

기술설명회 기술이전 상담회

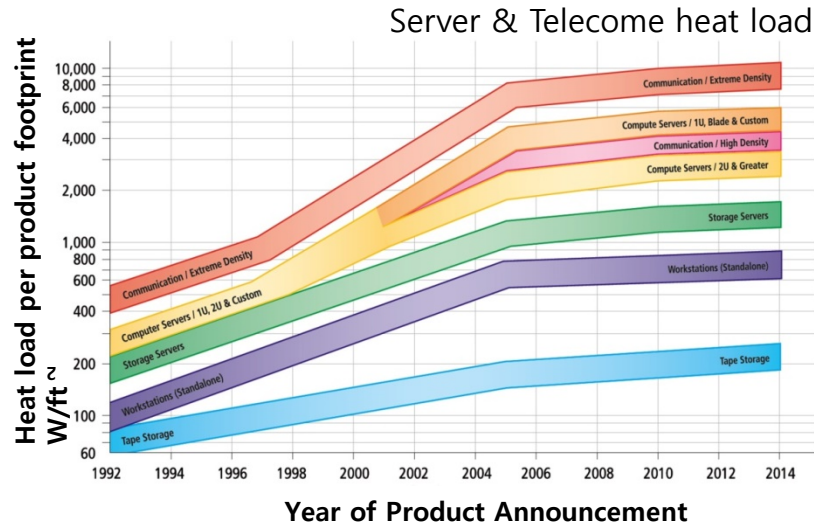
# 에폭시 매트릭스의 열전도도 향상을 위한 액정성 에폭시 선형 경화기술

2019년 2월 27일

한국과학기술연구원  
장세규 선임연구원

산업분류코드	대분류		중분류		소분류			코드번호	
	고무 및 플라스틱제품 제조업		플라스틱 제품 제조업		1차 플라스틱제품 제조업			C22213	
기술완성도 (TRL)	①기본 원리 파악	②기본 개념 정립	③기능 및 개념 검증	④연구 실환경 테스트	⑤유사 환경테스 트	⑥파일 럿 테스트	⑦상용모 델 개발	⑧실제 환경테 스트	⑨사업 화
				◆					

# 고방열 고분자 복합소재의 필요성



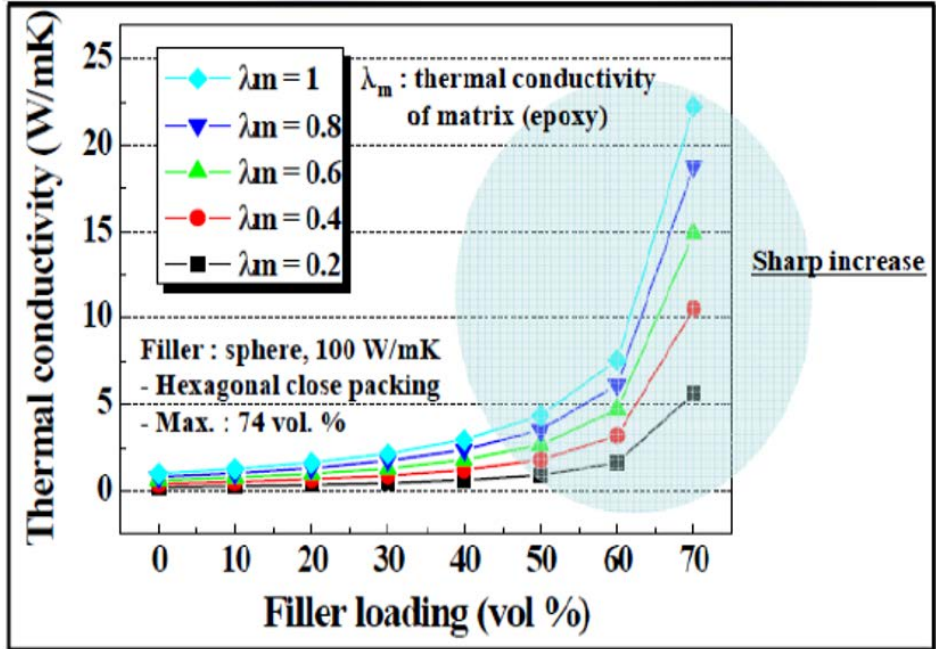
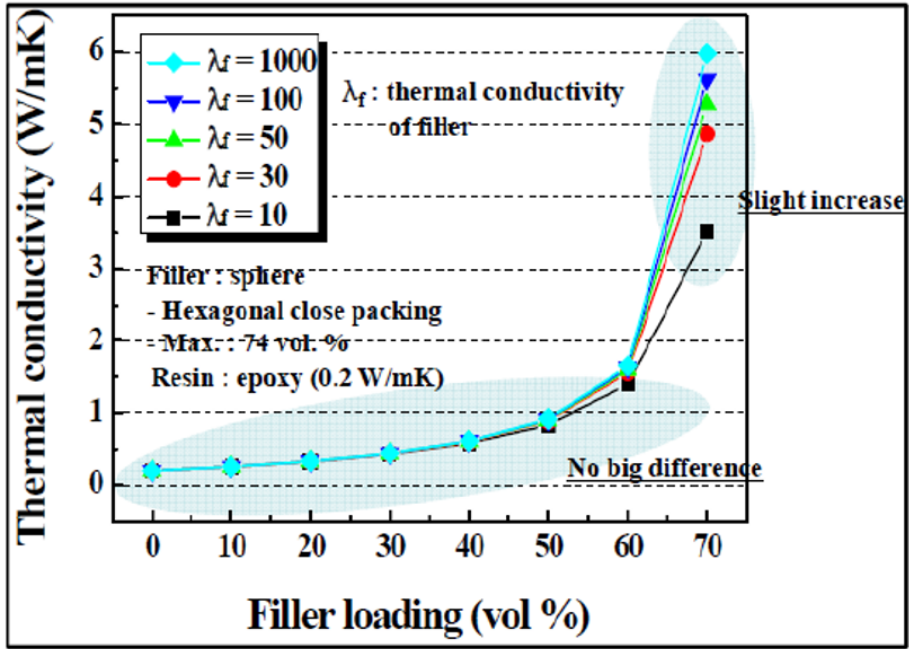
Galaxy S7, Heat pipe

전자소자의 **고집적화** 및 **출력 향상**  
→ **발열 문제** 해결 수요 증가  
→ **PCB**는 소자 방열에 직접적으로 연관됨

**고분자/무기 필러 복합소재** - 저가, 높은 가공성, 경량화 가능, ...

고분자 **매트릭스** 수지는 일반적으로 열전도도가 낮음 (**0.1~0.2 W/mK**)

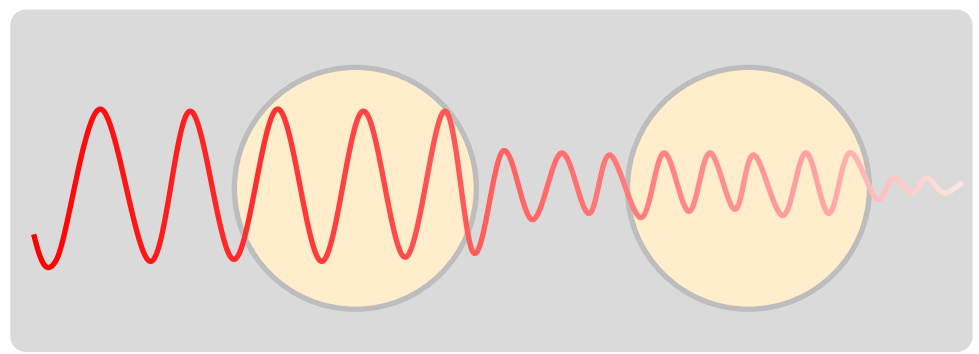
# 매트릭스 수지 열전도도의 중요성



필러의 열전도도 영향 ( $\lambda_{filler}$ )

수지의 열전도도 영향 ( $\lambda_{matrix}$ )

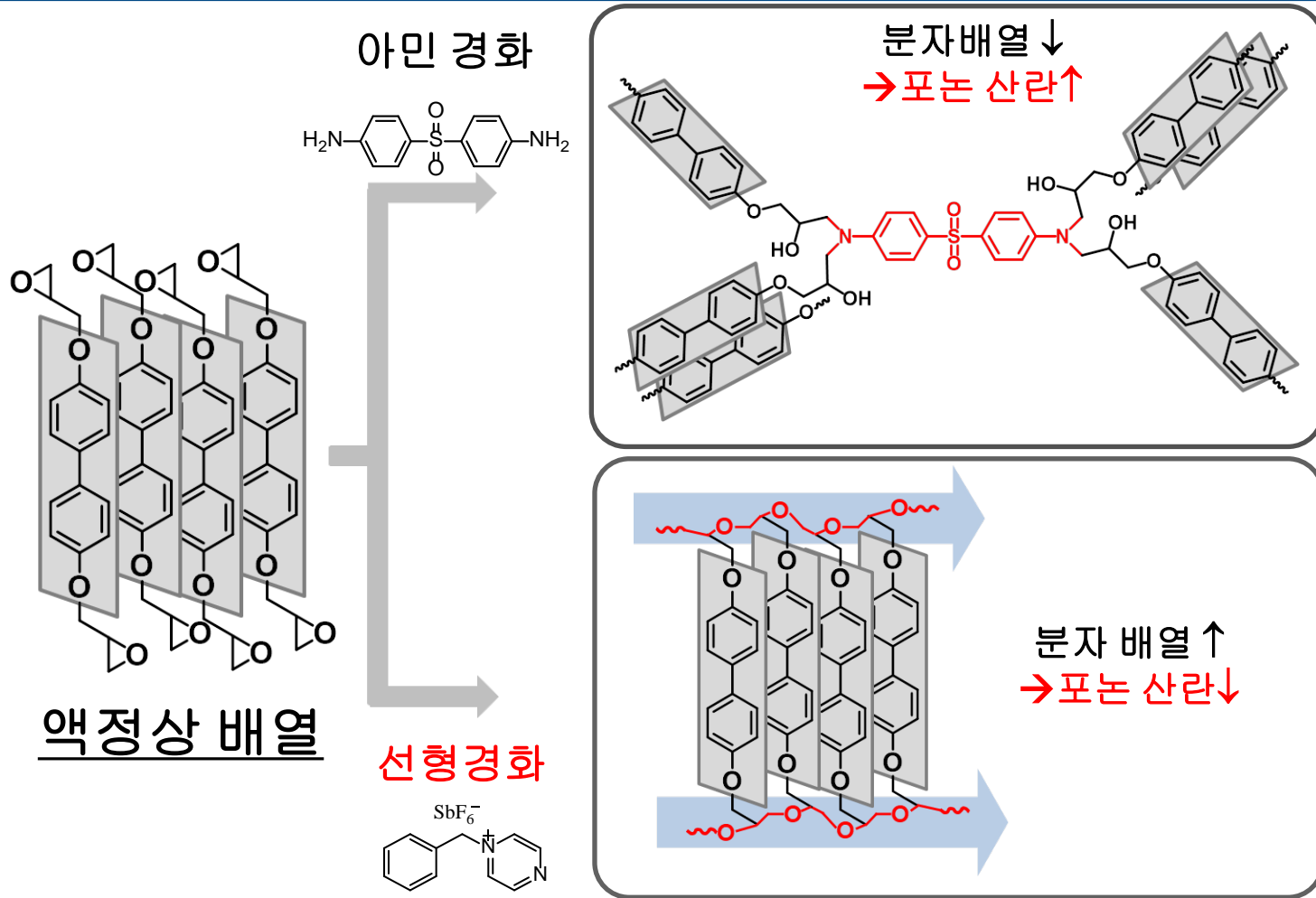
포논 전달 및 산란



매트릭스 수지의 열전도도를 향상 시키는 것이 더 효과적임



# 기술 개요 - 선형경화를 통한 분자배열성 향상

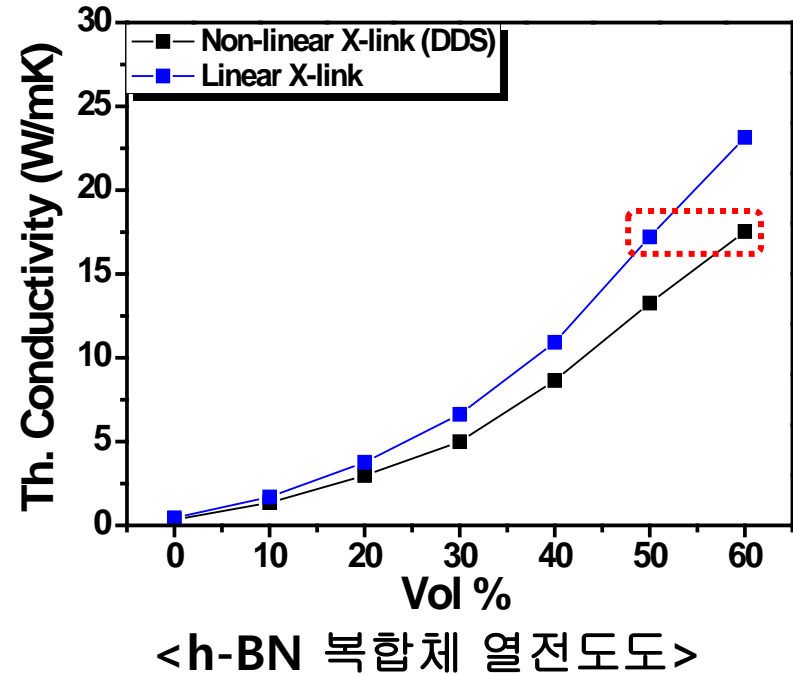
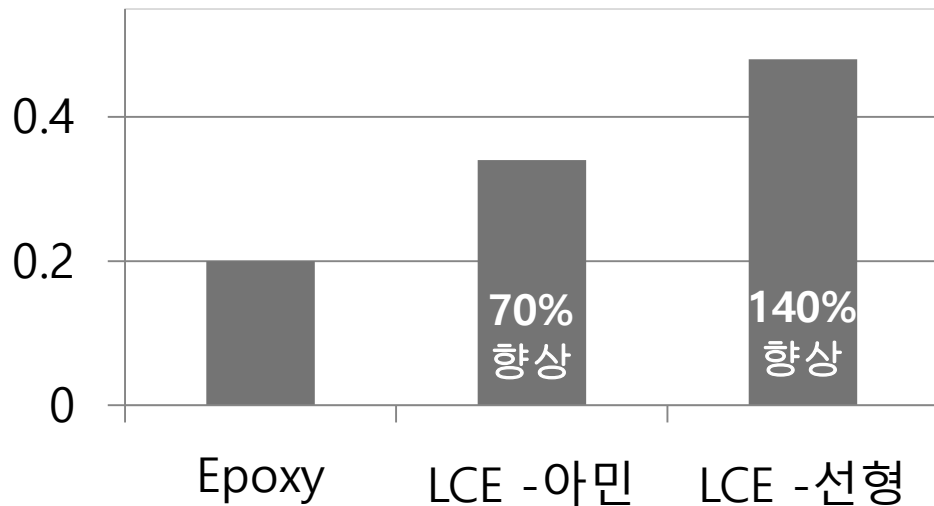


## 장점

1. 액정상 배열의 유지 가능 (열전도도 ↑)
2. 최소량의 경화제 사용으로 물질적 순도 향상 (열전도도 ↑)
3. 속경화 (생산성 ↑)

# 기술의 효과 및 우수성

## 수지 열전도도 (W/mK)



- **고가의 장비 불필요**

: 수지의 선형경화법 적용만으로 열전도도 향상 (분자 강제 배열 장비 등)

- **속경화**

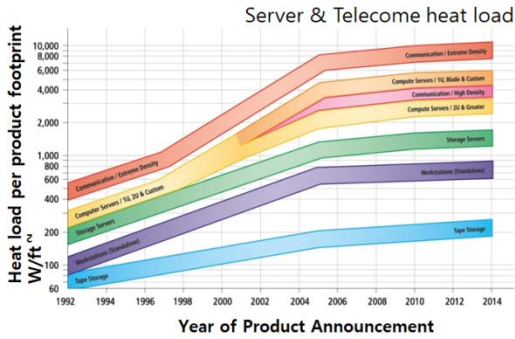
: 30분 이내 경화로 생산성 향상

- **가공성 및 경제성 향상**

: 복합체 제조 시 동일 열전도도 달성을 위해 소량 필러 사용 가능

# 고출력 LED向 고방열 PCB 수요

## 고방열 기판 수요 증가



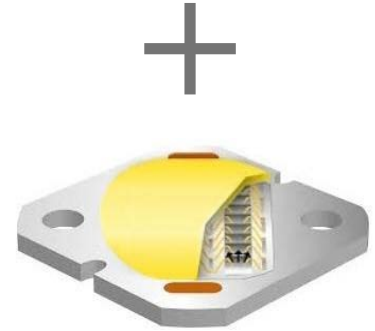
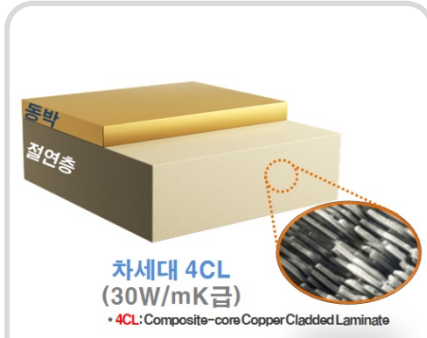
## 고출력 LED 수요 증가



고출력 LED 세계시장  
 18년 9조원  
 → 24년 14조원  
 (150% 성장)



방열 성능 ∞ LED 조도 및 수명



고방열 LED 소자

경량 고방열 PCB  
제조기술



고출력 LED 조명



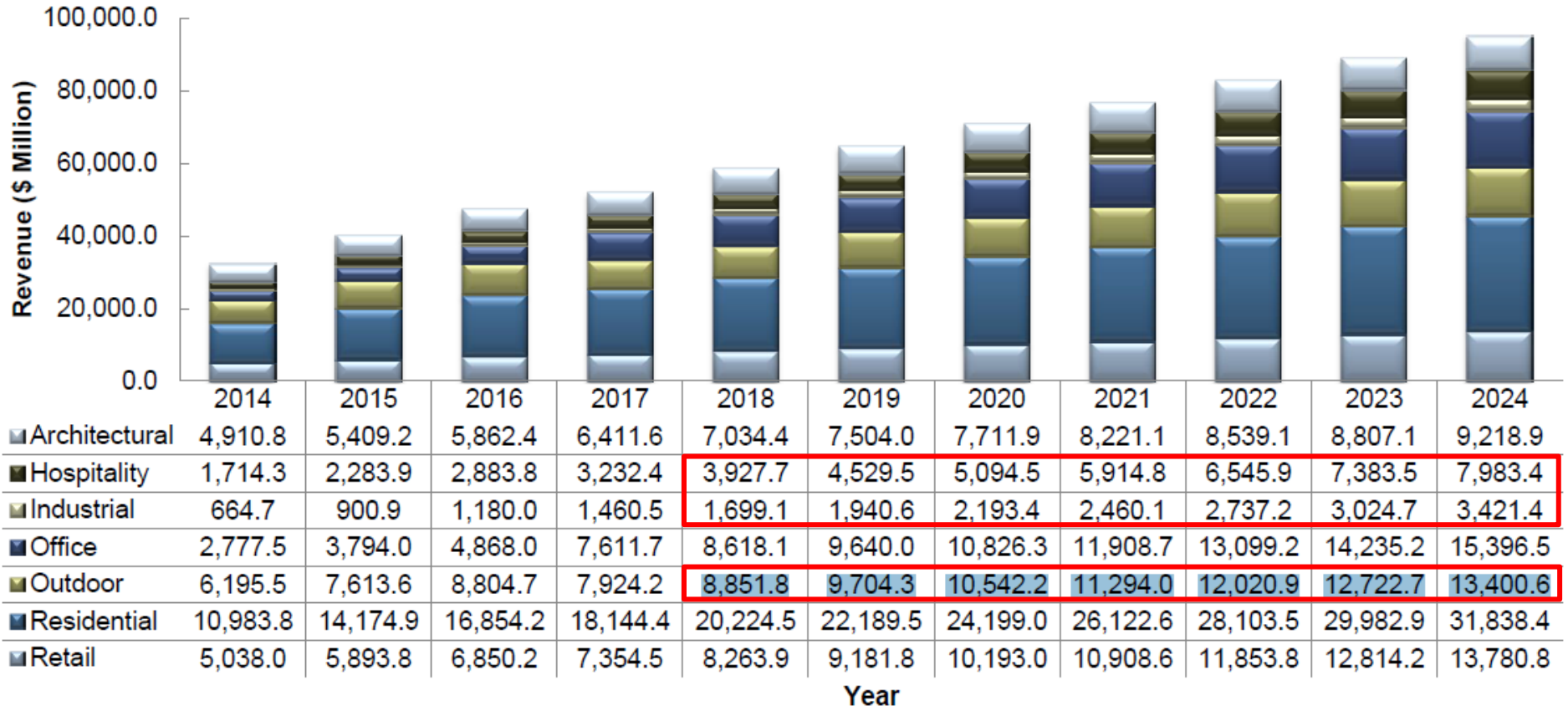
자동차 조명 및 부품



디스플레이

# 시장 현황 (고출력 LED 분야)

Total LED Lighting Market: Revenue Forecast by Application, Global, 2014–2024



- 출처: Global LED lighting market 2018, Frost & Sullivan

- LED 조명분야는 18년 약 60조원에서 24년 97조원 규모로 연평균 9% 성장
- 24년까지 고출력 LED 조명분야 약 9.3조에서 약 14조원 규모로 약 150% 성장



# 현 PCB 제품의 문제점 및 개발소재 적용 필요성



### ① 절연층(Dielectric Layer)의 열전도성 부족

- 칩에서 발생하는 열을 금속층에 효과적으로 전달하지 못함

### ② 복잡한 제조공정으로 생산성 저하 및 가격 상승

- 동박층 회로제작시 금속층의 식각 방지 보호필름 공정 필요

### ③ 절연층의 높은 유전파괴 전압 특성 요구

- 금속층 존재로 인한 절연층의 높은 유전파괴전압 특성이 요구  
- Pin-hole 존재로 인한 박리불량 발생

### ④ Punching 가공 불량 발생

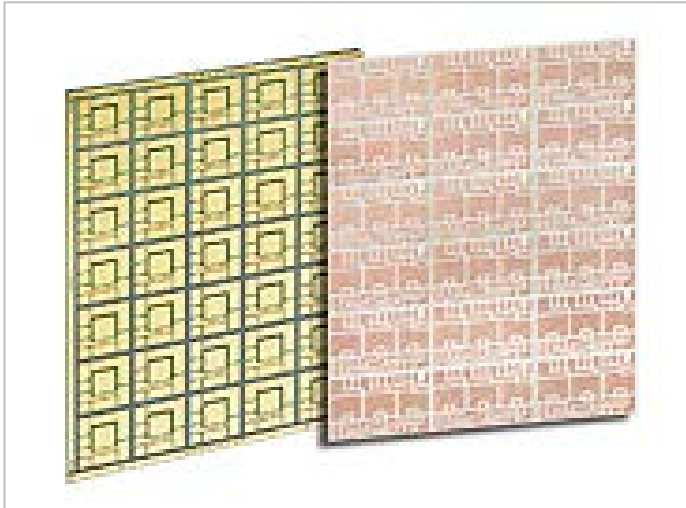
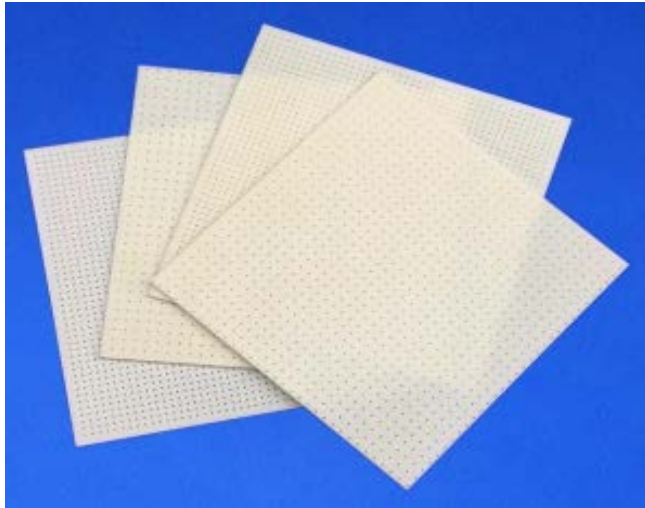
- 금속 층으로 인해 라우터 공정 적용이 어려움.  
- Punching 가공 시 절연층에 결함 발생 → 불량 발생



- **고출력 = 고발열 = 수명저하**  
(방열 성능이 휘도 및 수명을 결정)

- 현 제품은 **1~4W/mK**급의 MCPCB 사용
  - 방열핀의 대형화
  - LED 소자의 고밀도화 불가
  - AI 금속 사용으로 경량화 불가

# 세라믹 PCB 기판 (20~30 W/mK급) 대체



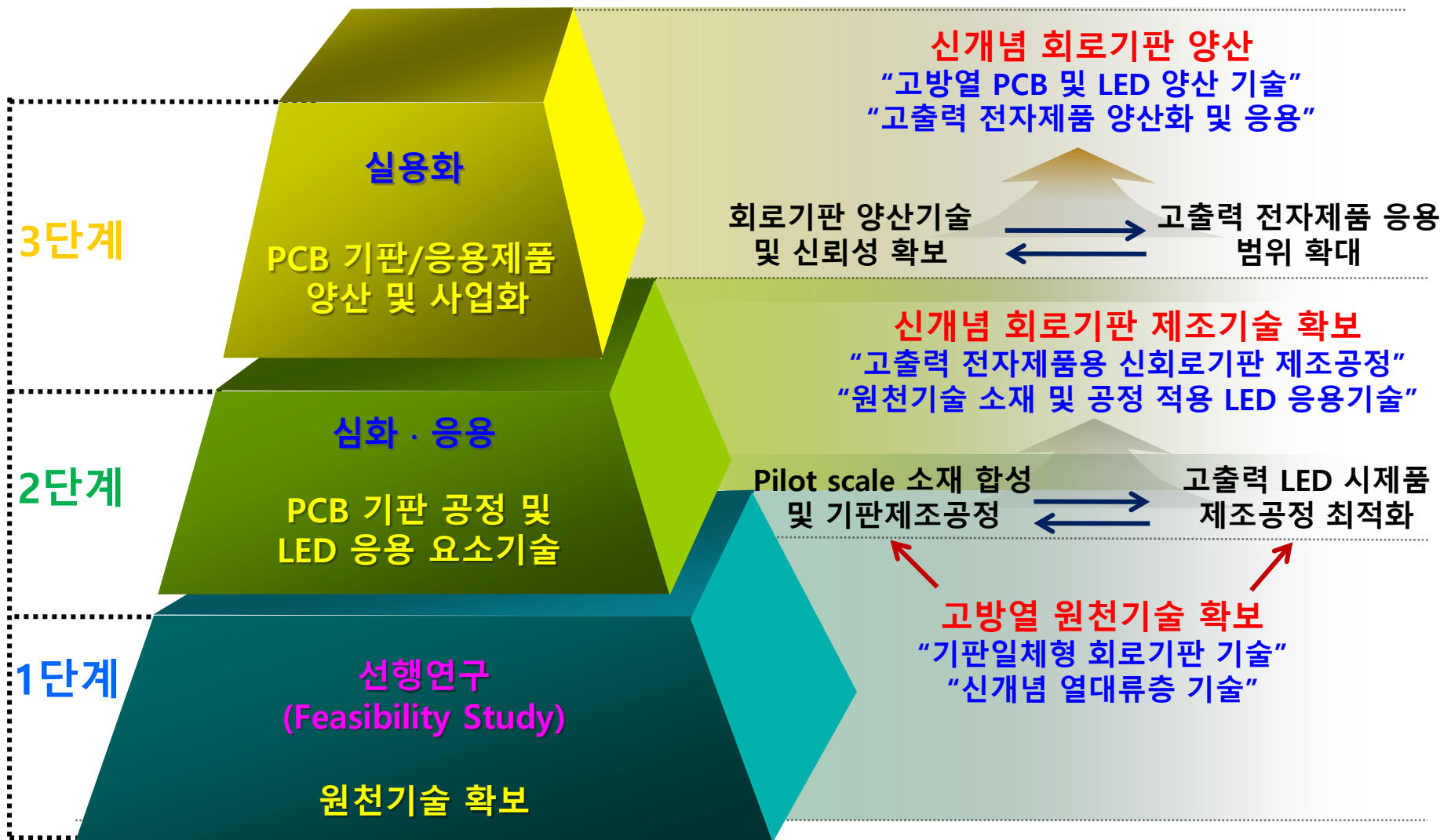
- 높은 절연성
- 높은 방습성
- 낮은 CTE
- 내부식성
- 고비중 ( $3.9\text{g/cm}^3$ )
- TC 20~30W/mK
- 취성

Properties	Units	95 Alumina	99 Alumina	Zirconia
Density	$\text{g/cm}^3$	3.65	3.92	5.95 - 6.0
Water Absorption	%	0	0	0
Coefficient of Thermal Expansion	$10^{-6} / \text{K}$	7.9	8.5	10.5
Modulus of Elasticity Young's Mod	Gpa	280	340	210
Poisson's Ratio	/	0.21	0.22	0.3
HV Hardness	Mpa	1400	1650	1300 - 1365
Flexural Strength @ Room Temperature	Mpa	280	310	950
Flexural Strength @ 700°C	Mpa	220	230	210
Compressive Strength@Room Temperature	Mpa	2000	2200	2000
Fracture Toughness	$\text{Mpa} \cdot \text{m}^{1/2}$	3.8	4.2	10
Heat Conductivity @ Room Temperature	$\text{W/m} \cdot \text{k}$	18 - 25	26 - 30	2.0 - 2.2
Electrical Resistivity @ Room Temperature	$\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$	$>10^{15}$	$>10^{16}$	$>10^{15}$
Max Application Temperature	°C	1500	1750	1050
Resistance to Acid Alkaline	/	High	High	High
Dielectric Constant	/	9.5	9.8	26
Dielectric Strength	KV / mm	16	22	/
Thermal Shock Resistance	$\Delta T (^\circ\text{C})$	220	180 - 200	282 - 350
Tensile Strength @ 25°C	Mpa	200	248	252



**알루미나 25W급**  
**115x115mm (두께 1T)**  
**\$30**

# 기술개발 추진 전략



# 선행기술과의 차별성

특허 기술	특허 선행 기술 내용	본 발명에 대한 기술 요약 및 본 발명과 차별성
<p>1. 전자기장을 이용한 고방열 액정성 에폭시 특허</p> <p>1.1 - <a href="#">EP 1481999 A2</a>            1.2 - <a href="#">US 6261481 B1</a>            1.3 - <a href="#">US 2004/0102597 A1</a></p>	<p>1.1 - Azomethine mesogen 액정성 에폭시의 자기장 배열            1.2 - Biphenyl을 포함한 액정성 에폭시의 자기장 배열            1.3 - 자기장을 이용한 액정성 에폭시의 배열</p>	<p>1. 선행기술은 전자기장을 이용하여 액정성 에폭시 분자의 정렬도를 높여 열전도도를 향상시킨 것이며 본 발명의 선형중합에 의한 경화 후 정렬도 유지와는 차별화 됨.</p> <p>2. 선행기술에서 선형중합을 에폭시 수지의 한 가지 중합법으로 본문에 언급하고 있으나 선형중합법에 의해 향상된 열전도도에 대한 영향은 언급되지 않아 본 발명과 차별화 됨</p>
<p>2. <a href="#">EP 1832636 A1</a></p> <p>Anisotropic conductive adhesive</p>	<p>1. 에폭시 수지를 양이온 중합에 의해 경화하는 조성 및 방법            2. 실리카 필러를 추가하여 기계적 물성을 높이는 효과</p>	<p>1. 양이온 선형중합에 대한 내용이나 열전도도 향상과는 무관하여 본 발명과 차별화 됨.</p>
<p>3. 양이온을 이용한 에폭시 수지의 경화 특허</p> <p>3.1 - <a href="#">US 5962547</a>            3.2 - <a href="#">US 6376638 B1</a>            3.3 - <a href="#">US 7795744 B2</a>            3.4 - <a href="#">US 6977274 B2</a></p>	<p>3.1 - UV 혹은 열을 이용한 양이온 개시제 경화를 위한 모노머에 대한 물질 특허            3.2 - 본 발명의 일례로 제시한 benzyl imidazolium hexafluoro anitomonate 양이온 개시제를 이용한 에폭시 수지의 열경화법            3.3 - 양이온 개시제 경화를 이용해 에폭시 수지 및 복합체를 제조하는 조성 특허            3.4 - 양이온 개시제로 경화한 에폭시 수지의 부피팽창 및 수축 저감 효과에 대한 특허</p>	<p>1. 해당 특허들은 에폭시 수지를 경화하는 조성 및 경화에 대한 특허로 수지의 열전도도의 향상에 관한 효과 제시가 없어 본 발명과 차별화 됨</p>
<p>4. <a href="#">US 8216672 B2</a></p> <p>Structured resin systems with high thermal conductivity fillers</p>	<p>1. 수지의 분자구조 및 필러가 한방향으로 정렬되는데 따른 열전도도의 향상 효과에 대한 특허            2. 다양한 수지, 필러 등에 대해 권리화            3. 모든 필러와 수지의 분자가 한 방향으로 배향되어 있는 것으로 한정</p>	<p>1. 선행기술은 필러와 수지가 한방향으로 모두 배향되어 있는 경우로 한정하여 본 발명의 다중격자 구조와 차별화 됨</p>

---

## 참고자료

# 기술 응용 - 고방열 절연층 적용 일체형 PCB

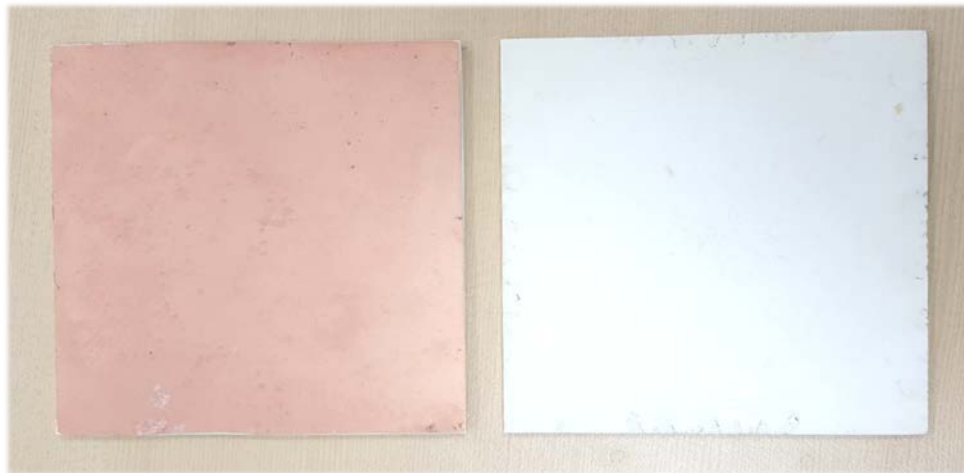
기존 MCPCB  
(2~4W급)



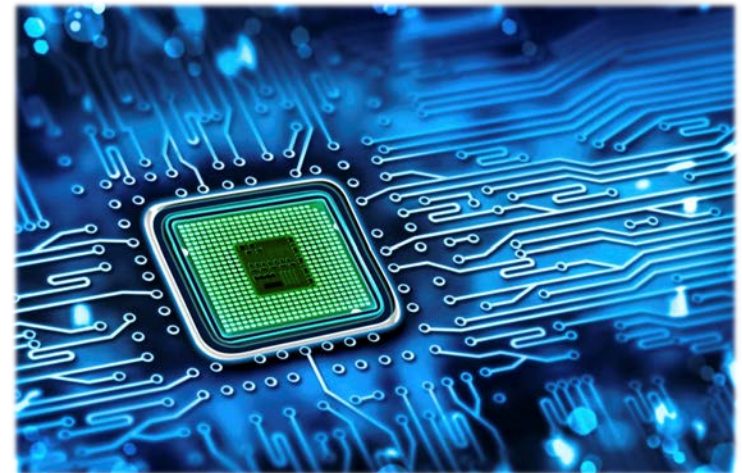
일체형 PCB  
(20~30W/mK급)



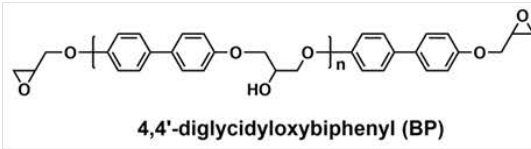
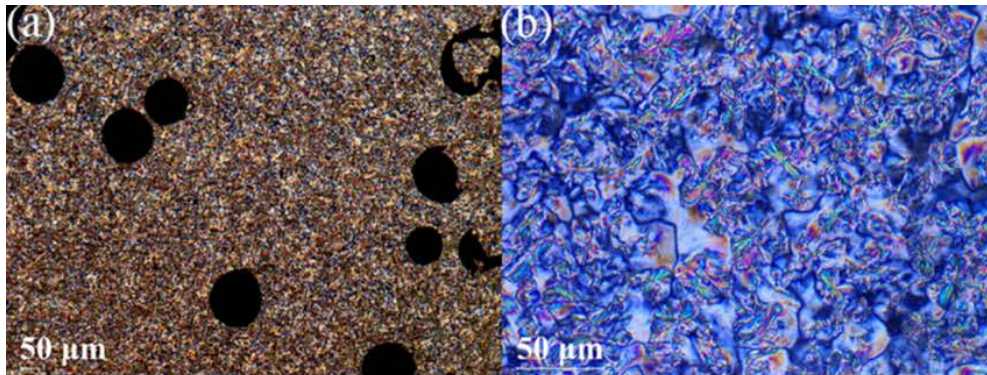
일체형 고방열  
PCB



<동박처리된 일체형 PCB 원판 (10x10cm, 1T)>



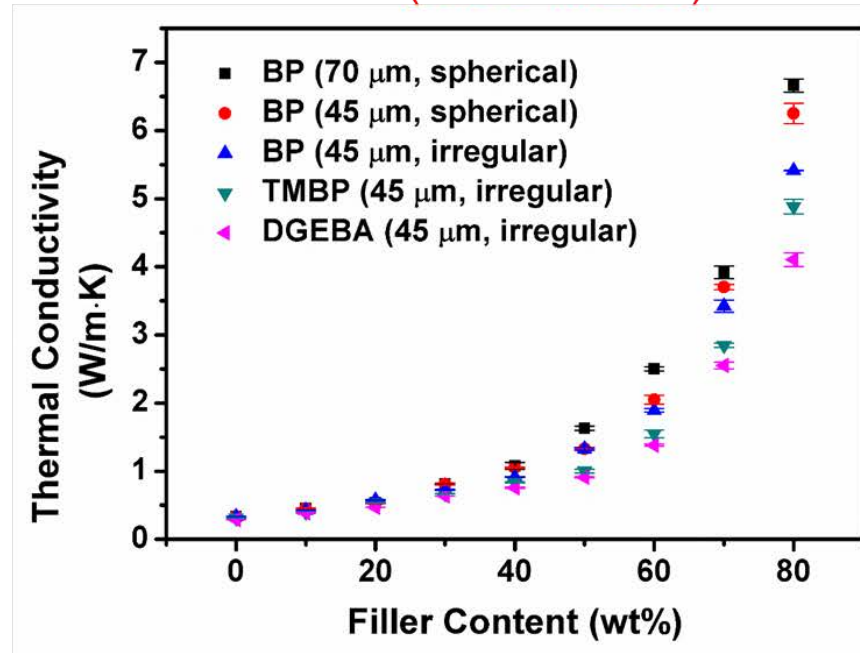
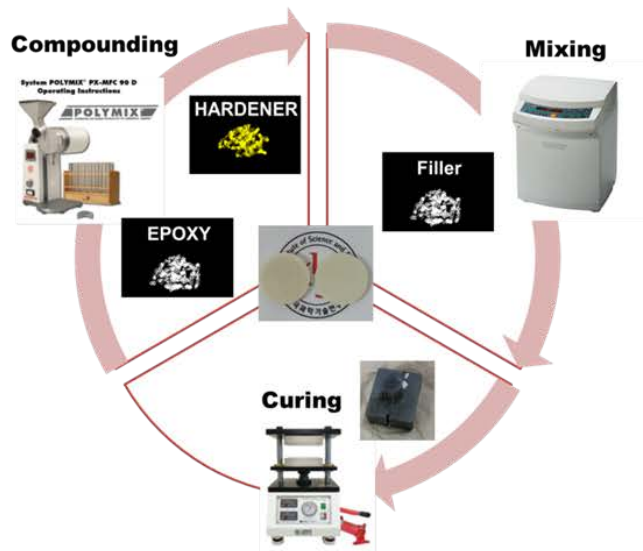
# 선행 연구결과

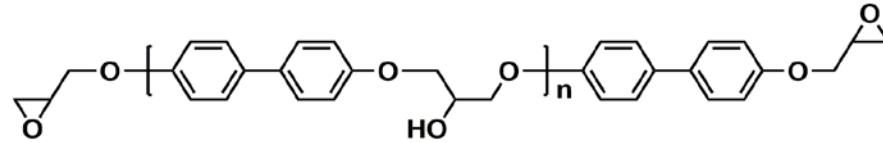


EEW 190



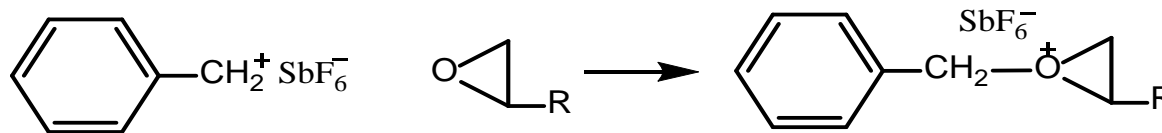
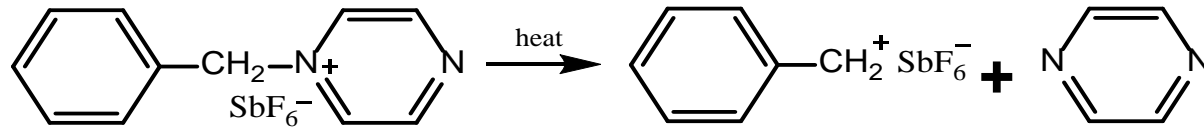
TC of BP resin ~ 0.34 W/mK  
(cured w/ DDS)



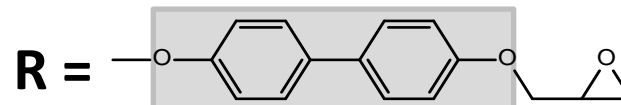
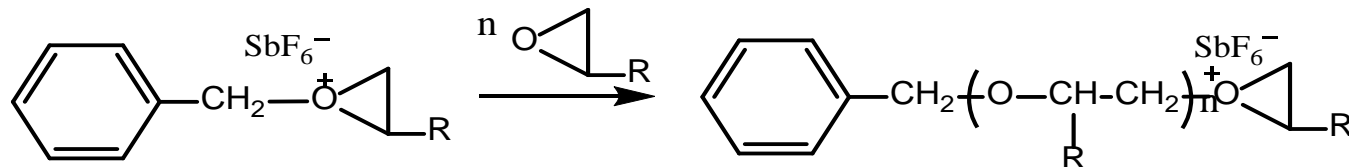


4,4'-diglycidylbiphenyl (BP)

## Initiation



## Propagation (polymerization)

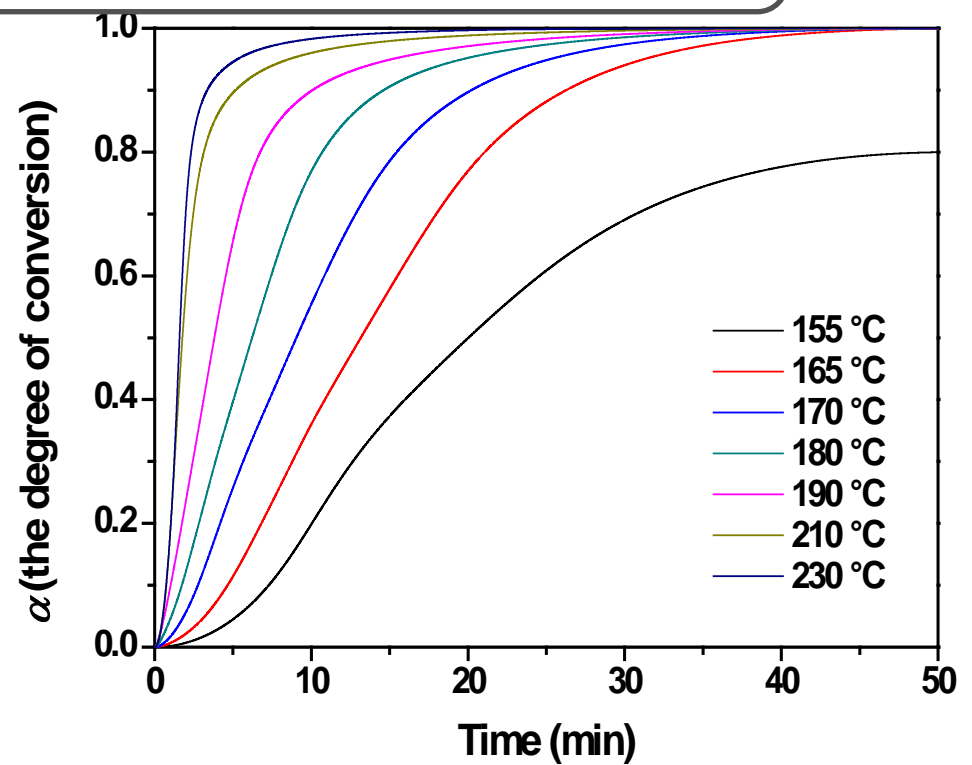
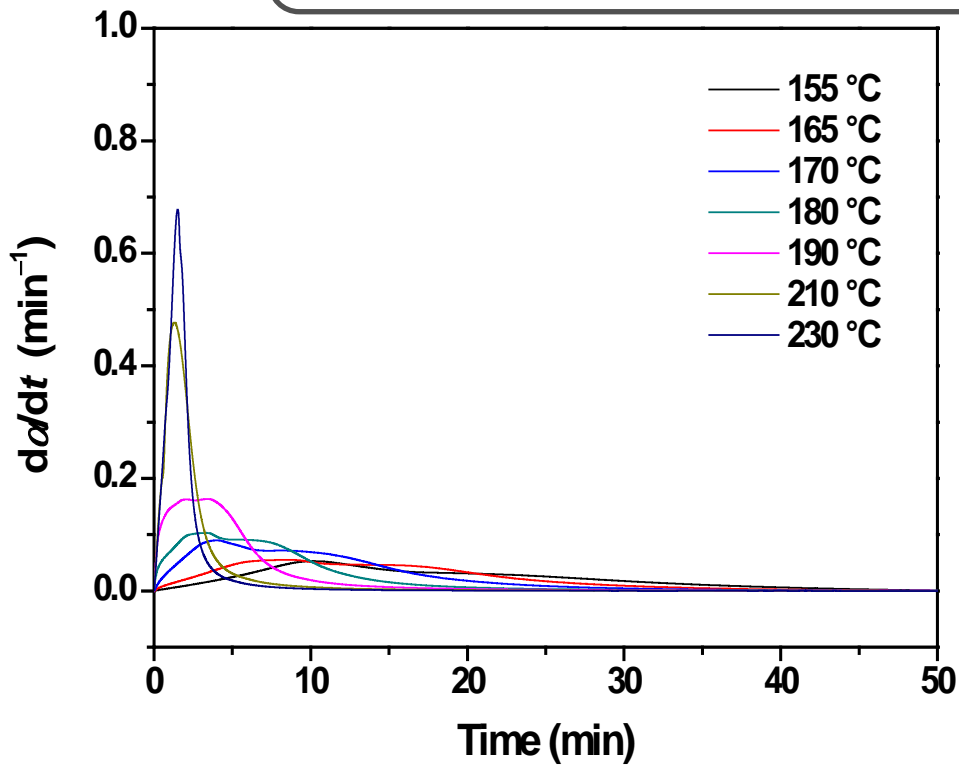




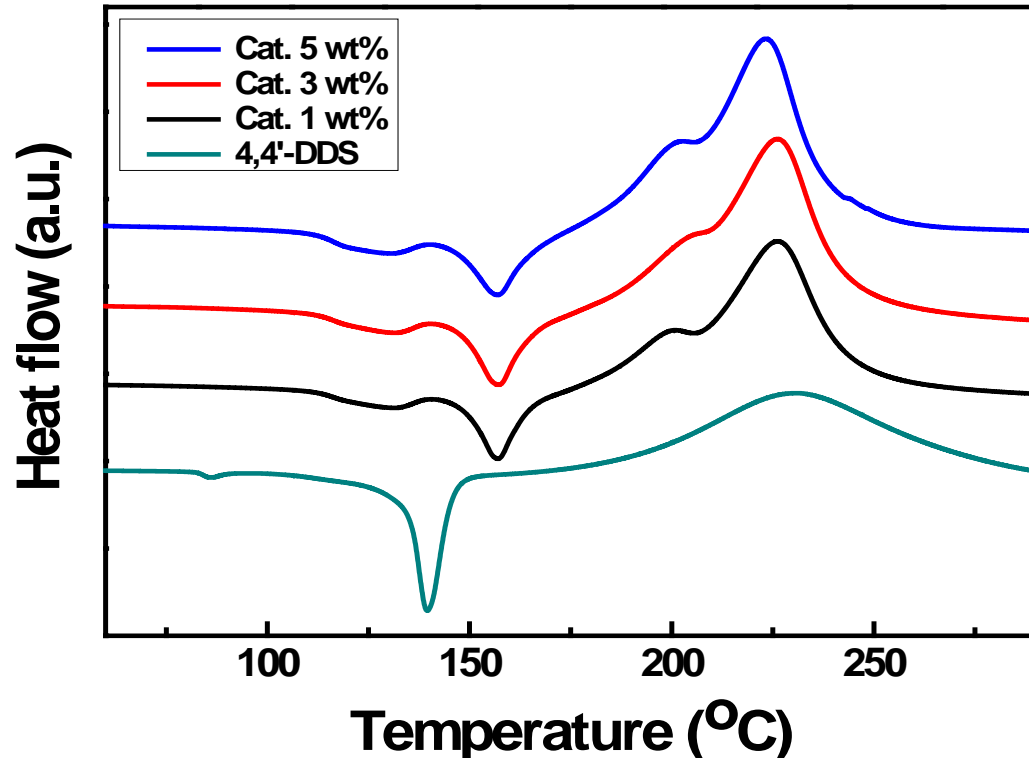
$$d\alpha/dt = (1/Q_T)(dQ/dt)$$

$$\alpha = Q/Q_T$$

$\alpha$  : degree of conversion  
 $d\alpha/dt$  : differential curing rate  
 $Q_T$  : total curing heat  
 $Q$  : cumulative heat at a time



- Ini. conc. : 3 wt%
- Curing time: 165°C 45min, 170°C 40min, 180 °C 35min

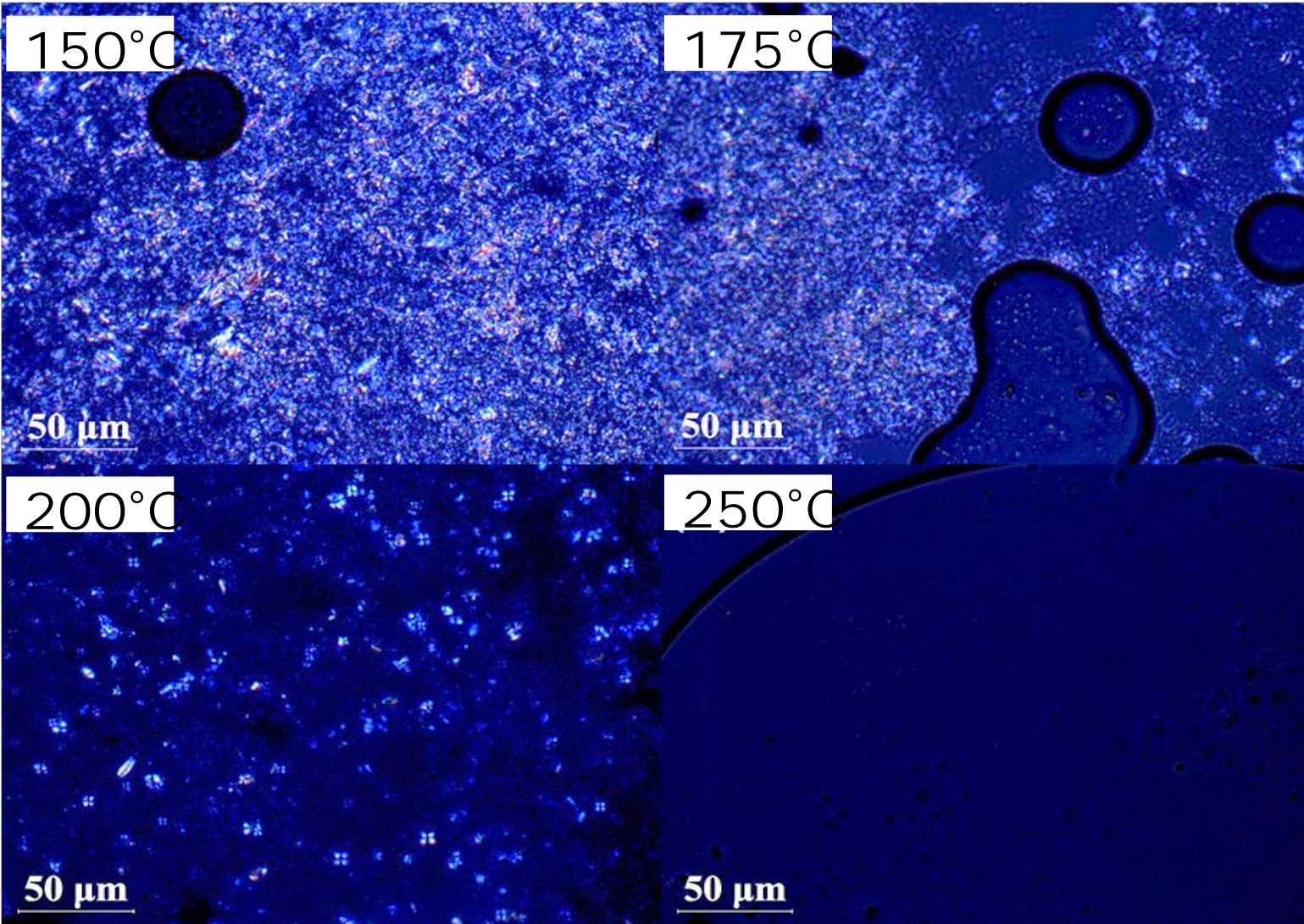


## ❖ Thermal Conductivity

Epoxy	Cationic Initiator Content	Thermal Conductivity (W/m·K)
BP	0.5 wt%	-
BP	1 wt%	0.43
BP	2 wt%	0.47
<b>BP</b>	<b>3 wt%</b>	<b>0.48</b>
BP	5 wt%	0.45
<b>BP</b>	<b>DDS</b>	<b>0.34</b>

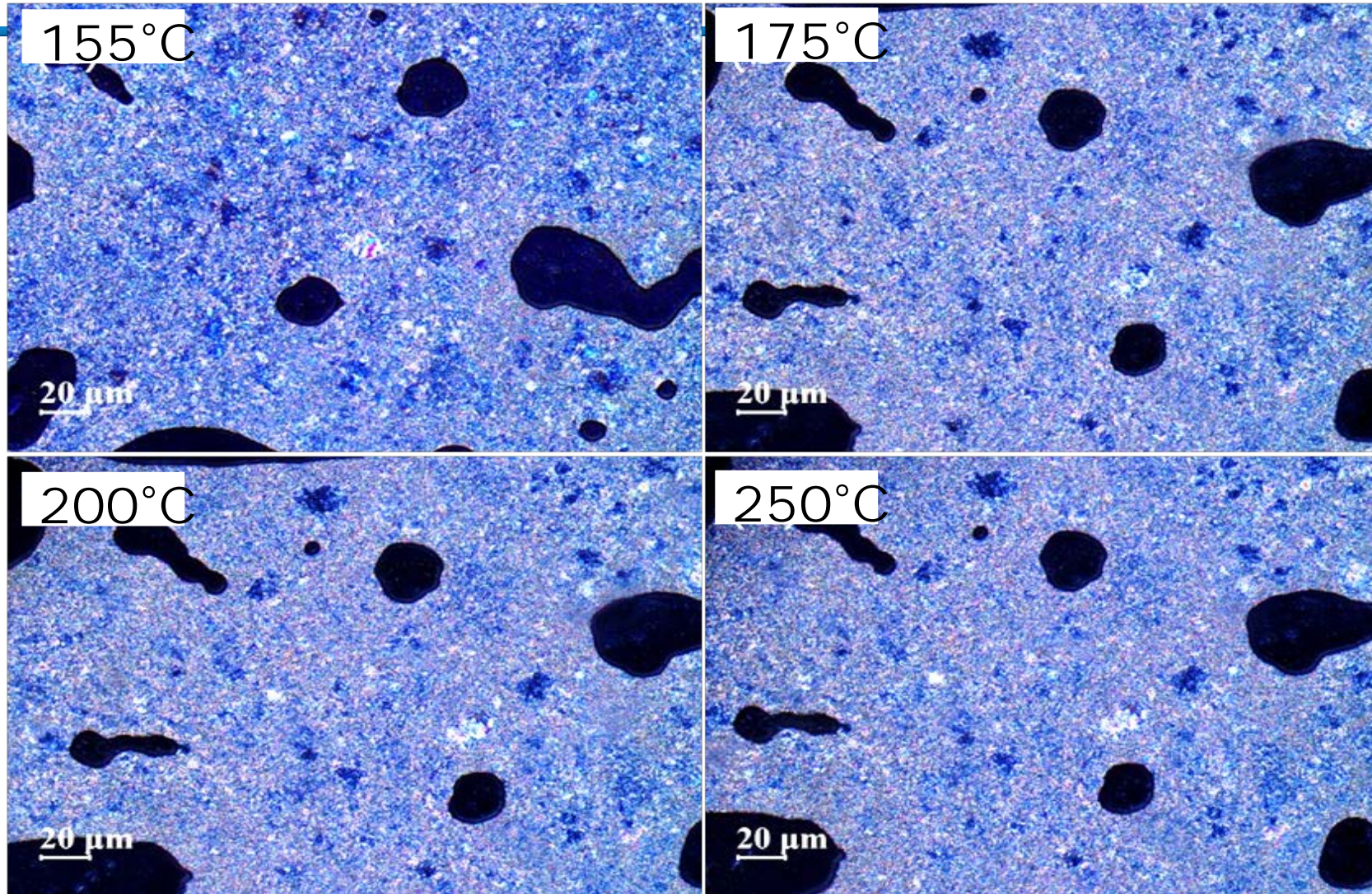
About 40% increase in TC

- 170 °C hot press for 90 min, then post-curing at 250 °C for 60 min
- No relation between CI conc. & TC
- Mechanically good samples were obtained when 3~5 wt% CI conc.

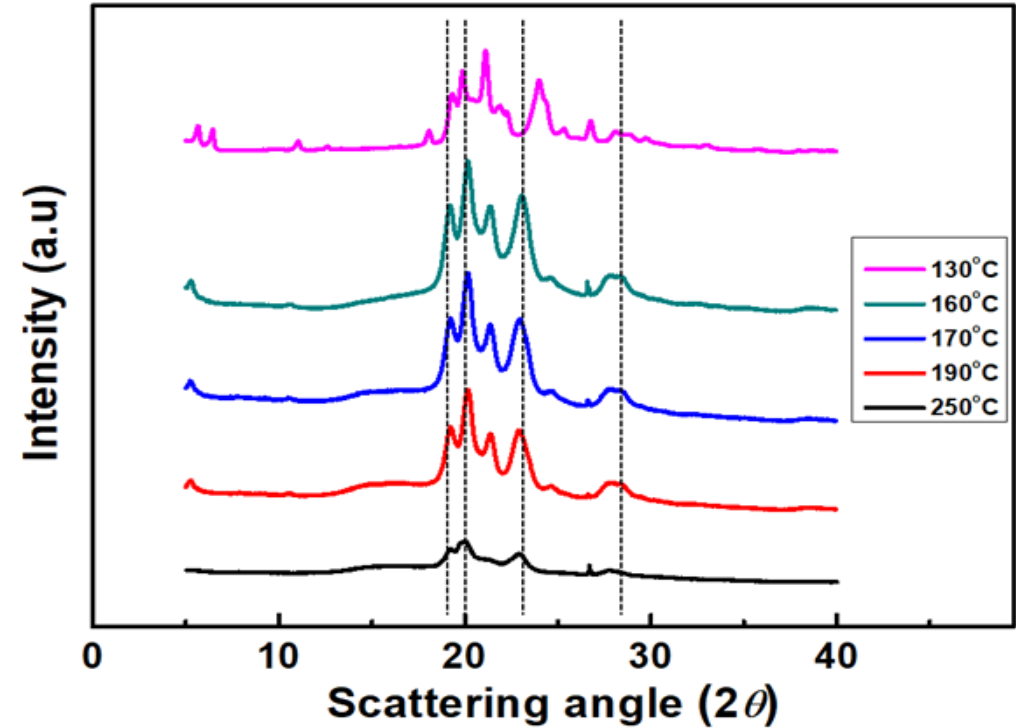
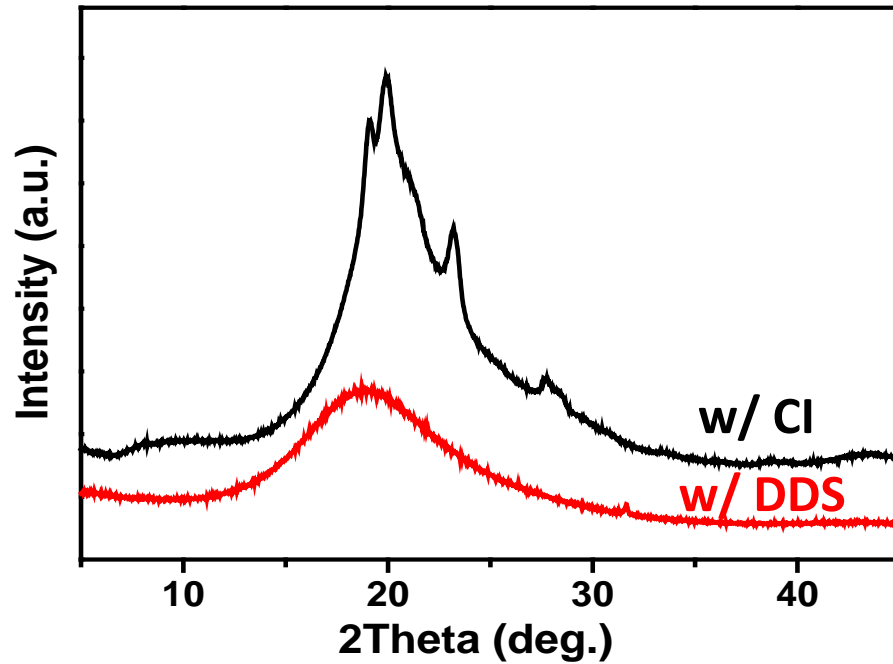


Resin only

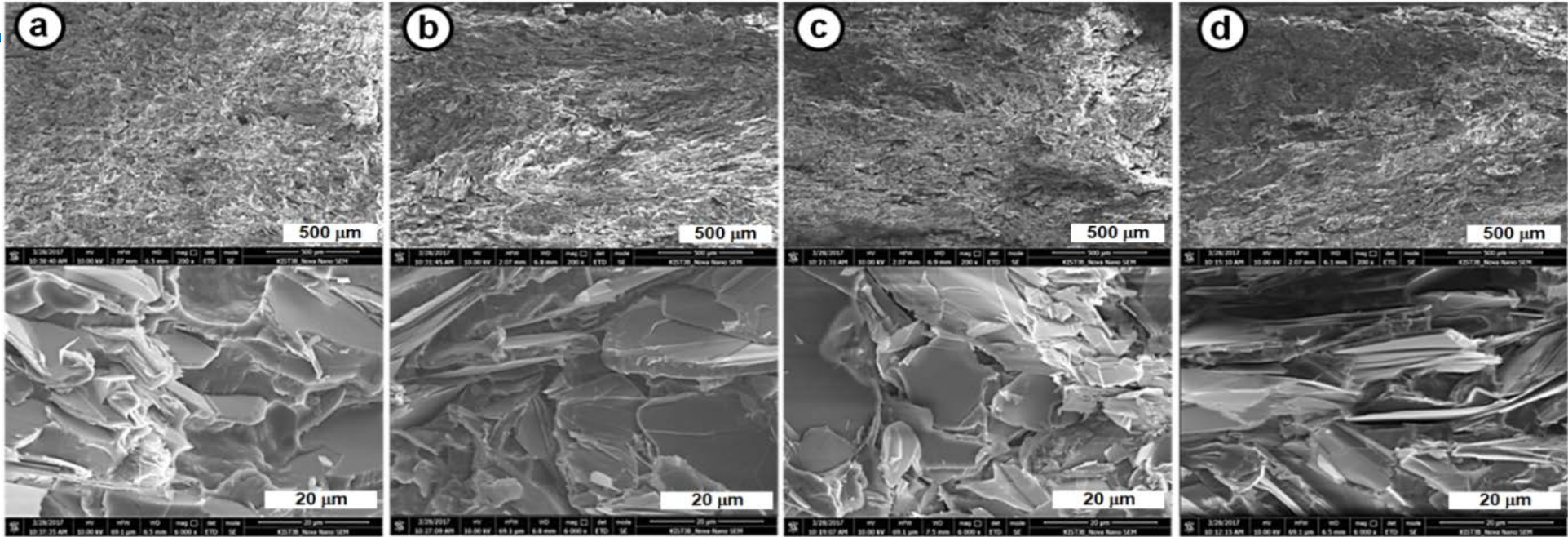
- Ramp speed: 50°C/min
- **Disappearance of ordered structure**



- Ramp speed: 50°C/min, 3 wt% CI
- **Preservation of ordered structure & Fast curing**



- Interdistance peaks ranging from 3.1 ~ 4.6 Å were observed.

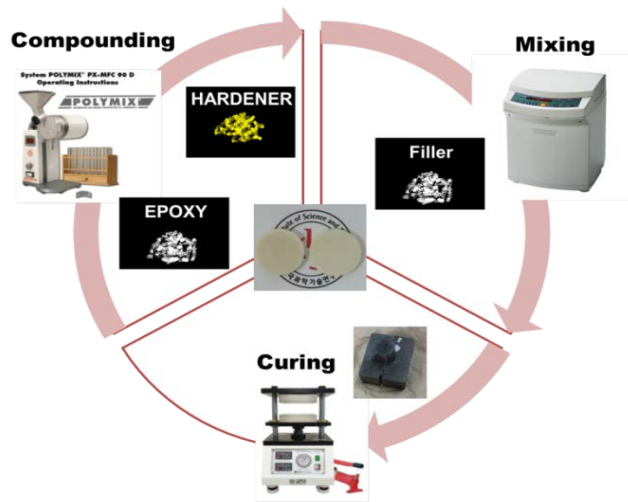


**30 vol%**  
Void: 0.8%

**40 vol%**  
Void: 2.0%

**50 vol%**  
Void: 2.4%

**60 vol%**  
Void: 4.8%



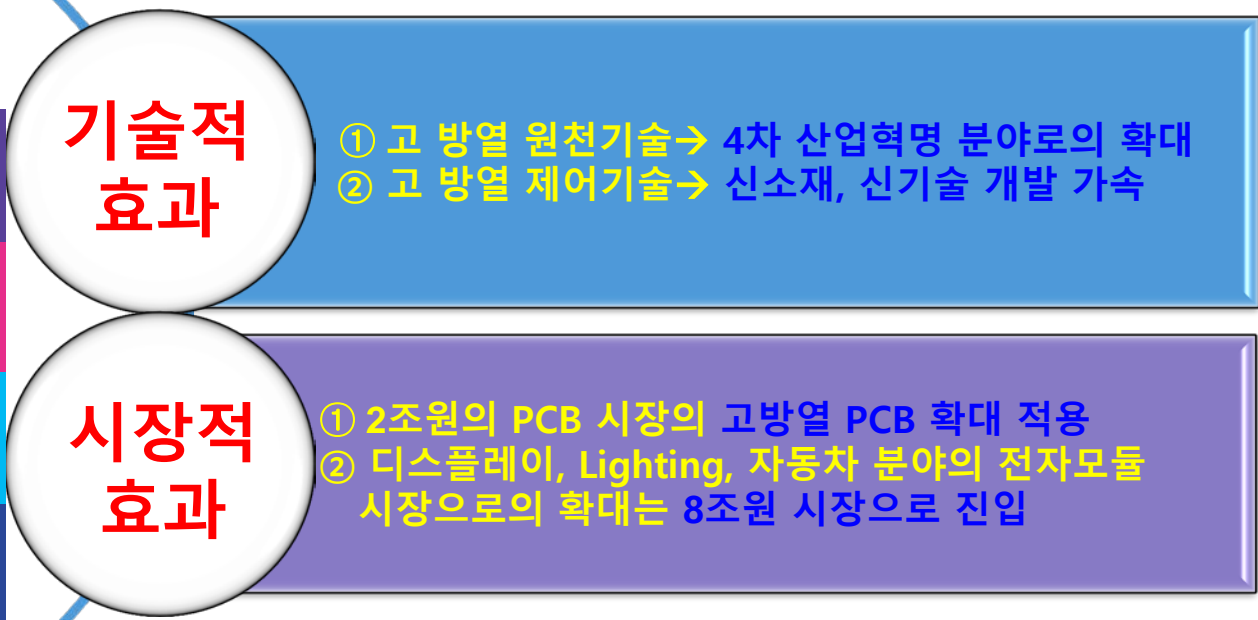
***h*BN (30 μm)**  
• **T<sub>g</sub> ~ 160 °C (DMA)**

# 사업화 방안

## ※ 사업 Roadmap



## ※ 개발제품의 기술·시장성



디스플레이 분야

조명 분야

전기전자 분야

자동차 분야

