

충전재 변화에 따른 Chip Scale Package(CSP)용 액상 에폭시 수지 성형물 (Epoxy Molding Compound)의 흡습특성

김환건*

서경대학교 응용화학과

(접수 2010. 5. 24; 수정 2010. 7. 26; 게재확정 2010. 8. 25)

The Moisture Absorption Properties of Liquid Type Epoxy Molding Compound for Chip Scale Package According to the Change of Fillers

Whan Gun Kim*

Department of Applied Chemistry Seokyeong University

(Received May 24, 2010; Revised July 26, 2010; Accepted August 25, 2010)

요약. 반도체의 경박단소화, 고밀도화에 따라 향후 반도체 패키지의 주 형태는 CSP(Chip Scale Package)가 될 것이다. 이러한 CSP에 사용되는 에폭시 수지 시스템의 흡습특성을 조사하기 위하여 에폭시 수지 및 충전재 변화에 따른 확산계수와 흡습율 변화를 조사하였다. 본 연구에 사용된 에폭시 수지로는 RE-304S, RE-310S, 및 HP-4032D를, 경화제로는 Kayahard MCD를, 경화촉매로는 2-methyl imidazole을 사용하였다. 충전재 크기 변화에 따른 에폭시 수지 성형물의 흡습특성을 조사하기 위하여 충전재로는 마이크로 크기 수준 및 나노 크기 수준의 구형 용융 실리카를 사용하였다. 이러한 에폭시 수지 성형물의 유리전이온도는 시차주사열량계를 이용하여 측정하였으며, 시간에 따른 흡습특성은 85 °C and 85% 상대습도 조건하에서 항온흡습기를 사용하여 측정하였다. 에폭시 수지 성형물의 확산계수는 Ficks의 법칙에 기초한 변형된 Crank 방정식을 사용하여 계산하였다. 충전재를 사용하지 않은 에폭시 수지 시스템의 경우, 유리전이온도가 증가함에 따라 확산계수와 포화흡습율이 증가하였으며 이는 유리전이온도 증가에 따른 에폭시 수지 성형물의 자유부피 증가로 설명하였다. 충전재를 사용한 경우, 충전재의 함량 증가에 따라 유리전이온도와 포화흡습율은 거의 변화가 없었으나, 확산계수는 충전재의 입자 크기에 따라 많은 변화를 보여주었다. 마이크로 크기 수준의 충전재를 사용한 경우 확산은 자유부피를 통하여 주로 이루어지나, 나노 크기 수준의 충전재를 사용한 에폭시 수지 성형물에서는 충전재의 표면적 증가에 따른, 수분 흡착의 상호작용을 통한 확산이 지배적으로 이루어진다고 판단된다.

주제어: 에폭시 수지 성형물, 확산, 흡습율, 충전재

ABSTRACT. Since the requirement of the high density integration and thin package technique of semiconductor have been increasing, the main package type of semiconductor will be a chip scale package (CSP). The changes of diffusion coefficient and moisture content ratio of epoxy resin systems according to the change of liquid type epoxy resin and fillers for CSP applications were investigated. The epoxy resins used in this study are RE-304S, RE310S, and HP-4032D, and Kayahard MCD as hardener and 2-methylimidazole as catalyst were used in these epoxy resin systems. The micro-sized and nano-sized spherical type fused silica as filler were used in order to study the moisture absorption properties of these epoxy molding compound (EMC) according to the change of filler size. The temperature of glass transition (T_g) of these EMC was measured using Dynamic Scanning Calorimeter (DSC), and the moisture absorption properties of these EMC according to the change of time were observed at 85 °C and 85% relative humidity condition using a thermo-hygrostat. The diffusion coefficients in these EMC were calculated in terms of modified Crank equation based on Ficks' law. An increase of diffusion coefficient and maximum moisture absorption ratio with T_g in these systems without filler can be observed, which are attributed to the increase of free volume with T_g . In the EMC with filler, the changes of T_g and maximum moisture absorption ratio with the filler content can be hardly observed, however, the diffusion coefficients of these systems with filler content show the outstanding changes according to the filler size. The diffusion via free volume is dominant in the EMC with micro-sized filler; however, the diffusion with the interaction of absorption according the increase of the filler surface area is dominant in the EMC with nano-sized filler.

Keywords: Epoxy Molding Compound, Diffusion, Moisture Absorption Ratio, Filler

서론

CSP(Chip Scale Package)는 정보화 산업의 발전에 따른 정보화 기기의 다기능화, 고성능화, 소형화의 추세에 따라 반도체 패키지의 핵심 형태로 자리매김하고 있다. 이러한 CSP에 사용되는 패키지 소재 중 Solder Bump의 안정성 및 반도체 소자의 신뢰성 향상을 위한 Underfill 재료로서 성형특성상 액상 형태의 에폭시 수지가 필수적으로 사용되고 있다.¹⁻³ 그러나 현재 사용되고 있는 납을 사용하지 않는 무납 리플로우 솔더링 방식은 기존 공정보다 고온에서 이루어지기 때문에 내열성이 우수하고 내습특성이 향상된 패키지 재료를 요구하고 있다. 특히 본 공정에서의 가장 큰 문제는 패키지 자체가 직접 열에 접촉이 되기 때문에 반도체 소자 내부에 침투한 수분의 증기압에 의한 팽윤 균열이라고 불리는 패키지 균열이다. 또한 패키지 내부로 침투한 수분은 패키지 재료의 연성화와 접착력의 감소를 유발하여 Solder Bump 또는 Wire Bond와 박리현상이 나타나 반도체 패키지의 신뢰성 저하를 초래하고 있다. 이와 같이 무납 솔더링 방식의 도입과 반도체 소자의 박형화 추세에 따라 CSP와 같은 반도체 소자의 패키지 소재에는 기존의 재료에 비해 더 높은 수준의 내열성과 내습특성을 요구하고 있다.⁴⁻⁷

이러한 문제를 해결하기 위하여 충전재(Filler)의 사용이 필수적이다. 고내열, 고내습 특성을 갖는 다양한 에폭시 수지 및 수지성형물의 연구 개발을 통해 에폭시 수지성형물의 포화흡습율(Maximum Moisture Absorption Ratio)을 줄이는 노력과 침투한 수분에 의한 불량요인을 견딜 수 있는 패키지 재료 자체의 물성을 향상시키는 노력 등이 수행되어 왔다. 이를 위해서는 에폭시 수지 및 경화제의 선정도 중요하지만, 이를 보강할 수 있는 충전재의 도입이 매우 중요하다. 특히 이러한 충전재의 도입을 통하여 에폭시 수지 성형재료의 열팽창계수 저감 및 고온강도가 향상될 수 있다.⁸⁻¹⁰

본 연구에서는 이러한 충전재가 에폭시 수지 성형재료의 내열, 내습 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였다. 특히 충전재의 입자 크기에 따른 내열 및 내습 특성의 영향을 조사하였다. 입자의 형상도 중요한 변화 요인으로 사료되나, 체계적으로 변화를 주기가 어려우므로 일정한 모양(본 실험에서는 구형)을 갖는 용융 실리카를 충전재로 사용하였다. 입자의 평균 입도와 비표면적이 다른 용융 실리카를 사용한 에폭시 수지 성형물의 흡습특성을 용융 실리카의 평균 입도에 따라 분석하였으며, 충전재를 사용하지 않는 에폭시 수지 시스템의 흡습 특성과도 비교하였다. 흡습특성으로는 수분의 확산계수(Diffusion Coefficient)와 포화흡습율을 측정하여 비교하였다. 내열특성의 비교를 위해 각 성형물의 유리전이온도를 측정하였다. 또한 에폭시

수지변화에 따른 흡습율(Moisture Content Ratio) 및 수분의 확산계수를 측정함으로써 수지변화에 따른 수지성형물의 흡습특성을 평가하였다.

실험

시료

성형 재료 제조에 사용된 에폭시 수지는 Nippon Kayaku Co. 제품인 RE-304S, RE-310S 및 Dai Nippon Ink사의 HP 4032D를 사용하였다. 경화제로는 Nippon Kayaku Co.의 Kayahard MCD을, 경화 촉매로는 2-Methyl Imidazole (Aldrich Co.)을 사용하였다. 충전제로는 Denka사의 구형 실리카를, Coupling Agent로는 3-glycidoxy propyl trimethoxy silane을 사용하였다. Table 1에 각 원료성분의 구조와 Grade명을 나타내었다. Table 2에 본 실험에 사용된 구형 용융 실리카의 평균입도와 비표면적을, Fig. 1에 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 측정된 실리카의 성상을 나타내었다.

성형 재료 및 시편 제조

미충전 에폭시 수지 시스템의 제조에는 액상 에폭시 수지와 경화제를 당량비 1:1을 기준으로 섞은 다음 촉매를 넣고 Thinky Mixer(AR-250, Thinky Co.)로 약 3분 정도 혼합한 후에 1분 정도 탈포 작업을 하였다. 탈포 작업 후 잘 섞인 혼합물을 형틀에 부은 후 시료가열 성형기(Hot Press)를 이용하여 성형기의 상판, 하판 온도를 350 °C, 압력 1000 Kg/cm³의 조건 하에서 2시간 정도 경화 후 형틀에서 꺼내었다. 이 시편을 150 °C의 진공건조기에서 6시간 동안 후경화 하였다. 흡습율 측정을 위한 시편의 두께는 성형 후 Micrometer로 측정하였다. 충전재를 사용한 에폭시 수지 성형재료 제조에는 우선 충전재의 표면처리를 위하여 충전재에 Coupling Agent를 넣고 Think Mixer에서 충분히 혼합한 후 성형재료 제조에 사용하였다. 여기에 액상 에폭시 수지와 경화제를 당량비 1:1로 하여 앞에서 언급한 동일한 과정을 거쳐 에폭시 수지 성형재료와 시편을 제조하였다.

흡습율 및 포화흡습율

항온항습기를 이용하여 85 °C, 85% 상대습도 조건하에서 흡습율을 측정하였다. 흡습율은 다음 식을 이용하였다.

$$C_t = \frac{(W_t - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서 C_t 는 시간에 따른 흡습율, W_t 는 t 시간에서의 시편의 무게, W_0 은 초기 시편의 무게이다. 포화흡습율의 측

Table 1. Description of Raw Materials Used in This Study

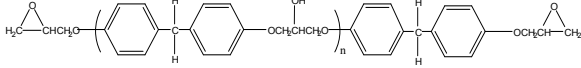
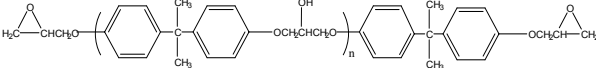
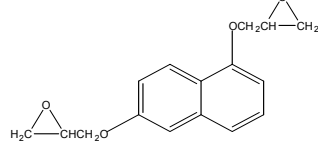
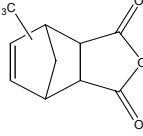
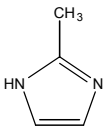
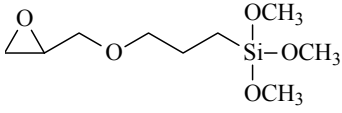
Component	Chemical Structure	Grade (Maker)
Epoxy Resin		RE-304S (Nippon Kayaku Co.)
Epoxy Resin		RE-310S (Nippon Kayaku Co.)
Epoxy Resin		HP-4032D (Dai Nippon Ink)
Hardener		Kayahard MCD (Nippon Kayaku Co.)
Catalyst		2-methyl imidazole (Aldrich Co.)
Coupling Agent		TC-100 (Union Carbide Co.)

Table 2. The Physical Properties of Fillers Used in This Study

Grade	Average Particle Size	Surface Area (m ² /g)	Maker
FB-74	30 μm	1.6	Denka
UFP-30	99 nm	30	Denka

정은 시료를 100 °C의 끓는 물속에 5일 정도 방치한 후 질량을 측정하여 포화 흡습율을 측정하였다. 포화 흡습율은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$C_{\infty} = \frac{(W_{\infty} - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서 C_{∞} 는 포화흡습율, W_{∞} 는 100 °C의 끓는 물속에 5일 정도 방치한 후의 시편의 무게, W_0 은 초기 시편의 무게이다.

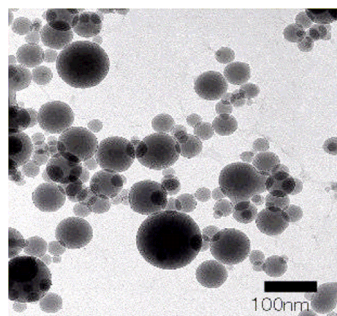
유리전이온도

시료의 경화특성을 조사하기 위하여 Tg(유리전이온도)

(a)



(b)

**Fig. 1.** The Shapes of Filler Used in This Study; (a) FB-74X, (b) UFP-30

를 측정하였다. 질소 Purging 하에서 TA Instruments사의 시차주사열량계(DSC, Model명: TA-2000)를 이용하여 측정하였으며, 승온조건은 0 °C에서 250 °C까지 10 °C/min이다.

결과 및 고찰

에폭시 수지 성형 재료의 확산계수를 측정하기 위하여 다음의 변형 Crank 방정식을 이용하였다.^{11,12}

$$\frac{C(t)}{C_{\infty}} = \left[4 \left(\frac{Dt}{l^2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \left(\frac{C_{\infty} - C}{C_{\infty}} \right) + \left[1 - \exp \left\{ -7.3 \left(\frac{Dt}{l^2} \right)^{0.75} \right\} \right] \left(\frac{C}{C_{\infty}} \right) \quad (3)$$

여기서, $C(t)$ 는 흡습율, C_{∞} 은 포화흡습율, D 는 확산계수, t 는 시간, l 은 시편두께이다.

Fig. 2에 각 에폭시 수지 변화에 따른 흡습율 변화를 나타내었다. Fig. 2에 나타낸 이론 값은 식 (3)을 이용하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 이론 값과 실험치가 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 대략적으로 50 시간까지는 급격한 흡습율의 변화를 보이나 그 이상의 시간이 경과하면 흡습율의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 미충전된 액상 에폭시 수지 시스템의 유리전이온도와 식 (3)을 이용하여 계산한 확산계수 및 측정된 포화흡습율을 Table 3에 정리하였다. Table 3에서 보듯이 Bisphenol A type의 RE-310S 에폭시 수지 시스템의 유리전이온도가 Bisphenol A group의 methyl unit에 의해 RE-304S 에폭시 수지 시스템보다 높게 나타났으며, Naphthalene Moiety를 갖는 HP-4032D 에폭시 수지 시스템의 유리전이온도가 가장 높게 나타났다.

Fig. 3에 본 실험에서 사용한 액상 에폭시 수지 시스템의 유리전이온도와 확산계수의 관계 및 포화흡습율과의 관계를 나타내었다. Fig. 3에서 보듯이 유리전이온도가 증가함에 따라 확산계수와 포화흡습율이 증가함을 볼 수 있다. 일반적으로 고분자 경화 시스템에서의 물질의 이동은 자유부피(Free Volume)와 연관 시킬 수 있다. Vrentas 등은 glassy polymer-penetrant 시스템의 부피거동에 대한 모델을 제안 하였다.^{13,14} 이 모델에 의하면 고분자 시스템의 부피는 소위 van der Waals 부피라 할 수 있는 물질이 차지하고 있는 부피(Occupied Volume), 고분자 결합의 진동에너지에 기인하는 Interstitial Free Volume 및 부피 완화 (Volume Relaxation)와 고분자의 가열과 냉각으로 발생한 Hole Free Volume.으로 나눌 수 있다. 실제 물질의 이동에 관련된 부피는 Hole Free Volume으로 고분자 부피의 총 변화는 이것에 의해 좌우된다고 할 수 있다. 고무 상태의 고분자는 고분자 완화가 빨리 이루어지므로 평형부피를 얻을 수 있으나 유리상태의 고분자는 완화가 느리기 때

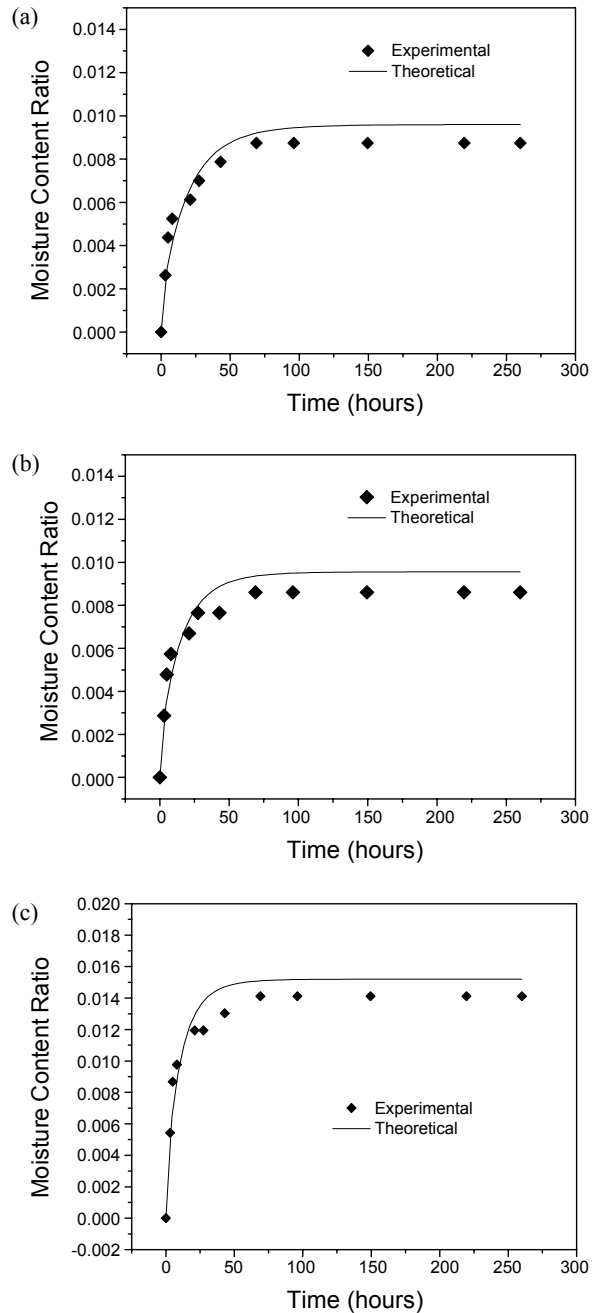


Fig. 2. The Changes of Moisture Content Ratio of Epoxy Resin Systems without Fillers; (a) RE-304S, (b) RE-310S, (c) HP-4032D

Table 3. Temperature of Glass Transition and Moisture Absorption Properties of Epoxy Resin Systems without Fillers

Epoxy Resin	T _g (°C)	Diffusion Coefficient (× 10 ³ mm ² /hr)	Maximum Moisture Absorption Ratio (%)
RE-304S	139.7	7.12	0.98
RE-310S	144.4	8.35	1.00
HP-4032D	152.7	11.23	1.40

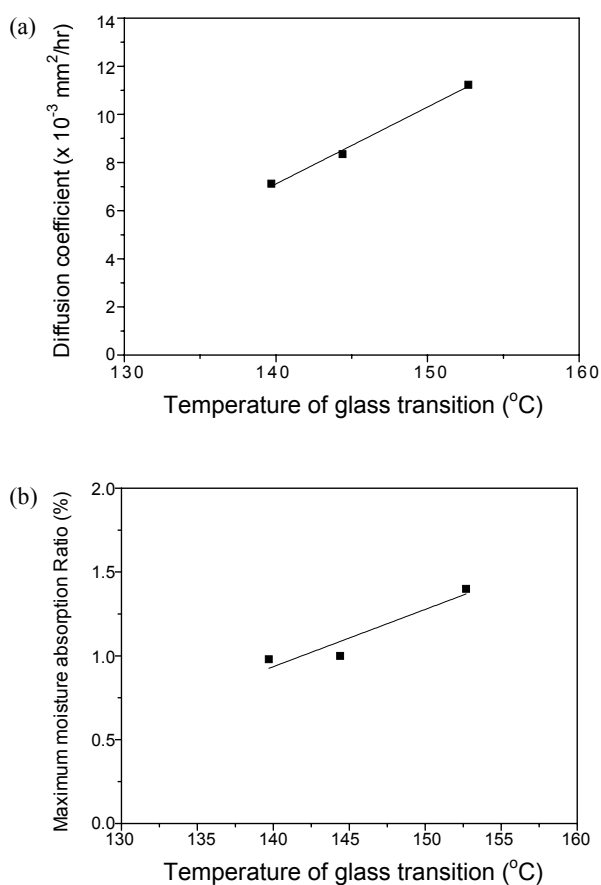


Fig. 3. Moisture Absorption Properties of Epoxy Resin Systems without Fillers; (a) The Plot of Tg versus Diffusion Coefficient, (b) Plot of Tg versus Maximum Moisture Absorption Ratio

문에 여분의 자유부피를 고분자 내에 포함시킬 수 있다. 그러므로 일반적으로 유리전이온도가 높은 시스템이 더 많은 자유부피를 갖게 된다. 이러한 관점에서 생각하여 볼 때, Fig. 3에서 보듯이 유리전이온도가 높을수록 자유부피가 증가하므로 확산계수와 포화 흡수율이 증가된다고 설명할 수 있다.^{15,16}

용융 실리카를 충전재로 사용한 에폭시 수지 성형 재료의 충전재 함량에 따른 유리전이 온도 변화와 식(3)을 이용하여 계산된 확산계수 및 측정된 포화흡수율 변화를 Table 4에 정리하였다. Table 2에서 나타낸 바와 같이 입자의 크기가 작을수록 비표면적이 증가하므로 충전재의 함량을 증가시키기는 어려움이 있다. 본 실험에서는 시편이 잘 제조될 수 있는 적정 충전재의 함량의 범위 내에서 실험을 진행하였다. 평균입도 99nm의 UFP-30의 경우 점도가 낮은 RE-304S와 RE-310S의 에폭시 시스템의 경우에 충전재의 함량이 60 wt %까지 제조가 가능하였으나, 점도가 비교적 높은 HP-4032D의 경우에는 시편이 잘 제조되지 않아 평가에서 제외하였다.

Fig. 4에 평균입도 30 μm의 FB-74를 충전재로 사용한 에폭시 수지 성형재료의 충전재 함량변화에 따른 유리전이 온도 변화와 확산계수 및 포화흡수율의 변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 유리전이온도는 충전재의 함량에 따라 큰 변화를 보여 주지 않았다. 본 실험에서는 Coupling Agent로 TC-100을 사용하여 표면처리된 Silica를 사용하였으므로, Silica 함량 증가에 따른 수분흡수 변화는 무시할 수 있다. 그러므로 유리전이온도는 충전재의 함량과는 큰 관련이 없는 에폭시 수지의 고유특성으로 판

Table 4. Temperature of Glass Transition and Moisture Absorption Properties of EMC Systems with Fillers

Epoxy Resin	Filler	Filler Content (wt %)	Tg (°C)	Diffusion Coefficient (×10 ⁻³ mm ² /hr)	Maximum Moisture Absorption Ratio (%)
RE-304S	FB-74	40	131.5	1.01	1.16
RE-304S	FB-74	50	128.8	1.12	1.14
RE-304S	FB-74	60	123.3	1.46	1.06
RE-304S	UFP-30	40	115.3	28.12	1.02
RE-304S	UFP-30	50	112.5	16.35	1.02
RE-304S	UFP-30	60	111.6	11.25	1.01
RE-310S	FB-74	40	144.7	1.07	1.24
RE-310S	FB-74	50	142.8	1.32	1.21
RE-310S	FB-74	60	140.2	1.43	1.08
RE-310S	UFP-30	40	132.6	15.12	1.00
RE-310S	UFP-30	50	130.8	14.35	1.00
RE-310S	UFP-30	60	129.6	11.13	0.99
HP-4032D	FB-74	40	155.6	2.68	1.58
HP-4032D	FB-74	50	158.7	3.07	1.60
HP-4032D	FB-74	60	157.9	3.32	1.44

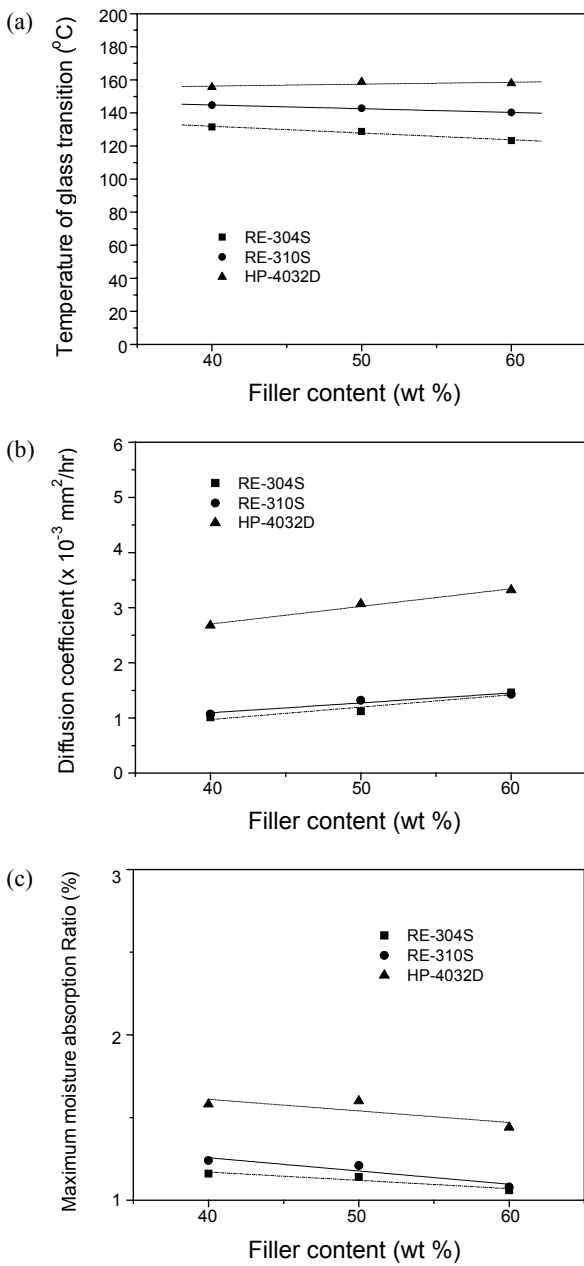


Fig. 4. The Changes of Physical Properties of EMC with the Filler Content of FB-74; (a) The change of Tg, (b) The Change of Diffusion Coefficient, (c) The change of Maximum Moisture Absorption Ratio.

단할 수 있다.^{17,18} 확산계수는 충전재의 함량 증가에 따라 증가하는 경향을, 포화흡습율은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 이 경향은 Naphthalene Moiety를 갖는 HP-4032D를 에폭시 수지로 사용한 성형재료의 경우에 보다 확실하게 나타나는 것으로, RE-304S와 RE-310S를 에폭시 수지로 사용한 성형재료에서는 큰 변화를 관찰할 수 없었다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 유리전이온도가

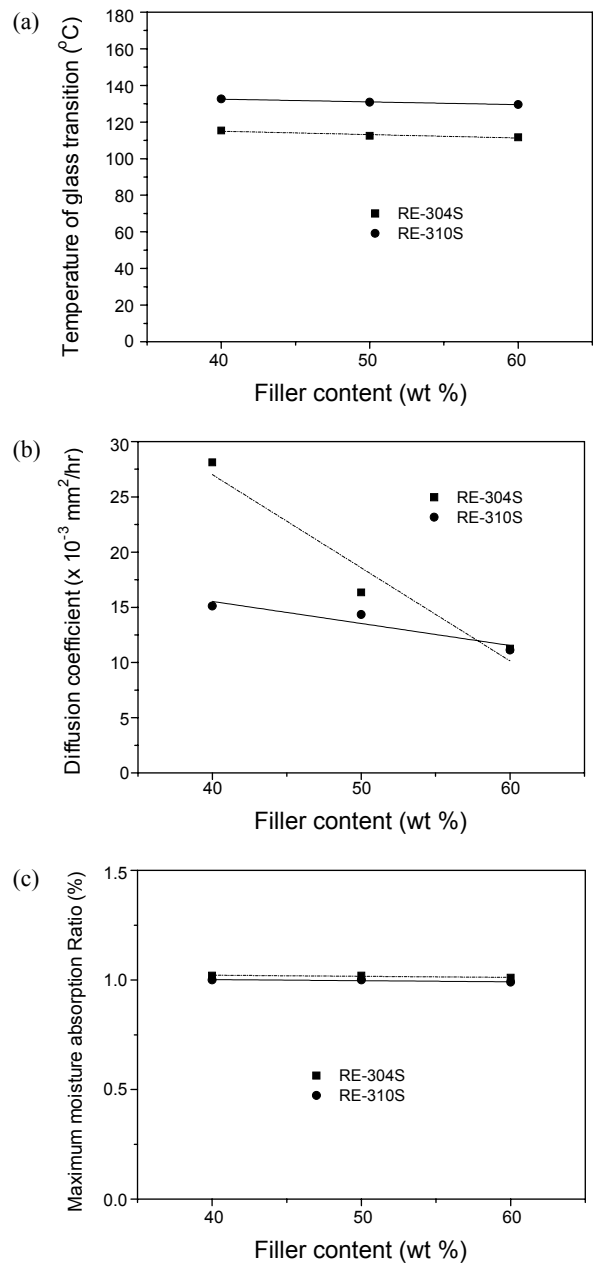


Fig. 5. The Changes of Physical Properties of EMC with the Filler Content of UFP-30; (a) The change of Tg, (b) The Change of Diffusion Coefficient, (c) The change of Maximum Moisture Absorption Ratio

높은 HP-4032D의 에폭시 수지 성형재료가 RE-304S와 RE-310S의 에폭시 수지 성형재료보다 자유부피가 증가하는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

입자의 크기가 Nano크기 수준인 평균입도 99 nm의 UFP-30을 사용한 EMC의 충전재의 함량변화에 따른 유리전이 온도와 확산계수 및 포화흡습율의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 입자가 Micro수준의 크기를 갖는 FB-74의 경우와

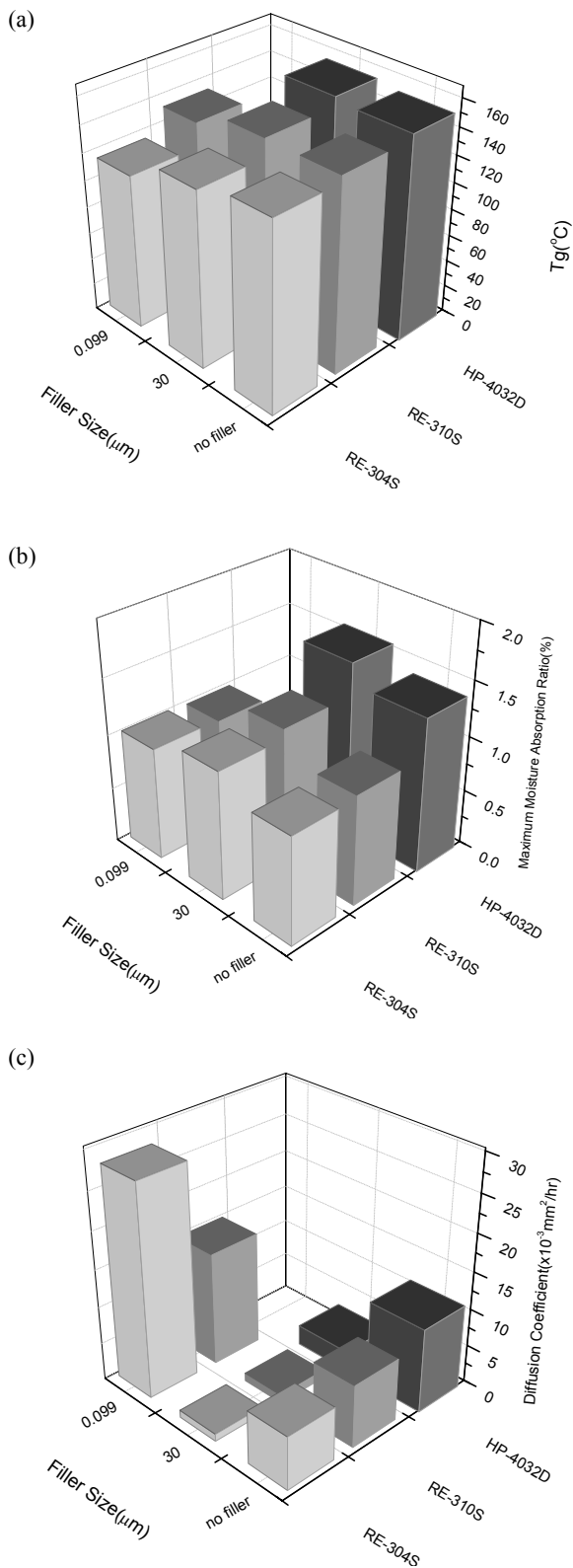


Fig. 6. The Changes of Physical Properties of EMC with the Filler Size (Filler Content; 40wt. %); (a) The change of Tg, (b) The change of Maximum Moisture Absorption Ratio, (c) The Change of Diffusion Coefficient.

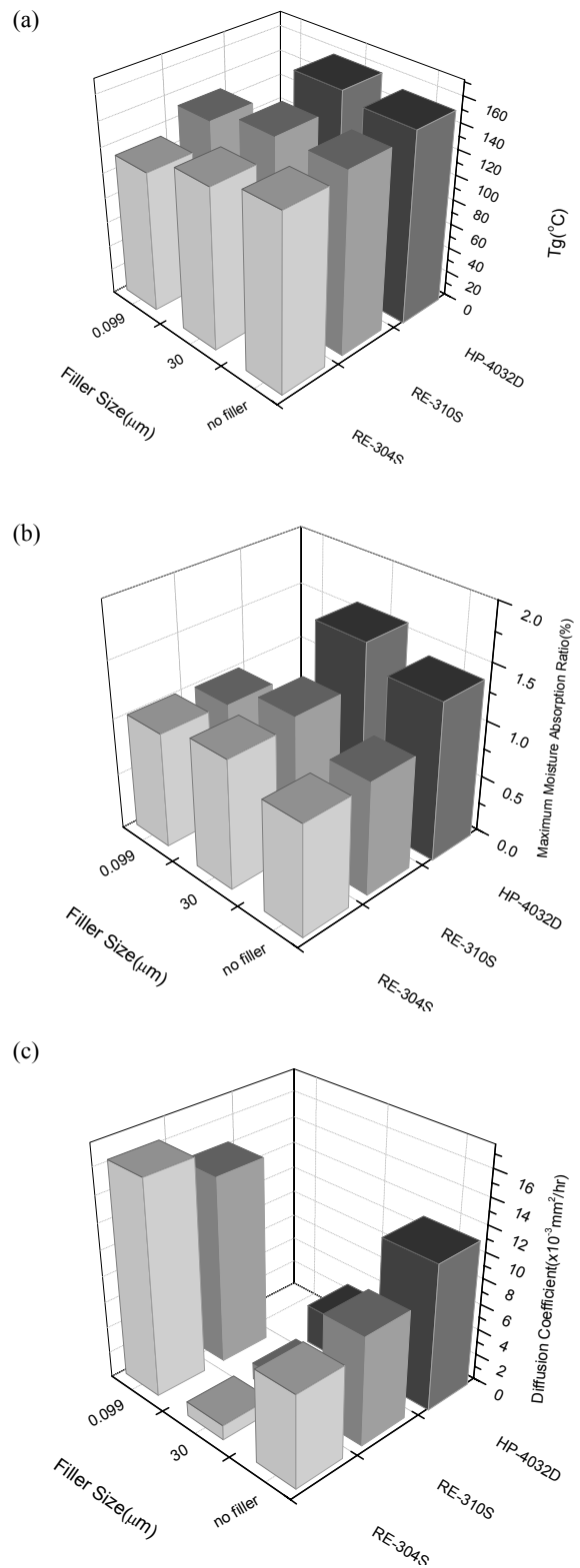


Fig. 7. The Changes of Physical Properties of EMC with the Filler Size (Filler Content; 50wt. %); (a) The change of Tg, (b) The change of Maximum Moisture Absorption Ratio, (c) The Change of Diffusion Coefficient.

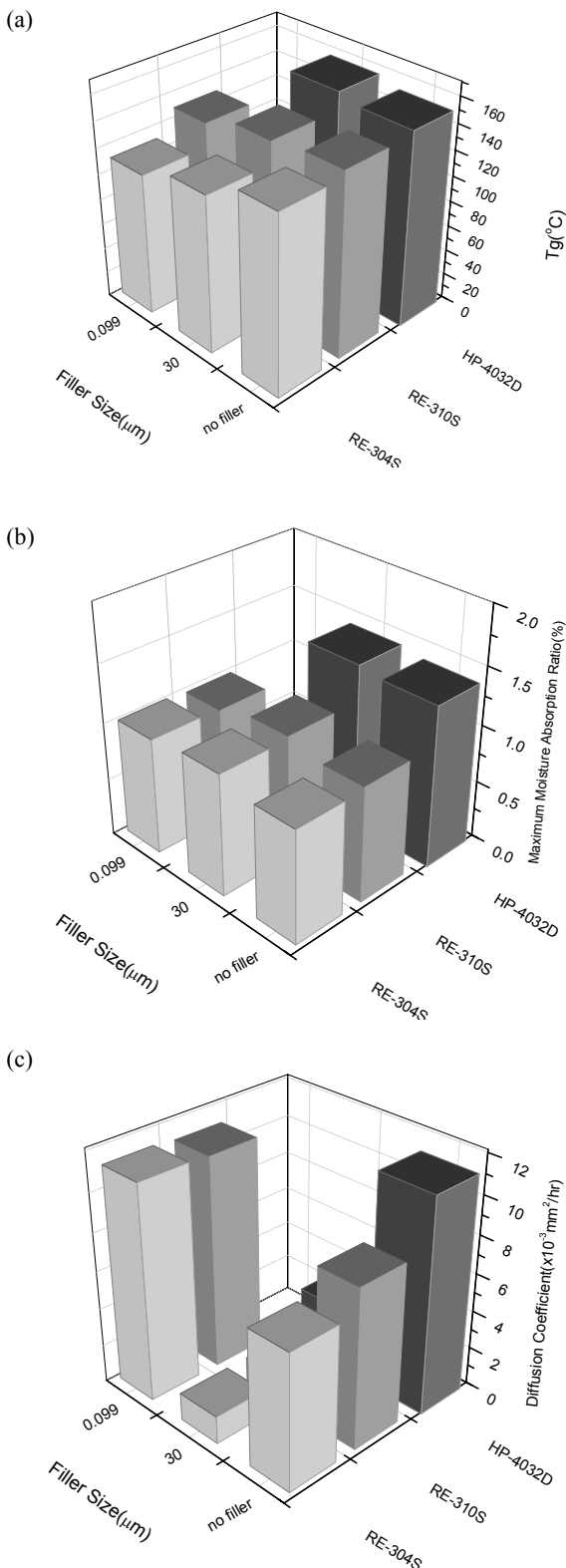


Fig. 8. The Changes of Physical Properties of EMC with the Filler Size (Filler Content; 60wt. %); (a) The change of Tg, (b) The change of Maximum Moisture Absorption Ratio, (c) The Change of Diffusion Coefficient.

마찬가지로 유리전이온도와 포화흡습율의 변화는 거의 관찰되지 않았다. 그러나 확산계수의 경우에는 두 가지의 다른 현상을 관찰할 수 있다. 하나는 확산계수의 크기가 FB-74의 경우보다 크게 증가하였고, 다른 하나는 충전재의 함량 증가에 따라 확산계수가 감소하는 경향을 보인다는 것이다. Micro 크기 수준의 충전제인 FB-74의 비표면적은 Table 2에서 보듯이 1.6 m²/g인데 비해, Nano 크기 수준의 충전제인 UFP-30의 비표면적은 약 20배인 30 m²/g 나 된다. 이렇게 표면적이 증가하는 경우, 실리카 표면에 수분의 흡착이 현저하게 증가되므로 확산 Mechanism은 흡착에 좌우된다고 할 수 있다.^{19,20} 그러므로 FB-74의 경우보다 UFP-30의 경우 확산계수의 증가는 이러한 흡착에 의한 확산계수의 증가로 설명할 수 있다. 그러나 충전재의 양이 증가함에 따라 전반적인 수분의 흡습량이 감소하므로 확산계수도 감소하는 경향을 보여준다.

Figs. 6~8에 충전재의 함량을 각각 40, 50, 60 wt %로 한 에폭시 수지 성형재료의 충전재의 입자 크기 변화에 따른 RE-304S와 RE-310S 및 HP-4032D를 에폭시 수지로 사용한 에폭시 수지 성형재료의 유리전이온도 변화와 확산계수 변화 및 포화흡습율의 변화를 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 유리전이온도와 포화흡습율은 입자 크기에 따라 거의 변화를 보여주지 않는 반면, 확산계수는 큰 변화를 보여주고 있다. 즉 유리전이온도와 포화흡습도는 저수지인 에폭시 수지의 종류에 의존하며, 확산계수는 충전재의 입자 크기에 밀접한 관련이 있는 것으로 수분의 확산 Mechanism은 충전재의 입자 크기에 의존하는 것으로 판단 할 수 있다.²¹

결론

차세대 반도체 패키지로 주목을 받고 있는 CSP의 성형 수지로 사용되는 액상 형태의 에폭시 수지 시스템의 흡습 특성을 조사하였다. 조사한 액상 형태의 수지로는 Bisphenol A와 Bisphenol F Type의 RE-310S와 RE-304S 수지를 사용하였고, Naphthalene Type의 HP-4032D 수지를 사용하였다. 충전재의 입자 크기에 따른 에폭시 수지 성형재료의 흡습특성과 열적 특성과의 관계를 조사하기 위하여 Micro 크기와 Nano 크기 수준의 입자를 갖는 충전재를 사용하여 에폭시 수지 성형재료를 제조하였으며, 이것의 유리전이온도와 확산계수 및 포화흡습율을 충전재를 사용하지 않은 에폭시 수지 시스템과 비교하였다. 유리전이온도는 에폭시 수지에 관련된 물성으로 충전재의 함량변화에 따라 거의 변화가 없었다. 확산계수는 유리전이 온도가 높은, 자유부피가 큰 HP-4032D를 에폭시 수지로 사용한 수지 성형재료에서 증가하였고, 표면적이 큰 Nano 크기 입자를 충전재로 사용한 에폭시 수지 성형재료에서도 확

산계수가 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 에폭시 수지 성형재료의 포화흡습율은 충전재의 함량 변화와 입자 크기 변화에 따라 거의 변화가 없었다. 에폭시 수지 성형재료에서의 수분의 확산 Mechanism은 자유부피를 통한 확산과 흡착의 상호작용을 통한 흡착 지배 확산으로 나누어 생각할 수 있다.

Acknowledgement. The author thanks Nippon Kayaku Co., and Denka for their generous supply of samples and fruitful discussions.

REFERENCES

1. Manzione, L. T.; *Plastic Packaging of Microelectronics Devices*; **1990**, Van Nostrand Reinhold: New York, USA.
2. Zhang, Z.; Wong, C. P. *IEEE Transactions on Advanced Packaging* **2004**, 27(3), 515.
3. Abdullah, M. K.; Abdullah, M. Z.; Mujeebu, M. A.; Ariff, M.; Ahmad, K. A. *IEEE Transactions on Advanced Packaging* **2010**, 33(2), 438.
4. Yoon, H. G.; Kim, W. G. *Polymer for Electronics*; **2001**, Munundang: Seoul, Korea.
5. Chen, K. M. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron*, **2009**, 20, 484.
6. Paquet, M. et al. *Electronic Components and Technology Conference* **2006**, 1595.
7. Kim, W. G.; Nam, T. Y. *J. Polym. Sci. Part A, Polym. Chem.* **1996**, 34, 957.
8. Kim, W. G.; Ryu, J. H. *J. Appl. Polym. Sci.* **1997**, 65, 1975.
9. Kim, W. G.; Ryu, J. H. *J. Korean Chem. Soc.* **1996**, 40, 81.
10. Ryu, J. H.; Choi, K. S.; Kim, W. G.; *J. Appl. Polym. Sci.* **2005**, 96, 2287.
11. Kim, W. G. *J. Appl. Polym. Sci.* **2009**, 113, 408.
12. Crank, J.; *the Mathematics of Diffusion 2nd Ed.* **1975**, Oxford University Press: N. J., USA.
13. Bastioli, C.; Romano, G. *J. Materials Sci.* **1987**, 22, 4207.
14. Vrentas, J. S.; Duda J. L.; Ling, H. C. *Macromolecules*, **1988**, 21, 1470.
15. Vrentas, J. S.; Vrentas, C. M. *Macromolecules*, **1989**, 22, 2264.
16. Tognana, S.; Salgueiro, W.; Somoz, A. *Phys. Status Solidi C* **6**, **2009**, 11, 2426.
17. Fan, X. J.; Lee, S. W.; Han, Q. *Microelectronics Reliability*, **2009**, 49, 861.
18. Ogata, M.; Kinjo, N.; T. Kawata, T. *J. Appl. Polym. Sci.* **1993**, 48, 583.
19. Braun, T. et al. *Electronic Components and Technology Conference*, **2008**, 198.
20. Asaad, J. et al. *Materials Science and Engineering A*, **2008**, 490, 151.
21. Alexandre, B.; Colasse, L.; Langevin, D.; Médéric, P.; Aubry, T.; Chappey, C.; Marais, S. *J. Phys. Chem. B*, **2010**, 114, 8827.