
2026년 4극3특 과학기술혁신지원사업 연구개발계획서

[첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용
고내열 · 저유전 폴리아릴에테르케톤
(PAEK) 소재 개발] [주관과제용]

2026. 09 .

2026년 4극3특 과학기술혁신지원사업

연구개발계획서

[첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고내열·저유전
폴리아릴에테르케톤 (PAEK) 소재 개발]

2026. 09.

과제명	첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고내열·저유전 폴리아릴에테르케톤 (PAEK) 소재 개발
주관기관	(주)삼일화학
연구책임자	김주민

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		중부권 4극3특 지역자율 R&D 사업 - 반도체	내역사업명	2026년 지역자율- 반도체
연구개발과제명		첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고내열·저유전 폴리아릴에테르케톤 (PAEK) 소재 개발		
전체 연구개발기간		2026.10 . 01 . ~ 2030. 12 . 31 .(38개월)		
총 연구개발비		총 3,155,000 천원 (정부지원연구개발비: 2,500,000 천원) ※ 2026년도 기관부담연구개발비 미적용		
목표 및 내용	사업목표	본 연구는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 소재로 기존 폴리아릴에테르케톤 (PAEK)의 분자구조를 새롭게 설계하여 우수한 고내열성과 저유전 특성의 스페셜티 소재 로 합성하고자 함. Free Volume 증가와 분자운동성 억제 를 통해 고내열성, 저유전 특성을 동시에 충족하는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 기초소재 로써 개발 및 양산을 최종 목표로 함.		
		평가 항목	목표치	비고
		DSC (유리전이온도 / Tg)	≥180℃	DSC 측정, PAEK의 고내열성 및 분자운동성 억제 효과 평가
		TGA (열중량 분석 / °C)	Td5% ≥ 450 °C	5% 중량 감소온도 기준으로 열적 안정성 평가
		Molecular Weight (분자량 / Mw)	≥ 30,000 g/mol	GPC 측정, 필름 형성·기계적 물성 확보 여부 평가
		Dielectric Constant (유전율 / ε') @28 GHz	≤ 2.8	28 GHz 기준, free volume 증가에 따른 분극밀도 감소 및 저유전 특성 평가
		Dielectric Loss (유전손실 / tan δ) @28 GHz	≤ 0.003	28 GHz 기준, 분자운동성 및 dipole relaxation 억지에 따른 저손실 특성 평가
추진전략 및 내용		가. 저유전을 및 저유전손실 구현을 위한 새로운 PAEK 분자구조 설계 - PAEK 주사슬 내에 bulky하고 비평면적인 monomer 를 도입하여 고분자 사슬 간 packing 을 억제하고, 이에 따른 free volume 증가 를 유도함. - 이를 통해 단위부피당 극성기 및 분극 가능한 구조의 밀도를 낮춰 고주파 대역에서 낮은 유전특성을 구현 하고, 동시에 methyl기와 같은 비극성 치환기의 종류와 위치를 제어하여 주사슬 및 방향족 구조의 국소적 회전과 분자운동성을 억제 하고, 신호전달이 중요한 첨단 반도체 패키징 및 고주파 영역에서 dipole relaxation을 억제함 으로써 소재의 저유전손실을 구현하고자 함. - 이때 단순히 free volume만 증가하게되면 기계적 물성과 열적 안정성 저하가 유발 될 수 있으며, 이를 방지하기 위해 방향족 ether-ketone 기반의 골격을 유지하면서 치환기 구조와 입체장애를 정밀하게 제어하는 것을 목표로 함.		

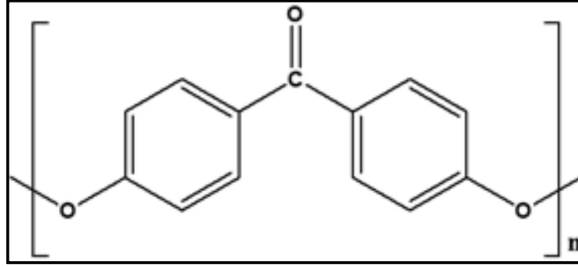


그림1. PAEK 분자구조

나. 구조-물성 상관관계 기반 후보 소재 설계 및 합성

- 분자구조와 유전특성 간 상관관계를 체계적으로 확보하기 위해 **bulky group**의 구조, methyl기 치환여부 및 치환 위치가 상이한 복수위 PAEK 후보군 설계.

- 각각의 소재에 대한 합성조건과 합성공정을 수립 및 최적화하고, 분자량과 분자량 분포를 제어하여 재현성있는 소재를 확보하며, 합성된 PAEK의 분자구조와 합성여부는 NMR, FT-IR 등의 분석을 통한 검증과 치환기 도입 및 고분자 중합 여부를 검증하고자 함.

다. 고내열 특성 확보 및 열적 안정성 검증

- 저유전 특성을 확보하는 과정에서 PAEK 고유의 고내열성을 유지할 수 있도록 주사슬의 방향족 구조 및 ketone 결합을 기반으로 열적 안정성을 확보하고자 함.

- 개발된 소재에 대해 DSC, TGA, DMA 분석을 실시하여 소재의 유리전이온도, 열분해온도 및 고온에서의 구조적 안정성을 평가하고, 특히 bulky 구조 및 치환기 도입에 따른 free volume 증가가 열적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 저유전 특성과 고내열 특성간 최적의 균형점 확보를 목표로 함.

라. 고주파 대역에서 유전특성 평가 및 최적 구조 선정

- 개발된 소재를 28 GHz 이상의 고주파 영역에서 유전율과 유전손실 특성을 평가하고, 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 소재로써 free volume 증가와 분자운동성 억제가 실제 유전특성에 미치는 영향을 정량적으로 검증하고자 함.

기대효과
및
성과 활용
계획

·기술적 효과:- 본 과제를 통해 기존 저유전 소재로 사용되는 **폴리이미드 (PI) 소재를 대체**하고, **첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 PAEK 소재의 설계 및 합성 기술을 확보**할 수 있음.

- 특히 **bulky 구조 도입에 따른 free volume 증가**를 통해 고주파 대역에서 **유전율 (ϵ)**을 저감하고, **치환기 위치와 분자운동성 억제**를 통해 **유전손실 ($\tan \delta$)**을 저감함으로써, 단순한 조성 변경이나 무기필러 첨가 방식이 아닌 **분자구조 설계 기반의 유전특성 제어에** 관련된 **원천 소재기술을 확보**할 수 있음.

- 또한 **PAEK의 분자구조와 고주파 유전특성 간 상관관계**를 체계적으로 분석함으로써, 향후 **차세대 스페셜티 소재로 분류되는 저유전 고분자 소재** 개발에 활용 가능한 **구조-물성 상관관계 데이터베이스** 및 **설계기준을 구축**할 수 있으며, 이를 통해 신규 단량체 및 치환기 구조 변경 시 유전특성에 대한 예측 및 최적화가 가능해져 **첨단산업용 스페셜티 소재**에 대한 **개발 효율성**을 높일 수 있고, 이러한 소재 설계 및 합성 기술을 통해 **첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고분자 소재**에 대한 **원천기술 확보**와 **핵심전략 기초소재**에 대한 **공급망**을 **강화**할 수 있음.

·산업적 효과: AI, 고성능 컴퓨팅, 데이터센터, 5G/6G 통신 및 첨단 반도체 패키징 시장의

	확대에 따른 <u>고속·고주파 신호전송</u> 환경에서 발생하는 <u>신호손실을 최소화</u> 할 수 있는 <u>고내열·저유전 고분자 소재에 대한 중요성</u>이 지속적으로 확대되고 있으며, <u>첨단산업이 국가안보와 직결되면서 핵심전략 기초소재에 대한 기술자립화에 대한 중요성이 크게 상승하고 있음.</u> - 특히 <u>첨단 반도체 패키징</u>에서는 <u>미세한 배선, 칩의 고집적화</u> 및 <u>고속 데이터 전송</u>에 따른 <u>절연소재의 유전특성과 내열성이 동시에 요구되고</u> 있으며, <u>고주파 통신</u> 분야에서는 주파수의 고대역화에 따른 <u>transmission loss를 저감하기 위한 저유전 소재가 핵심 소재로</u> 부각되고 있음. - 이에 본 과제를 통해 개발하고자 하는 <u>PAEK 소재</u>는 기존 저유전 소재인 <u>폴리이미드 (PI)</u> 소재 대비 <u>우수한 저유전 특성과 고내열 특성, 우수한 전기적 특성</u>을 가지고 있으며, 이러한 소재 성능을 통해 <u>첨단 반도체 패키징, FCCL, RF회로, 안테나, 고주파 통신부품</u> 등 다양한 <u>첨단산업 분야에 확장 적용이 가능함.</u> - 나아가 <u>PAEK 소재</u>를 포함한 <u>첨단산업용 핵심전략 기초소재(슈퍼 엔지니어링 플라스틱 등)</u>는 <u>높은 해외의존도를 형성하고</u> 있으며, 본 기술 확보를 통해 <u>첨단산업용 핵심전략 기초소재에 대한 국산화 및 공급망 안정화에 기여할 수</u> 있음. - 특히, 단순한 수입대체를 넘어 <u>분자구조 설계 및 자체 합성기술을 기반으로 한 소재 개발</u>을 통해 <u>고부가가치 특수소재 분야의 글로벌 기술자립도</u>를 높이고, 향후 <u>일본 및 대만 등 반도체 산업과 전자산업 중심의 고부가 시장으로 수출 확대 기반</u>을 마련할 수 있을 것으로 판단됨.				
국문핵심어 (5개 이내)	고분자	폴리아릴에테르케톤	폴리에테르에테르케톤	전도성	저유전
영문핵심어 (5개 이내)	Polymer	PolyArylEtherKetone	PolyEtherEtherKetone	Conductive	Low-k

1. 연구과제 개요 및 구성

구분	기관명	연구책임자	소재지	주요 역할 및 분담
주관연구개발기관 (본 기관)	(주)삼일화학	김주민	충북 음성군	연구책임자
공동연구개발기관				
위탁연구개발기관				
참여기업/지자체				

가. 과제 개요 및 비전/추진전략

작성요령

본 연구는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 소재로 기존 폴리아릴에테르케톤 (PAEK)의 분자구조를 새롭게 설계하여 우수한 고내열성과 저유전 특성의 스페셜티 소재로 합성하고자 함.

Free Volume 증가와 분자운동성 억제를 통해 고내열성, 저유전 특성을 동시에 충족하는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 기초소재로써 개발 및 양산을 최종 목표로 함.

가. 저유전을 및 저유전손실 구현을 위한 새로운 PAEK 분자구조 설계

- PAEK 주사슬 내에 bulky하고 비평면적인 monomer를 도입하여 고분자 사슬 간 packing을 억제하고, 이에 따른 free volume 증가를 유도함.
- 이를 통해 단위부피당 극성기 및 분극 가능한 구조의 밀도를 낮춰 고주파 대역에서 낮은 유전특성을 구현하고, 동시에 methyl기와 같은 비극성 치환기의 종류와 위치를 제어하여 주사슬 및 방향족 구조의 국소적 회전과 분자운동성을 억제하고, 신호전달이 중요한 첨단 반도체 패키징 및 고주파 영역에서 dipole relaxation을 억제함으로써 소재의 저유전손실을 구현하고자 함.
- 이때 단순히 free volume만 증가하게되면 기계적 물성과 열적 안정성 저하가 유발될 수 있으며, 이를 방지하기 위해 방향족 ether-ketone 기반의 골격을 유지하면서 치환기 구조와 입체장애를 정밀하게 제어하는 것을 목표로 함.

나. 구조-물성 상관관계 기반 후보 소재 설계 및 합성

- 분자구조와 유전특성 간 상관관계를 체계적으로 확보하기 위해 bulky group의 구조, methyl기 치환여부 및 치환 위치가 상이한 복수위 PAEK 후보군 설계.
- 각각의 소재에 대한 합성조건과 합성공정을 수립 및 최적화하고, 분자량과 분자량 분포를 제어하여 재현성있는 소재를 확보하며, 합성된 PAEK의 분자구조와 합성여부는 NMR, FT-IR 등의 분석을 통한 검증과 치환기 도입 및 고분자 중합여부를 검증하고자 함.

다. 고내열 특성 확보 및 열적 안정성 검증

- 저유전 특성을 확보하는 과정에서 PAEK 고유의 고내열성을 유지할 수 있도록 주사슬의 방향족 구조 및 ketone 결합을 기반으로 열적 안정성을 확보하고자 함.
- 개발된 소재에 대해 DSC, TGA, DMA 분석을 실시하여 소재의 유리전이온도, 열분해온도 및 고온에서의 구조적 안정성을 평가하고, 특히 bulky 구조 및 치환기 도입에 따른 free volume 증가가 열적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 저유전 특성과 고내열 특성간 최적의 균형점 확보를 목표로 함.

라. 고주파 대역에서 유전특성 평가 및 최적 구조 선정

- 개발된 소재를 28 GHz 이상의 고주파 영역에서 유전율과 유전손실 특성을 평가하고, 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 소재로써 free volume 증가와 분자운동성 억제가 실제 유전특성에 미치는 영향을 정량적으로 검증하고자 함.

나. 연구단 구성 총괄

작성요령

연구개발 추진 체계 (R&D Execution Structure)

기술 개발의 전문성과 양산 적용 가능성을 극대화하기 위해 소재 합성(주관) - 원천 분석/모의실험(대학/출연연) - 공정 검증 및 양산 평가(수요기업)의 삼각 협력 체계로 구성합니다.

기관 구분	주요 역할 및 담당 분야	핵심 산출물
주관 연구 기관 (주삼일화학)	- 저유전 PAEK 분자구조 설계 및 합성 - 파일럿/양산 스케일업 및 고순도 정제 공정 구축 - IP 확보 및 사업화 추진	- 저유전 PAEK 합성 시제품 - 합성 공정 가이드라인 - 원천 및 응용 특허
공동 연구 기관 미정	- 분자 구조 계산 모의실험(MD Simulation) - 원천 메커니즘 해석 - 신뢰성 평가 기준 마련	- 연구 논문 및 특허 - 원천 분자 구조 D/B - 신뢰성 분석 보고서
수요/참여 기업 (반도체 IDM/OSAT)	- 소재 수용성 평가(PoC) 및 JQT(공동 평가) 수행 - 실제 공정(스핀코팅, 노광, 경화 등) 적합성 검증 - 양산 적용 승인(Qual) 및 공급망(Chain) 연결	- 공정적합성 평가서 - 시제품 승인서(Qual) - 구매의향서(LoI)

다. 중점기술-사업기획 정합성, 연구과제간 연계성

작성요령

가. 국가 정책 및 전략기술과의 정합성

국가전략기술 육성 기본계획	소부장 경쟁력 강화 정책	본 과제 개발 목표
·반도체 : 초거대 AI & HBM 패키징	·해외 독점 초고순도 수지 국산화	· Low-k PAEK 소재(low ϵ' /tan δ)
·차세대통신 : 6G Sub-THz 소재	·공급망 안보 및 자립화	· 파일럿 스케일(30kg) 및 CCL 실증

- 국가전략기술(반도체/차세대 통신) : 정부가 지정한 **12대 국가전략기술중 반도체(첨단패키징/재배선층) 및 차세대 통신(6G/고주파절연재)** 분야의 **핵심 필수 소재로 국가 기술주권 확보 목표와 100% 부합함**

소재 부품 장비 공급망 안보 정합성 : **미국/일본** 등 해외 과점 기업에 의존하고 있는 **초고성능 엔지니어링 플라스틱의 국산화 및 공급망 내재화 정책 기조에 부합함**

나. 산업 밸류체인 및 수요기업 연계 정합성

단방향 개발 방지: 단순 핵심전략 기초소재 개발에 그치지 않고, **필름 압출(Midstream) → 동박적층판(CCL) → 반도체/PCB 최종 실증(Downstream)**으로 이어지는 완전한 밸류체인을 구축하여 과제 종료 후 즉시 양산 매출 발생이 가능함.

수요기업 참여 및 Qual 검증: 최종 수요기업(PCB 및 반도체 패키징 제조사)이 공동연구 및 실증 평가기관으로 참여하여, 개발 단계에서부터 수요처의 Spec-in 기준을 실시간 반영함.

다. 사업기획 및 연구과제 연계성

구분	국가 전략/산업 니즈	본 연구과제 기획 내용	정합성 검증
소재 공급망	해외 독점 수지의 독자적 수입 대체	폴리머 정제 ~ PAEK(PEEK/PEKK) 합성 등 핵심전략 기초소재 원천기술 확보 및 내재화	완전 일치 (100% 국산화)
첨단 가공	고온 성형 및 다품종 소량 3D 프린팅 수요	CF 보강 컴파운드 및 3D 프린팅(SLS/FFF) 소재화	기술 트렌드 부합
수요 실증	반도체/EV 라인 가혹 환경 신뢰성 확보	수요기업(반도체 장비사, EV 부품사)의 직접 참여	사업화 직결 구조

라. 최종목표 및 단계별 세부목표 총괄

작성요령

본 연구는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 소재로 기존 폴리아릴에테르케톤 (PAEK)의 분자 구조를 새롭게 설계하여 우수한 고내열성과 저유전 특성의 스페셜티 소재로 합성하고자 함.

Free Volume 증가와 분자운동성 억제를 통해 고내열성, 저유전 특성을 동시에 충족하는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 기초소재로써 개발 및 양산을 최종 목표로 함.

평가 항목	목표치	비고
DSC (유리전이온도 / Tg)	$\geq 180^{\circ}\text{C}$	DSC 측정, PAEK의 고내열성 및 분자운동성 억제 효과 평가
TGA (열중량 분석 / $^{\circ}\text{C}$)	$\text{Td}5\% \geq 450^{\circ}\text{C}$	5% 중량 감소온도 기준으로 열적 안정성 평가
Molecular Weight (분자량 / Mw)	$\geq 30,000 \text{ g/mol}$	GPC 측정, 필름 형성·기계적 물성 확보 여부 평가
Dielectric Constant (유전율 / ϵ') @28 GHz	≤ 2.8	28 GHz 기준, free volume 증가에 따른 분극 밀도 감소 및 저유전 특성 평가
Dielectric Loss (유전손실 / $\tan \delta$) @28 GHz	≤ 0.003	28 GHz 기준, 분자운동성 및 dipole relaxation 억제에 따른 저손실 특성 평가

【첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고내열·저유전 폴리아릴에테르케톤 (PAEK) 소재 개발】

작성요령

가. 저유전을 및 저유전손실 구현을 위한 새로운 PAEK 분자구조 설계

- PAEK 주사슬 내에 bulky하고 비평면적인 monomer를 도입하여 고분자 사슬 간 packing을 억제하고, 이에 따른 free volume 증가를 유도함.
- 이를 통해 단위부피당 극성기 및 분극 가능한 구조의 밀도를 낮춰 고주파 대역에서 낮은 유전특성을 구현하고, 동시에 methyl기와 같은 비극성 치환기의 종류와 위치를 제어하여 주사슬 및 방향족 구조의 국소적 회전과 분자운동성을 억제하고, 신호전달이 중요한 첨단 반도체 패키징 및 고주파 영역에서 dipole relaxation을 억제함으로써 소재의 저유전손실을 구현하고자 함.
- 이때 단순히 free volume만 증가하게되면 기계적 물성과 열적 안정성 저하가 유발될 수 있으며, 이를 방지하기 위해 방향족 ether-ketone 기반의 골격을 유지하면서 치환기 구조와 입체장애를 정밀하게 제어하는 것을 목표로 함.

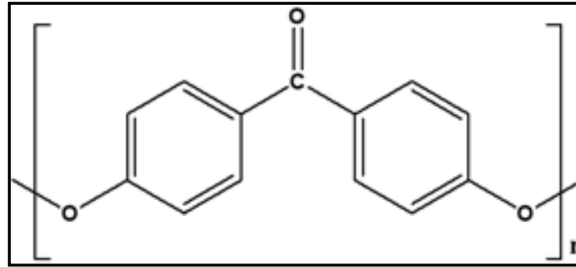


그림1. PAEK 분자구조

나. 구조-물성 상관관계 기반 후보 소재 설계 및 합성

- 분자구조와 유전특성 간 상관관계를 체계적으로 확보하기 위해 bulky group의 구조, methyl기 치환여부 및 치환 위치가 상이한 복수위 PAEK 후보군 설계.
- 각각의 소재에 대한 합성조건과 합성공정을 수립 및 최적화하고, 분자량과 분자량 분포를 제어하여 재현성있는 소재를 확보하며, 합성된 PAEK의 분자구조와 합성여부는 NMR, FT-IR 등의 분석을 통한 검증과 치환기 도입 및 고분자 중합여부를 검증하고자 함.

다. 고내열 특성 확보 및 열적 안정성 검증

- 저유전 특성을 확보하는 과정에서 PAEK 고유의 고내열성을 유지할 수 있도록 주사슬의 방향족 구조 및 ketone 결합을 기반으로 열적 안정성을 확보하고자 함.
- 개발된 소재에 대해 DSC, TGA, DMA 분석을 실시하여 소재의 유리전이온도, 열분해온도 및 고온에서의 구조적 안정성을 평가하고, 특히 bulky 구조 및 치환기 도입에 따른 free volume 증가가 열적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 저유전 특성과 고내열 특성간 최적의 균형점 확보를 목표로 함.

라. 고주파 대역에서 유전특성 평가 및 최적 구조 선정

- 개발된 소재를 28 GHz 이상의 고주파 영역에서 유전율과 유전손실 특성을 평가하고, 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 소재로써 free volume 증가와 분자운동성 억제가 실제 유전특성에 미치는 영향을 정량적으로 검증하고자 함.

과제명	국문	첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고내열·저유전 폴리아릴에테르케톤 (PAEK) 소재 개발							
	영문	Development of High-Heat-Resistant, Low-Dielectric Polyaryletherketone (PAEK) Materials for Advanced Semiconductor Packaging and High-Frequency Communication							
프로젝트 책임자	성명	김주민			직위		대표이사		
	소속기관	(주)삼일화학			부서명		대표이사		
	연락처	010-5104-9195			E-Mail		per@samilchem.com		
연구기간	2026년 10월 1일 부터 ~ 2030년 12월 31일 까지 (3 년2개월)								
참여연구인력 (단위:명)	(주)삼일 화학								합 계
	3								3

1) 과제 수행의 필요성

작성요령

가. 첨단 반도체 패키징(HBM, 2.5D/3D Chiplet)의 고온·휨(Warping) 현상

- 문제점: AI 데이터센터용 HBM 및 차세대 GPU/AP 패키징은 칩이 다층 적층되면서 내부 발열이 극대화되고 있습니다. 솔더 리플로우(Reflow) 공정 온도가 **260°C 이상으로 상승함**에 따라, 기판과 절연막 간의 **열팽창계수(CTE) 불일치로 인한 열변형(Warping) 및 균열(Micro-crack)** 불량률이 심화되고 있음
- 한계: 기존 에폭시(Epoxy)나 일반 폴리아미드(PI)는 200°C 이상의 연속 고온 환경에서 열절연성 및 치수 안정성이 급격히 저하됨

나. 6G 및 Sub-THz 고주파 대역 신호 손실(RC Delay) 증대

- 문제점: 10GHz~28GHz(추후 6G Sub-THz 대역) 고주파 영역에서는 신호 감쇄 및 전달 지연(RC Delay)이 주파수 제곱에 비례하여 급증함
- 한계: 전통적인 PEEK 수지는 뛰어난 내열성에도 불구하고 **유전율($\epsilon' \approx 3.2$)과 유전손실률($\tan \delta \approx 0.0035$)**이 높아 고주파 PCB 및 재배선층(RDL) 절연재로 사용이 불가능함.

다. 과제 수행의 필요성 요약

구분	필요성 핵심	미추진 시 예상되는 문제점
기술적 측면	• 초고온 중합 및 고기능 컴파운딩 원천기술 독자 확보	• 해외 메이저 기업과의 기술 격차 지속 및 가공 기술 예측
경제적 측면	• 연 2,000억 원 이상 수입 대체 및 부품 원가 20% 절감	• 해외 공급사 가격 인상 및 단가 주도권 상실
정책/안보 측면	• 반도체/EV/항공우주 공급망 안보 확보 및 탄소중립 기여	• 지정학적 리스크 발생 시 국가 핵심 첨단산업 생산 차질

2) 과제목표 및 내용

작성요령

본 연구는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 소재로 기존 폴리아릴에테르케톤 (PAEK)의 분자구조를 새롭게 설계하여 우수한 고내열성과 저유전 특성의 스페셜티 소재로 합성하고자 함.

Free Volume 증가와 분자운동성 억제를 통해 고내열성, 저유전 특성을 동시에 충족하는 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 기초소재로써 개발 및 양산을 최종 목표로 함.

평가 항목	목표치	비고
DSC (유리전이온도 / Tg)	$\geq 180^{\circ}\text{C}$	DSC 측정, PAEK의 고내열성 및 분자운동성 억제 효과 평가
TGA (열중량 분석 / $^{\circ}\text{C}$)	$\text{Td}5\% \geq 450^{\circ}\text{C}$	5% 중량 감소온도 기준으로 열적 안정성 평가
Molecular Weight (분자량 / Mw)	$\geq 30,000 \text{ g/mol}$	GPC 측정, 필름 형성·기계적 물성 확보 여부 평가
Dielectric Constant (유전율 / ϵ') @28 GHz	≤ 2.8	28 GHz 기준, free volume 증가에 따른 분극 밀도 감소 및 저유전 특성 평가
Dielectric Loss (유전손실 / $\tan \delta$) @28 GHz	≤ 0.003	28 GHz 기준, 분자운동성 및 dipole relaxation 억제에 따른 저손실 특성 평가

3) 추진방법 및 추진체계

작성요령

가. 저유전율 및 저유전손실 구현을 위한 새로운 PAEK 분자구조 설계

- PAEK 주사슬 내에 bulky하고 비평면적인 monomer를 도입하여 고분자 사슬 간 packing을 억제하고, 이에 따른 free volume 증가를 유도함.
- 이를 통해 단위부피당 극성기 및 분극 가능한 구조의 밀도를 낮춰 고주파 대역에서 낮은 유전특성을 구현하고, 동시에 methyl기와 같은 비극성 치환기의 종류와 위치를 제어하여 주사슬 및 방향족 구조의 국소적 회전과 분자운동성을 억제하고, 신호전달이 중요한 첨단 반도체 패키징 및 고주파 영역에서 dipole relaxation을 억제함으로써 소재의 저유전손실을 구현하고자 함.
- 이때 단순히 free volume만 증가하게되면 기계적 물성과 열적 안정성 저하가 유발될 수 있으며, 이를 방지하기 위해 방향족 ether-ketone 기반의 골격을 유지하면서 치환기 구조와 입체장애를 정밀하게 제어하는 것을 목표로 함.

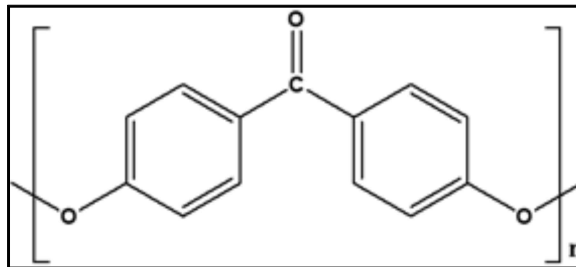


그림1. PAEK 분자구조

나. 구조-물성 상관관계 기반 후보 소재 설계 및 합성

- 분자구조와 유전특성 간 상관관계를 체계적으로 확보하기 위해 bulky group의 구조, methyl기 치환 여부 및 치환 위치가 상이한 복수위 PAEK 후보군 설계.
- 각각의 소재에 대한 합성조건과 합성공정을 수립 및 최적화하고, 분자량과 분자량 분포를 제어하여 재현성있는 소재를 확보하며, 합성된 PAEK의 분자구조와 합성여부는 NMR, FT-IR 등의 분석을 통한 검증과 치환기 도입 및 고분자 중합여부를 검증하고자 함.

다. 고내열 특성 확보 및 열적 안정성 검증

- 저유전 특성을 확보하는 과정에서 PAEK 고유의 고내열성을 유지할 수 있도록 주사슬의 방향족 구조 및 ketone 결합을 기반으로 열적 안정성을 확보하고자 함.
- 개발된 소재에 대해 DSC, TGA, DMA 분석을 실시하여 소재의 유리전이온도, 열분해온도 및 고온에서의 구조적 안정성을 평가하고, 특히 bulky 구조 및 치환기 도입에 따른 free volume 증가가 열적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 저유전 특성과 고내열 특성간 최적의 균형점 확보를 목표로 함.

라. 고주파 대역에서 유전특성 평가 및 최적 구조 선정

- 개발된 소재를 28 GHz 이상의 고주파 영역에서 유전율과 유전손실 특성을 평가하고, 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 소재로써 free volume 증가와 분자운동성 억제가 실제 유전특성에 미치는 영향을 정량적으로 검증하고자 함.

4) 참여인력의 역할

작성요령

○ (주)삼일화학은 PI 및 FPI 등 슈퍼 엔지니어링 플라스틱 소재 기반 반도체 패키징용 전도성, 저유전 소재 개발 및 생산 전문기업으로 대표이사 김주민은 고려대 신소재공학과를 졸업하고, PI 및 FPI를 활용한 핵심전략 기초소재 개발 및 내재화에 주력하고 있으며 원천 소재인 저유전 PAEK 개발을 통해 국가첨단 전략 산업의 내재화에 기여하고자 함.

5) 추진일정

작성요령

일련 번호	수행 내용	추진일정(월)												소요 기간 (주)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	분자구조 설계 및 랩 스케일 합성/기초물성 확인													4
2	모노머 설계안 및 반응기 구축													9
3	저유전 PAEK 폴리머 합성(시제품 제작)													12
4	합성공정 최적화 조건 Lab 스케일 PAEK 필름 제작													12
5	1차 물성 분석 보고서													8
6	파일럿 스케일업 및 필름/바니시 제형 공정 최적화													12
7	Pilot 종합 설비 구축													8
8	코딩 공정 매뉴얼													8
9	고순도 정제 공정서													8
10	시제품 샘플, 특허출원서													8
추진 시기		주요 추진내용												
1차년도		원천 분자 설계 및 랩 스케일 합성/기초물성 확보												
2차년도		파일럿 스케일업 및 필름/바니시 제형 공정 최적화												
3차년도		수요기업 실증 평가(JQT), 신뢰성 검증 및 양산 Qual 승인												

6) 성과지표 및 목표

구분	성과지표	단위	목표치 설정근거	산출방법(산식)	비고
미래 유망 기술/인력 확보 [필수]	미래 유망 원천 기술개발 (4극)	논문	0건		
		특허(국내)	1건	국내외 질적 특허 확보	(산식) 특허청 SMART 가치평가 결 과 A등급 이상 확정 건수 (기준) 해당 연도 내 출원 또는 등록이 완료된 기술
		특허(해외)	건		
		기술이전	2건	고려대학교 특허이전 한국화학연구원 기술이전	(산식) 기술이전 계약 체 결 건수(전용/실시권 포함) (기준) 기술료 입금 또는 계약서 체결 완료 기준 (현금/현물 포함)
		기술료	백만원		
		...	...		
미래 유망 기술/인력 확보 [필수]	미래신산업 맞춤 인력양성(3 특)	전문인력배 출	3명	석사 2명 박사 1명	
		지역기업 취업	명		
		산학 연구	1건	한국화학연구원 산학연구	
		교육과정 개발	건		
		대학원 설립	건		
		...			
	K-UBRC 구축(공통)	기업고용	명		
		기술자문	2건	한국화학연구원 /고려대학교 신소재공학부	
		멘토링	2건	한국화학연구원 /고려대학교 신소재공학부	
		...	...		
미래유망 기술 지역확산 [선택]	딥테크지 역확산	기술발굴	건		
		기술이전	건		
		참여기관	개사		
		기술료	백만원		

1. 성과의 활용방안

작성요령

가. 제품화 및 타깃 시장 진입 방안

- 기초소재 원료 : 저유전 PAEK 수지 → 반도체 테스트 소켓, CMP retainer Ring 원료 공급 구형 실리카 표면 개질 저유전 컴파운딩 → 3D프린터 전용 저유전/고내열 원료 필라멘트화
- 중간재/필름 : 초박막 저유전 절연 필름-> HBM 및 Chiplet 재배선층 절연막 적용

나. 지식재산권(IP) 확보 및 기술 이전 전략

- 국내외 지식재산권 강화 : 저유전 PAEK 분자구조 및 합성관련 핵심 원천 특허를 국내외(US, EP, JP, CN)에 선제적 출원
- 양산 표준화 및 Design Rule 공유 : 수요기업(반도체 IDM 및 OSAT 등)과 기술협업을 통해 코팅, 경화, 포토 패터닝 공정 가이드라인을 정립하고 기술 이전(License-out) 추진.

다. 정책·사회적 성과활용 및 생태계 조성 방안

구분	주요 성과활용 내용
경제 안보 및 공급망 강화	• 특정국/특정기업에 100% 의존하던 PAEK 등 슈퍼 엔지니어링 플라스틱 기반 핵심전략 기초소재의 국산 자립화로 글로벌 공급망 파동 시 국내 첨단산업(반도체, EV)의 생산 차질 방지
탄소중립 및 친환경 기여	• 수송기기 부품의 금속 대체 경량화(기존 대비 50% 이상 감량)를 통한 에너지를 절감하고, 고온·고압 환경에서의 내구성을 극대화하여 부품 교체 주기 연장
고급 전문 인력 양성	• 과제 참여 대학 및 연구기관을 통해 고분자 중합, 고온 컴파운딩, 초정밀 금형 설계 분야의 석·박사급 전문 인력(연 15명 이상) 배출 및 산업계 채용 연계
국산 소재 생태계 선순환	• Raw Material(화학 기업) -> Compounding(소재 기업) -> Component(가공 기업) -> Final Product(수요 기업)로 이어지는 국내 소재 밸류체인 완전체 완성

2. 기대효과

작성요령

가. 기술적 기대효과

본 과제를 통해 기존 저유전 소재로 사용되는 폴리이미드 (PI) 소재를 대체하고, 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 저유전 PAEK 소재의 설계 및 합성 기술을 확보할 수 있음.

- 특히 bulky 구조 도입에 따른 free volume 증가를 통해 고주파 대역에서 유전율 (ϵ')을 저감하고, 치환기 위치와 분자운동성 억제를 통해 유전손실 ($\tan \delta$)을 저감함으로써, 단순한 조성 변경이나 무기필러 첨가 방식이 아닌 분자구조 설계 기반의 유전특성 제어에 관련된 원천 소재기술을 확보할 수 있음.

- 또한 PAEK의 분자구조와 고주파 유전특성 간 상관관계를 체계적으로 분석함으로써, 향후 차세대 스페셜티 소재로 분류되는 저유전 고분자 소재 개발에 활용 가능한 구조-물성 상관관계 데이터베이스 및 설계기준을 구축할 수 있으며, 이를 통해 신규 단량체 및 치환기 구조 변경 시 유전특성에 대한 예측 및 최적화가 가능해져 첨단산업용 스페셜티 소재에 대한 개발 효율성을 높일 수 있고, 이러한 소재 설계 및 합성 기술을 통해 첨단 반도체 패키징 및 고주파 통신용 고분자 소재에 대한 원천기술 확보와 핵심전략 기초소재에 대한 공급망을 강화할 수 있음.

나. 경제적·산업적 기대효과

AI, 고성능 컴퓨팅, 데이터센터, 5G/6G 통신 및 첨단 반도체 패키징 시장의 확대에 따른 고속·고주파 신호전송 환경에서 발생하는 신호손실을 최소화 할 수 있는 고내열·저유전 고분자 소재에 대한 중요성이 지속적으로 확대되고 있으며, 첨단산업이 국가안보와 직결되면서 핵심전략 기초소재에 대한 기술자립화에 대한 중요성이 크게 상승하고 있음.

- 특히 첨단 반도체 패키징에서는 미세한 배선, 칩의 고집적화 및 고속 데이터 전송에 따른 절연소재의 유전특성과 내열성이 동시에 요구되고 있으며, 고주파 통신 분야에서는 주파수의 고대역화에 따른 transmission loss를 저감하기 위한 저유전 소재가 핵심 소재로 부각되고 있음.

- 이에 본 과제를 통해 개발하고자 하는 PAEK 소재는 기존 저유전 소재인 폴리이미드 (PI) 소재 대비 우수한 저유전 특성과 고내열 특성, 우수한 전기적 특성을 가지고 있으며, 이러한 소재 성능을 통해 첨단 반도체 패키징, FCCL, RF회로, 안테나, 고주파 통신부품 등 다양한 첨단산업 분야에 확장 적용이 가능함.

- 나아가 PAEK 소재를 포함한 첨단산업용 핵심전략 기초소재(슈퍼 엔지니어링 플라스틱 등)는 높은 해외의존도를 형성하고 있으며, 본 기술 확보를 통해 첨단산업용 핵심전략 기초소재에 대한 국산화 및 공급망 안정화에 기여할 수 있음.

- 특히, 단순한 수입대체를 넘어 분자구조 설계 및 자체 합성기술을 기반으로 한 소재 개발을 통해 고부가가치 특수소재 분야의 글로벌 기술자립도를 높이고, 향후 일본 및 대만 등 반도체 산업과 전자산업 중심의 고부가 시장으로 수출 확대 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단됨.

다. 사회적·국가 전략적 기대효과

국가 첨단전략산업 공급망 안보 확보: 글로벌 무역 분쟁 및 수출 규제 발생 시 차세대 첨단 반도체·디스플레이 소재의 내수 공급 안정성 확보.

전문 연구/기술 인력 양성: 고분자 합성, 유전·열·광학 분석, 반도체/디스플레이 후공정 평가 분야의 석·박사급 전문 인력 배출 및 고용 창출.

3. 사업화 전략 및 계획

작성요령

가. 사업화 목표

- 1) 비전: 글로벌 독점 품목인 PAEK 수지 및 핵심 부품의 자립화를 통해 **국내 첨단산업 공급망 안정화** 글로벌 하이엔드 소재 시장 진입
- 2) 사업화 정량 목표 (과제 종료 후 3년 이내):
- 3) 국내 수입 대체율: 반도체/EV 분야 PAEK 소재·부품 **30% 이상 국산화**
- 4) 매출 목표: 과제 완료 후 3년 차 연간 매출 **500억 원 이상** 달성
- 5) 양산 규모: Ton급/월 PAEK 수지 중합 및 컴파운딩 파일럿/양산 라인 구축

나. 단계별 매출 및 생산 계획

구분	과제 기간 (1~5년차)	종료 후 1년차	종료 후 2년차	종료 후 3년차
단계	기술 개발 & 수요가 인증	초기 시장 진입	수입 대체 확대	글로벌 시장 진출
생산 규모	Pilot (kg~Ton/월)	Ton/월 단위 양산	10Ton/월 확대	30Ton/월 이상
목표 매출	시제품 검증	100억 원	250억 원	500억 원 이상
주요 제품	CMP 링, 테스트 소켓	반도체 부품, EV 씰	EV 절연재, 의료 케이스	항공 브래킷, 3D 소재

다. 양산 및 품질 관리 체제 구축 계획

1) 투자 및 양산 인프라 (CAPEX Plan)

- 1~2년차 (Pilot 단계): 주관기업 내 500L급 고온·고압 반응기 및 모노머 고순도 정제 설비 구축 (연간 5~10톤 수준)
- 3~4년차 (Demo Plant 단계): 3,000L급 양산 반응기 및 수율·품질 자동 제어 시스템 구축 (연간 50~100톤 수준)
- 5년차 및 완료 후 (Commercial Plant): 부지 확보 및 스마트 팩토리 기반 전용 양산 공장 설립 (연간 300톤 이상)

2) 보증 체계 (QA/QC) 및 글로벌 인증

- 품질 인증 획득: ISO 9001(품질경영) 및 IATF 16949(자동차/전장 품질경영) 인증 선제적 추진 (전장용 디스플레이 및 반도체 대응).
- 실시간 공정 제어: 공정능력지수(Cpk) 1.33 이상 관리를 위한 SPC(통계적 공정 제어) 시스템 운영 및 배치(Batch) 간 이력 추적 시스템 구축.

라. 가격 경쟁력 및 수입 대체 전략

1) 첨단산업용 핵심전략 기초소재 국산화 및 내재화를 통한 원가 절감

- 핵심 불소계/지환족 모노머의 수급 안정화를 위해 국내 화학 원료사와 장기 공급 계약 체결 및 핵심 모노머 자체 합성 기술 확보.

2) 해외 경쟁사(일본, 미국 등) 대비 원가 경쟁력 20~30% 확보 목표.

3) 납기(Lead Time) 및 밀착 기술 지원(Technical Support)

해외 소재 조달 시 발생하는 8~12주의 긴 리드타임을 **2주 이내로 단축**.

고객사 공정 내 불량 발생 시 24시간 이내 현장 대응 및 제형 수정 서비스 제공으로
고객 락인(Lock-in) 효과 극대화.

4) 공급망 리스크 관리 (Supply Chain Risk Management)

주요 원자재에 대한 Dual Sourcing(이원화) 체계 구축.

최소 3개월 분량의 전략 모노머 재고 확보 및 희귀 시약 자체 합성 매뉴얼 확립.

5) 일자리 창출 및 전문 인력 양성

고분자 합성·중합·가교, 컴파운딩 등 핵심전략 기초산업 분야 고급 기술 인력 100명 이상
고용 창출