



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0082285
(43) 공개일자 2023년06월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B32B 7/025 (2019.01) B32B 15/04 (2006.01)
B32B 5/18 (2006.01) B32B 5/24 (2006.01)
B32B 5/26 (2006.01) H01Q 17/00 (2018.01)
H05K 9/00 (2018.01)
(52) CPC특허분류
B32B 7/025 (2019.01)
B32B 15/046 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0170066
(22) 출원일자 2021년12월01일
심사청구일자 2021년12월01일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
주식회사 대한항공
서울특별시 강서구 하늘길 260 (공항동)
(72) 발명자
남영우
경상남도 진주시 사들로 157, 혁신도시엘에이치아
파트1단지 103-1903
권진희
경상남도 진주시 내동면 순환로 425-61 110동
1802호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 피씨알

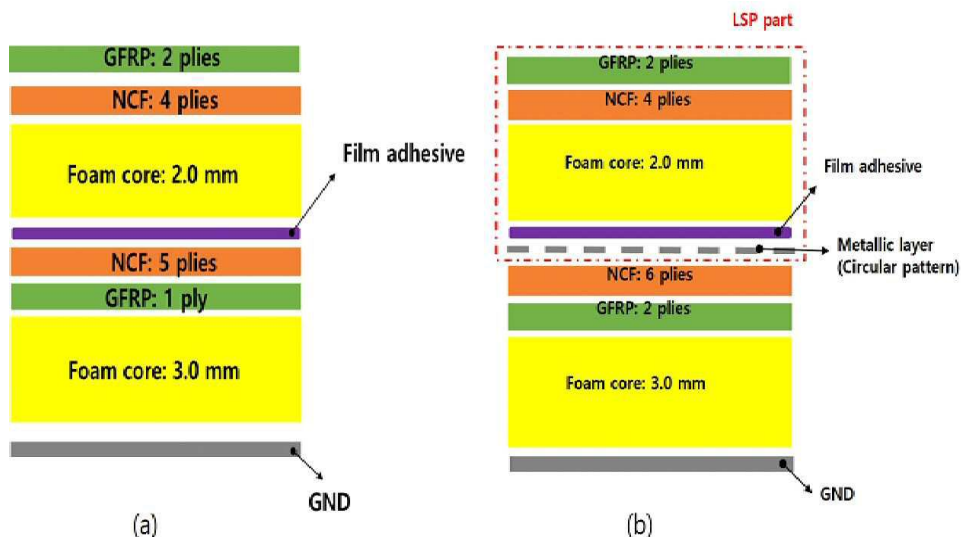
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재**

(57) 요약

본 발명은, 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 특히 전자기와 흡수 성능을 발휘하고 낙뢰 피격 후에도 금속층 아래 구조물을 보호하는 복합재에 관한 것이다. 본 발명은 유리 섬유, aramid 섬유 또는 케블라 섬유 중 적어도 어느 하나를 포함하는 유전체 섬유; 상기 유전체 섬유의 표면에 전자기적 손실 또는 전자파 흡수를 구현하기 위해 금속 무전해(無電解) 도금 처리한 도금 유전체 섬유; 상기 유전체 섬유 및 상기 도금 유전체 섬유의 하부에 적층되는 폼코어; 및 상기 폼코어의 하부에 적층되며 레이더포착면적(RCS, Radar Cross Section) 감소 및 낙뢰보호를 위해 주기적인 원형 패턴이 적용된 금속층을 포함하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B32B 5/18 (2013.01)
B32B 5/245 (2013.01)
B32B 5/26 (2021.05)
H01Q 17/007 (2013.01)
H05K 9/0084 (2013.01)
B32B 2250/40 (2013.01)
B32B 2605/18 (2013.01)

(72) 발명자

명노신

경상남도 진주시 석갑로 45, 103동 205호

최원호

대전광역시 수침로 138, 유등쌍용마을, 101동1403호

송운형

대전광역시 유성구 어은로 57, 한빛아파트 102-1305

신준형

부산광역시 부산진구 백양관문로 10, 316-304

김민준

경상남도 진주시 하대로 106번길 14, 다동 305호

김윤곤

경상남도 진주시 진주대로 568번길 6, 정원빌 202호

황반토

경상남도 진주시 진주대로 404번길 17, 양지빌 104호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711129688
과제번호	2017R1A5A1015311
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	산업수요기반 고효율·안전 항공핵심기술 연구센터
기 여 율	1/1
과제수행기관명	항공핵심기술선도연구센터
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

유리 섬유, aramid 섬유 또는 케블라 섬유 중 적어도 어느 하나를 포함하는 유전체 섬유;

상기 유전체 섬유의 표면에 전자기적 손실 또는 전자파 흡수를 구현하기 위해 금속 무전해(無電解) 도금 처리한 도금 유전체 섬유;

상기 유전체 섬유 및 상기 도금 유전체 섬유의 하부에 적층되는 폼코어; 및

상기 폼코어의 하부에 적층되며 레이더포착면적(RCS, Radar Cross Section) 감소 및 낙뢰보호를 위해 주기적인 원형 패턴이 적용된 금속층을 포함하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복합재는,

상기 유전체 섬유, 도금 유전체 섬유, 폼코어, 금속층 순으로 적층되고,

상기 금속층 하부에 추가적인 도금 유전체 섬유, 유전체 섬유, 폼코어가 적층되어 형성되는 것을 특징으로 하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은,

기 설정된 정사각형 내부에 소정의 지름을 갖는 원형 패턴이 소정의 간격으로 배치된 것을 특징으로 하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 금속층은,

상기 정사각형의 한 변이 11.67mm이고,

상기 원형 패턴은 지름이 10.67mm로 형성되며,

상기 간격은 1mm 이하로 형성되는 것을 특징으로 하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 금속층은,

0.102mm의 두께로 형성되며 전기 전도도는 1.25×10^6 S/m 인 것을 특징으로 하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 금속층은,

8.2GHz 내지 12.4GHz의 주파수 대역에서 -10Db 이하의 전자기와 흡수 성능이 구현되는 것을 특징으로 하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 복합재는 낙뢰 발생시 상기 금속층 하부는 보호되는 것을 특징으로 하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 특히 전자기와 흡수 성능을 발휘하고 낙뢰 피격 후에도 금속층 아래 구조물을 보호하여 스텔스 성능을 유지할 수 있는 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 항공기가 운항할 때 발생하는 낙뢰는 고온의 열에너지, 강한 전자기장을 유발하여 항공기에 직, 간접적으로 영향을 미친다. 항공기 운항 관점에서 낙뢰는 매우 위험한 요소이기 때문에 낙뢰 보호 시스템은 필수적으로 요구된다. 이를 대비하기 위해 항공기 기업들은 CM (Copper mesh), EMF (Expanded metal foil)과 같은 낙뢰 보호 시스템을 항공기에 적용하고 있다. 낙뢰는 크게 직접 영향과 간접 영향으로 구분되며, 직접 영향은 최대 200 kA에 이르는 고전류에 의한 열에너지와 전기적 충격에 의해 항공기 스킨, 윈드실드, 레이돔 등에 용융, 파손, 천공 등과 같은 영구적 손상을 발생시켜 안전성에 큰 영향을 미친다.

[0004] 최근의 항공기 구조는 경량화 및 연료 효율을 높이기 위해 복합재 구조가 많이 사용되고 있는데 특히 복합재는 전기 전도도가 낮기 때문에 금속보다 낙뢰에 더 취약하다. 복합재의 높은 전기 저항은 순간적으로 열에너지(Joule 가열)로 변환되는 더 많은 전기 에너지를 흡수한다. 결과적으로 극도의 낙뢰 전류가 빠르게 전도되는 것을 방해하여, 아크 스파크, Joule 가열, 자기력 또는 절연 파괴를 초래한다. 또한 복합재를 구성하는 수지 매트릭스는 낮은 열 안정성 때문에 낙뢰 저항 열 또는 스파크에서 열화, 균열 또는 연소된다. 따라서 복합재 사용 비중이 증가함에 따라 항공기의 안전을 위해 고효율 낙뢰 보호시스템을 설계하는 것은 반드시 고려되어야 한다.

[0005] 복합재 항공기 구조에서 낙뢰 보호 시스템을 적용하기 위해서는 일반적으로 두께가 얇은 금속층을 복합재 구조 외부에 적층하는 방법을 사용한다. 낙뢰가 복합재 구조물에 피격되었을 때 낙뢰 전류가 상대적으로 전기전도도가 높은 금속층을 따라 흘러나가게 되므로 복합재 구조물과 내부의 파손을 방지할 수 있다.

[0006] 이와 관련, 종래의 한국공개특허 제10-2016-0110648호는 메탈 와이어 메쉬 및 장섬유 보강 열가소성 플라스틱 시트를 포함하는 복합재를 개시한다.

[0007] 하지만, 메탈 메쉬(Metal mesh)를 전자기와 흡수 구조에 적용할 경우, 낙뢰 피격으로 인한 구조적인 손상은 예방할 수 있으나 복합재 구조 외부에 위치한 메탈 메쉬로 인해 입사된 전자기파를 대부분 반사 시키기 때문에 전자기와 흡수 구조의 역할을 제대로 수행할 수 없는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2016-0110648호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 우수한 전자파 흡수성능을 발휘하고, 전기전도도가 높은 금속층을 적용한 낙뢰보호 시스템을 통해 낙뢰 피격 후에도 하중지지 및 전자기파 흡수성능을 유지할 수 있는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 유리 섬유, aramid 섬유 또는 케블라 섬유 중 적어도 어느 하나를 포함하는 유전체 섬유; 상기 유전체 섬유의 표면에 전자기적 손실 또는 전자기파 흡수를 구현하기 위해 금속 무전해(無電解) 도금 처리한 도금 유전체 섬유; 상기 유전체 섬유 및 상기 도금 유전체 섬유의 하부에 적층되는 폼코어; 및 상기 폼코어의 하부에 적층되며 레이더포착면적(RCS, Radar Cross Section) 감소 및 낙뢰보호를 위해 주기적인 원형 패턴이 적용된 금속층을 포함하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재를 제공한다.

[0013] 실시 예에 따라, 상기 복합재는, 상기 유전체 섬유, 도금 유전체 섬유, 폼코어, 금속층 순으로 적층되고, 상기 금속층 하부에 추가적인 도금 유전체 섬유, 유전체 섬유, 폼코어가 적층되어 형성될 수 있다.

[0014] 실시 예에 따라, 상기 금속층은, 기 설정된 정사각형 내부에 소정의 지름을 갖는 원형 패턴이 소정의 간격으로 배치될 수 있다.

[0015] 실시 예에 따라, 상기 금속층은, 상기 정사각형의 한 변이 11.67mm이고, 상기 원형 패턴은 지름이 10.67mm로 형성되며, 상기 간격은 1mm 이하로 형성될 수 있다.

[0016] 실시 예에 따라, 상기 금속층은, 0.102mm의 두께로 형성되며 전기 전도도는 1.25×10^6 S/m 일 수 있다.

[0017] 실시 예에 따라, 상기 금속층은, 8.2GHz 내지 12.4GHz의 주파수 대역에서 -10dB 이하의 전자기파 흡수 성능이 구현될 수 있다.

[0018] 실시 예에 따라, 상기 복합재는 낙뢰 발생시 상기 금속층 하부는 보호될 수 있다.

발명의 효과

[0020] 전술한 바와 같은 구성을 갖는 본 발명에 따르면, 특정 주파수 대역 전자기파를 흡수하고, 낙뢰 발생 시 복합재 구조물과 내부의 파손을 줄여주는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재를 나타내며, 도1(a)는 종래의 복합재, 도1(b)는 본 발명의 복합재를 나타낸다.

도 2는 유전체 섬유와 니켈 무전해 도금된 유전체 섬유의 복소 유전율을 나타낸다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따라 니켈 무전해 도금된 도금 유전체 섬유의 SEM image, EDS, XPS를 나타낸다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 원형 패턴이 적용된 얇은 금속층이다.

도 5는 본 발명의 실시 예에 따라 낙뢰 보호 금속층 유무에 따른 전자기파 흡수 성능 설계 결과를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 복합재의 제작 과정을 나타낸다.

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 복합재의 전자기파 흡수성능을 평가하기 위해 자유공간 측정장비를 이용하여 Return loss 및 1D scan을 수행하는 모습이다.

도 8은 금속층이 삽입되지 않은 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 전자기파 흡수성능을 나타낸다.

도 9는 본 발명의 실시 예에 따라 금속층이 삽입된 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 전자기파 흡수성능을 나타낸다.

도 10은 본 발명의 실시 예에 따라 Impulse current generator 및 낙뢰시험 set-up을 나타낸다.

도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 낙뢰 시험 전류 파형을 나타낸다.

도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 낙뢰 시험 후 금속층이 삽입되지 않은 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 (a) 파손 사진, (b) 이미지 프로세싱으로 얻은 손상 영역, (c) 3D X-ray CT 측정 결과(시편 단면)

도 13은 본 발명의 실시 예에 따른 낙뢰 시험 후 금속층이 삽입된 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 (a) 파손 사진, (b) 이미지 프로세싱으로 얻은 손상 영역, (c) 3D X-ray CT 측정 결과(시편 단면)

도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 금속층이 삽입되지 않은 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 낙뢰 시험 후 전자기파 흡수 성능을 비교한 모습이다.

도 15는 본 발명의 실시 예에 따른 금속층이 삽입된 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 낙뢰 시험 후 전자기파 흡수 성능을 비교한 모습이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용으로서 본 발명의 바람직한 실시 예의 구성과 작용에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0024] 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0025] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "~부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다. 또한, 명세서 전체에서 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, "그 중간에 다른 구성을 사이에 두고" 연결되어 있는 경우도 포함한다.

[0026] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시 예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0027] 본 발명은 낙뢰 보호 금속층이 포함된 항공기용 전자기파 흡수 샌드위치 복합재에 관한 것으로, 유전체 섬유, 도금 유전체 섬유, 폼코어 및 금속층을 포함한다. 특히 전자기적 손실을 부여하기 위해 금속 무전해 도금 기법을 활용하여 X 밴드(8.2-12.4 GHz)에서 RCS 감소 효과를 보이도록 설계된 전자기파 흡수체에 전기전도도가 높은 금속층(Metallic layer)을 적용시켜 낙뢰 보호 성능도 발휘되는 항공기용 샌드위치 구조물에 관한 것을 포함한다.

[0028] 도 1은 전자기파 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재를 나타내며, 도1(a)는 종래의 복합재, 도1(b)는 본 발명의 복합재를 나타낸다.

[0029] 도 1(b)를 참고하면, 본 발명의 복합재는 유리 섬유, aramid 섬유 또는 케블라 섬유 중 적어도 어느 하나를 포함하는 유전체 섬유; 상기 유전체 섬유의 표면에 전자기적 손실 또는 전자파 흡수를 구현하기 위해 금속 무전해(無電解) 도금 처리한 도금 유전체 섬유; 상기 유전체 섬유 및 상기 도금 유전체 섬유의 하부에 적층되는 폼코어; 및 상기 폼코어의 하부에 적층되며 레이더교차면적(RCS, Radar Cross Section) 감소 및 낙뢰보호를 위해 주기적인 원형 패턴이 적용된 금속층을 포함한다.

[0030] 본 발명은 입사된 전자기파 흡수 성능을 나타냄과 동시에 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 항공기용 폼 기반 샌드위치 평판형 구조로, 낙뢰 보호 금속층은 주기 원형 패턴이 적용된 얇은 금속 막이며, 이는 전자기파 흡수 성능에 영향을 미치지 않고, 낙뢰로부터 복합재 구조물을 보호하는 역할을 한다.

[0031] 상기 복합재는, 유전체 섬유, 도금 유전체 섬유, 폼코어, 금속층 순으로 적층되고, 금속층 하부에 추가적인 도금 유전체 섬유, 유전체 섬유, 폼코어가 적층되어 형성될 수 있다.

[0032] 전자기파를 효과적으로 흡수하는 낙뢰 보호 금속층이 삽입된 폼 기반 샌드위치 구조를 해석프로그램(CST Studio)를 통해 설계하고, X-band(8.2-12.4 GHz) 대역에서 90% 이상의 전자기파 흡수 성능을 나타낼 수 있도록 설계 및 제작하였다.

[0033] 반사 손실(Return loss)을 측정하여, 전자기파 흡수체의 성능을 검증하도록 설계되고, 반사 손실(Return loss)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0034] 반사 손실(Return loss) = $10\log\left|\frac{Z_{in}-Z_0}{Z_{in}+Z_0}\right|^2 = 10\log\Gamma^2$

[0035] (여기서, Γ : 반사손실계수, Z_{in} : 입사 임피던스, Z_0 : 자유공간 임피던스 = 377Ω)

[0036] 다층형 Dallenbach absorber의 입사 임피던스 = $Z_{in} = \eta_i \frac{Z_{i-1} + \eta_i \tanh(\gamma_i d_i)}{\eta_i + Z_{i-1} \tanh(\gamma_i d_i)}$

[0037] (여기서, η_i : i번째 층의 특성 임피던스($\eta_i = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_i}{\epsilon_i}}$), γ_i : i번째 층의 전파정수($\gamma_i = j2\pi \frac{\sqrt{\epsilon_i \mu_i}}{\lambda}$), d_i : i번째 층의 두께)

[0038] Return loss 측정이 완료된 흡수체는 낙뢰 시험을 통하여 낙뢰 보호 성능을 평가한다. 본 발명의 복합재 구조는 Dallenbach layer로 구현되어 7층형 복합재 구조로 설계 및 제작되었다. 유리섬유/에폭시와 금속 무전해 도금된 유리섬유/에폭시, 원형 패턴이 에칭된 얇은 금속 막으로 구성되어 있고, 임피던스 정합을 일으키며 최적의 전자기파 흡수 성능을 갖는 두께 및 패턴의 형상을 설계하였다.

[0039] 본 발명의 실시 예에 따라, 아래 표 1과 같이 Layer 1 내지 7로 구성될 수 있다.

표 1

Layer 1	0.250 mm (유리섬유/에폭시)
Layer 2	0.500 mm (금속 무전해 도금된 유리섬유/에폭시)
Layer 3	2.000 mm (Foam core)
Layer 4	0.102 mm (얇은 금속층)
Layer 5	0.750 mm (금속 무전해 도금된 유리섬유/에폭시)
Layer 6	0.250 mm (유리섬유/에폭시)
Layer 7	3.000 mm (Foam core)

[0041]

[0042] 도 2는 유전체 섬유와 니켈 무전해 도금된 유전체 섬유의 복소 유전율을 나타낸다.

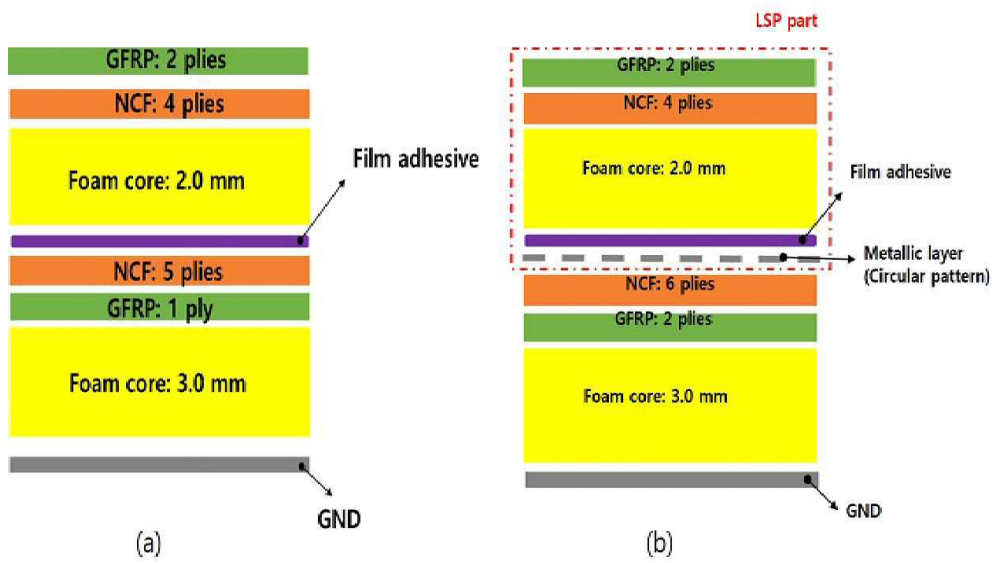
[0043] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따라 10 GHz 에서 복소 유전율이 측정되었으며, 유전체 섬유와 니켈 무전해 도금된 유전체 섬유의 화학적 결정 분석이 상이한 점을 보여준다.

- [0044] 10 GHz에서 유전체 섬유의 복소 유전율은 $4.57-j0.05$ 이고, 니켈 무전해 도금된 유전체 섬유의 복소 유전율은 $5.77-j6.60$ 로 나타났다.
- [0045] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따라 니켈 무전해 도금된 도금 유전체 섬유의 SEM image, EDS, XPS를 나타낸다.
- [0046] 도 3을 참조하면, 니켈 무전해 도금된 유전체 섬유의 화학적 결정 분석을 위해 SEM image(scanning electron microscope), EDS (energy-dispersive X-ray spectroscopy) 성분 분석, XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)를 수행하였다.
- [0047] SEM image를 통해 유전체 섬유 표면에 니켈이 균일하게 코팅된 것을 확인하였고, EDS 성분분석을 통해 섬유 표면의 Ni 성분 함량이 증가된 것을 확인하였다. XPS 측정을 통해 856.1 eV에서 Ni 성분 피크가 확인되었으며, 이는 855.6eV에서 857.9eV에 이르는 니켈 결합 에너지의 값과 일치하며, 2가 산화 상태를 유지한다.
- [0048] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 원형 패턴이 적용된 얇은 금속층이다.
- [0049] 도 4를 참조하면, 금속층은 기 설정된 정사각형 내부에 소정의 지름을 갖는 원형 패턴이 소정의 간격으로 배치되어 있다.
- [0050] 본 발명의 실시 예에 따라, 정사각형의 한 변이 11.67mm이고, 원형 패턴은 지름이 10.67mm로 형성되며, 간격은 1mm 이하로 형성될 수 있다. 이 경우, 원형 패턴을 적용하여 설계된 낙뢰 보호 기능의 금속층의 전기 전도도는 1.25×10^6 S/m 로 측정될 수 있다.
- [0051] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따라 낙뢰 보호 금속층 유무에 따른 전자기와 흡수 성능 설계 결과를 나타낸다.
- [0052] 도 5를 참조하면, 복합재 구조의 낙뢰 보호 금속층의 유무에 따른 전자기와 흡수 성능을 알 수 있다.
- [0053] 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 전자기와 흡수성능을 평가하기 위해 CST Studio 프로그램을 통해 설계하고 해석을 진행하였다. 복합재 구조는 8.2-12.4 GHz 대역에서 -10dB 이하의 흡수 성능(90% 이상의 흡수성능)을 보였다.
- [0054] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 복합재의 제작 과정을 나타내며, 도 7은 반사 손실(Return loss)과 1D scan 과정을 보여준다.
- [0055] 도 6을 참조하면, 복합재의 제작 과정은 (a) lay up, (b) curing accessories (c)vacuum bagging (d)curing & curing cycle (e)specimen 과정으로 이루어져 있고, 도 7을 참조하면 본 발명의 실시 예에 따른 복합재의 전자기와 흡수성능을 평가하기 위해 자유공간 측정장비를 이용하여 Return loss 및 1D scan을 수행하는 모습을 알 수 있다.
- [0056] 제작된 복합재 구조의 전자기와 흡수성능을 평가하기 위해 자유공간 측정장비를 이용한 Return loss 및 1D scan을 수행하였으며, 다. 금속층이 삽입된 복합재 구조는 10 GHz의 목표 주파수에서 측정하였고, 금속층이 삽입되지 않은 복합재 구조는 7.5 GHz의 목표 주파수에서 측정하였다.
- [0057] 도 8은 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 전자기와 흡수성능을 나타내고, 도 9는 본 발명의 실시 예에 따라 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 전자기와 흡수성능을 나타낸다.
- [0058] 도 8 및 도 9를 참조하면, 금속층의 유무에 따른 전자기와 흡수 성능을 알 수 있다. 이 경우, 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조와 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 전자기와 흡수 성능을 자유공간측정장비를 이용하여 측정하였으며,
- [0059] 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조는 8.2~12.4 GHz 대역에서 -10dB 이하(90% 이상 흡수)의 흡수성능을 보였으며, 공진 주파수(10.5 GHz)에서 최대 -40 dB 이하의 흡수성능을 나타내었다. 1D scan 결과 역시, 10 GHz의 목표 주파수에서 복합재 구조 전영역에서 5% 미만의 reflection magnitude를 나타내었다.
- [0060] 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 경우, 5.8~12.0 GHz 대역에서 -10dB 이하의 흡수성능을 보였으며, 공진 주파수(7.5 GHz)에서 최대 -30 dB 이하의 흡수성능을 나타내었다. 1D scan 결과 7.5 GHz의 목표 주파수에서 복합재 구조 전영역에서 5% 미만의 reflection magnitude를 나타내었다.
- [0061] 도 10은 본 발명의 실시 예에 따라 Impulse current generator 및 낙뢰시험 set-up을 나타내고, 도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 낙뢰 시험 전류 파형을 나타낸다.

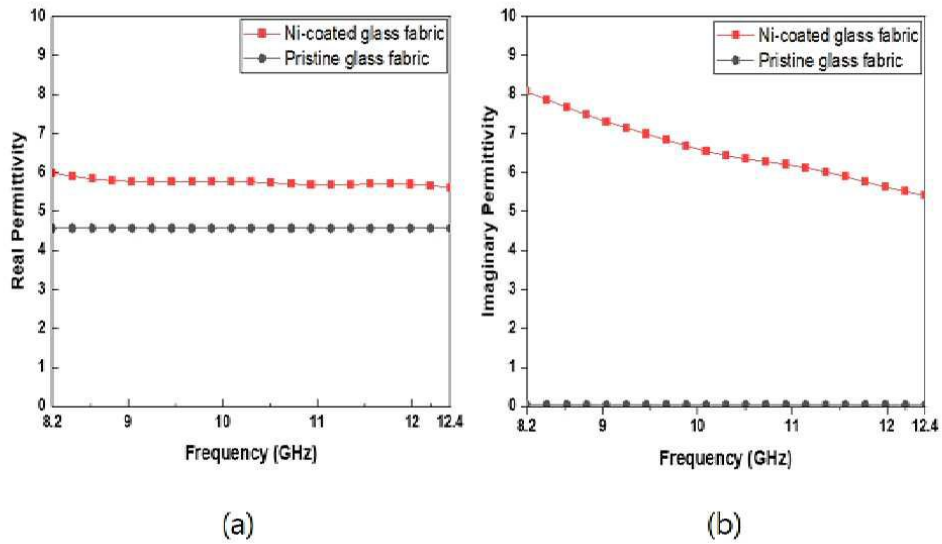
- [0062] 도 11과 같은 전류 파형을 적용하여 도 10의 낙뢰시험을 셋업하였다. 도 10과 같은 실험 과정에서 Impulse current generator를 이용하여 $8/40 \mu s$ 의 전류 파형과 50 kA 수준의 전류를 인가하여 낙뢰 시험을 수행하였다.
- [0063] 도 12 및 도 13은 본 발명의 실시 예에 따라 각각 낙뢰 시험 후 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 및 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 (a) 파손 사진, (b) 이미지 프로세싱으로 얻은 손상 영역, (c) 3D X-ray CT 측정 결과(시편 단면)를 나타낸다.
- [0064] 도 12 및 도 13을 참조하면, 낙뢰에 의한 손상 정도를 평가하기 위해 이미지 프로세싱과 3D X-ray CT 촬영을 수행 결과를 알 수 있다.
- [0065] 이미지 프로세싱은 낙뢰로 인해 손상이 발생한 구조의 표면에 대해 빛의 반사율을 이용한 2진화 기법으로 손상 면적을 평가하였으며, 두께 방향으로의 손상 정도를 측정하기 위해 3D X-ray CT 촬영을 진행하였다.
- [0066] 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조는 상부층에서부터 하부층까지 전체적인 파손이 일어남을 확인하였다. 반면에 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 경우 금속층 아래로 파손이 일어나지 않음을 확인할 수 있었다.
- [0067] 실험 과정을 통해, 본 발명의 복합재 구조물은 낙뢰 발생시 금속층 하부는 보호될 수 있음을 확인하였다.
- [0068] 도 14는 본 발명의 실시 예에 따른 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 낙뢰 시험 후 전자기와 흡수 성능이고, 도 15는 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 낙뢰 시험 후 전자기와 흡수 성능을 비교한 모습이다.
- [0069] 도 14 및 도 15를 참조하면, 낙뢰 시험을 수행한 후 손상을 입은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 return loss와 1D scanning 결과를 알 수 있다.
- [0070] 금속층이 삽입되지 않은 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 경우 return loss 측정 결과와 1D scan 결과에서 낙뢰에 의한 손상 후에 흡수 성능의 변화가 크고, 부분적으로 전자기와 흡수 성능을 발휘하지 못하는 것으로 나타났다.
- [0071] 반면에 금속층이 삽입된 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조의 경우, return loss 결과를 통해 낙뢰 손상 후에도 8.2~12.4 GHz 대역에서 -10dB 이하의 흡수 성능을 나타내는 것을 확인하였고, 1D scan 결과에서도 전체 영역이 5% 이하의 return loss의 변화를 나타내었다.
- [0072] 3D X-ray CT 통해 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조에서 금속층 아래로 파손이 발생하지 않았음을 확인하였고, 낙뢰로 인한 파손 후에도 전자기와 흡수 성능을 유지하였다. 이를 통해 낙뢰 보호 금속층이 전자기와 흡수 폼 기반 샌드위치 복합재 구조에서 기계적 및 전자기적 손상 방지에 유효하다는 것을 확인하였다.
- [0073] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

도면

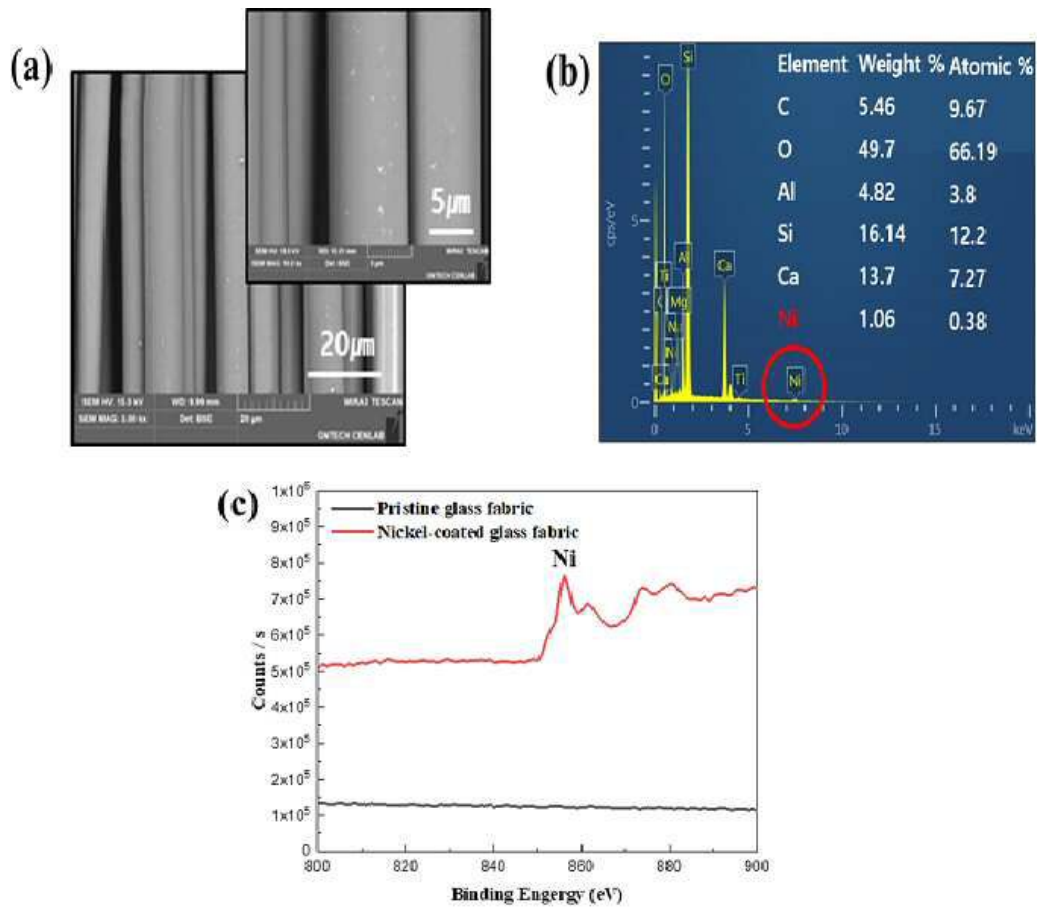
도면1



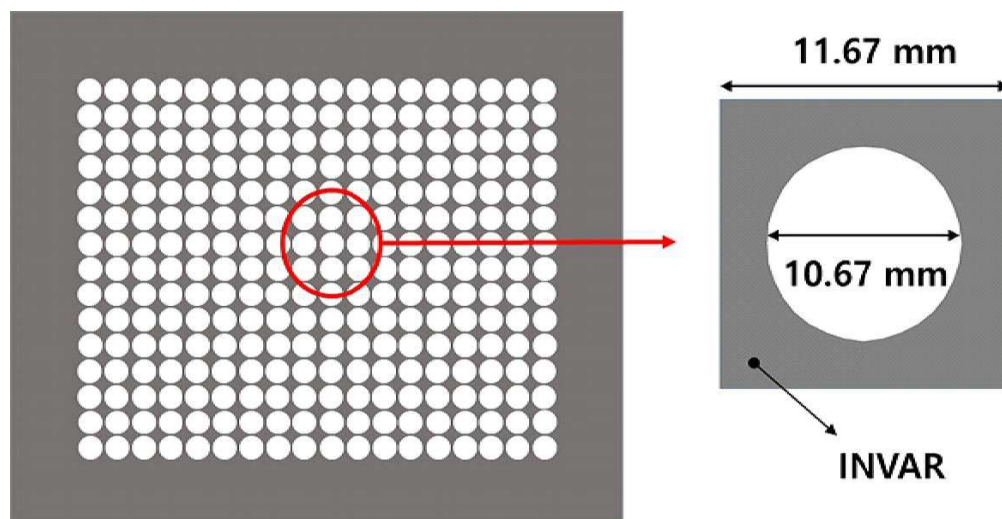
도면2



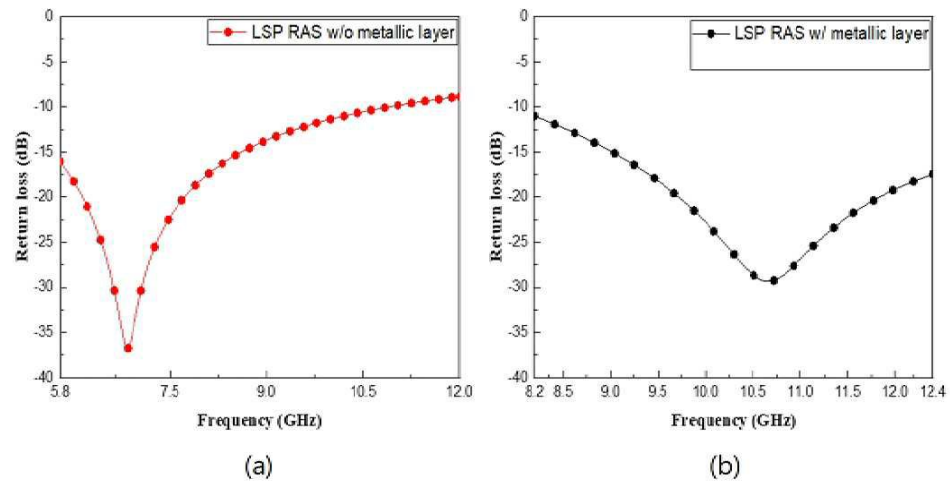
도면3



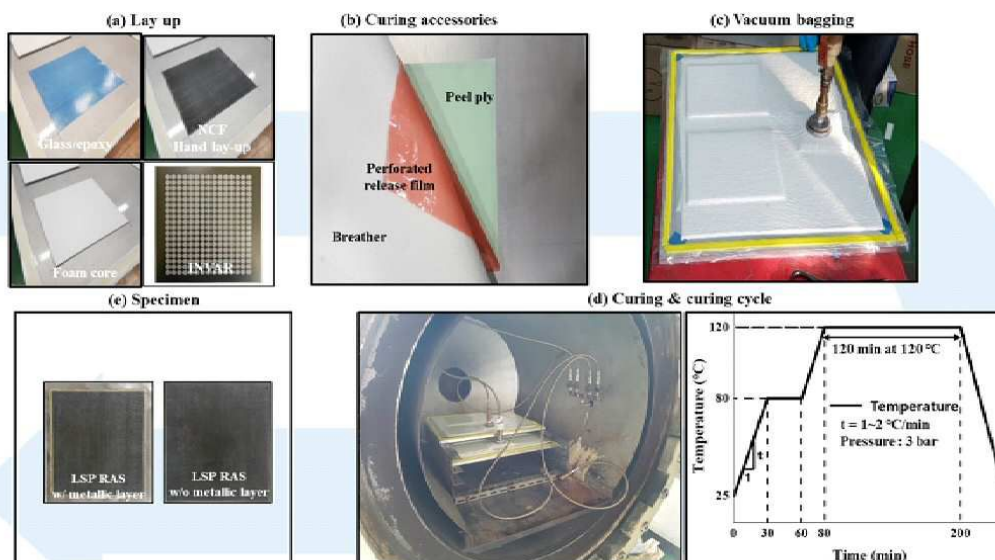
도면4



도면5



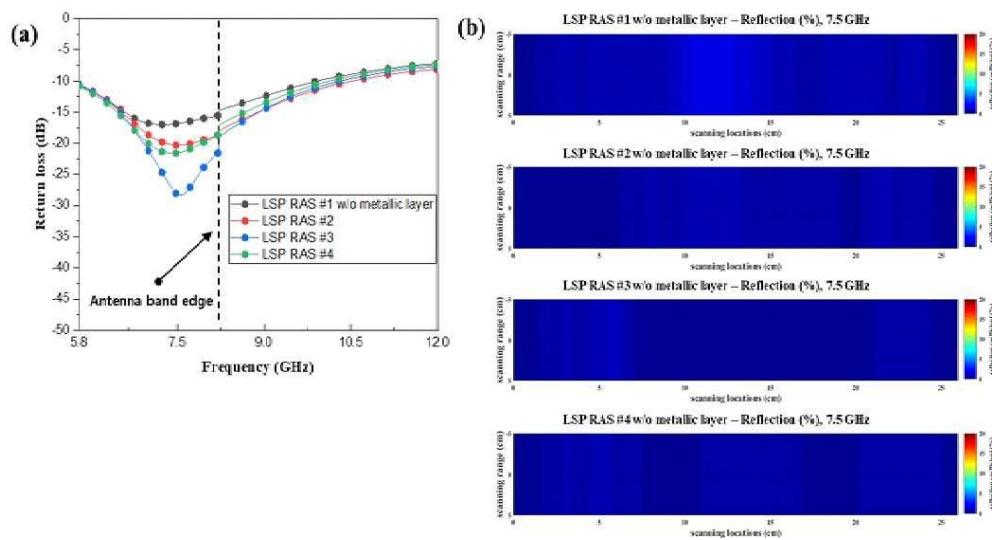
도면6



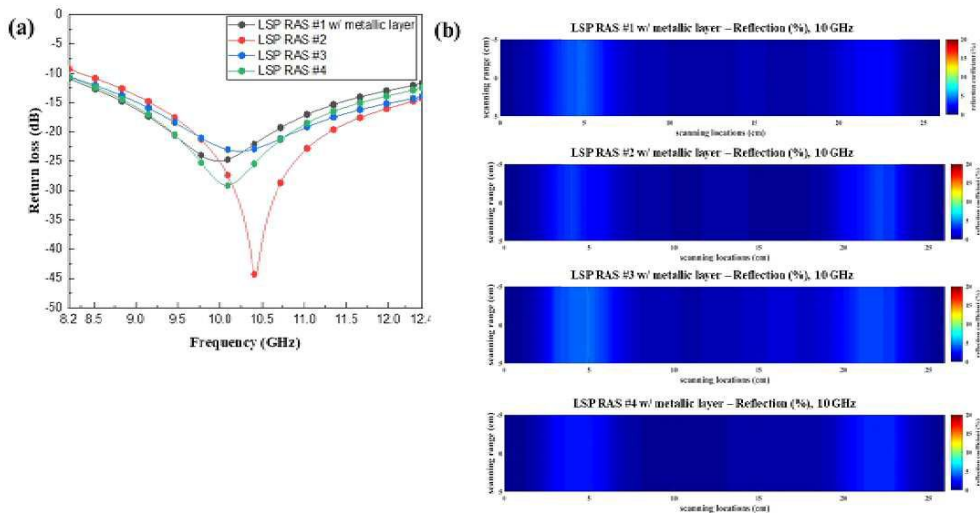
도면7



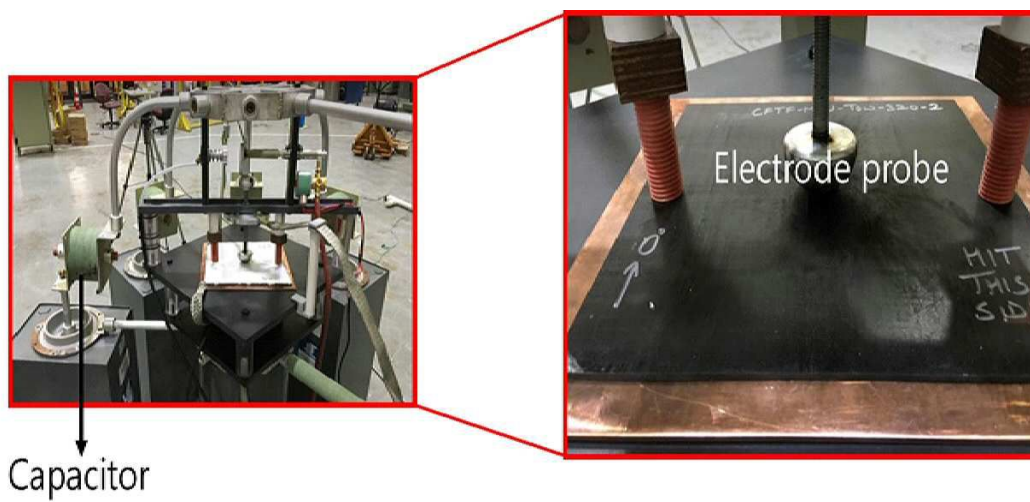
도면8



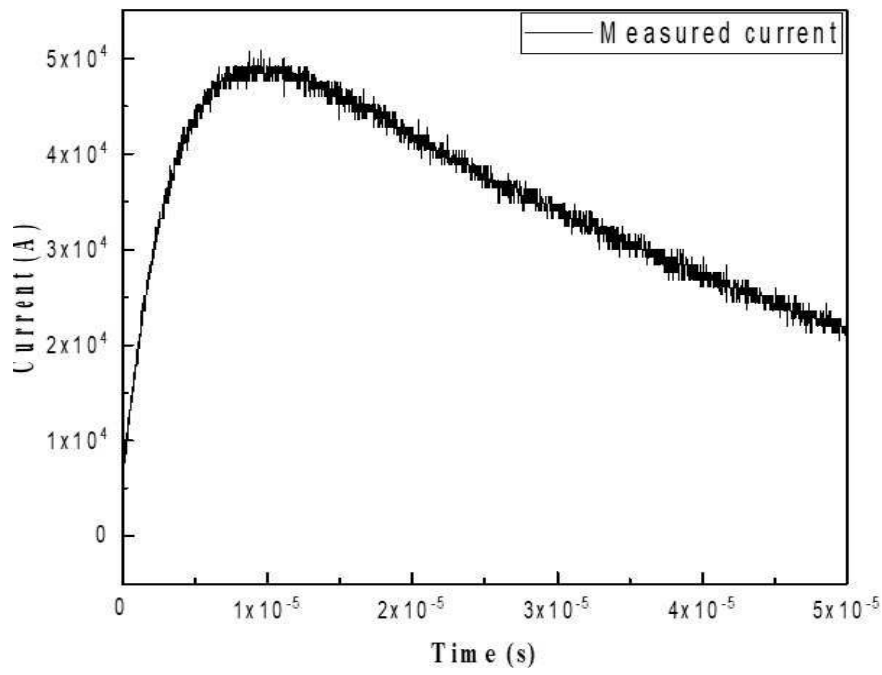
도면9



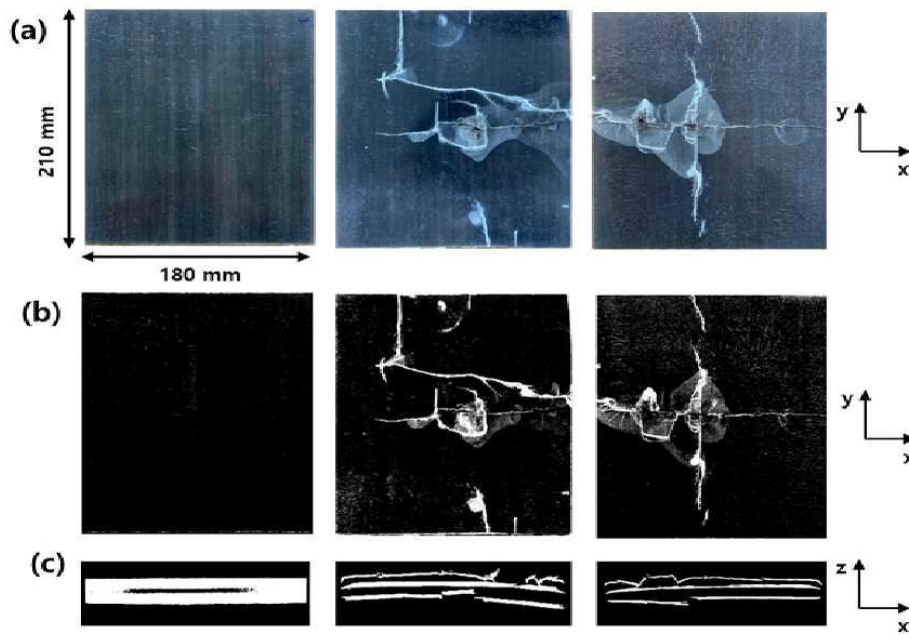
도면10



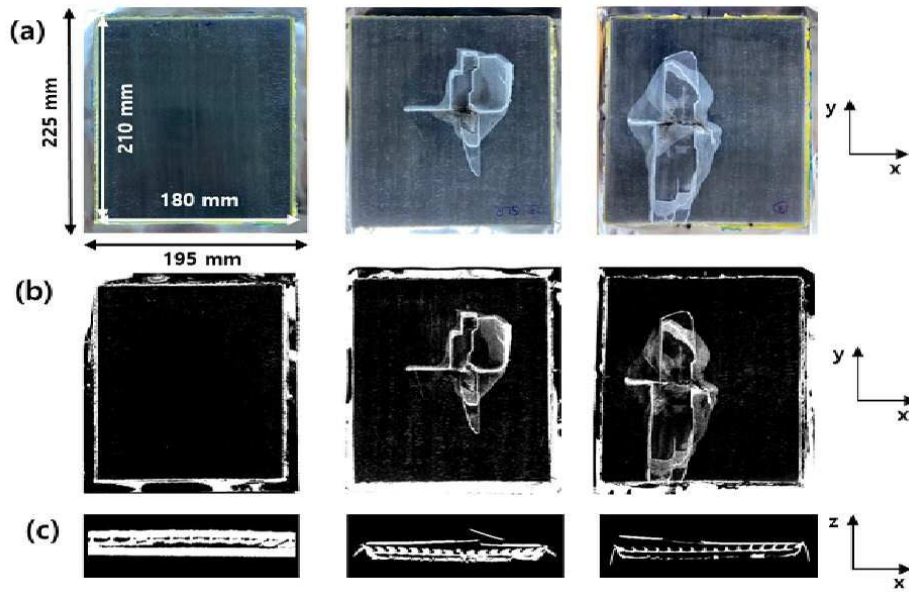
도면11



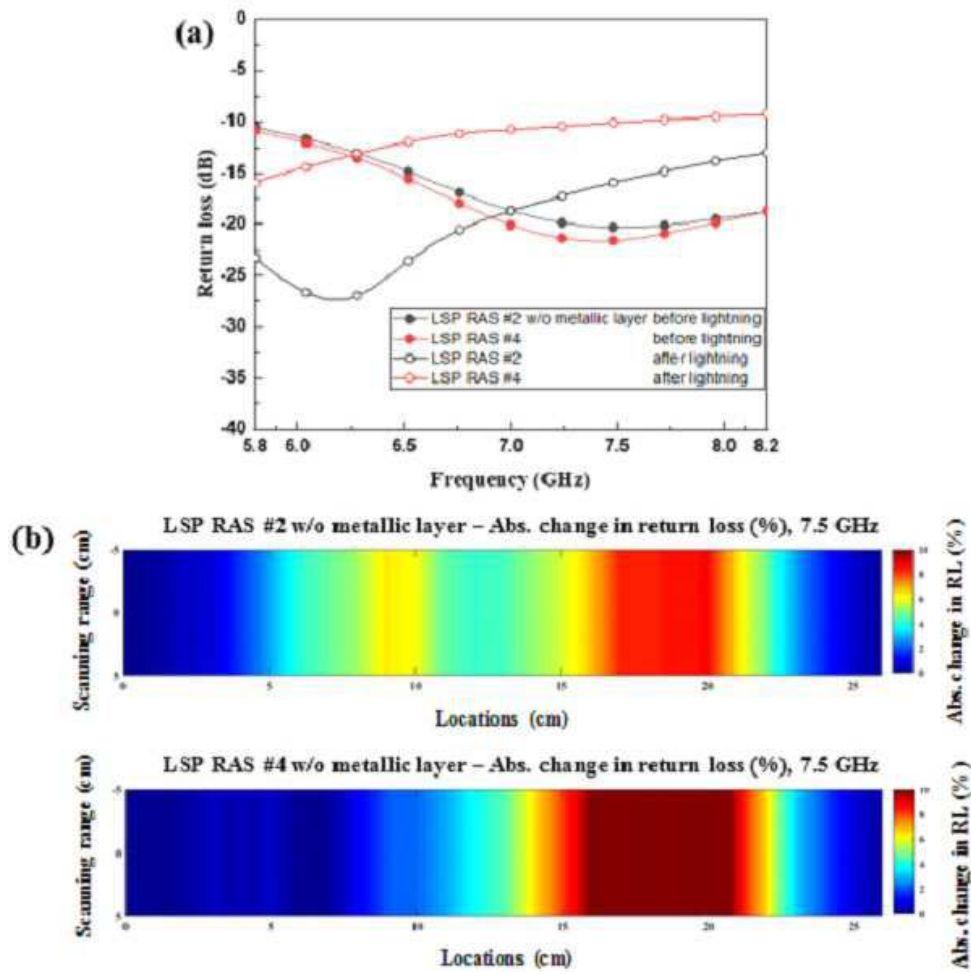
도면12



도면13



도면14



도면15

