(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0096159
(43) 공개일자 2018년08월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61N 5/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61N 5/0622 (2013.01)
A61N 5/0625 (2018.08)
(21) 출원번호 10-2017-0022475
(22) 출원일자 2017년02월20일
심사청구일자 2017년02월20일

(71) 출원인
건국대학교 글로컬산학협력단
충청북도 충주시 충원대로 268 (단월동,건국대학교글로컬캠퍼스)
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
정순철
충청북도 충주시 연수동산로 26-1, 106동 301호 (연수동)
박종락
광주광역시 동구 남문로 734, 103동 1805호 (학동, 학1마을)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
윤병국, 이영규

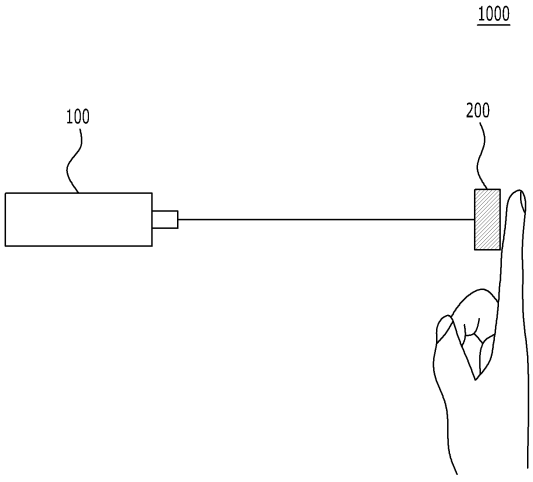
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **간접 자극에 의한 체성감각 유도 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 간접 자극에 의한 체성감각 유도 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템은 레이저 빔의 파라미터를 제어하고, 매질의 일면에 레이저를 조사하는 레이저 조사장치; 및 일면은 상기 레이저가 피조사되고, 이면은 사용자의 피부조직과 접하며, 상기 사용자의 피부조직에 상기 피조사된 레이저에 의해 발생된 스트레스파에 의한 체성감각을 유도하는 매질;을 포함하고, 상기 매질의 흡수계수는 0.25㎜$^{-1}$ 내지 32.08㎜$^{-1}$ 일 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
A61N 2005/0626 (2013.01)
A61N 2005/0642 (2013.01)
(72) 발명자
전재훈
서울특별시 광진구 구의강변로 11, 2동 205호 (자양동, 한양아파트)
김승은
광주광역시 서구 상일로 53, 304동 1204호 (쌍촌동, 호반리젠시빌)
김형식
충청북도 충주시 연수동산로 26-1, 104동 104호 (연수동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2011-0027920
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 미래유망 융합기술 파이오니어 사업
연구과제명 레이저 촉감 제시 기술개발
기 여 율 1/1
주관기관 건국대학교(글로컬캠퍼스) 산학협력단
연구기간 2011.07.01 ~ 2017.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

레이저 빔의 파라미터를 제어하고, 매질의 일면에 레이저를 조사하는 레이저 조사장치; 및

일면은 상기 레이저가 피조사되고, 이면은 사용자의 피부조직과 접하며, 상기 사용자의 피부조직에 상기 피조사된 레이저에 의해 발생된 스트레스파에 의한 체성감각을 유도하는 매질;을 포함하고,

상기 매질의 흡수계수는 0.25㎜$^{-1}$ 내지 32.08㎜$^{-1}$ 인 체성 감각 유도 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 매질의 밀도는 110 kg·m^{-3} 내지 5240 kg·m^{-3} 인 체성 감각 유도 시스템

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 매질의 비열은 240 J·kg^{-1}·K^{-1} 내지 15580 J·kg^{-1}·K^{-1} 인 체성 감각 유도 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 매질의 열팽창 계수는 0.6×10^{-4} K^{-1}내지 8.5×10^{-3} K^{-1} 인 체성 감각 유도 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 매질의 영률은 535Mpa 이하인 체성 감각 유도 시스템.

청구항 6

제1항 내지 제5항의 어느 한 항에 있어서,

상기 레이저 빔의 평균 직경은 5㎜ 인 체성 감각 유도 시스템.

청구항 7

제1항 내지 제5항의 어느 한 항에 있어서,

상기 레이저 빔의 평균 에너지는 50mJ인 체성 감각 유도 시스템.

청구항 8

레이저 빔의 파라미터를 제어하고, 매질의 일면에 레이저를 조사하는 레이저 조사장치; 및

일면은 상기 레이저가 피조사되고, 이면은 사용자의 피부조직과 접하며, 상기 사용자의 피부조직에 상기 피조사된 레이저에 의해 발생된 스트레스파에 의한 체성감각을 유도하는 매질;을 포함하고,

상기 레이저 조사 장치는 상기 레이저 빔의 에너지 세기를 제어하여 상기 레이저 빔이 매질에 조사될 때, 매질이 13g 이상으로 가속되도록 제어하는 체성감각 유도 시스템.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 레이저 조사 장치는 상기 레이저 빔의 에너지 세기 및 주파수를 제어하여 상기 레이저 빔이 매질에 조사될 때, 매질의 온도가 34℃ 내지 60℃ 이하로 가열되도록 제어하는 체성감각 유도 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 레이저 조사 장치는 스트레스파가 매질의 최대 인장 강도보다 작도록 제어하는 체성감각 유도 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 간접 자극에 의한 체성감각 유도 시스템에 관한 것으로, 구체적으로는 펄스 레이저를 체성감각을 유도하고자 하는 사용자 피부에 부착된 매질에 조사시킴으로써 레이저의 피부 직접 조사에 의한 피부 손상을 원천적으로 배제하고 안전기준 내에서 사용자 피부에 체성감각을 유도하는 시스템에 관한 것이다.

[0002] 특히 본 발명은, 사용자 피부에 접하는 매질의 파라미터 및 레이저 빔의 파라미터를 조절하여 사용자에게 다양한 느낌의 체성감각을 유도하게 할 수 있는 체성감각 유도 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0004] 레이저 장치란 방사의 유도 방출에 의한 광증폭(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)을 이용하여 빛을 방출하는 장치를 의미한다.

[0005] 이러한 레이저 장치는 방향, 위상, 파장이 고른 인공의 빛을 방출하는데, 위와 같이 속성을 제어할 수 있음에 기하여 상기 레이저 장치는 통신, 의료, 나노기술, 정밀 공작 기계 영역 등 다양한 산업 분야에서 많이 활용되고 있다.

[0006] 한편, 레이저는 크게 매질에의 손상을 동반하는 기전과 매질에의 손상을 동반하지 않는 기전 등 두 가지 기전으로 구현될 수 있다.

[0007] 매질에의 손상을 동반하는 기전은 광학 절연파괴(Laser induced optical breakdown)나 레이저 제거(Laser ablation)에 의해 나타나는 것으로, 이러한 기전은 생체 자극 및 의료 수술 분야 등에서 활용된다.

[0008] 이에 반해 매질에의 손상을 동반하지 않는 기전은 열탄성 효과(Laser induced thermo-elastic effect)라 불리는 것으로 매질의 손상 없이도 스트레스 파(wave)를 발생시키는 기전을 일컬으며, 이러한 열탄성 효과는 비파괴 검사(non-destructive inspection), 의료영상(imaging) 등에 활용될 수 있다.

[0009] 최근에는 이렇게 생체 손상이 없는 레이저 장치에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 특히 생체 손상을 발생시키지 않는 레이저의 속성 범위를 찾는 연구가 구체적으로 진행되고 있다.

[0010] 그러나 한편, 위와 같이 매질, 그 중에서도 생체 조직에 손상을 발생시키지 않는 레이저의 경우, 사람의 피부

조직에 조사하였을 때 피부 손상이 없다는 점에서는 의미가 있는 성과물로서 인정받았으나, 피부 조직에 충분한 정도의 자극이 유발되지 않는다는 문제점이 동시에 존재하여 왔다.

[0011] 너무 큰 에너지를 조사하게 되면 매질이 손상될 수 있으며 너무 작은 에너지를 조사하면 체성감각이 유도되지 않을 수 있기 때문에, 매질의 특성이 중요하며 매질에 특성에 따라 레이저 빔의 에너지를 적절히 조절하는 것이 중요하다.

[0012] 이 건 발명은 이와 같이 생체 조직에 손상을 발생시키지 않는 레이저가 생체 조직에 적절한 크기의 자극을 유도하지 못한다는 문제점을 해결하고자 발명된 것으로, 이상에서 살핀 기술적 요구를 충족시킴은 물론, 본 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 발명할 수 없는 추가적인 기술요소들을 제공하기 위해 발명되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 10-1382366호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 매질에 레이저를 조사함으로써 피부의 손상없이 체성감각을 유도하는 것을 목적으로 한다.

[0016] 또한, 본 발명은 매질에 레이저를 조사할 때, 최적의 체성감각을 유도할 수 있는 매질을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0017] 또한, 본 발명은 매질에 레이저를 조사할 때, 레이저 빔의 파라미터를 조절하여 체성감각을 유도하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템은 레이저 빔의 파라미터를 제어하고, 매질의 일면에 레이저를 조사하는 레이저 조사장치; 및 일면은 상기 레이저가 피조사되고, 이면은 사용자의 피부조직과 접하며, 상기 사용자의 피부조직에 상기 피조사된 레이저에 의해 발생된 스트레스파에 의한 체성감각을 유도하는 매질;을 포함하고, 상기 매질의 흡수계수는 $0.25mm^{-1}$ 내지 $32.08mm^{-1}$ 일 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 매질의 밀도는 110 $kg \cdot m^{-3}$ 내지 5240 $kg \cdot m^{-3}$ 일 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 매질의 비열은 240 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ 내지 15580 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ 일 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 매질의 열팽창 계수는 0.6×10^{-4} K^{-1}내지 8.5×10^{-3} K^{-1} 일 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 매질의 영률은 535Mpa 이하일 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 레이저 빔의 평균 직경은 5mm 일 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 레이저 빔의 평균 에너지는 50mJ일 수 있다.

[0027] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템은 레이저 빔의 파라미터를 제어하고, 매질의 일면에

레이저를 조사하는 레이저 조사장치; 및 일면은 상기 레이저가 피조사되고, 이면은 사용자의 피부조직과 접하며, 상기 사용자의 피부조직에 상기 피조사된 레이저에 의해 발생된 스트레스파에 의한 체성감각을 유도하는 매질;을 포함하고, 상기 레이저 조사 장치는 상기 레이저 빔의 에너지 세기를 제어하여 상기 레이저 빔이 매질에 조사될 때, 매질이 13g 이상으로 가속되도록 제어할 수 있다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 레이저 조사 장치는 상기 레이저 빔의 에너지 세기 및 주파수를 제어하여 상기 레이저 빔이 매질에 조사될 때, 매질의 온도가 34℃ 내지 60℃ 이하로 가열되도록 제어할 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 체성감각 유도 시스템에서, 상기 레이저 조사 장치는 스트레스파가 매질의 최대 인장 강도보다 작도록 제어할 수 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명에 따르면 피부조직의 손상 없이 체성감각을 유도시킬 수 있는 효과가 있다.

[0032] 또한 본 발명에 따르면, 피부 조직의 손상 없이 체성감각을 유도할 수 있는 매질 특성을 제공하므로, 매질 특성을 만족하는 다양한 매질을 선택할 수 있다.

[0033] 또한 본 발명에 따르면, 체성감각을 유도할 수 있는 매질의 흡수계수, 밀도, 비열, 열팽창 계수 및 영률을 제공할 수 있다.

[0034] 또한 본 발명에 따르면, 체성감각을 유도할 수 있는 펄스 레이저의 에너지 세기 및 주파수 등을 제어함으로써 다양한 느낌의 체성감각을 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0035] 또한 본 발명에 따르면, 사용자 피부조직에 직접 레이저를 조사하는 것에 비하여 더 뚜렷하게 체성감각을 유도할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 본 발명에 따른 체성감각 유도 시스템의 개략적인 구성도이다.

도 2는 본 발명에 따른 레이저 조사 장치의 세부 구성을 나타낸 블록도이다.

도 3은 체성 감각 인지율을 알아보기 위한 실험 데이터를 나타낸 그래프이다.

도 4는 레이저 펄스 에너지의 세기 및 주파수에 따른 매질의 손상 정도를 나타낸 것이다.

도 5는 매질의 열팽창 계수 도출을 나타낸 그래프이다.

도 6은 흡수계수에 따른 온도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 7은 흡수계수와 온도 변화와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 8은 흡수계수에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 9는 흡수계수와 가속도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 10은 밀도에 따른 매질의 온도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 11은 밀도와 온도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 12는 밀도에 따른 매질의 최대 가속도 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 13은 밀도와 가속도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 14는 비열에 따른 매질의 온도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 15는 비열과 온도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 16는 비열에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 17은 비열과 가속도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 18은 온도 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다.

도 19는 열팽창 계수에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 20은 비열과 가속도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

도 21은 영률에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이다.

도 22는 영률과 가속도와의 관계를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0039] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0040] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다.

[0041] 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제2 구성요소는 제1구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제1 구성요소도 제2 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0042] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0043] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0044] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0045] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0047] 도 1은 본 발명에 따른 체성감각 유도 시스템(1000)의 구성을 간략하게 나타낸 것이다.

[0048] 도 1에 따르면, 체성감각 유도 시스템(1000)은 레이저 조사장치(100) 및 매질(200)을 포함한다.

[0049] 먼저 레이저 조사장치(100)는 레이저 빔의 다양한 파라미터를 제어하며, 파라미터가 제어된 상태로 레이저를 특정 타겟, 정확하게는 사용자의 피부조직과 맞닿아 있는 매질(200)에 조사하는 기능을 한다.

[0050] 이와 같은 기능을 하기 위해 레이저 조사장치(100)는 세부적으로 많은 서브구성을 포함할 수 있는데 이에 대해서는 도 2에 도시되어 있다.

[0051] 상기 레이저 조사장치(100)는 펄스 폭(Pulse width), 펄스 주파수, 에너지의 세기, 레이저 조사시간 또는 빔 직경과 같은 파라미터를 제어할 수 있다.

[0052] 또한 본 상세한 설명에서 언급되는 레이저의 파장은 일반적으로 산업분야에서 이용되는 445nm, 480nm, 532nm, 650nm, 809nm, 850nm 또는 1064nm 중 어느 하나인 것을 전제로 한다. 다만, 본 발명에서의 레이저 파장이 위 특정 수치에 한정되는 것은 아니며, 통상의 기술자가 용이하게 구현해 낼 수 있는 범위에서 레이저 파장의 수치는 변동될 수 있음을 이해해야 할 것이다.

[0054] 도 2를 참조하면, 레이저 조사장치(100)는 레이저 출력부(110), 주파수 컨트롤부(120), 에너지 컨트롤부(130), 직경 컨트롤부(140), 입력부(150), 디스플레이(160), 제어부(170)를 포함한다. 한편, 이 때 레이저 조사장치(100)를 구현하기 위해서는 제어부(170) 및 레이저 출력부(110)가 필수적으로 포함되며, 여타 기능부들은 사용자의 필요에 따라 포함 또는 배제가 가능하다.

[0055] 먼저 레이저 출력부(110)는 펄스 레이저를 출력하는 구성으로서 레이저 드라이버(laser driver), 냉각 장치를 포함할 수 있다. 레이저 드라이버는 레이저 매질(200)(laser medium), 광 펌핑부(optical pumping), 광 공진기(optical resonator) 등의 서브장치를 포함할 수 있으며, 펄스 레이저를 구현하기 위한 광 신호를 생성한다. 또한 상기 냉각 장치는 상기 레이저 드라이버가 광 신호를 생성하는 과정에서 발생할 수 있는 열을 식히는 것으로서, 상기 레이저 드라이버의 과열로 인한 오작동을 예방하는 역할을 한다.

[0056] 또한, 상기 레이저 출력부(110)는 펄스 레이저를 생성하기 위해 다양한 방식으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 루비 레이저, 네오디뮴: 야그 레이저, 네오디뮴: 글래스 레이저, 레이저 다이오드, 엑시머 레이저, 색소 레이저 등의 방식으로 구현될 수 있다. 참고로, 아래 후술하게 될 실험예에서는 네오디뮴: 야그 레이저를 사용하여 펄스 레이저를 생성하게 됨을 알아 둔다.

[0057] 다음으로 주파수 컨트롤부(120)는 조사되는 레이저의 단위 시간당 펄스 진동수를 제어하는 기능을 한다. 레이저의 출력이 하이(high)일 때와 로우(low)일 때가 각각 1회 진행될 때를 1싸이클이라 가정할 때, 상기 주파수 컨트롤부(120)는 단위 시간, 예를 들어 1초에 몇 번의 펄스 싸이클을 포함시킬 것인지 설정할 수 있으며, 사용자는 이와 같은 설정 작업을 통해 펄스 레이저의 주파수를 제어할 수 있다.

[0058] 한편, 본 발명에서의 펄스 레이저 주파수는 바람직하게는 1Hz부터 70Hz까지 자유롭게 제어가 가능한 것으로 이해하여야 할 것이며, 나아가 주파수가 0Hz인 경우, 즉 싸이클 반복 없이 1회의 레이저 출력만 하는 싱글샷(single shot)도 설정 가능한 것으로 이해하여야 한다.

[0059] 다음으로 에너지 컨트롤부(130)는 조사되는 레이저의 에너지 세기를 제어하는 기능을 한다. 에너지 세기는 밀리줄(mJ) 단위로 표현되는데, 본 발명에서의 에너지 세기는 바람직하게는 0mJ부터 30mJ까지 제어될 수 있다.

[0060] 한편, 본 에너지 컨트롤부(130)는, 실제로는 광필터에 의해 구현될 수 있는데, 이러한 광필터는 펄스 레이저의 세기를 감쇄시키기 위한 감쇄 장치(Attenuator)를 포함할 수 있다.

[0061] 다음으로 직경 컨트롤부(140)는 조사되는 레이저의 직경을 조절하거나 상기 레이저를 조사하고자 하는 타겟점에 정확히 포커싱하기 위한 구성이다.

[0062] 직경컨트롤부는 레이저를 한 점으로 집속하기 위한 볼록렌즈 및 레이저를 확산시키기 위한 오목렌즈로 구현할 수 있으며, 상기 볼록렌즈와 오목렌즈의 거리를 선택적으로 조절함으로써 초점을 맞춤과 동시에 조사되는 레이저의 직경을 제어할 수 있다.

[0063] 한편, 상기 레이저 조사장치(100)는 사용자의 조작 편의성을 돕기 위한 구성으로서 입력부(150) 및 디스플레이(160)를 더 포함할 수 있다.

[0064] 입력부(150)는 상기 레이저 조사장치(100)의 구동에 필요한 설정입력을 사용자로부터 수신하는 구성이다. 본 입력부(150)는 패드, 터치스크린, 마우스 등 다양한 종류의 입력 장치로 구현될 수 있다.

[0065] 한편, 디스플레이(160)는 상기 레이저 조사장치(100)의 동작 상태 및 동작 결과를 표시하거나 레이저의 설정 파라미터 등 각종 정보를 사용자에게 보여주기 위한 구성이다. 본 디스플레이(160)는 각종 메뉴를 비롯하여 사용자가 입력한 정보 및 사용자에게 제공하고자 하는 정보를 표시할 수 있으며, 액정 표시 장치(LCD), OLED, 음성 출력 장치 등으로 구현될 수 있다.

[0066] 마지막으로, 레이저 조사장치(100)는 앞서 설명한 레이저 출력부(110), 주파수 컨트롤부(120), 에너지 컨트롤부(130), 직경 컨트롤부(140), 입력부(150), 디스플레이(160)를 제어하기 위한 제어부(170)를 더 포함한다.

[0067] 제어부(170)는 적어도 하나의 연산 수단과 저장 수단을 포함할 수 있으며, 이 때 연산 수단은 범용의 중앙연산장치(CPU)일 수도 있고, 특정 목적에 적합하게 구현된 프로그래머블 디바이스 소자(CPLD, FPGA), 주문형 반도체 연산장치(ASIC) 또는 마이크로 컨트롤러 칩일 수도 있다. 또한, 저장 수단으로는 휘발성 메모리 소자, 비휘발성 메모리 소자 또는 비휘발성 전자기적 저장 소자가 활용될 수 있다.

[0069] 다시 도 1을 참조하면, 상기 매질(200)은 접착 특성이 있는 물질로서, 바람직하게는 아크릴계 폴리머로 제조된 것일 수 있다. 이 때 매질(200)은 점착제로서 명확하게 고체, 액체로 구별될 수 없는 반 유동체, 즉 탄성물질일 수 있으며, 상기 매질(200)은 완전 합성 폴리머(polymer)로서 표면이 매끈하고 무색의 색상을 가지며, 점착력이 우수한 속성을 가지는 것을 특징으로 한다. 나아가 상기 매질(200)은 우수한 내열성, 내습성, 내한성의 성질까지 가진다.

[0070] 본 발명에 따른 체성감각 유도 시스템(1000)이 종래의 기술과 구별되는 점은 위와 같이 사용자의 피부조직과 레이저 조사장치(100) 사이에 매질(200)이라는 새로운 구성을 둔다는 점이다.

[0071] 즉, 종래 생체 자극을 최소화 시키기 위한 레이저의 경우 직접 사람의 생체 조직에 조사했을 때에도 손상이 발생하지는 않았으나, 생체 조직에 유도되는 자극이 충분히 강하지 않았으며, 이와 같은 문제점을 해결하고자 본 발명은 레이저를 흡수할 수 있는 매질(200)을 해결책으로 제시하는 것이다.

[0072] 본 발명과 같이 매질(200)을 매개로 생체 조직에 레이저를 조사하는 경우, i) 사람마다 다른 생체 조직의 특성 영향을 덜 받아 개인차 없는 열 및 열탄성 효과를 유도할 수 있다는 점, ii) 레이저가 직접 생체 조직에 조사되는 것에 비하여 레이저 피부 직접 조사에 의한 손상을 원천적으로 배제할 수 있어 보다 안전한 촉감 유도가 가능하다는 점, iii) 매질이라는 새로운 구성요소를 둠으로써 조사하는 레이저, 매개물인 매질(200)의 더 다양한 조합을 구현할 수 있고 이에 따라 유도시킬 수 있는 촉감의 종류도 다양해질 수 있다는 점, iv) 동일한 레이저 조건에서 매질의 종류 또는 접합 가능한 매질의 두께 등을 제어하여 다양한 열 및 열탄성 효과를 유도할 수 있다는 점에서 효과가 있다.

[0073] 한편 본 발명에 따른 체성감각 유도 시스템(1000)이 사용자의 피부에 촉감을 유도하는 방식은 다음과 같다.

[0074] 레이저가 매질(200)에 입사되면 광학계수(흡수계수, 산란계수, 굴절률, 비등방성 계수)에 의해 매질(200) 내 광에너지 분포가 달라지고, 매질(200) 내로 흡수된 에너지는 열 탄성 효과를 유도하여 스트레스파를 발생시킨다. 물론 이 때 모든 에너지는 흡수한 레이저가 소스가 되어 제공한다.

[0075] 한편 열 탄성 효과란, 매우 짧은 펄스폭을 가지는 레이저가 매질(200)에 흡수되는 경우 순간적으로 레이저 흡수에 의해 흡수부위가 국소적으로 가열이 되는데, 가열된 부분의 압력이 순간적으로 증가하고 열팽창이 발생하면서 동시에 압력파를 생성시켜 주변 매질(200)로 에너지를 전달하게 되는 효과를 가리킨다. 이 때 주변으로 전달되는 압력파를 스트레스파라 하며 이러한 스트레스파는 위와 같은 방식으로 탄성을 가지는 매질(200)의 내부에 전달된다.

[0076] 한편, 상기 매질(200)은 사용자의 피부조직에 맞닿아 있으므로, 위 일련의 과정 중에서 발현되는 매질(200)의 국소적인 팽창, 압력증가 등의 기계적 변형은 상기 사용자 피부조직으로 하여금 촉감을 느낄 수 있게 한다.

[0077] 다른 한편, 상기 매질(200)은 탄성이 좋은 물질로 제조되는 것인 이상 사용자의 다양한 신체조직, 외형에 적용이 가능하며 예를 들어 손가락, 손바닥, 팔, 다리 등 서로 다른 외형을 가지는 신체조직에 촉감을 유도할 수 있는 효과가 있다.

[0078] 한편, 레이저 흡수에 의해 매질(200) 내부에 발생하여 전파되는 스트레스파는 다음과 같은 식에 따라 그 크기가 결정된다.

수학식 1

[0079] $$p=\frac{1}{2}p_{\max}*\exp[-\mu_a(z-c_s t)]$$

수학식 2

[0080] $$p_{\max}=\mu_a\Gamma H_0$$

[0081] 이 때 p_{max}는 입사되는 스트레스파의 최대크기, c_s는 음파의 속도, μ_a는 매질의 흡수계수, Γ는 그뤼나이젠 상수, H_0는 흡수에너지밀도(absorbed fluence)를 나타낸다.

[0082] 위 수학식 1 및 2에 따르면, 신체조직에 더 큰 촉감을 유도하기 위해서는 스트레스파의 최대크기를 높일 필요가 있다. 이를 위해서는 흡수계수, 그뤼나이젠 상수가 높은 매질을 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

[0083] 한편 이 때 그뤼나이젠 상수란 매질 결정의 고유 상수로서 열팽창에 따라 포논(음향양자. 결정 격자의 양자화된 진동을 나타내는 준입자)의 에너지가 바뀌는 정도를 나타내는 지표이다.

[0085] 또 다른 한편, 매질의 어쿠스틱 임피던스(acoustic impedance) 측면에서 살펴볼 때, 일반적으로 매질 경계면에서의 투과 계수는 다음 수학식 3과 같이 정해진다.

수학식 3

[0086] $$\text{투과계수}(T)=\frac{p_t}{p_i}=\frac{2Z_2}{Z_2+Z_1}$$

[0087] 이 때, p_t는 매질을 통과하는 스트레스파의 크기, p_i는 매질을 향해 입사되는 스트레스파의 크기, Z_1은 입사방향 매질인 제1매질의 어쿠스틱 임피던스, Z_2는 스트레스파가 나오는 방향의 매질인 제2매질의 어쿠스틱 임피던스를 의미한다. 이 때, 어쿠스틱 임피던스란 특정 파(wave)가 전파될 때 그 파면에 평행인 면에서의 압력을 그 면을 통과하는 파동의 부피속도로 나눈 값을 의미한다. 다른 관점에서, 어쿠스틱 임피던스는 파(wave)가 매질을 통과할 때에 받는 저항을 의미한다.

[0088] 한편 수학식 3에 따르면, 스트레스파가 매질을 더 잘 통과하기 위해서는 제2매질의 어쿠스틱 임피던스가 제1매질의 어쿠스틱 임피던스에 비해 큰 것이 바람직하다. 즉, 두 개의 매질이 접해 있는 경우, 파(wave)가 입사되는 제1매질의 어쿠스틱 임피던스(Z_1)는 작고, 파(wave)가 나오는 제2매질의 어쿠스틱 임피던스(Z_2)는 클 때에 투과계수(T)가 높아진다.

[0089] 즉, 이를 본 발명에 적용하면 매질(200)은 신체조직(피부)의 어쿠스틱 임피던스에 비해 작은 크기의 어쿠스틱 임피던스를 가지는 것으로 함이 바람직하다.

[0091] 한편, 상기 매질(200)에 피부에 체성감각을 유도하기 위해서는 펄스 레이저가 매질에 조사될 때 매질이 일정 가속도 이상으로 가속되어야 한다. 또한, 매질이 열에 의해 손상되지 않아야 하므로 매질이 일정 온도 이상 올라가지 않도록 레이저의 파라미터를 조절해야 한다. 또한, 체성감각을 유도하기 위해서는 매질에 의해 발생하는 스트레스파가 매질의 최대 인장 강도 이하이어야 한다.

[0092] 즉, 매질은 1)일정 속도 이상으로 가속되어야 하고, 2) 매질이 일정 온도 이하로 유지되어야 하고, 3) 스트레스파가 매질의 인장 강도이하 이어야 한다.

[0094] 이하에서는 상기 3가지 조건을 만족하는 수치에 대해 구체적으로 살펴본다.

[0095] 도 3은 체성 감각 인지율을 알아보기 위한 실험 데이터를 나타낸 그래프이다.

[0096] 도 3의 (a)는 레이저 빔의 에너지 세기와 인지율과의 관계를 나타낸 것이고, 도 3의 (b)는 시간에 따른 매질의 가속을 나타낸 것이고, 도 3의 (c)는 레이저 펄스 에너지와 매질의 가속 관계를 나타낸 것이다.

[0097] 도 3(a)을 참조하면, 레이저 펄스 에너지가 6.53m에서 인지율이 50% 정도인 것을 확인할 수 있다. 펄스 에너지의 세기가 커질수록 인지율도 함께 상승한다. 도시된 바와 같이, 펄스 에너지의 세기가 6.8mJ인 경우 인지율이 60% 정도이고, 펄스 에너지의 세기가 커질수록 인지율도 함께 상승하여 펄스 에너지가 8.22mJ 정도이면 인지율이 100% 달성된다.

[0098] 그리고 도 3의 (b)를 참조하면, 펄스 에너지의 세기에 따라 약간의 차이는 있지만 펄스 에너지가 매질에 조사되는 순간에 매질이 급격히 가속되는 것을 확인할 수 있다. 그래프를 참조하면, 레이저가 조사되는 순간 가속도가 15g(g는 중력 가속도)까지 급격히 상승한다.

[0099] 그리고 도 3의 (c)는 펄스 에너지의 세기와 가속도와의 관계를 나타낸 것이다. 매질의 가속도는 펄스 에너지의 비례하며, 아래 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

[0100] $$y=1.971x$$

[0101] 이때 y는 매질의 가속도이고, x는 레이저 펄스 에너지의 세기이다.

[0102] 상기 수학식 4에 의하면, 펄스 에너지의 세기(x)가 6.23mJ일 때 매질의 가속도(y)는 13g(g는 중력 가속도)가 된다.

[0103] 앞서 도 3의 (a)에서 살펴 본 바와 같이 펄스 에너지가 6.23mJ일 때 인지율이 50%이므로, 인지율 50%이상을 달성하기 위해서 매질은 최소한 13g 이상으로 가속되어야 함을 알 수 있다.

[0104]

[0105] 도 4는 레이저 펄스 에너지의 세기 및 주파수에 따른 매질의 손상 정도를 나타낸 것이다.

[0106] 도 4의 (a)는 펄스 에너지와 주파수의 변화에 따른 손상 및 미손상 범위를 나타낸 것이고, 도 4의 (b)는 펄스 에너지 및 주파수를 달리하면서 매질의 온도 변화를 나타낸 그래프이다.

[0107] 도 4를 참조하면, 펄스 에너지가 10mJ일 경우에는 주파수와 무관하게 매질은 손상되지 않는다.

[0108] 하지만 펄스 에너지가 15mJ인 경우에는, 주파수가 60Hz에서 70Hz가 되는 경우 매질의 온도가 53℃에서 60℃까지 상승하면서 매질이 손상된다.

[0109] 그리고 펄스 에너지가 20mJ인 경우에는 주파수가 30Hz에서 40Hz가 되는 경우 매질의 온도 변화가 34℃에서 45℃까지 상승하면서 매질이 손상되고, 펄스 에너지가 25mJ인 경우에는 주파수가 30Hz에서 40Hz가 되는 경우 매질의 온도 변화가 43℃까지 상승하면서 매질이 손상된다.

[0110] 즉, 실험을 통해 매질이 체성감각을 유도하기 위해서는 매질의 온도 변화가 34℃ 내지 60℃ 이하로 유지되어야 함을 확인할 수 있었다.

[0111] 상기 도 4의 그래프를 정확한 수치로 나타내면 아래 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

표 1

[0113]

펄스 에너지(mJ)/주파수(Hz)	온도 범위(℃)	손상 한계치
15/60-70	53-60℃	34-60℃
20/30-40	34-45℃	
25/30-40	43-56℃	

[0115] 마지막으로, 레이저 펄스에 의해 발생되는 스트레스파는 매질의 최대 인장 강도(Ultimate Tensile Strength, UTS) 이하이어야 하는데, 일반적인 폴리머에 대한 최대 인장 강도는 40-75MPa이다. 따라서 폴리머가 매질로 사용하는 경우 스트레스파는 40MPa 이하로 유지되어야 한다.

[0117] 상기 실험에서 사용한 아크릴계 폴리머 재질은 상기 3가지 조건을 모두 만족시킬 수 있었고, 따라서 매질을 통해서도 체성감각을 유지할 수 있다.

[0119] 아래 표2는 아크릴계 폴리머 소재의 특성 파라미터를 나타낸 것이다.

표 2

[0120]

Mechanical Property	Value	Remark
Poisson's Ratio 포아송비	0.49	Ref.
Young's Modulus 영률 [MPa]	26.05	측정
Physical and Thermal Property		
Density 밀도 [kg·m^{-3}]	1014	측정
Specific Heat 비열 [J·kg^{-1}·K^{-1}]	2269	측정
Thermal Conductivity 열전도도 [W·m^{-1}·K^{-1}]	0.3073	측정
Thermal Expansion Coefficient 열팽창계수 [K^{-1}]	4.15×10^{-4}	Fitted
Optical Property		
Absorption Coefficient 흡수계수 [mm^{-1}]	3.4365	측정
Index of Refraction 굴절률	1.52	측정

[0122] 이때의 레이저 빔의 직경(1/e 기준)은 5.0㎜이고, 매질의 샘플 반경은 15㎜이며, 레이저 펄스 에너지는 50mJ이며, 샘플의 두께는 2.2㎜이며 레이저 펄스의 폭은 8.0ns이다.

[0123] 상기 표2에서, Ref.는 실험을 통해 측정한 값이 아니라 공지된 포아송비를 사용했음을 의미한다. 그리고 Fitted는 직접 실험을 통해 측정한 값은 아니지만 레이저 펄스 에너지와 매질 가속도와의 관계를 통해 도출한 값을 의미한다.

[0125] 도 5는 매질의 열팽창 계수 도출을 나타낸 그래프이다.

[0126] 도 5를 참조하면, 매질의 최대 가속도는 레이저 펄스 에너지에 비례하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 매질의 최대 가속도는 열팽창 계수에 비례하였다. 열팽창 계수가 $4.15\times10^{-4}\ K^{-1}$ 일 때, 측정 결과와 가장 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

[0128] 지금까지 매질(200)이 폴리머 아크릴계 소재인 경우, 체성 감각을 유도하기 위한 조건에 대해 살펴 보았다.

[0130] 매질(200)에 레이저를 조사하여 간접적으로 체성 감각을 유도하기 위해서는 3가지 조건을 만족하여야 한다. 즉, 1)레이저 펄스가 매질에 조사될 때 매질이 최소한 13g이상으로 가속되어야 하며, 2) 레이저 펄스가 매질에 조사될 때 매질의 온도 변화량이 34℃ 내지 60℃ 이하로 유지되어야 하고, 3) 레이저 펄스에 의해 발생하는 스트레스파가 매질의 최대 인장 강도 이하여야 한다.

[0132] 이하에서는 상기 3가지 조건을 만족하기 위한 매질의 파라미터에 대해 살펴보기로 한다.

[0134] 먼저, 흡수계수(absorption coefficient)에 대해 살펴보기로 한다.

[0135] 도 6은 흡수계수에 따른 온도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 3 및 도 7은 흡수계수와 온도 변화와의 관계를 나타낸 것이다.

[0136] 도 6을 참조하면 흡수계수가 1, 3, 4, 10, 50㎜$^{-1}$으로 증가함에 따라 온도 변화도 함께 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0137] 그리고 표 3은 도 6의 로오 데이터를 정확한 수치로 나타낸 것이다.

표 3

[0138]

흡수계수 μ_a [mm^{-1}]	최대 온도 [°C]
1.0	1.06
3.4	3.60
10.0	10.60
50.0	52.99

[0139] 상기 표 3의 수치를 그래프로 나타내면 도 7과 같이 나타낼 수 있고, 최대 온도 변화(T_{max}) = 1.06×흡수계수(μ_a)의 관계가 성립한다. 앞서 살펴본 바와 같이 매질이 손상되는 온도의 임계값은 34℃ 이다. 따라서 최대 온도 변화 (T_{max}) = 34를 대입하면, 흡수계수(μ_a) = 32.08이 도출된다.

[0140] 즉, 매질의 흡수계수의 최대치는 32.08㎜$^{-1}$ 이다.

[0142] 도 8은 흡수계수에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 4 및 도 9는 흡수계수와 가속도와의 관계를 나타낸 것이다.

[0143] 도 8을 참조하면, 흡수계수가 증가함에 따라 가속도도 증가하는 것을 확인할 수 있다. 아래 표 4는 도 8의 로오 데이터를 정확한 수치로 나타낸 것이다.

표 4

흡수계수μ_a [mm^{-1}]	최대가속도[g]
0.1	5.845
0.5	25.63
1.0	46.65
2.0	71.85
3.0	84.55
4.0	92.15
5.0	97.45
10.0	112.7
20.0	131.1
30.0	146.7

[0144]

[0146] 상기 [표 4]를 그래프로 나타내면 도 9와 같이 나타낼 수 있다.

[0147] 앞서 살펴본 바와 같이 50%의 인지율을 달성하기 위해서 매질의 가속도는 최소한 13g 이상이어야 한다. 매질의 가속도가 13g 일때 흡수계수는 0.25mm^{-1} 임을 확인할 수 있었다.

[0149] 매질의 흡수계수는 최소한 0.25보다는 커야 하고 32.08 보다는 작아야 한다. 즉, 매질의 흡수계수는 0.25 내지 32.08이 되고, 이때의 인지율은 50%이상이고, 매질 손상치인 34 ℃ 이하의 온도 상승이 일어난다.

[0150] 만약, 만약 인지율을 높이고자 한다면, 최대 가속도는 26 g로 설정하고, 온도 변화를 17℃로 설정할 수 있다. 인지율일 50% 인 경우의 조건을 안전계수 1이라고 정의하고, 인지율을 100% 달성하기 위한 조건을 안전계수 2라고 정의한다. 즉, 안전계수2는 최대 가속도는 50% 인지율을 보이는 13g의 2배로 설정하고 온도 변화는 온도 임계값 34℃의 1/2로 설정한 것이다.

[0151] 즉, 최대 가속도는 26 g로 설정하고 온도 변화를 17℃로 설정하여 상기 수식에 대입하거나 측정결과에 내삽(interpolation)을 하면, 이때의 매질 흡수계수는 0.51 mm^{-1}내지 16.04 mm^{-1} 가 된다.

[0152] 지금까지 체성감각을 유도하기에 적합한 매질의 흡수계수의 범위에 대해 살펴보았다.

[0154] 다음으로, 체성감각을 유도하기에 적합한 매질의 밀도에 대해 살펴본다.

[0155] 도 10은 밀도에 따른 매질의 온도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 5 및 도 11은 밀도와 온도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 5

[0156]

밀도 ρ [kg·m^{-3}]	최대온도[°C]
100	36.9262
300	12.3085
500	7.3853
700	5.2752
900	4.1029
1100	3.3571
1300	2.8405
1500	2.4617

[0158] 상기 표 5를 그래프로 나타내면 도 11과 같이 나타낼 수 있다.

[0159] 도 11의 그래프를 수식으로 표현하면, 온도변화(T_{max}) = 3693/밀도(r) 로 표현할 수 있다.

[0160] 최대 온도(T_{max}) = 34이면, 밀도(r) = 110이 도출된다. 즉, 매질의 밀도 하한은 110 kg · m^{-3} 이다.

[0162] 도 12는 밀도에 따른 매질의 최대 가속도 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 6 및 도 13은 밀도와 가속도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 6

[0163]

밀도 ρ [kg·m^{-3}]	최대가속도[g]
500	191.9
700	139.9
900	103.6
1100	79.05
1500	53.03
3000	19.95
5000	10.57
7000	6.45

[0165] 상기 표 6을 그래프로 나타내면 도 13과 같이 나타낼 수 있다.

[0166] 도 13의 그래프를 수식으로 표현하면, 최대 가속도(A_{max}) = $(2.592\times10^{5})\times$밀도$(r)^{-1.156}$ 로 나타낼 수 있고, 최대

가속도 A_{max} = 13g를 대입하면, 밀도(r) = 5240 $kg \cdot m^{-3}$ 이 도출된다.

[0167] 즉, 체성감각을 유도하기 위한 매질의 밀도는 110 내지 5240 $kg \cdot m^{-3}$ 이다.

[0168] 안전계수 2를 적용하여, 최대 가속도는 26 g로 설정하고 온도 변화를 17℃로 설정하면 매질 밀도는 220$kg \cdot m^{-3}$ 내지 2880 $kg \cdot m^{-3}$ 이 된다.

[0170] 다음으로, 체성감각을 유도하기에 적합한 매질의 비열에 대해 살펴본다.

[0171] 도 14는 비열에 따른 매질의 온도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 7 및 도 15는 비열과 온도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 7

[0172]

비열 C [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	최대온도[°C]
100	82.629
400	20.657
700	11.804
1000	8.263
2000	4.131
3000	2.754
4000	2.065

[0174] 상기 표 7을 그래프로 나타내면 도 15와 같이 나타낼 수 있다.

[0175] 도 15의 그래프를 수식으로 표현하면, 온도변화(T_{max}) = 8263/비열(C) 로 표현할 수 있다.

[0176] 최대 온도(T_{max}) = 34이면, 비열(C) = 240이 도출된다. 즉, 매질의 비열 하한은 240 $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ 이다.

[0178] 다음으로, 도 16는 비열에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 8 및 도 17은 비열과 가속도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 8

[0179]

비열 C[J·kg^{-1}·K^{-1}]	최대가속도[g]
1000	200.7
2000	100.2
3000	66.76
4000	50.08
8000	25.04
12000	16.76
16000	12.52

[0181] 상기 표 8을 그래프로 나타내면 도 17과 같이 나타낼 수 있다.

[0182] 도 17의 그래프를 수식으로 표현하면, 최대 가속도 (A_{max}) = 2.025×10^{5}/비열(C) 로 표현할 수 있다.

[0183] 최대 가속도(A_{max}) = 13이면, 비열(C) = 15580이 도출된다. 즉, 매질의 비열 상한은 15580 J· kg^{-1}·K^{-1} 이다.

[0185] 마찬가지로, 안전계수 2를 적용하여 최대 가속도는 26 g로 설정하고 온도 변화를 17℃로 설정하면, 매질 비열(C)은 490 J· kg^{-1}·K^{-1} 내지 7800 J· kg^{-1}·K^{-1} 이 된다.

[0187] 다음으로, 체성감각을 유도하기에 적합한 매질의 열팽창 계수에 대해 살펴본다.

[0188] 도 18은 온도 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로, 최대 온도변화량은 3.6℃로 열팽창 계수는 온도와 무관함을 확인할 수 있었다.

[0189] 한편, 최대 스트레스(S_{max})와 최대온도변화(T_{max})의 관계는 아래 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0190] $$S_{max}=\frac{E}{3(1-2\nu)}\beta T_{max}=\frac{E}{1-2\nu}\alpha T_{max}$$

[0192] 앞서, 살펴본 바와 같이 스트레스는 최대인장강도(UTS)보다 작거나 같아야 한다. 즉, 최대 스트레스(S_{max})는 최대인장강도(UTS)와 동일하다.

[0193] 따라서 열팽창 계수는 아래 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

[0194] $$\alpha = UTS\frac{1-2\nu}{E \cdot T_{max}} = 40\frac{1-2\times 0.49}{26.05\times 3.60} = 8.5\times 10^{-3}K^{-1}$$

[0195] 즉, 체성감각을 유도하기 위한 매질의 열팽창 계수 상한은 $8.5\times10^{-3}\ K^{-1}$ 이다.

[0197] 도 19는 열팽창 계수에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 9 및 도 20은 열팽창 계수와 가속도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 9

[0198]

열팽창계수 α[K^{-1}]	최대가속도[g]
0.5×10^{-4}	10.71
1.0×10^{-4}	21.41
2.0×10^{-4}	42.82
3.0×10^{-4}	64.23
4.0×10^{-4}	85.65
5.0×10^{-4}	107.06

[0200] 상기 표 9을 그래프로 나타내면 도 20과 같이 나타낼 수 있다.

[0201] 도 20의 그래프를 수식으로 표현하면, 최대 가속도 $A_{max} = 2.142\times10^{5}\times$열팽창계수(α) 로 표현할 수 있다.

[0202] 최대 가속도 (A_{max}) = 13이면, 열팽창 계수(α) = 0.6×10^{-4} 이 도출된다. 즉, 매질의 열팽창 계수 하한은 $0.6\times10^{-4}\ K^{-1}$ 이다.

[0203] 마찬가지로, 안전계수 2를 적용하여 최대 가속도는 26 g로 설정하고 최대 인장 강도를 40Mpa의 1/2인 20Mpa 로 설정하면, 매질 열팽창 계수는 $1.2\times10^{-4}\ K^{-1}$ 내지 $4.3\times10^{-3}\ K^{-1}$이 된다.

[0205] 다음으로, 체성감각을 유도하기에 적합한 매질의 영률에 대해 살펴본다.

[0206] 영률 역시 열팽창 계수와 마찬가지로 온도와 무관함을 확인할 수 있었다. 도 18에 도시된 것과 같이 최대 온도 변화량은 3.6℃로 영률은 온도와 무관함을 실험을 통해 확인하였다.

[0207] 한편, 상기 수학식 5으로부터 영률(E)을 아래 수학식 7과 같이 도출할 수 있다.

수학식 7

[0208] $$E = \mathrm{UTS}\frac{1-2\nu}{\alpha \cdot T_{\max}} = 40\frac{1-2\times 0.49}{(4.15\times 10^{-4})\times 3.60} = 535\,\mathrm{MPa}$$

[0209] 즉, 체성감각을 유도하기 위한 매질의 영률의 상한은 535MPa 이다.

[0210] 만약, 안전계수 2를 적용하여 매질의 최대 인장 강도를 20MPa로 설정하면, 영률의 상한은 268MPa이 된다.

[0212] 도 21은 영률에 따른 매질의 가속도 변화의 시뮬레이션 결과를 나타낸 로오 데이터(raw data) 그래프이고, 아래 표 10 및 도 22는 영률과 가속도와의 관계를 나타낸 것이다.

표 10

[0213]

영률 E [MPa]	최대가속도[g]
0.05	67.6
0.1	80.6
0.5	37.68
1	29.22
3	39.31
5	50.59
10	66.32
20	80.99
25	86.98
30	92.59
35	95.84
40	96.65

[0215] 상기 표 10을 그래프로 나타내면 도 22와 같이 나타낼 수 있다.

[0216] 도 22를 참조하면, 최대 가속도가 13g보다 작은 값이 존재하지 않는 것을 확인할 수 있다. 즉, 인식률 50%를 달성하기 위한 매질의 영률 하한값은 존재하지 않는다. 또한, 최대 가속도가 26g보다 작은 값도 존재하지 않으므로 안전계수 2를 달성하기 위한 매질의 영률 하한값도 존재하지 않는다.

[0218] 지금까지 체성감각을 유도하기에 적합한 매질의 여러 파라미터들에 살펴보았다.

[0219] 이들 파라미터를 정리하면 아래 표 11과 같다.

표 11

파라미터	50%인지	
	하한	상한
Absorption Coefficient 흡수계수 [mm^{-1}]	0.25	32.08
Density 밀도 [$kg \cdot m^{-3}$]	110	5240
Specific Heat 비열 [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	240	15580
Thermal Expansion Coefficient 열팽창계수 [K^{-1}]	0.6×10^{-4}	8.5×10^{-3}
Young's Modulus 영률 [MPa]	-	535

[0220]

[0221] 만약, 인식율을 높이고 손상 안정성을 향상시키고자 한다면 인지 가속도를 높이고 최대 온도를 낮춤으로써 이를 달성할 수 있다.

[0222] 아래 표 12는 안전계수 2(50% 인식율 가속도의 2배, 최대 온도변화와 스트레스의 1/2) 와 안전계수 5(50% 인식율 가속도의 5배, 최대 온도변화와 스트레스의 1/5)인 경우의 매질 파라미터를 나타낸 것이다.

표 12

파라미터	안전계수 2		안전계수 5	
	하한	상한	하한	상한
Absorption Coefficient 흡수계수[mm^{-1}]	0.51	16.04	1.73	6.42
Density 밀도[$kg \cdot m^{-3}$]	220	2880	540	1300
Specific Heat 비열[$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	490	7800	1200	3100
Thermal Expansion Coefficient 열팽창계수 [K^{-1}]	1.2×10^{-4}	4.3×10^{-3}	3.0×10^{-4}	1.7×10^{-3}
Young's Modulus 영률 [MPa]	-	268	9.58	107

[0224]

[0225] 구체적으로 살펴보면, 안전계수 2 및 안전계수 5일 때의 조건은 아래와 같다.

[0226] 안전계수 2

[0227] - 최대 가속도 26g(13g×2), 최대 온도 변화 : 17℃(34/2℃), 최대 스트레스 : 20MPa(40/2MPa)

[0228] 안전계수 5

[0229] - 최대 가속도 65g(13g×5), 최대 온도 변화 : 6.8℃(34/5℃), 최대 스트레스 : 8MPa(40/5MPa)

[0232] 이상에서 본 발명에 따른 실시예들이 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 범위의 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 다음의 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0234] 1000 : 체성감각 유도 시스템

100: 레이저 조사장치

110: 레이저 출력부

120: 주파수 컨트롤부

130: 에너지 컨트롤부

140: 직경 컨트롤부

150: 입력부

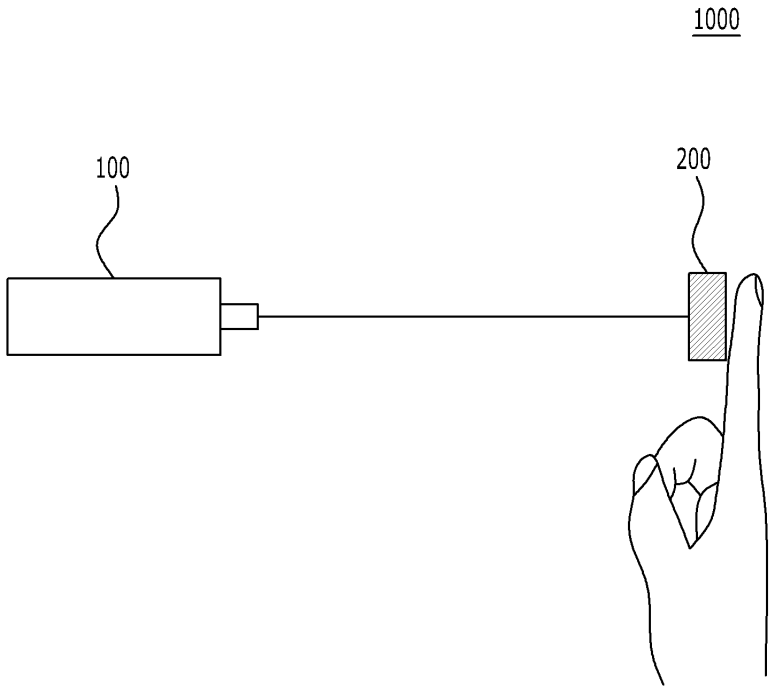
160: 디스플레이

170: 제어부

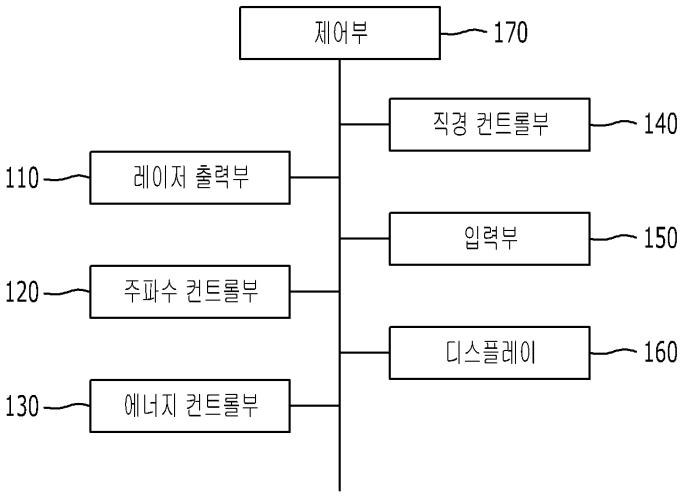
200 : 매질

도면

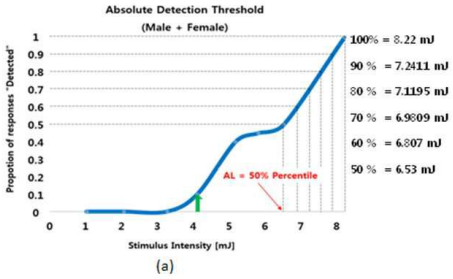
도면1



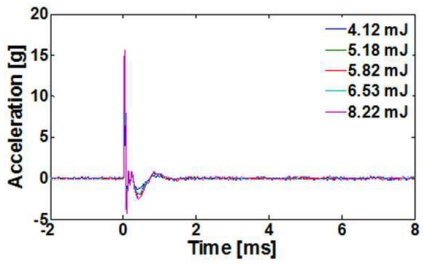
도면2


제어부
170
직경 컨트롤부
140
110
레이저 출력부
입력부
150
120
주파수 컨트롤부
디스플레이
160
130
에너지 컨트롤부

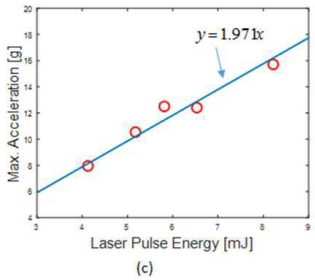
도면3


Absolute Detection Threshold
(Male + Female)
Propotion of responses "Detected"
Stimulus Intensity [mJ]
AL = 50% Percentile
100% = 8.22 mJ
90 % = 7.2411 mJ
80 % = 7.1195 mJ
70 % = 6.9809 mJ
60 % = 6.807 mJ
50 % = 6.53 mJ

(a)

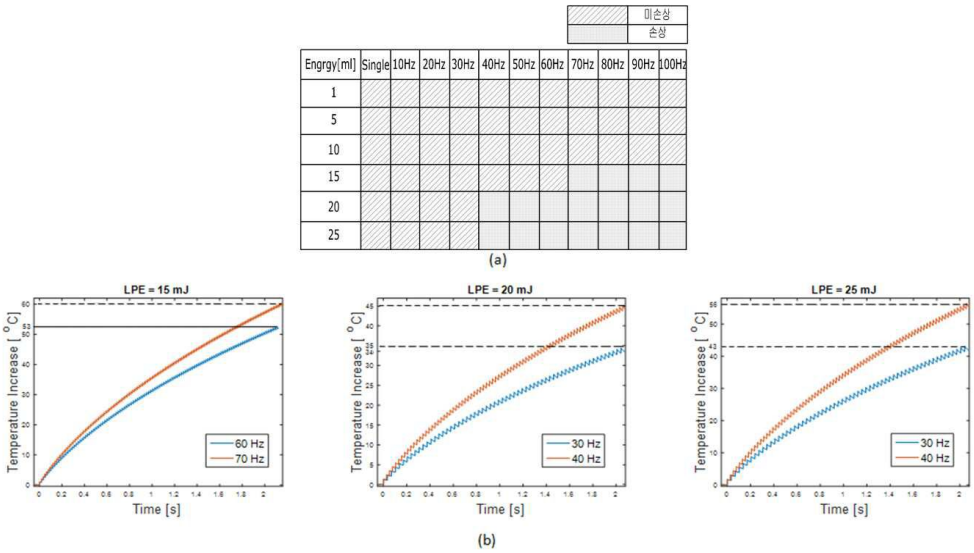

Acceleration [g]
Time [ms]
4.12 mJ
5.18 mJ
5.82 mJ
6.53 mJ
8.22 mJ

(b)

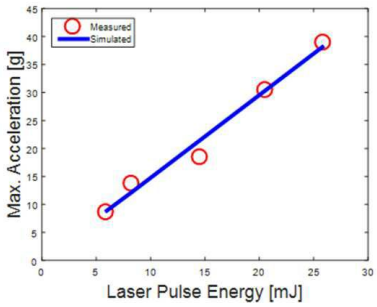

y=1.971x
Max. Acceleration [g]
Laser Pulse Energy [mJ]

(c)

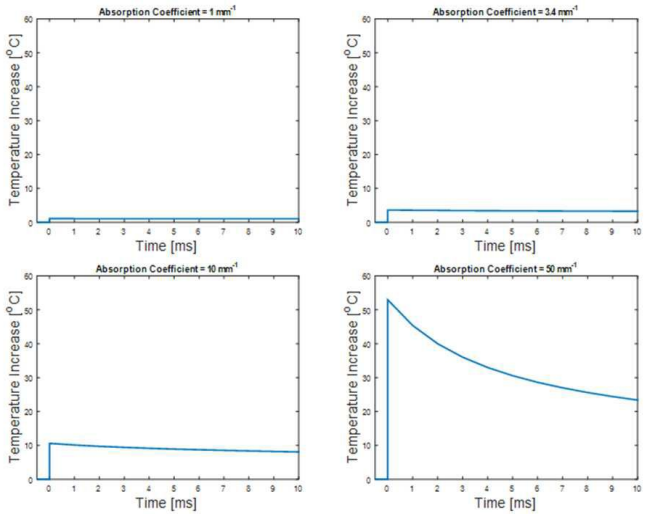
도면4


미손상
손상
Engrgy[mJ]
Single
10Hz
20Hz
30Hz
40Hz
50Hz
60Hz
70Hz
80Hz
90Hz
100Hz
1
5
10
15
20
25
(a)
LPE = 15 mJ
LPE = 20 mJ
LPE = 25 mJ
Temperature Increase [°C]
Time [s]
60 Hz
70 Hz
30 Hz
40 Hz
(b)

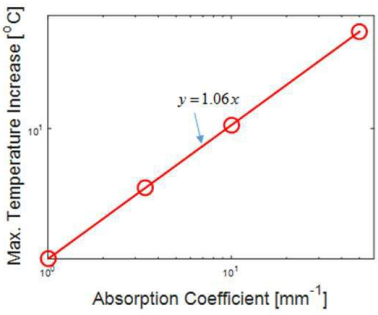
도면5


Measured
Simulated
Max. Acceleration [g]
Laser Pulse Energy [mJ]

도면6


Absorption Coefficient = 1 mm-1
Absorption Coefficient = 3.4 mm-1
Absorption Coefficient = 10 mm-1
Absorption Coefficient = 50 mm-1
Temperature Increase [°C]
Time [ms]

도면7

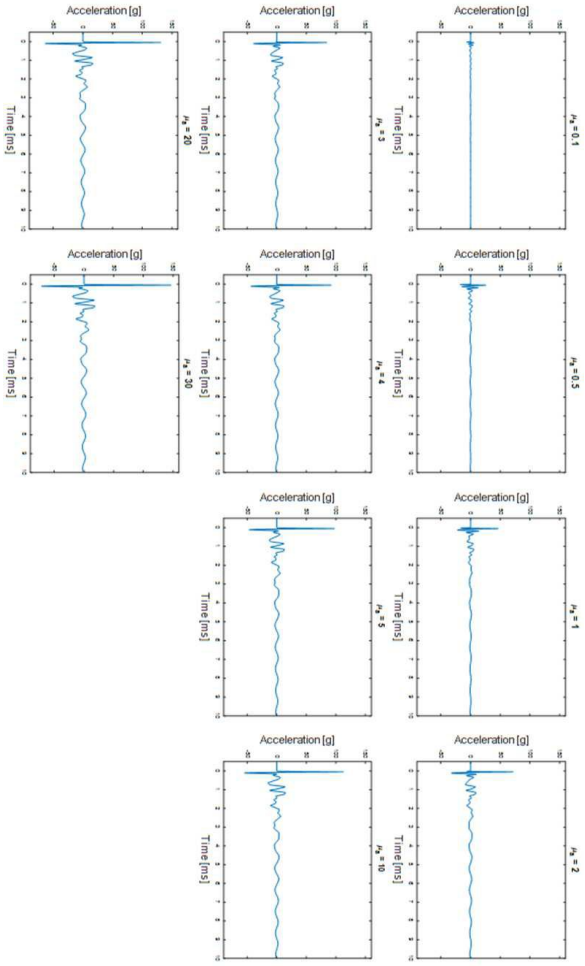


T_{max} = 34 °C

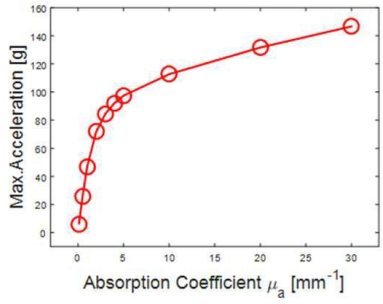
→

μ_a = 32.08 mm^{-1}

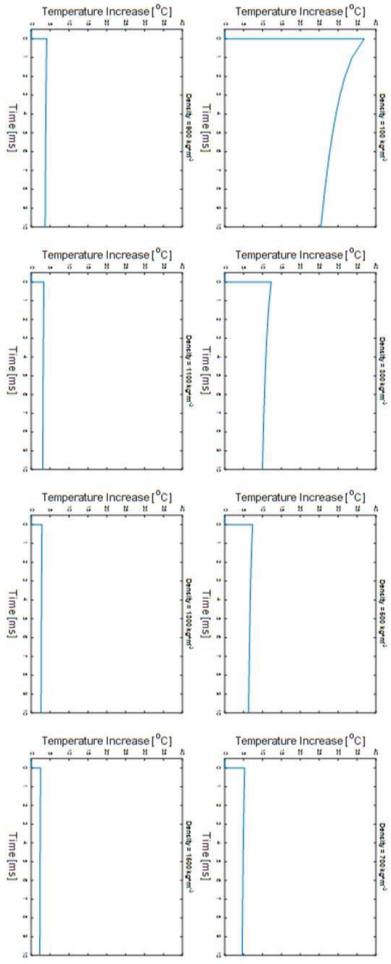
도면8



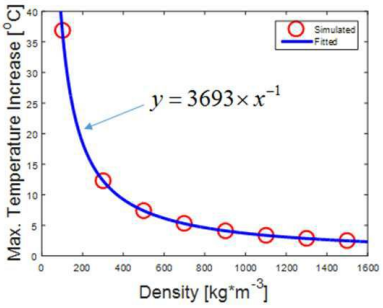
도면9


Max.Acceleration [g]
Absorption Coefficient μ_a [mm^{-1}]

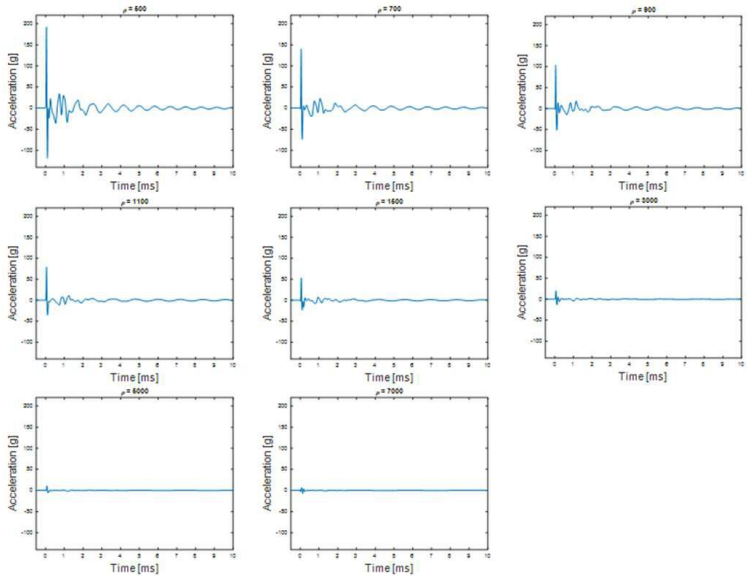
도면10


Temperature Increase [°C]
Time [ms]

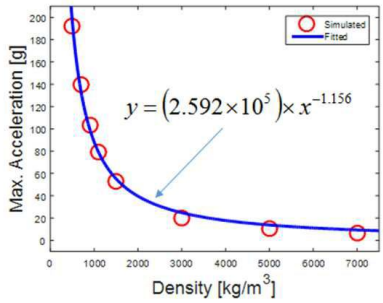
도면11



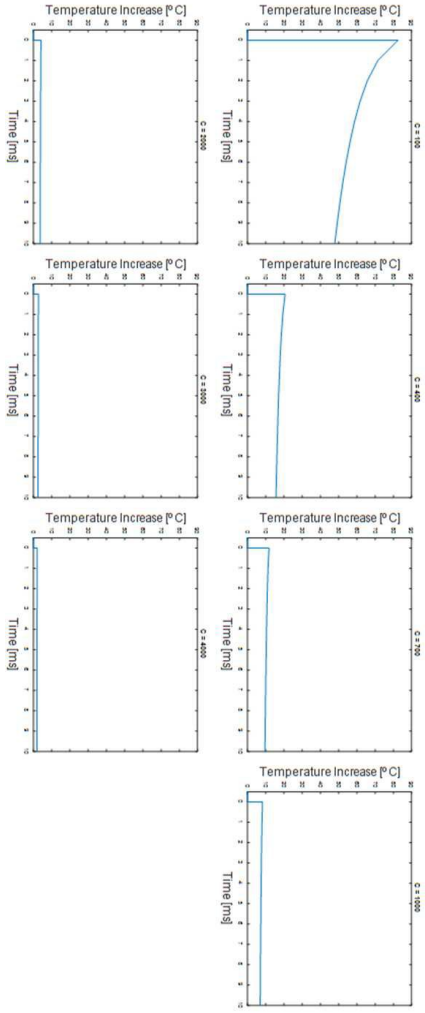
도면12



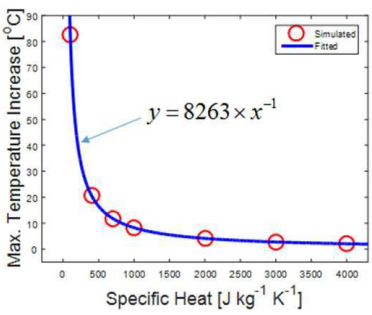
도면13



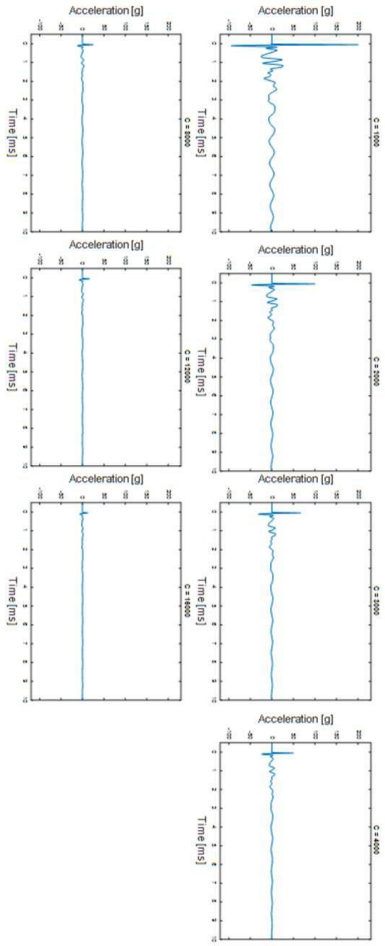
도면14


Temperature Increase [°C]
Time [ms]

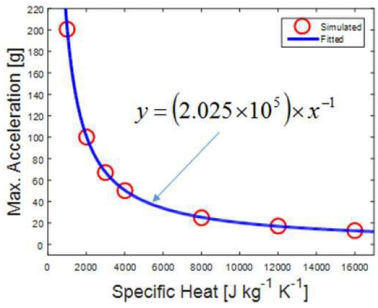
도면15


Simulated
Fitted
$y = 8263 \times x^{-1}$
Max. Temperature Increase [°C]
Specific Heat [J kg^{-1} K^{-1}]

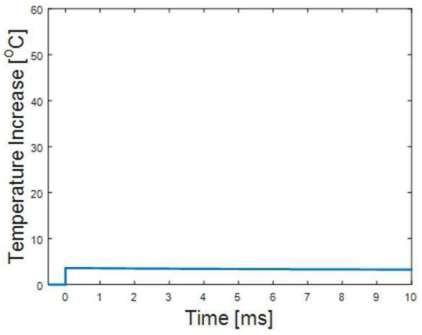
도면16


Acceleration [g]
Time [ms]

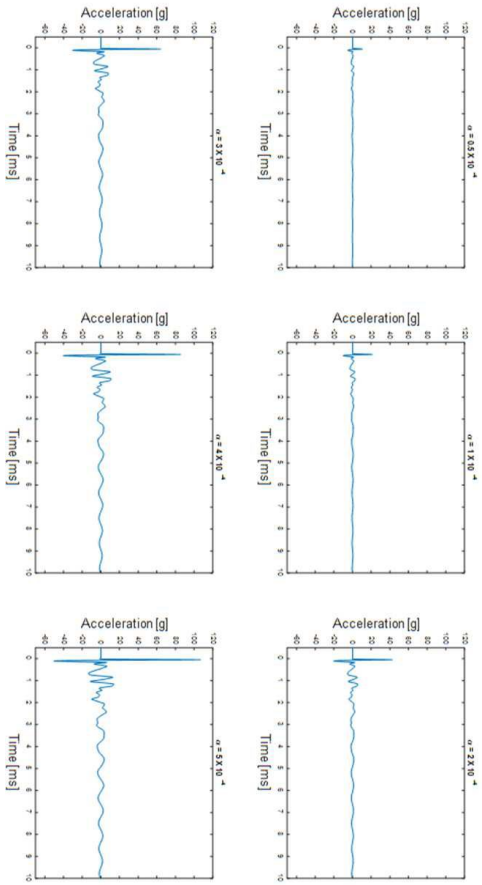
도면17


Simulated
Fitted
$y = (2.025 \times 10^5) \times x^{-1}$
Max. Acceleration [g]
Specific Heat [J kg^{-1} K^{-1}]

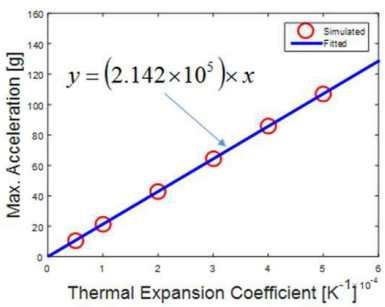
도면18



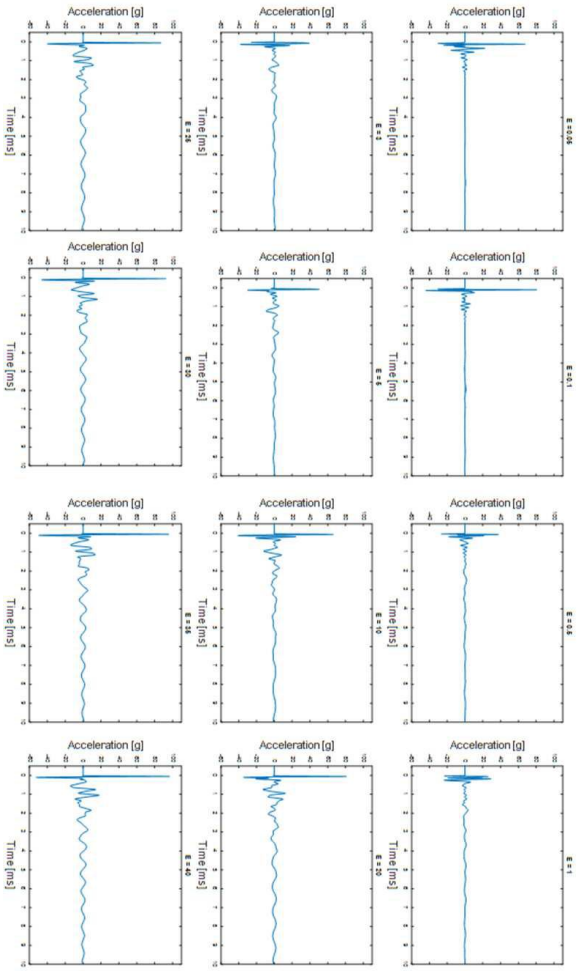
도면19



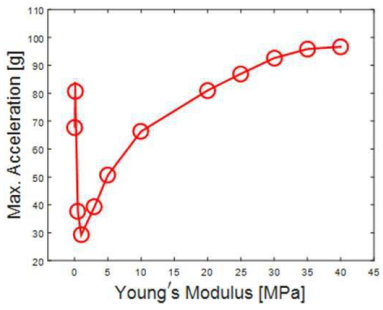
도면20



도면21


Acceleration [g]
Time [ms]

도면22


Max. Acceleration [g]
Young's Modulus [MPa]
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45