(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0029515
(43) 공개일자 2023년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05K 9/00 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H05K 9/009 (2019.01)
H05K 9/0084 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0095829
(22) 출원일자 2022년08월02일
심사청구일자 2022년08월02일
(30) 우선권주장
1020210111859 2021년08월24일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
박병진
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9 (가음동, 창원 가음 한화 꿈에그린)
김태훈
경상남도 창원시 성산구 대암로 82 (대방동, 성원남산3차아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인이룸리온

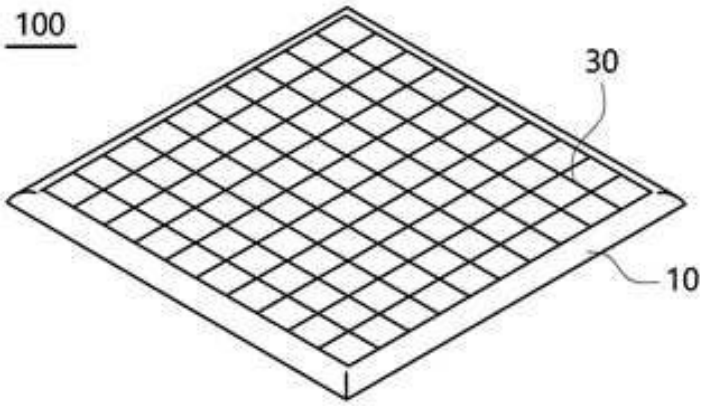
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **전도성 와이어가 포함된 전자파 흡수 복합소재 및 이에 대한 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 내부에 굴절률 조절소재를 포함하는 고분자 복합체, 상기 고분 복합체의 적어도 어느 일면에 형성된 복수개의 전도성 와이어를 포함하고, 본 발명에 기재된 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하인 전자파 흡수 복합소재 및 이에 대한 제조방법을 제공한다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

이상복

경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 217동 402호 (반림동, 트리비앙아파트)

정병문

경상남도 창원시 성산구 상남로 75 (상남동)

류승한

경상남도 창원시 성산구 용지로127번길 4 (중앙동)

한유경

경상남도 창원시 성산구 상남로 75 (상남동)

권숙진

경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9 (가음동, 창원 가음 한화 꿈에그린)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711128043
과제번호	2019M3D1A2104156 (PNCA870)
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래소재디스커버리지원(R&D)
연구과제명	밀리미터파 흡수/차폐/방열 특성맞춤형 복합소재 공정기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국재료연구원
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711139428
과제번호	PNK7650
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	한국재료연구원 운영비지원사업
연구과제명	자성소재 기반 극고주파 흡수 의사메타물질 기술개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국재료연구원
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

내부에 굴절률 조절소재를 포함하는 고분자 복합체;

상기 고분자 복합체의 적어도 일면에 형성된 복수 개의 전도성 와이어; 를 포함하고,

하기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하인 전자파 흡수 복합소재.

[수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}c} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}c}$$

이때 상기 f의 하한값은 15이고 상한값은 80인 주파수이고,

D_{eff}는 하기 수학식 2로 표현되는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

N_{eff}는 하기 수학식 3로 표현되는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

c는 자유공간에서의 광속이다.

[수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp(0.23(D-a))$$

D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[수학식 3]

$$n_{eff} = \sqrt{1-\frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)}n$$

n은 상기 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전도성 와이어의 평균 간격(D)은 0.5 내지 10 ㎜ 인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 고분자 복합체의 두께(d)는 100 내지 2000 ㎛ 인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전도성 와이어의 평균 선폭(a)은 50 내지 500 ㎛ 인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전자파 흡수 복합소재는 전자파 흡수율이 80% 이상인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 굴절률 조절 소재는 자성소재, 금속소재, 탄소소재, 세라믹소재, MXene 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 전도성 와이어는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계, 네오디늄(Nd)계, 금(Au)계, 은(Ag)계, 구리(Cu)계, 알루미늄(Al)계, 백금(Pt)계, 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbon black), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 또는 팔라듐(Pd)계 금속 또는 이들의 합금인 전도체, MXene 또는 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리아세틸렌, 폴리파라페닐렌비닐렌, 폴리사이오펜, 폴리에틸렌다이옥시사이오펜, 폴리페닐렌설파이드 또는 이들의 합성체인 전도성 고분자 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 고분자 복합체가 복수 개 적층되고,

상기 적층된 고분자 복합체의 최상면에 전도성 와이어가 형성되는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 전도성 와이어는 메쉬, 원형, 다각형, 분할고리 또는 이들 중 어느 하나 이상을 포함하는 복합형상 형태인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 복수 개의 전도성 와이어는 다중 간격 또는 단일 간격으로 형성되는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복수 개의 전도성 와이어가 다중 간격으로 형성되는 경우 30% 이하의 반사율을 가지는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 전자파 흡수 복합소재는 26 GHz의 주파수에서0.5 dB 이하의 전자파 반사율을 가지는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.1 dB 이하인 전자파 흡수 복합소재

청구항 14

소자가 실장된 회로기판; 및

적어도 상기 소자의 적어도 어느 일면을 덮도록 회로기판 상에 구비되는 제1항에 따른 전자파 흡수 복합소재; 를 포함하는 전자파 흡수형 회로모듈.

청구항 15

제 14항에 따른 전자파 흡수형 회로모듈을 포함하는 전자기기.

청구항 16

(1) 내부에 굴절률 조절소재를 포함하는 고분자 복합체를 제조하는 단계; 및

(2) 상기 고분자 복합체 상에 전도성 와이어를 형성하는 단계; 를 포함하되

하기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하가 되도록 고분자 복합체의 평균 굴절율, 두께, 전도성 와이어의 선폭 및 간격을 조절하는 전자파 흡수 복합소재의 제조방법

[수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}C} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}C}$$

이때 상기 f의 하한값은 15이고 상한값은 80인 주파수이고,

D_{eff}는 하기 수학식 2로 표현되는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

N_{eff}는 하기 수학식 3로 표현되는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

c는 자유공간에서의 광속이다.

[수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp(0.23(D-a))$$

D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[수학식 3]

$$n_{eff} = \sqrt{1-\frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)}n$$

n은 상기 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 (1) 단계는 상기 고분자 복합체가 복수 개 적층되고,

상기 (2) 단계는 상기 (1) 단계에서 적층된 고분 복합체에 전도성 와이어가 형성되는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 (2) 단계의 전도성 와이어는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계, 네오디늄(Nd)계, 금(Au)계, 은(Ag)계, 구리(Cu)계, 알루미늄(Al)계, 백금(Pt)계 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbon black), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 또는 팔라듐(Pd)계 금속 또는 금속 합금인 전도체, MXene 또는 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리아세틸렌, 폴리파라페닐렌비닐렌, 폴리사이오펜, 폴리에틸렌다이옥시사이오펜, 폴리페닐렌설파이드 또는 이들의 합성체인 전도성 고분자 중 적어도 어느 하나 이상과 폴리우레탄계, 폴리아미드계, 폴리에스테르계, 아크릴계, 폴리올레핀계, 셀룰로오스계, 탄소계, 유리계 중 적어도 하나 이상을 포함하는 섬유의 혼합물을 이용하여 상기 고분자 복합체에 어느 일면에 재봉하는 단계인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 목적하는 매칭주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있도록 고분자 복합체의 두께, 굴절율, 전도성 와이어의 스펙(선폭, 간격 등)의 유기적 관계를 규명하고 이를 설계할 수 있는 관계식을 도출함과 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 찾아냄으로써 소형화/경박화 추세에 있는 전자부품 서로 간의 전자파 간섭을 최소화할 수 있는 전자파 흡수 복합소재의 구조 설계 및

이를 통해 구현된 전자파 흡수 복합소재에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 최근 전기전자부품과 차세대 정보통신기기의 발전에 따라 회로의 동작 주파수가 GHz(기가헤르쯔)의 고주파 대역으로 증가하고 있다. 특히 기기가 다기능 소형화되는 추세에 따라 일반적인 전자부품에서 발생하는 미세한 전자기파는 전자부품 서로 간에 전자파 간섭에 따른 오작동의 원인이 될 수 있으며, 신호 품질의 저하와 전자파 방출로 인한 인체 유해 전자파 및 전자파 공해의 문제가 심각하게 대두되고 있다.

[0004] 이러한 전자파 발생을 인한 문제점을 해소하고 전자부품의 안정성을 향상시키기 위하여 전자파를 흡수하여 차폐하는 전자파 차폐소재에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 위와 같은 기존의 전자파 차폐소재는 다음과 같은 문제점이 있다.

[0006] 첫째, 우수한 전자파 흡수능을 나타내기 위하여 자성재료를 차폐소재에 분산시키는 방법이 소개되고 있지만 대부분의 자성재료는 고주파에 의한 공진현상이 일어나기 때문에 GHz 대역에서는 투자율이 거의 상실되는 문제점이 있다. 또한 자성재료는 자성스핀의 방향성을 갖기 때문에 소자나 회로의 복잡한 설계에 따라 전자파 에너지 흡수를 위한 미세조절이 어려운 문제가 있다. 나아가 다량의 자성재료을 분산시킬 경우, 전기전도도의 향상으로 전자파 흡수 효과를 높일 수는 있으나, 충격강도를 비롯한 전자부품의 기계적 물성의 저하를 초래하여 전자파 차폐소재로서 그 응용에 많은 제한이 따르고 있다.

[0008] 두번째, 위와 같은 GHz 대역에서도 전자파를 흡수하여 차폐하는 동시에 위와 같은 기계적, 전기적 물성 저하가 거의 없는 다층구조의 전자파 차폐소재가 소개되고 있지만, 다층구조의 두께로 인해 소형화/경박화 추세에 있는 전자부품들에 사용되기 어렵고 나아가 다층구조의 전자파 차폐소재는 입사된 전자파 에너지가 열로 변환되는 과정에서 이를 효율적으로 제어하지 못하여 오히려 전자부품의 오작동을 일으키는 문제가 있다.

[0010] 세번째, 종래에도 복합체의 적어도 일면에 전도성 와이어를 형성한 전자파 차폐소재는 연구가 진행되었지만, 타겟 주파수에 맞추어 복합체들을 이루는 구성 간의 유기적 관계를 규명하고 제어하기는 어려웠다. 즉, 일반적으로 특정 주파수를 흡수하기 위해서는 전자파 차폐소재의 굴절률, 두께, 소재, 분산되는 금속 재료 등의 복합적인 물성에 대한 미세 제어가 필요하기 때문에, 5G가 요구하는 GHz 주파수 대역에서도 전자파를 흡수하고 효율적인 전자파 차폐소재를 제공하기 위해서는 전자파에 대한 흡수능 최대화할 수 있는 구조설계와 더불어 특정 주파수(5G 대역)를 흡수할 수 있는 흡수소재에 대한 구조 설계가 반드시 필요하다. 그러나 5G가 요구하는 GHz의 매칭주파수를 가지면서 전자파를 효율적으로 흡수하여 차폐하는 연구는 전무한 실정이다.

[0012] 이에 따라 목적하는 매칭주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있도록 고분자 복합체의 두께, 굴절율, 전도성 와이어의 스펙(선폭, 간격 등)의 유기적 관계를 규명하고 이를 설계할 수 있는 관계식을 도출함과 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 찾아냄으로써 소형화/경박화 추세에 있는 전자부품 서로 간의 전자파 간섭을 최소화할 수 있는 전자파 흡수 복합소재의 구조 설계 및 이를 통해 구현된 전자파 흡수 복합소재에 대한 연구가 시급한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 2015-0073622 (2015.07.01)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 상술한 문제를 극복하기 위해 안출된 것으로,

[0016] 본 발명의 첫번째 해결하려는 과제는 전자파를 방출하는 소자에 사용되어 특정 주파수 대역에서 전자파를 대부분 흡수할 수 있으며 전자파의 반사능이 0 dB에 가까운 전자파 흡수 복합소재 및 이에 대한 제조방법을 제공하는 것이다.

[0017] 또한 본 발명의 두번째 해결하려는 과제는 목적하는 주파수 영역에서 전자파의 효율적인 차폐를 위해 전자파 흡수능을 최대로 함과 동시에 전자파 반사능을 최소화할 수 있는 전자파 흡수 복합소재 및 이에 대한 제조방법을 제공하는 것이다.

[0018] 또한 본 발명의 세번째 해결하려는 과제는 넓은 주파수 대역에서 전체적으로 낮은 반사능을 가지는 전자파 흡수 복합소재 및 이에 대한 제조방법을 제공하는 것이다.

[0019] 또한 본 발명의 네번째 해결하려는 과제는 목적하는 매칭주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있도록 고분자 복합체의 두께, 굴절율, 전도성 와이어의 스펙(선폭, 간격 등)의 유기적 관계를 규명하고 이를 설계할 수 있는 관계식을 도출함과 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 찾아냄으로써 소형화/경박화 추세에 있는 전자부품 서로 간의 전자파 간섭을 최소화할 수 있는 전자파 흡수 복합소재의 구조 설계 및 이를 통해 구현된 전자파 흡수 복합소재를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0021] 본 발명은 상술한 과제를 해결하기 위하여,

[0022] 내부에 굴절률 조절소재를 포함하는 고분자 복합체, 상기 고분 복합체의 적어도 어느 일면에 형성된 복수 개의 전도성 와이어를 포함하고, 하기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하인 전자파 흡수 복합소재를 제공한다.

[0023] [수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}c} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}c}$$

[0024]

[0025] 이때 상기 f의 하한값은15이고 상한값은 80인 주파수이고,

[0026] D_{eff}는 하기 수학식 2로 표현되는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

[0027] N_{eff}는 하기 수학식 3로 표현되는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

[0028] c는 자유공간에서의 광속이다.

[0029] [수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp(0.23(D-a))$$

[0030]

[0031] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0032] a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[0033] [수학식 3]

$$n_{eff} = \sqrt{1-\frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)}n$$

[0034]

[0035] n은 상기 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

[0036] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0037] d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

[0038] 또한 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 전도성 와이어의 평균 간격(D)은 0.5 내지 10 ㎜ 인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0039] 또한 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 고분자 복합체의 두께(d)는 100 내지 2000 ㎛ 인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0040] 또한 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 전도성 와이어의 평균 선폭(a)은 50 내지 500 ㎛ 인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0041] 또한 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 전자파 흡수 복합소재는 전자파 흡수율이 80% 이상인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0042] 또한 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 굴절률 조절 소재는 자성소재, 금속소재, 탄소소재, 세라믹소재, MXene 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0043] 또한 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 전도성 와이어는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계, 네오디늄(Nd)계, 금(Au)계, 은(Ag)계, 구리(Cu)계, 알루미늄(Al)계, 백금(Pt)계, 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbon black), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 또는 팔라듐(Pd)계 금속 또는 이들의 합금인 전도체, MXene 또는 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리아세틸렌, 폴리파라페닐렌비닐렌, 폴리사이오펜, 폴리에틸렌다이옥시사이오펜, 폴리페닐렌설파이드 또는 이들의 합성체인 전도성 고분자 중 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0044] 또한 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 고분자 복합체가 복수개 적층되고, 상기 적층된 고분자 복합체의 최상면에 전도성 와이어가 형성되는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0045] 또한 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 전도성 와이어는 메쉬, 원형, 다각형, 분할고리 또는 이들 중 어느 하나 이상을 포함하는 복합형태인 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0047] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의하면, 상기 복수 개의 전도성 와이어는 다중 간격 또는 단일 간격으로 형성되는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0048] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 의하면, 상기 복수 개의 전도성 와이어가 다중 간격으로 형성되는 경우 30% 이하의 반사율을 가지는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0049] 또한 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 전자파 흡수 복합소재는 26 GHz의 주파수에서0.5 dB 이하의 전자파 반사율을 가지는 것을 특징으로 하는 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0050] 또한 본 발명의 또 다른 실시예에 의하면, 상기 전잔파 흡수 복합소재는 상기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.1 dB 이하인 전자파 흡수 복합소재일 수 있다.

[0051] 또한 본 발명은 소자가 실장된 회로기판 및 적어도 상기 소자의 적어도 어느 일면을 덮도록 회로기판 상에 구비되는 상술한 어느 전자파 흡수 복합소재 중 어느 하나를 포함하는 전자파 흡수형 회로모듈을 제공한다.

[0052] 또한 본 발명은 상기 전자파 흡수형 회로모듈을 포함하는 전자기기를 제공한다.

[0053] 또한 본 발명은 (1) 내부에 굴절률 조절소재를 포함하는 고분자 복합체를 제조하는 단계; 및 (2) 상기 고분자 복합체 상에 전도성 와이어를 형성하는 단계; 를 포함하되, 하기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하가 되도록 고분자 복합체의 평균 굴절율, 두께, 전도성 와이어의 선폭 및 간격을 조절하는 전자파 흡수 복합소재의 제조방법을 제공한다.

[0054] [수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}c} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}c}$$

[0055]

[0056] 이때 f의 하한값이15이고 상한값이 80인 주파수이고,

[0057] D_{eff}는 하기 수학식 2로 표현되는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

[0058] N_{eff}는 하기 수학식 3로 표현되는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

[0059] c는 자유공간에서의 광속이다.

[0060] [수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp(0.23(D-a))$$

[0061]

[0062] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0063] a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[0064] [수학식 3]

$$n_{eff} = \sqrt{1-\frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)}n$$

[0065]

[0066] n은 상기 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

[0067] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0068] d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

[0069] 또한 본 발명의 일 실시예에 의한 전자파 흡수 복합소재의 제조방법은 상기 (1) 단계의 고분자 복합체는 굴절률 조절소재를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0070] 또한 본 발명의 다른 실시예에 의한 전자파 흡수 복합소재의 제조방법은 상기 (1) 단계는 상기 고분자 복합체가 복수 개 적층 되고, 상기 (2) 단계는 상기 (1) 단계에서 적층된 고분 복합체의 최상면에 전도성 와이어가 형성되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0071] 또한 본 발명의 또 다른 실시예에 의한 전자파 흡수 복합소재의 제조방법은 상기 (2) 단계의 전도성 와이어는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계, 네오디늄(Nd)계, 금(Au)계, 은(Ag)계, 구리(Cu)계, 알루미늄(Al)계, 백금(Pt)계 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbon black), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 또는 팔라듐(Pd)계 금속 또는 금속 합금인 전도체, MXene 또는 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리아세틸렌, 폴리파라페닐렌비닐렌, 폴리사이오펜, 폴리에틸렌다이옥시사이오펜, 폴리페닐렌설파이드 또는 이들의 합성체인 전도성 고분자 중 적어도 어느 하나 이상과 폴리우레탄계, 폴리아미드계, 폴리에스테르계, 아크릴계, 폴리올레핀계, 셀룰로오스계, 탄소계, 유리계 중 적어도 하나 이상을 포함하는 섬유의 혼합물을 이용하여 상기 고분자 복합체에 어느 일면에 재봉하는 단계인 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0073] 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재에 의하면 전자파를 방출하는 전자부품에 사용되어 특정 주파수 대역에서 전자파를 90% 이상 흡수함과 동시에 0 dB에 가까운 전자파 반사를 나타내어 전자부품 서로 간의 전자파를 효율적으로 차폐하여 전자부품의 기계적, 전기적 물성 저하가 없이 소형화/경박화에 기여할 수 있다.

[0074] 나아가 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재는 목적하는 매칭주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있

도록 고분자 복합체의 두께, 굴절율, 전도성 와이어의 스펙(선폭, 간격 등)의 유기적 관계를 규명하고 이를 설계할 수 있는 관계식을 도출함과 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 도출할 수 있고, 넓은 주파수 영역에서 전체적으로 낮은 반사능을 가지도록 설계할 수 있어서 소형화/경박화 추세에 있는 전자부품 서로 간의 전자파 간섭을 최소화하여 전자부품의 안정성을 제고할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0076] 도 1은 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재를 나타내는 도면이다.

도 2a는 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재의 굴절률 조절 소재가 포함된 것을 나타내는 도면이다.

도 2b 및 도 2c는 본 발명에 따른 전도성 와이어의 평균 간격과 평균 선폭을 설명하기 위한 도면이다.

도 2d는 본 발명에 일 실시예에 따른 다중 간격을 가지는 전도성 와이어를 나타내는 모식도이다.

도 3 은 실시예 1에 따라 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능과 반사능 및 차폐능을 나타내는 그래프이다.

도 4 및 5는 각각 실시예 2 내지 3에 따라 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능과 반사능 및 차폐능을 나타내는 그래프이다.

도 6 및 7은 각각 비교예 1 및 2에 따라 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능과 반사능 및 차폐능을 나타내는 그래프이다.

다음 도 8 및 9는 각각 실시예 4 및 5에 따라 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능과 반사능 및 차폐능을 나타내는 그래프이다.

도 10 및 11은 다중 간격을 가지는 전도성 와이어에 반사능을 나타내는 그래프이다.

도 12 및 13는 각각 비교예 3 및 4에 따라 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능과 반사능 및 차폐능을 나타내는 그래프이다.

도 14 및 15는 각각 실시예 6 및 비교예 5에 따라 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능과 반사능 및 차폐능을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0077] 이하 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0078] 상술한 바와 같이 종래 전자파 차폐소재는 전자부품에 소형화/경박화 추세에 맞지 않는 점, 특정 매칭 주파수를 가지도록 설계하기 어려운 점 및 특정 매칭 주파수에서 구조설계를 통해 전자파 흡수능을 최대화하거나 반사능을 최소화하여 차폐능력을 극대화시킬 수 없는 점 등의 문제가 있었다.

[0079] 이에 본 발명은 내부에 굴절률 조절소재를 포함하는 고분자 복합체, 상기 고분 복합체의 적어도 어느 일면에 형성된 복수개의 전도성 와이어를 포함하고, 하기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하인 전자파 흡수 복합소재를 제공하여 상술한 문제에 대한 해결을 모색하였다.

[0080] [수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}c} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}c}$$

[0081]

[0082] 이때 f의 하한값은15이고 상한값은 80인 주파수이고,

[0083] D_{eff}는 하기 수학식 2로 표현되는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

[0084] N_{eff}는 하기 수학식 3로 표현되는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

[0085] c는 자유공간에서의 광속이다.

[0086] [수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp(0.23(D-a))$$

[0087]

[0088] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0089] a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[0090] [수학식 3]

$$n_{\text{eff}} = \sqrt{1-\frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)}n$$

[0091]

[0092] n은 상기 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

[0093] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0094] d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

[0095] 이를 통해 본 발명은 목적하는 매칭 주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있도록 고분자 복합체의 두께, 굴절율, 전도성 와이어의 스펙(선폭, 간격 등)의 유기적 관계를 규명하고 이를 설계할 수 있는 관계식을 도출함과 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 찾아냄으로써 소형화/경박화 추세에 있는 전자부품 서로 간의 전자파 간섭을 최소화하여 전자부품의 안정성을 제고할 수 있다.

[0097] 도 1은 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재를 나타내는 도면이다.

[0098] 구체적으로 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100) 내부에 굴절률 조절소재(20)를 포함하는 고분자 복합체(10)를 포함한다.

[0099] 상기 고분자 복합체(10)는 내부에 굴절률 조절소재(20) 분산되고 고분자 복합체(10)의 적어도 어느 일면에 전도성 와이어가 형성되도록 하는 고분자 기재 역할을 함과 동시에 상기 굴절률 조절소재(20) 및 상기 전도성 와이어(30)와 더불어 특정 매칭 주파수를 설정할 수 있게 하며, 설정된 주파수 대역에서 흡수능을 최대화시킬 수 있도록 제어해야 하는 주요 변수이다.

[0100] 즉 상기 고분자 복합체(10)는 전자파 흡수 복합소재(100)의 전자파 차폐능력을 결정하는 일 요소이기 때문에 고분자 복합체(10)의 굴절률, 두께, 재료는 최종 제조된 전자파 흡수 복합소재(100)의 매칭 주파수, 목적하는 흡수능 및 반사능에 적합하도록 제어할 수 있다.

[0102] 다음 도 2를 참조하면, 상기 고분 복합체(10)는 굴절률 조절소재(20)를 포함한다.

[0103] 이때 상기 굴절률 조절소재(20)는 본 발명에서 굴절률에 영향을 미치는 소재일 수 있으나 이에 한하지 않고, 투자율, 유전율 등의 물성도 조절하는 소재일 수 있다.

[0104] 본 발명의 일 실시예에 따라 상기 굴절률 조절소재가 유전율을 조절할 때, 상기 굴절률 조절소재는 3 내지 15의 유전율을 가질 수 있다. 이때 만일 3 미만의 유전율을 가지는 경우 목적하는 흡수능을 달성하지 못하는 문제가 있을 수 있고, 또한 만일 15를 초과하는 유전율을 가지는 경우 지나치게 높은 전도성으로 전도성 와이어의 패턴이 독립적으로 작동하지 않는 문제가 있을 수 있다.

[0105] 이러한 굴절률 조절소재의 형태는 특별히 제한하지 않으나, 구(sphere)형, 판(plate)형, 플레이크(flake)형, 막대(rod)형 또는 와이어(wire)형, 할로우(hollow) 구조의 구형(sphere)형, 할로우 구조의 튜브(tube)형, 할로우 구조의 와이어형(wire)형 또는 할로우 구조의 플레이크(flake)형일 수 있으며, 이러한 형태로 고분자 복합체(10) 내부에 포함될 수 있고, 보다 바람직하게는 굴절률 조절소재(20)가 고분자 복합체(10)를 이루는 고분자 기

재 내부에 분산된 형태로 포함될 수 있다.

[0106] 또한 같은 취지로, 상기 굴절률 조절소재(20)는 있는 공지의 재료가 선택될 수 있고 이에 대한 비제한적인 예로, 상기 굴절률 조절소재(20)는 자성소재, 금속소재, 탄소소재, 세라믹소재, MXene로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있으며 바람직하게는 서로 다른 공명 주파수를 갖는 복수 개의 자성 입자로 이루어질 수 있다.

[0107] 이때 본 발명의 일 실시예에 따라 상기 굴절률 조절소재가 자성소재인 경우, 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간 (Mn)계 또는 네오디늄(Nd)계 금속 또는 금속 합금 입자일 수 있다. 또한 이러한 자성소재에 타이타늄 산화물(Titanium oxide), 바륨-타이타늄 산화물 (Barium-Titanium oxide) 및 스트론튬-타이타늄 산화물(Strontium-Titanium oxide) 중에서 선택된 1종 이상의 유전체가 코팅된 입자일 수 있다. 또한 상기 자성소재는 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbonblack), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 중에서 선택된 1종 이상의 탄소계 전도체에 자성 소재가 코팅된 입자일 수 있다. 또한, 상기 자성 소재는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계 또는 네오디늄(Nd)계 금속 또는 금속 합금일 수 있다. 이때, 자성체의 코팅 두께는 굴절률 조절소재의 크기를 고려하여 50㎚ 내지 5㎛의 두께로 코팅할 수 있다.

[0108] 이러한 상기 굴절률 조절소재는 고분자 복합체에 분산되는 형태로 포함될 경우 0.01 내지 80 중량%로 포함될 수 있으나, 고분자 복합체에 대부분이 굴절률 조절소재로만 형성되는 경우에는 특별히 한정되지 않고 고분자 복합체에 대부분이 굴절률 조절소재로 형성될 수도 있다.

[0109] 나아가 상기 굴절률 조절소재가 입자 형태로 포함되는 경우 1㎚ 내지 50㎛, 바람직하게는 10㎚ 내지 20㎛의 크기를 가질 수 있으나, 본 발명의 목적에 부합하는 일반적인 크기가 될 수 있으므로 특별히 제한하지 않는다.

[0111] 다음 도 1을 참조하면, 상기 고분자 복합체(10)의 적어도 어느 일면에는 복수개의 전도성 와이어(30)가 형성된다.

[0112] 상기 전도성 와이어(30)는 고분자 복합체(10)에 형성되어 매칭 주파수와 흡수능을 결정지는 주요 요인이 된다. 특히 전도성 와이어(30)는 그 형상에 따라 특정한 주파수만 통과시키면서 이 주파수 대역에서 반사능을 극히 저감시키고 흡수능을 극대화시키는 역할을 한다. 또한, 이러한 전도성 와이어의 형상, 선폭, 간격을 제어하여 목적하는 대역대의 매칭 주파수를 얻을 수 있고, 이러한 특정 주파수에서 전자파를 대부분 흡수시켜 전자파 차폐 효과를 크게 향상시킬 수 있다.

[0114] 한편, 상술한 고분자 복합체(10) 및 전도성 와이어(30)는 하기 수학식 1 내지 수학식 3을 만족한다. 이하에서는 수학식 1 내지 3에 대하여 설명한다.

[0116] [수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}c} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}c}$$

[0117]

[0118] 이때 f의 하한값은15이고 상한값은 80인 주파수이고,

[0119] D_{eff}는 하기 수학식 2로 표현되는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

[0120] N_{eff}는 하기 수학식 3로 표현되는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

[0121] c는 자유공간에서의 광속이다.

[0123] 주파수 f(GHz)

[0124] 본 발명은 무선 전자, 통신, 컴퓨터, 전자 자동차 응용, 레이더, 특히, 통신 기술의 발전이 5 세대(5G)로 이동

함에 따라 밀리미터 대역의 고주파를 차폐하는 5G용 전자파 흡수 복합소재를 제공함에 발명의 일 목적이 있으므로, 상기 주파수 f는 15 GHz 내지 80 GHz 일 수 있으며 보다 바람직하게는 15 내지 45 일 수 있다. 특히 본 발명에서 매칭 주파수 f의 하한값을 f1으로 상한값을 f2로 나타내기로 한다.

[0125] 이때 이러한 특정 주파수(f)를 흡수하기 위해서는 전자파 흡수 복합소재의 굴절률, 두께, 소재, 분산되는 금속재료 등의 복합적인 물성에 대한 미세 제어가 필요하기 때문에, 5G가 요구하는 GHz 주파수 대역에서도 전자파를 흡수하고 효율적인 전자파 차폐소재를 제공하기 위해서는 전자파에 대한 흡수능 최대화할 수 있는 구조설계와 더불어 특정 주파수(5G 대역)를 흡수할 수 있는 전자파 흡수 복합소재에 대한 구조 설계가 반드시 필요하다.

[0126] 이에 따라 본 발명은 상기 수학식 1과 같이 전자파 흡수 복합소재에 포함되는 각 물성들 간의 유기적인 관계를 규명하여 이를 식으로 도출하였다.

[0128] 유효 간격(D_{eff})

[0129] 상기 수학식 1에서 유효 간격이란 상술한 전도성 와이어(30)의 평균 선폭(a)과 전자파 파장 길이의 영향을 고려한 전도성 와이어의 간격(D_{eff})을 의미하며, 전도성 와이어의 평균 간격(D)과는 하기 수학식 2와 같은 관계에 있다.

[0131] [수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp\left(0.23(D-a)\right)$$

[0132]

[0133] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0134] a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[0136] 유효 굴절률(n_{eff})

[0137] 상기 수학식 1에서 유효 굴절률이란 전자파 흡수 복합소재가 자유공간에서 차지하는 두께를 고려한 전자파 흡수 복합소재의 굴절률을 의미하며 전자파 흡수 복합소재의 평균 굴절률(n)과는 다음 수학식 3과 같은 관계에 있다.

[0139] [수학식 3]

$$n_{eff} = \sqrt{1 - \frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)}$$

[0140]

[0141] n은 상기 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

[0142] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0143] d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

[0145] 상기 수학식 3에서 평균 굴절률(n)은 본 발명에서 목적하는 것과 같이 특정 매칭 주파수 또는 GHz 대역의 주파수를 설정함과 동시에, 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 하여 전자부품 서로 간의 전자파 간섭을 최소화시킬 수 있는 전자파 흡수 복합소재의 설계에서 중요한 변수로 작용을 한다. 왜냐하면 굴절률에 따라 매칭 주파수에서 요구되는 전도성 와이어의 간격이 달라지며, 전자파 흡수능은 전도성 와이어의 간격에 크게 의존하기 때문이다.

[0147] 다음, 상술한 수학식 1 내지 3에 대하여 도 3 내지 12를 참조하여, 고분자 복합체(10)의 두께, 전도성 와이어의 평균 간격(D) 및 전도성 와이어의 평균 선폭(a), 고분자 복합체(10) 굴절률 과의 관계를 순서대로 설명한다.

[0149] 먼저 고분자 복합체(10)의 두께(d)에 따른 매칭 주파수 및 흡수능의 관계를 규명하기 위해 도 4 및 5를 참조하여 설명한다.

[0150] 도 4및 5는 각각 실시예 2 및 3에서 전도성 와이어(30)의 간격(D)과 전도성 와이어(30)의 평균 선폭(a)을 각각 1.5 ㎜ 및 250 ㎛로 일정하게 하고 고분자 복합체(10)의 두께(d)를 변화시켜 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)를 제조한 후, 그래프에 기재된 특정 주파수에서 흡수능과 반사능 및 차폐능을 평가하여 그 결과는 나타낸 그래프이다.

[0151] 이때 위와 같은 두께, 와이어 선폭, 간격 조건 모두에서 주파수는 18~40 GHz를 나타냄과 동시에, 각 실시예의 반사능은 0.2 dB 미만임을 알 수 있다. 또한, 이와 같은 실시예 2 및 3을 통해 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)는 고분자 복합체(10)의 두께(d)가 두꺼워질수록 목적하는 매칭 주파수 대역이 낮아짐을 알 수 있다. 결국, 상기 고분자 복합체(10)의 두께(d)는 전자파 흡수 복합소재(100)의 매칭 주파수와 흡수능을 결정하는 주요한 요소임을 알 수 있다.

[0152] 이에 따라 상기 고분자 복합체(10)는 상술한 특정 매칭 주파수와 흡수능을 고려하여 적절한 고분자 재료를 선택할 수 있기 때문에 특별히 한정하지 않으나 이에 대한 비제한적인 예로써 열경화성 또는 열가소성 물질일 수 있으며, 에폭시(epoxy), 실리콘 고무(silicon rubber), 폴리우레탄(polyurethane), 폴리에틸렌 (polyethylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate; PET), 폴리에스테르설폰 (polyestersulfone; PES), 폴리아크릴레이트(polyarylate; PAR), 폴리이미드(polyimide; PI), 폴리카보네이트 (polycarbonate; PC)와 같은 고분자 재료를 사용할 수 있으며 또는 이중에서 선택된 2종 이상을 혼합하여 제조할 있다. 보다 바람직하게는 열가소성 폴리우레탄(Thermoplastic Polyurethane) 일 수 있다.

[0153] 또한 상기 고분자 복합체(10)의 두께(d)는 목적하는 매칭주파수와 흡수능을 고려하여 적절히 제어할 수 있으며 일 예로 100 내지 2000 ㎛의 두께(d)를 가질 수 있고, 5g 대역의 매칭주파수를 가지도록 하기 위해 바람직하게는 200 내지 500 ㎛의 두께를 가질 수 있다. 이때 만일 상기 고분자 복합체(10)의 두께가 100 ㎛ 미만일 경우 충분한 흡수능을 발현하지 못하는 문제가 있을 수 있고, 상기 고분자 복합체(10)의 두께가 2000 ㎛를 초과하는 경우 지나치게 두꺼워 5G 단말기기에 적용이 어려운 문제가 있을 수 있다.

[0155] 다음, 전도성 와이어(30)의 간격(D)에 대한 매칭 주파수와 흡수능의 관계를 규명하기 위해 도 6 및 도 7을 참조하여 설명한다.

[0156] 도 6 및 도 7은 각각 비교예1 및 2에서 고분자 복합체(10)의 두께(d)와 전도성 와이어(30)의 선폭(a)을 각각 200 ㎛ 및 150 ㎛로 일정하게 하고 전도성 와이어(30)의 간격(D)을 로 변경하여 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)을 제조한 후, 그래프에 기재된 특정 주파수에서 흡수능과 반사능 및 차폐능 평가 결과를 나타내는 그래프이다.

[0157] 도 6 및 7을 참조하면, 비교예 1 및 2의 경우 실시예 1 대비 0.2 db를 초과하는 매우 높은 반사능을 나타내고, 흡수능은 오히려 현저히 저하됨을 알 수 있다. 이에 따라 전도성 와이어(30)의 간격(D)이 흡수능과 반사능 및 차폐능을 결정하는 주요한 요소임을 알 수 있다.

[0158] 이에 따라 상기 전도성 와이어(30)의 평균 간격(D)은 0.5 내지 10 ㎜ 일 수 있으며 보다 바람직하게는 0.5 내지 2 ㎜ 일 수 있다. 다만 상기 바람직한 범위는 전도성 와이어(30)가 단일 간격을 가지는 경우의 간격을 의미하는 것으로, 전도성 와이어(30)가 후술할 것과 같이 다중 간격을 가지는 경우 0.5 내지 10 ㎜ 범위의 평균 간격(D)을 가질 수 있다. 이때, 상기 전도성 와이어의 평균 간격(D)이란 도 2a에 도시된 것과 같이 본 발명의 일 실시예에 따라 전도성 와이어가 메쉬 형태로 형성되었을 때, 하나의 전도성 와이어 및 그와 인접한 다른 하나와의 간격들의 평균을 의미한다. 또한, 상기 전도성 와이어의 평균 간격은 D1 또는 D2를 모두 포함하는 의미일 수 있으나 바람직하게는 D2 즉, 전도성 와이어가 형성된 부분은 생략한 전도성 와이어의 최외곽과 인접한 전도성 와이어의 최외곽 사이의 간격을 의미한다.

[0159] 이때, 본 발명의 일 실시예에 따라 만일 상기 전도성 와이어의 평균 간격이 0.5 ㎜ 미만일 경우 전도성 와이어 간의 간섭으로 매칭 주파수 대역에서 반사능이 저감되지 않는 문제가 있을 수 있고, 만일 상기 전도성 와이어의

평균 간격이 10 ㎜를 초과하는 경우 충분한 흡수능을 발현하지 못하는 문제가 있을 수 있다

[0161] 다음, 전도성 와이어(30)의 선폭(a)에 대한 매칭 주파수와 흡수능의 관계를 규명하기 위해 도 8 및 9를 참조하여 설명한다.

[0162] 다음 도 8 및 9는 각각 실시예 4 및 5에서 전도성 와이어(30)의 간격(D)과 고분자 복합체(10)의 두께(d)를을 각각 1.5 ㎜ 및 400 ㎛로 하고 전도성 와이어(30)의 선폭(a)을 변화시켜 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)를 제조한 후, 특정 주파수에서 흡수능과 반사능 및 차폐능을 평가하여 그 결과를 나타내는 그래프이다.

[0163] 이때 위와 같은 두께, 와이어 선폭, 간격 조건 모두에서 18~40 GHz를 나타냄과 동시에, 각 실시예의 반사능은 0.2 dB 미만임을 알 수 있다. 또한, 이와 같은 실시예 4 및 5를 통해 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)는 전도성 와이어(30)의 선폭(a)을 적절히 설계하여 목적하는 매칭 주파수 대역을 조절할 수 있음을 알 수 있다.

[0164] 이를 통해 상기 전도성 와이어(30)의 선폭(a)이 매칭 주파수와 반사능을 결정하는 주요한 요소임을 알 수 있다.

[0165] 이에 따라 상기 전도성 와이어의 선폭(a)은 50 내지 500 ㎛일 수 있으며, 보다 바람직하게는 100 내지 300 ㎛일 수 있다. 이때 상기 평균 선폭(a) 도 2c에 도시된 것과 같이 본 발명의 일 실시예에 따라 원형으로 전도성 와이어가 형성되는 경우, 전도성 와이어의 가장 긴 폭을 의미한다. 또한 상기 전도성 와이어가 본 발명의 또 다른 실시예인 다각형의 형성되는 경우에도 마찬가지로 가로 또는 세로 방향 중 가장 긴 방향을 의미한다.

[0166] 이때, 본 발명의 일 실시예에 따라 만일 상기 전도성 와이어의 선폭이 50 ㎛ 미만일 경우 충분한 흡수능을 발현하지 못하는 있을 수 있고, 만일 상기 전도성 와이어의 선폭이500 ㎛를 초과하는 경우 전도성 와이어 간의 간섭으로 매칭 주파수 대역에서 반사능이 저감되지 않는 문제가 있을 수 있다.

[0167] 또한 상기 전도성 와이어는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계, 네오디늄(Nd)계, 금(Au)계, 은(Ag)계, 구리(Cu)계, 알루미늄(Al)계, 백금(Pt)계, 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbon black), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 또는 팔라듐(Pd)계 금속 또는 이들의 합금인 전도체, MXene 또는 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리아세틸렌, 폴리파라페닐렌비닐렌, 폴리사이오펜, 폴리에틸렌다이옥시사이오펜, 폴리페닐렌설파이드 또는 이들의 합성체인 전도성 고분자 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0168] 이때, 상기 전도성 와이어는 메쉬, 원형, 다각형, 분할고리 또는 이들 중 어느 하나 이상을 포함하는 복합형상 형태일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 전도성 와이어는 주기적으로 배열된 전도성 와이어로 이루어질 수 있고, 비주기적으로 배열된 전도성 와이어로 이루어질 수도 있으며, 직선에 한하지 않고 곡선일 수 있다. 바람직하게 상기 전도성 와이어는 메쉬 형태로 주기적인 배열일 수 있으며 이때 전자파 흡수 효율이 보다 향상될 수 있다.

[0170] 또한, 상기 전도성 와이어(30)는 다중 간격 또는 단일 간격으로 형성될 수 있다.

[0171] 즉 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)는 본 발명의 일 실시예에 따라 상기 전도성 와이어(30)가 도 1과 같이 단인 간격으로 형성될 수도 있으나, 본 발명의 다른 실시예에 따르면 도 2d와 같이 상기 전도성 와이어(30)는 다중 간격으로 형성될 수 있다.

[0173] 일반적으로 도 1과 같이 단일 간격을 가지는 전도성 와이어(30)는 상술한 것과 같이 간격이나 선폭 등을 적절히 제어하여 매칭되는 특정 주파수에서의 반사율을 저하시킬 수 있으나, 도 10 및 11에 점선 또는 파선으로 나타낸 것과 같이 매칭되지 않는 주파수에서는 반사능이 급격히 상승할 수 있다. 즉 상기 전도성 와이어(30)의 간격이나 선폭 등을 제어하여 고주파에서 매칭되도록 한 경우, 저주파에서 고주파로 갈수록 반사능이 감소할 수 있고, 저주파에서 매칭되도록 한 경우, 고주파에서 저주포 갈수록 반사능이 증가할 수 있다.

[0174] 이에 반하여 도 2d와 같이 다중 간격을 가지는 전도성 와이어(30)의 경우 도 10 및 11에 실선으로 나타낸 것과 같이 넓은 주파수 대역에서 전체적으로 낮은 반사능을 나타낼 수 있다. 보다 바람직하게 상기 전도성 와이어가 다중 간격으로 형성되는 경우 30% 이하의 반사율 또는 1.5 dB 이하의 반사능을 나타낼 수 있다.

[0175] 이와 같이 본 발명은 상기 전도성 와이어(30)의 간격의 다양화를 통해 특정 매칭 주파수뿐만 아니라, 넓은 주파수 대역에서의 반사능도 일정하게 유지할 수 있다. 이때 본 발명에서는 상기 다중 간격에 대하여 서로 다른 두 종류의 간격에 대해서만 설명하였으나 이는 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이므로, 이에 한정되지 않고 상기 전도성 와이어(30)의 다중 간격은 적어도 서로 다른 두 종류 이상의 간격을 가지는 것을 의미할 수 있다.

[0177] 한편, 상기 전도성 와이어는 고분자 복합체의 어느 일면에 25% 내지 65%의 면적으로 형성될 수 있으며, 보다 바람직하게는 적층된 고분자 복합체의 최상면의 어느 일면에 30% 내지 50%의 면적으로 형성될 수 있다. 이때 만일 상기 전도성 와이어의 면적이 25% 미만일 경우 충분한 흡수능을 발현하지 못하는 문제가 있을 수 있고, 만일 상기 전도성 와이어의 면적이 65%를 초과하는 경우 전도성 와이어 간의 간섭으로 매칭 주파수 대역에서 반사능이 저감되지 않는 문제가 있을 수 있다.

[0179] 한편, 굴절률에 대한 상기 수학식 3을 규명하기 위하여 다음과 같은 비교예 3 및 4를 제조하였다. 비교예 3 및 4는 상기 실시예 1 과 나머지 조건은 동일하게 하되, 전도성 고분자 복합체(10)에 포함되는 굴절률 조절소재를 달리하여 고분자 복합체의 평균 굴절률(n)을 각각 2 및 18로 제조한 전자파 흡수 복합소재이며, 특정 주파수에서 이에 대한 흡수능과 반사능 및 차폐능은 도 12및 13과 표 1 및 표2에 도시하였다.

[0180] 도 12및 13과 표 1 및 표 2를 참조하면, 상기 비교예 3 및 4는 상술한 실시예 1과 같은 22.5 GHz 측정 주파수에서 본 발명이 목적하는 0.2 dB 이하의 반사능이 아닌 이보다 훨씬 높은 수치의 반사능을 나타냄을 알 수 있다. 이를 통해, 위와 같은 고분자 복합체의 평균 굴절률(n)은 매칭 주파수와 반사능 및 흡수능을 결정하는 주요한 요인이며, 고분자 복합체(10)의 두께(d)의 적절한 설계를 통해 평균 굴절률(n)을 제어하여 목적하는 매칭 주파수의 설정 및 효율적인 전자파 흡수 복합소재의 설계가 가능함으로 규명하였다.

[0181] 이와 같이 평균 굴절률(n)은 본 발명에서 목적하는 매칭 주파수의 설정 및 효율적인 전자파 흡수 복합소재의 설계에서 반드시 고려해야할 요소이기 때문에, 상기 평균 굴절률(n)은 3 내지 15 일 수 있고, 보다 바람직하게는 4 내지 10 일 수 있다. 이때 만일 평균 굴절률이 3 미만인 경우 목적하는 흡수능을 달성하지 못하는 문제가 있을 수 있고, 만일 또한 평균 굴절률이 15를 초과하는 경우 지나치게 높은 전도성으로 전도성 와이어의 패턴이 독립적으로 작동하지 않는 문제가 있을 수 있다.

[0183] 다음, 본 발명의 상술한 고분자 복합체의 두께 및 전도성 와이어의 평균 선폭 중 단 어느 하나라도 본 발명의 조건에 부합하지 않는 경우 목적하는 0.2dB 이하의 최소화시킨 반사능 또는 5g 대역에 적합한 주파수 대역을 동시에 나타낼 수 없을 확인하기 위해 실시예 6 및 비교예 5를 제조하였고 결과를 각각 도 14 및 15에 도시하였다.

[0184] 실시예 6 및 비교예 5는 상기 실시예 1에서 고분자 복합체의 두께 및 전도성 와이어의 평균 간격을 하기 표 1과 같이 달리하여 제조하고, 특정 주파수에서 흡수능과 반사능 및 차폐능을 평가하여 표 2에 나타내었다.

[0185] 표 1 및 표 2를 참조하면 실시예 6은 상기 실시예1와 달리14 내지 18 GHz의 매칭 주파수만을 나타내는 것을 알 수 있으며, 비교예 5는 실시예 1과 달리 본 발명이 목적하는 0.2 dB 이하의 반사능이 아닌 이보다 훨씬 높은 수치의 반사능을 나타냄을 알 수 있다.

[0187] 이와 같은 결과들을 통해, 상술한 고분자 복합체의 두께, 전도성 와이어의 평균 선폭 및 이들의 평균 간격 중 단 어느 하나라도 본 발명의 조건에 부합하지 않는 경우, 본 발명이 목적하는 매칭 주파수와 반사능 및 흡수능을 가질 수 없음을 알 수 있고, 이들의 구체적의 설계를 통해 목적하는 매칭 주파수의 설정 및 효율적인 전자파 흡수 복합소재의 설계가 가능함으로 규명하였다.

[0188] 나아가 본 발명은 상술한 고분자 복합체의 두께, 전도성 와이어의 평균 선폭 및 이들의 평균 간격 모두가 본 발명의 조건에 부합하는 경우에만, 수학식 1 내지 3을 통해 규명한 전자파 흡수 복합소재의 목적하는 매칭주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있음을 규명하였고, 이들 유기적 관계를 설계할 수 있는 관계식을 도출하였으며 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 확인하였음을 알 수 있다.

[0190] 한편 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재는 전자파 흡수율이 90% 이상일 수 있다. 이미 상술한 상기 실시예 1 내지 6 및 비교예 1 내지 5를 참조하면, 실시예들의 경우 모두 전자파 90%에 가까운 흡수율이 나타내고 있으나, 본 발명의 수학식 1 내지 3을 만족하지 못하는 비교예들은 현저히 낮은 흡수율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

[0191] 특히 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재는 26 GHz의 주파수에서0.5 dB 이하의 전자파 반사율을 가질 수 있다. 또한, 상기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.1 dB 이하일 수 있다.

[0192] 이는 5G가 요구하는 일반적인 주파수 대역이며 이때에도 0.5 dB 이하의 전자파 반사능을 가짐으로써, 최근 정보통신산업 분야 발전 추세에 따라 다양한 전자 부품 소재에 사용될 수 있다.

[0193] 이에 따라서 본 발명은 소자가 실장된 회로기판 및 적어도 상기 소자의 적어도 어느 일면을 덮도록 회로기판 상에 구비되는 상술한 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재를 포함하는 전자파 흡수형 회로모듈을 제공하며, 이러한 회로모듈 전자파 흡수형 회로모듈을 포함하는 전자기기를 제공한다.

[0194] 상기 회로모듈은 특별히 제한하지 않으나, 이에 대한 비제한적인 예로 5G를 요구하는 대역대에서 사용가능한 회로모듈일 수 있으며, 상기 전자기기는 하나 이상의 전자부품을 포함하여 전자파 차폐가 필요한 모든 산업 분야의 전자기기일 수 있다.

[0196] 다음, 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재의 제조방법을 설명한다. 다만 중복을 피하기 위해 상술한 전자파 흡수 복합소재와 기술적 사상이 중복되는 부분에 대하여는 설명을 생략한다.

[0197] 본 발명은 (1) 고분자 복합체를 제조하는 단계 및 (2) 상기 고분자 복합체 상에 전도성 와이어를 형성하는 단계를 포함하되, 하기 수학식 1 내지 3을 통해 도출되는 매칭 주파수(f) 범위에서 반사되는 전자파가 0.2 dB 이하가 되도록 고분자 복합체의 평균 굴절율, 두께, 전도성 와이어의 선폭 및 간격을 조절하는 전자파 흡수 복합소재의 제조방법을 제공한다.

[0198] [수학식 1]

$$0.67\frac{D_{eff}}{n_{eff}c} \leq f(GHz) \leq 0.83\frac{D_{eff}}{n_{eff}c}$$

[0199]

[0200] 이때 f의 하한값은 15이고 상한값은 80인 주파수이고,

D_{eff}

[0201] 는 하기 수학식 2를 만족하는 상기 전도성 와이어의 유효 간격이고,

n_{eff}

[0202] 은 하기 수학식 3을 만족하는 전자파 차폐 복합소재의 유효 굴절률이고,

[0203] c는 자유공간에서의 광속이다.

[0204] [수학식 2]

$$D_{eff} = 1.53\exp(0.23(D-a))$$

[0205]

[0206] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0207] a는 상기 전도성 와이어의 평균 선폭이다.

[0208] [수학식 3]

$$n_{eff} = \sqrt{1-\frac{n^2-1}{n^2}\exp\left(\frac{-18d}{D}\right)n}$$

[0209]

[0210] n은 고분자 복합체의 평균 굴절률이고,

[0211] D는 상기 전도성 와이어의 평균 간격이고,

[0212] d는 상기 고분자 복합체의 두께이다.

[0214] 먼저 상기 (1) 단계의 고분자 복합체를 제조하는 위해서 고분자 물질 및 용매를 포함하는 고분자 복합체 용액을 제조한다.

[0215] 상기 고분자 물질은 특별히 한정하지 않으나 이에 대한 비제한적인 예로써 열경화성 또는 열가소성 물질일 수 있으며, 에폭시(epoxy), 실리콘 고무(silicon rubber), 폴리우레탄(polyurethane), 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate; PET), 폴리에스테르설폰(polyestersulfone; PES), 폴리아크릴레이트(polyarylate; PAR), 폴리이미드(polyimide; PI), 폴리카보네이트(polycarbonate; PC)와 같은 고분자 재료를 사용할 수 있으며 또는 이중에서 선택된 2종 이상을 혼합하여 제조할 있다. 보다 바람직하게는 열가소성 폴리우레탄(Thermoplastic Polyurethane) 일 수 있다.

[0216] 또한 상기 용매는 본원 발명이 속하는 기술분야에서 일반적으로 사용되는 물질일 수 있으며 특별히 한정하지 않으나, 비제한적인 예로 용매로 디에틸프로판디올(diethyl propanediol), 디프로필렌글리콜메틸에테르(dipropylene glycol methyl ether), n,n-디메틸포름알데히드(DMF) 등이 사용될 수 있으며 바람직하게는 n,n-디메틸포름알데히드(DMF)를 용매로 사용할 수 있다.

[0217] 또한 상기 고분자 용액 내의 고분자 물질과 용매는 본 발명의 목적에 부합하는 조성으로 혼합될 수 있으며 이에 대한 비제한적인 예로 고분자 물질과 용매는 각각 60 ~ 80 : 20 ~ 40 중량%로 포함될 수 있다.

[0218] 본 발명의 일 실시예에 따라 폴리우레탄과 디메틸포름알데히드를 이용하여 고분자 용액을 제조하는 경우 교반기에서 1000 ~ 3000 rpm으로 2 내지 10분간 교반하여 제조할 수 있으며, 이후 혼합된 소재를 30 ~ 200㎛의 두께로 캐스팅한 후 50 ~ 150 ℃에서 건조하여 디메틸포름알데히드 용매를 제거하여 고분자 복합체를 제조할 수 있다.

[0219] 이때 상기 제조된 고분자 복합체가 복수 개로 적층 될 수 있으며 적층된 복수 개의 고분자 복합체를 80 ~ 150℃의 열과 5 ~ 15 Mpa의 압력으로 2 ~ 10분간 프레싱하여 단일 고분자 복합체를 얻을 수 있다. 이때 프레싱할 때 두께 게이지를 이용하여 제조되는 고분자 복합체의 두께를 제어할 수 있다.

[0220] 다음 이렇게 제조된 상기 (1) 단계의 고분자 복합체는 굴절률 조절소재를 더 포함할 수 있으며 이러한 굴절률 조절소재의 형태는 특별히 제한하지 않으나, 구(sphere)형, 판(plate)형, 플레이크(flake)형, 막대(rod)형 또는 와이어(wire)형, 할로우(hollow) 구조의 구형(sphere)형, 할로우 구조의 튜브(tube)형, 할로우 구조의 와이어형(wire)형 또는 할로우 구조의 플레이크(flake)형일 수 있으며, 이러한 형태로 고분자 복합체(10) 내부에 포함될 수 있고, 보다 바람직하게는 굴절률 조절소재(20)가 고분자 복합체(10)를 이루는 고분자 기재 내부에 분산된 형태로 포함될 수 있다.

[0221] 또한 같은 취지로, 상기 굴절률 조절소재(20)는 있는 공지의 재료가 선택될 수 있고 이에 대한 비제한적인 예로, 상기 굴절률 조절소재(20)는 자성소재, 금속소재, 탄소소재, 세라믹소재, MXene 중 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있으며 일 예로, 서로 다른 공명 주파수를 갖는 복수 개의 자성 입자로 이루어질 수 있다.

[0222] 이때 본 발명의 일 실시예에 따라 상기 굴절률 조절소재가 자성소재인 경우, 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간 (Mn)계 또는 네오디늄(Nd)계 금속 또는 금속 합금 입자일 수 있다. 또한 이러한 자성소재에 타이타늄 산화물(Titanium oxide), 바륨-타이타늄 산화물 (Barium-Titanium oxide) 및 스트론튬-타이타늄 산화물(Strontium-Titanium oxide) 중에서 선택된 1종 이상의 유전체가 코팅된 입자일 수 있다. 또한 상기 자성소재는 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbonblack), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 중에서 선택된 1종 이상의 탄소계 전도체에 자성 소재가 코팅된 입자일 수 있다. 또한, 상기 자성 소재는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계 또는 네오디늄(Nd)계 금속 또는 금속 합금일 수 있다. 이때, 자성체의 코팅 두께는 굴절률 조절소재의 크기를 고려하여 50㎚ 내지5㎛의 두께로 코팅할 수 있다.

[0223] 나아가 상기 굴절률 조절소재가 입자 형태로 포함되는 경우 1㎚ 내지 50㎛, 바람직하게는 10㎚ 내지 20㎛의 크기를 가질 수 있으나, 본 발명의 목적에 부합하는 일반적인 크기가 될 수 있으므로 특별히 제한하지 않는다.

[0224] 또한 상기 굴절률 조절소재를 고분자 복합체에 포함시키는 방법으로는, 특별히 제한하지 않으나 예컨대, 고분자

복합체에 굴절률 조절소재를 원하는 양만큼 첨가하여 호모 믹서(Homo Mixer), 초음파분산기(ultrasonic), 3롤 밀(3 roll mill)로 균일하게 분산시켜 형성할 수 있다.

[0226] 다음, 상기 (1) 단계는 적어도 하나의 고분자 복합체가 적층된 고분 복합체일 수 있으며 이후 (2) 단계로 적층된 고분자 복합체의 어느 일면에 25% 내지 35%의 면적으로 전도성 와이어가 형성되는 단계를 포함할 수 있다.

[0227] 상기 (2) 단계의 전도성 와이어는 다양한 방법을 이용하여 제작할 수 있으며, 특별히 제한되는 것은 아니다. 예컨대, 포토 리소그라피(photo lithography) 또는 레이저 가공 등을 이용하여 마스크를 제작한 후, 비전도성 수지에 크름(Cr), 산화크롬(Cr) 등으로 이루어진 전도성 와이어를 형성한 후, 크름(Cr), 산화크롬(Cr) 등으로 이루어 진 전도성 와이어에 도금법을 이용하여 니켈(Ni), 구리(Cu) 등으로 도금하여 전도성 와이어를 형성할 수도 있다.

[0228] 이때 상기 (2) 단계의 전도성 와이어는 철(Fe)계, 코발트(Co)계, 니켈(Ni)계, 몰리브덴(Mo)계, 망간(Mn)계, 네오디늄(Nd)계, 금(Au)계, 은(Ag)계, 구리(Cu)계, 알루미늄(Al)계, 백금(Pt)계 탄소나노튜브(carbon nanotube), 탄소나노섬유(carbon nanofiber), 카본블랙(carbon black), 카본섬유(carbon fiber) 및 그라핀(graphene) 또는 팔라듐(Pd)계 금속 또는 금속 합금인 전도체, MXene 또는 폴리피롤, 폴리아닐린, 폴리아세틸렌, 폴리파라페닐렌비닐렌, 폴리사이오펜, 폴리에틸렌다이옥시사이오펜, 폴리페닐렌설파이드 또는 이들의 합성체인 전도성 고분자 중 적어도 어느 하나 이상과 폴리우레탄계, 폴리아미드계, 폴리에스테르계, 아크릴계, 폴리올레핀계, 셀룰로오스계, 탄소계, 유리계 중 적어도 하나 이상을 포함하는 섬유의 혼합물을 이용하여 상기 고분자 복합체에 어느 일면에 재봉할 수 있다.

[0229] 또한 본 발명의 일 실시예에 따라 폴리우레탄을 전도성 와이어의 혼합물 재료로 사용하여 고분자 복합체에 재봉하는 경우 전도성이 없고 굴절율이 낮기에 소재의 전자기적 특성에 영향을 주지 않는 이점이 있다.

[0230] 이때 원하는 두께의 고분자 복합체를 얻은 후 Ag@Nylon 실을 전도성 와이어, 폴리우레탄 실을 윗실로 하여 전도성 그리드를 재봉한다. 이 때 전도성 그리드의 간격은 재봉틀 설정을 변경하여 조절 가능하다.

[0232] 이하에서는 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 구체적으로 설명하기로 하지만, 하기 실시예가 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니며, 이는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것으로 해석되어야 할 것이다.

[0234] **실시예 1**

[0235] TPU(Thermoplastic Polyurethane)가 DMF (n,n-디메틸포름알데히드)에 30 wt% 용해되어 있는 TPU 용액 200 ml를 제조한다. 제조된 TPU 용액에 CIP(Carbonyl Iron Powder, BASF EW)을 2 : 8의 질량비로 혼합한 후 교반기에서 2000 rpm 속도로 5분간 혼합하여 고분자 복합체를 제조하였다.

[0236] 다음 제조된 상기 고분자 복합체를 Doctor blade를 이용해 100 um 두께로 캐스팅해 필름을 제조한 후 110° C에서 건조하여 DMF 용매를 제거한다. 이후 고분자 복합체 5개를 적층한 후 120° C의 열과 10 Mpa의 압력으로 5분간 핫프레싱해 400 μm 두께의 단일 필름으로 제조하였다.

[0237] 다음 400 μm 두께로 적층된 고분자 복합체에 Ag@Nylon(소이텍스) 실을 전도성 와이어, 폴리우레탄실(명성산업)을 윗실로 하여 전도성 와이어를 선폭 250 μm, 간격 1.5 mm 로 형성하여 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0239] **실시예 2 및 3**

[0240] 고분자 복합체의 두께를 하기 표 1과 같이 달리한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0242] **실시예 4 및 5**

[0243] 전도성 와이어의 평균 선폭을 하기 표 1과 같이 달리한 것을 제외하고 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소

재를 제조하였다.

[0245] **실시예 6**

[0246] 전도성 와이어의 평균 간격을 하기 표 1과 같이 달리한 것을 제외하고 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0248] **실시예 7**

[0249] 전도성 와이어가 도 2d와 같이 1 ㎜ 및 3 ㎜의 다중 간격을 가지도록 제조한 것을 제외하고, 상기 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0251] **실시예 8 및 9**

[0252] 전도성 와이어가 각각 1 ㎜ 및 3 ㎜의 단일 간격을 가지도록 제조한 것을 제외하고, 상기 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0254] **비교예 1 및 2**

[0255] 전도성 와이어의 평균 간격을 하기 표 1과 같이 달리하여 제조한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0257] **비교예 3 및 4**

[0258] TPU와 고분자 복합체에 포함되는 굴절률 조절소재인 CIP의 질량비를 조절하여 고분자 복합체의 평균 굴절률(n)을 달리하여 제조한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

[0260] **비교예 5**

[0261] 고분자 복합체의 두께를 하기 표 1과 같이 달리하여 제조한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일하게 전자파 흡수 복합소재를 제조하였다.

표 1

[0263]

	고분자 복합체의 두께(d, ㎛)	고분자 복합체의 굴절률	전도성 와이어의 평균간격(D, ㎜)	전도성 와이어의 평균선폭(a, ㎛)	매칭 주파수(f1)	매칭 주파수(f2)
실시예 1	400	4.13	1.5	250	24.7	30.1
실시예 2	300	4.13	1.5	250	25.4	31.0
실시예 3	500	4.13	1.5	250	24.3	29.7
실시예 4	400	4.13	1.5	100	23.9	29.2
실시예 5	400	4.13	1.5	400	25.5	31.1
실시예 6	200	4.13	5	150	14.8	18.1
비교예 1	200	4.13	0.3	150	33.4	40.8
비교예 2	200	4.13	12	250	5.1	6.3
비교예 3	400	2	1.5	250	50.7	61.9
비교예 4	400	18	1.5	250	7.3	9.0
비교예 5	50	4.13	1.5	250	40.7	49.8

[0265] **실험예 1 - 흡수능 평가**

[0266] 상기 표 1의 실시예 내지 비교예에서 제조된 전자파 흡수 복합소재의 흡수능을 평가하기 위해 벡터 네트워크 분석기(Keysight N5291A)를 이용하여 표 2에 기재된 특정 주파수에서 측정하고 이를 하기 표 2에 나타내었다.

[0268] **실험예 2 - 반사능 평가**

[0269] 상기 표 1의 실시예 내지 비교예에서 제조된 전자파 흡수 복합소재의 반사능을 평가하기 위해 벡터 네트워크 분석기(Keysight N5291A)를 이용하여 표 2에 기재된 특정 주파수에서 측정하고 이를 하기 표 2에 나타내었다.

[0271] **실험예 3 - 차폐능 평가**

[0272] 상기 실험예 1 내지 3에 따른 결과를 종합하여 실시예 내지 비교예에서 제조된 전자파 흡수 복합소재의 종합 차폐능을 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

[0274]

	측정 주파수(GHz)	반사능(db)	반사능(%)	흡수능(dB)	흡수능(%)	차폐능(%)
실시예 1	26	0.01	0.2	11.22	92.2	92.4
실시예 2	26	0.2	4.5	10.65	87.3	91.8
실시예 3	26	0.13	2.9	10.99	89.3	92.2
실시예 4	26	0.11	2.5	11.45	90.5	93.0
실시예 5	26	0.18	4.1	13.25	91.4	95.5
실시예 6	18	0.01	0.2	2.03	37.3	37.48
비교예 1	26	2.22	40.0	42.68	60	100
비교예 2	26	2.64	45.6	2.60	24.5	70.1
비교예 3	26	2.51	43.9	10.62	51.2	95.1
비교예 4	26	2.81	47.6	16.07	51.1	98.7
비교예 5	26	1.65	31.6	11.27	63.3	94.9

[0276] **실험예 4 - 다중 간격 및 단일 간격 전도성 와이어에 따른 반사능 평가**

[0277] 상기 실시예 7 내지 9에 따른 전자파 흡수 복합소재의 반사능을 평가하기 위해 벡터 네트워크 분석기(Keysight N5291A)를 이용하여 측정하고 이를 도 10 및 도 11에 나타내었다.

[0279] 상기 표 1 및 2를 참조하면,

[0280] 실시예 1에서 고분자 복합체의 두께를 변화시킨 실시예 2 및 3을 통해 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)는 고분자 복합체(10)의 두께(d)가 두꺼워질수록 목적하는 매칭 주파수 대역이 낮아짐을 알 수 있다. 결국, 상기 고분자 복합체(10)의 두께(d)는 전자파 흡수 복합소재(100)의 매칭주파수와 흡수능을 결정하는 주요한 요소임을 알 수 있다.

[0281] 또한, 실시예 1에서 전도성 와이어의 간격을 변화시킨 비교예 1 및 2를 통해 실시예 1 대비 0.2 db를 초과하는 매우 높은 반사능을 나타내고, 흡수능은 오히려 현저히 저하됨을 알 수 있다. 이에 따라 전도성 와이어(30)의 간격(D)이 흡수능과 반사능 및 차폐능을 결정하는 주요한 요소임을 알 수 있다.

[0282] 또한, 실시예 1에서 전도성 와이어의 선폭을 변화시킨 실시예 4 및 5를 통해 위와 같은 두께, 와이어 선폭, 간격 조건 모두에서 18~40 GHz를 나타냄과 동시에, 각 실시예의 반사능은 0.2 dB 미만임을 알 수 있다. 또한, 이와 같은 실시예 4 및 5를 통해 본 발명에 따른 전자파 흡수 복합소재(100)는 전도성 와이어(30)의 선폭(a)을 적절히 설계하여 목적하는 매칭 주파수 대역을 조절할 수 있음을 알 수 있으며, 상기 전도성 와이어(30)의 선폭

(a)이 매칭 주파수와 반사능을 결정하는 주요한 요소임을 알 수 있다.

[0283] 또한, 실시예 1에서 고분자 복합체의 평균 굴절률(n)을 변화시킨 비교예 3 및 4를 통해 실시예 1과 같은 22.5 GHz 측정 주파수에서 본 발명이 목적하는 0.2 dB 이하의 반사능이 아닌 이보다 훨씬 높은 수치의 반사능을 나타냄을 알 수 있다. 이를 통해, 위와 같은 고분자 복합체의 평균 굴절률(n)은 매칭 주파수와 반사능 및 흡수능을 결정하는 주요한 요인이며, 고분자 복합체(10)의 두께(d)의 적절한 설계를 통해 평균 굴절률(n)을 제어하여 목적하는 매칭 주파수의 설정 및 효율적인 전자파 흡수 복합소재의 설계가 가능함으로 규명하였다.

[0284] 또한, 실시예 6은 실시예1와 달리14 내지 18 GHz의 매칭 주파수만을 나타내는 것을 알 수 있으며, 비교예 5는 실시예 1과 달리 본 발명이 목적하는 0.2 dB 이하의 반사능이 아닌 이보다 훨씬 높은 수치의 반사능을 나타냄을 알 수 있다.

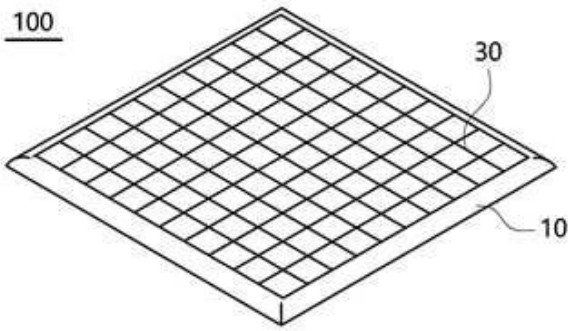
[0285] 한편, 실시예 7에 따라 제조한 다중 간격을 가지는 전도성 와이어(30)의 경우 도 10 및 11에 실선으로 나타낸 것과 같이 넓은 주파수 대역에서 전체적으로 낮은 반사능을 나타낼 수 있다. 이에 반하여 단일 간격의 전도성 와이어를 가지는 도 10 및 11의 실시예8(파선) 또는 실시예 9(점선)의 경우 매칭되지 않는 주파수에서는 반사능이 급격히 상승하는 것을 알 수 있다.

[0287] 이와 같은 결과들을 통해, 상술한 고분자 복합체의 두께, 전도성 와이어의 평균 선폭 및 이들의 평균 간격 중 단 어느 하나라도 본 발명의 조건에 부합하지 않는 경우, 본 발명이 목적하는 매칭 주파수와 반사능 및 흡수능을 가질 수 없음을 알 수 있고, 이들의 구체적의 설계를 통해 목적하는 매칭 주파수의 설정 및 효율적인 전자파 흡수 복합소재의 설계가 가능함으로 규명하였다.

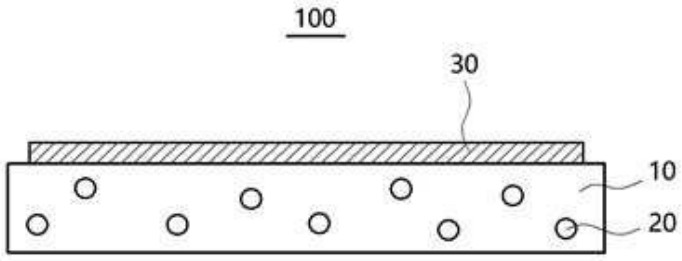
[0288] 나아가 본 발명은 상술한 고분자 복합체의 두께, 전도성 와이어의 평균 선폭 및 이들의 평균 간격 모두가 본 발명의 조건에 부합하는 경우에만, 수학식 1 내지 3을 통해 규명한 전자파 흡수 복합소재의 목적하는 매칭주파수 대역에서 전자파 흡수능을 극대화할 수 있음을 규명하였고, 이들 유기적 관계를 설계할 수 있는 관계식을 도출하였으며 동시에 설정된 매칭 주파수에서 입사되는 전자파 흡수능을 최대로 할 수 있는 최적 조건을 확인하였음을 알 수 있다.

도면

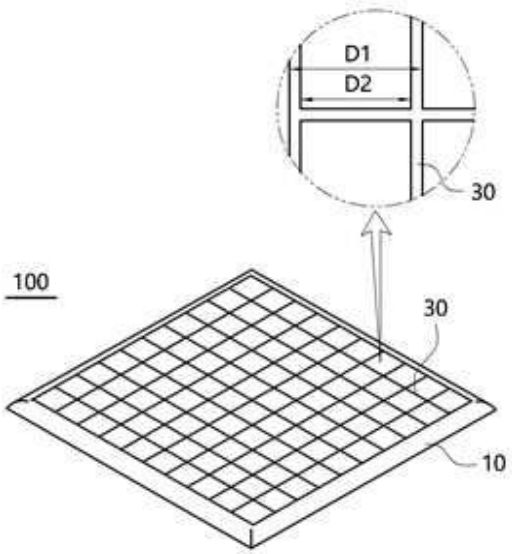
도면1



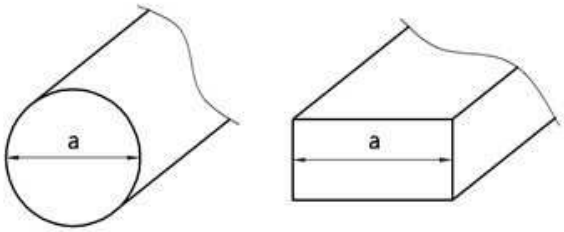
도면2a



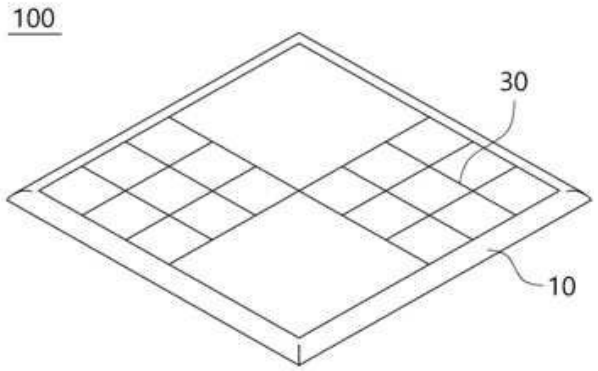
도면2b



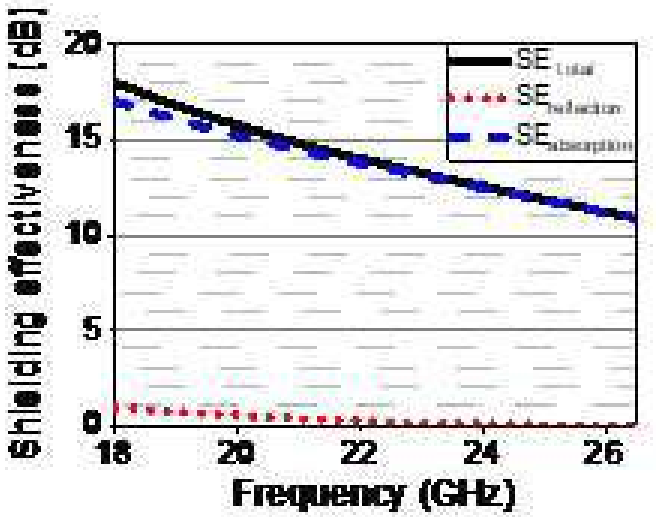
도면2c



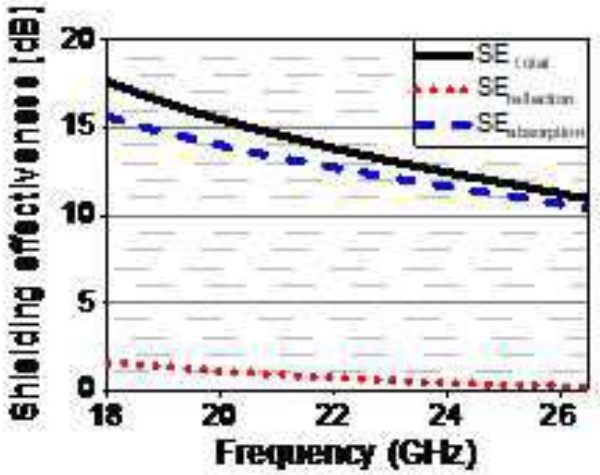
도면2d


100
30
10

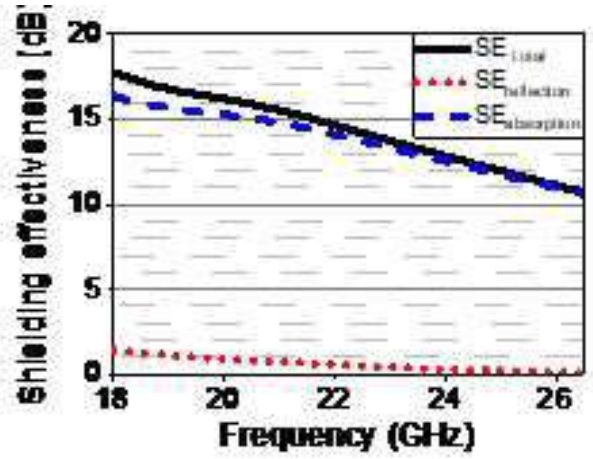
도면3


shielding effectiveness [dB]
20
15
10
5
0
18
20
22
24
26
Frequency (GHz)
SE
SE
SE

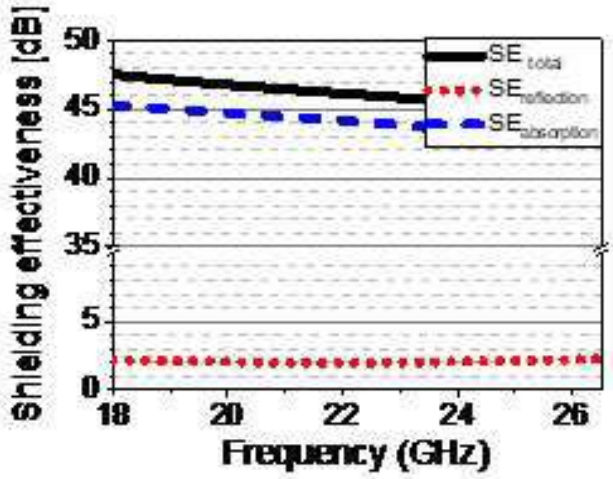
도면4


shielding effectiveness [dB]
20
15
10
5
0
18
20
22
24
26
Frequency (GHz)
SE
SE
SE

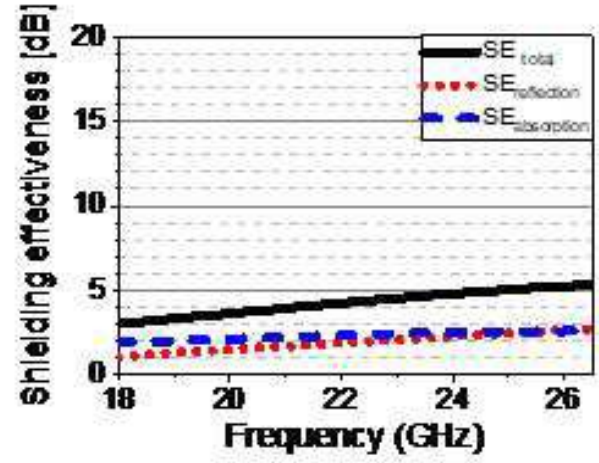
도면5


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption

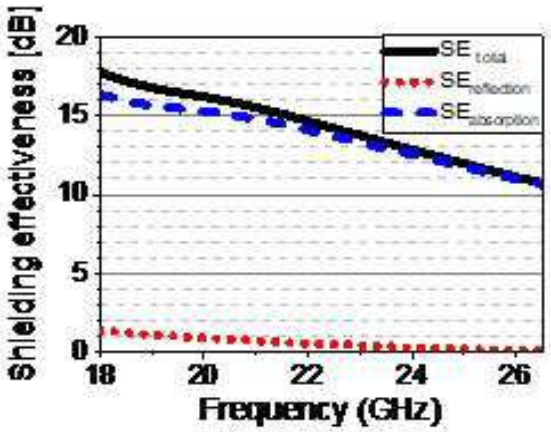
도면6


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption

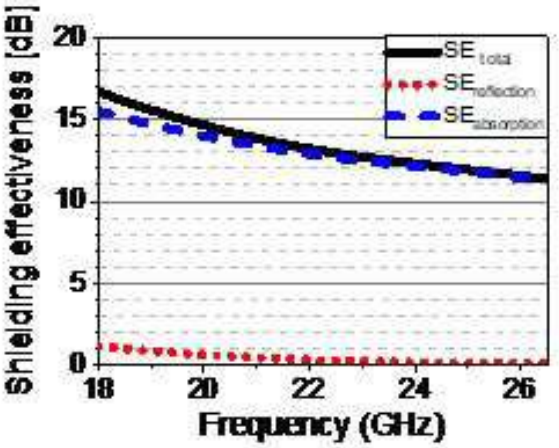
도면7


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption

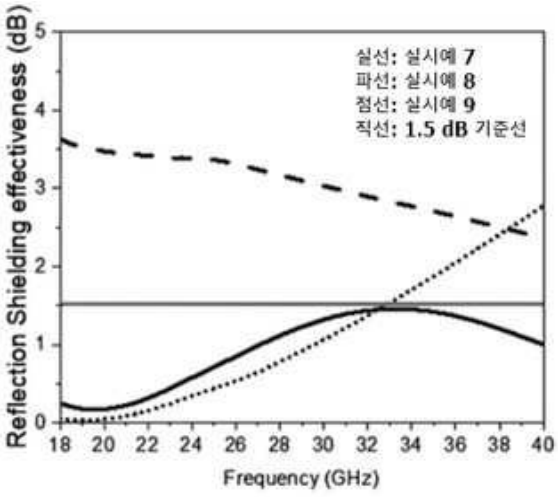
도면8


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption

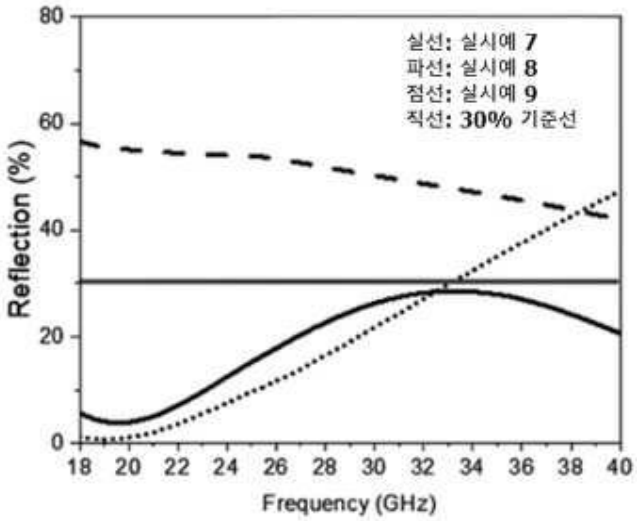
도면9


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption

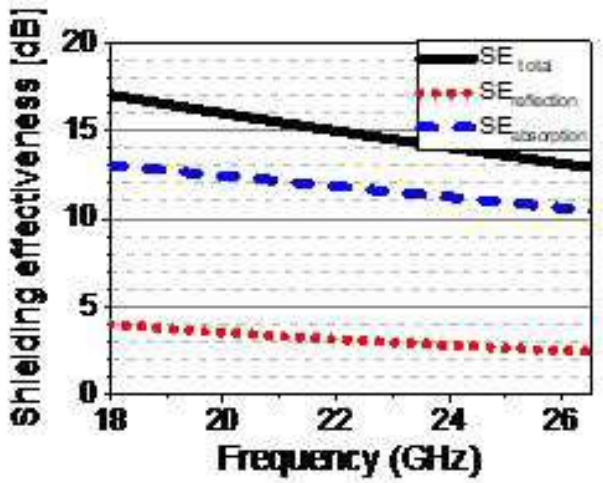
도면10


Reflection Shielding effectiveness (dB)
Frequency (GHz)
실선: 실시예 7
파선: 실시예 8
점선: 실시예 9
직선: 1.5 dB 기준선

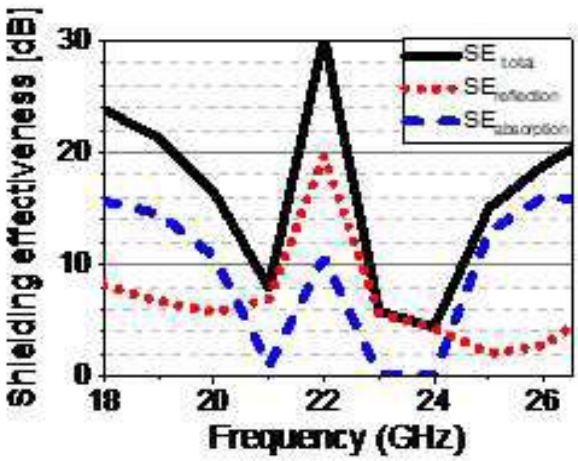
도면11



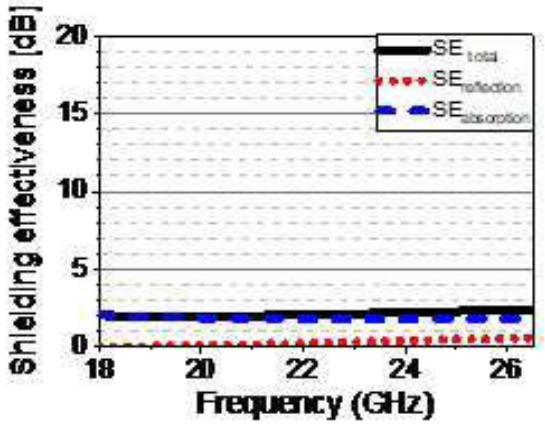
도면12



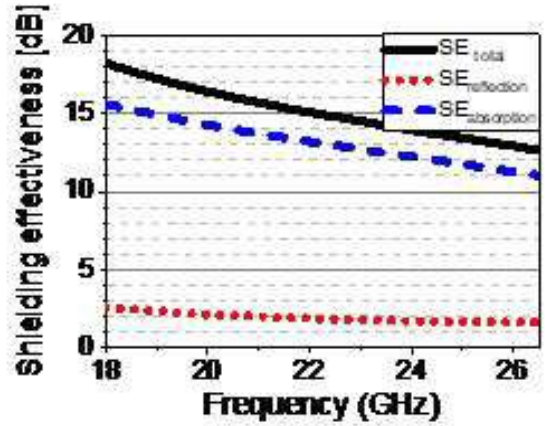
도면13



도면14


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption
0
5
10
15
20
18
20
22
24
26

도면15


Shielding effectiveness [dB]
Frequency (GHz)
SE total
SE reflection
SE absorption
0
5
10
15
20
18
20
22
24
26