

한국전자파학회 하계학술대회

- 일자: 2023년 8월 23일(수)

- 장소: 델피노리조트 (강원 고성)

KIMS 한국재료연구원
Korea Institute of Materials Science

밀리미터파 대역 전자파 차폐/흡수 소재 기술

(2023. 08. 23)

한국재료연구원
이 상 복

Survival from **EM**!!

우리가
꿈꾸는 미래
소재기술로
실현합니다

발표자 소개



이 상 복 / 공학박사

- 한국재료연구원
- 복합재료연구본부 기능복합재료연구실
- 책임연구원
- E-Mail : leesb@kims.re.kr
- Phone : 055-280-3318

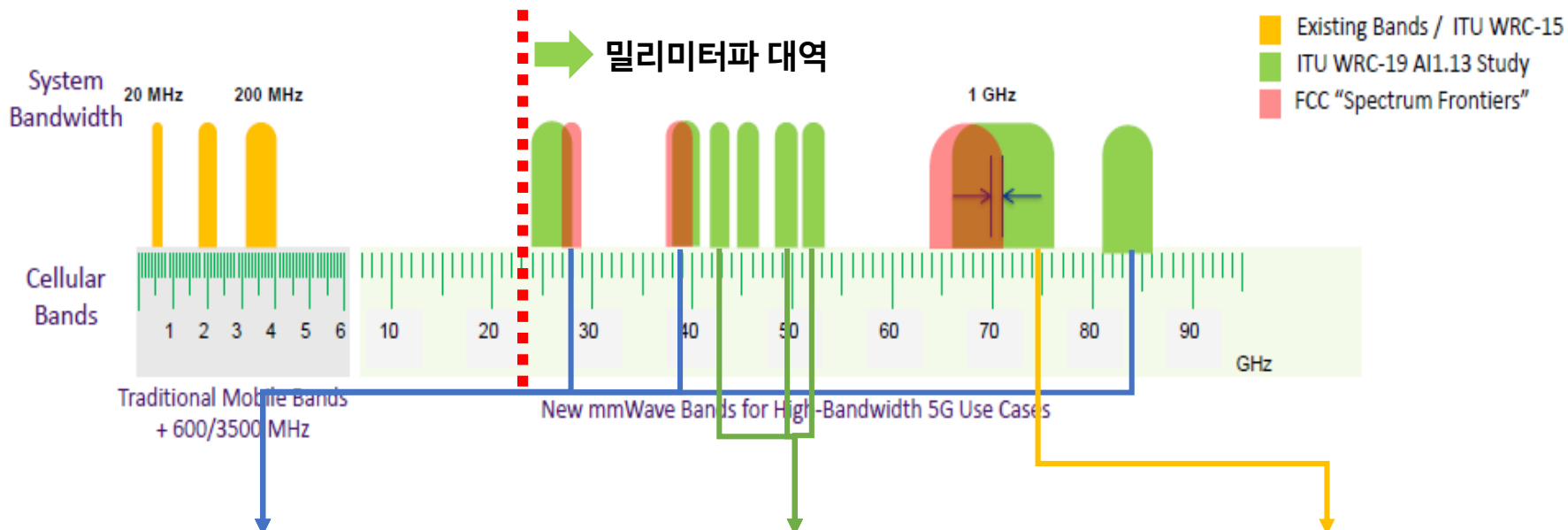
□ 연구분야

- 고주파 대역 자성소재
- 전자파 흡수/차폐 복합소재
- 기능성(중성자/방탄/방열/고온구조 등) 복합소재

□ 주요 실적

- 논문: "Magnetic and Dispersible FeCoNi-Graphene Film Produced without Heat Treatment for Electromagnetic Wave Absorption" 외 국/내외 SCI급 논문 150여편
- 특허: "광대역 전자기파 흡수체 및 그 제조방법" 외 국/내외 특허 100여건

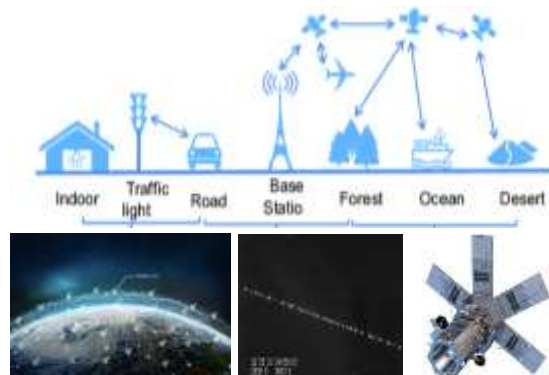
밀리미터파 대역 전자파 소재 응용분야



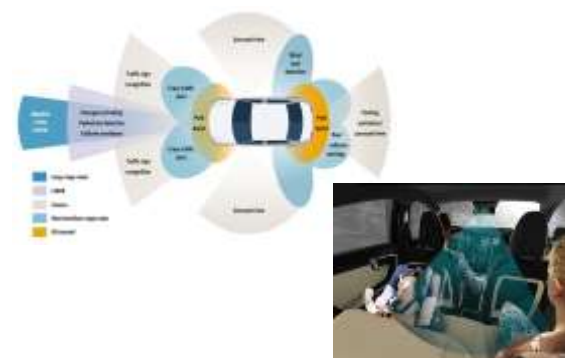
차세대 통신용 흡수/차폐소재



우주/위성 통신용 소재



자동차용 레이더 소재



전자파 대응 소재 메가트렌드

전자파 소재의 적용처 확대



초고주파에 대응하기 위한 소재 요구

출처: KI 소재팀

"28GHz 대역 지원 스마트폰에 많은 소재 개선 필요"

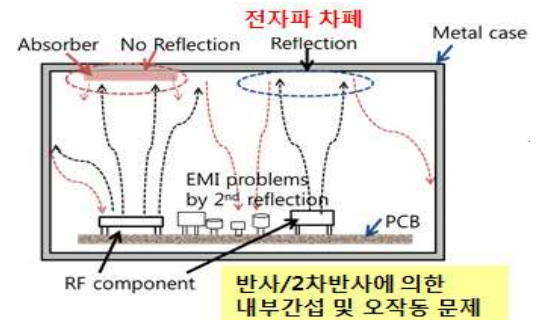
이민준 기자 | 2023.07.03 20:31 | 5분 읽기

송가장 LG전자 소재기술센터 연구원들은 3일 경기 일산 컨벤션에서 열린 '나노코리아 2023' 산업화세션에서 "5세대(5G) 이동통신 가운데 28GHz(기가헤르츠) 대역을 지원하는 스마트폰 소재에 아직 많은 개선이 필요하다"며 "28GHz 관련 소재는 아직 굉장히 비싸고 요구 사양을 간단간당하게 넘기는 수준인데도 쓰고 있다"고 말했다.

이동통신의 세대가 전환할수록 통신 주파수가 높아졌고 높아진 주파수에 맞춰 소재도 함께 개발되었다. 송 위원은 "4G까지는 기존 소재를 잘 활용해서 제품을 만들어왔는데 5G 부터는 주파수 영역으로 인해 소재가 바뀌어야 할 부분이 있다"고 했다.

전자파 간섭 문제 심각

전도성 차폐 → 자성 흡수로 이동



현재



전자파 (반사)차폐

미래수요산업 메가트렌드



스마트 (커넥티드 + 자율주행)



전자파 흡수 + 다기능

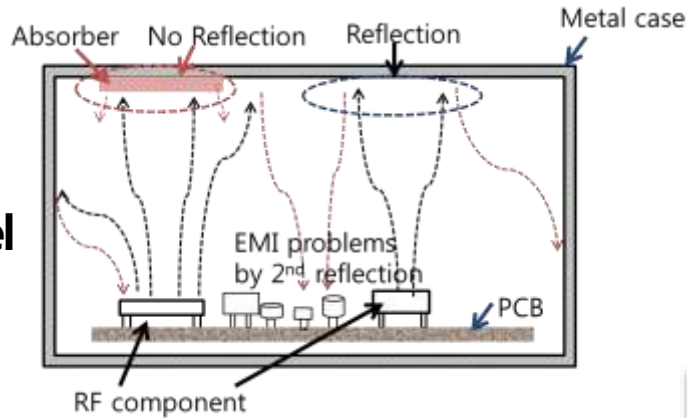
- 초고주파 (밀리미터파)
- 다중대역/광대역화
- 다기능화
- 경박·단소화
- 초고밀도화
- 친환경/인체

미래요구소재

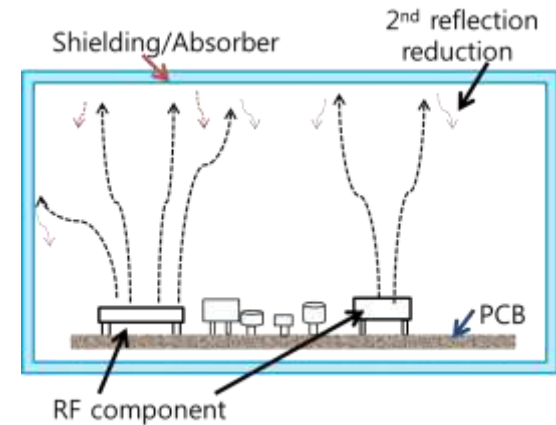
- 경량 극박
- 초고주파-광대역
- 다중 주파수 제어
- 차폐 → 흡수 (+ 차폐)
- 단일 기능 → 다기능 (전자파+열+친환경+...)

전자파 차폐 왜 달라져야 하는가?

Component shielding level

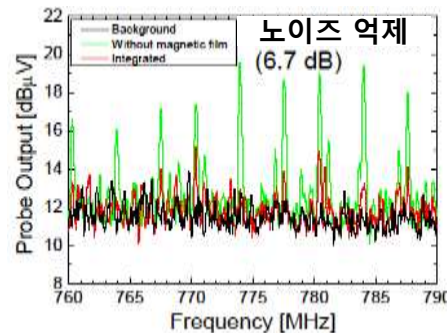


2차 반사로 인한 부품 간 전자파 간섭 방지를 위해 흡수체 필요

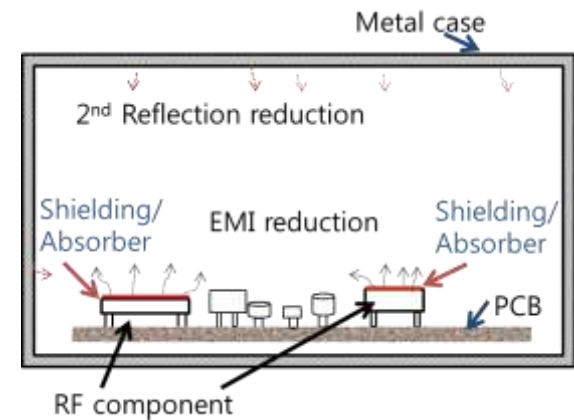


일체형 차폐/흡수체 필요

Chip shielding level

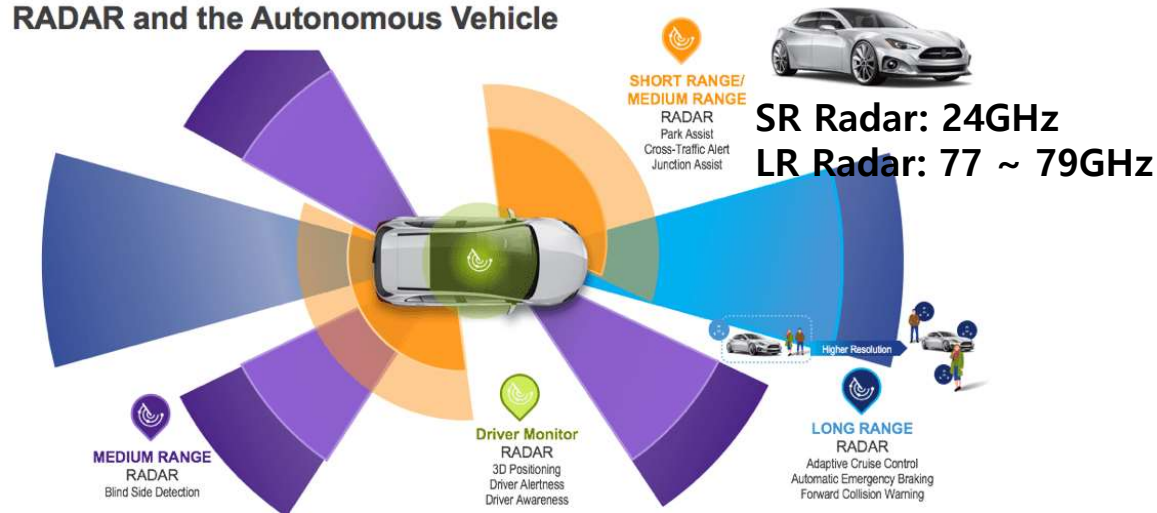


부품 하우징용 차폐체에서 단일 소자용 차폐/흡수체 필요



자동차 자율주행 레이더용 흡수소재

RADAR and the Autonomous Vehicle



Radome / front cover

- Low dielectric permittivity
- UV-, chemical and hydrolysis resistance
- Laser weldable and markable

Radar back cover

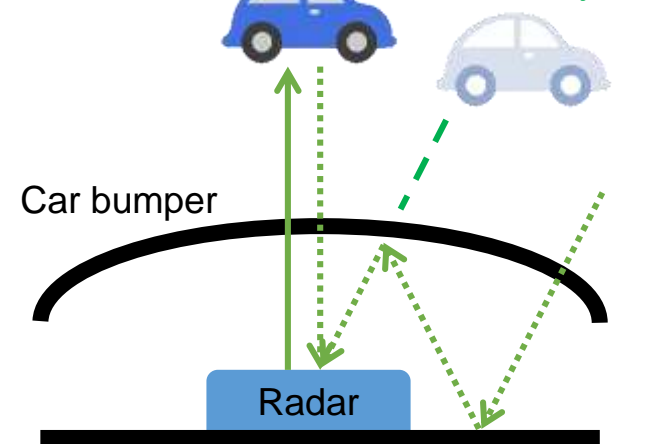
- RF/Electromagnetic shielding
- Laser weldable and markable
- UV-, chemical and hydrolysis resistance

Radar absorber

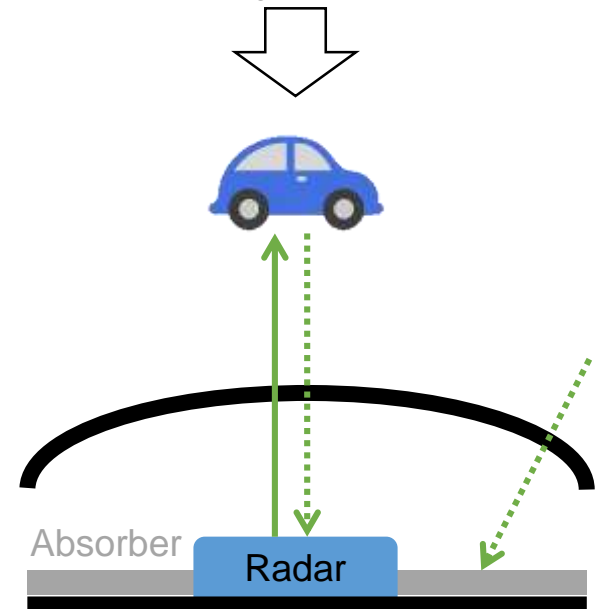
- High dielectric loss
- Electrically insulating
- Low warpage

Real object

Ghost object



Radar housing



극고주파 대역 흡수/차폐소재 개발 동향

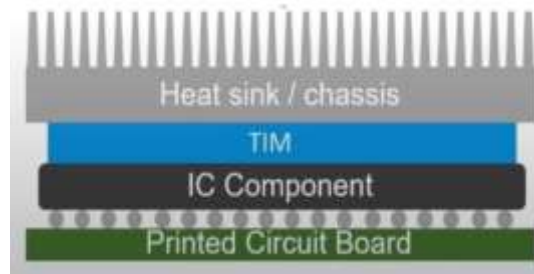
Shield Can



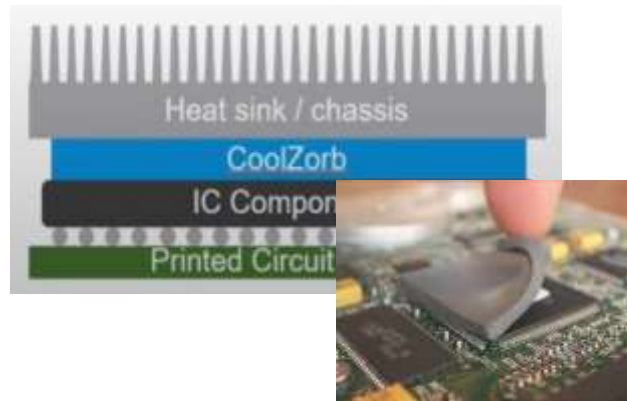
Laird - Eccosorb



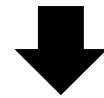
Multi-functional Shielding



Laird - Coolzorb



Radar Absorber



Laird - Rezorb



BASF-Ultradur

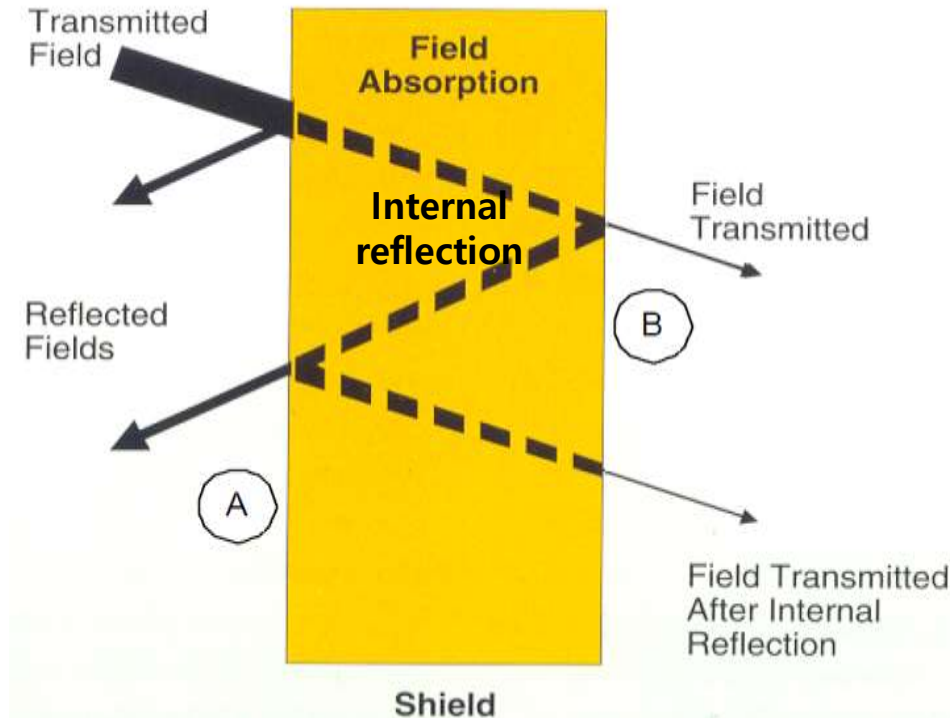
물질 내에서 전자기파 반응

✓ 임피던스 매칭 ? - 제어인자 :
 $\sigma, \mu, \epsilon, f, t$

Incident Fields

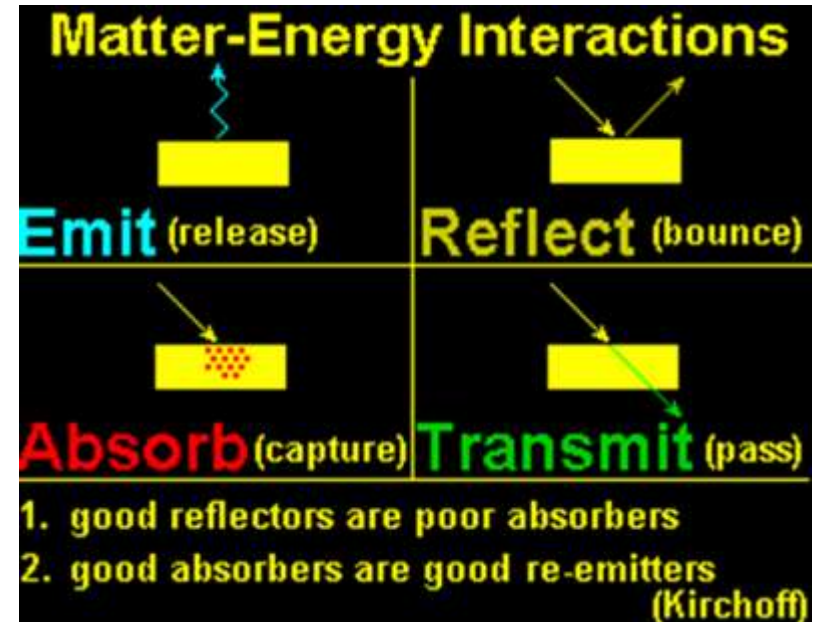
$Z_{\text{air}} = 377 \Omega$

$Z_{\text{mat}} = ? \Omega$



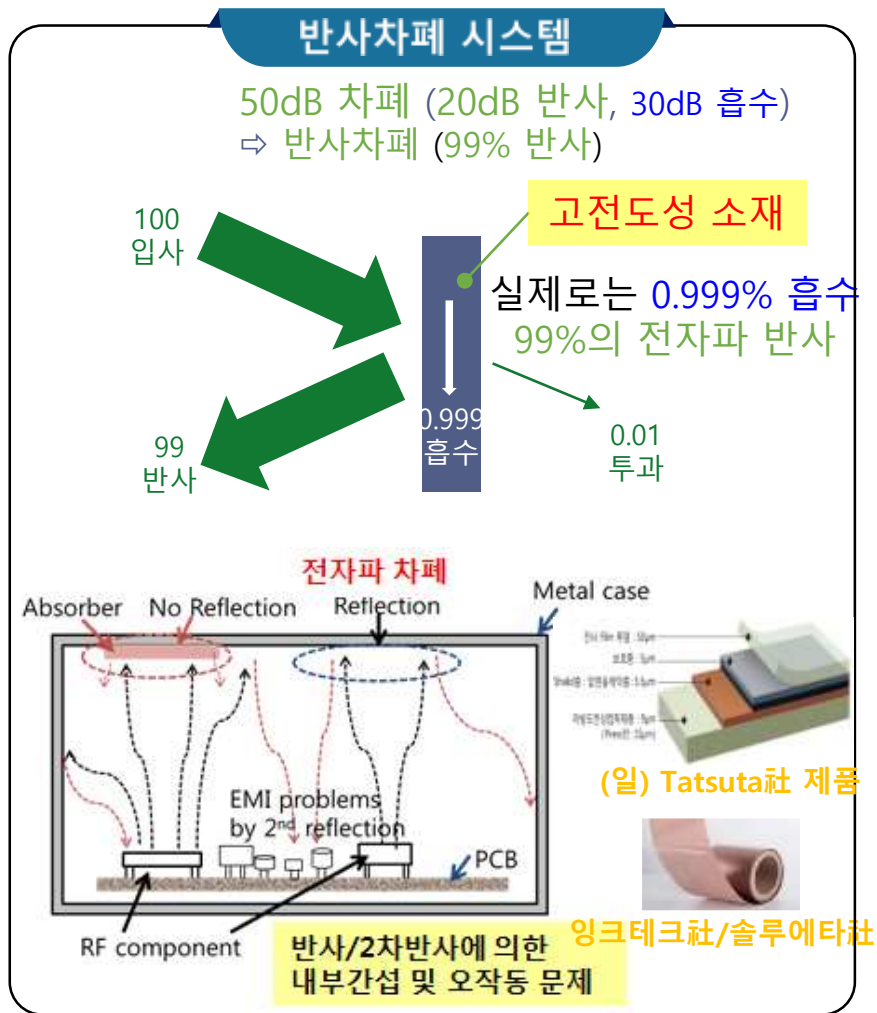
전자파 차폐 기구

- 1) 전자파 반사(electromagnetic reflection)
- 2) 전자파 흡수(electromagnetic absorbing)
- 3) 전자파 다중반사(EM multi-reflection)

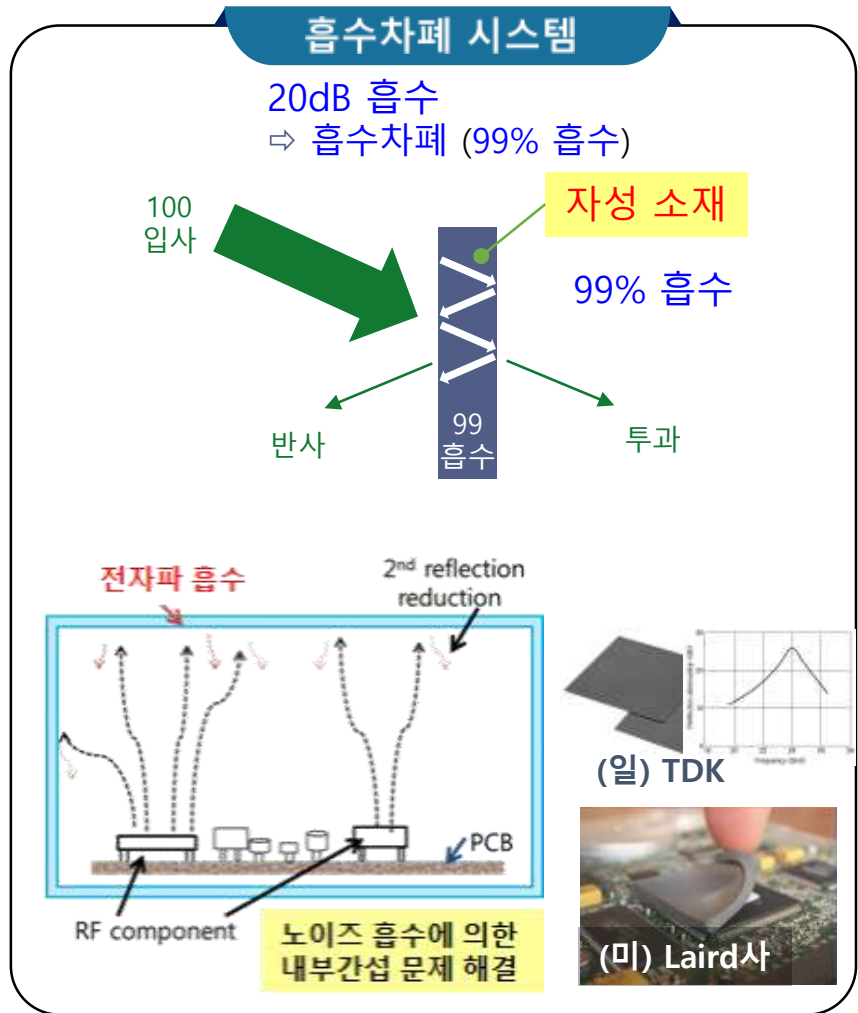


반사차폐 vs. 흡수(차폐)

❖ 왜 전자파 흡수인가? 반사차폐의 한계



* 차폐 = 반사차폐 + 흡수(차폐)

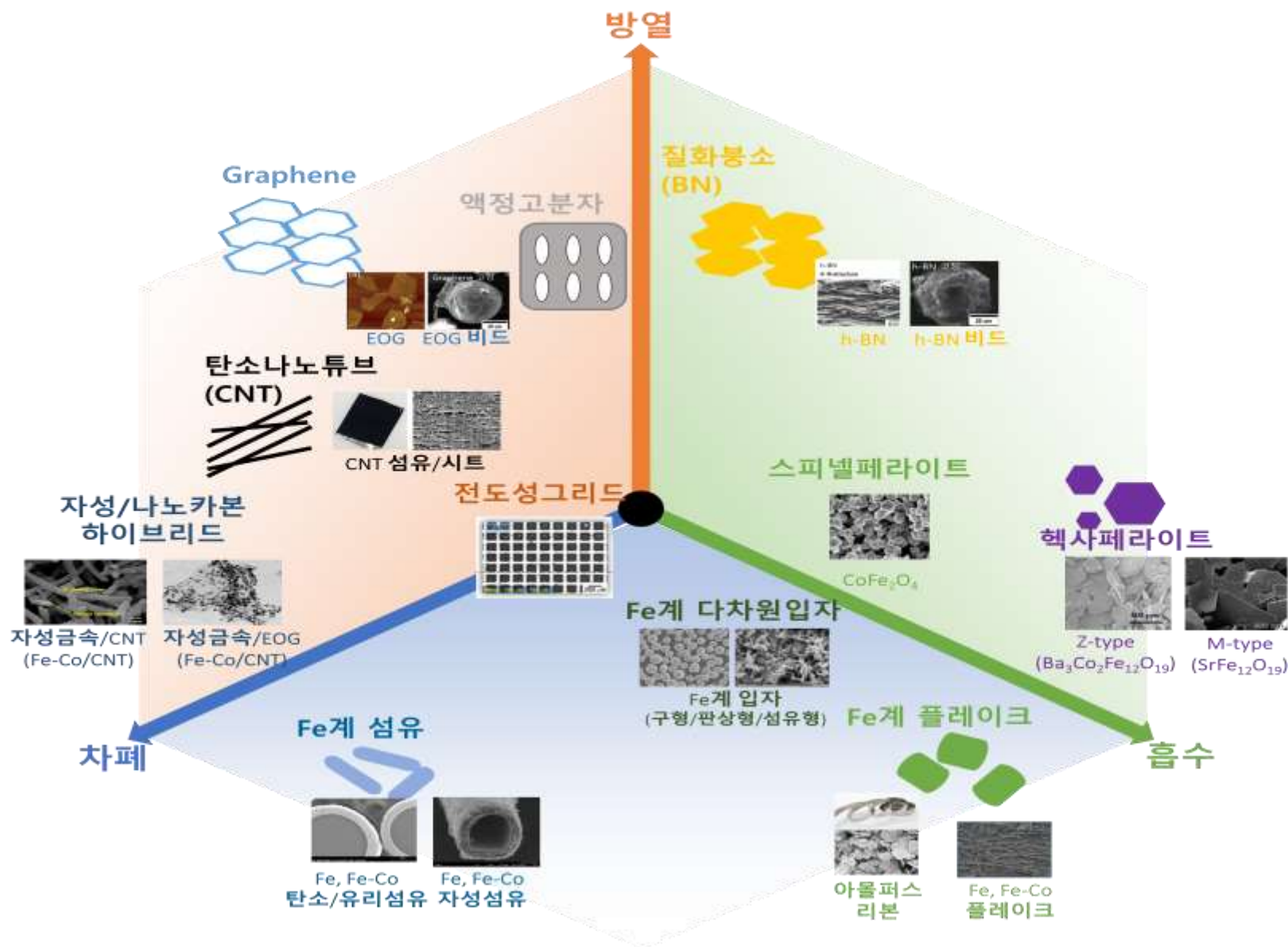


재료연 보유기술

- 보유기술 : 수 GHz ~ 수십 GHz 대역 전자파 차폐/흡수 및 방열소재 설계/해석, 자성/유전/전도 필러소재, 복합소재 공정, 평가에 이르는 전주기 기술 보유



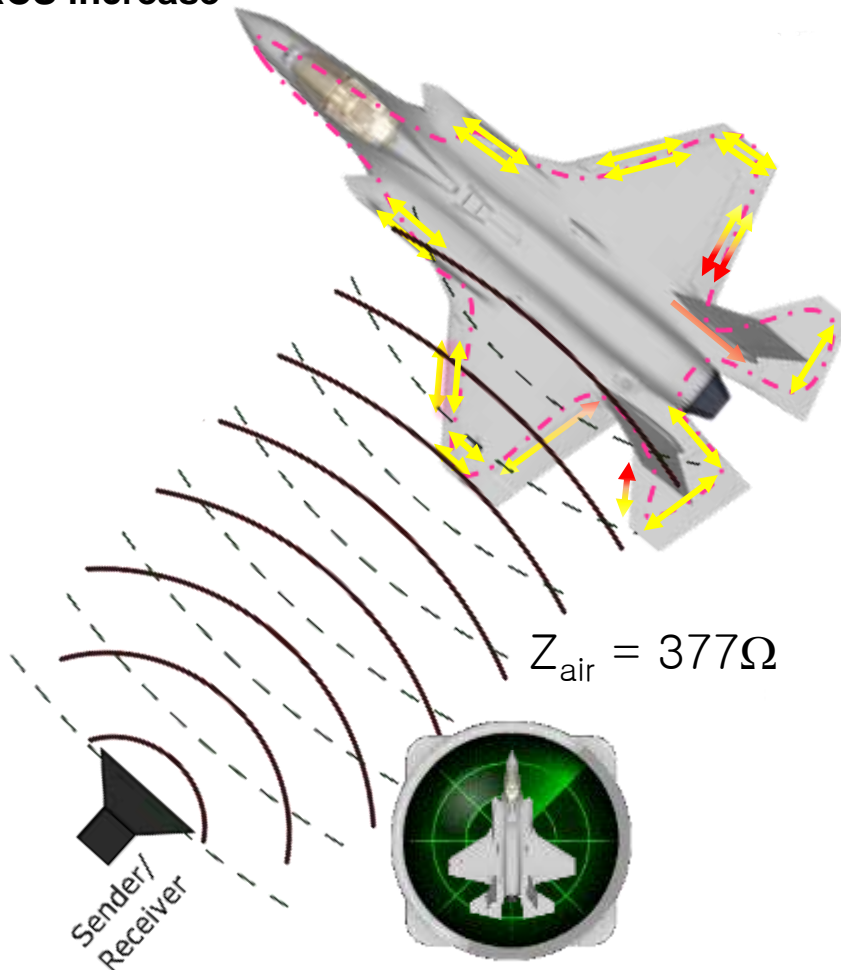
전자파 흡수/차폐 및 방열 소재기술 요약



필요성 – 국방 레이더 스텔스 기술

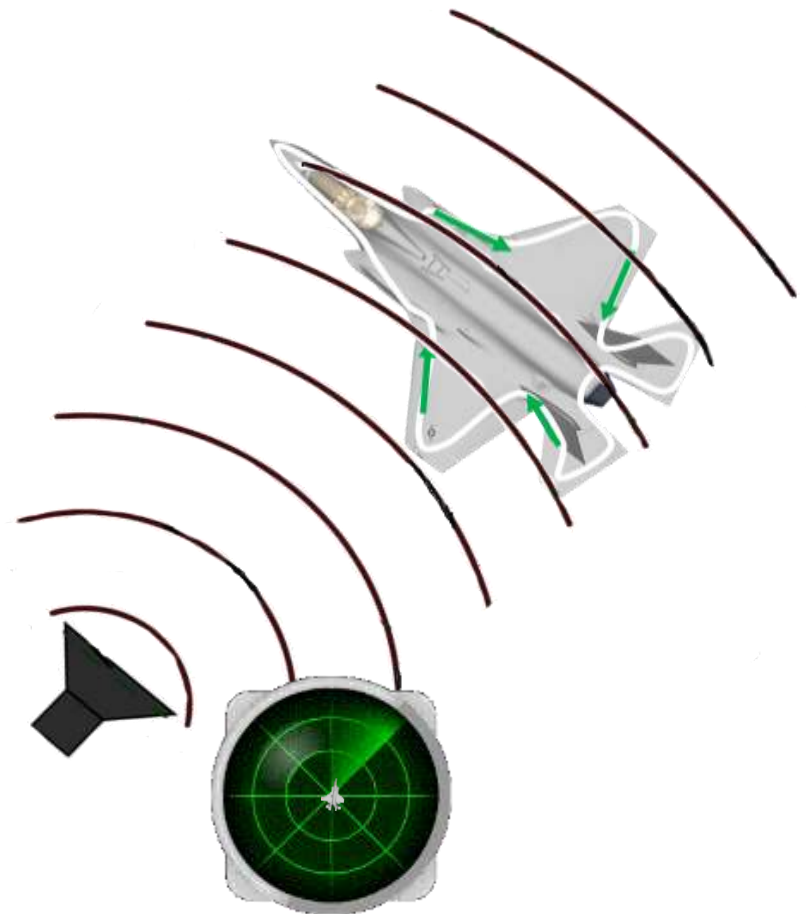
Impedance mismatching

- ⇒ reflection increasing
- ⇒ RCS increase

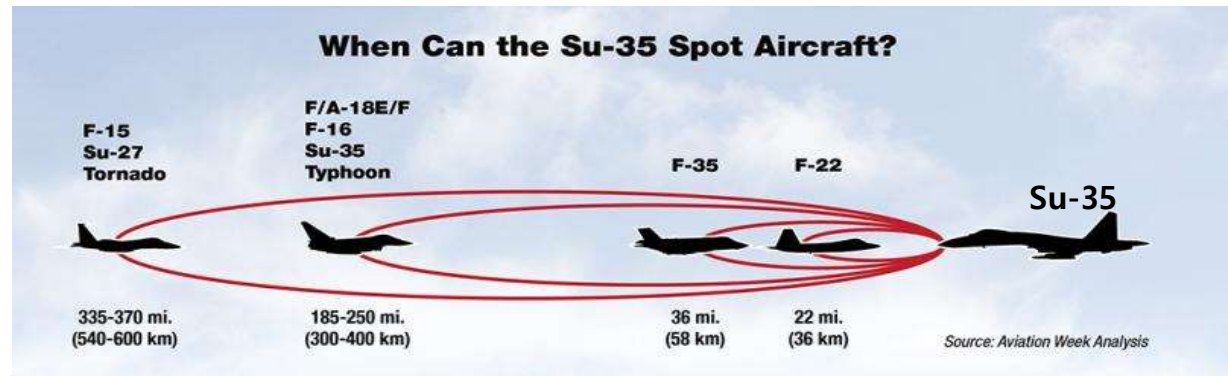
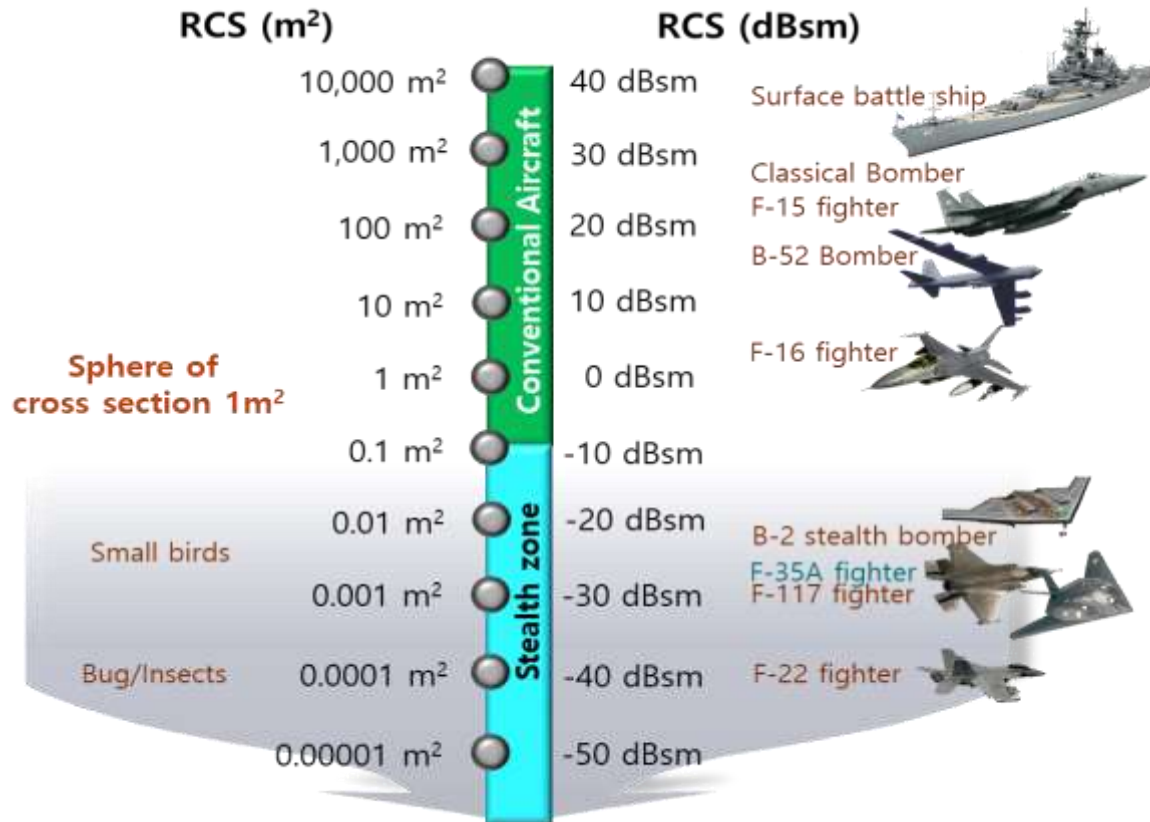


Impedance matching with RAM

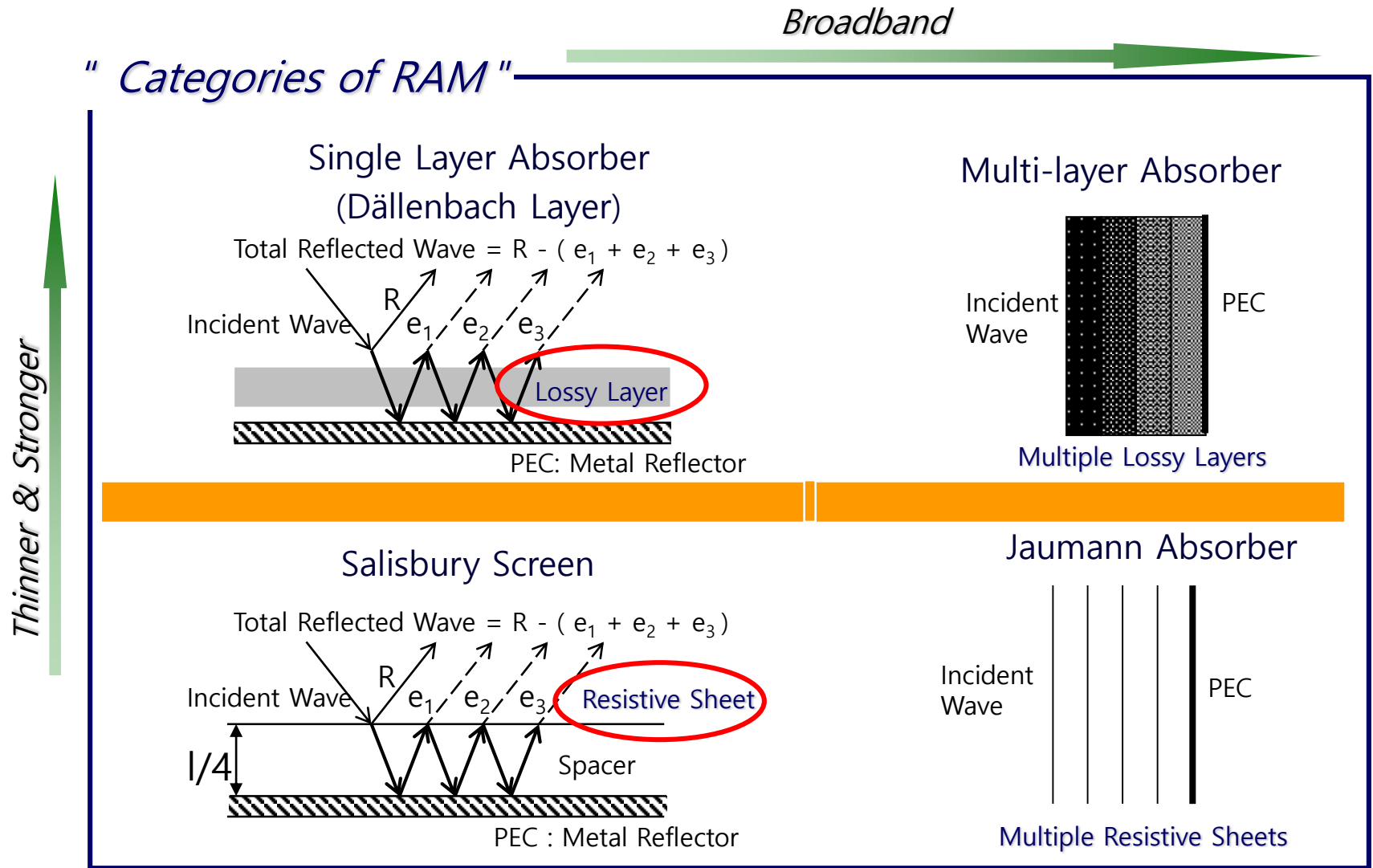
- ⇒ reflection decrease
- ⇒ RCS decrease



레이더 스텔스: 전투기 RCS 및 탐지거리 비교



레이더 흡수체 개념

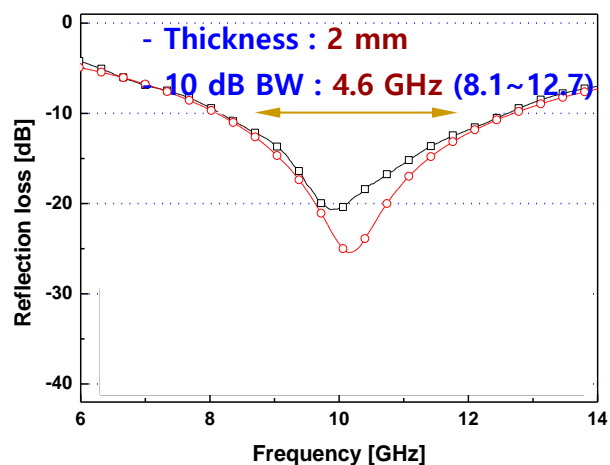


개발사례 – 2.0 mm급 전파 스텔스 복합소재

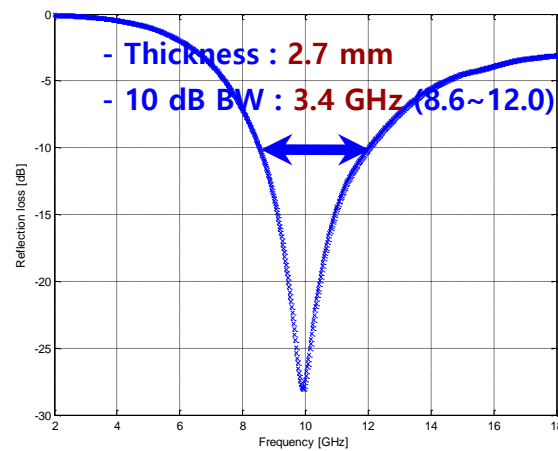
□ 자성/전도성 하이브리드 흡수체 개발

- 자성입자 (투자율 제어) + CNF (유전율 제어) 흡수체 → 극박화 및 광대역화

소재구성	Simulation/Experiment	두께 [mm]	90% 흡수(10 dB) BW [GHz]
전도성 (나노카본)	Experiment	2.7	3.4 (8.6~12.0)
하이브리드 (자성 + 전도성)	Simulation	2.03	4.4 (8.2~12.6)
	Experiment	2.00	4.6 (8.1~12.7)

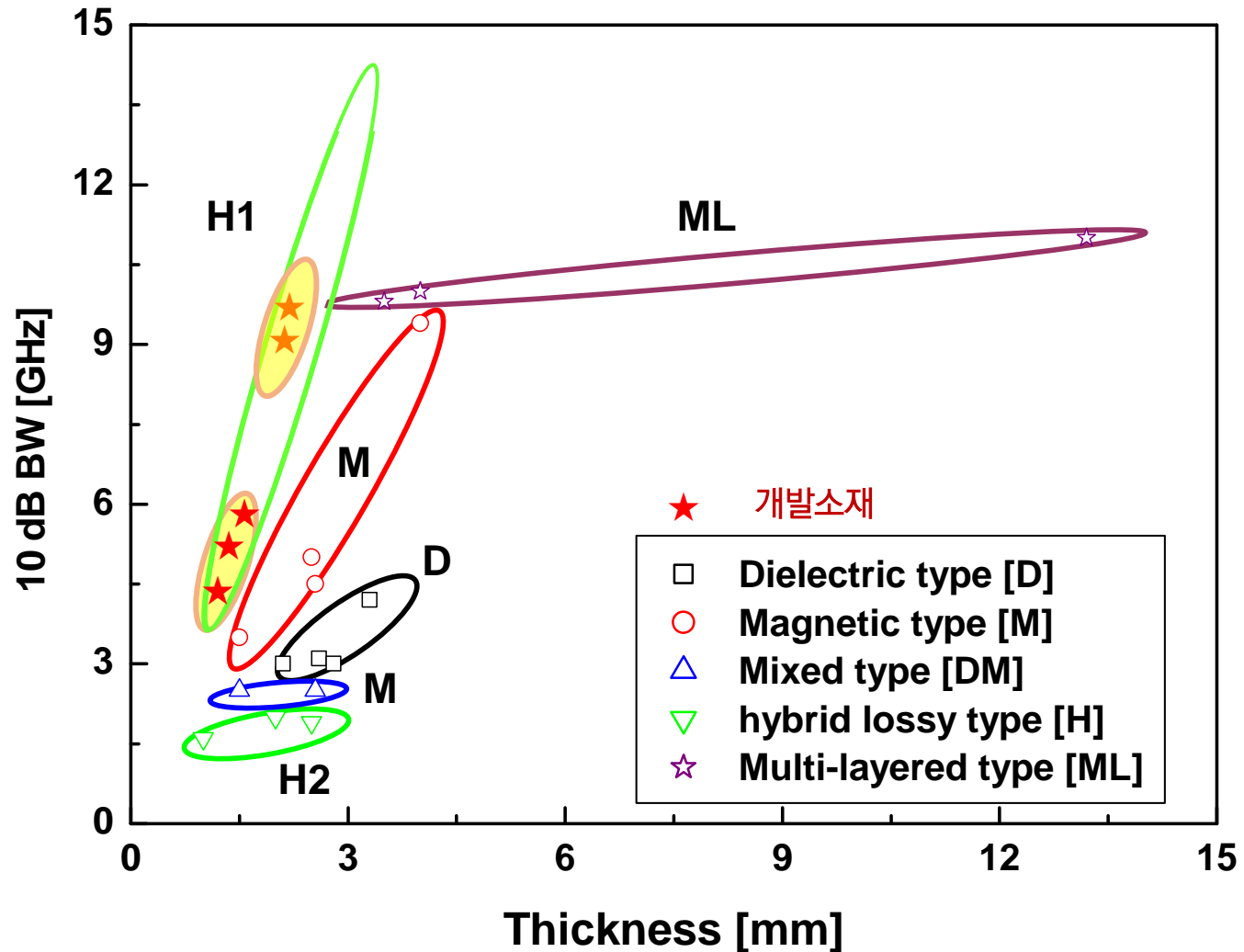


개발 원역장 흡수체
(자성 + 전도성 제어)



기존 원역장 흡수체
(전도성 제어)

기존 레이더 흡수체와 비교

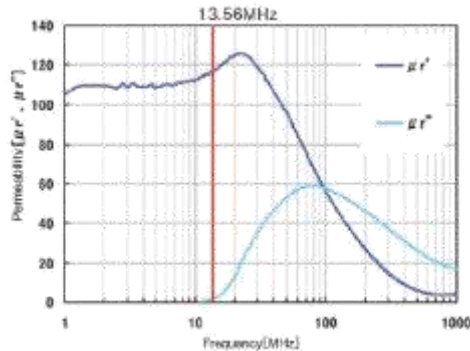


초고주파(밀리미터파) 대역 자성소재 부재

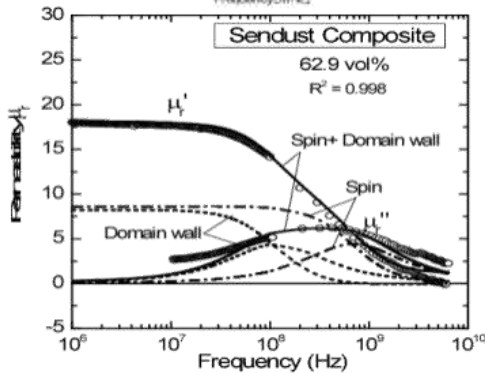
기존 기술 한계 : 밀리미터파 자성 상실

기존 자성소재

- 대부분의 소재가 GHz 이하에서 강자성공명(FMR)으로 자성 상실
- 수십 GHz 자성손실소재 부재



- Ferrite:
~ 100 MHz에서 자성 상실

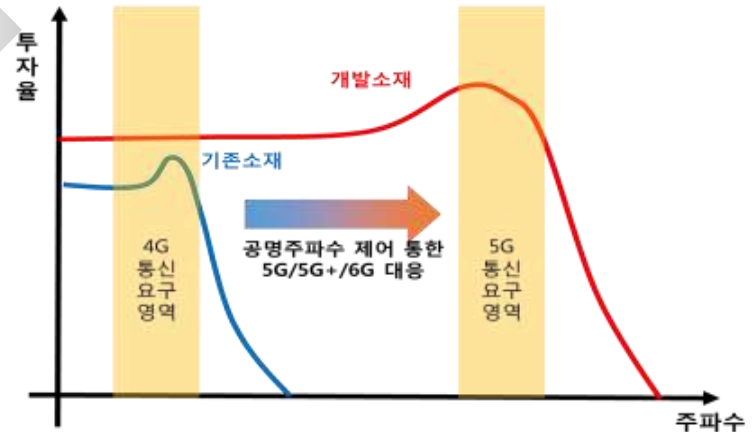


- Sendust:
2 GHz 미만에서 자성 상실

밀리미터파 대역 FMR 자성소재 개발

상용 밀리미터파 자성소재 부재

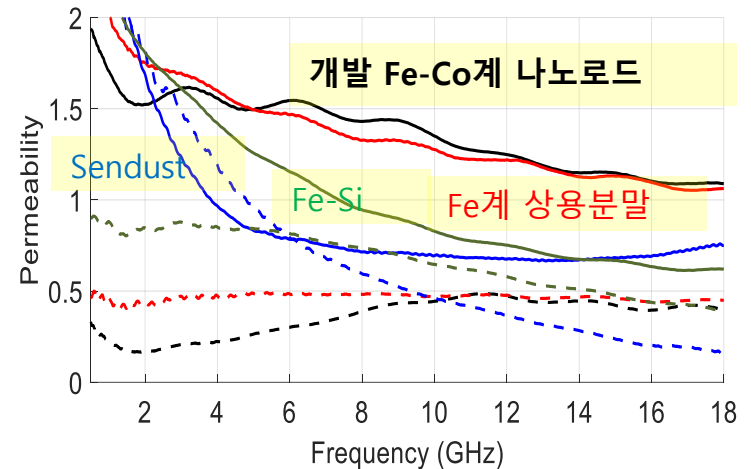
- 5G+ 및 6G 통신 : ~ 28 GHz ~ 100GHz(?)
- 자율주행 레이더 : 24 GHz, 77~79 GHz
- ⇒ 밀리미터파 대역 자성소재 개발 요구



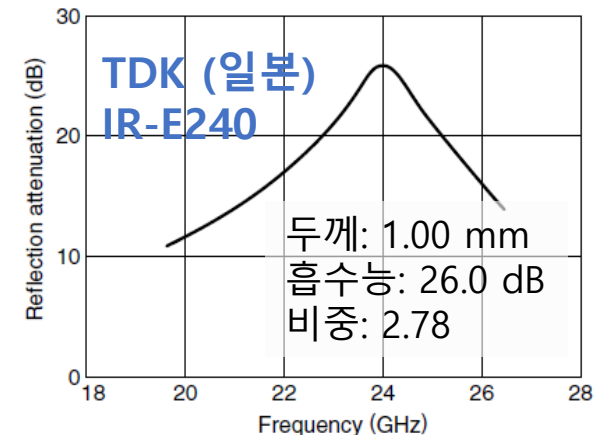
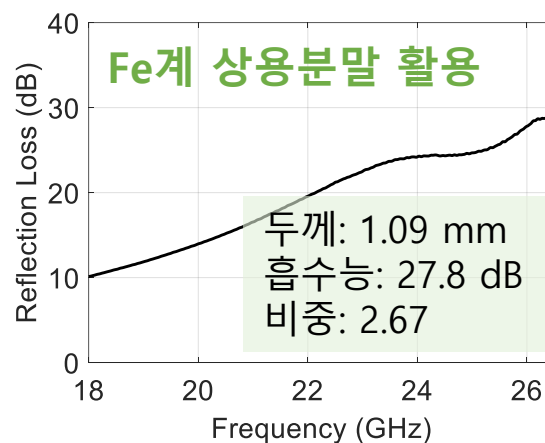
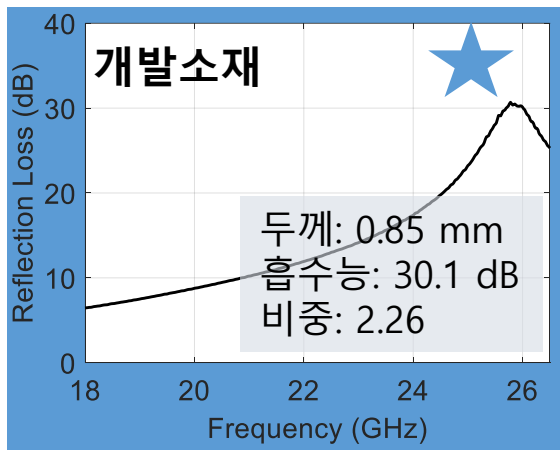
Fe-Co계 나노로드 기술 (~수십 GHz 흡수)

□ 5G+ 대역 자성손실 Fe-Co계 나노로드 개발

- 10~40GHz 대역 FMR 주파수 설계
- 고포화자화 합금 (FeCo: 2.4T_(highest)) 및 형상이방성
- 로드(섬유) 두께 < 0.3 μm & 각형비 > 5 제어
 - Skin depth @ 28GHz & 자성금속 : ~ 0.3 μm



우수한 밀리미터파 대역 흡수성능

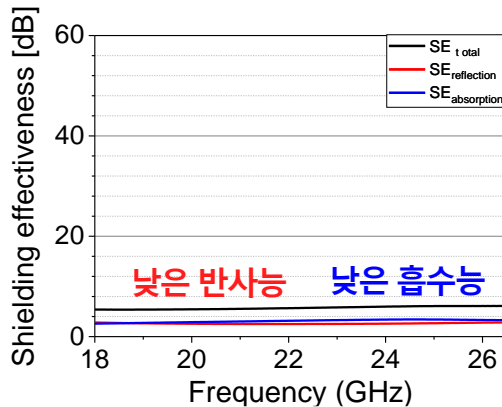
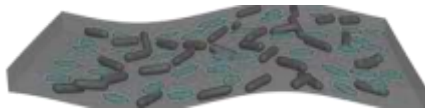


➤ 5G 상용 흡수체(TDK-IR) 보다 얇고 가벼우면서 우수한 흡수체 개발

고흡수능 자성 흡수체+전도성그리드 복합소재

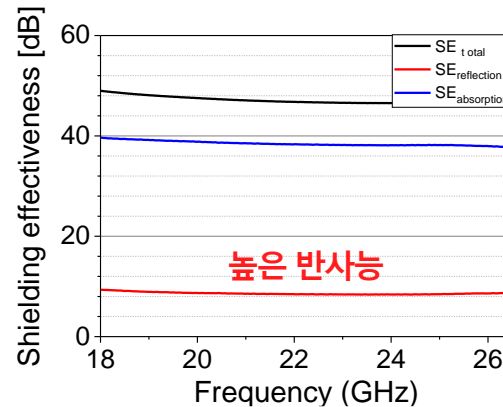
(국내 특허출원/해외 특허 준비중)

자성소재 + 방열소재



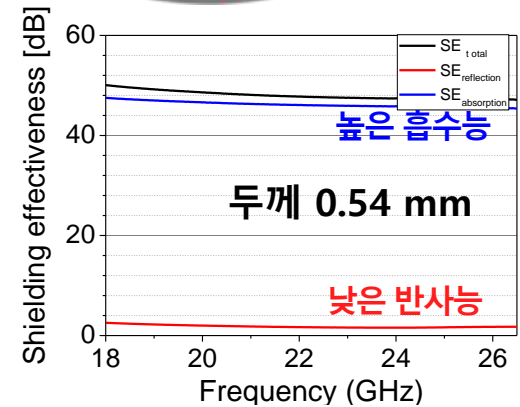
반사능 2.7 dB (46%)
흡수능 3.3 dB (29%)
차폐능 6 dB (75%)

전도성 그리드



반사능 8.6 dB (86%)
흡수능 40.0 dB (14%)
차폐능 49 dB (99.999%)

자성소재 + 전도성 그리드
+ 방열소재



반사능 1.7 dB (33%)
흡수능 45.6 dB (67%)
차폐능 57 dB (99.9999%)
열전도도 17 W/m·K

기존 5G 상용소재
Laird (미국) CoolZorb



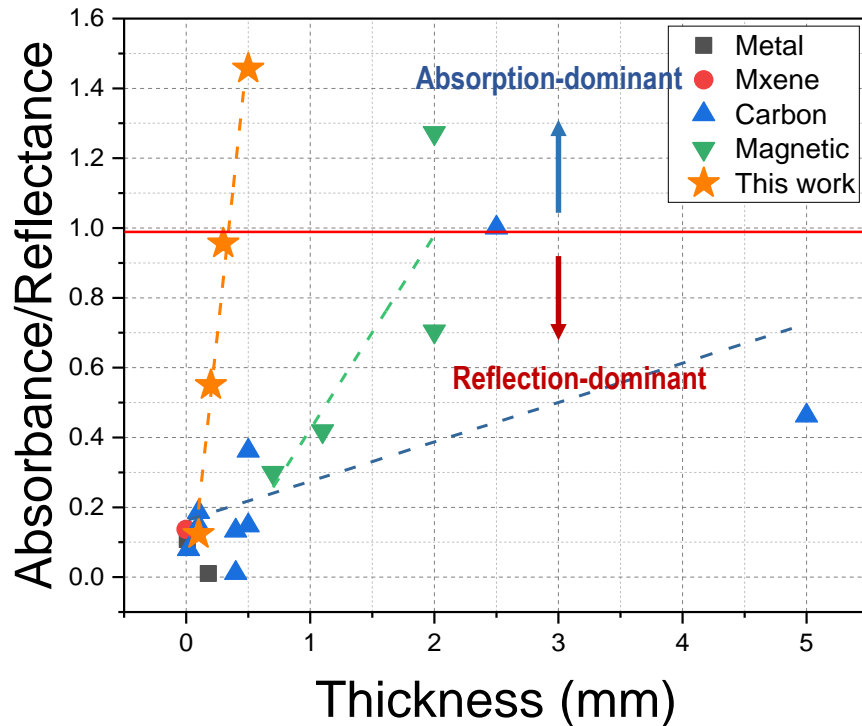
반사능 3.1 dB (50%)
흡수능 3.3 dB (27%)
열전도도 3 W/m·K

➤ 5G 상용 흡수/방열소재 보다 얇고 가벼우면서 획기적인 흡수/방열성능 구현

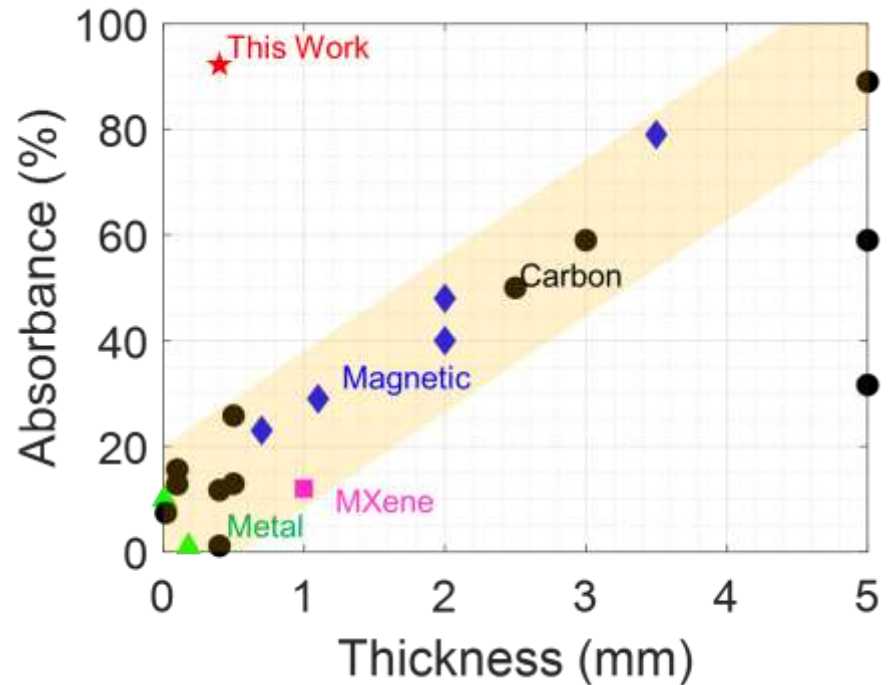
기존 흡수소재와의 비교

□ 세계 최고 수준의 전자파 제어 소재

- 기존 소재 대비 낮은 반사능 및 우수한 흡수능



Chemical Engineering Journal 428, 131167 (2022)



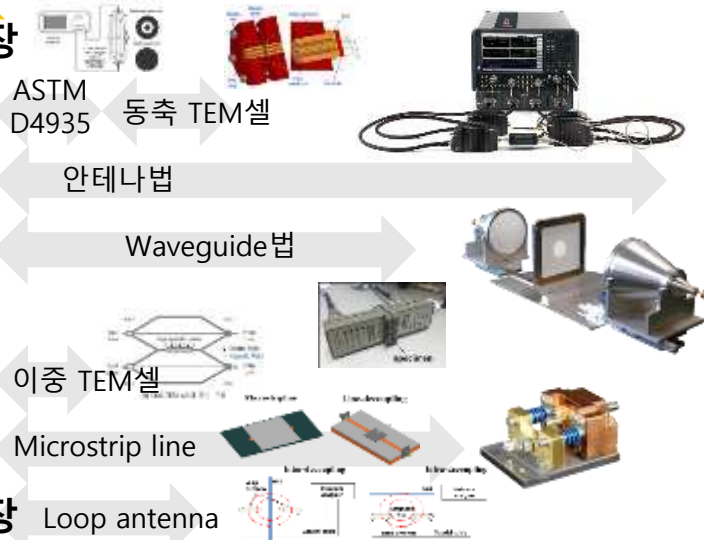
Journal of Materials Chemistry A 10, 4446 (2022)

전자파 소재 설계/평가기술

연구진 보유 평가기술

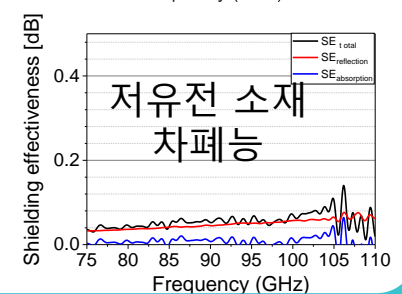
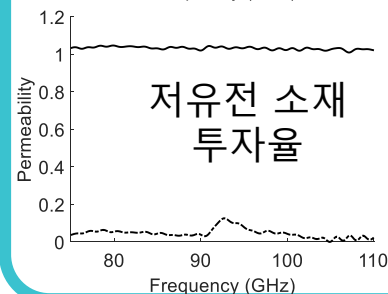
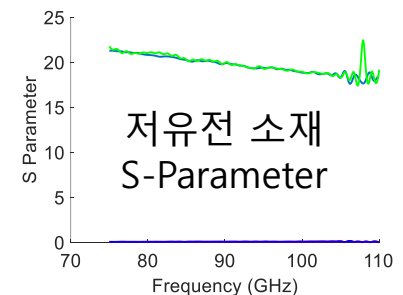
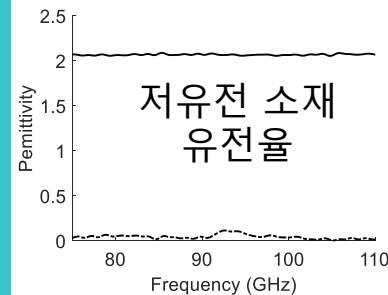
- 110 GHz에 이르기까지 다양한 주파수 대역 차폐/흡수능에 대응 가능한 평가시스템/기술 보유
 - * 원역장: ASTM D4935, TEM, Antenna, Waveguide
 - * 근접장: 이중 TEM, Microstrip, Loop antenna
- 단순 부품뿐 아니라 소재 물성까지 측정 가능

원역장



최대 110 GHz 측정역량

Keysight N5291A



□ 소재별 전자기 특성 및 흡수체 성능 데이터베이스 구축

- 필러 종류, 크기, 함량별 고주파 유전율/투자율 DB화
- 원역장 흡수체 개발 및 성능 DB 구축 (100여종)
- 근접장 흡수체 개발 및 성능 DB 구축 (100여종)

[illegible]

요약 - 전자파 대응소재 개발 방향

- Thin & Light
- High frequency & Broad band
- Shielding → Absorbing (BLS → BLA)
- 2D → 3D
- Metal → Composite
- Single-function → Multi-function
- Rigid → Flexible

전자파 소재 개발 연구그룹 소개

● 한국재료연구원 기능복합재료연구실



- **이상복 책임**: 전자파 연구총괄 및 자성소재

- **김태훈 선임**: 나노탄소소재 기반 유전/자성 기능화

- **정연수 선임**: 나노탄소합성 및 연속섬유화

- **이호림 선임**: 산화물계 자성소재 합성

- **류승환 박사(포닥)**: 전자파 흡수/방열소재 공정

- **권숙진 연구원**: 섬유 기능화 및 복합소재 공정

- **정병문 책임**: 자성 기능화 섬유 및 수지

- **박병진 선임**: 전자파 복합소재 특성설계/해석

- **이희정 선임**: MOF 기반 자성/유전소재 합성

- **최재령 선임**: 전자파 복합소재 공정

- **이균배 연구원**: 탄소소재 기반 복합소재 공정

● 한국재료연구원 분말재료연구본부

- **정재원 선임**: 철계 자성입자 공정

- **백연경 선임**: 산화물계 자성입자 공정

● 공동연구기관

- **부산대학교 전자공학과 김상길 교수 연구실**: 전자파 특성설계/해석 및 응용

- **한양대학교 ERICA 재료화학공학과 김종렬 교수 연구실**: 산화물계 자성소재

- **한양대학교 ERICA 재료화학공학과 좌용호 교수 연구실**: 나노탄소/질화물계 방열소재

- **영남대학교 물리학과 김기현 교수 연구실**: 전자파 특성설계/해석/평가

- **인하대학교 기계공학과 이상의 교수 연구실**: 전자파/방열 복합소재 설계/해석

- **경상대학교 기계공학과 황욱렬 교수 연구실**: 유연학 기반 복합소재 제조공정

