

## 열변형 저감을 위한 고분자 복합소재 배합 조건에 따른 재료특성 분석

변상원<sup>\*</sup> · 김영신<sup>\*\*</sup> · 전의식<sup>\*\*\*†</sup>

<sup>\*</sup>공주대학교 일반대학원 기전공학과, <sup>\*\*</sup>(주)마이크로컨택솔루션,

<sup>\*\*</sup>공주대학교 생산기술연구소,

<sup>\*\*\*†</sup>공주대학교 일반대학원 미래융합공학과, 공주대학교 생산기술연구소

## Analysis of Material Properties According to Compounding Conditions of Polymer Composites to Reduce Thermal Deformation

Sangwon Byun<sup>\*</sup>, Youngshin Kim<sup>\*\*</sup> and Euy sik Jeon<sup>\*\*\*†</sup>

<sup>\*</sup>Kongju National University , Micro Contact Solution Co., LTD,

<sup>\*\*</sup>Kongju National University Industrial Technology Research Institute,

<sup>\*\*\*†</sup>Kongju National University General Graduate School of Future Convergence Engineering,  
Kongju National University Industrial Technology Research Institute

### ABSTRACT

As the 4th industrial age approaches, the demand for semiconductors is increasing enough to be used in all electronic devices. At the same time, semiconductor technology is also developing day by day, leading to ultra-precision and low power consumption. Semiconductors that keep getting smaller generate heat because the energy density increases, and the generated heat changes the shape of the semiconductor package, so it is important to manage. The temperature change is not only self-heating of the semiconductor package, but also heat generated by external damage. If the package is deformed, it is necessary to manage it because functional problems and performance degradation such as damage occur. The package burn in test in the post-process of semiconductor production is a process that tests the durability and function of the package in a high-temperature environment, and heat dissipation performance can be evaluated. In this paper, we intend to review a new material formulation that can improve the performance of the adapter, which is one of the parts of the test socket used in the burn-in test. It was confirmed what characteristics the basic base showed when polyamide, a high-molecular material, and alumina, which had high thermal conductivity, were mixed for each magnification. In this study, functional evaluation was also carried out by injecting an adapter, a part of the test socket, at the same time as the specimen was manufactured. Verification of stiffness such as tensile strength and flexural strength by mixing ratio, performance evaluation such as thermal conductivity, and manufacturing of a dummy device also confirmed warpage. As a result, it was confirmed that the thermal stability was excellent. Through this study, it is thought that it can be used as basic data for the development of materials for burn-in sockets in the future.

**Key Words :** Heat dissipation, Burn in socket adapter, Composite material, Fiber reinforced

### 1. 서 론

4차 산업혁명에 있어서 반도체의 성능은 나노수준을

<sup>†</sup>E-mail: osjun@kongju.co.kr

산업적으로 다를 만큼 정교화되고 있으며 초고용량화, 초고속화, 저전력화가 요구되고 있다. 최근에는 5G, AI, 전장용 반도체의 고성능화로 고밀도 초슬림 반도체의 검토가 활발히 진행 중이며 이를 평가하기 위한 test socket의 개발도 함께 이뤄지고 있다. 최근에는 성능이 급속도로 발전

하는 중이며 이 수요 또한 폭발적으로 증가하고 있다. 반도체의 성능 및 용량은 증가하며 크기는 작아지는 추세 속에서 단가 상승 및 발열에 따른 문제점도 크게 대두되고 있다. 이러한 반도체를 검사하는 검사 장비는 점점 더 복잡해지고 있다. 반도체 검사 장비는 검사 대상인 반도체 패키지의 온도 변화 테스트도 동시에 진행함에 따라 온도 변화에 따른 영향이 매우 중요하다. 패키지 검사를 위한 test socket의 하단에는 pcb board가 장착되어 main board와 결속되게 되는데 이 pcb board에는 FOB칩이 장착된다. 이 FOB칩은 발열에 매우 취약하여 FOB칩의 열이 socket에 전달되므로 방열판을 부착시켜 발열에 대한 시뮬레이션을 평가하는 검토도 이뤄진 바 있다[1].

반도체 패키지는 소자의 선택이 줄어들어 웨이퍼 상에서 패키징을 하는 FOWLP(Fan-Out Wafer Level Packaging) 공정으로 적용되어 있으며 기존의 WLP(Wafer Level Packaging) 방식 보다 소형화가 가능하며 기판의 두께가 빠지는 만큼 더 얇고 많은 패키지를 만들 수 있게 되었다. 그러나 대량 생산을 위해서는 warpage 문제를 해결해야 한다. Warpage 현상을 분석하기 위한 해석과 연구가 진행되었다 [2]. 또한 package용 기판 및 epoxy resin 성형 재료에 대한 성형성 및 내열성 등을 개선한 새로운 소재 개발 연구도 선행되고 있다. 새로운 차세대 packaging 소재로서 저열팽창화 및 내열성이 우수한 ethoxysily 기를 갖는 신규 Epoxy Resin System의 경화특성을 조사한 연구도 있다[3].

반도체 8대 공정 중 마지막인 패키징 공정에서 burn in test는 반도체 device의 초기 불량을 검출하기 위한 반도체 신뢰성 test 중 하나이며 고온(약 85°C~150°C) 환경에서 일정한 시간 동안 전기적 신호 등을 통해 메모리가 구동되는 과정에서 정상적인 기능을 작동할 수 있는지 확인하는 시험 항목이다. 초슬림 package는 이런 고온 test 환경에서 warpage 변형에 노출되어 있으며 burn in socket의 부품인 adapter의 역할이 매우 중요하다. Burn in socket에 적용되는 adapter는 일반적으로 package의 ball 배열에 따라 guide ball cup을 구현해야 하기에 성형성도 뛰어난 소재를 사용해야 하며 내열성도 가지고 있어야 한다. 더불어 방열 성능을 가지고 있는 소재로 제작되어야 package warpage를 줄일 수 있다.

Multi-layer 구조인 반도체 패키지의 warpage 현상은 그 두께가 얇아짐에 따라 신뢰성에 가장 지배적인 영향을 미친다. 이러한 warpage는 반도체 패키징 공정 중 Epoxy Molding Compound(EMC)의 경화 과정에 의한 화학적 수축과 반도체 패키지 구성요소간의 열팽창계수차에 의한 물리적 수축에 의한 것으로 알려져 있다[4]. 반도체 패키지는 솔더 후의 변형 거동 및 파손을 예측하기 위해 일반적으로 유한요소 해석을 하며 고온에서의 변형을 최소화하-

고자 패키지의 복합재료들의 물성치로 탄성영역을 검토하는 열변형 해석 연구가 진행되고 있다[5].

패키지 제작 또한 중요한 요소로써 패키지 형태의 구조, 재료의 물성 및 공정도 변형을 유발 할 수 있다. EMC의 두께의 영향, 열팽창계수의 영향, 그리고 실리콘 다이의 크기 및 두께 등 여러가지 인자들의 영향에 대한 힘변형의 연구도 진행되었다. 이처럼 초박형 반도체 패키지의 warpage를 줄이기 위한 연구도 한창 진행 중이다[6]. 아울러 소재에 대한 검토도 이뤄지고 있다. 일반적으로 폴리머는 열전도성이 낮아 열전도도를 향상시키기 위해 알루미나와 같은 열전도도가 높은 세라믹 소재를 배합한다 [7].

파이버를 보강재로 하는 고분자 복합 소재는 비강도가 높아 금속분야를 대체하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 polyamide 베이스에 carbon nanotube 외에 graphite 분말과 carbon fiber를 첨가한 micro filler와 carbon nanotube를 동시에 혼입한 복합재료를 제작한 사례도 있다[8].

본 논문에서는 이러한 burn in socket의 주요 부품인 adapter의 전기 절연, 강도 및 방열 성능을 만족하기 위하여 고분자 재료와 섬유 및 세라믹 소재의 배합비에 따른 성능 특성 분석을 실시하였다. 복합소재의 모재는 polyamide로 적용하였으며 강성을 보강하기 위해 glass fiber를 첨가하였다. 또한 열전도율을 높이기 위해 열전도율이 높은 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 추가하였다[9].

본 연구에서는 고분자 소재인 polyamide에 알루미나와 glass fiber를 특정 배율로 시편을 제작하여 각 조건별 특성을 비교 검증하였으며 제품으로 형상화하여 실제 burn in test와 유사한 환경에서의 특성 변화를 비교 후 가장 열변형이 작은 샘플을 찾아 보았다. 또한 치수 안정성과 방열 성능이 뛰어난 원재료 배합을 찾아 또 다른 제품에도 적용할 수 있는 기초적인 실험의 연구결과를 얻었다. 본 연구를 통해 향후 방열 소재 개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 복합소재 시편 및 Adapter 제작

### 2.1 복합소재 특성 평가용 시편 제작

고분자 소재는 선행 연구를 통해 확인된 polyamide6로 선정하였으며 열전도성 필러로는 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 선정하였다. 강도와 성형성을 위해 glass fiber 소재로 선정하였으며 소재 함량을 총 5가지의 조건으로 배합하였다.

본 연구에서 사용된 고분자 소재인 폴리머(Polyamide6)는 효성社의 1011br, RV 2.4(Korea)를 사용하였으며, 베이스 소재인 polyamide6는 엔지니어링 플라스틱으로 인장강도 및 내충격성이 우수하여 자동차 및 전기전자분야에 많이

사용되며 성형성이 좋아 소형 부품 사출 생산에 용이하다. 그러나 수분함량이 높아 제습 및 건조가 필요하며 치수의 안정성이 불안한 특성이 있다. 용융 온도는 약 260~280°C 정도이며 뒤틀림 수준도 낮은 소재이다[10]. 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )는 열전도성 세라믹 소재로서 열전도계수가 높고 절연 특성이 있어 배합소재로 선정하였다. 알루미나는 금속에 비해 비중이 낮고 내마모성, 내식성, 고온특성이 우수하지만 가공성이 나빠 제조에 어려움이 있다[11]. 열전도 필러 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )는 동국 R&S社의 구형 alumina를 사용하였다. 구형 알루미나는 다양한 크기의 입자로 되어있으며 5~50 $\mu\text{m}$ 정도의 입자직경을 가지고 있어 압축시 밀도를 증가시키며 이와 더불어 내마모성, 고충진성, 고유동성의 특징이 있다. 화학적 순도는 99.9%수준이며 245 free  $\text{Na}^+$  [ppm] 및 11 free  $\text{Cl}^-$  [ppm]을 포함하는 DSP-AS 시리즈를 사용하였다. Glass fiber는 일반적으로 조성물의 점도를 향상시켜 성형성과 강성을 높이기에 배합 소재로 선택했다. Glass fiber는 효성社에서 제공받았으며 인장강도는 5,000MPa이상이며 탄성계수는 250GPa, 밀도 1.8  $\text{m}^3$ , 직경7 $\mu\text{m}$ , 길이 3~12  $\text{mm}$ 짜리를 사용하였다.

Table 1은 5가지 복합 소재 시편 제작을 위한 재료별 혼합비를 나타낸 것이다. glass fiber의 함량 및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 함량 변화에 따라 시편을 제작하였다.

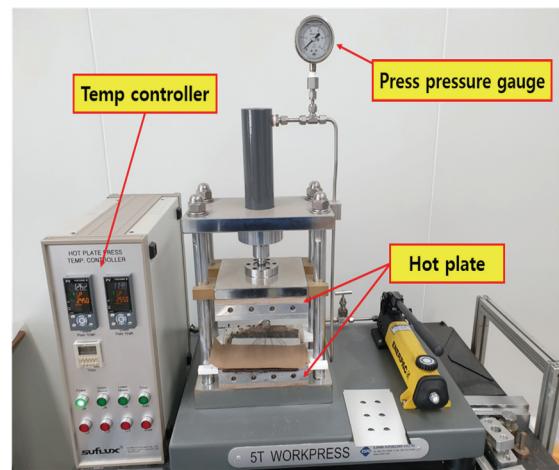
**Table 1.** Compounding conditions

Compounding conditions (wt%)	A	AA	AB	AC	AD
Polyamide6	100	45	50	35	30
Glass Fiber	-	5	10	-	-
$\text{Al}_2\text{O}_3$	-	50	40	65	70

시편 제작시 polyamide6는 앞서 설명한대로 수분함량이 높아 강성, 연신율 등 기계적 특성에 영향을 줄 수 있기에 건조 작업이 필요하여 hopper dryer로 온도 85°C에 4시간을 건조하여 수분함량을 0.12%이하로 조정하였다. polyamide6 복합재료는 유니플러스社의 압출기를 사용하였으며 스크류 속도 300~500rpm, 용융 온도 250~290°C로 제조하였다. 압출기의 스크류 직경은 32mm였고, 길이-직경 비율은 40이었습니다. 시편은 NE-80(80톤의 클램핑력)을 적용하여 제작되었다. 기계적 물성 분석 시료는 사출 성형으로 제작하였으며 사출 조건은 성형 온도를 260°C, 사출 압력을 6.5MPa로 설정하였다.

열전도도 실험 시편 제작을 위해 챔버에서 120°C로 2시간 건조한 펠렛(pellet)을 특수 제작된 hot plate press 장치를 활용하여 온도 240~250°C 압력 약 25MPa로 설정하여 두께

1.0mm의  $\Phi$ 12.7mm의 원형 시편을 제작하였다. Fig.1은 열전도 시편 제작을 위한 hot plate press 장치 사진을 나타낸 것이다.



**Fig. 1.** Hot plate press machine image.

## 2.2 복합소재 특성 평가 방법

인장강도(Ts) 시험과 굴곡강도(Fs) 시험은 QM100TM 만능시험기를 사용하였으며, ASTM D638-14(인장), ASTM D790-17(굴곡)에 따라 가압 속도는 5~10 $\text{mm}/\text{min}$ 로 실온에서 3회 수행하였다. 노치 충격 강도는 ASTM D256-10에 따라 상온에서 QM700A 충격 시험기로 측정하였다. 열전도(Tc)는 ASTM E1461에 따라 LFA447를 사용하여 측정했다. 또한 소재의 합성 형상을 위한 SEM(Scanning Electron Microscope)은 TESCAN社의 VEGA III LMU 장비로 10kV의 가속전압을 사용하였으며, 샘플은 해상도를 높이고 정전기를 방지하기 위해 백금으로 코팅 후 촬영했다.

## 2.3 특성 평가용 Adapter 제작

Burn in socket의 adapter는 반도체 package를 socket에 안착시키기 위해 guiding하는 역할을 한다. 사출로 제작된 adapter는 고온의 burn in test에서 뒤틀림 및 수축/이완 등의 변형이 없어야 한다. Adapter 사출기는 Sumitomo社의 SE100DUZ로 clamping force 100ton의 사양의 장비를 사용하였으며 사출 전 수분 함량이 많은 폴리머의 펠렛을 130°C의 온도로 12hours을 건조하였으며 사출 노즐 온도는 270°C로 셋팅하였고 실린더는 250~265°C의 온도로 90 $\text{mm}/\text{sec}$ 의 속도와 압력 2,400kg·f/cm<sup>2</sup>로 사출하였다. Fig. 2는 본 논문에서 사용된 burn in socket 및 adapter의 개념도를 나타낸 것이고 Fig. 3은 기존 소재로 사출된 adapter와 5가지 배합 비율에 의해 제작된 pellet을 이용하여 사출된 adapter를 나타낸 것이다.

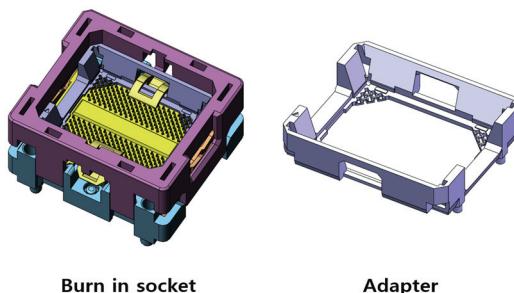


Fig. 2. Burn in socket and adapter image.

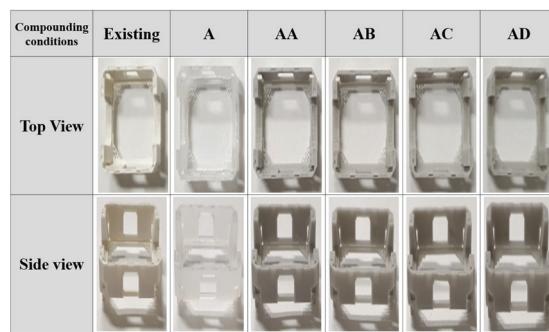


Fig. 3. Adapter shape for each condition.

#### 2.4 Adapter 특성 평가 방법

배합 조건별로 사출 제작된 adapter는 고온 환경에서 package를 guide하는 내측치수의 변화가 있는지와 adapter를 소켓에 조립 후 dummy device를 제작하여 고온에서 bake 전/후 warpage 변화량을 비교하였다.

사출된 adapter의 관리 치수 중 내측 size를 검증하였다. 일반적으로 package size 대비  $+0.02\text{mm}$ 의 spec으로 제작되며 bake 전/후 변화량을 각 배합 조건별로 검증했다.

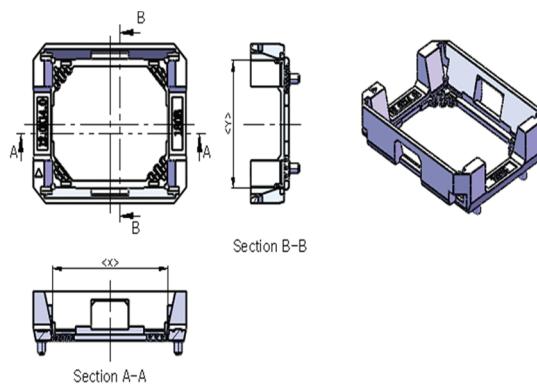


Fig. 4. Adapter inner size measurement point.

Fig. 4는 실험한 adapter의 형상과 내측 치수를 형상으로 나타냈다. 사출 상태와 제품에 조립한 상태, 그리고 고온  $125^{\circ}\text{C}$ 에 4시간동안 bake를 진행한 상태를 소재 배합조건 별로 각 5개씩 검증했다. target spec은 X축  $14.10\pm0.02$  / Y축  $12.10\pm0.02\text{mm}$ 이다. bake에 사용된 챔버는 대홍과학주의 DTHC-150-50S 모델이며 가용온도는  $-50\text{~}200^{\circ}\text{C}$ 이다. 측정에 사용된 장비는 올림푸스社의 STM6장을 활용 하였으며, dummy device warpage 측정을 위해 Nikon社의 Confocal NEXIV 3040비접촉 3차원 측정기를 사용하였다. 시험에 사용된 device의 사양은 전체 두께  $0.9\text{mm}$ 에 PCB 두께는  $0.61\text{mm}$ 를 사용하였다.

### 3. 복합소재 특성 분석

#### 3.1 시편 특성 평가 결과

제작된 시편의 기계적 강도 및 열전도도를 측정하여 Table. 2에 나타내었다.

Table 2. Test results for each condition

Compounding conditions	A	AA	AB	AC	AD
Tensile strength (MPa)	75	70	60	55	60
Flexural strength (MPa)	100	110	118	100	99
Flexural modulus (GPa)	2.9	6.2	5.7	7.7	9.0
Impact strength (J/m)	28.4	32.0	38.0	30.0	29.0
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.1	1.8	1.7	2.0	2.2
Hardness (HRB)	119	117	118	117	117
Thermal conductivity (W/mK)	0.3	0.6	0.6	1.0	1.2

Fig. 5는 각 샘플별 인장강도를 그래프로 나타낸 것이다. 인장 강도는 소재 배합을 하지 않은 base 소재인 polyamide6만으로 제작된 A시편이 가장 높았으며 열전도율을 높이기 위해 첨가한 알루미나와 glass fiber의 비율이 높을수록 인장강도는 감소했다. 알루미나 분말은 고분자 매트릭스와의 계면 결합이 약하기 때문에 알루미나를 함유한 복합재료의 기계적 강도가 낮게 나타난 것으로 사료된다.

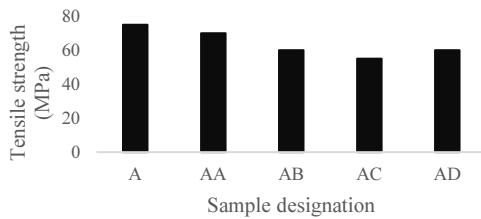
**Fig. 5.** Tensile strength results.

Fig. 6은 각 샘플별 굴곡강도와 충격강도를 그래프로 나타낸 것이다. 굴곡강도와 충격강도는 glass fiber의 함량이 가장 많은 AB타입에서 가장 높게 나타났으며 fiber를 함유한 AA 와 AB 타입이 AC, AD 타입보다 높게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 glass fiber가 기지재와 접합되어 기계적 강도를 향상시킨 것으로 사료된다.

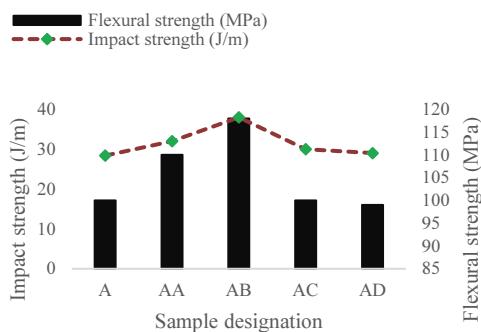
**Fig. 6.** Flexural strength and impact strength results.

Fig. 7는 굴곡탄성율과 밀도를 타나낸 것이다. 굴곡 탄성율과 밀도는 알루미니아의 함량에 비례하는 것으로 확인되었으며 구형 알루미니아를 선택하여 배합하였기에 압축 밀도와 고유동성으로 인해 탄성율이 높아지는 것으로 파악되었다.

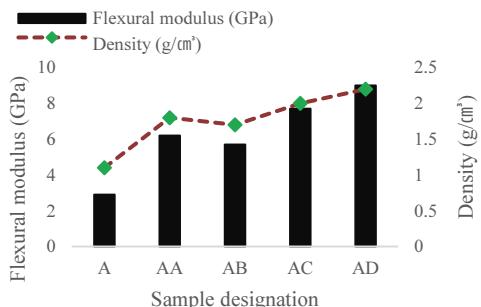
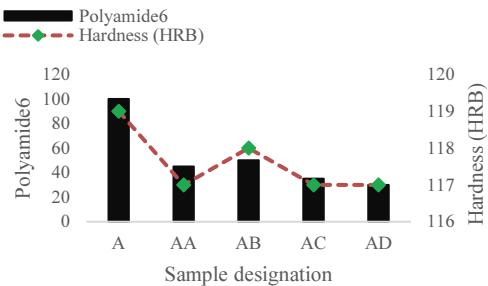
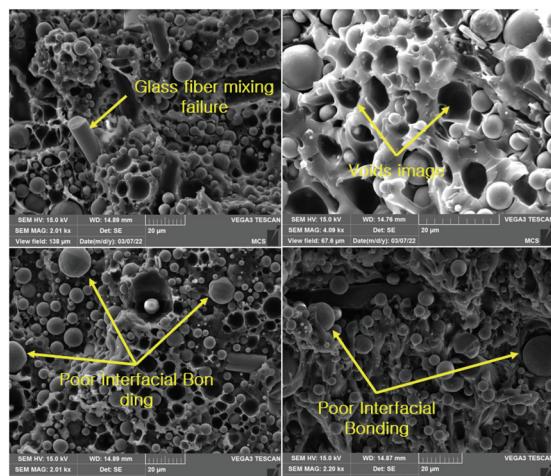
**Fig. 7.** Results of flexural modulus and density.

Fig. 8은 경도를 나타낸 그래프로 경도는 샘플별 큰 차이는 발생하지 않음을 알 수 있다.

**Fig. 8.** Correlation between Polyamide6 and hardness.

마지막으로 열전도도는 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 함량에 따라 상승하는 것으로 확인되었으며 Polyamide6 +  $\text{Al}_2\text{O}_3$  를 3:7비율로 배합한 경우 약 4배정도 증가하는 것을 알 수 있었다. 알루미나는 특성상 열전도도가  $30\text{W}/\text{mK}$ 일 정도로 높으나 이번에 제작한 복합소재 시편은 측정 결과 상대적으로 열전도도가 크게 증가하지 않았다. 그 이유는 SEM(Scanning Electron Microscope)사진과 같이 폴리머에 알루미나가 제대로 융합되어 있지 않았으며 중간중간 void가 발생하고 있어 heat bridge가 제대로 형성되지 않았던 것으로 분석된다. Fig. 9는 제작 시편의 SEM 측정 결과를 나타낸 것이다.

**Fig. 9.** Scanning electron microscope image.

### 3.2 Adapter 특성 평가 결과

배합 조건별로 사출된 adapter를 제품에 조립 후 dummy device를 소켓에 로딩시켜 bake 전/후 warpage 변화량을 검

증했다. bake 전/후 모든 device는 crying type으로 warpage가 발생 했으며, 해당 패키지의 관리 spec인 warpage $\pm$  Max 0.1 mm보다 작은 0.02~0.04mm 수준으로 만족하며 조건별 변화량은 모두 0.01mm 이내로 확인되었다. 이 수준이라면 real package 평가에도 무리가 없을 것으로 판단된다. Table. 3은 bake 전/후 warpage 변화량 나타낸 것이다.

**Table 3.** Variation before and after baking by condition

Compounding conditions	A	AA	AB	AC	AD
Amount of change(mm)	0.003	0.003	0.000	0.004	0.002

다음 평가는 adapter 내측 사이즈의 변화량에 대해 검증했다. adapter의 변형은 package loading miss를 유발 할 수 있기에 치수 관리가 매우 중요하다. adapter의 변화량은 polyamide6 45 %, glass fiber 5 %, 알루미나 50 %의 배합조건인 AA조합이 가장 작은 것으로 확인되었다. Table 4와 Table 5는 bake 후 x축과 y축 기준 변형량을 나타낸 것이다.

Fig 10은 각 시편의 수축량을 그래프로 나타낸 것이다.

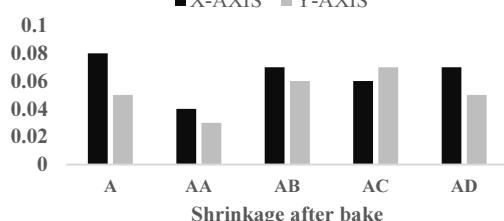
**Table 4.** X-axis shrinkage after bake (Unit : mm)

X-AXIS	A	AA	AB	AC	AD
Ejaculation	14.08	14.14	14.16	14.12	14.14
Assembly	14.15	14.15	14.16	14.14	14.16
After bake	14.07	14.11	14.09	14.08	14.09
Shrinkage after Bake	0.08	0.04	0.07	0.06	0.07

**Table 5.** Y-axis shrinkage after bake (Unit : mm)

X-AXIS	A	AA	AB	AC	AD
Ejaculation	12.04	12.10	12.17	12.14	12.11
Assembly	12.05	12.11	12.14	12.13	12.12
After bake	12.00	12.08	12.08	12.06	12.07
Shrinkage after Bake	0.05	0.03	0.06	0.07	0.05

■X-AXIS ■Y-AXIS



**Fig. 10.** Comparison of shrinkage by blending conditions.

## 4. 결 론

본 논문에서는 bum in socket의 adapter의 열변형을 감소하기 위해 고분자 재료와 섬유 및 세라믹 소재의 배합비에 따른 기계적 특성 및 열전도도를 측정하고 adapter 사출하여 변형 특성을 분석하였다. Polyamide base에 glass fiber와 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 배합했을 때 알루미나의 함량에 따라 열전도도가 증가하며 강도 보강의 효과도 수치상 확인 할 수 있었다. 다만 생산한 샘플의 조립 상태를 단면 SEM촬영 결과 voids와 소재 뭉침 현상들이 확인되어 소재 배합의 비율 평가에 대해서는 계속적인 검토가 필요해 보인다. 제품 평가를 위해 사출한 모든 조합들의 adapter는 성형성 차이는 크게 달라지지 않았으며 약간의 색상 차이만 있었다. 사출된 adapter의 고온 평가에서는 glass fiber와 알루미나의 조합 비율 4.5:0.5:5.0일 때 가장 변화폭이 작았다. Dummy device를 제작하여 bake 평가를 했으며 warpage의 차이점을 확인 했다. 그 결과 모든 조합에서 warpage 변화는 0.01mm이하의 변화를 확인하였다.

## 참고문헌

- Ji-eun Ahn, In-Han Kim, & Yong-Woon Kim, "Heat transfer analysis of the heat sink effect in the heat generating area of semiconductor test equipment" The Spring and Autumn Conference of the Korean Society of Mechanical Engineers, 805-809, 2015.
- Chungha Jeong, Won Seo, & Guseong Kim, "A study on the analysis of bending phenomena according to the influence factors of the FOWLP structure", Journal of Semiconductor Display Technology, 17(4), 42-45, 2018.
- Hwan Kim, "Therapeutic properties of ethoxysilyl bisphenol A type epoxy resin systems for next-generation semiconductor packaging materials", Journal of Semiconductor and Display Technology, 16.2: 19-26, 2017.
- Park Seong-yeon, On Seung-yoon, & Kim Seong-soo. "A study on the hardening process of EMC encapsulation to reduce warpage of ultra-thin semiconductor packages" In Korean Society of Precision Engineering Integrated Conference. Korean Society of Precision Engineering, 2020.
- Mangi Kim, & Jinwon Joo. "Thermal deformation analysis considering the viscoelasticity of WB-PBGA semiconductor packages" Korean Society of Mechanical Engineers Spring and Autumn Conference, 437-441,2011.
- Cha-Gyu Song, Kyung-Ho Kim, & Seong-Hoon Jwa, "Warpage of ultra-thin packages applied to mobile devices", The Korean Journal of Welding and Bonding,

- 29(1), 20-24, 2011.
- 7. Jinho Hong, & Sang-eun Shim, "Development trends of thermally conductive polymer composites" *Applied Chemistry for Engineering*, 21(2), 115-128, 2010.
  - 8. Dae-Yeol Kim, Joo-Jung Kim, & Tae-Won Park, "Development of high heat dissipation CNT/polymer composite material for C-EPS ECU housing", Korea Society of Automotive Engineers Fall Conference and Exhibition, 2268-2274. 2011.
  - 9. Kim, Y. S., Kim, J. K., & Jeon, E. S, "Effect of the compounding conditions of polyamide 6, carbon fiber, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the mechanical and thermal properties of the composite polymer", *Materials*, 12(18), 3047, 2019.
  - 10. Chang-Hyeon Sung, & Kyung-Sik Lee, "A study on the wear properties of engineering plastics for automobile parts", Korean Tribology Society Conference, 100-105, 2007.
  - 11. Choi Jeong-ran, Lee Young-sil, & Park Soo-jin, "Effects of the addition of electroless nickel-plated multi-walled carbon nanotubes on thermal conductivity and fracture toughness of alumina-reinforced epoxy composites", *Polymers*, 37(4), 449-454, 2013.

---

접수일: 2022년 3월 15일, 심사일: 2022년 3월 18일,  
제재확정일: 2022년 3월 25일