

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2022-0034457
(43) 공개일자 2022년03월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08J 7/12 (2006.01) B25J 9/00 (2006.01)
C09K 13/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C08J 7/12 (2013.01)
B25J 9/0006 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0116843
(22) 출원일자 2020년09월11일
심사청구일자 2020년09월11일

(71) 출원인
계명대학교 산학협력단
대구광역시 달서구 달구벌대로 1095, 계명대학교
산학협력관 201호(신당동)
(72) 발명자
배재영
대구광역시 수성구 달구벌대로 2435 두산위브더제
니스
공현철
대구광역시 달서구 장기로 242 우방드림시티
110-401
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김일환

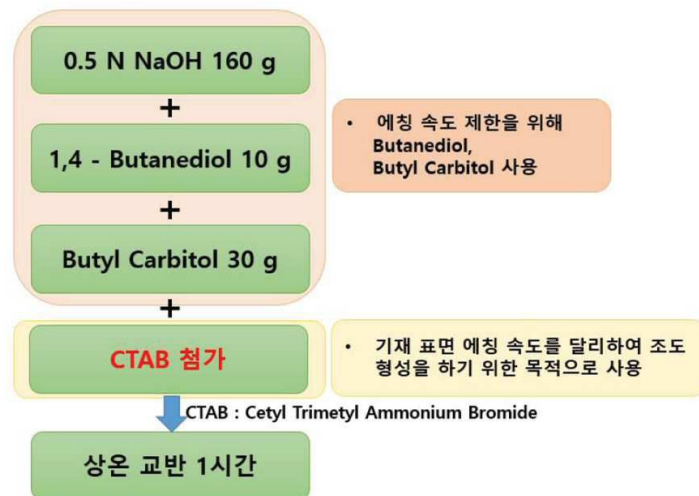
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 가변 강성 특성을 갖는 메타구조체 제조방법 및 이를 이용한 웨어러블 슈트

(57) 요약

본 발명은, (a) 폴리아미드를 이용하여 메타구조체를 형성하는 단계; (b) 에칭액을 소정 온도로 승온 한 뒤 상기 (a) 단계에서 형성된 메타구조체를 침지하여 소정 시간 침적하는 단계; 및 (b) 상기 메타구조체를 소정 회수로 증류수로 세척한 뒤 소정 온도에서 소정 시간 건조하여 화학 처리하는 단계;를 포함하는 메타구조체 제조방법 및 화학처리된 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트를 제공한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

B25J 9/0012 (2013.01)

C09K 13/02 (2013.01)

C08J 2377/00 (2013.01)

(72) 발명자

이종탁

대구광역시 북구 구암서로 22 그린빌4 401동 804호

김태호

대구광역시 달서구 와룡로9길 59 한우아파트 A동
406호

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 폴리아미드를 이용하여 메타구조체를 형성하는 단계;
- (b) 에칭액을 소정 온도로 승온 한 뒤 상기 (a) 단계에서 형성된 메타구조체를 침지하여 소정 시간 침적하는 단계; 및
- (b) 상기 메타구조체를 소정 회수로 증류수로 세척한 뒤 소정 온도에서 소정 시간 건조하여 화학 처리하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

상기 에칭액은 소정 농도의 수산화나트륨에 소정 농도의 CTAB를 첨가하여 제조하는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 에칭액에서 에칭 속도를 제한하기 위해, 소정 농도의 뷰티엔다이올과 뷰틸카비톨을 첨가하는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 에칭액은 0.5 노르말 농도의 수산화나트륨 160g과, 뷰티엔다이올 10g과, 뷰틸카비톨 30g을 첨가하는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 CTAB의 농도는 상기 에칭액의 전체중량 대비 0.7 ~ 0.8 중량%를 첨가하는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계에서, 상기 메타구조체는 3D 프린팅 방법으로 제조되는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서, 상기 메타구조체는 1시간 미만 범위에서 침적하는 것을 특징으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 8

제1항에서 있어서,

상기 (c) 단계에서, 5회 증류수로 세척한 뒤 40℃에서 6시간 건조를 진행하여 화학 처리를 수행하는 것을 특징

으로 하는 메타구조체 제조방법.

청구항 9

제1항의 방법에 의해 화학처리된 메타구조체를 이용하여 의복 형태로 제조한 것을 특징으로 하는 웨어러블 슈트

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 메타구조체의 형태는 육각형 단위격자 메타구조체를 연결하여 형성된 허니콤(honeycomb) 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 웨어러블 슈트.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 메타구조체는 안티락 구조로 형성된 것을 특징으로 하는 웨어러블 슈트.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 메타구조체와 에어백이 결합된 에어모듈 형태인 것을 특징으로 하는 웨어러블 슈트.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 메타구조체에 관한 것으로, 보다 상세하게는 메타구조체의 화학처리를 통해 플렉서블 특성을 부여하고 착용 시 의복형태의 유연함을 확보하고, 낙상시 가변강성 특성을 이용하여 보호장구로서 기능할 수 있는 가변강성 메타구조체 제조방법 및 이를 이용한 웨어러블 슈트에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 최근 옷처럼 입을 수 있는 로봇 기술로서 웨어러블 로봇이 의료공학 분야에서 각광받고 있다. 이러한 웨어러블 로봇은 사람의 힘으로 고하중물 운송 및 힘지 이동 등의 사람이 직접 해야만 하는 일에 대해 부족한 근력을 보완하고, 장애 극복, 인간의 물리적 한계를 뛰어넘는 등의 장치를 말한다.
- [0004] 또한, 대부분의 웨어러블 로봇은 단단한 외골격 타입으로 제작이 되고 있는데, 이런 외골격 타입의 웨어러블 로봇은 사람이 착용시 이질감 및 낙상사고에 불안한 요소가 많기 때문에, 이를 보완한 소프트 웨어러블 로봇(soft wearable robot)이 요구되고 있다.
- [0005] 한편, 메타물질이란 사전적 의미로 보았을 때 ‘Meta-($\mu \epsilon \tau \alpha$)’라는 ‘사이에’, ‘뒤에’, ‘넘어서’의 의미를 지니는 그리스어를 내포하고 있어, 기존의 물질의 한계를 ‘뛰어넘은’ 새로운 물질이라는 의미를 가진다.
- [0006] 또한, 학술적으로는 자연에서 얻은 물질에서는 관찰되지 않는 ‘성질’을 가지도록 인공적으로 ‘배열’ 및 설계를 한 물질이라고 할 수 있다. 그리고 ‘배열’이란 말이 암시하듯, 메타물질은 구성 성분이 어떤 물질이나 보다 구성 성분이 이루고 있는 ‘구조’가 더 중요하다. 즉, 메타물질이란 원소의 합성 대신 물질의 구조를 이용하여 개발한 신소재라고 할 수 있다.
- [0007] 이러한 메타물질을 메타구조체로 제작하여 광, 음향, 형상 메타 구조체 등 여러 분야에서 사용되고 있는데, 진술한 소프트 웨어러블 로봇의 경우에는 외부 환경에 대한 적응성이 향상되도록 유연성과 신축성을 포함하는 부드러운 성질을 반영하여 로봇의 변형과 동작을 생성하고자 하는 요구가 있다.
- [0008] 이에, 낙상 시 사람의 부상을 방지하고 보호하는 역할을 하는 웨어러블 로봇에 접목할 수 있도록 메타구조체를 화학처리하여 플렉서블 특성을 제공할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2006-0123323호(2006.12.01. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 메타구조체를 화학처리하여 플렉서블 특성을 부여할 수 있는 메타구조체 제조방법을 제공함에 그 목적이 있다.

[0012] 또한, 메타구조체의 화학처리를 통해 플렉서블 특성을 부여하여 착용 시 의복형태의 유연함을 확보하고, 낙상시 가변강성 특성을 이용하여 보호장구로서 기능할 수 있는 가변강성 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트를 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 이를 위해, 본 발명은 (a) 폴리아미드를 이용하여 메타구조체를 형성하는 단계; (b) 에칭액을 소정 온도로 승온한 뒤 상기 (a) 단계에서 형성된 메타구조체를 침지하여 소정 시간 침적하는 단계; 및 (b) 상기 메타구조체를 소정 회수로 증류수로 세척한 뒤 소정 온도에서 소정 시간 건조하여 화학 처리하는 단계;를 포함하는 메타구조체 제조방법을 제공한다.

[0014] 또한, 상기 (b) 단계는, 상기 에칭액은 소정 농도의 수산화나트륨에 소정 농도의 CTAB를 첨가하여 제조하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 상기 에칭액에서 에칭 속도를 제한하기 위해, 소정 농도의 뷰티엔다이올과 뷰틸카비톨을 첨가하고, 상기 에칭액은 0.5 노르말 농도의 수산화나트륨 160g과, 뷰티엔다이올 10g과, 뷰틸카비톨 30g을 첨가하는 것이 바람직하다.

[0016] 또한, 상기 CTAB의 농도는 상기 에칭액의 전체중량 대비 0.7 ~ 0.8 중량%를 첨가하는 것이 바람직하다.

[0017] 또한, 상기 (a) 단계에서 상기 메타구조체는 3D 프린팅 방법으로 제조되고, 상기 (b) 단계에서 상기 메타구조체는 1시간 미만 범위에서 침적하고, 상기 (c) 단계에서 5회 증류수로 세척한 뒤 40℃에서 6시간 건조를 진행하여 화학 처리를 수행하는 것이 바람직하다.

[0018] 다른 태양으로는, 전술한 화학처리된 메타구조체를 이용하여 의복 형태로 제조한 웨어러블 슈트를 제공한다.

[0019] 또한, 상기 메타구조체의 형태는 육각형 단위격자 메타구조체를 연결하여 형성된 허니콤(honeycomb) 구조를 갖는 것이 바람직하다.

[0020] 또한, 상기 메타구조체는 안티락 구조로 형성되고, 상기 메타구조체와 에어백이 결합된 에어모듈 형태인 것이 바람직하다.

[0021]

발명의 효과

[0022] 본 발명은, 메타구조체를 화학처리하여 플렉서블 특성을 제공하여, 착용 시 의복형태의 유연함을 확보하고, 낙상시 가변강성 특성을 이용하여 보호장구로서 기능할 수 있게 하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체의 화학처리 모식도이고,

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체의 화학 처리를 위한 에칭액 제조과정을 나타낸 도면,

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체의 화학 처리 공정을 나타낸 도면,

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 CTAB 농도별 에칭액에 따른 메타구조체의 SEM 이미지를 나타낸 도면,

도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 CTAB 농도별 에칭액에 따른 메타구조체의 N₂-sorption 결과를 나타낸 그래프,

도 6 내지 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트를 설명한 도면,

도 10은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트에서 실험을 통해 분석한 stress-strain curve 그래프,

도 11 및 도 12는, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트에서 실험을 통해 분석한 화학처리 전/후의 메타구조체 수평, 수직 방향의 강도 특성을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 본 발명에서는 형상 메타물질을 이용하여 낙상시 외부 충격으로부터 몸을 보호할 수 있도록 구현된 메타구조체가 의복 형태로 착용시 가볍고 플렉서블(flexible) 특성을 구현하여 착용감이 우수한 소프트 웨어러블 슈트로 구현하기 위한 메타구조체의 물리화학적 특성을 제공한다.
- [0026] 먼저, 메타 구조 및 외력작용 구조 설계한 후 설계된 메타구조체를 3D 프린트로 구현하였고, 구현된 메타구조체를 폴리아미드 화학 처리하여 플렉서블한 특성을 구현하였다.
- [0027] 이어, 외력을 가할 수 있는 안티락(anto-lock)구조에 폴리아미드 화학처리된 메타구조체를 삽입하여 웨어러블 슈트용 메타구조체를 제작하였다.
- [0029] 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체의 화학처리 모식도이고, 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체의 화학 처리를 위한 에칭액 제조과정을 나타낸 도면이고, 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체의 화학 처리 공정을 나타낸 도면이다.
- [0031] 먼저, 폴리아미드를 이용하여 메타구조체를 제작하는데, 3D 프린팅 방법으로 구현하였다. 이어, 메타구조체를 횡 방향으로 수축 및 팽창하기 위해서는 메타구조체의 물성이 연성되어야하므로 화학처리를 통한 물성 변형을 진행한다. 이때, 화학처리를 통한 물성 변형은 메타구조체에 불규칙적인 에칭을 진행하여 인위적으로 조도를 형성할 필요가 있다.
- [0032] 도 1을 참조하면, 메타구조체의 화학 처리 시 불규칙적인 에칭을 통하여 조도가 형성되는 것을 확인할 수 있다.
- [0033] 도 2 및 도 3을 참조하여 제조된 메타구조체의 화학처리를 통한 물성 변형을 살펴보면 다음과 같다.
- [0034] 먼저, 도 2의 과정을 통해 에칭액 제조과정을 살펴본다.
- [0035] 즉, 조도를 형성하기 위한 에칭액은 0.5 노르말 농도(N)의 수산화나트륨(NaOH) 160g, 1,4-뷰티엔다이올(butanediol) 10g, 뷰틸카비톨(butly carbitol) 30g에 CTAB(cetyltrimethylammonium bromide)를 첨가하여 상온 교반 1시간을 통해 제조하였다. 이때, 뷰티엔다이올과 뷰틸카비톨은 에칭속도 제한을 위해 사용되었고, 세틸 트리메틸 암모늄 브로마이드(CTAB)는 계면활성제로서 기재에 흡착시키고 기재의 에칭되는 면을 막아주는 역할을 한다. 또한, CTAB의 경우에는 양이온 계면활성제이므로 pH가 염기일 때 활동성이 증대되어 바람직하다.
- [0036] 이어, 도 3의 과정을 통하여 상기 도 2을 과정을 통해 제조된 에칭액을 가지고 메타구조체의 화학 처리를 진행하였다.
- [0037] 즉, 제조된 에칭액을 60℃로 승온 한 뒤 3D 프린트로 제작한 메타구조체를 침지하여 1시간 침적하는 가소화 공정을 진행한다. 이때, 1시간 이상 침적 시 제품 사이즈가 변형될 수 있다.
- [0038] 그리고, 5회 증류수로 세척한 뒤 40℃에서 6시간 건조를 진행하여 화학 처리를 완료하였다.
- [0039] 특히, 도 2 및 도 3의 메타구조체의 화학처리 과정에서, CTAB는 불규칙적인 에칭 조도를 형성하는 데 큰 역할을 수행하는데, 에칭액 제조 시 CTAB의 농도를 달리하여 에칭액들을 제조하고, CTAB 농도를 조절하여 실험을 진행

하였는데, 기재 표면 에칭 속도를 달리하여 조도 형성을 하기 위한 목적으로 사용된다.

이에 도 4 및 도 5를 참조하여, 전술한 화학 처리 공정을 통해 제조된 메타구조체를 분석하였으며, 표 1은 CTAB 농도별 에칭액에 의해 제조된 메타구조체를 나타낸 것이다.

표 1

sample	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
CTAB(%)	X	0.15	0.25	0.5	0.75	1

상기 표 1에 따른 본 발명에 따른 CTAB 농도별 에칭액에 따른 메타 구조체의 분석을 위한 자료로서, SEM 분석과, N₂-sorption 분석과, 가변강성 물리적 특성 분석과, 탄성계수 감소율 분석을 수행하였으며, 이하에서 살펴본다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 CTAB 농도별 에칭액에 따른 메타구조체의 SEM 이미지이고, 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 CTAB농도 별 에칭액에 따른 메타구조체 N₂-sorption 결과를 나타낸 그래프이다.

도 4를 참조하면, 상기 도 4의 SEM 이미지를 통해 화학 처리를 하지 않은 (a)에서는 매끈한 표면이 확인되지만 에칭액에서 CTAB 농도가 증가할수록 조도가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 하지만, CTAB 농도가 1 중량%인 (f)에서는 CTAB 농도가 0.75 중량%인 (e)에 비해 조도의 형성이 다시 날카로운 표면에서 비교적 부드러운 표면으로 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 SEM 이미지상 (f)의 조도 형성이 0.75 중량%(e)에 비해 잘 형성되지 않은 것으로 볼 수 있다.

표 2는 CTAB 농도별 에칭액에 의해 제조된 메타구조체의 비표면적을 나타낸 것이고, 도 5는 메타구조체의 화학 처리후 N₂-sorption 측정을 통해 CTAB 농도에 따른 비표면적을 분석한 그래프이다.

표 2

CTAB concentration [%]	Specific surface area [m ² /g]
Pre-chemical treatment	0.369
0.15	1.354
0.25	1.684
0.50	3.894
0.75	5.338
1.00	2.012

도 5를 참조하면, 상기 도 5의 N₂-sorption 측정 결과에서 볼 수 있듯이, CTAB 농도가 증가할수록 비표면적이 증가되었으나, 0.75 중량%를 기점으로 1 중량%에서 다시 비표면적이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 메타구조체에 불규칙적으로 달라붙은 CTAB는 에칭 시 에칭 속도를 저해하게 되는데, CTAB 농도가 높아지면서 에칭 속도가 저해되는 면적이 너무 증가하면서 생긴 현상으로 해석할 수 있다.

이에 따라, 표 1 및 도 4의 SEM 결과와 표 2 및 도 5의 N₂-sorption 결과를 토대로 CTAB 농도가 0.75 중량%일 때 에칭이 형성되는 표면조도가 가장 적절하게 형성되는 것을 알 수 있다. 따라서, 바람직하게도 CTAB 농도는

0.7~0.8 중량%일 때 최적인 것으로 판단된다.

- [0050] 이하, 도 6 내지 도 12를 참조하여, 전술한 화학처리된 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트에 대해 자세히 설명한다.
- [0051] 전술한 화학처리를 통해 메타구조체가 플렉서블 특성을 구현할 뿐만아니라 웨어러블 슈트에 적용하고자 할 경우 최적의 구조 설계가 필요하다. 즉, 상기 메타구조체에 인장력이 가해질 경우 메타구조체가 연장되어 횡방향 팽창일 발생하며, 압축력이 가해질 경우 메타구조체가 압축되어 횡방향 수축이 발생하게 하는 구조가 요구된다.
- [0052] 도 6 내지 도 9는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 메타구조체를 이용한 웨어러블 슈트를 설명한 도면으로, 각각 도 6은 허니콤 타입의 메타구조체를 나타낸 것이고, 도 7은 육각형 타입을 설명한 것이고, 도 8은 에어백(air bag) 구조를 나타낸 것이며, 도 9는 에어모듈을 나타낸 것이다.
- [0053] 도 6을 참조하면, 메타구조체에서 변형률에 따른 압축강도 및 최대하중을 고려하여, 육각형의 단위격자 메타구조체를 연결하여 허니콤(honeycomb) 타입의 메타구조체를 통해, 높은 강도와 지지구조로서 안정성을 구현할 수 있다.
- [0054] 도 7을 참조하면, 육각형 타입으로 설계되어, 외부 장력에 의해 변형되는 원리를 이용하여 내부 강성인 높아져 특정 부분을 지지하거나 보조할 수 있는 효과를확인할 수 있다.
- [0055] 또한, 도 8 및 도 9에 도시된 바와 같이, 외력 작용 시 강성이 강해지고 외력이 작용하지 않을 시 유연한 형태가 될 수 있도록 구현하는 안티락(anti lock) 구조의 에어모듈로 구현될 수 있다. 이때, 에어모듈은 메타구조체와 에어백이 결합된 형태로, 외부공기가 들어오면 강성이 강해져서 특정 부위 지지 및 보호 역할을 수행할 수 있다.
- [0056] 이어, 도 6 내지 도 9에서 설명한 웨어러블 슈트 형태로서 안티락 구조의 에어모듈에 대해 가변강성 물리적 특성분석과 탄성계수 감소율 분석을 살펴본다.
- [0057] 표 3 및 표 4는 각각 안티락 구조의 에어백 모듈의 공기 삽입 전과 삽입 후를 비교하여 메타구조체의 가변강성 분석을 나타낸 표이다.
- [0058] 또한, 도 10은 안티락 구조의 에어백 모듈의 공기 삽입 전과 삽입 후를 비교하여 메타구조체가 외력 작용시 충격 흡수 및 지지 역할을 수행하는지 공기압력 200Kpa를 주입하여 분석한 결과를 stres-strain curve로 나타낸 그래프이다.
- [0059] 먼저 측정조건을 살펴보면 다음과 같다.
- [0060] 1) 시험방법: anti lock 구조의 에어모듈을 이용하여 공기 주입전, 후를 비교하여 메타구조체가 외력 작용시 충격흡수 및 지지 역할을 수행하는지 공기압력 200Kpa를 주입하여 분석하였다.
- [0061] 2) 시험시편: 크기(80×9.9mm), 단면적(792 mm²), 높이 (50mm)

표 3

No	Max load	Compressive strength	Max displacement	Strain	Shear modulus
	N	N/mm ²	mm	%	N/mm ²
30	13.24	0.017	15.00	30.00	0.044
40	16.57	0.021	20.00	40.00	0.046
50	22.81	0.029	25.00	50.00	0.054
60	23.85	0.030	30.00	60.00	0.046
70	30.03	0.038	35.00	70.00	0.046
80	38.74	0.049	40.00	80.00	0.052
90	37.11	0.047	40.99	89.98	0.047

[0062]

표 4

No	Max load	Compressive strength	Max displacement	Strain	Shear modulus
	N	N/mm ²	mm	%	N/mm ²
30	41.97	0.053	14.99	29.98	0.152
40	52.29	0.066	20.01	40.02	0.135
50	66.02	0.083	25.00	50.00	0.111
60	74.09	0.094	30.00	60.00	0.142
70	105.38	0.133	33.34	66.68	0.194
80	118.80	0.150	40.01	80.02	0.282
90	167.05	0.211	45.02	90.04	0.311

[0063]

[0064]

도 3 및 표 4와 도 10을 참조하면, 변형률이 50%일 때 공기 주입 전에는 최대하중이 22.81 N이고(표 3 참조), 공기 주입 후에는 최대하중이 66.02 N(표 4 참조)으로 확인할 수 있고, 최대하중 및 탄성계수가 3배 증가한 것을 확인할 수 있다. 이는 메타구조체가 외력 작용시 충격 흡수 및 지지효과가 있음을 확인할 수 있다.

[0065]

표 5 및 도 11 및 도 12는 화학처리 전/후의 메타 구조체의 수평, 수직 방향의 강도 특성을 분석한 것이다.

[0066]

표 5는 메타구조체의 화학 처리전, 후의 수평, 수직에 대한 탄성계수(Young's modulus), 최대하중(Max load), 압축강도(Compressive strength)를 실험하여 강성 분석을 나타낸 표이며, 측정조건을 살펴보면 다음과 같다.

[0067]

1) 시험방법: 메타구조체의 화학 처리 전, 후 수평 수직의 강성 테스트를 진행하여 탄성계수 감소율을 확인하였다.

[0068]

2) 시험시편: 크기(80×9.9mm), 단면적(792 mm²), 높이 (50mm)

표 5

	Young's modulus [N/mm ²]		Max load [N]		Compressive strength [N/mm ²]	
	Horizontal	Verticality	Horizontal	Verticality	Horizontal	Verticality
Before chemical treatment	0.041	0.092	9.512	11.990	0.012	0.015
After chemical treatment	0.036	0.045	9.130	11.140	0.011	0.014
Decrease result	0.005	0.047	0.382	0.853	0.001	0.001
Reduction ratio [%]	12.8	51.3	4.0	7.1	8.3	7.3

[0069]

[0070]

표 5는 메타구조체의 화학 처리 전, 후의 수평 수직 강성 분석 결과를 정리한 표이다.

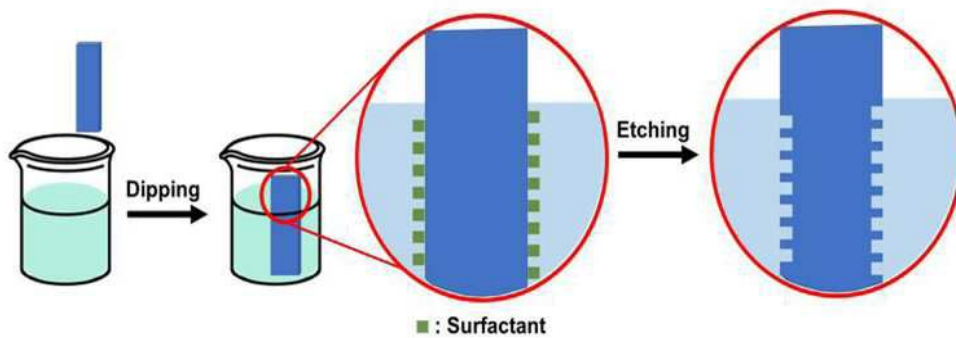
[0071] 또한, 도 11은 메타구조체의 화학 처리전의 수평, 수직 강성 분석 결과를 나타낸 그래프이고, 도 12는 메타구조체의 화학 처리후의 수평, 수직 강성 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

[0072] 분석 결과 값을 통해 알 수 있듯이, 화학 처리 전 대비 탄성계수(Young's modulus)는 수직 - 12.8%, 수평 - 51.3% 감소하였다. 그리고, 최대하중(Max load)은 수직 - 4.0%, 수평 - 7.1% 감소하였다. 탄성계수와 최대하중의 감소를 통하여 화학 처리 전 보다 화학 처리 후의 메타구조체가 플렉서블한 특성을 가짐을 확인할 수 있다.

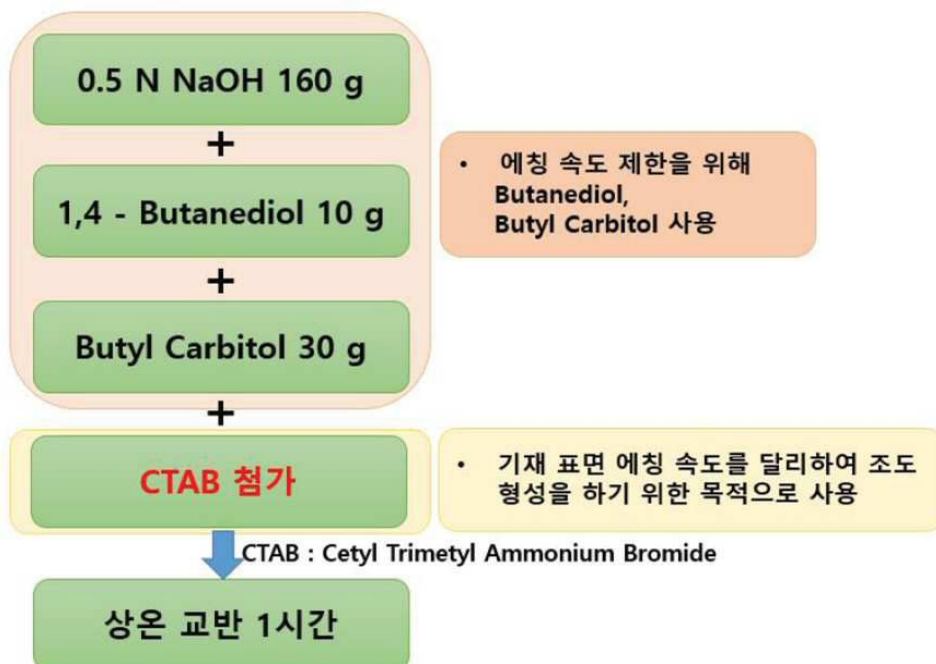
[0074] 상기한 바와 같은, 본 발명의 실시예들에서 설명한 기술적 사상들은 각각 독립적으로 실시될 수 있으며, 서로 조합되어 실시될 수 있다. 또한, 본 발명은 도면 및 발명의 상세한 설명에 기재된 실시예를 통하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다. 따라서, 본 발명의 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

도면1



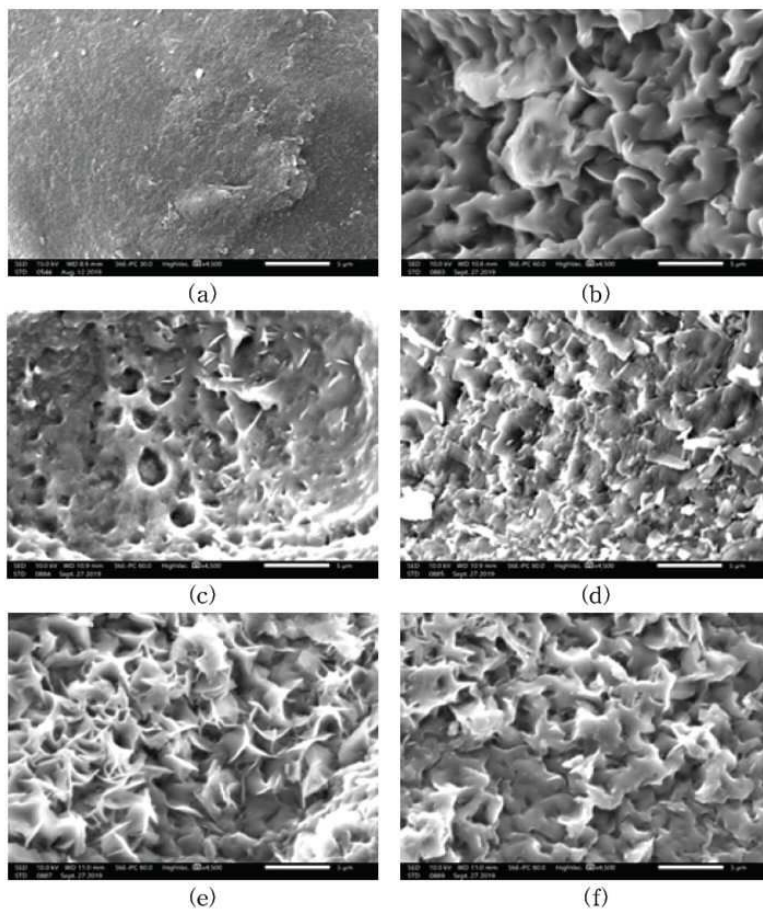
도면2



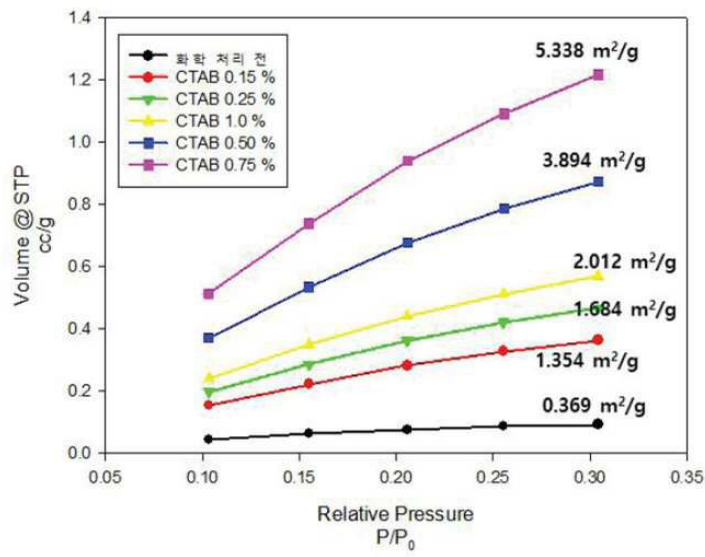
도면3



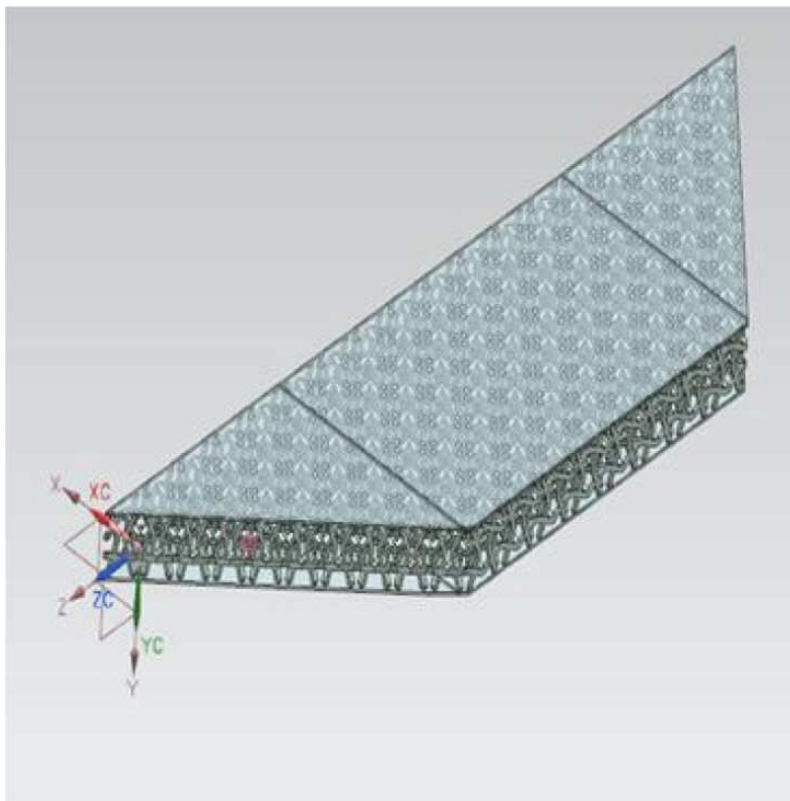
도면4



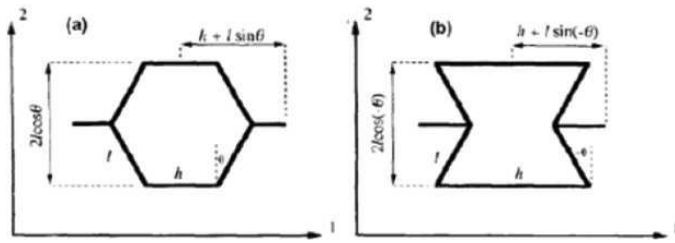
도면5



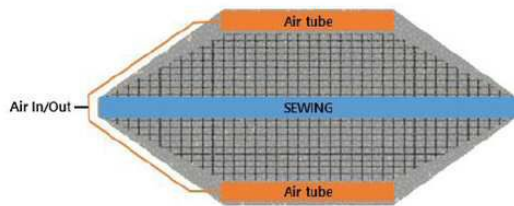
도면6



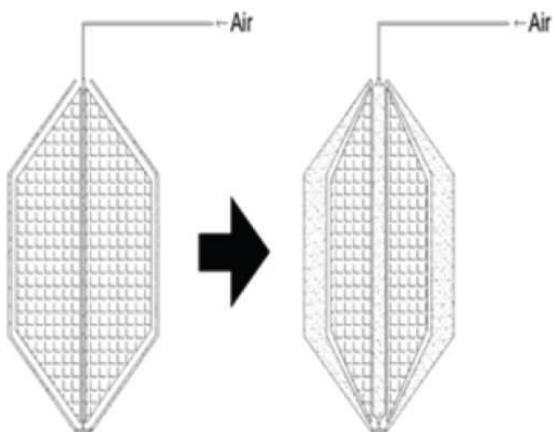
도면7



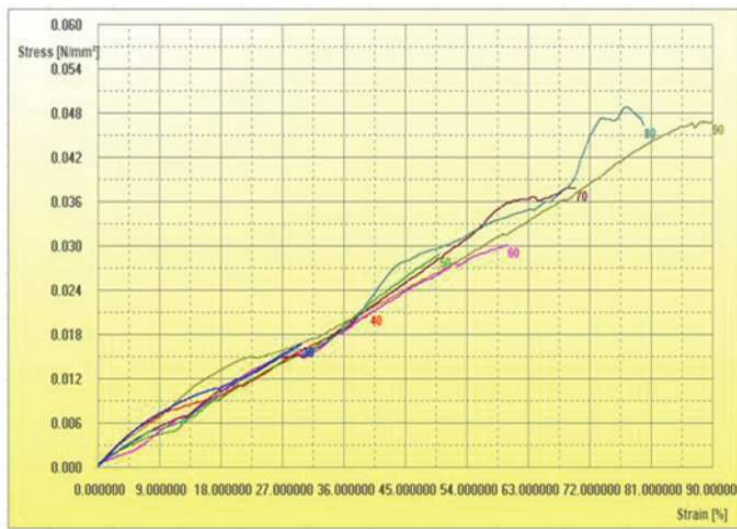
도면8



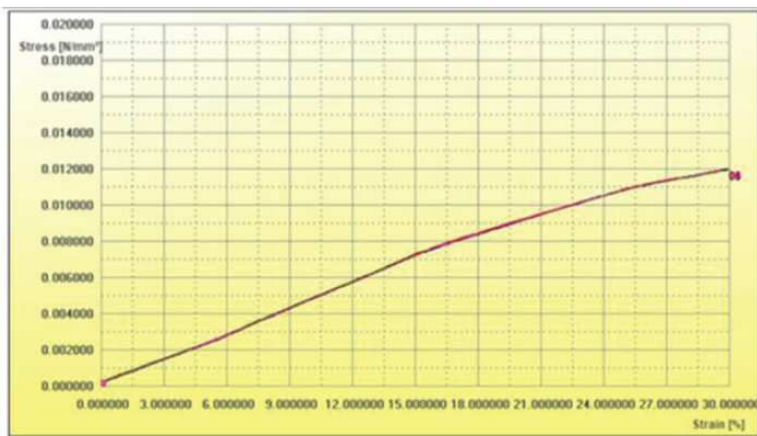
도면9



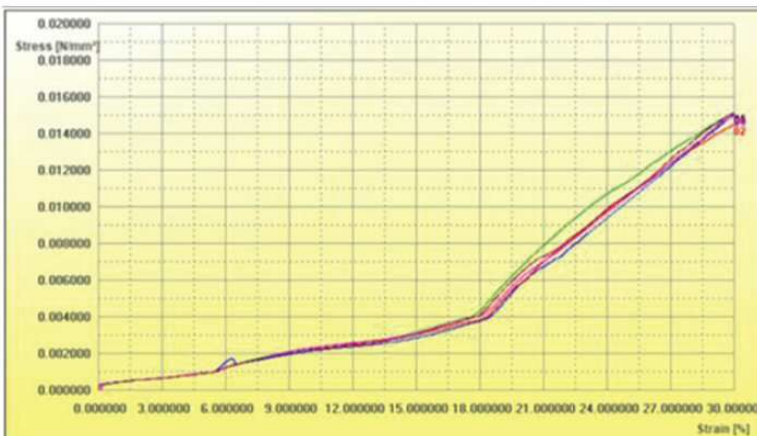
도면10



도면11

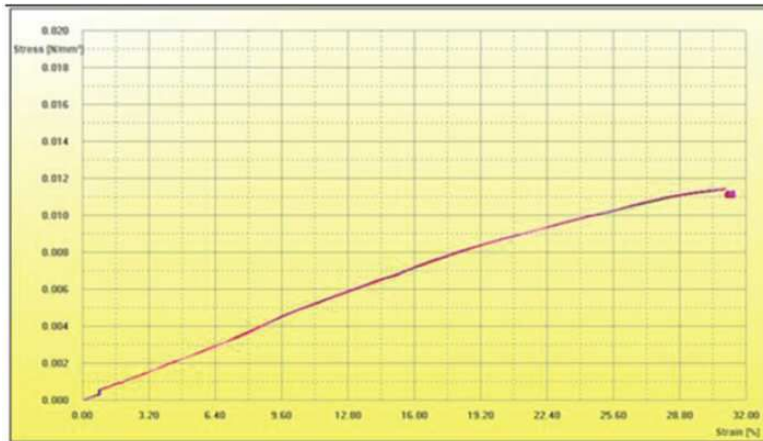


(a)



(b)

도면12



(a)



(b)