

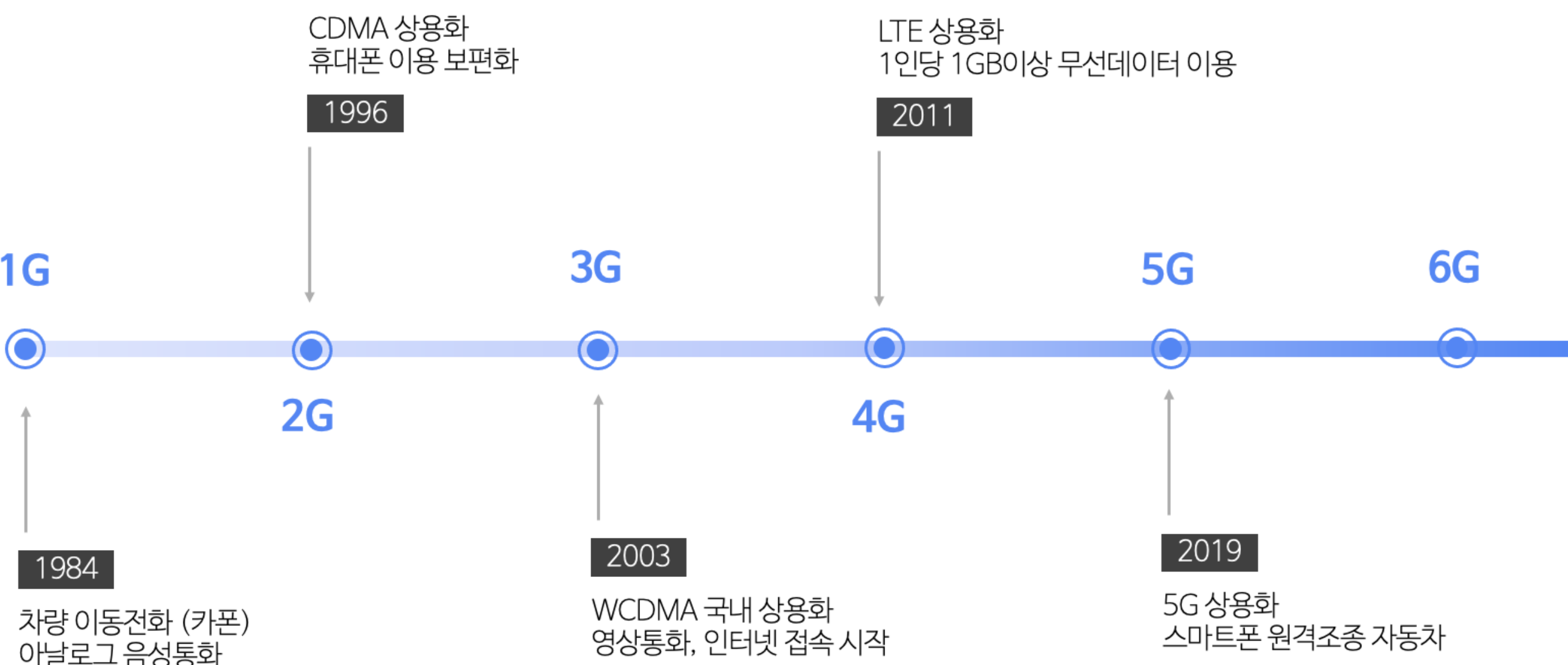
테라헤르츠 대역에서 콘크리트 공극 특성에 따른 전파 투과 성능

221376 나해린, 221339 송하정, 224061 한서희

Introduction

6G 시대의 도래와 함께 테라헤르츠(THz) 대역의 무선 전파 활용이 주목받고 있으나, 콘크리트는 전파의 흡수와 산란이 발생하여 투과에 제약이 크다. 이에 콘크리트의 전파 투과 성능을 향상시키기 위해 공극률, 공극 분포, 연결성 등의 특성에 주목하여 투과 특성을 분석하였다. 알루미늄 분말, 나노셀룰로오스, 플라스틱 비드(EPS), 폴리스티렌(PS)와 같은 기공 형성을 유도할 수 있는 재료를 활용하여 THz-TDS 장비를 통해 0.15-0.25 THz 범위에서 투과 성능을 정량적으로 비교·분석하였다.

Background



무선 이동통신은 약 10년 주기로 기술이 발전해 왔으며, 5G에 이어 6G의 상용화가 2030년을 목표로 국내외에서 활발히 추진되고 있다. 6G는 테라헤르츠(THz) 대역의 초고주파를 활용할 것으로 예상되나, 이 주파수는 반사와 회절로 전파를 송수신하는 5G와는 달리 콘크리트 내에서 흡수되고 산란되어 실내 투과에 큰 제약이 있다. 기존 연구는 대부분 5G 주파수 대역에서 이루어졌기 때문에, 테라헤르츠 대역에서의 콘크리트 투과 성능을 분석하는 것은 실질적이고 학문적인 의의가 있다.

Material Selection



전파 투과 성능에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나는 공극률이며, 공극률이 높을수록 유전율이 낮아져 전파 투과성이 향상된다. 이에 공극률과 유전율 특성을 고려하여 혼화재를 선정하였다.

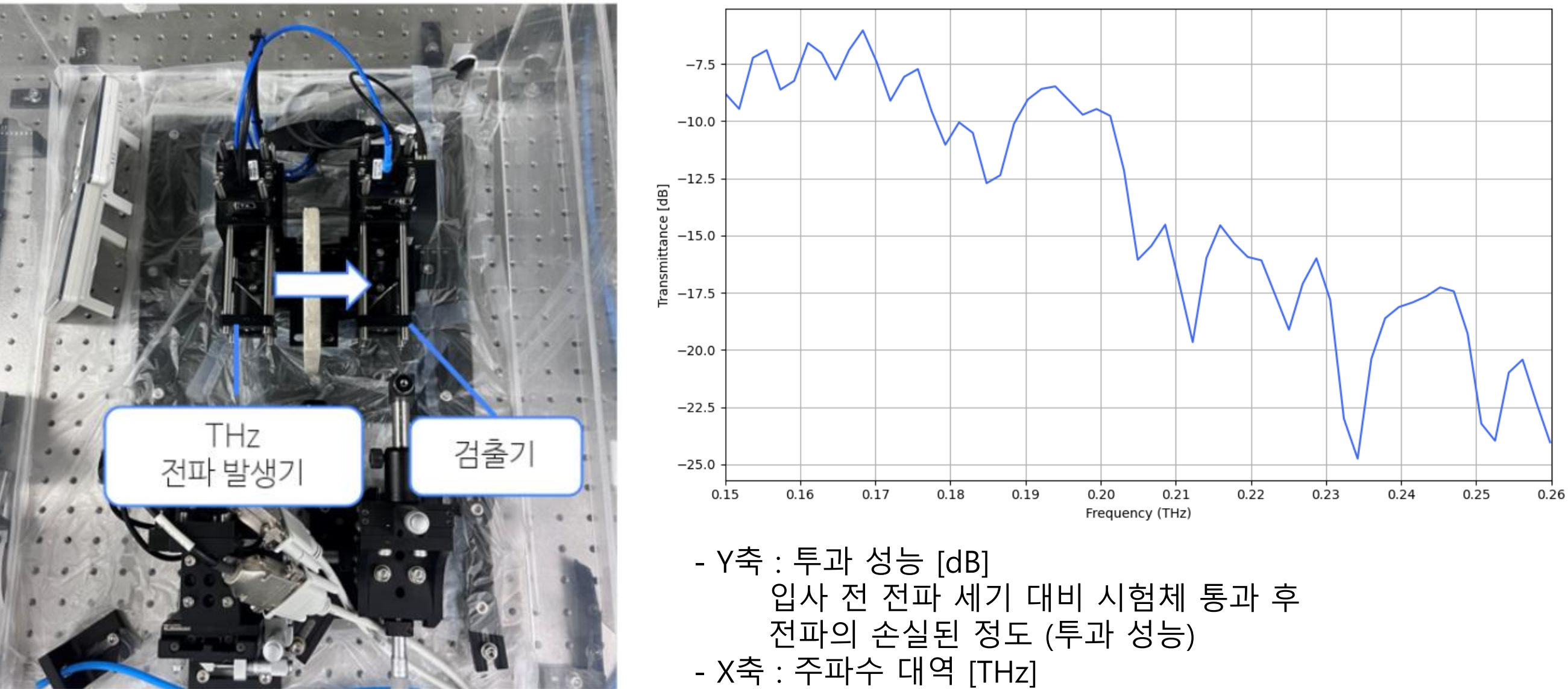
1차 실험 : 알루미늄 분말, 나노셀룰로오스

	시멘트	물	실리카샌드	배합 재료	유동화제	증점제
대조군	1	0.45	1	-	0.001	-
알루미늄 분말				0.01	0.003	0.001
나노 셀룰로오스		0.2		0.25	0.006	-

2차 실험 : 플라스틱비드, 스티로폼

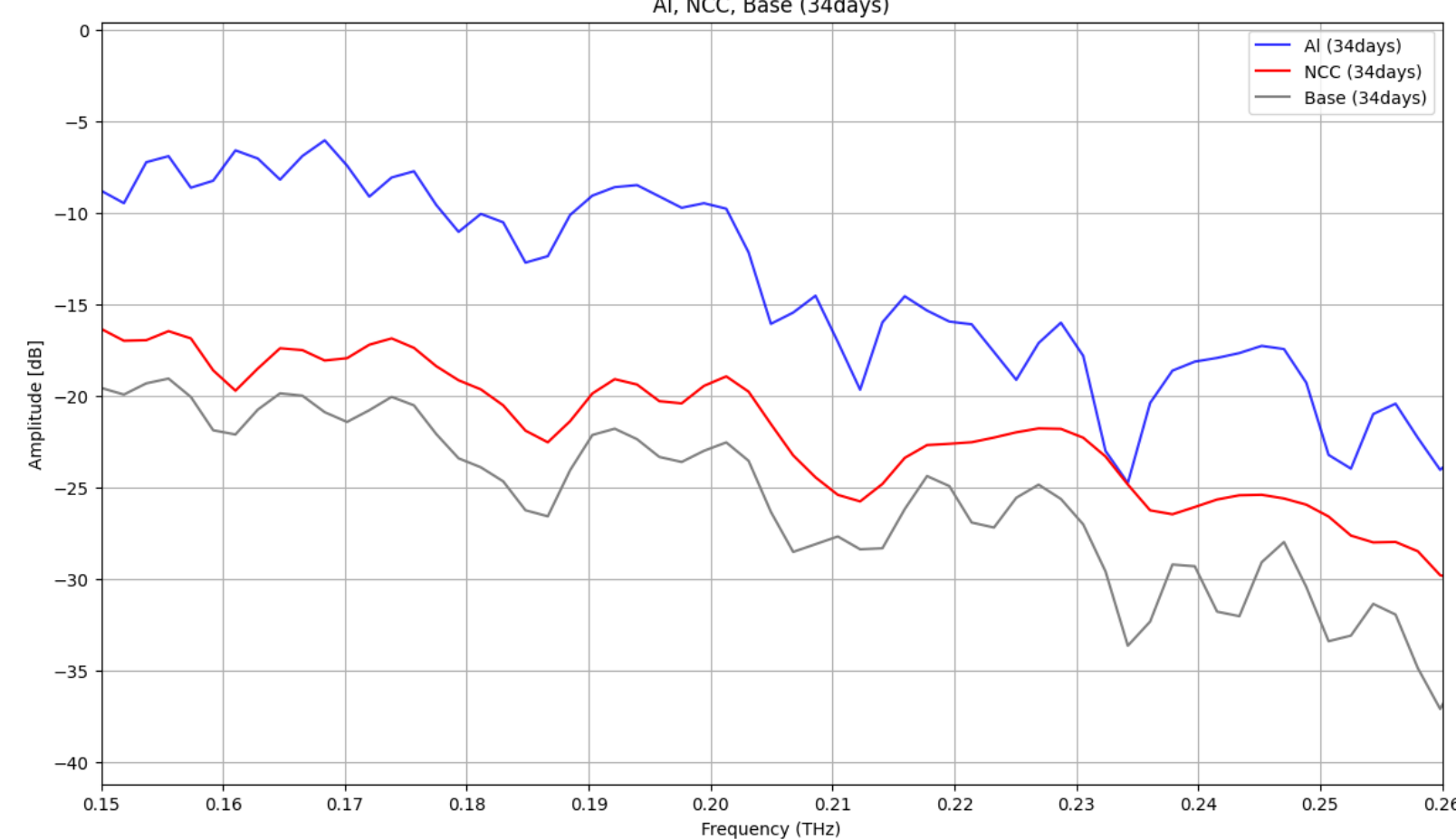
	시멘트	규사	물	PS 플라스틱 비드	EPS 스티로폼	유동화제	증점제
PS 0.5%	1	1	0.45	0.5		-	-
PS 1%				1.0		-	-
PS 1.5%				1.5		0.002	0.005
EPS 1%	1	1	0.45	-	1	-	-
EPS 3%					3	0.001	-
EPS 5%					5	0.0035	0.001

Methodology



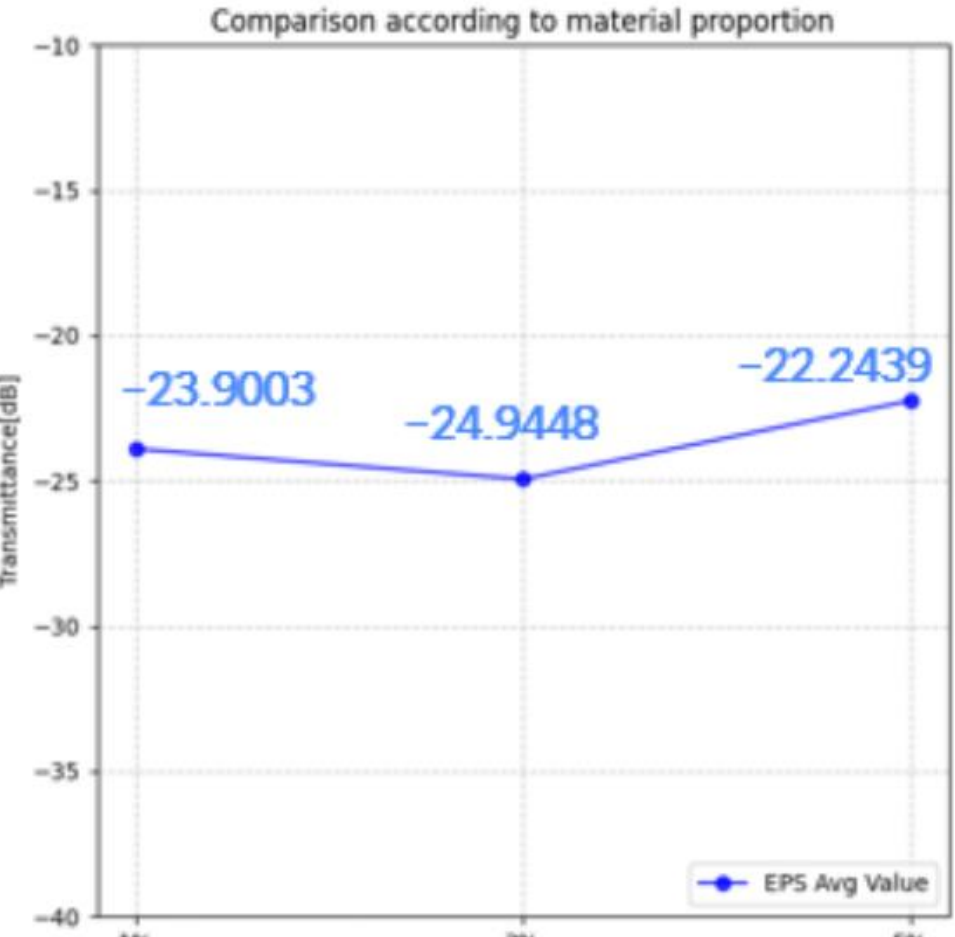
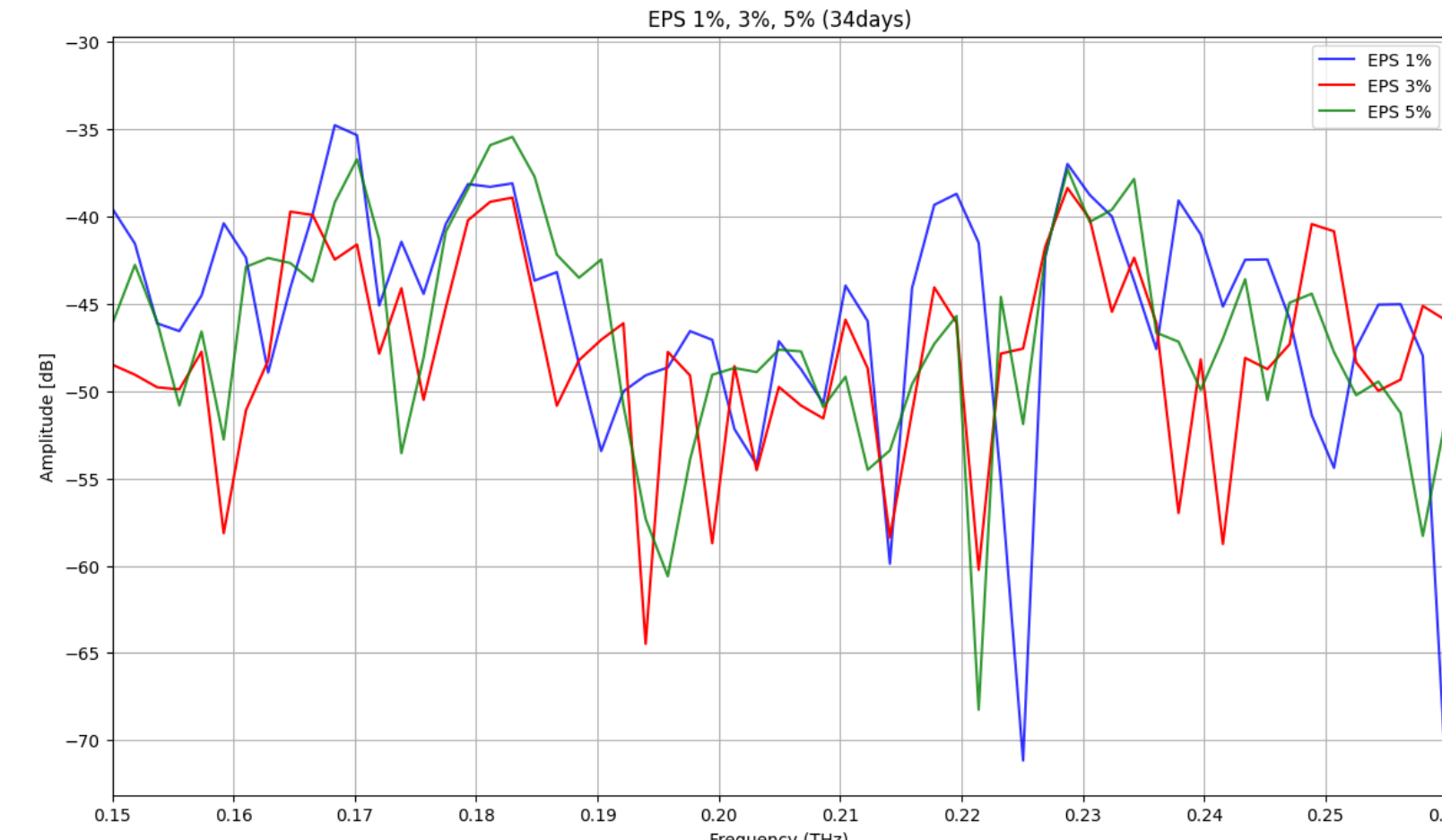
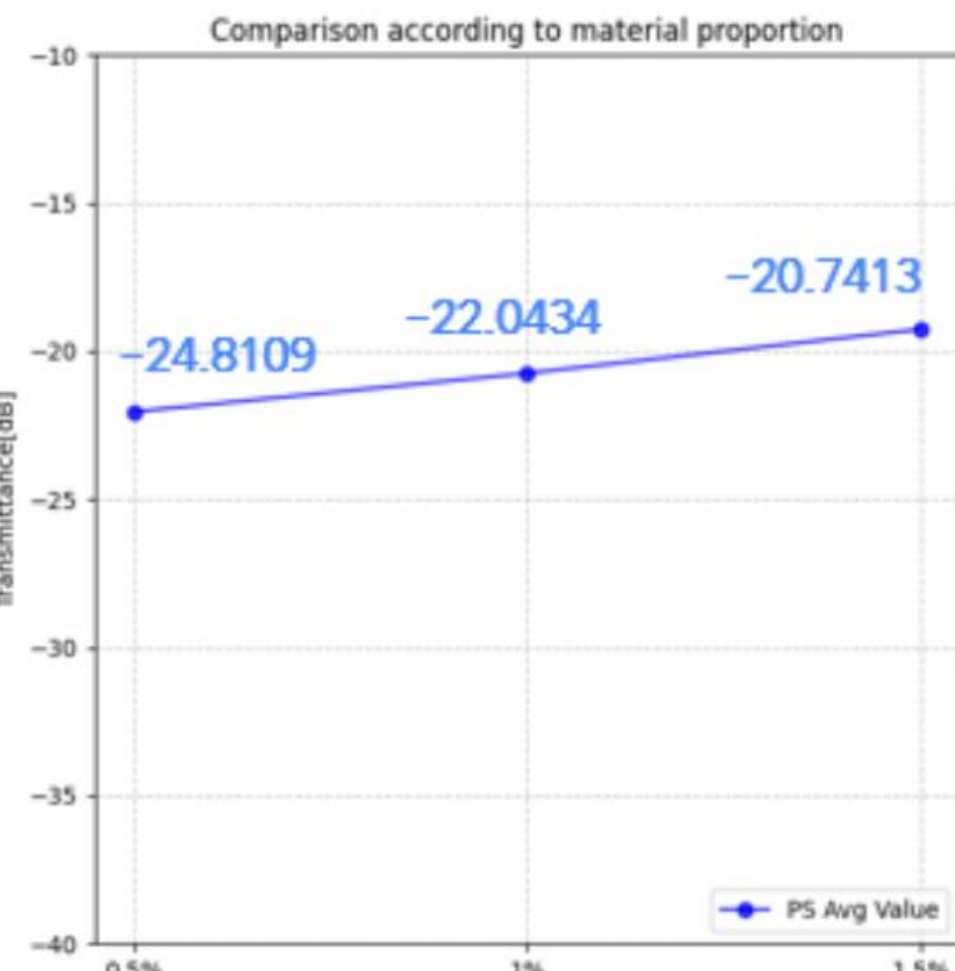
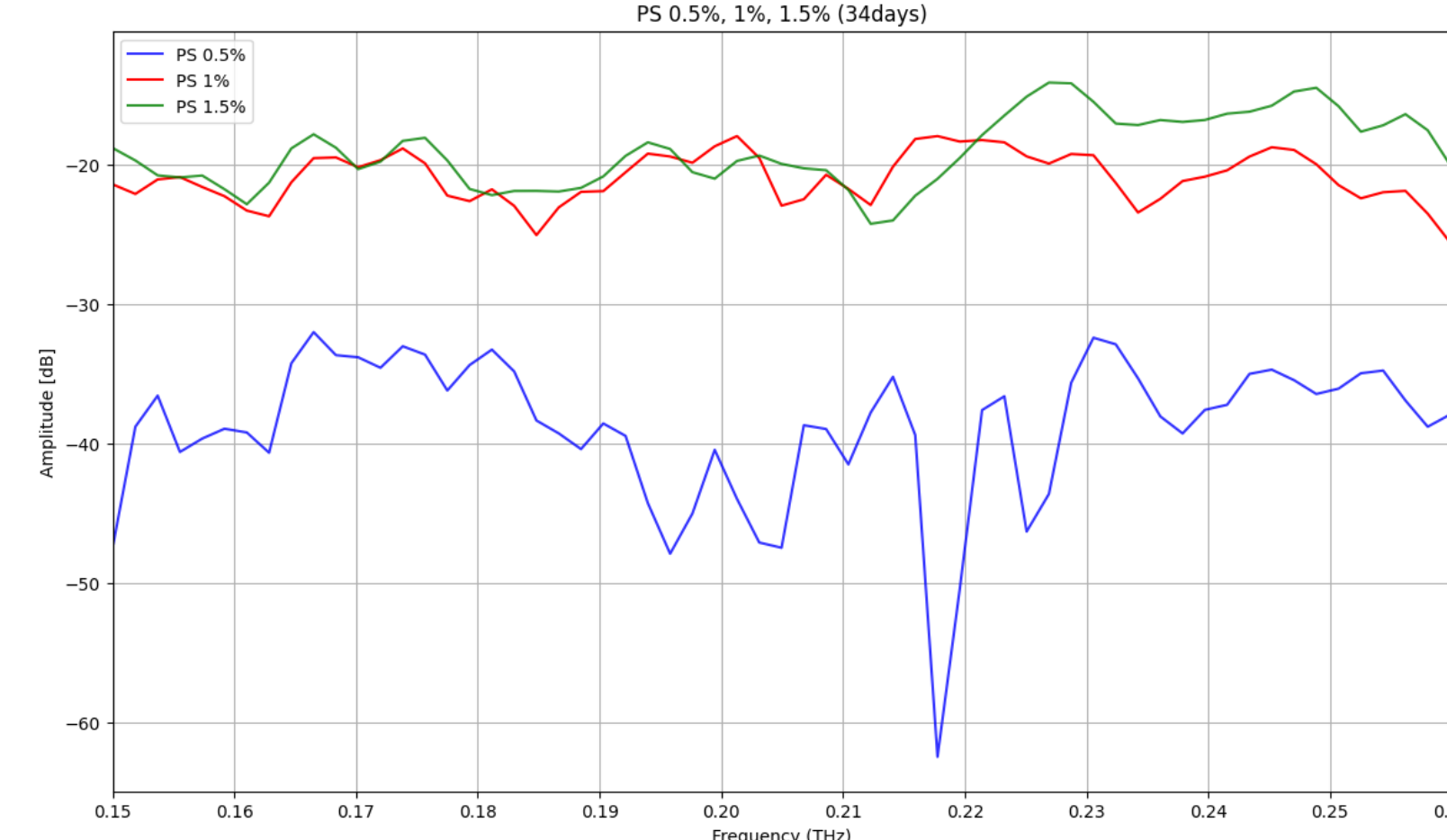
THz-TDS(Terahertz Time-Domain Spectroscopy) 장비를 활용하여 실험을 진행하였다. 장비의 좌측에 위치한 테라헤르츠 전파 발생기에서 방출된 신호가 콘크리트 시험체(100×100×10 mm)를 통과하며, 반대편의 검출기에서 이를 수신하여 신호를 기록한다. 기록된 시간 영역의 신호는 푸리에 변환을 통해 주파수 영역 스펙트럼으로 변환하였으며, 본 연구에서는 0.15-0.25 THz 범위에서 데이터를 확대 분석하여 전파 투과 특성을 평가하였다.

Case Study 1 (AI / NCC / Base)



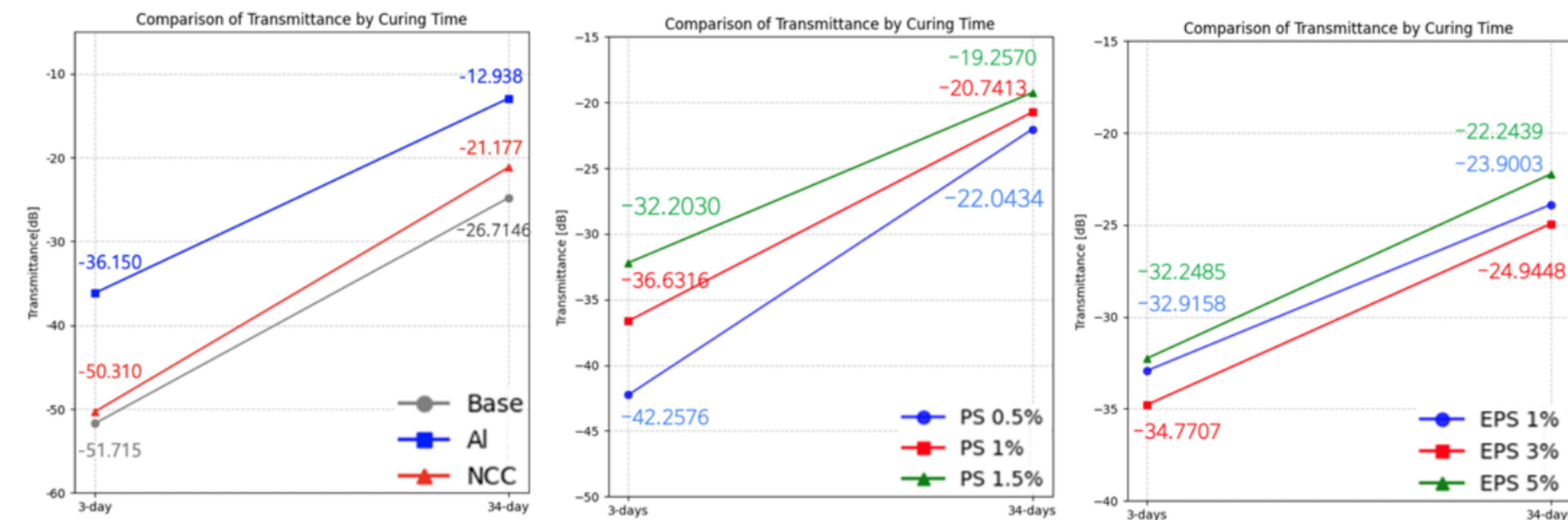
0.15-0.25 THz 구간 내 평균 투과율 분석 결과 알루미늄 분말을 첨가한 시험체는 -12.9393 dB로, 기준(Base) 시료의 -26.8109 dB 대비 약 107%의 투과 성능 향상을 보였다. 나노셀룰로오스를 첨가한 시험체는 -21.177 dB로, 약 27%의 성능 향상이 확인되었다.

Case Study 2 (PS / EPS)

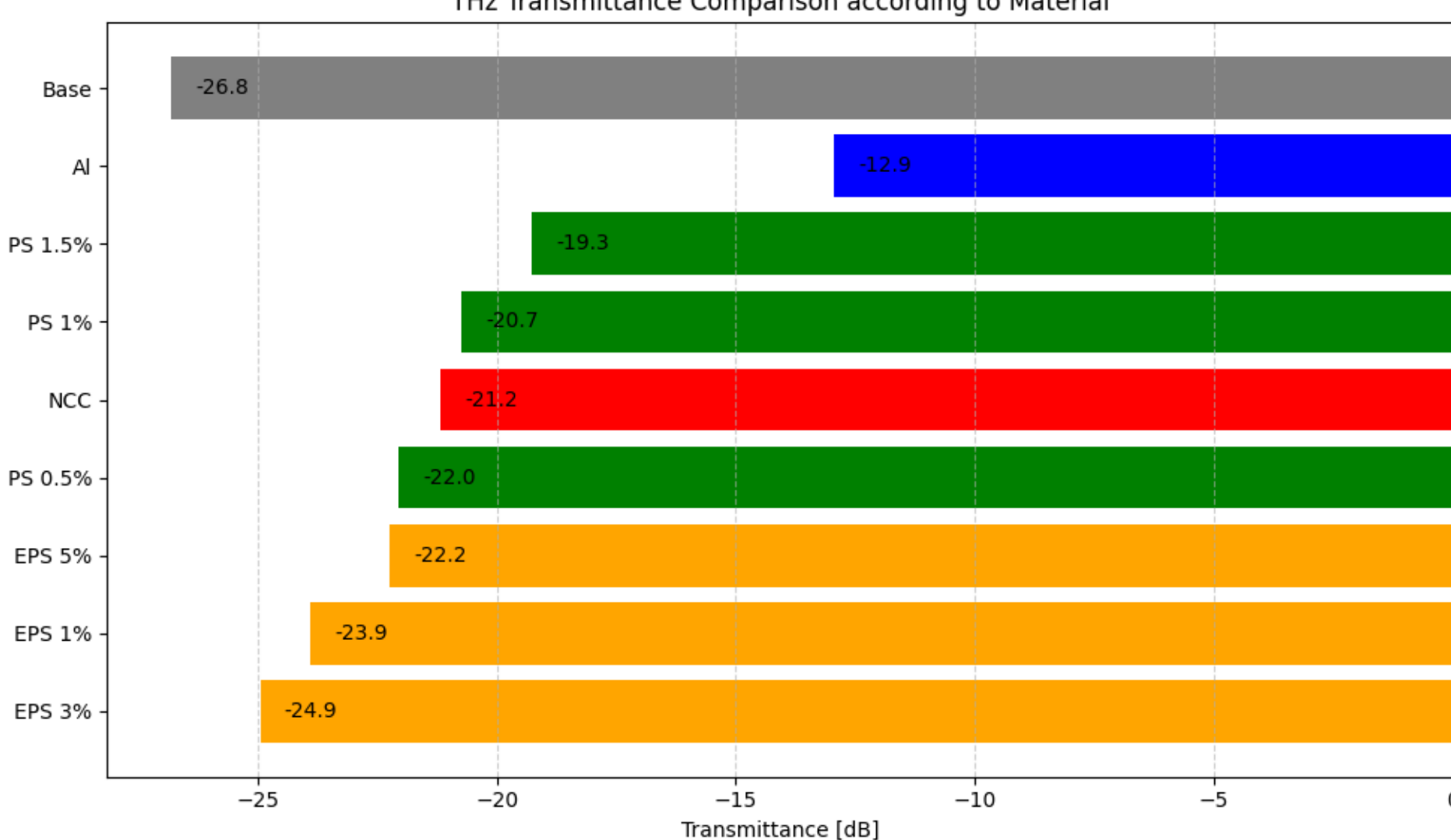


PS를 첨가한 경우, PS 0.5%에서는 약 13%, PS 1.0%에서는 20%, PS 1.5%에서는 29%의 향상 폭을 보였고, EPS를 첨가한 경우에는 EPS 1%에서 8%, EPS 3%에서 3%, EPS 5%에서 16%의 투과 성능 향상이 나타났다. EPS 3%의 경우, 임계함량에 도달하면서 입자 간 밀도가 증가하였고, 이로 인해 입자들이 뭉쳐 불규칙한 덩어리 형태를 형성하고, 이에 따른 다중 산란 현상이 발생했을 가능성이 높아 일시적으로 투과 성능이 저하되는 경향이 관찰되었다.

Comparison by Curing Period



Conclusion



시험체의 테라헤르츠(THz) 전파 투과 성능은 공극 특성과 밀접한 관련이 있으며, 특히 공극률, 분포, 형태, 연결성이 핵심적인 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 실험 결과, 배합 재료에 따라 최소 3%에서 최대 107%까지 투과 성능 향상이 가능함을 확인하였다.

그중 알루미늄 분말을 첨가한 시험체가 가장 높은 투과 성능을 보였으며, 그 다음은 PS 1.5% 첨가 시료였다. 또한, 양생 기간에 따른 함수량 변화 역시 전파 투과 성능에 유의미한 영향을 미쳤으며, 함수율이 높을수록 전파 흡수가 증가하는 경향을 보였다.