

열전도성 입자를 활용한 시트용 점착제의 점착 특성과 방열특성 연구

Comparative Analysis of Heat Sink and Adhesion Properties of Thermal Conductive Particles for Sheet Adhesive

*Corresponding author

Seung Han Lee
(hans@kumoh.ac.kr)

김영수 · 박상하¹ · 최정우¹ · 공이성¹ · 윤관한¹ · 민병길¹ · 이승환^{2,*}

금오공과대학교 소재디자인공학과, ¹금오공과대학교 에너지화학공학과, ²Kit융합기술원

Yeong Su Kim, Sang Ha Park¹, Jeong Woo Choi¹, Lee Seong Kong¹,
Gwan Han Yun¹, Byung Gil Min¹ and Seung Han Lee^{2,*}

Department of Materials Design Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea

¹Department of Polymer Science and Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea

²Kit Convergence Technology Research center, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea

Received_February 19, 2016

Revised_March 09, 2016

Accepted_March 15, 2016

Abstract Improvement of heat sink technology related to the continuous implementation performance and extension of device-life in circumstance of easy heating and more compact space has been becoming more important issue as multi-functional integration and miniaturization trend of electronic gadgets and products has been generalized. In this study, it purposed to minimize of decline of the heat diffusivity by gluing polymer through compounding of inorganic particles which have thermal conductive properties. We used NH-9300 as base resin and used inorganic fillers such as silicon carbide(SiC), aluminum nitride(AlN), and boron nitride(BN) to improve heat diffusivity. After making film which was made from 100 part of acrylic resin mixed hardener(1.0 part more or less) with inorganic particles. The film was matured at 80°C for 24h. Diffusivity were tested according to sorts of particles and density of particles as well as size and structure of particle to improve the effect of heat sink in view of morphology assessing diffusivity by LFA(Netzsch/LFA 447 Nano Flash) and adhesion strength by UTM(Universal Testing Machine). The correlation between diffusivity of pure inorganic particles and composite as well as the relation between density and morphology of inorganic particles has been studied. The study related morphology showed that globular type had superior diffusivity at low density of 25% but on the contrary globular type was inferior to non-globular type at high density of 80%.

Textile Coloration and Finishing

TCF28-1/2016-3/48-56

©2016 The Korean Society
of Dyers and Finishers

Keywords diffusivity, heat sink, thermal conductivity, adhesive, adhesion, inorganic composite, acrylic adhesive

1. 서 론

최근 방열소재는 구조재료의 복합화, 부품 및 구조물의 소형화, 경량화, 고성능화가 가속됨에 따라 자동차, 전기·전자 기기 등 각종 산업 분야에서 광범위하게 이용되고 있다. 전자소자가 고집적화 될수록 더욱 많은 열이 발생하는데, 이 열은 소자의 기능을 저하시킬 뿐

만 아니라 주변 소자의 오작동, 기판 열화 등의 원인이 되고 있기 때문에 방열은 중요하다¹⁻³⁾. 이러한 문제를 해결하기 위해 초기에는 HEAT SINK를 사용하였으나 기기의 소형화 및 경량화를 추구하는 현재 세라믹/고분자 복합체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{4, 5)}. 세라믹/고분자 복합체는 고분자 재료의 장점이 용이한 가공성, 저비용, 경량화, 제품형태의 다양성 등을 그대로

유지하면서 세라믹 재료의 장점인 열전도성까지 부여할 수 있다.

Table 1은 각 재료의 열전도도 값을 나타내고 있는데, 이 논문에서는 다른 재료보다 열전도도가 높은 BN (Boron nitride), AlN(Aluminum nitride), SiC(Silicon carbide) 세 가지를 사용하기로 하였다⁶⁾.

본 연구에서는 스마트기기의 polyimide 플렉시블 회로기판과 방열용 탄소섬유 직물의 점착에 사용되는 아크릴 접착제로 인한 방열성 저하를 최소화하기 위하여 열전도성이 높은 무기입자 SiC, BN, AlN 3가지를 각각 복합하여 무기입자의 종류, 함량, 크기, 구조에 따른 열전도도 및 점착력 차이에 대하여 고찰하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 시약 및 재료

실험에 사용된 아크릴 접착제는 (주)영우에서 제공받은 아크릴 접착제 NH-9300과 (주)비에스지에서 제공

받은 우레탄계 접착제 9450의 점착력 비교 테스트를 거친 후 상대적으로 점착력이 더 높게 나온 NH-9300을 사용하기로 하였다. 경화제로는 (주)영우에서 0제공 받은 Butylated Melamine계 경화제를 사용하였으며, 무기입자는 SiC(1 μ m, 6 μ m), AlN(1 μ m, 6 μ m), BN(4 μ m, 10 μ m)를 SiC(Crystal), AlN(Irregular), BN(Hexagonal)를 각각 사용하였다.

2.2 복합체 제작방법

세라믹/고분자 복합체는 Figure 1에 나타낸 방법으로 제조하였다. 복합체의 각 함량은 Table 2에 표기하였으며 이 양에 맞게 세라믹과 NH-9300, 경화제를 삼구 플라스크에 넣은 뒤 300rpm으로 1시간 교반시켰다. 상대적으로 무기입자의 함량이 많아지는 40/60wt% (Adhesive/Inorganic)에서부터는 교반을 위하여 용매인 Methyl ethyl ketone(MEK)를 200ml 투입하였다. 경화제는 NH-9300의 고휘분인 33wt%를 100part

Table 1. Thermal conductivity and dielectric constant of various materials for fabrication of composite material

Material	Thermal conductivity(W/mK)
Polyester	0.16
Polyimide	0.40
Polypropylene	0.15
Epoxy resin	0.20
Poly(vinyl butyral)	0.20
Polyethylene	0.45
Poly methyl methacrylate	0.21
Silicone resin	0.10
Graphite	~1900
Graphene	4800~5300
CNT	3500
Diamond	2000
Cu	375
Ag	425
Al ₂ O ₃	30
MgO	40
ZnO	54
TiO ₂	8.40
BeO	340
BN	20 \perp , 300//
AlN	200~260
SiC	270
Si ₃ N ₄	30~80
SiO ₂ (crystalline)	12
SiO ₂ (amorphous)	1.40

기준으로 했을 때 1part 투입하였다. 진공 오븐으로 탈포작업을 진행하여 복합체 내에 기포를 제거한 뒤, 열전도도 측정용 샘플은 실리콘 이형제가 도포된 PET 필름 위에 부은 후 Hot press로 80℃에서 5분간 압착하여 두께 1mm로 제조하였고, 접착력 측정용 샘플은 Film casting기를 이용하여 두께 0.5mm로 제조하였다.

2.3 분석

2.3.1 무기입자 및 분산도 관찰

편광 현미경과 주사 전자 현미경(FE SEM-6500F)을 이용하여 무기입자 및 분산도를 관찰하였다. 편광 현미경으로는 탈포 전, 후의 남아 있는 기포 양 비교와 용매 사용 유무에 따른 분산도를 관찰하였고, FE SEM으로는 SiC, AlN, BN의 입자 크기 및 구조를 관찰하였다.

2.3.2 열전도도 측정

열전도도는 Laser Flash Method의 원리를 이용하는 Laser Flash Analysis(LFA)로 측정하였다. LFA는 지름 12.7mm의 원형 샘플 한쪽 표면에 매우 짧고 강렬한 레이저 에너지 펄스를 가하고 반대쪽 표면에 온도변화를 측정함으로써 열확산계수라는 결과 값으로 측정된다. 이 결과 값(α)은 Thermogram이라는 시간에 따른 온도 변화로부터 Parker 공식(1)에 의해 계산된다⁷⁾.

$$\alpha = \frac{0.1388d^2}{t_{1/2}} \dots\dots\dots (1)$$

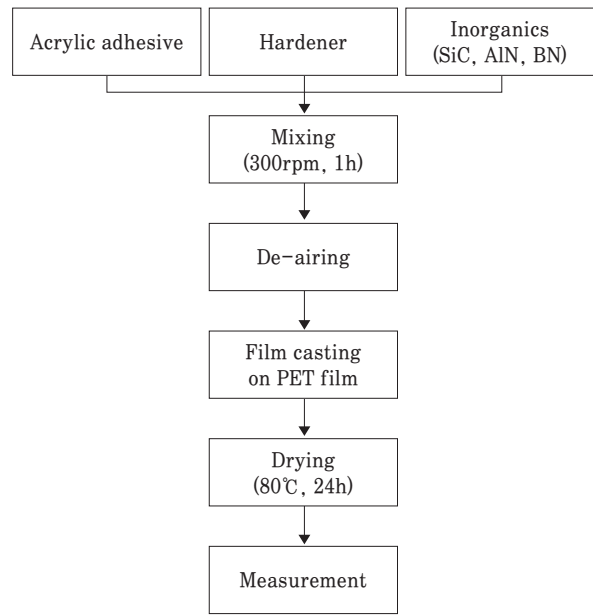


Figure 1. Schematic diagram of experimental procedure for prepare composites.

where,

d : Thickness of the sample

t_{1/2} : Time to half maximum

LFA로 측정된 열확산도 값을 이용하여 다음 식(2)으로부터 열전도도 값을 얻을 수 있다.

$$K = \alpha \times \rho \times C_p \dots\dots\dots (2)$$

Table 2. The components for adhesive and inorganic

Samples (Adhesive/Inorganic) (wt%/wt%)	Acrylic adhesive (g)	SiC (g)	AlN (g)	BN (g)	Hardener (g)	MEK (ml)
95 / 5	71.97		1.25		0.24	
90 / 10	68.18		2.50		0.23	
85 / 15	64.39		3.75		0.21	
80 / 20	60.61		5.00		0.20	
75 / 25	56.82		6.25		0.19	-
70 / 30	53.03		7.50		0.18	
60 / 40	45.45		10.00		0.15	
50 / 50	37.88		12.50		0.13	
40 / 60	30.30		15.00		0.10	
30 / 70	22.73		17.50		0.08	200
20 / 80	15.15		20.00		0.05	

where,

K : Thermal conductivity(W/mK)

α : Thermal diffusivity(mm²/sec)

ρ : density(g/cm³)

C_p : Heat capacity(J/gk)

2.3.3 열중량분석 측정

아크릴 점착제 NH-9300에 사용되는 용매를 확인하기 위해 열중량 분석기(TGA-500 True)를 사용하였다. 소량의 NH-9300을 알루미늄 홀더에 담은 후 20℃에서 500℃까지 승온하여 weight loss 곡선에 따라 데이터 분석을 실시하였다.

2.3.4 점착력 측정

점착력 측정은 ASTM-D3330 규정을 참조해서 Universal Testing Machine(UTM) 기기를 사용하였다. 먼저 피착재로 SUS 304 시험판을 준비하고 점착력 측정용으로 만든 샘플을 폭 25mm, 길이 250mm로 잘라 시험판에 부착시키고 2kg 압착 롤러로 1회 왕복하여 압착하였다. 항온항습 조건(23±2℃, 50±10%)에서 30분 보관 후 UTM에 거치시키고 300mm/min의 속도로 측정하였다. 측정값은 UTM 가동 후 25mm 지점부터의 평균값을 구하였다⁸⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 무기입자 및 분산도 관찰

Figure 2는 크기와 구조에 따라서 열전도도 차이가 있는지를 확인하기 위하여 구매한 무기입자들을 FE-SEM을 이용하여 관찰한 사진이다. 각각 SiC 1 μ m-(a), 6 μ m-(b), crystal-(c), AlN 1 μ m-(d), 6 μ m-(e), irregular-(f), BN 4 μ m-(g), 10 μ m-(h), hexagonal-(i)를 나타내고 있다.

Figure 3은 NH-9300 90wt%와 SiC 10wt%의 샘플 제작하는 과정에서 편광 현미경으로 기포 및 분산도를 관찰한 사진이다. (a)는 탈포작업을 진행하기 전 사진이고, (b)는 분산도 비교를 위해 MEK를 사용한 뒤 탈포작업을 진행한 사진이고, (c)는 MEK를 사용하지 않고 탈포작업을 진행한 사진이다. (a)와 (b) 사진을 비교하였을 때 검은색으로 나타나는 기포가 거의 사라진 것을 알 수 있었고, (b)와 (c) 사진을 비교하였을

때 MEK 사용 유무에 따른 분산도 차이는 나타나지 않는다는 것을 알 수 있었다.

Figure 4는 각 SiC, AlN, BN과 점착체를 복합한 샘플의 파단면을 관찰한 사진이다. 각 무기입자 함량은 25wt%로 동일 하였으며 전체적으로 고르게 분산되어 있다는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 열전도도

Table 3은 무기입자 SiC 1 μ m, AlN 1 μ m, BN 4 μ m일 때의 각 함량별 열전도도를 나타내고 있다. 세 가지 무기입자 모두 함량이 증가할수록 열전도도가 높아지는 경향을 보였으며, 80wt%를 넘어갔을 때는 샘플이 갈라져 LFA측정이 불가능하였다. SiC와 BN은 비슷한 열전도도 증가 값을 보였으나 SiC가 더 낮은 함량으로 높은 효과를 나타내고 있다. 이는 SiC가 BN보다 상대적으로 높은 밀도 값을 가지고 있어서 낮은 함량에서도 먼저 percolation에 도달하기 때문이라고 보여진다⁹⁾. AlN은 SiC 및 BN과 비교하였을 때 낮은 열전도도 값을 나타내는데 이는 순수 무기입자에서의 열전도도 값이 세 가지 무기입자 중에 가장 낮게 나오기 때문이다.

Figure 5에서 열전도입자 함량에 따른 열전도도 결과치를 분석해보면 SiC와 AlN은 25wt%, BN은 40wt% 부분의 저농도에서 중농도 이상으로 증가함에 따라 현저히 열전도율이 증가하는 것은 열전효과가 효과적으로 나타나기 위한 최소 열전달 연결 매트릭스 구조를 구현하게 됨으로써 급증하는 것으로 추정되며, 비슷한 비중에 가진 SiC와 AlN은 유사한 농도에서 이런 현상이 일어남을 확인할 수 있었다.

Table 4은 세 가지 무기입자의 크기별 열확산도를 측정한 값이다. 무기 입자들의 크기별 열확산도 비교는 percolation이 발생하는 지점인 25wt% 복합체와 가장 높은 함량을 가지는 80wt% 복합체를 선정하여 측정하였다. 그 결과 25wt%에서는 상대적으로 작은 크기일 때 더 높은 열확산도가 나타났다. 이는 Zhou 연구팀과 Mu 연구팀에서 입증한 무기입자 크기가 작아질수록 증가한다는 연구결과와 같았으며 무기입자의 크기가 작아지면서 단위 부피당 표면적이 넓어지므로 열전달이 더 잘 일어난다는 것을 알 수 있었다¹⁰⁻¹³⁾. 그러나 AlN의 80wt%에서는 오히려 무기입자의 크기가 작을 때보다 클 때 더 높은 열전도도가 나타났다. 이

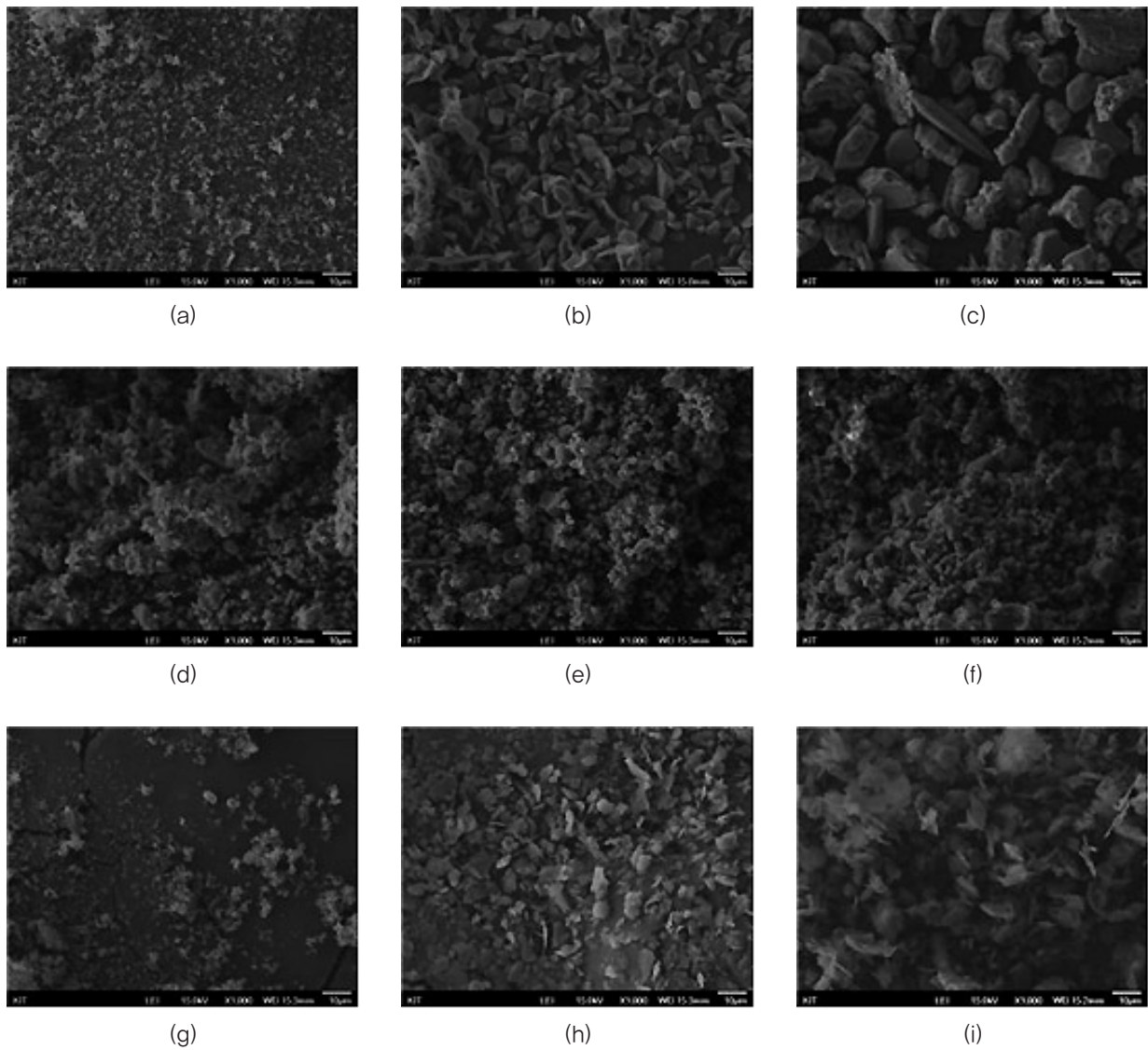


Figure 2. FE-SEM images of inorganic (a) SiC 1 μ m, (b) SiC 6 μ m, (c) SiC crystal, (d) AlN 1 μ m, (e) AlN 6 μ m, (f) AlN irregular, (g) BN 4 μ m, (h) BN 10 μ m, (i) BN hexagonal(x1000).

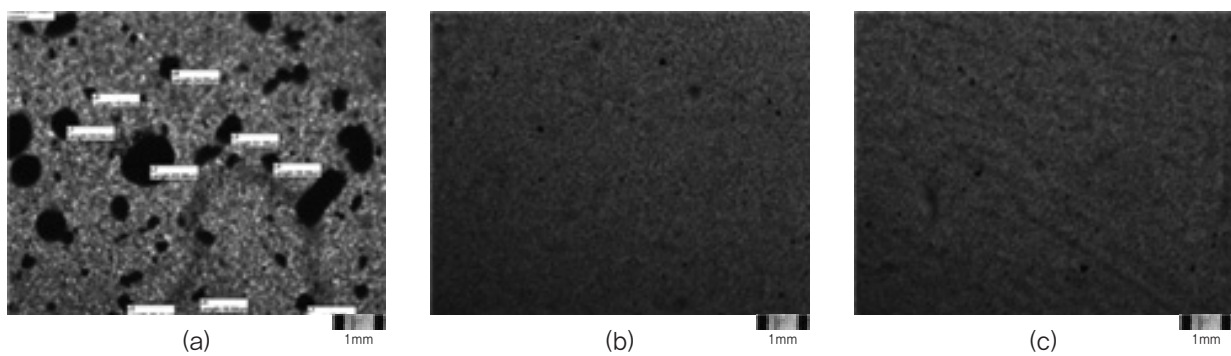


Figure 3. Polarization microscope images of adhesive/SiC(90/10wt%) composites (a) non-defoamation and using MEK, (b) defoamation and used MEK, (c) defoamation and unused MEK(\times 200).

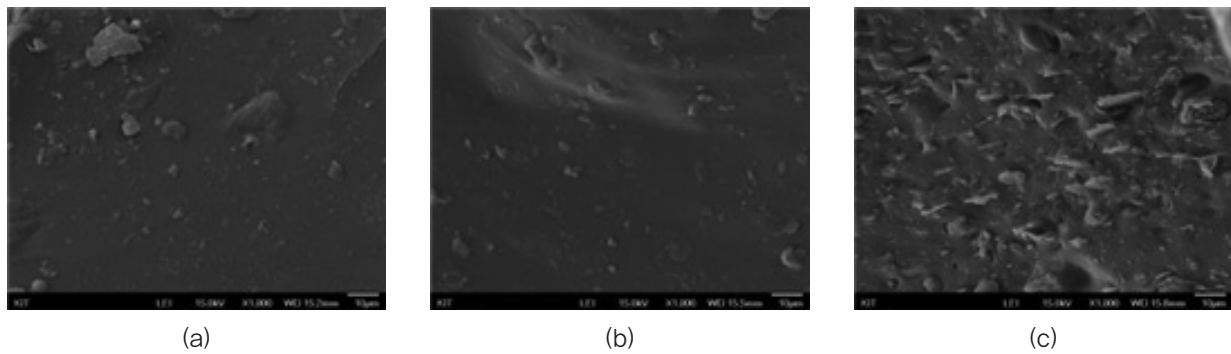


Figure 4. FE-SEM morphology of adhesive/inorganic(75/25wt%) composites (a) SiC/adhesive, (b) AlN/adhesive, (c) BN/adhesive(x1000).

는 격자 진동에 의한 phonon 전도 중심의 무기물인 SiC와 BN과는 달리 AlN은 자유전자이동 영향에 따라 나타나는 차이라고 예상된다.

Table 5는 세 가지 무기입자의 구조에 따른 열확산도를 측정 한 값이다. 이 실험 역시 앞의 실험과 동일하게 25wt% 복합체와 80wt% 복합체를 선정하여 측정하였다. Table 5의 결과는 세 가지 무기입자 모두 25wt%에서 globular가 crystal, irregular, hexagonal보다 더 높은 열확산도를 가졌다. 그러나 80wt%에서는 오히려 crystal, irregular, hexagonal일 때가 더 높은 열확산도를 가졌다. 이는 저농도에서는 규칙적 특성을 지닌 구조가 더 좋은 열확산 효과를 나타내며, 고농도에서는 비규칙적 특성을 지닌 구조가 공극 연결 역할을 함으로써 열전 현상이 개선되어지는 것으로 추정된다.

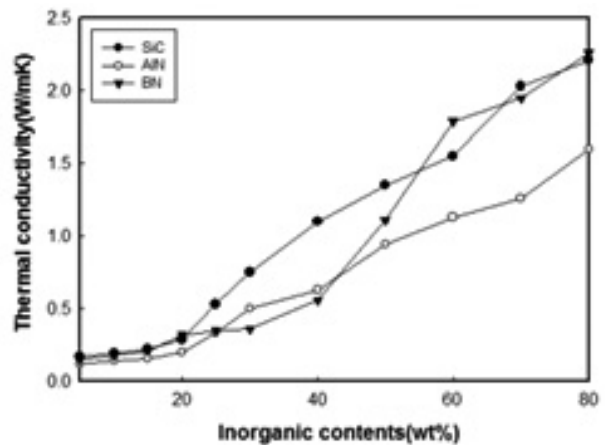


Figure 5. Thermal conductivity of adhesive/SiC, adhesive/AlN, adhesive/BN composites with weight percent(wt%).

Table 3. Thermal conductivity of adhesive/SiC, adhesive/AlN, adhesive/BN composites with weight percent(wt%)

Samples (Adhesive/Inorganic) (wt%/wt%)	Thermal conductivity(W/mK)		
	SiC	AlN	BN
95 / 5	0.17	0.12	0.15
90 / 10	0.19	0.14	0.18
85 / 15	0.22	0.16	0.21
80 / 20	0.29	0.20	0.32
75 / 25	0.53	0.33	0.35
70 / 30	0.75	0.50	0.36
60 / 40	1.10	0.63	0.56
50 / 50	1.35	0.94	1.11
40 / 60	1.55	1.13	1.79
30 / 70	2.03	1.26	1.95
20 / 80	2.21	1.60	2.26

Table 4. Thermal diffusivity of inorganic according to size

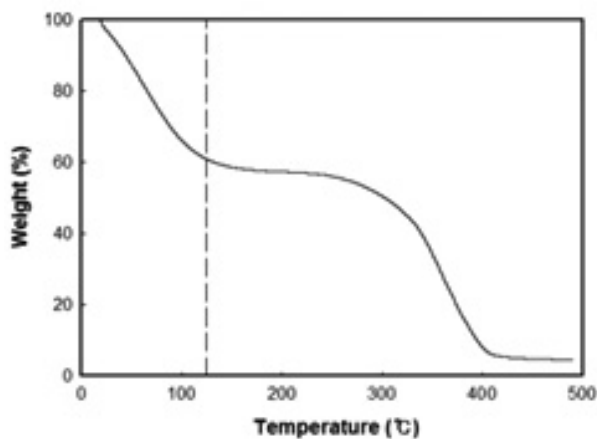
Samples (Adhesive/Inorganic) (wt%/wt%)	Thermal diffusivity(mm ² /s)					
	SiC		AlN		BN	
	1 μ m	6 μ m	1 μ m	6 μ m	4 μ m	10 μ m
75 / 25	0.203	0.095	0.142	0.115	0.177	0.150
20 / 80	0.789	0.696	0.563	0.709	1.092	0.898

3.3 TGA

Figure 6에서는 NH-9300에 사용되는 용매가 Methyl benzene, Acetic acid ethyl ester였으며, TGA 분석을 통하여 약 110 $^{\circ}$ C 지점에서 기올기가 완만해 지는 것을 알 수 있었다. 이를 해석해보면 용액상태의 NH-9300이 용매의 boiling point인 77.1 $^{\circ}$ C(Acetic acid ethyl ester), 111 $^{\circ}$ C(Methyl benzene)을 지나면서 용매가 모두 증발하여 고형분만 남게 되기 때문에 110 $^{\circ}$ C 부근에서 기올기가 완만해지고, 남은 고형분은 400 $^{\circ}$ C 부근에서 거의 타버린다는 것을 알 수 있다.

3.4 접착력

Table 6는 가장 높은 효율을 나타낸 25wt% 함량에

**Figure 6.** TGA curves of adhesive NH-9300.

서 1 μ m의 SiC와 AlN, 4 μ m의 BN을 Globular 구조로 제작한 샘플의 접착력 측정값을 나타낸 것이다. Non은 무기입자를 사용하지 않은 순수 점착제의 접착력을 나타내고 있으며 무기입자들이 25wt% 복합되었을 때 전체적으로 접착력이 크게 감소한다는 것을 나타내고 있다. BN은 SiC, AlN과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 접착력을 나타내고 있는데, 이는 BN이 가지고 있는 낮은 밀도 때문에 무기입자가 차지하는 부피가 더 커서 접착력이 떨어졌다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 아크릴 점착제 NH-9300에 세 가지 무기입자 SiC, AlN, BN 복합하여 함량별, 형태적 특성(크기, 구조)에 따른 열전도 변화 결과를 확인하였다.

1. 무기입자에 따른 열전도도는 순수 무기입자의 열전도도 값과 비례하게 SiC, BN, AlN 순으로 높게 나왔으며, 함량에 따른 열전도도는 밀도가 비슷한 SiC와 AlN은 25wt%에서 급격한 변화가 일어났고 밀도가 낮은 BN은 40wt%에서 일어났다.
2. 입자 크기에 따른 열확산도 비교 실험에서는 저농도(25wt%)에서는 SiC는 입자 크기가 1 μ m 일 때가 0.203mm²/s, BN은 1 μ m 일 때가 0.177mm²/s로, SiC 6 μ m 일 때 0.095mm²/s, BN 10 μ m 일 때 0.150mm²/s 보다 좋게 나타났으며, 고농도(80wt%)에서는 입자

Table 5. Thermal diffusivity of inorganic according to structure

Samples (Adhesive/Inorganic) (wt%/wt%)	Thermal diffusivity(mm ² /s)					
	SiC		AlN		BN	
	Globular	Crystal	Globular	Irregular	Globular	Hexagonal
75 / 25	0.203	0.176	0.142	0.098	0.177	0.147
20 / 80	0.789	0.793	0.563	0.718	1.092	1.764

Table 6. Adhesion of adhesive/SiC, adhesive/AlN, adhesive/BN composites with weight percent(wt%)

Samples (Adhesive/Inorganic) (wt%/wt%)	Adhesion(gf/in)			
	Non	SiC	AlN	BN
100 / 0	1815.10	-	-	-
75 / 25	-	865.24	824.52	721.15

크기가 작은 것이 열확산도가 우수한 것으로 확인되었다. 그러나 AlN의 경우는 저농도(25wt%)에서는 입자 크기가 1 μ m 일 때가 0.1402mm²/s, 6 μ m 일 때가 0.115mm²/s로 동일한 경향을 보이나 고농도(80wt%)에서는 1 μ m 일 때가 0.563mm²/s, 6 μ m 일 때가 0.709mm²/s로 반대의 결과를 확인할 수 있었다. 고농도에서의 AlN은 크기가 클 때 더 좋은 열확산도를 나타내었는데 이는 앞서 말한 것과 같이 일반적인 무기물의 Phonon의 격자진동에 의한 열전현상과 금속의 자유전자 이동에 의한 열전 방식과 관련된 입자의 특성 발현이 수지내 형태적 구성과 연계하여 이런 성능 차이를 유도하는 것으로 예상된다.

3. 방열입자의 구조 비교실험에서는 저농도(25wt%)에서는 Globular가 Crystal, Irregular, Hexagonal 보다 효율이 더 좋게 나타났으나, 고농도(80wt%)에서는 오히려 Crystal, Irregular, Hexagonal 일 때 더 높은 열확산도 결과를 확인하였다. 이는 저농도에서는 보다 규칙적 특성을 지닌 구조가, 고농도에서는 필요로 하는 규칙적 특성에 비정형적 형태의 입자가 공극 연결 역할을 함으로써 열전 현상이 개선되어지는 것으로 추정된다.
4. 방열소재의 함량에 따른 점착성은 SiC, AlN, BN의 순으로 확인 되었으며, BN의 경우 비중과 연계한 표면적 비율 증대에 따른 결과로 확인 된다.

결론적으로 본 연구 결과로부터 우수한 방열시트용 접착제를 제조하기 위하여 방열입자상의 열전도도가 높은 무기입자를 선택하고, 함량별 특성을 고려하여 저농도에서는 Globular 구조를 고농도에서는 Non-globular 구조를 선택하고, 소재 종류별 크기별 함량과 열확산도의 상이함 및 필요 점착성을 고려하여 적용하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업으로 수행된 연구 결과입니다(This research was supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) through the Encouragement Program for The Industries of Economic Cooperation Region).

References

1. R. Viswanath, V. Wakharkar, A. Watwe, and V. Lebonheur, Thermal Performance Challenges from Silicon to System, *Intel. Technol. J.*, **Q3**, 1(2000).
2. K. C. Yung, H. Liem, H. S. Choy, and W. K. Lun, Thermal Performance of High Brightness LED Array Package on PCB, *Int. Commun. Heat Mass Transfer.*, **37**, 1266(2010).
3. R. Liu, D. Schreurs, W. D. Raedt, F. Vanaverbeke, R. Mertens, and I. D. Wolf, Thermal Optimization of GaN-onSi HEMTs with Plastic Packaging, *Microelectron. Reliab.*, **51**, 1788(2011).
4. G. Sui, S. Jana, W. H. Zhong, M. A. Fuqua, and C. A. Ulven, Dielectric Properties and Conductivity of Carbon Nanofiber/semi-crystalline Polymer Composites, *Acta Mater.*, **56**, 2381(2008).
5. D. D. L. Chung, Thermal Interface Materials, *J. Mater. Eng. Perform.*, **10**, 56(2001).
6. X. C. Tong, Advanced Materials for Thermal Management of Electronic Packaging, *Springer*, **30**, 59(2011).
7. W. J. Parker, R. J. Jenkins, C. P. Butler, and G. L. Abbott,

- Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity, and Thermal Conductivity, *J. Appl. Phys.*, **32**, 1679(1961).
8. ASTM D 3330-96, "Standard Test Method for Peel Adhesion of Pressure Sensitive Tape at 180° Angle", 1997.
 9. R. E. Newnham, D. P. Skinner, and L. E. Cross, Connectivity and Piezoelectric Pyroelectric Composites, *Mater. Res. Bull.*, **13**, 525(1978).
 10. W. Zhou, S. Qi, C. Tu, H. Zhao, C. Wang, and J. Kou, Effect of the Particle Size of Al₂O₃ on the Properties of Filled Heat-conductive Silicone Rubber, *J. Appl. Polym. Sci.*, **104**, 1312(2007).
 11. Q. Mu, S. Feng, and G. Diao, Thermal Conductivity of Silicone Rubber Filled with ZnO, *Polym. Compos.*, **28**, 125(2007).
 12. H. S. Seo, H. K. Lee, and E. S. Yoo, Particle Size, Morphology and Color Characteristics of C.I. Pigment Red 57:1, 1. Effect of Synthesis Conditions, *Textile Coloration and Finishing*, **27**, 229(2015).
 13. H. S. Seo, H. K. Lee, and E. S. Yoo, Particle Size, Morphology and Color Characteristics of C.I. Pigment Red 57:1, 2. Effect of Salt Milling Process, *Textile Coloration and Finishing*, **27**, 245(2015).