

편집순서 1(표지)

JB-16-0004

Epoxy Packaging Material for Thermal Management

2017. 01. 31.

한국생산기술연구원

제 출 문

한국생산기술연구원장 귀하

이 보고서를 “Epoxy Packaging Material for Thermal Management”
에 관한 연구의 보고서로 제출합니다.

2017 년 01월 31일

연구책임자 : 전 현 애
참여연구원 : 김 윤 주
박 수 진
박 속 연

기관주요사업 요약서(초록)

1. 과제현황

사업분류	<input type="checkbox"/> 기관고유임무형사업 <input checked="" type="checkbox"/> 산업계연계형 사업 <input type="checkbox"/> 부처임무형 사업 <input type="checkbox"/> 창의연구사업	
연구과제명	국문	Thermal Management를 위한 에폭시 패키징소재 개발 (1/2)
	영문	Epoxy Packaging Materials for Thermal Management (1/2)
계정번호	PJB16040	연구비(직접비) 200,000(천원)
연구책임자	전현애	소속 융합생산기술연구소 산업융합섬유그룹
연구기간	2016. 01. 01. ~ 2016. 12. 31. (12개월)	
투입인원	정규직 1명 비정규직 3명	총인원 4명
위탁연구기관	-	공개여부 공개(O), 비공개()
비공개사유	<input type="checkbox"/> 보안과제 <input type="checkbox"/> 지식재산권 취득 중 <input type="checkbox"/> 영업비밀 보호(대표자 날인)	

2. 개발결과 요약

색인어	한글	방열소재/ 저열팽창특성/ 열전도도 / 반도체 패키징/ 에폭시 복합체
	영어	Material for thermal management/low CTE/ high heat conductivity/ semiconductor packaging/ epoxy composite
핵심기술	고방열과 저CTE 특성을 동시에 갖는 에폭시 패키징 소재 기술 개발	
개발의 목표	<ul style="list-style-type: none"> 고방열/저CTE 특성을 갖는 에폭시 필러 복합체 개발 (1차년) <ul style="list-style-type: none"> - 열전도도 > 2.0W/mK - CTE < 50ppm/°C - 유리전이온도: 200°C 기술이전 사업화 기술 개발 	
개발내용 및 결과	<ul style="list-style-type: none"> 고방열/저CTE 특성을 갖는 에폭시 소재 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 생기원의 low-CTE 에폭시수지 기술에 방열 필러를 적용하여 고방열 및 low-CTE 특성을 동시에 갖는 에폭시패키징 소재 기술에 대한 연구 진행 기술이전이 가능한 사업화기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 고방열/저CTE 에폭시소재의 부품 적용기술 개발. - 반도체 패키징분야의 (1) 고방열 prepreg, (2) 필름형 EMC, (3) 저CTE CCL으로의 부품 적용가능성을 판단하기 위한 feasibility 연구를 진행하였음. 	

3. 기술 및 경제적 성과

기술적 성과	<ul style="list-style-type: none"> • 고방열/ 저CTE 특성을 갖는 에폭시 필러복합체 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 열전도도: 3.67 W/mK - CTE: 10.5 ppm/°C - 유리전이온도: virtually Tg-less
경제적 성과	<ul style="list-style-type: none"> • High-end epoxy 소재분야의 국가경쟁력 증대 <ul style="list-style-type: none"> - 일본의 몇 개 회사가 세계 에폭시 소재 시장을 지배하고 있어, 우리나라가 완제품 분야의 세계적인 경쟁력을 갖고 있음에도 부품/소재면에서 일본의 영향력 하에 있음. 즉 국내의 고집적/고부가가치 시장은 일본제품에 의해 지배되어 있음. - 본 개발과제 성공시 high-end 에폭시소재에 대한 개발을 통한 일본의존도 감소 및 글로벌 시장 선점

4. 파급효과 및 기대효과

파급효과	<ul style="list-style-type: none"> • 반도체 패키징 소재분야 국가 경쟁력 증대 <ul style="list-style-type: none"> - 국내의 고집적/고부가가치 시장은 일본의 영향력 하에 있음 - 현재 국내기업이 향후 EMC산업의 핵심부분으로 전망되는 환경친화형 제품 및 고가/고품질의 EMC 분야에서 해외 선진사에 비해 기술적 열세임 - 이 연구 개발을 통한 일본의 의존도 저감 효과
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 생기원에서 보유하고 있는 Ultra Low CTE Epoxy (ChunEpoxy™)기술의 장점을 기반으로 하는 방열소재를 개발. <ul style="list-style-type: none"> - 고방열/저CTE 물성을 동시에 가지는 소재기술이 개발되면, high-end 반도체 패키징/전기전자부품 등 폭넓게 응용 가능. - low-CTE 생기원 에폭시를 이용한 복합체의 방열특성을 기존에 폭시와 유사한 물성을 가지면서, CTE 면에서 훨씬 우수한 물성을 보여줌으로, 반도체 패키징에 적용가능성 높음. • 에폭시 패키징 소재에 대한 사업화 기술 개발 및 기술이전을 통한 기술료 확보 가능 • 고방열 특성을 갖는 low-CTE 에폭시 소재 기술은 반도체 패키징을 포함한 전기전자소재, 코팅/접착제, 자동차 등으로 응용가능성이 높은 소재기술임. 열전도도값에 따라 다양한 부품에 적용 가능.

목 차

제 1 장 서론	5
제 1 절 개발기술의 중요성 및 필요성	5
제 2 절 국내 · 외 관련 기술의 현황	8
제 3 절 기술개발 시 예상되는 기술적 · 경제적 파급 효과	17
제 2 장 기술개발 내용 및 방법	18
제 1 절 당해년도 목표 및 평가 방법	18
제 2 절 당해년도 개발 내용 및 개발 범위	18
제 3 장 결과 및 향후 계획	23
제 1 절 연구개발 추진 체계	23
1. 연구개발 추진 전략	23
2. 연구개발 추진 체계	24
3. 연구수행 편성도	25
제 2 절 당해년도 연구개발 결과	26
1. 당해년도 연구개발 추진 일정 및 달성도	26
2. 당해년도 연구개발 추진 실적	27
제 3 절 기대효과 및 사업화 계획	28

제 1 장 서론

제 1 절 개발기술의 중요성 및 필요성

(1) 개발기술 내용

□ 개발소재: Efficient thermal management를 위한 고방열/저CTE 에폭시소재

- 방열소재는 반도체/자동차/LED등의 전기전자부품에서 발생하는 열을 효율적으로 방출하여, 제품의 운전온도를 특정온도이하로 유지함을 통하여, 제품 성능 및 수명을 유지토록 하는 thermal management 소재이다.



그림 1: 발열된 반도체패키징(좌, 중) 및 heat sink로 방열되는 부품(우)

- 본 과제에서는 고방열/저CTE 에폭시 필러복합체에 대한 원천소재기술을 개발하고자 한다. 이 개발된 에폭시소재기술은 아래 그림과 같이 고방열 기판소재, 고방열 봉지제, 고방열 시트, 고방열 접착제등의 다양한 방열소재에 적용 가능하다.

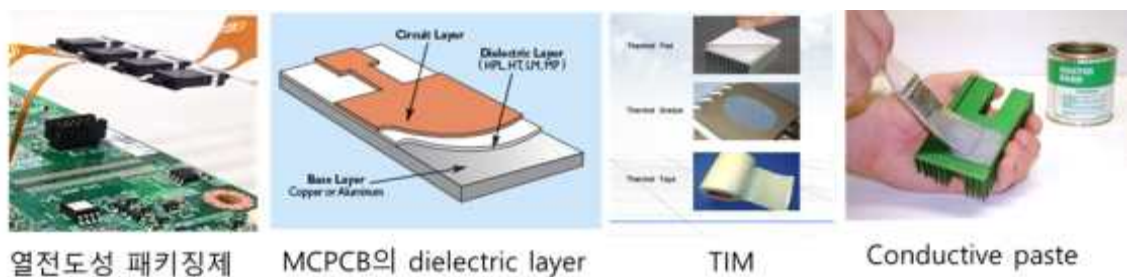


그림 2: 에폭시방열소재가 사용되는 적용분야

- 생기원에서 개발한 신규에폭시소재 (**ChunEpoxy™**)와 열전도성 필러와의 복합화/배합기술 개발을 통하여 고방열·저CTE 특성을 보이는 에폭시 복합체를 개발하고자 한다.

(2) 고방열 소재의 필요성

□ 고방열소재의 중요성

- 전기전자부품의 고집적화, 고기능화, 소형박형화로 인하여, 부품에서의 발열문제는 더욱 더 심각해지고 있다. 그러나 열의 효율적인 분산과 발산이 이루어지지 않으면, 부품의 열화, 오작동, 제품수명이 단축하는 문제가 있어, 최근 휴대용기기, LED, 자동차등의 power device을 중심으로 고방열 소재에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있다.
- 예를 들어 High power LED와 같은 부품의 경우, 효율적인 방열을 위해서 아래 그림과 같이 고방열 기판, 방열시트, 방열접착제등 발열원과 heat sink사이 다양한 방열 패키징소재를 사용하여, LED 패키징의 온도를 제어하고 있다.

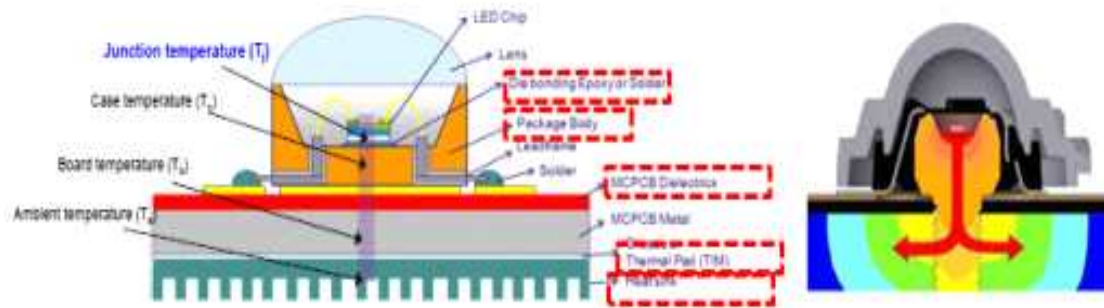


그림3: LED 패키징에 사용되는 고방열 소재 종류(빨간선안)

- 2013년 2조원수준이었던 세계 방열부자재시장은 2015년 3조원 수준으로 성장하였으며, 2018년 4조원으로 크게 성장할 것으로 전망되고 있다.

표 1: 방열 소재/부품의 글로벌 시장 규모 (단위:백만엔)

분류	2013년	2015년	2018년
방열재료	130,509	161,565	214,725
방열기판	64,410	83,960	129,140
방열/냉각디바이스	38,800	43,560	63,360
합계	233,719	289,085	407,225

□ 고방열 에폭시소재의 연구의 필요성

- 에폭시계 방열소재는 열전도성 봉지재, 열전도성 기판, thermal interface material(TIM), 열전도성 도료, 코팅제 및 MCPCB의 dielectric layer 등 반도체 및 전기전자부품에 폭넓게 이용되는 핵심소재이다.
- 에폭시 수지 자체의 열전도율은 약 0.2~0.3 W/mK 정도에 매우 낮기 때문에, 금속/탄소재료나 세라믹 소재 같은 고열전도성 필러 소재와의 복합화를 통하여 방열에폭시소재를 제조한다.

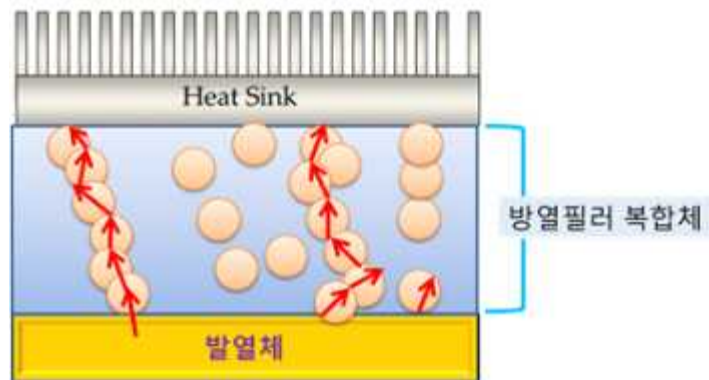


그림 4: 필러복합체에서의 열전달 메카니즘

- 상기 그림과 같이, 복합소재의 열전도는 매트릭스내의 필러입자를 따라서 진행 되기 때문에, 복합재료가 충분한 열전도도를 갖기 위해서는 60 ~ 70 vol% 정도 까지의 high filler loading이 필요하다. 그러나 이 같은 고충진 시료는 필러 성형성을 악화시키고, 동박 접착력을 저하시킬 뿐만 아니라, 복합체의 물성까지 저하되는 문제점이 있다. 향후 방열소재의 적용분야가 점차 미세피치까지 적용이 될 전망이므로, 현재 고충진으로 인한 접착력/물성저하 문제해결이 필요하다.
- 따라서 부품에서 요구되는 방열특성을 낮아진 필러 함량하에서 확보하기 위한 연구가 시도되고 있다. 최근의 연구흐름을 보면, 고방열/저충진시료개발을 위한 (1) 새로운 필러에 대한 연구와 (2)고분자바인더에 대한 연구가 동시에 진행되고 있다.
- 필러에 대한 연구는 필러 개질/형상제어/혼합비 조절/배향성 조절 등에 대한 연구가 진행되고 있다.

- 다른 한편에서는 열전도성복합체의 열전도도의 향상에 (필러의 heat conductivity보다는) 바인더의 열전도도를 향상시키는 것이 더욱 효과적이라는 연구결과도 보고되고 있다. 이에 따라서 바인더 수지 자체의 열전도도를 높이는 연구가 다양하게 시도되고 있다.

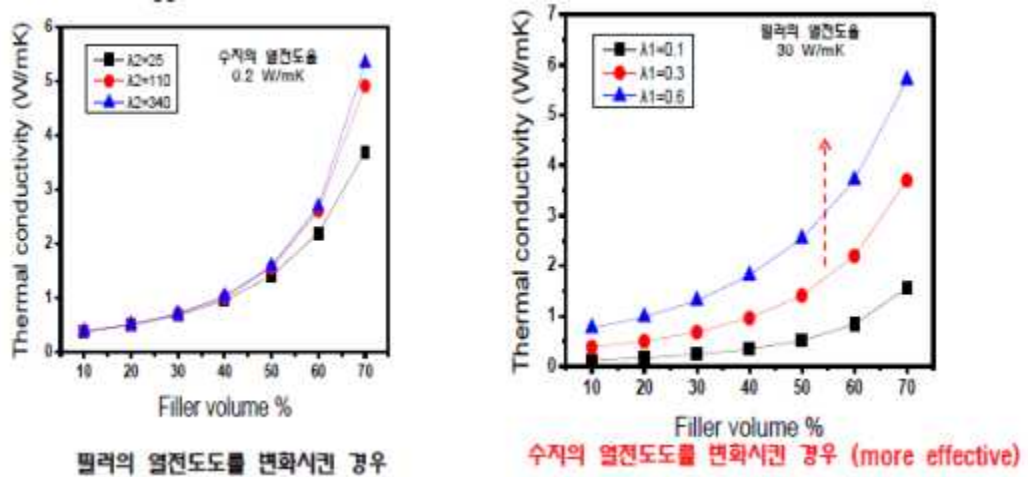


그림 5: 필러의 열전도도 vs 복합체의 열전도도와의 관계
(출처: 고효율 방열소재의 핵심기술동향/이슈 및 발전방향 세미나 (2013년))

□ 고효율 에폭시소재 기술의 문제점

- 에폭시계 방열소재의 열전도도를 증가시키기 위해서 결정성 에폭시나 액정계 에폭시 수지 구조의 제어를 통한 고열전도화가 시도되고 있다. 그러나 에폭시 바인더에 결정성과 액정성을 부여하면 복합체의 열전도도 상승은 보고되었지만, 여전히 전도도값이 낮고, 아직 해결해야 할 문제가 많아서, 제한적으로만 상용화가 이루어지고 있다. 따라서 상용화가 가능한 고열전도성 에폭시복합체를 개발하기 위해서는 (1) 필러의 부피분율을 낮추고 (2) 고가의 방열필러를 사용하지 않고 (3) 전자기적 배향 같은 특별한 공정조건을 필요로 하지 않는 소재기술의 개발이 필요하다.
- 뿐만 아니라, 전자제품에 사용되는 반도체나 금속/substrate 등은 매우 낮은 열팽창계수를 가지고 있어, 이들 부품과 밀접하여 사용되는 방열소재 역시 낮은 열팽창특성이 요구된다. 즉 방열소재와 인접소재간의 CTE-mismatch가 존재하면, 두 물질의 접합부위에서 열 저항이 발생하며, 공정온도 변화 시 부품이 휘거나 계면파괴가 발생할 가능성이 크므로, 방열소재 역시 낮은 열팽창특성을 동시에 필요하다.

□ 본 과제의 개발 필요성

- 따라서 본 과제에서는 생기원에서는 확보하고 있는 에폭시소재 기술에 “기술 사업화가 용이한” 고열전도도 특성/공정성을 부여하여 제조될 고방열/저CTE 에폭시소재개발에 대한 연구를 진행하고자 한다.

제 2 절 국내 · 외 관련 기술의 현황

- 고분자수지는 0.2~0.5 정도의 낮은 열전도도 특성을 갖으므로, 열전도성 필러와의 복합화를 통하여, 부품에 요구되는 방열특성을 갖게 된다. 고분자수지에 방열특성을 부여 하기 위해서 사용되는 고열전도성 필러로는 금속/탄소계 도전성 필러와 세라믹필러가 있으며, 그 특징은 아래 표와 같다.

표2: 고방열필러의 열전도도 특성

타입		재료	열전도도 (W/mk)	특징
도 전 성	탄 소 계	CNT	2500~6000	- 열전도도가 높고 기계적 물성이 우수하며 가벼움. - 이중 그래파이트는 저렴한 가격, 양호한 매트릭스 내에서의 분산성 때문에 제일 많이 사용됨
		Graphene	2000~5000	
		흑연(graphite)	100~400	
		Carbon fiber	8~70(PAN) 530~1100(Pitch)	
	금 속 계	구리	480	- 열전도도와 전기전도도가 증가 - 밀도가 증가하여 경량화가 요구되는 분야에 적용이 어려움.
		은	450	
		금	340	
		알루미늄	200	
절 연 성	세 라 믹	질화붕소	250~300	- 높은 열전도도와 절연 특성으로 주로 전자재료용 소재로서 광범위하게 사용됨. - 필러의 충전 밀도, 입자의 크기와 크기 분포, 표면처리, 가공 방법 등에 의해 열전도도 영향 있음
		질화알루미늄	200	
		산화마그네슘	50	
		알루미나	20~30	
	미 네 랄	탄산칼슘	4~5	

출처 “2015년 고방열, 고내열/전자파차폐, 흡수재 산업 및 기술개발 최신 분석 세미나”

- 전자소재용 방열재료의 개발에는 절연특성이 있는 무기 필러 시스템을 사용한다. 대표적으로 사용되는 필러에는 알루미늄, BN, AlN, ZnO등 있으며, 아래 표에 중요 무기입자의 특성을 요약하였다.
 - 최근 복합체의 열전도도를 향상시키기 위해서, 단순 무기입자의 믹싱이 아니라, 무기입자의 형태, 예를 들어 brushlike 형태의 AlN, hexagonal BN/BN nano tube와 같이 조절하여 열전도도를 향상시키거나, 세라믹 무기 입자의 배열을 조절함으로써 열전도도의 증가를 가져오는 결과들도 연구되고 있다.

표3 전자소재용 방열재료의 종류별 특성

종 류	특 징
알루미나	<ul style="list-style-type: none"> - 가장 널리 사용되는 필러이나, 디바이스의 고집적화와 요구되는 고방열 특성에는 열전도도향상에 한계를 보임 - 특징: 화학적 안정성, 고용점, 고강도와 물성이 뛰어나고 비교적 저렴한 가격임. 비중 3.96g/cc, 매우 높은 경도, 압사출시 기기 마모 문제 발생
BN	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 일본에서는 화학적으로도 안정하고 절연특성도 우수한 boron nitride (BN)를 이용한 고방열 절연시트의 개발이 활발히 추진되고 있음. - 뛰어난 화학적 안정성, 고열전도도(300w/mk)로 절연형 열전도성 복합소재에 많이 사용 - kg단가는 만엔으로 고가이나, 충전률에 대한 높은 열전도도 상승율을 보이므로, 타 필러에 비해 소량의 충전으로 요구 성능 실현가능
ZnO	<ul style="list-style-type: none"> -알루미나 대비 높은 열전도도(54w/mk)를 보이며 비교적 저렴한 가격임, 그러나 높은 비중이 단점 - 열전도도에 비해 저가이어서 최근 채용이 확대
AlN	<ul style="list-style-type: none"> - 알루미나 소재의 대안으로 Aluminum nitride을 적용한 기술개발이 활발히 추진되고 있는데, 습기에 의해 가수 분해되는 단점이 있어, 이를 제어하기 위한 연구 개발이 진행중 - 매우 높은 경도로 인해 압/사출시 마모문제 발생, 높은 불순물 함량, 가수분해 위험높음 - 높은 열전도도 (170-230w/mk)
실리카	<ul style="list-style-type: none"> - 낮은 열전도도(1~2w/mk), 타필러와 하이브리드 적극 검토 - 비교적 저가, 복합체 제조시 필러의 고밀도화를 목적으로 사용

□ **에폭시계 방열소재**의 적용분야는 크게 열전도성봉지재, 열전도성 기판/PCB, thermal interface material(TIM)로 분류된다. 시장규모로 보면, 열전도성 기판/PCB 분야의 시장이 크지만, 열전도성 봉지재 및 TIM(고열전달 시트) 분야가 400%이상의 높은 성장이 전망되는 유망 분야이다. 각 적용분야별 시장 규모 및 기술트렌드를 아래 표와 같다.

표4: 방열소재 적용분야별 시장 규모 및 기술트렌드

방열재료	대상제품	글로벌 시장규모(백만엔)			유망적용분야	시장현황 및 기술트렌드
		2013년	2018년	성장율(%)		
열전도봉지재	>3W/mk 패키징물딩소재	570	2,520	442.1	차세대 power device, ECU 일괄봉지재	-차세대 power device, ECU 일체형 몰드쪽으로 적용 -트렌드: 고열전도도제품의 개발 (5~10w/mk) 고내열화, 충전성, 수지의 흐름성향상연구
열전도 기판재료	>1 W/mk PCB기판재료	36,310	70,260	193.5	LED조명기판, 자동차기판등	-CEM-3가 가장 조명받는 기판임 -FR4/비FR4: LED COB모듈기판, 부품내장기판으로 사용 증가전망 -메탈계 기판: 고휘도 LED 조명 수요확대로 인한 성장전망 -열전도 FR-4/열전도비FR-4: 고열전도화, 가공성향상, 저cost화가 연구트렌드
MCPCB	1 ~2W/mk	45,610	73,134	160.4	LED조명기판, 자동차기판등	-LED 조명확대, 자동차의 전자화로 인하여 수요확대 -트렌드: 고열전도화, 저cost화, 가공성향상
TIM	시트,액상타입 및 절연성/전도성타입	35,100	49,790	141.9%	자동차, 신에너지, 산업분야	-자동차/산업기기/가전제품등으로의 수요증가 -신에너지분야 신규수요 전망 -트렌드: 고열전도화 >10W/mk(수지조성, 고열전도필러배합기술) 저열저항화, 접착력부여기술, 등방성 필러기술
TIM: 고열전달 시트	>5W/mk sheet	1,700	7,200	423.5%	자동차, 산업기기의 중용량의 IGB모듈	-power device (자동차/산업)쪽으로 시장 확대될 예정 -세라믹기판, 알루미늄기판의 대체 수요가 전망됨 -절연성타입 트렌드: 고열전도도화 >15~20W/mk, 고생산성, 부착성, 접착균일성, 내전압특성

- 열전도도 봉지재
 - **3W/mk 이상의 높은 열전도율**을 갖는 에폭시 봉지제로써, fumed silica, 결정성실리카, 알루미나, 질화규소 등의 필러를 사용하여 제조된다.
 - 주요 적용분야: 고출력 power device package나 차세대 반도체 패키지 (GaN/SiC)



그림 6: Sumitomo bakelite사의 고방열 봉지재

표 5: 열전도도 에폭시 봉지재 시장 현황

주요 기업	제품명	열전달필러
Kyocera chemical	KE-870, KE-880등	알루미나, SiN
信越化學 工業	KMC-630, KMC-4800등	알루미나
스미토모 베이크라이트	EME-A series	알루미나
Panasonic	CV4580	알루미나, 질화규소등

표 6: 열전도도 에폭시 봉지재의 글로벌 시장규모(2013년)

	수량		금액	
	ton	share(%)	백만엔	share (%)
Kyocera chemical	84	49.4	270	47.4
信越化學 工業	60	35.3	200	35.1
스미토모 베이크라이트	26	15.3	100	17.5
Panasonic	-	0	-	0
합계	170	100	570	100

- 열전도성 기판재료

-1 w/mk이상의 열전도도를 갖는 절연 PCB기판 (CEM-3, Glass 에폭시 기판재료, 열전도 RCC, 열전도 BT, metal-base 기판등)으로, 필러와 수지기술에 의해 열전도도 향상



그림 7: 열전도유리섬유복합체 기판재료 (Panasonic, ECOOL)

표 7: 방열기판재료의 시장/기술 현황

적용분야	금액(백만엔)	주요용도	기판타입
LED backlight	13,610	액정 TV, 액정모니터등의 LED backlight	열전도성 CEM-3, metal-base 기판
LED 조명/ LED 제품	12,640	LED램프, 차량램프, LED 표시기, LED패키지기판	열전도성 CEM-3, metal-base 기판
가전제품	1,310	에어컨, 세탁기, 냉장고, 오디오등	metal-base 기판
자동차	5,150	power control unit, 전자제어unit(ECU, junction plug), DC-DC converter등	metal-base 기판
기타 산업분야	3,600	통신산업기기, OA기기, 의료항공	metal-base 기판

표 8: 방열기판재료의 글로벌 maker 현황

maker	기판타입	매출액 (백만엔)
Panasonic	열전도 CEM-3	5,000
두산	Metal-based 기판	3,400
Chin-Shi electronic materials	Metal-based 기판	2,600
日本	Metal-based 기판	2,450
電氣化學工業	Metal-based 기판	1,850
Bergquist	Metal-based 기판	1,500
Dupont	열전도 FCCL	1,430
Sumitomo bakelite	열전도 CEM-3, metal-based 기판	1,230

• Metal-based PCB 기판

- 알루미늄 base기판, 동베이스기판, 기타(메탈코어기판, 철베이스기판)으로 구성되어 있음. 현재 알루미늄기판이 전체의 97.4%(수량기준) 94.8%(금액기준) 정도로 절대적으로 많이 사용되는 데, 향후에도 알루미늄기판이 대세일 것으로 전망됨
- MCPCB 구조: 알루미늄, 절연층, 패턴된 동회로층으로 구성되며, 절연층은 에폭시와 세라믹필러로 구성됨
- 고방열 회로 기판 소재는 파워 디바이스나 LED 모듈 등 고전력이 소모되고 열이 많이 발생하는 부품의 제작에 유리하다. 주요 용도별 전망을 보면, led 백라이트는 2015년까지는 성장하지만, 그 이후로는 시장이 감소할 것으로 예상되고, LED조명에서 큰 폭의 성장이 전망된다.

표 9: MCPCB의 기술/시장 현황

적용분야	주요용도	열전도율 (W/mk)			시장규모(백만엔)	
		~2	2~5	>5	2013년	2018년
LED backlight	액정 TV/모니터	●		●	21,760	21,200
LED 조명/LED 제품	LED 전구	●	●		8,950	32,160
	고휘도 LED 조명		●	●		
	고휘도 LED 패키지	●	●			
가전제품	에어컨, 세탁기등	●	●		1,700	1,820
자동차	power control unit,	●	●		8,150	11,260
	DC-DC converter등		●			
기타 산업분야	전원기기	●	●		5,050	6,700

표 10: MCPCB의 글로벌 메이커 현황

	수량		금액	
	m2	share (%)	백만엔	share (%)
Terranix	607,200	15.7	5,300	11.6
대덕 GDS	486,000	12.6	4,400	9.6
Gia-Tzoong	468,000	12.1	4,000	8.8
日本	184,800	4.8	3,500	7.7
電氣化學工業	88,400	2.3	2,200	4.8
Bergquist	113,000	2.9	2,100	4.6
IsuPetasys	140,000	3.6	1,440	3.2
기타	1,768,600	45.9	22,670	49.7
합계	3,856,000	100	45,610	100

• Thermal interface Material (TIM)

-발열체와 방열체사이에 사용하는 제품으로, 열을 효과적으로 방출시키는 역할을 한다. 발열체와 방열체로의 열경로의 접속부분(예: 반도체패키지와 heat sink)에 존재하는 간극에 적용하여 방열효과를 얻는 소재이다. 반도체와 heat sink/case간, 기판과 case/heat sink간, power device의 패키지 내부 등에 사용한다

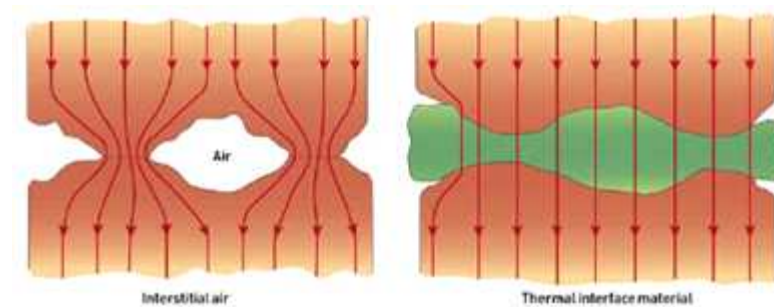


그림 8: Thermal interface material의 사용구조

-TIM 재료는 (1) 시트상 (시트, 테이프, 필름, PCM)과 (2)그리스상(grease, oil, compound)으로 구별하며, 용도에 따라 열전도율은 1 W/mk~50W/mk 범위의 열전도특성이 요구된다. 필러는 절연성타입으로는 실리카, 알루미나, BN, AlN, ZnO, MgO등을 단독 또는 혼합하여 사용하며, 도전성타입으로는 금속필러(알루미늄), 탄소계 필러(graphite, 탄소)를 사용한다. 수지로는 실리콘계, 에폭시,

아크릴계, PI등이 사용되며, 접착타입은 주로 열경화성 수지를, 접착성타입은 주로 열가소성수지를 사용한다.

- 고열전도성 전자 패키지용 필름형 접착필름 분야에서는 일본업체가 대부분의 시장을 장악하고 있다. 특히, 반도체 패키지용 DAF(Die Attach Film) 제품의 경우, 히다치 케미칼이 세계시장의 70% 정도를 점유하고 있으며, 열전도도가 2 W/mK 수준에 접착필름 두께가 50 um 정도로 높은 기술력을 보유하고 있다. LED 패키지용 접착필름의 경우도 일본업체가 대부분 시장을 장악하고 있으며, 마쓰우라사에서 최고 2W/mK 수준, 제품 두께가 0.5 mm ~ 2.0 mm 수준의 접착필름을 생산하고 있다.

표 11: Thermal interface materials의 기술동향

적용분야		전기 전도성	도전성						절연성										
		형상	sheet상			grease상			시트상				grease상						
		수지타입	실리콘계 /에폭시계/기타			실리콘계 /에폭시계/기타			실리콘/기타		에폭시계/PI계		실리콘계/기타						
		열전도도(W/mk)	<3	3~5	>5	<3	3~5	>5	<3	3~5	>5	<1	1~3	3~5	>5	<1	1~3	3~5	>5
가전/조명	IT/AV등 전자기기	전원IC								●							●	●	
	LED조명	기판-case								●							●	●	
	액정TV/백라이트	기판-case								●							●	●	
	고휘도조명	LED모듈-fin		●	●		●	●		●	●		●	●		●	●		
PC/server	server	CPU			●		●	●	●	●	●					●	●	●	
	노트북, PC	CPU							●	●						●	●		
자동차	헤드라이트	LED모듈-fin															●	●	
	실내조명등	기판-case								●									
	power steering	모듈-case								●						●	●		
	DC-DC converter	반도체 패키지-case								●									
power device	가전기기/조명	모듈내											●	●					
	자동차(HV/EV/invertor)	모듈내								●					●				
	산업기기	모듈내								●					●				

□ 국내기술동향

- 고 방열 시스템 및 재료 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 핵심 소재인 고방열 및 절연성을 동시에 만족하는 기술 부족으로 대부분 수입에 의존해 왔음.
- 그러나 최근 두산전자에서 알루미늄을 사용한 절연층을 사용한 2W/mK 급 회로기판용 CCL(Copper Clad Laminate)기판을 개발하여 판매중임. Metal-based CCL으로 두산전자는 2013년 34억엔 매출을 달성함



그림 9: 두산전자에서 개발한 MCCL

- 한국화학연구원: 소재원천기술개발사업의 하나로 나노 필러의 구조 조절을 통하여 열전도도를 향상시킨 열방출 사출형 소재에 대한 연구를 진행하였음. 현재 PI계 고방열소재 개발을 목표로 연구 수행 중
- 전자부품연구원: 산업융합원천기술개발사업의 지원으로 액정성 트윈 메소겐기를 함유한 신규 고열전도성 수지조성물 개발 연구 수행중
- 인하대학교 심상은교수는 세라믹 코팅된 탄소계 고방열 필러를 개발하였음

제 3 절 기술개발 시 예상되는 기술적 · 경제적 파급 효과

□ 사회 · 경제적 효과

- 기술료 확보 : 생기원 에폭시에 대한 사업화기술을 개발하여, 관련기업으로 기술이전을 실현시킴.
- 취약한 high-end epoxy 소재분야의 국가경쟁력 증대
 - 일본의 몇 개 회사가 세계 에폭시 소재 시장을 지배하고 있어, 우리나라가 완제품 분야의 세계적인 경쟁력을 갖고 있음에도 부품/소재면에서 일본의 영향력 하에 있음. 즉 국내의 고집적/고부가가치 시장은 일본제품에 의해 지배되어 있음.
 - 현재 국내기업은 고가/고품질의 패키징부품 분야에서 해외 선진사에 비하여 기술적으로 열세임
 - 그러나 본 개발과제 성공시 high-end 에폭시소재에 대한 개발을 통한 일본의존도 감소 및 글로벌 시장 선점
- 또한 low-CTE 특성을 갖는 에폭시 소재기술은 다양한 패키징을 포함한 전기전자소재, 코팅/접착제, 자동차 · 항공 · 풍력에너지 등 고내열구조물로의 응용가능성이 높은 소재기술이므로, 향후 타 부품개발로의 기술이전이 가능하다.

제 2 장 기술개발 내용 및 방법

제 1 절 당해년도 목표 및 평가 방법

□ Thermal management용 고방열/저CTE 에폭시 재료기술 개발 (1/2)

- 고방열/저CTE 특성을 갖는 에폭시 필러 복합체 개발:

물성	목표		1차년도 결과	평가방법
	(1/2) 차년	(2/2) 차년		
열전도도	> 2.0W/mK	> 3.0W/mK	3.67	LFA
열팽창특성 (CTE)	< 50 ppm/°C	< 50 ppm/°C	10.5	TMA
유리전이온도	200°C	> 200°C	virtually Tg-less	TMA (온도에 따른 길이증가가 급하게 일어나는 온도를 Tg로 결정)

- 기술이전 사업화 기술 개발
 - 고방열에폭시 소재에 대한 IP 확보
 - 사업화 기술 개발

제 2 절 당해 연도 개발 내용 및 개발 범위 (1/2)

□ 1차년 주요 개발 issue

- **원천기술 확보** : 방열 필러는 CTE값이 높기 때문에, 방열특성과 저CTE 특성을 동시에 만족하는 고방열 복합체 제조가 어려움. 따라서 본 과제에서는 생기원의 low CTE 에폭시수지기술에 방열필러를 적용하여 고방열 및 저CTE 특성을 동시에 갖는 에폭시 패키징 소재개발에 대한 연구진행
- **사업화 기술개발**: 1차년도 소재기업과 협력하여 CCL, 필름형 EMC, 방열 프리프레그에 대한 feasibility 평가를 진행함

□ 개발 내용

- **고방열·저CTE 에폭시시스템 설계**
 - **바인더**: low-CTE 생기원 에폭시(BPA계 및 노블락계) 및 상용경화제 (바이페닐계 노블락)를 이용하여 고방열복합체 제조. 또한 상용 노블락계 경화제보다 내열성/orientation이 우수하고 scale-up합성이 용이한 신규 바이페닐계 경화제 합성
 - **방열필러**: 알루미나, AlN, Boehemite, CNT등의 고방열필러를 복합체 제조에 적용. 필러배합비율(vol%), 입자 크기, 입도분포 및 필러 혼합비를 조절하여 생기원 바인더에 최적 필러 조건 선정.
- **고방열/저CTE 특성을 갖는 에폭시 복합체 제조 및 평가:**

(1) 질화알루미늄 (AlN)을 이용한 에폭시복합체 (80wt%)

- **저CTE 특성**: 생기원 에폭시(TE50: BPA계 low-CTE 에폭시)를 사용한 배합의 CTE는 10.5 ppm/°C (@ 50°C~250°C)으로 상용에폭시시스템 (CTE=48.6 ppm/°C)보다 우수함. 실리카복합체에서 관찰되었던 생기원 에폭시의 low CTE 특성이 방열 필러 시스템에서도 발현됨을 확인
- **방열특성**: 생기원 에폭시나 신규 합성 경화제로 제조된 에폭시 복합체의 방열특성은 각각 3.67W/mk과 3.4W/mK으로, 동일 조건에서 제조된 상용에폭시시스템에 비하여 30~40% 정도의 방열특성이 향상되었음.

표 12: AlN를 사용한 에폭시 복합체의 방열 및 CTE 특성

바인더		열전도도 ($W/(m \cdot K)$)	CTE*** ($ppm/^\circ C$)		Tg ($^\circ C$)
에폭시	경화제		α_1 (T<Tg)	25~250 $^\circ C$	
생기원에폭시 (TES50)	상용경화제 (MEH7851SS)	3.67 (38%)	7.4	10.5	virtually Tg-Less
상용에폭시 (YX4000H)	합성경화제	3.41 (28%)	13.0	34.5	180 $^\circ C$
상용에폭시** (YX4000H)	상용경화제** (MEH7851SS)	2.65	12.8	48.6	135 $^\circ C$

*AlN: Aluminum Nitride, 80 wt %(30 μm : 3 μm =8:2 by wt)

** Biphenyl계 에폭시와 경화제로써, 내열특성 및 점도제어가 용이한 high-end 제품

*** <100 μm 의 필름시료(tension)모드로 측정

- 신규 합성경화제: 본 과제에서 합성한 바이페닐계 신규경화제는 기존의 상용 바이페닐계 경화제 (MEH7851SS)에 비해 열전도도 및 CTE/Tg 특성이 개선되었다.

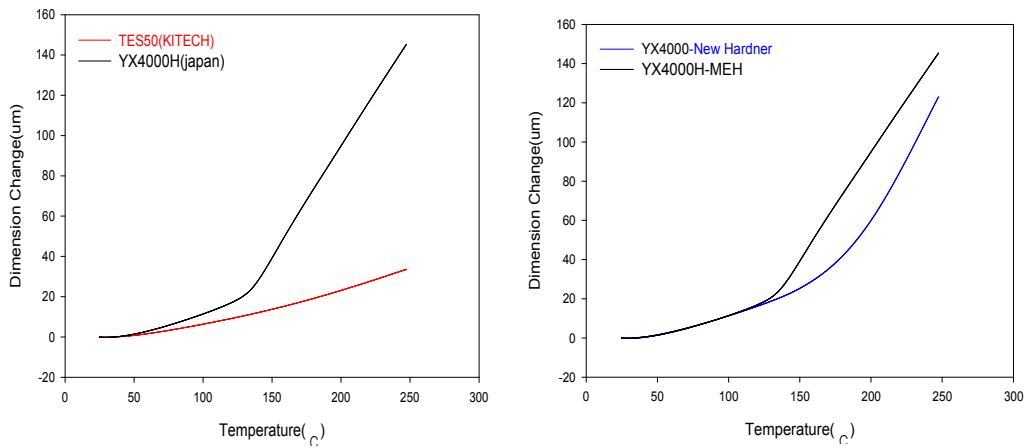


그림 10: 생기원에폭시/신규경화제를 이용한 열경화성 에폭시복합체의 내열특성 (TMA): (black line) 상용에폭시(YX4000H)/상용경화제(MEH7851SS); (red line) 생기원 에폭시(TES50)/ 상용경화제; (blue line) 상용에폭시(YX4000H)/ 합성경화제

(2) 알루미나 (Al₂O₃)를 이용한 에폭시복합체 (80wt%)

- 저CTE 특성: 생기원의 low-CTE 에폭시, 즉 BPA계 (TES50 및 allyl-S-BPA) 및 노블락계(NS3100)복합체는 CTE= 16~22 ppm/°C의 우수한 저CTE 특성을 구현.

표 13: 알루미나를 사용한 에폭시 복합체의 CTE 특성

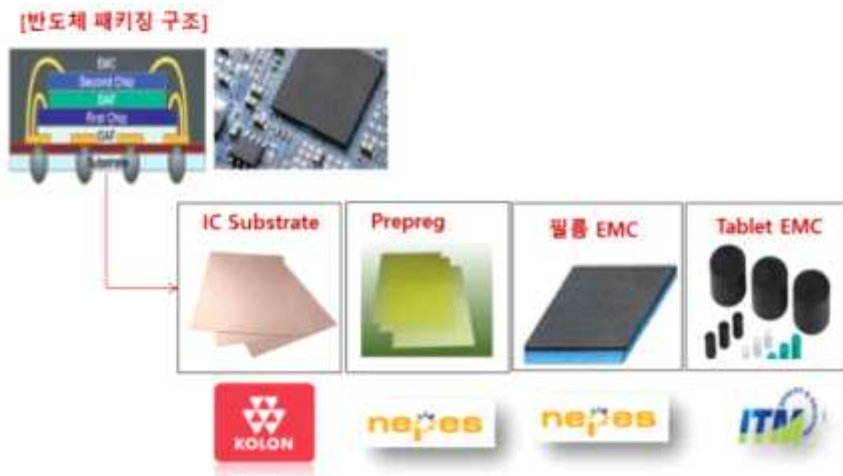
배합			물성(CTE)	
알루미나	에폭시	경화제	(a1, ppm/°C)	25~250°C
80wt%	TES 50	DICY	11	16.27
	allyl-S-BPA	DICY	13	25.01
	NS3100	DICY	15	22.15

- 방열특성: 생기원 에폭시와 신규 합성 경화제를 이용한 시스템의 방열특성은 2.2~2.3 W/mk로 기존의 high-end biphenyl epoxy(일, Japan Epoxy resin사)와 유사한 수준의 물성을 보임

표 14: Al₂O₃ (80wt%)를 이용한 에폭시복합체의 방열 특성

바인더		열전도도 (W/(m*K))
에폭시	경화제	
생기원에폭시 (TES50)	상용경화제(DICY)	2.3
상용에폭시(YX4000H)	합성경화제	2.34
상용에폭시(YX4000H)	상용경화제(MEH7851SS)	2.2

- 개발소재의 부품 적용성 평가(feasibility test): 1차년도에는 반도체 패키징분야의 (1) 고방열 prepreg, (2) 필름형 EMC, (3) 저CTE CCL으로의 부품 적용가능성을 판단하기 위한 feasibility 연구를 진행하였음.



(1) 방열특성을 갖는 저CTE prepreg 연구 (네패스)

- Target 물성: 알루미나 88wt%의 고충진 조건에서 CTE (a1 기준) <10ppm/°C, 열전도도 > 3W/mK인 에폭시복합체 개발 (CTE 구현이 더 중요)
- Feasibility test: 네패스에서 제공한 알루미나와 경화제시스템을 생기원 에폭시 적용 후, 제조된 복합체의 CTE 및 방열특성 측정.
 - 1) CTE 특성: 알루미나 85wt% 조건에서 target CTE 구현 됨.
 - 2) 열전도도: 알루미나 80wt% 조건에서 2.2~2.3 W/mK으로 측정됨.
필러함량을 88wt%로 증가시 3 W/mk 달성가능
- 네패스에서의 물성평가를 위하여, 선정된 에폭시 2종의 scale-up 합성 진행예정

표 15 네패스 알루미나를 적용한 에폭시복합체의 방열특성

배합			CTE	
알루미나	에폭시	경화제	(a1, ppm/°C)	25~250°C
80wt%	TES 50	DICY	11	16.27
85wt%	TES 50	DICY	9	12.6

(2) 저CTE 특성을 갖는 필름형 EMC에 적용연구 (네패스)

- Target 물성: 실리카 85wt% 조건에서 CTE ~ 10ppm/°C
- Feasibility test: 네패스 실리카(85wt%)를 생기원의 BPA계 에폭시(TES50)에 적용하여 필름상 시편제조. 복합체의 CTE 측정한 결과 CTE=4.9ppm/°C으로 저CTE 물성 구현됨
- 네패스에서 평가할 수 있도록, 바인더용액을 제조하여 네패스에 송부

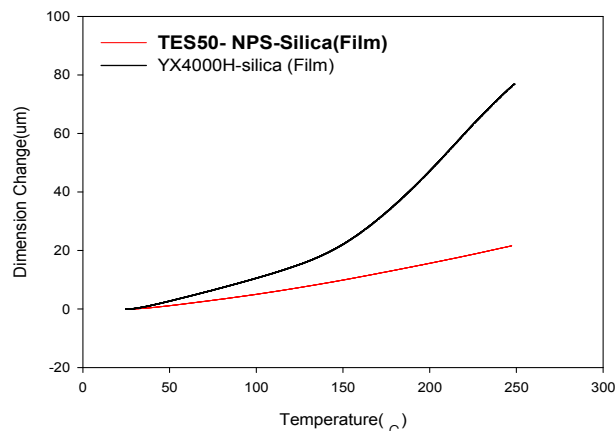


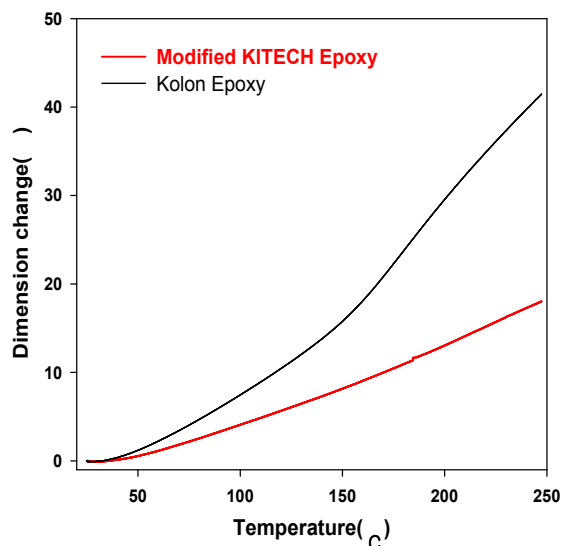
그림 11: 필름형 EMC용 에폭시실리카복합체의 내열특성(TMA)

(3) 저CTE 특성을 갖는 CCL 적용 연구 (코오롱)

- Target 물성: DCPD 에폭시(코오롱, KES 7695) 보다 낮은 CTE 특성을 보이는 에폭시시스템으로, 저CTE(z축) 특성을 갖는 유리섬유복합체 개발이 목표.
- Feasibility test: 코오롱에서 생산하는 에폭시와 경화제를 base 수지로 사용하여, 개질반응을 진행함. 생기원에서 합성된 에폭시/경화제를 바인더로 사용하는 유리섬유복합체에 대한 배합연구, 섬유복합체 제조 및 평가
- 코오롱에서도 생기원시스템을 평가할 수 있도록, 개질된 에폭시와 경화제를 스케일업 합성하여 송부

[Modified DCPD 에폭시의 유리섬유(E) 복합체]

	CTE (α_1/α_2) @ R/C(%)	
	Kolon 에폭시 (기준시료)	생기원 합성 에폭시
E-glass 유리섬유	8.2/16 ppm/°C @ 51%	6.0/7.7 ppm/°C @ 48%



제 3 장 결과 및 향후 계획

제 1 절 연구개발 추진 체계

(1) 연구개발 추진 전략

- 생기원에서 보유하고 있는 Ultra Low CTE Epoxy (*ChunEpoxy*TM)기술의 장점을 기반으로 하는 방열소재를 개발하고자함.
 - 고방열특성이 요구되는 패키징부품에는 낮은 CTE 특성도 동시에 요구됨. 그러나 방열특성을 향상시키기 위해 사용하는 무기필러는 (CTE값이 높아서) 복합체 제조 시, 저CTE 특성을 갖기가 어려움.
 - 필러연구보다는 바인더 연구를 통하여 연구개발을 추진하고자 함. 즉 복합화시 low CTE 특성을 갖는 생기원 에폭시에 고방열필러로 방열성을 부여하는 연구를 진행함

- 1차년도는 원천기술 확보를, 2차년도는 개발된 소재기술의 고방열·저CTE 특성이 요구되는 반도체부품으로의 사업화 연구를 기업과 협력하여 진행하고자 함.
 - 생기원은 에폭시시스템 설계, 에폭시 제조 및 배합에 대한 연구를 통하여 열전도성·저CTE 에폭시 개발을 통한 원천기술 확보
 - 아이티엠반도체는 고방열관련 시장정보 및 요구사항을 파악하여 제공함. 또한 2차년도에 스마트폰 배터리용 PMP로의 고방열/저CTE 에폭시 복합체의 적용연구를 계획 중

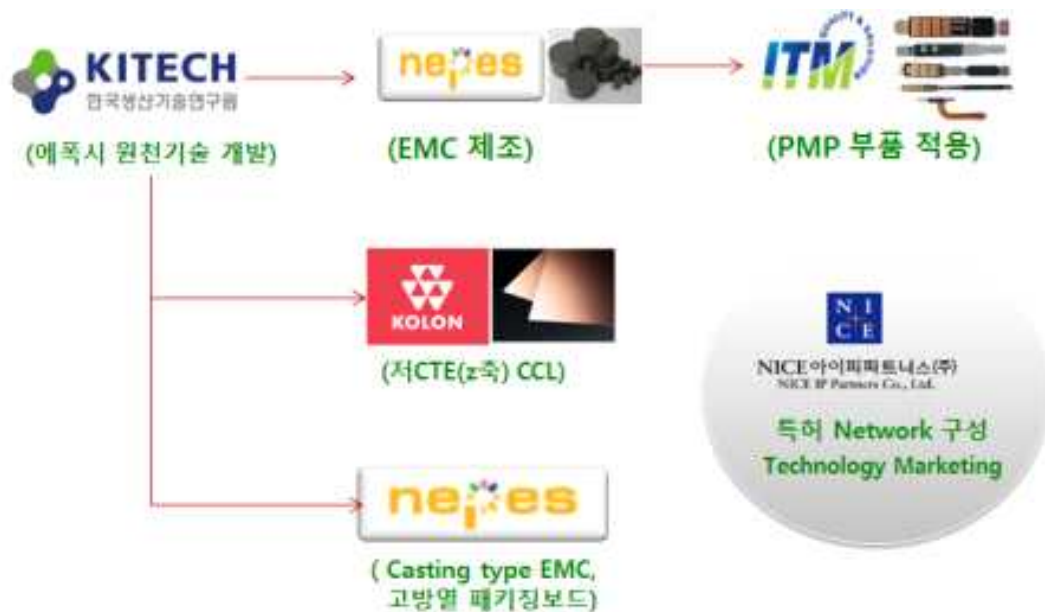
- 또한 저CTE 특성을 갖는 (방열) 반도체 패키징 부품으로의 사업화 기술 개발에 대한 추가 need (코오롱, 네패스)가 있었음. 1차년도 하반기부터, 하기 3종의 부품에 대해서 생기원의 feasibility 평가가 진행되었으며, 사업화기술개발 완성을 위해서는 2차년도에도 지속적인 연구추진 필요함.
 - 1차년도 진행된 사업화기술개발:
 - 네패스: 고방열/저CTE 특성을 갖는 prepreg 및 저CTE 필름형 EMC
 - 코오롱: z축 방향에서 저CTE 특성을 갖는 CCL

(2) 연구개발 추진 체계

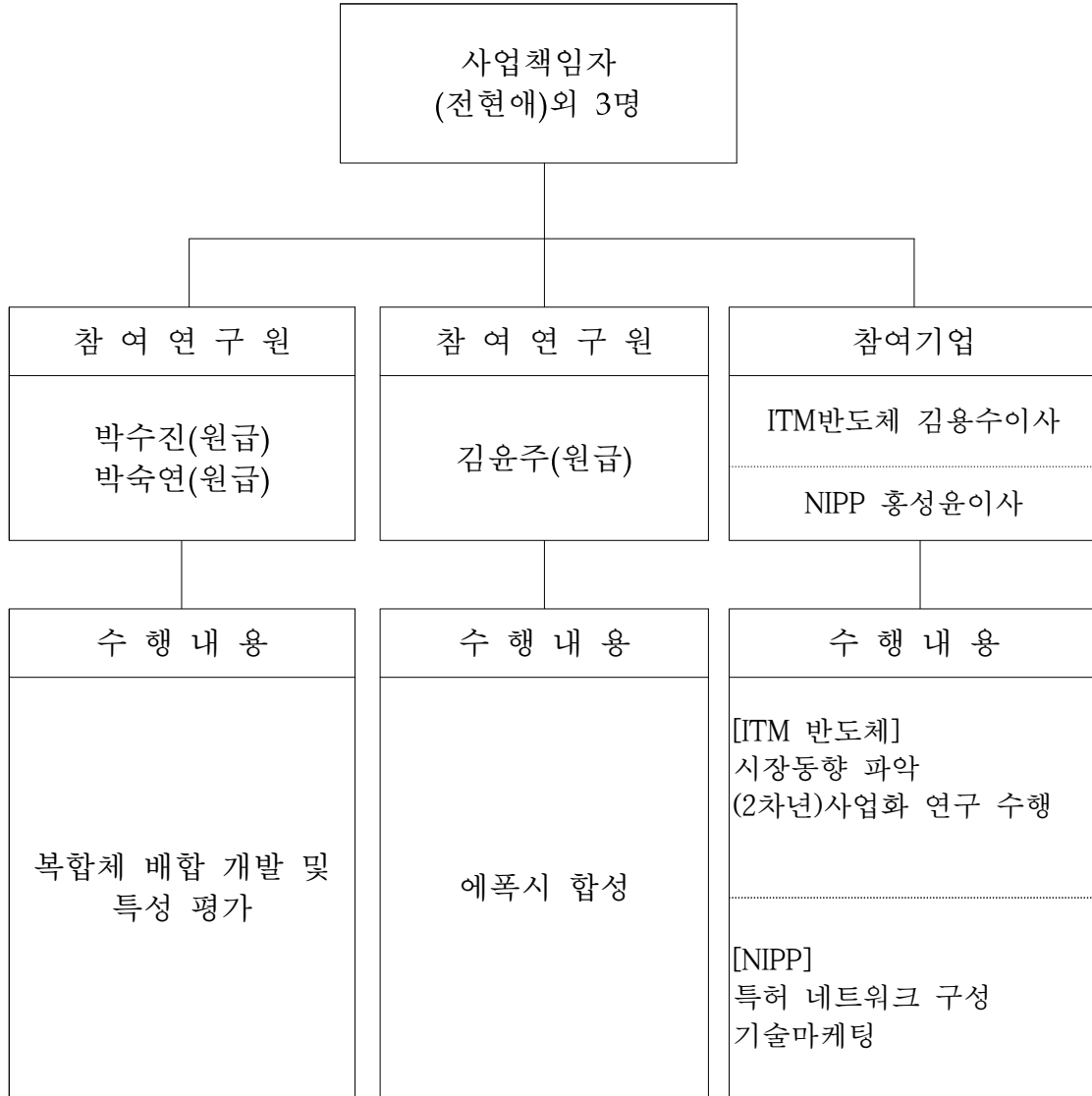
- 사업계획서에는 1~2차년도 생기원-ITM 반도체-ITM 반도체의 3기관이 협력하는 사업추진체계를 계획하였음.
 - 2차년도 ITM 반도체와의 PMP 부품 적용성 평가시 요구되는 EMC tablet은 ITM반도체의 EMC 공급업체인 네페이스에서 제조하여 공급하기로 하였음.



- 그러나, 1차년 하반기 코오롱과 네페이스에서 생기원 에폭시소재를 이용한 고방열/저CTE 에폭시부품개발에 대한 공동연구를 제안함. 이에 따라, ITM반도체/NIPP의 체계/역할은 변경전과 동일하게 진행하고, 코오롱과 네페이스를 사업화기술개발의 파트너기업으로 사업추진체계에 추가함



(3) 연구수행 편성도



제 2 절 당해년도 연구개발 결과

(1) 당해년도 연구개발 추진 일정 및 달성도

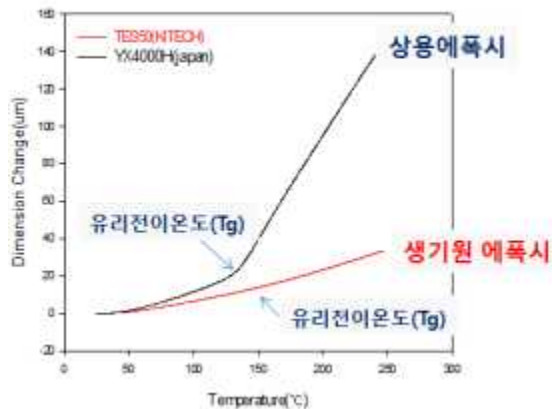
일련 번호	연구개발 목표 및 내용	추진일정												달성도 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	에폭시 시스템 설계													100
2	에폭시 합성		.....											82
3	필러 표면 처리			.....										80
4	에폭시 복합체 제조	.....												83
5	필러 배합기술개발 (필러 성분/형상/크기)		.....											90
6	복합체 물성 평가		.....											90
7	보고서 작성												.....	100
추가 진행된 내용															
8	에폭시/경화제 scale-up 합성												.....	
9	고방열/저CTE 부품 적용성 평가												.....	

..... 당초계획
 - . - . - . 개발내용

(2) 당해연도 연구개발 추진 실적

□ 연구개발 달성실적

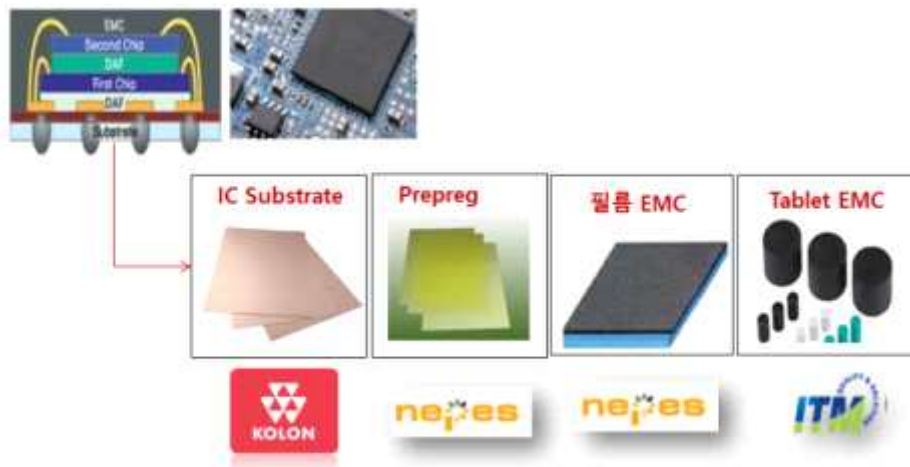
구분	16년 목표			16년 달성실적	
	세계수준 (일 Denka, Hitt Plate)		16년 목표	알루미나 복합체	질화알루미늄 복합체
	General purpose (K-1)	고방열 grade (TH-1)			
열전도도(W/mK)	2.0	4.0	>2.0	2.3	3.6
CTE (ppm/°C)	78	67	<50	16.3	10.5
Tg (°C)	104	165	200	virtually Tg-less	virtually Tg-less
달성 의미	<ul style="list-style-type: none"> 방열소재에 저CTE 특성이 부여되면, high-end 반도체패키징 /전기전자부품등에 더 폭넓게 응용 가능함. low-CTE 생기원에폭시를 이용한 고방열복합체의 경우, 방열특성은 기존에폭시와 유사하지만, CTE면에서 훨씬 우수한 물성을 가지고 있으므로, 방열특성 및 저CTE가 요구되는 반도체 패키징에 적용가능성이 높음 <p>* 생기원복합체의 경우, 유리전이온도 전후로의 물성차이가 크지 않으므로, 상용에폭시에 비하여 유리전이온도의 중요성이 작음.</p> <p>- 유리전이온도는 온도에 따른 길이변화의 기울기값이 급격하게 증가하는 온도임. 아래 그림과 같이, 상용에폭시의 경우는 Tg가 명확히 관찰되지만, 생기원 에폭시시스템의 경우는 virtually Tg-less로, 유리전이온도전후로 물성변화가 크지 않음</p>				



제 3 절 기대효과 및 사업화 계획

□ 기대효과

- 에폭시 패키징 소재에 대한 사업화기술 개발 및 기술이전을 통한 기술료 확보
- 본 과제를 통하여, 반도체 패키징의 IC substrate, 프리프레그 및 EMC (필름형과 tablet타입) 소재로의 활용을 목표로 부품개발 연구를 진행 중임.



- 뿐만 아니라, 고방열 특성을 갖는 low-CTE에폭시 소재 기술은 반도체 패키징을 포함한 전기전자소재, 코팅/접착제, 자동차등으로 응용가능성이 높은 소재기술임. 열전도도 값에 따라서, 다양한 부품에 적용 가능함



□ 사업화 계획

• 고방열·저CTE 부품 배합 및 제조개발

- 1차년도 관련기업 (코오롱, 네패스)에서의 평가결과를 바탕으로, 2차년도에 부품적용 기술 개발 계속
 - (1) 고방열/저CTE 특성을 갖는 prepreg (반도체 패키징용)에 적용(네패스)
 - (2) 저CTE 특성을 갖는 필름형 EMC에 적용(네패스)
 - (3) z축 방향에서 저CTE 특성을 갖는 CCL (prepreg)에 적용 (코오롱)
- ITM반도체(참여기업)과의 사업화연구 개발:
 - (1) 타겟부품 선정 및 EMC 공정성 부여 기술 개발(필러표면처리의 스케일업 기술 개발포함)
 - (2) tablet형 low-CTE EMC 부품개발은 네패스와 협력하여 제조

주 의

1. 이 보고서는 한국생산기술연구원의 기관주요사업 보고서이다.
2. 이 기관주요사업 내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 한국생산기술연구원의 기관주요사업 결과임을 밝혀야 한다.