발명자
 코윈-에드슨, 미셸
 미국 43023 오하이오, 그랜빌 블루 스톤 코트 109
 (74) 대리인
 특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 발명의 명칭 감소된 에너지 소비를 갖는 고 모듈러스 유리섬유 조성물

(57) 요약

유리 조성물이 개시되며, 상기 유리 조성물은 50 내지 58 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $\text{R1}(\text{R1} = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3)$ 이 2 내지 4가 되도록 존재함)을 포함한다. 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 소닉 섬유 탄성 모듈러스(sonic fiber elastic modulus)가 적어도 94.5 GPa이다.

(52) CPC특허분류

C03C 13/00 (2013.01)

C03C 3/085 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

유리 조성물로서,

50 내지 58 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ;

18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ;

18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ;

적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $R1(R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3)$ 이 2 내지 4가 되도록 존재함);

1 중량% 초과 내지 2 중량%의 양으로 존재하는 Li_2O ;

0 내지 0.1 중량%의 양으로 존재하는 Na_2O ;

0 내지 0.2 중량%의 양으로 존재하는 K_2O ; 및

0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며,

상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75이고,

상기 유리 조성물은 섬유화 온도가 $1,300^\circ\text{C}$ 미만이고, 액상선 온도(liquidus temperature)가 $1,250^\circ\text{C}$ 이하이고, ΔT 가 적어도 10°C 이고,

상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유의 소닉 섬유 탄성 모듈러스(sonic fiber elastic modulus)가 적어도 94.5 GPa 인, 유리 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 조성물은

4 내지 8 중량% Y_2O_3 ; 및

0.5 내지 4 중량% La_2O_3 를 포함하는, 유리 조성물.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 조성물은 17 중량% 이하의 CaO 와 MgO 를 포함하는, 유리 조성물.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 18.3 내지 21.5 중량% Al_2O_3 를 포함하는, 유리 조성물.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물에는 B_2O_3 가 본질적으로 없는, 유리 조성물.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 1.25 중량% 내지 2 중량% 미만의 Li_2O 를 포함하는, 유리 조성물.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 섬유화 온도가 1,270℃ 미만인, 유리 조성물.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 섬유화 온도가 1,250℃ 미만인, 유리 조성물.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 비 $R3(R3 = SiO_2/Al_2O_3)$ 이 2.5 내지 3인, 유리 조성물.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 비 $R1$ 이 2.8 내지 3.1인, 유리 조성물.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 최대 1 중량%의 불소를 추가로 포함하는, 유리 조성물.

청구항 12

유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유로서, 상기 유리 조성물은

50 내지 56 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ;

18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ;

18.0 중량% 미만의 CaO 와 MgO ;

4.5 내지 8 중량%의 양으로 존재하는 Y_2O_3 ;

0.5 내지 4 중량%의 양으로 존재하는 La_2O_3

(여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $R1(R1 = Y_2O_3/La_2O_3)$ 이 2 내지 4가 되도록 존재함);

0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 $Na_2O + K_2O$; 및

0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며,

상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = SiO_2/(MgO + CaO))$ 가 3.1 내지 3.75이고,

상기 유리 섬유는 밀도가 2.55 g/cc 내지 2.8 g/cc이고, 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa인, 유리 섬유.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 유리 조성물은 18.5 내지 21.5 중량% Al_2O_3 를 포함하는, 유리 섬유.

청구항 14

제12항 또는 제13항에 있어서, 상기 유리 조성물은 비 $R3(R3 = SiO_2/Al_2O_3)$ 이 2.5 내지 3이라는 것을 포함하는, 유리 섬유.

청구항 15

제12항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 1 내지 2 중량% Li_2O 를 포함하는, 유리 섬유.

청구항 16

제12항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 Y_2O_3 와 La_2O_3 의 총량이 7 중량% 초과라는 것을 포함

하는, 유리 섬유.

청구항 17

연속 유리 섬유의 형성 방법으로서,

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 따른 용융된 조성물을 제공하는 단계; 및

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

청구항 18

보강된 복합 제품으로서,

중합체 매트릭스; 및

유리 조성물로부터 형성된 복수의 유리 섬유들을 포함하며, 상기 유리 조성물은

50 내지 58 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ;

18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ;

18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ;

적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비($R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3$)가 2 내지 4가 되도록 존재함);

1 중량% 초과 내지 2 중량%의 양으로 존재하는 Li_2O ;

0 내지 0.1 중량%의 양으로 존재하는 Na_2O ;

0 내지 0.2 중량%의 양으로 존재하는 K_2O ; 및

0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며,

상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75이고,

상기 유리 조성물은 액상선 온도가 $1,250^\circ\text{C}$ 이하이고, ΔT 가 10°C 내지 60°C 이고,

상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유의 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa인, 보강된 복합 제품.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 보강된 복합 제품은 풍력 터빈 블레이드 형태인, 보강된 복합 제품.

청구항 20

제18항 또는 제19항에 있어서, 상기 조성물은

4 내지 8 중량% Y_2O_3 ; 및

0.5 내지 4 중량% La_2O_3 를 포함하는, 보강된 복합 제품.

청구항 21

제18항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 17 중량% 이하의 CaO 와 MgO 를 포함하는, 보강된 복합 제품.

청구항 22

제18항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 18.3 내지 21.5 중량% Al_2O_3 를 포함하는, 보강된 복합 제품.

청구항 23

제18항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 1.25 중량% 내지 2 중량% 미만의 Li_2O 를 포함하는, 보강된 복합 제품.

청구항 24

제18항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 섬유화 온도가 $1,270^\circ\text{C}$ 미만인, 보강된 복합 제품.

청구항 25

제18항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 비 $R_3(R_3 = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 이 2.5 내지 3인, 보강된 복합 제품.

청구항 26

제18항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 비 R_1 이 2.8 내지 3.1인, 보강된 복합 제품.

청구항 27

유리 조성물로서,

50 내지 58 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ;

18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ;

18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 및

적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비($R_1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3$)가 2 내지 4가 되도록 존재함);

상기 유리 조성물은 섬유화 온도가 $1,200^\circ\text{C}$ 내지 $1,300^\circ\text{C}$ 이고, ΔT 가 적어도 10°C 이고,

상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유의 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa인, 유리 조성물.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 유리 조성물은 비 $R_2(R_2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75라는 것을 포함하는, 유리 조성물.

청구항 29

제27항 또는 제28항에 있어서, 상기 유리 조성물은 액상선 온도가 $1,150^\circ\text{C}$ 내지 $1,250^\circ\text{C}$ 인, 유리 조성물.

청구항 30

제27항 내지 제29항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 유리 조성물은 섬유화 온도가 $1,210^\circ\text{C}$ 내지 $1,260^\circ\text{C}$ 인, 유리 조성물.

발명의 설명

배경 기술

[0001] 유리 섬유는 원하는 조성물 - 일반적으로 "유리 배치(glass batch)"로 명명됨 - 을 생성하기 위해 특정 비율로 조합된 다양한 원료로부터 제조된다. 이러한 유리 배치는 용융 장치에서 용융될 수 있고, 용융된 유리는 부싱(bushing) 또는 오리피스 플레이트를 통해 필라멘트로 인발된다(결과적인 필라멘트는 연속 유리 섬유로도 지칭됨).

[0002] 유리 제조 산업에서의 노력이 더 친환경적이고 지속가능한 제조 공정으로 옮겨감에 따라, 한 가지 주요 측면은 유리 섬유의 제조하는 데 사용되는 유리 원료를 용융시키는 데 필요한 에너지를 감소시키는 것에 초점을 맞추고 있다. 원료를 용융시키는 데 필요한 온도를 낮춤으로써, 제조 공정 전체에서 소비되는 에너지의 양을 감소시키게 될 것이며, 또한 용융 및 부싱 장치의 수명을 연장시키는 데 도움이 될 수 있다. 에너지 소비량을 감소시킴으로써, 궁극적으로 탄소 발자국(carbon footprint)도 낮추어진다.

[0003] 추가적으로, 통상적인 원료를 용융시키는 경우, 이는 전형적으로 온실 가스(GHG)와 같은 소정 가스의 대기 중으로의 방출을 초래한다. 예를 들어, 석회석 및 백운석과 같은 상당량의 탄산염계 원료가 전형적으로 재료의 가공을 용이하게 하고 유리 제품에 바람직한 특성을 부여하기 위해 사용된다. 그러나, 그러한 탄산염계 원료의 용융은 이산화탄소와 같은 GHG의 생성을 초래할 수 있다. GHG의 생성은 또한 통상적인 유리 섬유 제조 공정에서 일반적으로 사용되는 다른 공정으로부터 기인될 수 있는데, 이를 테면, 원료를 용융시키는 데 사용되는 에너지를 제공하기 위해 전기의 발생에 관여하는 연소 반응에 의해, 그리고 또한 용융된 유리의 섬유화 동안 발생할 수 있다.

[0004] 따라서, 지속가능하고 친환경적인 해결책이 제조 계획의 최전선에 있기 때문에, 바람직한 기계적 특성, 예컨대 높은 탄성 모듈러스 및 인장 강도를 유지하면서, 유리 섬유 제조 공정 동안 대기 중에 더 적은 GHG를 배출하고 감소된 용융 온도를 갖는 유리섬유(fiberglass) 조성물에 대한 필요성이 있다.

발명의 내용

[0005] 본 발명 개념의 다양한 예시적인 태양은 유리 조성물에 관한 것으로, 상기 유리 조성물은 50 내지 58 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $R1(R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3)$ 이 2 내지 4가 되도록 존재함); 1% 중량(또는 1 중량% 초과) 내지 2 중량%의 양으로 존재하는 Li_2O ; 0 내지 0.1 중량%의 양으로 존재하는 Na_2O ; 0 내지 0.2 중량%의 양으로 존재하는 K_2O ; 0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함한다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75이고/이거나, 섬유화 온도가 1,300°C 미만이고/이거나, 액상선 온도(liquidus temperature)가 1,250°C 이하이고/이거나, ΔT 가 적어도 10°C일 수 있다. 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 소닉 섬유 탄성 모듈러스(sonic fiber elastic modulus)가 적어도 94.5 GPa이다.

[0006] 본 발명 개념의 추가의 예시적인 태양은 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유에 관한 것으로, 상기 유리 조성물은 50 내지 56 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 4.5 내지 8 중량%의 양으로 존재하는 Y_2O_3 ; 0.5 내지 4 중량%의 양으로 존재하는 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $R1(R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3)$ 이 2 내지 4가 되도록 존재함); 0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; 및 0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함한다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75일 수 있다. 유리 섬유는 밀도가 2.55 g/cc 내지 2.8 g/cc이고, 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa일 수 있다.

[0007] 본 발명 개념의 추가의 예시적인 태양은 보강된 복합 제품에 관한 것으로, 상기 보강된 복합 제품은 중합체 매트릭스, 및 유리 조성물로부터 형성된 복수의 유리 섬유들을 포함한다. 유리 조성물은 50 내지 58 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18 내지 23.0 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비($R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3$)가 2 내지 4가 되도록 존재함); 1 중량% 초과 내지 2 중량%의 양으로 존재하는 Li_2O ; 0 내지 0.1 중량%의 양으로 존재하는 Na_2O ; 0 내지 0.2 중량%의 양으로 존재하는 K_2O ; 0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며, 상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75이다. 유리 조성물은 액상선 온도가 1,250°C 이하이고, ΔT 가 10°C 내지 60°C일 수 있다. 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa일 수 있다.

[0008] 본 발명 개념의 또 다른 추가의 예시적인 태양은 유리 조성물에 관한 것으로, 상기 유리 조성물은 50 내지 58.0 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18 내지 23 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 및 적어도 5 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비($R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3$)가 2 내지 4가 되도록 존재함)를 포함한다. 유리 조성물은 섬유화 온도가 1,200°C 내지 1,300°C이고, ΔT 가 적어도 10°C이고, 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa일 수 있다.

[0009] 본 발명의 기술한 및 다른 목적, 특징, 및 이점은 후술되는 상세한 설명을 고려하여 이후에 더 상세히 나타낼 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 기술 용어 및 과학 용어는 이들 예시적인 실시 형태가 속하는 기술 분야의 당업자에 의해 통상적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 본 명세서에서의 설명에 사용되는 용어는 단지 예시적인 실시 형태를 설명하기 위한 것이며, 예시적인 실시 형태를 제한하고자 하는 것은 아니다. 따라서, 일반적인 발명 개념은 본 명세서에 예시된 구체적인 실시 형태로 제한시키고자 하지 않는다. 본 명세서에 기재된 것들과 유사하거나 동등한 다른 방법 및 재료가 본 발명의 실시 또는 시험에 사용될 수 있지만, 바람직한 방법 및 재료가 본 명세서에 기재되어 있다.
- [0011] 본 명세서 및 첨부된 청구범위에 사용되는 바와 같이, 단수형("a", "an", 및 "the")은 그 문맥에 달리 명확하게 나타나 있지 않는 한, 마찬가지로 복수형을 포함하는 것으로 의도된다.
- [0012] 달리 나타내지 않는 한, 본 명세서 및 청구범위에 사용되는 성분의 양, 화학적 및 분자 특성, 반응 조건 등을 표현하는 모든 수는 모든 경우에 용어 "약"에 의해 수식되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 반대로 나타내지 않는 한, 본 명세서 및 첨부된 청구범위에 기재된 수치 파라미터는 본 예시적인 실시 형태에 의해 얻고자 하는 원하는 특성에 따라 달라질 수 있는 근사치이다. 최소한으로, 각각의 수치 파라미터는 유효 숫자의 개수 및 보통의 반올림 접근법의 관점에서 해석되어야 한다.
- [0013] 예시적인 실시 형태의 넓은 범주를 기술하는 수치 범위 및 파라미터가 근사치임에도 불구하고, 구체적인 실시예에 기술된 수치 값은 가능한 한 정확하게 기록된다. 그러나, 임의의 수치 값은 본질적으로 그의 각자의 시험 측정치에서 발견되는 표준 편차로부터 필연적으로 유래하는 소정의 오차를 포함한다. 본 명세서 및 청구범위 전반에 걸쳐 주어진 모든 수치 범위는 그러한 더 넓은 수치 범위 내에 있는 모든 더 좁은 수치 범위가 마치 본 명세서에 모두 명시적으로 기재된 것처럼 그러한 더 좁은 수치 범위를 포함할 것이다. 더욱이, 실시예에서 보고된 임의의 수치 값은 본 명세서에 개시된 더 넓은 조성 범위의 상한 중점 또는 하한 중점 중 어느 하나를 정의하는 데 사용될 수 있다.
- [0014] 본 발명 개념의 유리 조성물이 다양한 방식으로 기재되고/되거나 청구될 수 있지만, 상이한 조성물들이 본 명세서에서 해결된 특정 문제에 대한 대안적인 해결책이 되며, 이들 전부가 본 개시된 일반적인 발명 개념의 일부라는 것이 이해되어야 한다.
- [0015] 본 발명은 높은 탄성 모듈러스, 낮은 밀도, 및 개선된 온도 프로파일을 갖는 유리 섬유를 제공하도록 특별히 조정된 조성을 갖는 유리 조성물에 관한 것으로, 이로써 우리는 제조 동안 용융시키는 데 더 적은 에너지를 필요로 하고, 더 적은 온실 가스, 특히 이산화탄소를 배출하게 된다. 그러한 유리 조성물은, 더 많은 에너지를 생성하기 위해 더 긴 블레이드를 필요로 하는 풍력 터빈과 같은 풍력 제품 분야에서 특히 유익하다. 더 긴 블레이드는 파손 없이 그에 가해지는 힘을 견디기 위해 더 높은 탄성 모듈러스를 갖는 재료를 필요로 한다. 실제로, 유리 섬유의 탄성 모듈러스는 최종 제품 특성에 큰 영향을 미치는데, 이는, 유리 섬유의 모듈러스의 작은 개선이라 하더라도, 복합 제품의 전체 섬유 중량 분율을 곱하여 전체적으로 큰 개선을 제공하기 때문이다.
- [0016] 본 명세서에 개시된 유리 조성물은 유리 보강 섬유의 제조에 널리 사용되는 전통적인 구매가능한 내화물-라이닝된 유리로(refractory-lined glass furnace)에서 용융시키기에 적합하다.
- [0017] 유리 조성물은 용융된 형태일 수 있으며, 용융기(melter)에서 유리 조성물의 성분들을 용융시켜 얻을 수 있다. 유리 조성물은 낮은 섬유화 온도를 나타내며, 이때 섬유화 온도는 ASTM C965-96(2007)에 의해 결정될 때 약 1000 푸아즈의 용융 점도에 상응하는 온도로서 정의된다. 섬유화 온도를 낮춤으로써 유리 섬유의 생산 비용을 감소시킬 수 있는데, 그 이유는, 이는 더 긴 부싱 수명 및 유리 조성물의 성분들을 용융시키는 데 필요한 에너지 사용량의 감소를 가능하게 하기 때문이다. 따라서, 방출된 에너지는 일반적으로, Advantex® 유리를 포함한 많은 구매가능한 유리 제형을 용융시키는 데 필요한 에너지보다 작다. 그러한 더 낮은 에너지 요건은 또한 유리 조성물과 관련된 전체 제조 비용을 낮출 수 있다.
- [0018] 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 섬유화 온도가 2,372°F(1,300°C) 미만이며, 이에 2,354°F(1,290°C) 이하, 2,327°F(1,275°C) 이하, 2,309°F(1,265°C) 이하, 2,291°F(1,255°C) 이하, 2,282°F(1,250°C) 이하, 2,273°F(1,245°C) 이하, 및 2,264°F(1,240°C) 이하의 섬유화 온도가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 섬유화 온도가 2,192°F(1,200°C) 내지 2,372°F(1,300°C)일 수 있으며, 이에 2,228°F(1,210°C) 내지 2,300°F(1,260°C), 및 2,246°F(1,230°C) 내지 2,264°F(1,240°C)가 포함되며, 이에 모든 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

- [0019] 유리 조성물의 다른 섬유화 특성은 액상선 온도이다. 액상선 온도는 액체 유리와 이의 1차 결정질 상 사이에 평형이 존재하는 최고 온도로서 정의된다. 액상선 온도는, 일부 경우에, 유리 조성물을 16시간 동안 백금-합금 보트에서 온도 구배에 노출시킴으로써 측정될 수 있다(ASTM C829-81(2005)). 액상선 온도보다 높은 모든 온도에서, 유리는 완전히 용융되며, 즉, 이에는 결정이 없다. 액상선 온도보다 낮은 온도에서는, 결정이 형성될 수 있다. 가공 창(processing window)(ΔT 로 알려져 있는 것으로, 하기에 더 상세히 정의됨)을 열기 위해, 액상선 온도는 가능한 한 낮은 것이 바람직하다. 낮은 액상선 온도는 또한 용융 장치의 가장 차가운 위치에서 결정 형성을 감소시키는 데 도움이 되고, 이로써 유리의 가공성을 개선한다.
- [0020] 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 액상선 온도가 2,282°F(1,250°C) 미만이며, 이에는 2,264°F(1,240°C) 이하, 2,246°F(1,230°C) 이하, 2,237°F(1,225°C) 이하, 2,219°F(1,215°C) 이하, 2,210°F(1,210°C) 이하, 2,201°F(1,205°C) 이하, 2,192°F(1,200°C) 이하, 및 2,183°F(1,195°C) 이하의 액상선 온도가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 액상선 온도가 2,102°F(1,150°C) 내지 2,282°F(1,250°C)일 수 있으며, 이에는 2,147°F(1,175°C) 내지 2,255°F(1,235°C), 및 2,192°F(1,180°C) 내지 2,192°F(1,200°C)가 포함된다.
- [0021] 제3 섬유화 특성은 " ΔT "인데, 이는 섬유화 온도와 액상선 온도 사이의 차이로서 정의된다. 유리 조성물의 ΔT 는 0보다 커야 하며, 낮은 섬유화 온도를 고려하여 충분한 성형 창(forming window)을 갖는 유리 조성물을 제공하도록 특별히 선택된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 ΔT 가 적어도 3°C이며, 이에는 적어도 10°C, 적어도 15°C, 적어도 20°C, 적어도 24°C, 적어도 27°F, 적어도 30°C, 적어도 33°C, 및 적어도 35°C가 포함된다. 다양한 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 ΔT 가 3°C 내지 80°C이며, 이에는 12°C 내지 80°C, 15°C 내지 60°C, 20°C 내지 55°C, 25°C 내지 50°C, 및 30°C 내지 45°C가 포함된다.
- [0022] 감소된 CO₂ 배출량을 갖는 고 모듈러스 유리를 생성할 수 있는 유리 조성물을 달성하기 위해, 유리 조성물은 총체적으로 감소된 농도의 CaO와 MgO를 포함한다. 그러나, 일반적으로는, 칼슘 및 마그네슘 수준을 증가시키는 것이 온도, 특히 섬유화 온도를 감소시키기 위한 효과적인 방법이라고 알려져 있다. 그러나 놀랍게도, 총체적으로 적어도 5.0 중량%의 희토류 산화물, Y₂O₃와 La₂O₃의 상승적(synergetic) 블렌드를 도입함으로써, 총체적인 CaO와 MgO 농도를 감소시키면서, 또한 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 GPa인 유리 섬유를 형성할 수 있는 낮은 섬유화 온도를 갖는 유리 조성물을 달성할 수 있다는 것을 알아내었다.
- [0023] 희토류 산화물, Y₂O₃와 La₂O₃의 이러한 특별한 조합 및 농도가 섬유화 온도를 감소시키는 데 도움이 되면서, 충분한 탄성 모듈러스 및 인장 강도를 갖는 유리 섬유의 생성을 가능하게 할 수 있다는 것을 알아내었다. 따라서, 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 Y₂O₃ 및 La₂O₃ 둘 모두를 포함한다. 특히, 본 발명의 유리 조성물은 Y₂O₃와 La₂O₃의 총 농도가 적어도 5 중량%라는 것을 포함하며, 이때 Y₂O₃/La₂O₃비(R1)는 2 내지 4이다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 Y₂O₃/La₂O₃ 비(R1)가 2.2 내지 3.8이라는 것을 포함하며, 이에는 2.4 내지 3.6, 2.6 내지 3.4, 2.8 내지 3.2, 및 2.9 내지 3.1이 포함되며, 이에는 모든 종점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다. 추가적으로, 상기에 언급된 바와 같이, Y₂O₃와 La₂O₃의 총 농도는 적어도 5 중량%이며, 이에는, 예를 들어 적어도 5.5 중량%, 적어도 5.7 중량%, 적어도 6 중량%, 적어도 6.3 중량%, 적어도 6.5 중량%, 적어도 6.8 중량%, 적어도 7 중량%, 적어도 7.2 중량%, 및 적어도 7.5 중량%가 포함된다. 마찬가지로, Y₂O₃와 La₂O₃의 총 농도는 15 중량% 이하일 수 있으며, 이에는, 예를 들어 9.6 중량% 이하, 9.4 중량% 이하, 9.2 중량% 이하, 9 중량% 이하, 8.8 중량% 이하, 8.4 중량% 이하, 및 8 중량% 이하가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 총체적으로 5 중량% 초과 및 10 중량% 미만의 Y₂O₃와 La₂O₃를 포함할 수 있으며, 이에는 5.5 내지 9.8 중량%, 5.8 내지 9.5 중량%, 6.0 내지 9.2 중량%, 6.3 내지 9 중량%, 6.5 내지 8.8 중량%, 7 내지 8.5 중량%, 및 7.2 내지 8.2 중량%가 포함되며, 이에는 모든 종점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.
- [0024] 개별적으로 이들 산화물과 관련하여, 유리 조성물은 적어도 4 중량% Y₂O₃를 포함할 수 있으며, 이에는, 예를 들어 적어도 4.2 중량%, 4.4 중량%, 4.6 중량%, 적어도 4.8 중량%, 적어도 5 중량%, 적어도 5.2 중량%, 적어도 5.5 중량%, 적어도 5.4 중량%, 적어도 5.6 중량%, 및 적어도 5.8 중량%가 포함된다. 마찬가지로, 유리 조성물은 8 중량% 이하의 Y₂O₃를 포함할 수 있으며, 이에는, 예를 들어 7.8 중량% 이하, 7.5 중량% 이하, 7.3 중량% 이하, 7 중량% 이하, 6.8 중량% 이하, 6.5 중량% 이하, 및 6.3 중량% 이하의 Y₂O₃가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 5 중량% 초과 내지 8 중량% 미만의 Y₂O₃를 포함할 수 있으며, 이에는 5.4 중량%

% 내지 7.5 중량%, 5.6 중량% 내지 7 중량%, 및 5.8 중량% 내지 6.7 중량%가 포함되며, 이에는 모든 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0025] 추가적으로, 유리 조성물은 적어도 0.5 중량% La_2O_3 를 포함할 수 있으며, 이에는, 예를 들어 적어도 0.75 중량%, 0.9 중량%, 1 중량%, 적어도 1.3 중량%, 적어도 1.5 중량%, 적어도 1.7 중량%, 적어도 1.9 중량%, 및 적어도 2 중량%가 포함된다. 마찬가지로, 유리 조성물은 4 중량% 이하의 La_2O_3 를 포함할 수 있으며, 이에는, 예를 들어 3.8 중량% 이하, 3.5 중량% 이하, 3.3 중량% 이하, 3 중량% 이하, 2.8 중량% 이하, 2.5 중량% 이하, 및 2.3 중량% 이하의 La_2O_3 가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 1 중량% 초과 내지 4 중량% 미만의 La_2O_3 를 포함할 수 있으며, 이에는 1.4 중량% 내지 3.5 중량%, 1.6 중량% 내지 3 중량%, 및 1.8 중량% 내지 2.7 중량%가 포함되며, 이에는 모든 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0026] Y_2O_3 와 La_2O_3 의 전술된 상승적 블렌드를 포함시킴으로써, CaO 와 MgO 의 총체적인 농도의 감소를 촉진시키며, 그 결과, 원료인 석회석, 백운석 및 마그네사이트 - 이들은 이산화탄소를 유리 배치(batch) 내로 도입시키는 것을 담당함 - 에 대한 요건이 더 낮아진다. 따라서, 유리 조성물 중의 CaO 와 MgO 의 총 농도는 18 중량% 이하, 예컨대 17.5 중량% 이하, 17.2 중량% 이하, 17 중량% 이하, 16.8 중량% 이하, 16.5 중량% 이하, 16.2 중량% 이하, 및 16 중량% 이하여야 한다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 CaO 및 MgO 둘 모두를 포함할 수 있다.

[0027] 유리 조성물은 추가로 유리하게 적어도 9 중량% 및 13 중량% 이하의 MgO 를 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 적어도 9.2 중량% MgO 를 포함하며, 이에는, 예를 들어 적어도 9.5 중량%, 적어도 9.8 중량%, 적어도 10 중량%, 적어도 10.2 중량%, 및 적어도 10.5 중량% MgO 가 포함된다. 마찬가지로, 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 MgO 농도가 13 중량% 미만이라는 것을 포함할 수 있으며, 이에는 12.8 중량% 이하, 12.6 중량% 이하, 12.4 중량% 이하, 12.2 중량% 이하, no 12.0 중량% 이하, 11.8 중량% 이하, 및 11.5 중량% 이하의 MgO 농도가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 MgO 농도가 9 내지 13.0 중량% 미만, 또는 9.3 내지 12.8 중량%, 또는 9.5 내지 12.5 중량%, 또는 9.8 내지 12.2 중량%라는 것을 포함할 수 있으며, 이에는 임의의 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0028] 상기에 언급된 바와 같이, 유리 조성물은 통상적인 조성물에 비하여 감소된 농도의 CaO 를 포함하며, 이는 제조 동안 탄소 배출량을 감소시키면서, 또한 형성된 섬유의 탄성 모듈러스를 개선한다. 따라서, 유리 조성물은 6 중량% 이하의 CaO , 일부 경우에는 5.5 중량% 이하의 CaO 를 포함할 수 있다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 CaO 농도가 5.2 중량% 이하라는 것을 포함할 수 있으며, 이에는, 예를 들어 5 중량% 이하, 4.8 중량% 이하, 및 4.7 중량% 이하의 CaO 가 포함된다. 마찬가지로, 임의의 예시적인 실시 형태는 최소 3 중량%, 예컨대 최소 3.2 중량%, 3.5 중량%, 3.7 중량%, 3.9 중량%, 및 4.1 중량% CaO 를 포함할 수 있다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 3 내지 6.0 중량% CaO 를 포함할 수 있으며, 이에는 3.5 내지 5.8 중량%, 3.8 내지 5.5 중량%, 4 내지 5.2 중량%, 및 4.1 내지 5.0 중량% 미만이 포함된다.

[0029] MgO 와 CaO 의 총 농도는 SiO_2 대 MgO 와 CaO 의 합계 농도의 비($R_2 = \text{SiO}_2/(\text{CaO} + \text{MgO})$)가 특별히 3.1 내지 3.75로 조정될 수 있게 하는 것이며, 이에는 3.2 내지 3.6, 및 3.3 내지 3.55가 포함되며, 이에는 모든 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다. SiO_2 는 1차 유리 형성제(0-Si-O 결합, 여기서는 4개의 산소가 각각의 규소에 결합되고, 2개의 규소가 각각의 산소에 결합됨), 및 알칼리 토류 산화물 CaO 및 MgO 는 이 구조에 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 양 이온을 제공하며, 이들 각각은 유리 형성제 결합에서 2개의 비가교성 산소(non-bridging oxygen, NBO)를 생성한다. 3.75 초과 $\text{SiO}_2/(\text{CaO} + \text{MgO})$ 비는 구조 내에 너무 많은 가교성 산소가 존재함을 나타낼 것이며, 이는 높은 점도, 및 성형 점도에 도달하는 데 필요한 고온으로 인한 성형에 있어서의 어려움으로 이어질 수 있다. 3.1 미만의 $\text{SiO}_2/(\text{CaO} + \text{MgO})$ 비는 너무 많은 NBO 및 너무 파괴되기 쉽거나 유연한 구조를 가져올 수 있으며, 이는 낮은 강도 및 모듈러스와 함께, 낮은 점도로 이어진다. $\text{SiO}_2/(\text{CaO} + \text{MgO})$ 비 값의 균형이 성형 및 시장에서의 응용 둘 모두에 대해 원하는 특성을 달성한다는 것을 알아내었다.

[0030] 유리 조성물은 적어도 50 중량% 및 58 중량% 미만의 SiO_2 를 추가로 포함한다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 적어도 51 중량% SiO_2 를 포함하며, 이에는 적어도 52 중량%, 적어도 52.5 중량%, 적어도 53 중량%, 적어도 53.5 중량%, 적어도 53.8 중량%, 적어도 54 중량%, 및 적어도 54.15 중량%가 포함된다. 일부 예시적

인 실시 형태에서, 유리 조성물은 60 중량% 이하의 SiO_2 를 포함하며, 이에 58 중량% 이하, 57.5 중량% 이하, 57 중량% 이하, 56.5 중량% 이하, 56 중량% 이하, 및 55.5 중량% 이하가 포함된다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 50 중량% 초과 내지 58 중량% 미만, 52 중량% 초과 내지 57 중량% 미만, 53 중량% 초과 내지 56.5 중량% 미만, 또는 53.2 중량% 내지 55.8 중량%의 SiO_2 를 포함하며, 이에 임의의 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0031] 원하는 기계적 특성 및 섬유화 특성 둘 모두를 달성하기 위해, 유리 조성물의 한 가지 중요한 측면은 Al_2O_3 농도가 적어도 18 중량% 및 23 중량% 이하라는 것이다. Al_2O_3 농도가 18 중량% 초과, 특히 적어도 18.5 중량%라는 것을 포함시킴으로써, 전형적으로, 조성물로부터 형성된 유리 섬유가 충분한 탄성 모듈러스 - 하기에 더 상세히 기재되어 있음 - 를 달성할 것임을 보장한다. 23 중량% 초과와 Al_2O_3 의 포함은 전형적으로 유리 액상선이 섬유화 온도보다 높은 수준까지 증가되게 하고, 이는 음의 ΔT 를 가져온다.

[0032] 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 적어도 18.8 중량% Al_2O_3 를 포함할 수 있으며, 이에 적어도 19 중량%, 적어도 19.3 중량%, 적어도 19.5 중량%, 적어도 19.7 중량%, 적어도 19.8 중량%, 및 적어도 20 중량%가 포함된다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 22.8 중량% 이하의 Al_2O_3 를 포함하며, 이에 22.5 중량% 이하, 22 중량% 이하, 21.7 중량% 이하, 21.5 중량% 이하, 21.3 중량% 이하, 및 21 중량% 이하가 포함된다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 18.6 내지 22 중량% Al_2O_3 를 포함하며, 이에 18.9 내지 21.5 중량%, 및 19 중량% 초과 및 21 중량% 미만의 Al_2O_3 가 포함되며, 이에 임의의 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0033] 임의의 예시적인 실시 형태에서, SiO_2 와 Al_2O_3 는 2.5 내지 3.0으로 특별히 조정되는 비 $R_3(R_3 = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 로 존재하며, 이에 2.6 내지 2.95, 및 2.7 내지 2.9가 포함되며, 이에 모든 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다. 앞서 언급된 바와 같이, SiO_2 는 1차 유리 형성제이다. 그러나, Al_2O_3 가 또한 유리 형성제이며, 유리 구조에서 연결성의 정도를 향상시키는 작용을 한다. 따라서, 유리 형성제 네트워크의 연결성을 향상시키기 위해 충분한 Al_2O_3 가 존재해야 하지만, 네트워크의 결정화가 너무 광범위하게 될 정도로 너무 많은 Al_2O_3 가 존재해서는 안 되며, 그럼으로써 낮은 액상선 온도를 유지한다. 허용되는 액상선 온도를 유지하면서 모듈러스를 개선하는 데 2.7 내지 2.9의 비가 특히 유리하다는 것을 알아내었다.

[0034] 유리 조성물은 추가적으로 적어도 1 중량%의 알칼리 금속 산화물 Li_2O , Na_2O , 및 K_2O (총체적으로, " R_2O ")를, 총 R_2O 농도를 3 중량% 미만으로 유지하면서 포함할 수 있다. 특히, Li_2O 는, 유리 구조에서 하나의 NBO를 생성함으로써 용융 점도 및 성형 점도를 낮추는 바람직한 Li^+ 양이온을 부가한다는 점에서 이례적인 알칼리 산화물이다. 유리 구조는 또한 높은 장 강도(field strength)(또는 낮은 이온 반경)를 갖는데, 이는 유리 구조가 함께 위상적으로 더 근접하게(조밀 패킹되게) 하고, 이는 전체적으로 네트워크를 강직화되게 한다. 더 높은 질의 원료의 사용을 통한 Na_2O 및 K_2O 의 효과적인 감소 또는 제거에 의해, Li_2O 의 양은 증가되어, 점도가 액상선 온도에 너무 근접해지지 않도록 유지하면서 모듈러스를 향상시킬 수 있다.

[0035] 유리 조성물은 적어도 0.8 중량% 초과와 양으로 존재하는 Li_2O 를 포함할 수 있으며, 이에, 예를 들어 적어도 0.85 중량%, 적어도 0.95 중량%, 적어도 1.05 중량%, 적어도 1.15 중량%, 적어도 1.25 중량%, 적어도 1.4 중량%, 및 적어도 1.5 중량%가 포함된다. 마찬가지로, 유리 조성물은 3 중량% 미만의 Li_2O 를 포함하며, 이에, 예를 들어 2.8 중량% 이하, 2.5 중량% 이하, 2.3 중량% 이하, 2 중량% 이하, 1.8 중량% 이하, 및 1.6 중량% 이하가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 0.9 중량% 초과 내지 2.5 중량%를 포함할 수 있으며, 이에 1.1 중량% 내지 2.1 중량%, 1.3 중량% 내지 1.9 중량%, 및 1.4 중량% 내지 1.7 중량%가 포함되며, 이에 모든 중점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0036] 일부 실시 형태에서, 유리 조성물에는 Li_2O 및/또는 알칼리 금속 산화물이 없거나, 본질적으로 없을 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, "본질적으로 없는"은 1 중량% 미만, 예컨대 0.75 중량% 미만, 0.5 중량% 미만, 0.25 중량% 미만, 0.1 중량% 미만, 0.05 중량% 미만, 또는 0.025 중량% 미만의 양을 나타낸다. 따라서, 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 0.75 중량% 미만의 Li_2O 를 포함하며, 이에 0.5 중량% 미만, 0.3

중량% 미만, 0.15 중량% 미만, 0.075 중량% 미만, 및 0.05 중량% 미만의 Li_2O 가 포함된다.

[0037] 유리 조성물은 적어도 0.01 중량%의 개별적인 양 또는 총체적인 양으로 존재하는 Na_2O 및/또는 K_2O 를 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 0 내지 1.0 중량% Na_2O 를 포함하며, 이에 0.01 내지 0.5 중량%, 0.03 내지 0.4 중량%, 및 0.06 내지 0.3 중량%가 포함되며, 이에 모든 종점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 0 내지 1 중량% K_2O 를 추가로 포함할 수 있으며, 이에 0.01 내지 0.5 중량%, 0.03 내지 0.3 중량%, 및 0.04 내지 0.15 중량%가 포함되며, 이에 모든 종점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물에는 Na_2O 및/또는 K_2O 가 없을 수 있다.

[0038] 유리 조성물은 적어도 0.01 중량%의 개별적인 양 또는 총체적인 양으로 존재하는 TiO_2 및/또는 Fe_2O_3 를 추가로 포함할 수 있다. 예를 들어, 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 선택적으로 0 중량% 내지 1.5 중량% TiO_2 를 포함할 수 있으며, 이에 0.01 중량% 내지 1 중량%, 및 0.1 내지 0.6 중량%가 포함된다. 유리 조성물은 선택적으로 최대 1 중량%의 Fe_2O_3 를 추가로 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 0 중량% 내지 0.8 중량% Fe_2O_3 를 포함하며, 이에 0.01 중량% 내지 0.6 중량% 및 0.1 내지 0.35 중량%가 포함되며, 이에 모든 종점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0039] 유리 조성물은 유리 또는 섬유에 악영향을 미치지 않으면서 불순물 및/또는 미량 물질을 추가로 포함할 수 있다. 이들 불순물은 원료 불순물로서 유리에 들어갈 수 있거나, 또는 용융된 유리화 노 성분의 화학 반응에 의해 형성된 생성물일 수 있다. 미량 물질의 비제한적인 예에는, 예를 들어 스트론튬(SrO), 바륨(BaO), 및 이들의 조합이 포함된다. 미량 물질은 이들의 산화물 형태로 존재할 수 있고, 불소 및/또는 염소를 추가로 포함할 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 본 발명의 유리 조성물은 BaO , SrO , P_2O_5 , ZrO_2 , ZnO , 및 SO_3 를 각각 2 중량% 이하로 함유하며, 이에, 예를 들어 1 중량% 미만, 0.5 중량% 미만, 0.2 중량% 미만, 0.1 중량% 미만, 및 0.05 중량% 미만이 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 이들 조성물 중 하나 이상을 배제할 수 있다. 따라서, 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물에는 BaO , SrO , P_2O_5 , ZrO_2 , ZnO , 및 SO_3 중 임의의 하나 이상이 없다.

[0040] 유리 조성물에는 B_2O_3 가 없거나 본질적으로 없을 수 있지만, 섬유화 및 완성된 유리 특성을 조정하기 위해 소량으로 첨가될 수 있으며, 수 % 미만으로 유지된다면 특성에 악영향을 주지 않을 것이다. 따라서, 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 1 중량% 미만의 B_2O_3 를 포함하며, 이에 0.75 중량% 미만, 0.5 중량% 미만, 0.3 중량% 미만, 0.15 중량% 미만, 0.075 중량% 미만, 및 0.05 중량% 미만의 B_2O_3 가 포함된다.

[0041] 유리 조성물은 1.0 중량% 이하의 양으로 존재하는 불소(F)를 추가로 포함할 수 있다. 예를 들어, 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 조성물은 선택적으로 0 중량% 내지 0.9 중량% F를 포함할 수 있으며, 이에 0.01 중량% 내지 0.75 중량%, 및 0.05 내지 0.5 중량%가 포함되며, 이에 모든 종점 및 이들 사이의 하위범위가 포함된다.

[0042] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "중량 퍼센트", "중량%", "wt%", 및 "중량 기준 퍼센트"는 상호교환 가능하게 사용될 수 있으며, 총 조성물을 기준으로 중량%(또는 중량 기준 퍼센트)를 나타내는 것으로 의미된다.

[0043] 하기 표 1은 본 발명 개념에 따라 제형화된 다양한 예시적인 조성 범위를 제공한다.

[0044] [표 1]

	예시적인 범위 A	예시적인 범위 B	예시적인 범위 C
SiO ₂	50 내지 58	52 내지 56	53 내지 55
Al ₂ O ₃	18 내지 23	18.5 내지 22	19 내지 21
CaO	3 내지 6	3.5 내지 5.5	4 내지 5
MgO	9 내지 13	9.5 내지 12.5	10 내지 11.5
SiO ₂ /(MgO + CaO)	3.1 내지 3.7	3.2 내지 3.68	3.3 내지 3.55
Y ₂ O ₃	4 내지 7.5	5 내지 7	5.5 내지 6.5
La ₂ O ₃	0.5 내지 3	1 내지 2.5	1.3 내지 2.2
Y ₂ O ₃ + La ₂ O ₃	5 내지 10	6.5 내지 9	7.5 내지 8.5
Na ₂ O + K ₂ O	0 내지 1	0.01 내지 0.5	0.05 내지 0.1
Li ₂ O	0 내지 2	0.95 내지 1.8	1.2 내지 1.65
Fe ₂ O ₃	0 내지 0.5	0.07 내지 0.3	0.09 내지 0.25
F	0 내지 1	0.01 내지 0.75	0.05 내지 0.5
TiO ₂	0 내지 0.6	0.01 내지 0.5	0.03 내지 0.3

[0045]

[0046]

상기에 나타난 바와 같이, 본 발명의 유리 조성물은 예기치 않게도, 섬유화 온도가 1,300℃ 미만이고, 액상선 온도가 1,250℃ 미만(또는 일부 예시적인 실시 형태에서는 1,200℃ 미만)이고, 양의 ΔT 값이 바람직하게는 적어도 10℃라는 것을 포함하여 바람직한 형성 특성을 유지하면서, 최적화된 탄성 모듈러스를 나타낸다.

[0047]

섬유 인장 강도는 본 명세서에서 간단히 "강도"로도 지칭된다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 인장 강도는 ASTM D2343-09에 따라 Instron 인장 시험 장치를 사용하여 프리스틴(pristine) 섬유(즉, 사이징되지 않고 손대지 않은 실험실에서 생성된 섬유) 상에서 측정된다. 본 명세서에 개시된 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 예시적인 유리 섬유는 섬유 인장 강도가 적어도 4,400 MPa일 수 있으며, 이에 는 적어도 4,450 MPa, 적어도 4,500 MPa, 적어도 4,530 MPa, 적어도 4,550 MPa, 적어도 4,570 MPa, 적어도 4,590 MPa, 적어도 4,600 MPa, 적어도 4,630 MPa, 및 적어도 4,650 MPa가 포함된다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 섬유 인장 강도가 4,450 내지 4,900 MPa이며, 이에 는 4500 MPa 내지 4,800 MPa, 4,550 내지 4,750 MPa가 포함되며, 이에 는 모든 중점 및 이들 사이의 범위가 포함된다.

[0048]

유리 섬유의 탄성 모듈러스는 다양한 방식으로 결정될 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 탄성 모듈러스는 소닉 기법에 의해 결정되어, 소닉 섬유 탄성 모듈러스를 제공하는데, 이는, 리포트["Glass Fiber Drawing and Measuring Facilities at the U.S. Naval Ordnance Laboratory", Report Number NOLTR 65-87, June 23, 1965]에 개략적으로 설명된 소닉 측정 절차에 따라 측정된 5개의 단일 유리 섬유에 대한 평균 측정치를 얻음으로써 결정된다. 탄성 모듈러스는 추가로 벌크 모듈러스로서 결정될 수 있는데, 이는 ASTM C1259에 따라 수행된다.

[0049]

본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 예시적인 유리 섬유는 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 93 GPa일 수 있으며, 이에 는 적어도 93.5 GPa, 적어도 94.0 GPa, 적어도 94.5 GPa, 적어도 95 GPa, 적어도 95.3 GPa, 적어도 95.5 GPa, 적어도 95.8 GPa, 또는 적어도 96 GPa가 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 예시적인 유리 섬유는 탄성 모듈러스가 93.5 GPa 내지 120 GPa일 수 있으며, 이에 는 94 GPa 내지 105 GPa, 및 95 GPa 내지 100 GPa가 포함되며, 이에 는 모든 중점 및 이들 사이의 범위가 포함된다.

[0050]

임의의 예시적인 실시 형태에서, 본 명세서에 개시된 유리 조성물은 밀도가 2.2 g/cc 내지 3.0 g/cc인 유리 섬유를 형성한다. 밀도는, 당업계에 알려져 있고 일반적으로 받아들여져 있는 임의의 방법에 의해, 예컨대 어닐링되지 않은 벌크 유리에 대한 아르키메데스 방법(ASTM C693-93(2008))에 의해 측정될 수 있다. 임의의 예시적

인 실시 형태에서, 유리 섬유는 밀도가 2.3 g/cc 내지 2.85 g/cc일 수 있으며, 이에 2.5 g/cc 내지 2.8 g/cc, 2.55 내지 2.75 g/cc, 및 2.6 내지 2.7 g/cc가 포함된다.

[0051] 밀도와 탄성 모듈러스는 비모듈러스(specific modulus)의 결정으로 이어진다. 최종 물품에 강성(stiffness)을 추가하는 경량 복합 재료를 달성하기 위해 높은 비모듈러스를 갖는 것이 바람직하다. 비모듈러스는 제품의 강성이 중요한 파라미터인 응용에, 예컨대 풍력 에너지 및 항공우주 응용에 중요하다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 비모듈러스는 다음 식에 의해 계산된다:

[0052] $\text{비모듈러스(MJ/kg)} = \text{소닉 섬유 탄성 모듈러스(GPa)} / \text{밀도(kg/m}^3\text{)}$

[0053] 본 발명의 유리 조성물로부터 형성된 예시적인 유리 섬유는 비모듈러스가 33 MJ/kg 내지 40 MJ/kg이며, 이에 34 MJ/kg 내지 37 MJ/kg, 및 34.5 MJ/kg 내지 36 MJ/kg이 포함된다. 임의의 예시적인 실시 형태에서, 유리 섬유는 비모듈러스가 34.6 MJ/kg 내지 35 MJ/kg일 수 있다.

[0054] 일부 예시적인 실시 형태에 따르면, 전술된 유리 조성물로부터 유리 섬유를 제조하기 위한 방법이 제공된다. 유리 섬유는, 당업계에 알려져 있고 전통적으로 사용되는 임의의 수단에 의해 형성될 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 섬유는 원료 성분들을 입수하고 성분들을 적절한 양으로 혼합하여 최종 조성물의 원하는 중량 백분율을 제공함으로써 형성된다. 상기 방법은 용융된 형태의 본 발명의 유리 조성물을 제공하는 단계 및 용융된 조성물을 부싱 내의 오리피스를 통해 인발하여 유리 섬유를 형성하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0055] 유리 조성물의 구성성분들은 적합한 성분 또는 원료로부터 얻어질 수 있으며, 이에, SiO₂의 경우 모래 또는 엽납석, CaO의 경우 석회석, 생석회, 규회석, 또는 백운석, Al₂O₃의 경우 카올린, 알루미나 또는 엽납석, MgO의 경우 백운석, 백운석계 생석회(dolomitic quicklime), 수화석, 완화회석(enstatite), 활석, 소성 마그네사이트, 또는 마그네사이트, 및 Na₂O의 경우 탄산나트륨, 나트륨 장석 또는 황산나트륨이 포함되지만 이로 한정되지 않는다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 필요한 산화물 중 하나 이상을 공급하기 위해 유리 컬릿(glass cullet)이 사용될 수 있다. 상기 언급된 바와 같이, 본 발명의 유리 조성물은 감소된 양의 석회석, 백운석, 및 마그네사이트를 포함한다.

[0056] 이어서, 혼합된 배치를 노 또는 용융기 내에서 용융시킬 수 있으며, 생성된 용융된 유리를 전로(forehearth)를 따라 통과시키고, 전로의 바닥에 위치한 부싱의 오리피스를 통해 인발하여 개별 유리 필라멘트들을 형성한다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 노 또는 용융기는 전통적인 내화 용융기이다. 내화 블록들로 형성된 내화 탱크를 이용함으로써, 본 발명의 조성물에 의해 생성되는 유리 섬유의 생성과 관련된 제조 비용이 감소될 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에서, 부싱은 백금 합금계 부싱이다. 이어서, 개별 필라멘트들을 함께 모아서 유리 섬유의 가닥을 형성할 수 있다. 섬유 가닥은 의도된 응용에 적합한 통상적인 방식으로 권취되고 추가로 가공될 수 있다.

[0057] 용융기, 전로, 및 부싱에서의 유리의 작업 온도는 유리의 점도를 적절히 조정하도록 선택될 수 있으며, 제어 장치와 같은 적합한 방법을 사용하여 유지될 수 있다. 용융기 전방 단부에서의 온도는 실투(devitrification)를 감소시키거나 제거하도록 자동으로 제어될 수 있다. 이어서, 용융된 유리를 부싱의 바닥 또는 팁 플레이트 내의 구멍 또는 오리피스를 통해 당겨서(인발하여) 유리 섬유를 형성할 수 있다. 일부 예시적인 실시 형태에 따르면, 부싱 오리피스를 통해 유동하는 용융된 유리의 스트림은 복수의 개별 필라멘트들로 형성된 스트랜드를 권취 기계의 회전가능한 콜릿(collet) 상에 장착된 형성 튜브 상에 권취함으로써 필라멘트로 세장화되거나, 적응 속도로 초핑된다. 본 발명의 유리 섬유는 본 명세서에 기재된 임의의 방법이나, 유리 섬유를 형성하기 위한 임의의 공지된 방법에 의해 얻을 수 있다.

[0058] 섬유는 의도된 응용에 적합한 통상적인 방식으로 추가로 가공될 수 있다. 예를 들어, 일부 예시적인 실시 형태에서, 유리 섬유는 당업자에게 알려진 사이징 조성물로 사이징된다. 사이징 조성물은 어떠한 방식으로든 제한되지 않으며, 유리 섬유에 적용하기에 적합한 임의의 사이징 조성물일 수 있다. 사이징된 섬유는 보강용 기재, 예컨대 제품의 최종 용도가 고강도 및 고강성 및 저중량을 필요로 하는 다양한 플라스틱에 사용될 수 있다. 그러한 응용에는 풍력 터빈 블레이드를 형성하는 데 사용하기 위한 부직 매트 및 직조 직물; 인프라구조, 예컨대 보강 콘크리트, 교량 등; 및 항공우주 구조물이 포함되지만 이로 한정되지 않는다. 예시적인 직조 직물에는, 예를 들어 단방향, 일축, 다축, 스티칭된 직물 등이 포함된다.

[0059] 이와 관련하여, 본 발명의 일부 예시적인 실시 형태는 경질화성 매트릭스 재료와 조합하여, 전술된 바와 같은 본 발명의 유리 섬유를 도입시킨 복합 재료를 포함한다. 이는 본 명세서에서 보강된 복합 제품으로서 지칭될

수도 있다. 매트릭스 재료는 당업자에게 알려진 임의의 적합한 열가소성 또는 열경화성 수지, 예컨대 제한 없이, 열가소성 물질, 예컨대 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 폴리아미드, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 및 폴리부틸렌, 및 열경화성 수지, 예컨대 에폭시 수지, 불포화 폴리에스테르, 페놀성 물질, 비닐에스테르, 및 탄성중합체 일 수 있다. 이들 수지는 단독으로 또는 조합하여 사용될 수 있다. 보강된 복합 제품은 풍력 터빈 블레이드, 철근(rebar), 파이프, 필라멘트 와인딩, 머플러 충전, 흡음 등에 사용될 수 있다.

[0060] 추가의 예시적인 실시 형태에 따르면, 본 발명은 전술된 바와 같은 복합 제품을 제조하는 방법을 제공한다. 상기 방법은 적어도 하나의 중합체 매트릭스 재료를 복수의 유리 섬유들과 배합하는 단계를 포함할 수 있다. 중합체 매트릭스 재료 및 유리 섬유 둘 모두는 전술된 바와 같을 수 있다.

[0061] **실시예**

[0062] 배치 성분들을 하기 표 2, 표 3, 및 표 4에 기재된 산화물 중량 백분율을 갖는 최종 유리 조성물을 달성하기 위한 비율의 양으로 혼합함으로써 본 발명에 따른 예시적인 유리 조성물을 제조하였다.

[0063] 1,600℃의 온도에서 3시간 동안 전기 가열식 노 내의 백금 도가니에서 원료를 용융시켰다. ASTM C965-96(2007)에서 제목 "Standard Practice for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point"(이의 내용은 본 명세서에 참고로 포함됨) 하에 기재된 바와 같은 회전 실린더 방법을 사용하여 섬유화 온도를 측정하였다. ASTM C829-81(2005)에서 제목 "Standard Practices for Measurement of Liquidus Temperature of Glass"(이의 내용은 본 명세서에 참고로 포함됨) 하에 규정된 바와 같이, 유리를 백금-합금 보트 내에서 16시간 동안 온도 구배에 노출시킴으로써 액상선 온도를 측정하였다. ASTM C693-93(2008)에서 제목 "Standard Test Method for Density of Glass Buoyancy"(이의 내용은 본 명세서에 참고로 포함됨)에 상세히 기재된 바와 같이, 아르키메데스 방법에 의해 밀도를 측정하였다.

[0064] 리포트["Glass Fiber Drawing and Measuring Facilities at the U.S. Naval Ordnance Laboratory", Report Number NOLTR 65-87, June 23, 1965]에 개략적으로 설명된 측정 절차에 따라, 소닉 섬유 기법에 의해 탄성 모듈러스를 측정하였다. 측정된 탄성 모듈러스(단위: GPa)를 밀도(단위: kg/m^3)로 나누어서 비모듈러스를 계산하였다.

[0065] ASTM D2343-09에서 제목 "Standard Test Method for Tensile Properties of Glass Fiber Strands, Yarns, and Rovings Used in Reinforced Plastics"(이의 내용은 본 명세서에 참고로 포함됨)에 따라 Instron 인장 시험 장치를 사용하여 프리스틴 섬유 상에서 강도를 측정하였다.

[0066] [표 2]

	비교예 1 (중량%)	비교예 2 (중량%)	비교예 3 (중량%)	비교예 4 (중량%)	실시예 1 (중량%)	실시예 2 (중량%)	실시예 3 (중량%)	실시예 4 (중량%)	실시예 5 (중량%)
SiO ₂	58.8	59.9	57	57	55	54.76	53.75	53.69	54.18
Al ₂ O ₃	17	16.54	20	20	20	19.98	19.99	19.98	19.88
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.45	3.62	2.85	2.85	2.75	2.74	2.69	2.69	2.73
CaO	5.5	5.38	4	5	4.5	4.50	4.49	4.49	4.37
MgO	10.5	11.55	11	10	11	10.99	10.98	10.98	11.04
CaO + MgO	16.0	16.93	15	15	15.5	15.49	15.47	15.47	15.41
SiO ₂ / (MgO + CaO)	3.675	3.54	3.8	3.8	3.55	3.54	3.47	3.47	3.51
Y ₂ O ₃	5	4.71	4	6	6	6	6	6	6
La ₂ O ₃	0.6	0	2	0	2	2	2	2	2
Na ₂ O	0.27	0.05	---	---	---	0.07	0.08	0.22	0.067
K ₂ O	0.48	0.1	---	---	---	0.06	0.16	0.25	0.123
Li ₂ O	0.75	1.03	2	1.8	1.5	1.50	1.50	1.50	1.52
Fe ₂ O ₃	0.43	0.24	---	---	---	0.07	0.28	0.21	0.245
TiO ₂	0.41	0.5	---	0.2	0	0.02	0.59	0.51	0.567
Y ₂ O ₃ /La ₂ O ₃	8.33	N/A	2	N/A	3	3	3	3	3
점유화 온도 (°C)	1,305	1273	1201	1257	1249	1241	1239	1235	1232
액상선 온도 (°C)	1,205	1252	1213	1178	1196	1201	1199	---	1,192
ΔT (°C)	100	21	-12	79	53.9	40	40	---	40
밀도 (g/cm ³)	2.66	2.65	2.74	2.67	2.7191	2.73	2.73	---	2.73
소닉 점유 모듈러스 (GPa)	90.4	93.8	98.0	94.15	94.7	95	95.1	95	94.9

[0067]

[0068] [표 3]

	비교예 6 (중량%)	비교예 7 (중량%)	비교예 8 (중량%)	비교예 9 (중량%)	실시예 6 (중량%)	실시예 7 (중량%)	실시예 8 (중량%)	실시예 9 (중량%)	실시예 10 (중량%)
SiO ₂	54.67	50.89	53.84	55.5	53.93	53.7	53	53.5	55
Al ₂ O ₃	22.24	22.92	18.43	21	20	20	22	21.5	21
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2.45	2.22	2.92	2.64	2.7	2.69	2.41	2.49	2.62
CaO	7.99	4.47	8.29	3.5	4.5	4.5	5	5	4.5
MgO	9.39	12.46	10.27	11	11	11	12	12	11
CaO + MgO	17.38	16.93	18.56	14.5	15.5	15.5	17	17	15.5
SiO ₂ / (MgO + CaO)	3.14	3.01	2.74	3.83	3.48	3.46	3.12	3.14	3.54
Y ₂ O ₃	5	5.49	3	4	6	6	4	4	5
La ₂ O ₃	0	1.5	3	3	2	2	2	2	2
Na ₂ O	0.5	0.034	0.12	0	0.04	0.07	---	---	---
K ₂ O	0	0.01	0.12	0	0.15	0.26	---	---	---
Li ₂ O	0	2.2	2	2	1.5	1.5	2	2	1.5
Fe ₂ O ₃	0.16	0.012	0.32	0	0.283	0.3	---	---	---
TiO ₂	0.03	0.009	0.64	0	0.592	0.6	---	---	0
Y ₂ O ₃ /La ₂ O ₃	N/A	3.66	1	1.33	3	3	2	2	2.5
섬유화 온도 (°C)	---	1,200.6	1196.1	1200.6	1239	1230	1206	1208	1253
액상선 온도 (°C)	1,267	1213.9	1173.3	1213.9	1199		1191	1188	1227
ΔT (°C)	---	-13.3	22.8	-13.3	39.6		15	20	26
밀도 (g/cm ³)	2.69	2.744	2.732	2.744	2.7333	2.7262	2.71	2.71	2.70
소닉 섬유 모듈러스 (GPa)	91.3	98	94.1	98	95.0	95.1	96.2	96.2	94.7

[0069]

[0070] [표 4]

	실시예 11 (중량%)	실시예 12 (중량%)	실시예 13 (중량%)	실시예 14 (중량%)	실시예 15 (중량%)	실시예 16 (중량%)
SiO ₂	52.5	54	54	53.8	54	54.1
Al ₂ O ₃	22.5	20.2	20.2	20.2	20.2	20.5
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2.7	2.7	2.7	2.67	2.7	2.64
CaO	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5
MgO	12.5	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
CaO + MgO	17	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6
SiO ₂ / (MgO + CaO)	3.1	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5
Y ₂ O ₃	4	6	6	6.5	6.5	6
La ₂ O ₃	2	2	2	2.5	2.5	2
Na ₂ O	----	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
ZrO ₂	----	0.5	1	----	----	----
K ₂ O	----	----	----	0.2	0.2	0.1
Li ₂ O	2	1	0.5	1	0.8	1
Fe ₂ O ₃	----	0.15	0.15	0.05	0.05	0.05
TiO ₂	----	0.35	0.35	0.05	0.05	0.05
Y ₂ O ₃ /La ₂ O ₃	2	3	3	2.6	2.6	3
섬유화 온도 (°C)	1,208.3	1,251.7	1,269.4	1,254.4	1,261.9	1,254.7
액상선 온도 (°C)	1,204.2	1,226.9	1,242.2	1,231.1	1,245	1,235
ΔT (°C)	4.1	24.8	27.2	23.3	16.9	19.7
밀도 (g/cm ³)	2.72	2.74	2.75	2.75	2.75	2.73
소닉 섬유 모듈러스 (GPa)	96.64	95.0	94.8	94.7	94.5	94.7

[0071]

[0072]

표 2, 표 3, 및 표 4는, 본 발명의 유리 조성물이 어려움을 극복하여, 종래 기술의 고성능 유리(비교예)에 비해, 적어도 94.5 GPa의 개선된 소닉 섬유 탄성 모듈러스를 가지면서, 특별히 균형 잡힌 형성 특성(즉, 1,300 °C 미만의 섬유화 온도, 1,250°C 이하(바람직하게는 1,200°C 이하)의 액상선 온도, 및 양의 델타 T(바람직하게는, 적어도 10°C의 델타 T)를 갖는 유리를 달성하였음을 예시한다. 비교용 종래 기술 유리 조성물은 단일 유리 조성물에서 각각의 이들 파라미터를 달성할 수 없으며, 이에 따라 본 명세서에 기재된 특정 유리 조성물에서 중요한 기술적 효과가 확인되었다. 상기에 제공된 바와 같이, 섬유의 탄성 모듈러스의 명백히 사소한 증가라 하더라도 이를 사용하여 형성된 복합 제품의 특성에 대해 큰 영향을 미칠 수 있는데, 그 이유는, 제품의 전체 섬유 중량 분율에 걸쳐 증가분을 곱하기 때문이다.

[0073]

구체적으로는, 표 2에 예시된 바와 같이, 비교예 1, 비교예 2, 및 비교예 4는 각각 적어도 2개의 필요 파라미터(즉, 높은 실리카, 낮은 알루미늄, 낮은 란탄, 및 낮은 리튬(비교예 1만 해당)을 벗어나고, 적어도 94.5 GPa의

탄성 모듈러스를 달성할 수 없다. 비교예 3 및 비교예 4는 $\text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO})$ 농도가 3.7 초과라는 것을 포함하며, 이러한 차이는 비교예 3에서는 음의 ΔT 를, 그리고 비교예 4에서는 낮은 탄성 모듈러스를 가져온다. 표 3에서, 비교예 6 및 비교예 8은 낮은 탄성 모듈러스를 보여주고 있으며, 비교용 유리 조성물 둘 모두는 다른 차이 중에서도 특히, 2.0 내지 4.0의 필요비를 벗어난 $\text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3$ 비를 포함한다. 비교예 7 및 비교예 8은 각각 3.1 내지 3.75의 필요비에서 벗어난 $\text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO})$ 비를 포함하며, 그 결과, 음의 ΔT 값이 되며, 이는 가공에 있어서 허용 불가능하다. 대조적으로, 실시예 1 내지 실시예 16 각각은 본 명세서에 기재된 특정 요건 및 관계에 속하고, 1,300°C 미만의 섬유화 온도, 1,250°C 이하의 액상선 온도, 및 양의 델타 T 값(바람직하게는, 적어도 10°C)을 가지면서, 또한 소닉 섬유 탄성 모듈러스 값이 적어도 94.5 GPa인 유리 섬유를 생성하는 유리 조성물을 생성한다.

[0074] 항목 1. 유리 조성물로서, 50.0 내지 58.0 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18.0 내지 23.0 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18.0 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 적어도 5.0 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $R1(R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3)$ 이 2.0 내지 4.0이 되도록 존재함); 1.0 중량% 초과 내지 2.0 중량%의 양으로 존재하는 Li_2O ; 0.0 내지 0.1 중량%의 양으로 존재하는 Na_2O ; 0.0 내지 0.2 중량%의 양으로 존재하는 K_2O ; 0.0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며, 상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75이고, 상기 유리 조성물은 섬유화 온도가 1,300°C 미만이고, 액상선 온도(liquidus temperature)가 1,250°C 이하이고, ΔT 가 적어도 10°C이고, 상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유의 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa인, 유리 조성물.

[0075] 항목 2. 항목 1에 있어서, 상기 조성물은 4.0 내지 8.0 중량% Y_2O_3 및 0.5 내지 4.0 중량% La_2O_3 를 포함하는, 유리 조성물.

[0076] 항목 3. 항목 1 또는 항목 2에 있어서, 상기 조성물은 17.0 중량% 이하의 CaO 와 MgO 를 포함하는, 유리 조성물.

[0077] 항목 4. 항목 1 내지 항목 3 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 18.3 내지 21.5 중량% Al_2O_3 를 포함하는, 에너지 효율적인 고성능 유리 조성물.

[0078] 항목 5. 항목 1 내지 항목 4 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물에는 B_2O_3 가 본질적으로 없는, 유리 조성물.

[0079] 항목 6. 항목 1 내지 항목 5 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 1.25 중량% 내지 2.0 중량% 미만의 Li_2O 를 포함하는, 유리 조성물.

[0080] 항목 7. 항목 1 내지 항목 6 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 섬유화 온도가 1,270°C 미만인, 유리 조성물.

[0081] 항목 8. 항목 1 내지 항목 7 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 섬유화 온도가 1,250°C 미만인, 유리 조성물.

[0082] 항목 9. 항목 1 내지 항목 8 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 비 $R3(R3 = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 이 2.5 내지 3.0인, 유리 조성물.

[0083] 항목 10. 항목 1 내지 항목 9 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 비 $R1$ 이 2.8 내지 3.1인, 유리 조성물.

[0084] 항목 11. 제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 최대 1.0 중량%의 불소를 추가로 포함하는, 유리 조성물.

[0085] 항목 12. 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유로서, 상기 유리 조성물은 50.0 내지 56.0 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18.0 내지 23.0 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18.0 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 4.5 내지 8.0 중량%의 양으로 존재하는 Y_2O_3 ; 0.5 내지 4.0 중량%의 양으로 존재하는 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비 $R1(R1 = \text{Y}_2\text{O}_3/\text{La}_2\text{O}_3)$ 이 2.0 내지 4.0이 되도록 존재함); 0.0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; 0.0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며, 상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = \text{SiO}_2/(\text{MgO} + \text{CaO}))$ 가 3.1 내지 3.75이고, 상기 유리 섬유는 밀도가 2.55 g/cc 내지 2.8 g/cc이고, 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa인, 유리 섬유.

- [0086] 항목 13. 항목 12에 있어서, 상기 유리 조성물은 18.5 내지 21.5 중량% Al_2O_3 를 포함하는, 유리 섬유.
- [0087] 항목 14. 항목 12 또는 항목 13에 있어서, 상기 유리 조성물은 비 $R3(R3 = SiO_2/Al_2O_3)$ 이 2.5 내지 3.0이라는 것을 포함하는, 유리 섬유.
- [0088] 항목 15. 항목 12 내지 항목 14 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 0.5 내지 2.0 중량% Li_2O 를 포함하는, 유리 섬유.
- [0089] 항목 16. 항목 12 내지 항목 15 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 Y_2O_3 와 La_2O_3 의 총량이 7.0 중량% 초과라는 것을 포함하는, 유리 섬유.
- [0090] 항목 17. 연속 유리 섬유의 형성 방법으로서, 항목 1 내지 항목 11 중 어느 하나에 따른 용융된 조성물을 제공하는 단계; 및 상기 용융된 조성물을 오리피스를 통해 인발하여 연속 유리 섬유를 형성하는 단계를 포함하는, 방법.
- [0091] 항목 18. 중합체 매트릭스; 및 유리 조성물로부터 형성된 복수의 유리 섬유들을 포함하는 보강된 복합 제품. 상기 유리 조성물은 50.0 내지 58.0 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18.0 내지 23.0 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18.0 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 적어도 5.0 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비($R1 = Y_2O_3/La_2O_3$)가 2.0 내지 4.0이 되도록 존재함); 1.0 중량% 초과 내지 2.0 중량%의 양으로 존재하는 Li_2O ; 0.0 내지 0.1 중량%의 양으로 존재하는 Na_2O ; 0.0 내지 0.2 중량%의 양으로 존재하는 K_2O ; 0.0 내지 0.5 중량%의 양으로 존재하는 TiO_2 를 포함하며, 상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = SiO_2/(MgO + CaO))$ 가 3.1 내지 3.75이고, 상기 유리 조성물은 액상선 온도가 $1,250^\circ C$ 이하이고, ΔT 가 $10^\circ C$ 내지 $60^\circ C$ 이고, 상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유의 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa이다.
- [0092] 항목 19. 항목 18에 있어서, 상기 보강된 복합 제품은 풍력 터빈 블레이드 형태인, 보강된 복합 제품.
- [0093] 항목 20. 항목 18 또는 항목 19에 있어서, 상기 조성물은 4.0 내지 8.0 중량% Y_2O_3 및 0.5 내지 4.0 중량% La_2O_3 를 포함하는, 보강된 복합 제품.
- [0094] 항목 21. 제18항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 17.0 중량% 이하의 CaO 와 MgO 를 포함하는, 보강된 복합 제품.
- [0095] 항목 22. 제18항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 18.3 내지 21.5 중량% Al_2O_3 를 포함하는, 보강된 복합 제품.
- [0096] 항목 23. 제18항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조성물은 1.25 중량% 내지 2.0 중량% 미만의 Li_2O 를 포함하는, 보강된 복합 제품.
- [0097] 항목 24. 항목 18 내지 항목 23 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 섬유화 온도가 $1,270^\circ C$ 미만인, 보강된 복합 제품.
- [0098] 항목 25. 항목 18 내지 항목 24 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 비 $R3(R3 = SiO_2/Al_2O_3)$ 이 2.5 내지 3.0인, 보강된 복합 제품.
- [0099] 항목 26. 항목 18 내지 항목 25 중 어느 하나에 있어서, 상기 조성물은 비 $R1$ 이 2.8 내지 3.1인, 보강된 복합 제품.
- [0100] 항목 27. 유리 조성물로서, 50.0 내지 58.0 중량%의 양으로 존재하는 SiO_2 ; 18.0 내지 23.0 중량%의 양으로 존재하는 Al_2O_3 ; 18.0 중량% 미만의 CaO 와 MgO ; 및 적어도 5.0 중량%의 Y_2O_3 와 La_2O_3 (여기서, Y_2O_3 와 La_2O_3 는 비($R1 = Y_2O_3/La_2O_3$)가 2.0 내지 4.0이 되도록 존재함)를 포함하며; 상기 유리 조성물은 섬유화 온도가 $1,200^\circ C$ 내지 $1,300^\circ C$ 이고, ΔT 가 적어도 $10^\circ C$ 이고, 상기 유리 조성물로부터 형성된 유리 섬유는 소닉 섬유 탄성 모듈러스가 적어도 94.5 GPa인, 유리 조성물.
- [0101] 항목 28. 항목 27에 있어서, 상기 유리 조성물은 비 $R2(R2 = SiO_2/(MgO + CaO))$ 가 3.1 내지 3.75라는 것을 포

함하는, 유리 조성물.

- [0102] 항목 29. 항목 27 또는 항목 28에 있어서, 상기 유리 조성물은 액상선 온도가 1,150℃ 내지 1,250℃인, 고성능 유리 조성물.
- [0103] 항목 30. 항목 27 내지 항목 29 중 어느 하나에 있어서, 상기 유리 조성물은 섬유화 온도가 1,210℃ 내지 1,260℃인, 고성능 유리 조성물.
- [0104] 본 출원의 발명은 일반적으로 그리고 구체적인 실시 형태와 관련하여 둘 모두에 대해 전술되어 있다. 본 발명이 바람직한 실시 형태인 것으로 여겨지는 것으로 기재되어 있기는 하지만, 당업자에게 알려진 매우 다양한 대안이 전반적인 개시내용 안에서 선택될 수 있다. 본 발명은 하기에 기재된 청구범위에 대한 언급을 제외하면, 달리 제한되지 않는다.