



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년02월27일
(11) 등록번호 10-1952932
(24) 등록일자 2019년02월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08J 5/06 (2006.01) C08G 63/82 (2006.01)
C08J 5/00 (2006.01) C08J 5/04 (2006.01)
C08L 67/04 (2006.01) C08L 77/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08J 5/06 (2013.01)
C08G 63/823 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0161667
(22) 출원일자 2017년11월29일
심사청구일자 2017년11월29일
(56) 선행기술조사문헌
JP2009263406 A*
JP2014501309 A*
KR1020040071235 A*
KR1020160038543 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박영빈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김병주
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
차상협
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
전용준

전체 청구항 수 : 총 15 항

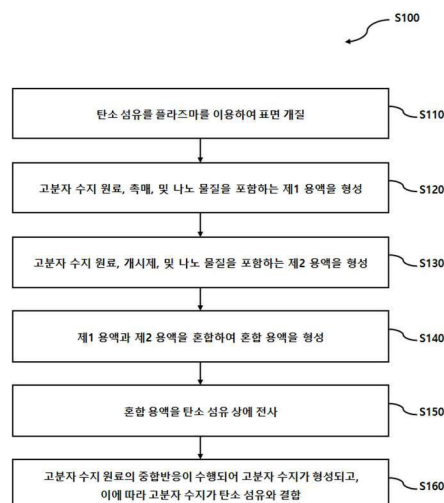
심사관 : 이수재

(54) 발명의 명칭 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은, 기계적 특성을 향상시키고 공정 시간 단축을 구현할 수 있는 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 제공한다. 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법은, 탄소 섬유를 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계; 고분자 수지 원료, 촉매, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하는 단계; 고분자 수지 원료, 개시제, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하는 단계; 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계; 상기 혼합 용액을 상기 탄소 섬유 상에 전사하는 단계; 및 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계;를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C08J 5/005 (2013.01)

C08J 5/042 (2013.01)

C08L 67/04 (2013.01)

C08L 77/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415156465

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 창의산업거점기관지원

연구과제명 경량 복합재 고속성형 공정기술 기반구축

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2017.07.01 ~ 2018.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

탄소 섬유를 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계;

고분자 수지 원료, 촉매제, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하는 단계;

고분자 수지 원료, 개시제, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하는 단계;

상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계;

상기 혼합 용액을 상기 탄소 섬유 상에 전사하는 단계; 및

상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계;를 포함하고,

상기 전사가 종료되는 종료 시점과 상기 중합 반응이 가속화되는 시점 사이의 반응 유도 시간은 20 초 내지 25 초 범위인, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 플라즈마는 대기압 플라즈마를 이용하여 수행되는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 탄소 섬유는 직조형 탄소 섬유를 포함하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 고분자 수지 원료는 카프로락탐을 포함하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 촉매제는, 소듐-락타메이트, 소듐-카프로락타메이트, 및 카프로락탐 마그네슘 브로마이드 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 촉매제는 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.1 wt% 내지 7 wt% 범위를 가지는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 개시제는, 카르바모일 카프로락탐, 및 N-메틸피롤리돈-프리 개시제 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 나노

물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 개시제는 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.1 wt% 내지 5 wt% 범위를 가지는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 나노 물질은 박리흑연 나노판, 그래핀 산화물, 환원형 그래핀 산화물, 탄소나노튜브, 및 점토 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 나노 물질은 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.01 wt% 내지 3 wt% 범위를 가지는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계는, 100 °C 내지 200 °C 범위의 온도에서 수행되는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 12

청구항 1에 있어서,

상기 고분자 수지는 폴리아미드6 및 폴리아미드12 중 적어도 어느 하나를 포함하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 13

청구항 1에 있어서,

상기 제1 용액을 형성하는 단계 및 상기 제2 용액을 형성하는 단계는 각각 70 °C 내지 130 °C 범위에서 수행되는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 14

청구항 1에 있어서,

상기 제1 용액을 형성하는 단계 및 상기 제2 용액을 형성하는 단계는 각각 교반과 균질화를 수행하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 15

청구항 1에 있어서,

상기 중합 반응은 음이온 고리 열림 중합 반응을 포함하는, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 기술적 사상은 탄소 섬유-고분자 수지 복합체에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근에, 탄소 섬유-고분자 수지 복합체들은 상대적으로 높은 강도, 강성도(stiffness), 및 인성(toughness)을 가지므로, 다양한 분야에 적용되고 있다. 탄소 섬유-고분자 수지 복합체는 열가소성 수지 전사 몰딩 공정(thermoplastic resin transfer molding, T-RTM) 또는 진공 보조 수지 전사 몰딩 공정(vacuum-assisted resin transfer molding, VARTM) 등을 이용하여 형성할 수 있다. 상기 탄소 섬유-고분자 수지 복합체를 형성하는 단계에서, 공정 온도, 촉매제, 개시제의 종류 및 양에 따라 공정 속도가 변화되고, 또한 특성이 결정된다. 공정 온도가 높으면 공정 속도가 빠르게 되어 공정 시간이 감소되지만, 결정화도가 급격히 감소하여 기계적 특성이 저하된다. 반면, 공정 온도가 낮으면 결정화도가 증가되어 기계적 특성이 우수하게 되지만, 공정 속도가 저하되어 공정 시간이 증가된다. 따라서, 기계적 특성을 향상시키고 공정 시간을 단축할 수 있는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법이 요구된다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0003] (비특허문헌 0001) Khodabakhshi K, Gilbert M, Dickens P, Hague R. Optimizing Conditions for Anionic Polymerization of Caprolactam for Inkjetting. Adv Polym Tech. 2010;29(4):226-36

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 기계적 특성을 향상시키고 공정 시간 단축을 구현할 수 있는 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명의 기술적 사상이 이루고자 하는 기술적 과제는 기계적 특성 감소 방지와 공정 시간 단축을 구현할 수 있는 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체를 제공하는 것이다.

[0006] 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법은, 탄소 섬유를 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계; 고분자 수지 원료, 촉매제, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하는 단계; 고분자 수지 원료, 개시제, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하는 단계; 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계; 상기 혼합 용액을

상기 탄소 섬유 상에 전사하는 단계; 및 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계;를 포함한다.

- [0008] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 플라즈마는 대기압 플라즈마를 이용하여 수행될 수 있다.
- [0009] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 탄소 섬유는 직조형 탄소 섬유를 포함할 수 있다.
- [0010] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 고분자 수지 원료는 카프로락탐을 포함할 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 촉매제는, 소듐-락타메이트, 소듐-카프로락타메이트, 및 카프로락탐 마그네슘 브로마이드 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 촉매제는 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.1 wt% 내지 7 wt% 범위를 가질 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 개시제는, 카르바모일 카프로락탐, 및 N-메틸피롤리돈-프리 개시제 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 개시제는 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.1 wt% 내지 5 wt% 범위를 가질 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 나노 물질은 박리흑연 나노판, 그래핀 산화물, 환원형 그래핀 산화물, 탄소나노튜브, 및 점토 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 나노 물질은 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.01 wt% 내지 3 wt% 범위를 가질 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계는, 100 °C 내지 200 °C 범위의 온도에서 수행될 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 고분자 수지는 폴리아미드6 및 폴리아미드12 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 제1 용액을 형성하는 단계 및 상기 제2 용액을 형성하는 단계는 각각 70 °C 내지 130 °C 범위에서 수행될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 제1 용액을 형성하는 단계 및 상기 제2 용액을 형성하는 단계는 각각 교반과 균질화를 수행할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 중합 반응은 음이온 고리 열림 중합 반응을 포함할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 전사가 종료되는 종료 시점과 상기 중합 반응이 가속화되는 시점 사이의 반응 유도 시간은 20 초 내지 25 초 범위일 수 있다.
- [0023] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법은, 직조형 탄소 섬유를 대기압 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계; 카프로락탐, 소듐-락타메이트, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하는 단계; 카프로락탐, 카르바모일 카프로락탐, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하는 단계; 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계; 상기 혼합 용액을 상기 직조형 탄소 섬유 상에 전사하는 단계; 및 상기 카프로락탐의 음이온 고리 열림 중합 반응이 수행되어 폴리아미드6가 형성되고, 이에 따라 상기 폴리아미드6가 상기 직조형 탄소 섬유와 결합하는 단계;를 포함한다.
- [0024] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법은, 탄소 섬유를 제공하는 단계; 고분자 수지 원료, 촉매제, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하는 단계; 고분자 수지 원료, 개시제, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하는 단계; 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계; 상기 혼합 용액을 상기 탄소 섬유 상에 전사하는 단계; 및 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계;를 포함한다.
- [0025] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 기술적 사상에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체는, 플라즈마를 이용하여 표면 개질된 직조형 탄소 섬유; 상기 직조형 탄소 섬유를 둘러싸고, 상기 직조

형 탄소 섬유와 음이온 고리 열림 중합 반응을 통하여 결합된 폴리아미드6; 및 상기 폴리아미드6 내에 분산된 나노 물질;을 포함한다.

[0026] 본 발명의 일부 실시예들에 있어서, 상기 나노 물질은 박리흑연 나노판, 그래핀 산화물, 환원형 그래핀 산화물, 탄소나노튜브, 및 점토 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 기술적 사상에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법은 나노 물질을 포함함에 따라 고리 열림 중합 반응 시에 내부에서 결정의 핵생성을 촉진시켜 결정화도를 증가시킬 수 있고, 이에 따라 결정화도의 감소 없이 중합 반응 공정 온도를 증가시킬 수 있고, 이에 따라 결정의 크기가 감소되고, 결정의 안정성이 증가되고, 결정화 속도가 빨라지게 되어 결과적으로 기계적 특성을 향상시킬 수 있다. 또한, 공정 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있다. 특히, 나노 물질로서, 박리흑연 나노판(xGnP)과 그래핀 산화물(GO)의 기계적 특성 향상이 두드러졌다.

[0028] 또한, 탄소 섬유의 표면을 플라즈마 처리하면 친수성 성질을 가지게 되므로, 친수성 고분자 물질과의 계면 접합력이 증가되어 기계적 특성을 증가시킬 수 있다. 또한, 상기 플라즈마 처리는 탄소 섬유 내의 고분자 수지의 함침 속도를 증가시켜 공정 시간을 더욱 단축시킬 수 있다.

[0029] 상술한 본 발명의 효과들은 예시적으로 기재되었고, 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 도시하는 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 도시하는 개략도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 촉매제와 개시제의 함량에 따른 반응 유도 시간을 나타내는 3차원 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 나노 물질을 포함하지 않는 비교예의 중합 반응 공정 온도에 따른 시차주사 열량측정 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 발열 피크를 나타내는 시차주사 열량측정 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 흡열 피크를 나타내는 시차주사 열량측정 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 기계적 성질을 나타내는 그래프이다.

도 8은 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 투과도 측정 방법을 설명하는 개략도이다.

도 9는 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 투과도를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 투과도로부터 침적 속도를 도출하는 방법을 나타내는 그래프이다.

도 11은 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 분산안정성 지수를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은

당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 기술적 사상을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 기술적 사상의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 기술적 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서에서 동일한 부호는 시종 동일한 요소를 의미한다. 나아가, 도면에서의 다양한 요소와 영역은 개략적으로 그려진 것이다. 따라서, 본 발명의 기술적 사상은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되지 않는다.

- [0032] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법(S100)을 도시하는 흐름도이다.
- [0033] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법(S100)을 도시하는 개략도이다. 도 2는 열가소성 수지 전사 몰딩 공정(T-RTM)으로 지칭될 수 있다.
- [0034] 도 1 및 도 2를 참조하면, 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법(S100)은, 탄소 섬유를 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계(S110); 고분자 수지 원료, 촉매제, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하는 단계(S120); 고분자 수지 원료, 개시제, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하는 단계(S130); 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계(S140); 상기 혼합 용액을 상기 탄소 섬유 상에 전사하는 단계(S150); 및 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계(S160);를 포함한다.
- [0035] 상기 탄소 섬유를 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계(S110)는 대기압 플라즈마를 이용하여 수행될 수 있다. 이러한 대기압 플라즈마는 일반적으로 진공 챔버를 사용하지 않고 대기압 하에서 실행되고, 연속공정이므로 플라즈마 처리 속도가 매우 빠른 특징이 있다. 또한, 노즐의 형상에 따라 플라즈마 처리 속도의 증감이 가능하다. 상기 탄소 섬유를 플라즈마를 이용하여 표면 개질하는 단계(S110)는 선택적인 단계로서, 생략될 수 있다.
- [0036] 상기 플라즈마는, 예를 들어 800W 내지 900W 범위의 전력으로 구동될 수 있고, 예를 들어 830W의 전력으로 구동될 수 있다. 상기 탄소 섬유와 상기 플라즈마를 방출하는 노즐 사이의 거리는 5 mm 내지 21 mm의 범위를 가질 수 있다. 상기 플라즈마를 방출하는 상기 노즐은 출력부를 회전하여 넓은 면적에 분사하는 방식인 스위블(swivel) 노즐일 수 있다. 상기 노즐의 직경은, 예를 들어 20 mm 내지 40 mm의 범위일 수 있다. 상기 노즐의 이동속도는, 예를 들어 1 m/분 내지 36 m/분의 범위일 수 있다. 상기 플라즈마 처리 중에, 상기 노즐은 x-축 방향으로 왕복 이동시키고, 상기 탄소 섬유는 상기 x-축 방향과는 수직인 y-축 방향으로 이동시킬 수 있다. 상기 플라즈마의 처리 시간은 상기 탄소 섬유의 크기에 따라 변화할 수 있고, 예를 들어 1초 내지 10분의 범위에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 노즐의 이동속도가 20 m/분 및 상기 탄소 섬유가 가로 75 mm 및 세로 75 mm의 경우에는 플라즈마 처리 시간은 약 12 초 내지 15 초 범위일 수 있다. 또한, 상기 탄소 섬유가 가로 300 mm 및 세로 300 mm의 경우에는 플라즈마 처리 시간은 약 68 초 내지 70 초 범위일 수 있다.
- [0037] 상기 탄소 섬유는 직조형 탄소 섬유(woven carbon fiber, WCF)일 수 있다. 상기 실시예에서 제시한 상기 탄소 섬유는 예시적이며, 이에 한정되는 것은 아니고, 그래핀(graphene), 탄소나노튜브(carbon nano tube)나 박리흑연 나노판(exfoliated Graphite nanoPlatelet, xGnP) 등인 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다. 또한, 탄소 섬유를 대신하여 다른 물질로 구성된 다양한 섬유인 경우도 본 발명의 기술적 사상에 포함된다.
- [0038] 상기 제1 용액을 형성하는 단계(S120)에서는 고분자 수지 원료, 촉매제, 및 나노 물질을 포함하는 상기 제1 용액을 형성한다. 상기 제1 용액을 형성하기 위하여, 상기 고분자 수지 원료, 상기 촉매제, 및 상기 나노 물질을 교반 처리와 균질화 처리하여 균일한 분산 용액을 형성시킨다.
- [0039] 상기 제2 용액을 형성하는 단계(S130)에서는 고분자 수지 원료, 개시제, 및 나노 물질을 포함하는 상기 제2 용액을 형성한다. 상기 제2 용액을 형성하기 위하여, 상기 고분자 수지 원료, 상기 개시제, 및 상기 나노 물질을 교반 처리와 균질화 처리하여 균일한 분산 용액을 형성시킨다.
- [0040] 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하여 혼합 용액을 형성하는 단계(S140)는 도 2의 혼합부에서 수행될 수 있다. 상기 혼합부는 내부에 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을 혼합하는 다양한 종류의 혼합 요소를 포함할 수 있다.
- [0041] 상기 혼합 용액을 상기 탄소 섬유 상에 전사하는 단계(S150)는 상기 혼합 용액을 상기 탄소 섬유 상에 주입하여 전사한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 탄소 섬유는 몰드 내에 장입되어 있고, 덮개부가 상기 몰드를 덮는다. 상기 혼합부에 연결된 일측으로부터 타측으로의 방향으로 상기 혼합 용액이 주입된다. 이러한 주입 시에

진공 펌프에 의하여 진공 분위기 하에서 수행될 수 있다.

- [0042] 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계(S160)는, 상기 탄소 섬유 상에 전사된 상기 혼합 용액을 상측과 하측에 배치된 가열 부에 의하여 가열하여 수행될 수 있다. 이러한 가열에 의하여 상기 혼합 용액은 음이온 고리 열림 중합 반응을 통하여 고분자 수지를 형성하고, 상기 고분자 수지는 상기 탄소 섬유와 결합한다. 또한, 상기 고분자 수지 내에는 상기 나노 물질이 균일하게 분산될 수 있다. 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계는, 100 °C 내지 200 °C 범위의 온도에서 진공 분위기 하에서 수행할 수 있다. 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응이 수행되어 고분자 수지가 형성되고, 이에 따라 상기 고분자 수지가 상기 탄소 섬유와 결합하는 단계(S160)에서는, 상기 몰드 내에서 상기 고분자 수지의 고상화(solidification) 및 결정화(crystallization)가 이루어질 수 있다.
- [0043] 상술한 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체의 제조 방법에 의하여, 플라즈마를 이용하여 표면 개질된 탄소 섬유; 상기 탄소 섬유를 둘러싸고, 상기 탄소 섬유와 음이온 고리 열림 중합 반응을 통하여 결합된 폴리아미드6; 및 상기 폴리아미드6 내에 분산된 나노 물질;을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합체가 형성된다.
- [0044] 상기 고분자 수지는 복합체의 매트릭스의 기능을 수행할 수 있다. 상기 고분자 수지는 예를 들어 폴리아미드6, 및 폴리아미드12 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0045] 상기 고분자 수지 원료는 상기 고분자 수지를 형성하는 다양한 물질을 포함할 수 있고, 예를 들어 음이온 고리 열림 중합 반응을 통하여 고분자 수지를 형성하는 물질을 포함할 수 있다.
- [0046] 상기 촉매제는 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응에서 촉매 기능을 수행하는 다양한 촉매 물질을 포함할 수 있다. 상기 촉매제는, 예를 들어 카프로락탐 마그네슘 브로마이드(caprolactam magnesium bromide)와 같은 마그네슘 브로마이드 염계 촉매제(magnesium bromide salt-based catalyst), 소듐-카프로락타메이트(sodium caprolactamate), 또는 소듐-락타메이트(sodium lactamate)와 같은 소듐염계 촉매제를 포함할 수 있다.
- [0047] 상기 개시제는 상기 고분자 수지 원료의 중합 반응을 시작시키는 다양한 개시 물질을 포함할 수 있다. 상기 개시제는, 예를 들어 카르바모일 카프로락탐(carbamoyl caprolactam), 및 N-메틸피롤리돈-프리 개시제(N-Methylpyrrolidone-free activator) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 상기 카르바모일 카프로락탐은 그 내부에 블록드 디이소시아네이크(blocked diisocyanate)를 포함한다.
- [0048] 상기 나노 물질은, 박리흑연 나노판(exfoliated Graphite nanoPlatelet, xGnP), 그래핀 산화물(graphene oxide, GO), 환원형 그래핀 산화물(reduced graphene oxide, rGO), 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT), 및 점토(clay) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.
- [0049] 그러나, 상술한 고분자 수지, 고분자 수지 원료, 촉매제, 개시제, 및 나노 물질은 예시적이며, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0051] 이하에서는, 상기 고분자 수지가 폴리아미드6인 경우에 대하여 예시적으로 설명하기로 한다.
- [0052] 상기 고분자 수지가 폴리아미드6인 경우에는, 상기 고분자 수지 원료는 카프로락탐(caprolactam)을 포함할 수 있다. 상기 촉매제는 소듐-락타메이트(Na-lactamate)를 포함할 수 있다. 상기 소듐-락타메이트는 카프로락탐 내에 18.5 wt%의 소듐-카프로락타메이트(sodium caprolactamate)를 포함할 수 있다. 상기 개시제는 카르바모일 카프로락탐(carbamoyl caprolactam)을 포함할 수 있고, 상기 카르바모일 카프로락탐은 블록드 디이소시아네이크를 포함할 수 있다. 따라서, 상기 제1 용액은, 카프로락탐, 소듐-락타메이트, 및 상기 나노 물질을 포함할 수 있다. 상기 제2 용액은, 카프로락탐, 카르바모일 카프로락탐, 및 상기 나노 물질을 포함할 수 있다.
- [0053] 상기 촉매제는 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.1 wt% 내지 7 wt% 범위를 가질 수 있다. 상기 개시제는 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.1 wt% 내지 5 wt% 범위를 가질 수 있다. 상기 나노 물질은 상기 혼합 용액 전체에 대하여 0.01 wt% 내지 3 wt% 범위를 가질 수 있다. 그러나, 이러한 범위는 예시적이며 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0055] 실시예
- [0056] 카프로락탐, 소듐-락타메이트, 및 나노 물질을 포함하는 제1 용액을 형성하였다. 또한, 카프로락탐, 카르바

모일 카프로락탐, 및 나노 물질을 포함하는 제2 용액을 형성하였다. 상기 제1 용액과 상기 제2 용액을, 예를 들어 상기 카프로락탐의 용해 온도(melting point) 69.2 °C 이상 내지 상기 카프로락탐의 중합 반응 온도(polymerization point) 139 °C 미만의 범위에서, 예를 들어 70 °C 내지 130 °C 범위에서, 자기 교반기를 이용하여 교반하고 균질기를 이용하여 균질화시켜 균일하게 분산시켰다. 상기 혼합 용액을 형성하는 상기 제1 용액과 상기 제2 용액은 동일한 나노 물질을 포함하였다. 상기 나노 물질은, 탄소나노튜브(CNT), 환원형 그래핀 산화물(rGO), 점토(clay), 그래핀 산화물(GO), 및 박리흑연 나노판(xGnP)을 이용하였다. 또한, 비교예로서, 상기 나노 물질을 포함하지 않은 제1 용액과 제2 용액을 형성하였다.

[0057] 상기 제1 용액과 상기 제2 용액에서 상기 나노 물질은 각각 0.1 wt%으로 포함되었다. 상기 혼합 용액을 열가소성 수지 전사 몰딩 공정(T-RTM)을 이용하여 탄소 섬유-고분자 수지 복합재를 형성하였다. 상기 고분자 수지는 폴리아미드6로 형성되었다. 상기 제1 용액과 상기 제2 용액이 혼합되면, 혼합 초기에는 반응 속도가 느리다가 갑자기 가속된다. 이와 같이, 반응 속도가 매우 낮은 시간을 반응 유도 시간이다.

[0058] 나노 물질을 포함하지 않은 비교예는 140 °C의 중합 반응 온도, 3.7 wt%의 촉매제, 및 2.9 wt%의 개시제를 포함하였다. 나노 물질을 포함하는 실시예들은 150 °C의 중합 반응 온도, 3.7 wt%의 촉매제, 및 2.9 wt%의 개시제를 포함하였다. 다만, GO를 포함하는 경우에는 5 wt%의 촉매제, 및 3 wt%의 개시제를 포함하였다.

[0059] 이와 같이 형성된 탄소 섬유-고분자 수지 복합재를 시차주사 열량측정(differential scanning calorimetry, DSC) 및 굽힘 강도를 측정하였다.

[0061] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 촉매제와 개시제의 함량에 따른 반응 유도 시간을 나타내는 3차원 그래프이다. 도 6에서, "[x, y]"는 [촉매제의 함량(wt%), 개시제의 함량(wt%)]를 나타낸다.

[0062] 도 3을 참조하면, 중합 반응 온도, 촉매제의 함량 및 개시제의 함량에 따른 반응 유도시간이 나타나 있다. 온도 증가 외에도 촉매제의 함량 및 개시제의 함량이 증가되면 중합 반응 속도가 증가될 수 있다. 중합 반응 공정 시간을 단축하기 위하여, 중합 반응 속도를 증가시켜야 하지만, 너무 빠른 속도의 경우에는 몰드 내로의 용액들의 전사가 완료되기 전에 중합 반응이 종료되어 고상화될 수 있다. 따라서, 상기 전사가 종료되는 종료 시점과 상기 중합 반응이 가속화되는 시점 사이의 시간 간격인 반응 유도 시간을 20초 내지 25초 범위로 설정하였다. 상기 범위 내의 반응 유도 시간을 도 6에 기재하였다. 도 6의 결과로부터 중합 반응 온도, 촉매제의 함량, 및 개시제의 함량을 결정하였다.

[0064] 표 1은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 반응 과정의 시간 조건들을 나타내는 표이다.

표 1

[0065]

종류	나노 물질 종류	혼합 시간 (초)	용액주입 시간 (초) (플라즈마 처리 없음)	용액주입 시간 (초) (플라즈마 처리됨)	반응 유도 시간 (초)	고상화 시간 (초)	전체 공정 시간 (초) (플라즈마 처리됨)
비교예	없음	3	4.03	3.52	24	143	173.52
실시예1	CNT	3	4.78	4.52	23	69	99.52
실시예2	rGO	3	4.64	4.23	22	67	96.23
실시예3	Clay	3	4.23	3.63	25	81	112.63
실시예4	GO	3	4.35	3.98	21	46	73.98
실시예5	xGnP	3	4.19	3.71	22	50	78.71

[0067] 표 1을 참조하면, 나노 물질을 포함하는 실시예들은 나노 물질을 포함하지 않는 비교예에 비하여 전체 공정 시간이 감소되었고, 특히 고상화 시간이 감소되었고, 이는 더 높은 중합 온도 때문으로 분석된다.

[0068] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 나노 물질을 포함하지 않는 비교예의 중합 반응 공정 온도에 따른 시차주사 열량측정 그래프이다.

[0069] 도 4을 참조하면, 나노 물질을 포함하지 않고 135 °C, 140 °C, 및 150 °C의 공정 온도에서 각각 형성한 비교예들의 시차주사 열량측정 그래프가 도시되어 있다. 도 4의 결과로부터 표 1의 결정화도를 도출할 수 있다.

[0070] 표 2는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 비교예의 결정화도를 나타낸다.

표 2

[0071]

중합 반응 공정 온도	반응 유도시간 (초)	고상화 시간 (초)	결정화도 (%)
135 ℃	55	255	28
140 ℃	24	143	26
150 ℃	13	61	20

[0073] 표 2를 참조하면, 중합 반응 공정 온도가 증가됨에 따라 반응 시간과 고상화 시간이 감소되지만, 고분자 수지의 결정화도가 또한 감소된다. 예를 들어, 150 ℃에서는 고상화 시간이 61초이지만, 15 ℃ 낮은 135 ℃에서는 상기 고상화 시간이 255초이다. 그러나, 150 ℃에서는 결정화도가 135 ℃에 비하여 8% 감소된다. 따라서, 나노 물질을 포함하지 않는 비교예의 경우에는, 상기 중합 반응 공정 온도가 증가되면, 고분자 수지의 결정화가 충분히 진행되기 전에, 고분자 중합 반응이 종료되기 때문으로 분석된다.

[0074] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 발열 피크를 나타내는 시차주사 열량측정 그래프이다.

[0075] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 흡열 피크를 나타내는 시차주사 열량측정 그래프이다.

[0076] 표 3은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 도 5 및 도 6의 시차주사 열량측정 그래프들부터 도출한 결과들을 나타내는 표이다.

표 3

[0077]

종류	나노 물질	결정화 온도 (℃)	핵생성 온도 (℃)	용융 온도 (℃)	엔탈피 (J/g)	결정화도 (%)
비교예	없음	175.61	182.14	218.87	49.53	26.07
실시예1	CNT	177.42	183.92	217.34	50.16	26.40
실시예2	rGO	177.20	183.84	218.58	51.06	26.86
실시예3	Clay	176.90	181.84	219.01	50.11	26.37
실시예4	GO	180.55	183.40	219.09	51.97	27.35
실시예5	xGnP	183.19	186.51	219.01	51.50	27.11

[0079] 표 3에서, 상기 결정화 온도는 도 5의 "T_c"로 부터 도출되었고, 상기 핵생성 온도는 도 5의 "T_n"로 부터 도출되었고, 상기 용융 온도는 도 6의 "T_m"로 부터 도출되었다.

[0080] 표 3, 도 5 및 도 6을 참조하면, 나노 물질을 포함하는 실시예들은 비교예에 비하여 결정화 온도, 핵생성 온도 및 용융 온도가 증가되는 경향을 나타내었다. 또한, 실시예들은 비교예에 비하여 결정화도 또한 높게 나타났다.

[0081] 음이온 고리 열림 중합 반응은 중합 공정 온도가 높으면 반응 속도가 빠른 대신에 결정화도가 급격히 떨어지며, 이는 결정화가 진행되기도 전에 고분자 중합이 완료되기 때문이다. 그러나, 본 발명의 실시예들에서는 비교예에 비하여 10 ℃ 높은 중합 공정 온도를 사용하여 공정 속도를 크게 증가시켰음에도 불구하고 결정화도가 감소되지 않았으며, 오히려 소폭으로 상승되었다. 이러한 결정화도의 증가는 첨가된 나노 물질이 핵생성 자리를 제공하는 등의 핵 생성에 도움을 주어 결정성을 증가시켰기 때문이며, 이에 따라 핵생성 온도, 결정화 온도, 및 용융 온도가 증가된 것으로 분석된다. 또한, 결정화도를 감소시키지 않으면서 공정 속도를 증가시킬 수 있고, 분산된 나노 물질에 의해 결정의 크기가 감소되고, 결정의 안정성이 증가되고, 결정화 속도가 빨라지게 되어 결과적으로 기계적 특성을 향상시킬 수 있다.

[0082] 특히, 도 4에서, 그래핀 산화물(GO)을 포함하는 실시예4와 박리흑연 나노관(xGnP)을 포함하는 실시예5가 가장 높은 핵생성 온도와 결정화 온도를 나타내고, 상대적으로 높고 날카로운 피크를 나타내는 바, 이는 결정화 속도가 빠른 것을 의미하며, 중합이 완료되기 전에 충분한 결정화를 유도하여 기계적 특성 또한 우수할 것으로 예측

된다.

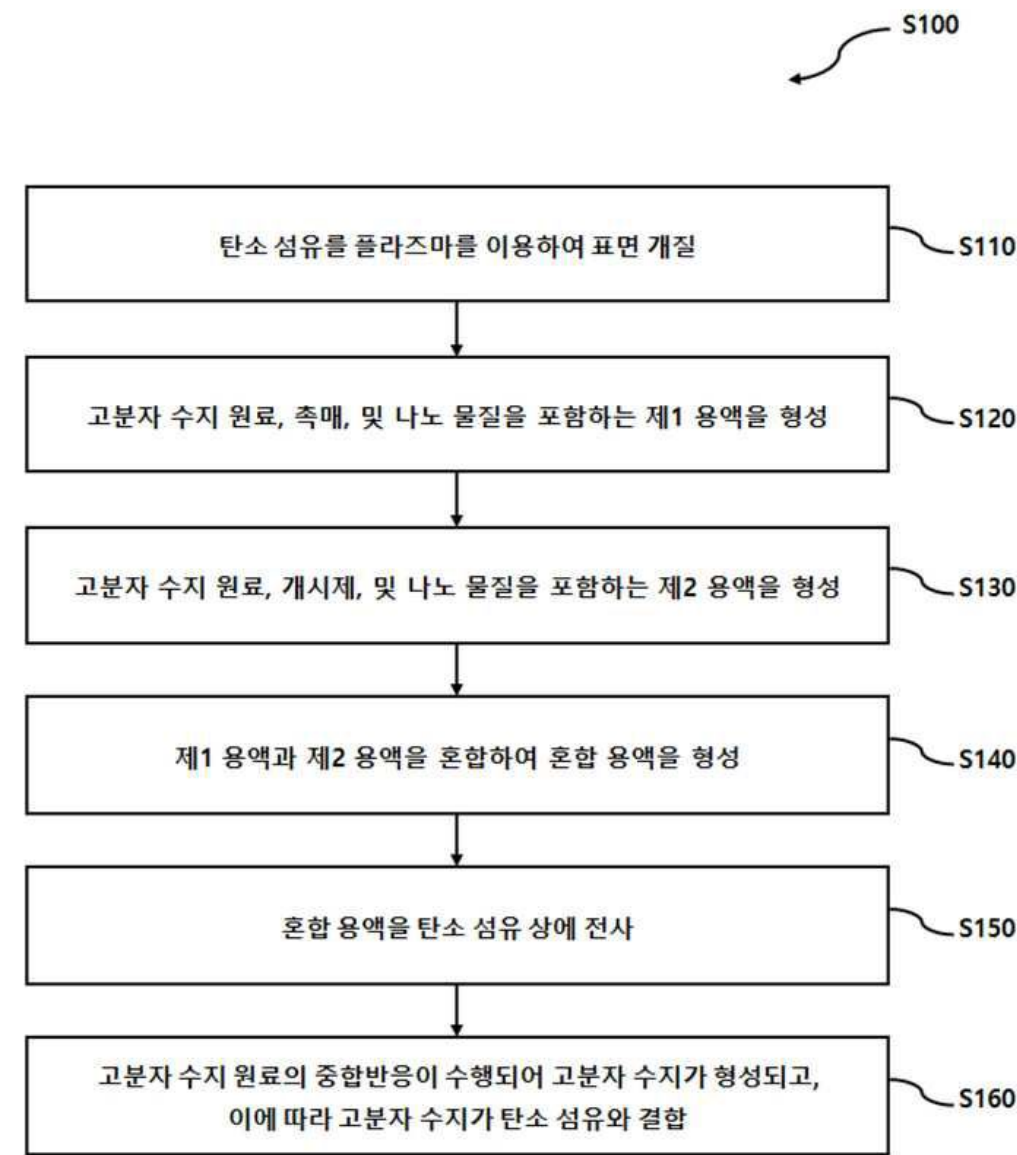
- [0083] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법을 이용하여 형성한 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 기계적 성질을 나타내는 그래프이다.
- [0084] 도 7을 참조하면, 비교예에 비하여 실시예들은 항복 굽힘강도(ultimate flexural strength) 및 굽힘 탄성률(flexural modulus)이 증가되었다. 또한, 플라즈마 처리하지 않은 경우(N으로 기재됨)가 플라즈마 처리한 경우(P로 기재됨)에 비하여 항복 굽힘강도 및 굽힘 탄성률이 증가되었다. 특히, 그래핀 산화물(GO)을 포함하는 실시예4와 박리흑연 나노판(xGnP)을 포함하는 실시예5가 가장 증가되었으며, 특히 가장 크게 증가된 실시예5는 플라즈마 처리하지 않은 비교예에 비하여 30.7%의 항복 굽힘강도의 증가와 29.2% 굽힘 탄성률의 증가를 나타내었다. 이러한 기계적 성질의 증가는 이는 상술한 결정화도 증가와 관련이 있을 것으로 분석된다. 또한, 탄소 섬유의 표면을 플라즈마 처리하면 친수성 성질을 가지게 되므로, 친수성 물질인 폴리아미드6와의 계면 접합력이 증가되기 때문으로 분석된다. 또한, 상기 플라즈마 처리는 탄소 섬유 내의 고분자 수지의 함침 속도를 증가시켜 공정 시간을 단축시킬 수 있다.
- [0085] 이하에서는, 나노 물질들에 따른 기계적 특성 증가의 차이를 상기 나노 물질들의 용매 내에서의 분산성과 관련하여 설명하기로 한다.
- [0086] 도 8은 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 투과도 측정 방법을 설명하는 개략도이다.
- [0087] 도 8을 참조하면, 시험관에 카프로락탐 용매에 나노 물질을 분산시켜 분산 용액을 형성하고, 광원에서 광을 방출하여 상기 분산 용액을 광조사하고 상기 분산 용액을 통과한 광을 센서를 통하여 광센싱하였다. 상기 광조사 및 광센싱을 시험관의 높이에 따라 상층부, 중층부, 및 하층부에서 각각 실시하였고, 분산 후 시간 경과에 따라 실시하였다.
- [0088] 도 9는 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 투과도를 나타내는 그래프이다.
- [0089] 도 9를 참조하면, 시간이 경과됨에 따라 상층부, 중층부, 및 하층부 모두에서 실시예5를 제외한 모든 나노 물질이 투과도가 증가되었으며, 이러한 투과도의 증가는 나노 물질이 퇴적되어 분산성이 감소되는 것을 의미한다. 상층부에서는 실시예1, 실시예2, 실시예3, 실시예4, 및 실시예5의 순서로 투과도 증가가 나타났다. 중층부에서는 실시예2, 실시예1, 실시예3, 실시예4 및 실시예5의 순서로 투과도 증가가 나타났다. 하층부에서는 실시예3과 실시예2의 투과도 증가가 나타났고, 실시예1, 실시예4, 및 실시예5는 투과도 증가가 거의 나타나지 않았다. 실시예5의 경우에는 상층부, 중층부, 및 하층부에서 투과도 증가가 거의 나타나지 않았으므로, 실시예5는 분산성 유지가 우수한 것으로 분석된다. 실시예4는 투과도 증가가 다소 발생하였으나, 실시예1, 실시예2, 및 실시예3에 비하여 투과도 증가가 작았다.
- [0090] 이러한 투과도 증가 경향은 상술한 기계적 특성 증가와 매우 밀접한 연관성을 가지는 것으로 분석된다. 즉, 박리흑연 나노판(xGnP)을 포함하는 실시예5 및 그래핀 산화물(GO)을 포함하는 실시예4가 투과도 증가가 작아 분산성 유지 특성이 우수하며, 이러한 분산성 유지 특성이 도 7을 참조하여 설명한 바와 같이 높은 기계적 특성을 가지는 하나의 이유가 되는 것으로 분석된다. 즉, 분산이 잘되어 있어야 결정 핵생성 자리를 많이 제공할 수 있으므로, 결정화도가 높아지고, 이에 따라 기계적 특성이 향상된다.
- [0091] 도 10은 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 투과도로부터 침적 속도를 도출하는 방법을 나타내는 그래프이다.
- [0092] 도 10을 참조하면, 도 9의 상층부의 투과도 그래프를 최적선 방법(best fit)을 이용하여 각각의 나노 물질의 침적 속도를 계산하였다. 실시예1은 445.39 %/시로 침적 속도가 가장 높았고, 실시예2는 20.94 %/시, 실시예3은 22.69 %/시, 실시예4는 14.24 %/시이었고, 실시예5는 0.54%/시로 침적 속도가 가장 낮게 나타났다. 탄소나노튜브(CNT)를 포함하는 실시예1 및 환원형 그래핀 산화물(rGO)를 포함하는 실시예2는 무게 대비 부피비가 크고, 특히, 탄소나노튜브의 경우, 1차원 구조로 인해 쉽게 뭉침이 생겨 분산성이 낮은 것으로 분석된다.
- [0093] 도 11은 본 발명의 본 발명의 일실시예에 따른 나노 물질을 포함하는 탄소 섬유-고분자 수지 복합재의 제조 방법에 사용된 나노 물질을 포함하는 용액의 분산안정성 지수를 나타내는 그래프이다.
- [0094] 도 11을 참조하면, 분산안정성 지수(Turbiscan Stability Index, TSI)는 분산안정성 측정장비인 터비스칸(Turbiscan)을 이용하여 측정한 정량적 데이터 값이며, 기울기가 작을수록 분산 안정성이 높음을 의미한다. 실

시예5는 시간에 따른 분산 안정성 지수가 거의 증가되지 않았으며, 실시예1, 실시예2, 실시예3, 및 실시예4는 시간이 증가됨에 따라 분산안정성 지수가 증가되는 경향을 나타내었다. 측정 초기에 분산 안정성 지수가 증가되는 경향을 보이며, 긴 시간이 지난 후에는 분산 안정성 지수는 실시예1, 실시예3, 실시예2, 및 실시예4, 실시예5의 순서를 가졌다. 시간이 증가됨에 따라 나노 입자들이 응집하여 응집체 간의 거리가 멀어지므로 투과율이 증가되고 이에 따라 분산안정성 지수가 증가되는 것으로 분석된다.

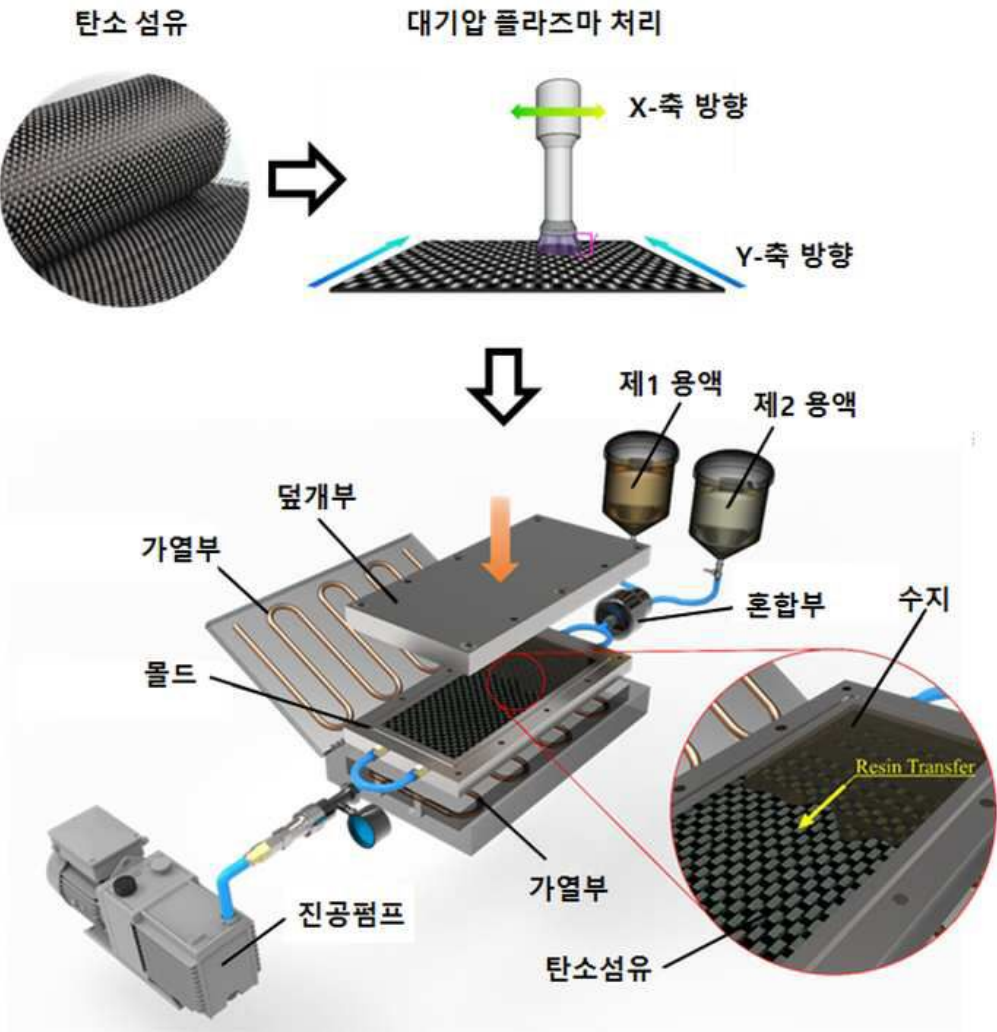
[0095] 이상에서 설명한 본 발명의 기술적 사상이 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것은, 본 발명의 기술적 사상이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

도면

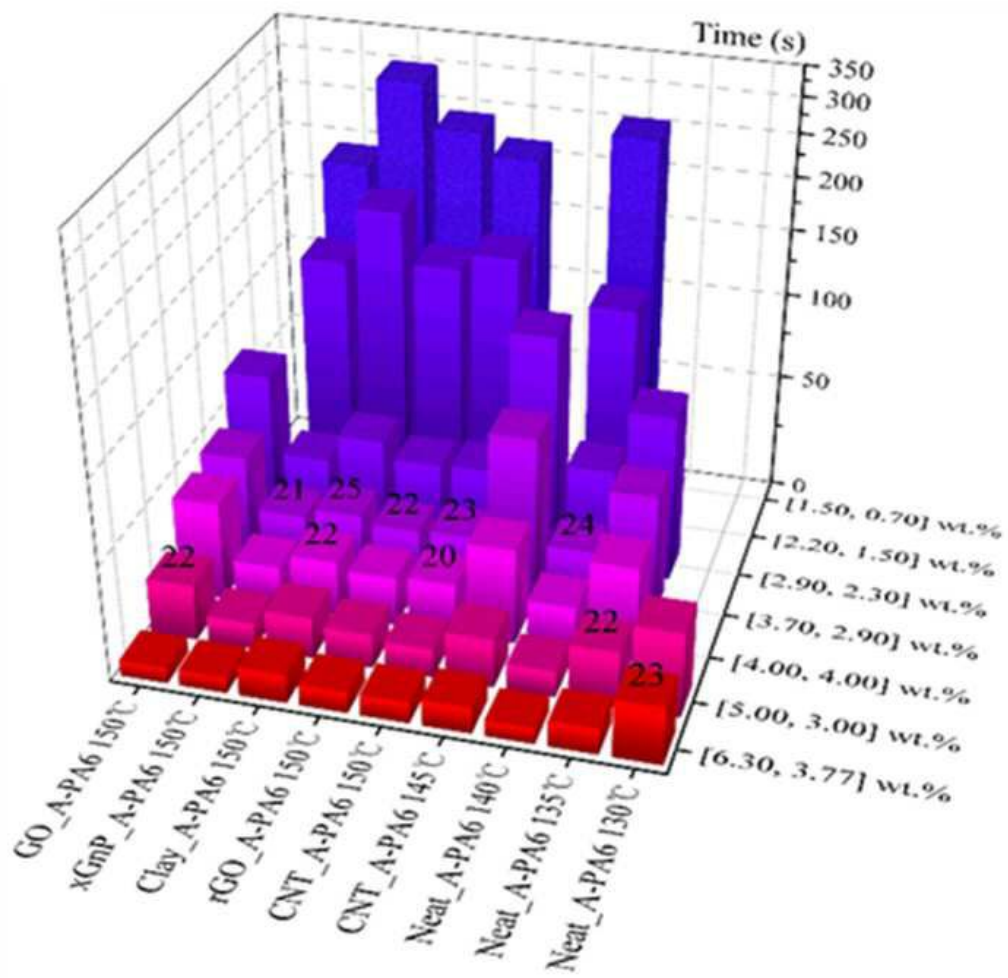
도면1



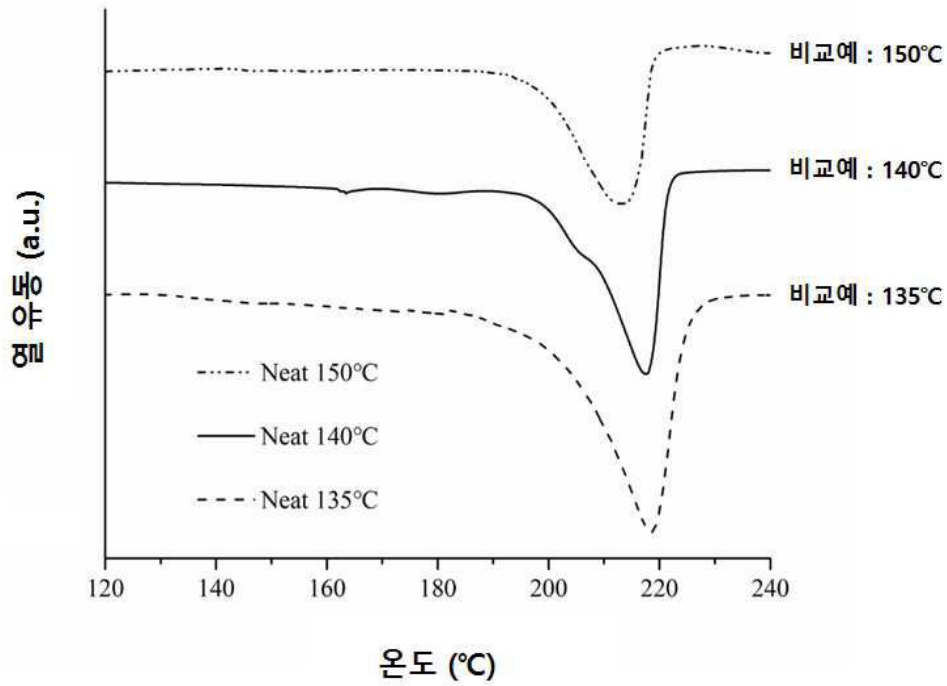
도면2



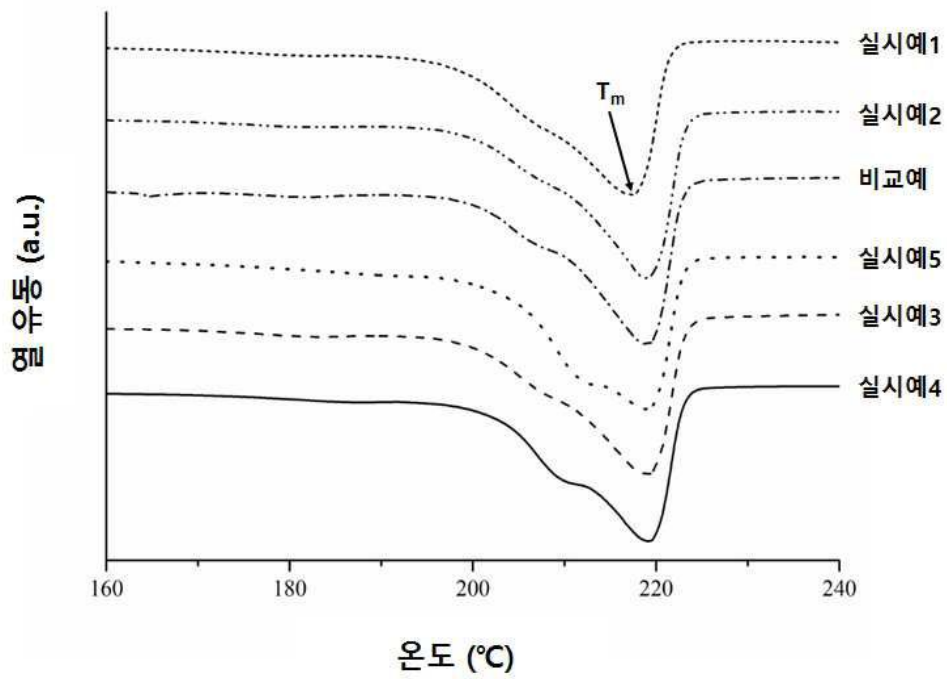
도면3



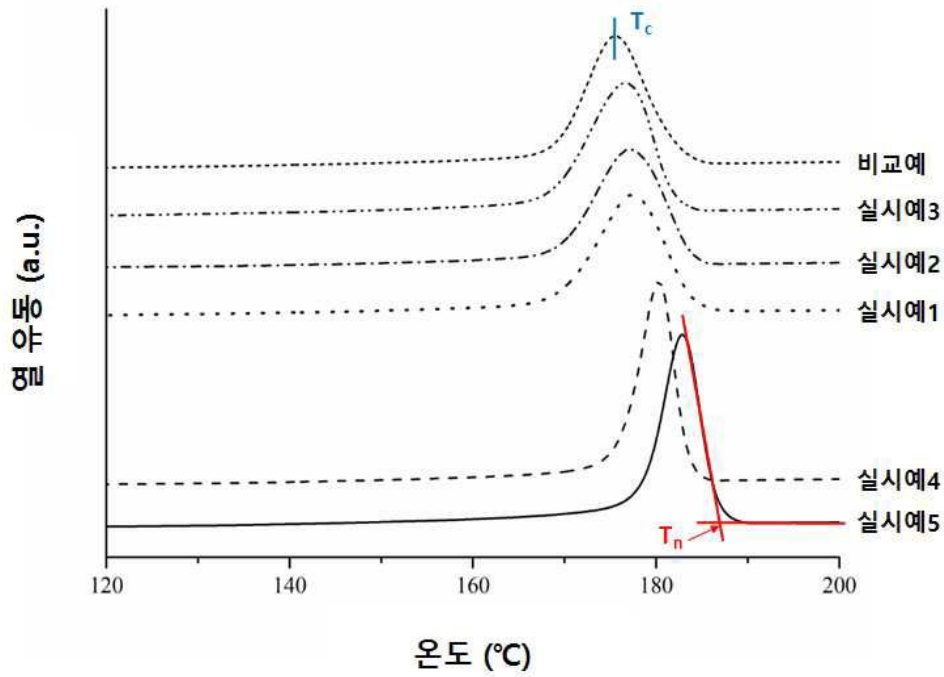
도면4



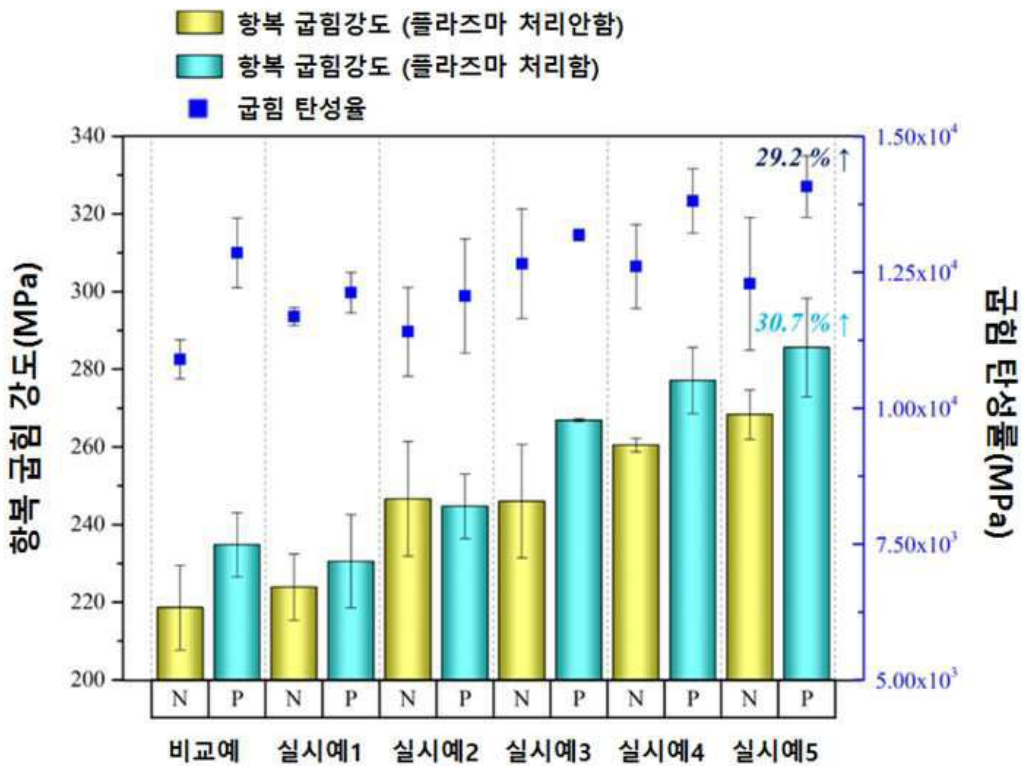
도면5



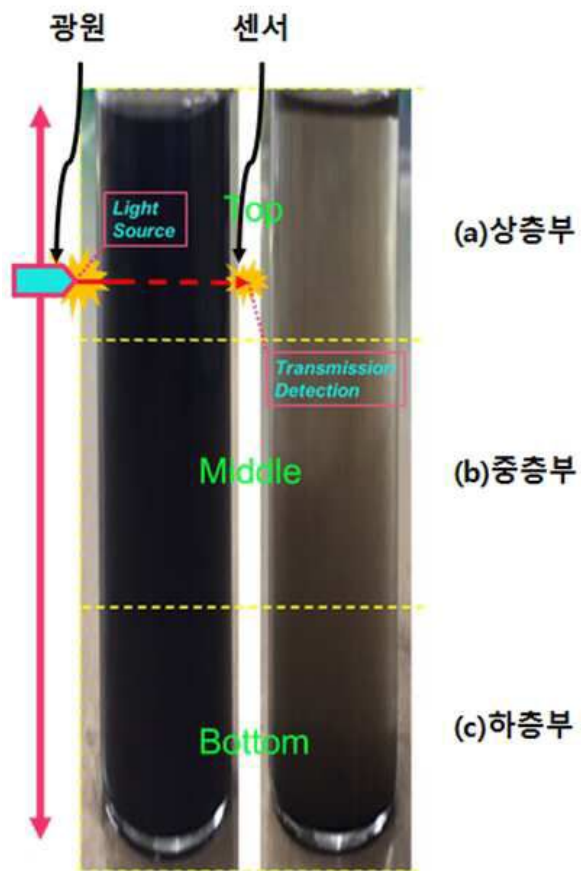
도면6



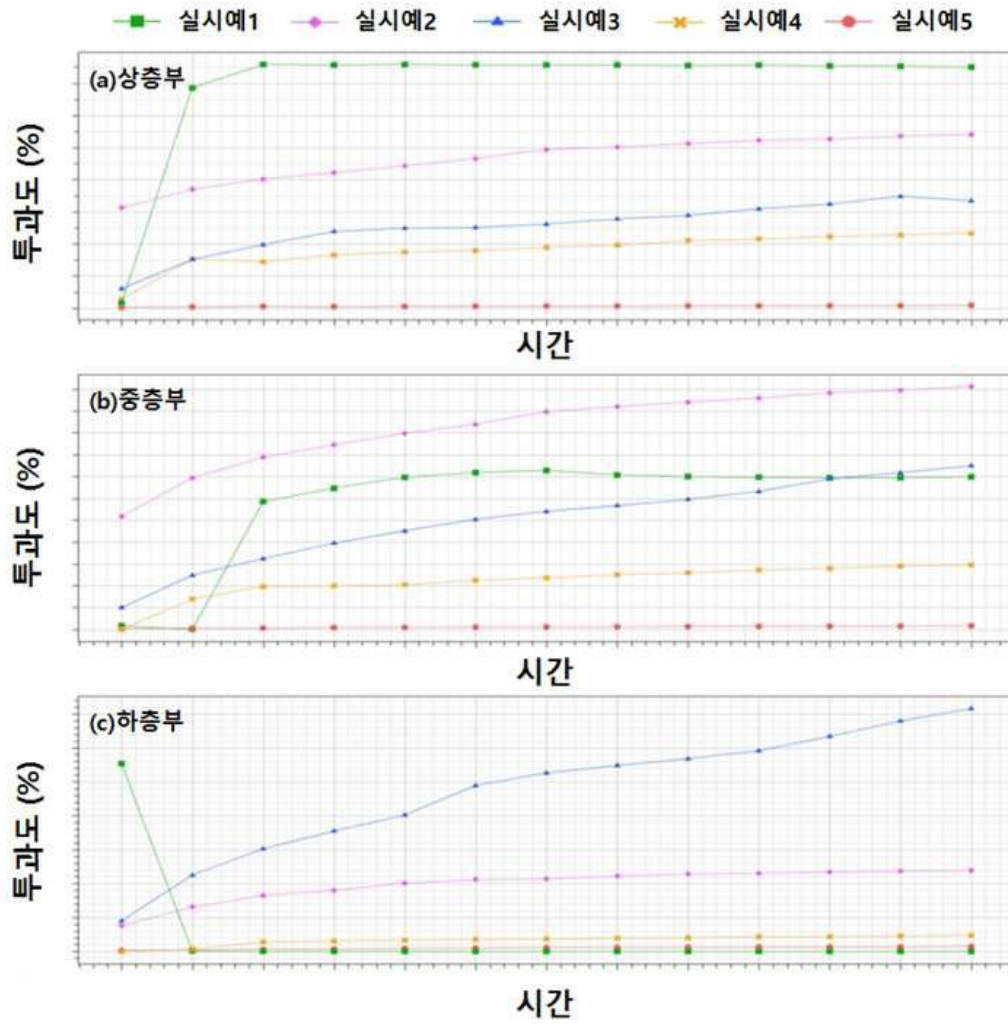
도면7



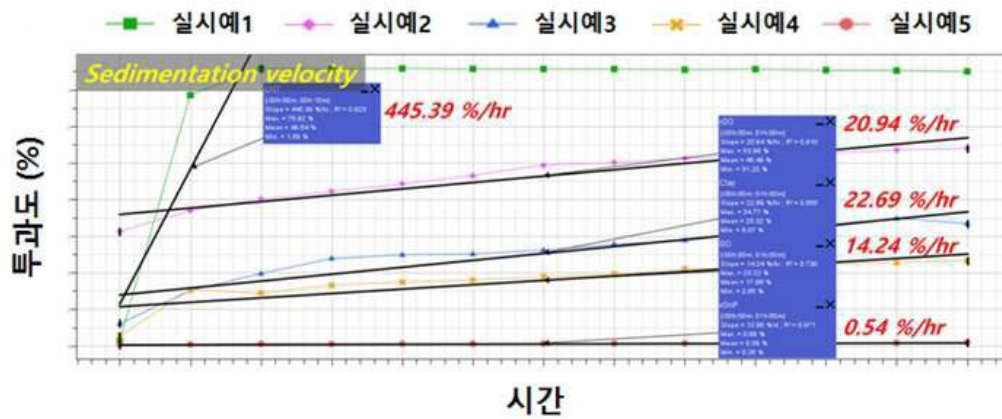
도면8



도면9



도면10



도면11

