

전자 패키징 소재의 수착 특성화를 통한 신뢰성 평가[§]

박 희 진*†

* 삼성전기 중앙연구소

Reliability Evaluation Through Moisture Sorption Characterization of Electronic Packaging Materials

Heejin Park*†

* Corporate R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics Co., LTD.

(Received April 16, 2013 ; Revised June 14, 2013 ; Accepted June 14, 2013)

Key Words: Diffusivity(확산성), Reliability(신뢰성), Solubility(용해성), Moisture Absorption(흡습), Moisture Desorption(탈습), Accelerating Factor(가속 계수), Activation Energy(활성화 에너지), Flexible Module(유연소자)

초록: 습기 수착 물성은 전자 패키징 장치의 신뢰성에 있어서 층간의 수증기 압력에 의해 공정과정 동안 발생하는 박리 불량률의 고장 분석 및 최적의 재료 개발에 있어서 필수적이다. 본 논문에서는 온습도 모델에 따른 전자 패키징 재료의 온도 의존적인 흡습 및 탈습 물성을 변수화 하였고 이에 대한 온도 및 습도의 영향에 대해 고찰하였다. 변수화된 확산성에서 얻어진 확산 활성화 에너지는 등가의 습기 수착 수준을 위한 가속 수명 비율을 결정하고 신뢰 수명 평가에 요구되는 등가의 소요 시험 시간에 미치는 습기 확산성의 영향을 예측할 수 있게 한다. 신뢰성 시험 표준에서 평가된 유연 전자 모듈의 가속 수명 비율을 예시하였다.

Abstract: Knowledge of the moisture sorption properties of a material is essential for optimal material development and analysis of the delamination failure caused by vapor pressure at the interlayer during the manufacturing process of integrated packaging devices. In this paper, both temperature dependent absorption and desorption properties according to temperature and humidity model are parameterized and the effects of water activities and temperature are discussed. The activation energy obtained from the parameterized diffusivity determines the acceleration factor for the equivalency of moisture sorption levels, which enables the effect of moisture diffusivity on the equivalent elapsed testing time required for evaluating the reliable life time to be estimated. The acceleration factor evaluated at the reliability testing standard of the flexible packaging module is exemplified.

1. 서 론

전자 패키징 기기에서 습기의 존재는 기계적 또는 전기적 특성을 저하시켜 신뢰성을 감소 시킨다. 예를 들면, 고온, 고습에서 흡습 팽창을 일으키며 유전 물성을 변화시켜 전도성 고분자의 전기적 전도성과 같은 특성들을 저하시킨다.⁽¹⁾ 플라스틱 고분자 재료로 흡습된 물 분자들은 분자들간 연결에서 극성 원자들 또는 그룹들과 수소 결합을 형성

한 후 수소 결합을 확대하며 다른 나노 크기의 기공(nanovoid)으로 이동하고 일부 물은 마이크로 크기의 기공들(microvoid)을 통해 점성 흐름과 같은 형태를 가진다.^(2~4) 이런 점성적 유동은 비결정상 내부에 있거나 비결정과 결정간의 계면에 있는 마이크로 크기의 기공들을 통해 흐르며 기공들의 수는 주로 용제의 기화에 의존하기도 하지만 일반적으로 필름 형태의 고분자 두께와 반비례한다고 알려져 있다.⁽⁵⁾ 유동 형태의 물은 기공들 내에 응축과 증발을 수반하고 기공들 표면에 흡착할 수도 있다.⁽⁶⁾ 이렇게 다양한 형태로 존재하는 극성인 물은 수산기와 함께 수소결합을 형성하여 고분자 내 결합을 파괴하고 이러한 물 분자들은 내부 수소 결합 길이를 증가시켜 고분자 재료의 팽창을 유발

§ 이 논문은 대한기계학회 신뢰성부문 2013년도 춘계학술대회(2013. 3. 27.-29., 제주대) 발표논문임.

† Corresponding Author, hee-jin.park@samsung.com

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

Table 1 Specifications of reliability testing standard in electronic packaging device

Test	Condition	Related Standards
High temperature and high humidity test (85/85 test)	85°C, 85%RH for 168 hr, 1000 hr	JESD-22 A 101B, IEC 60068 2-67, EIAJED-4701 B-121, B-122
Saturated vapor pressure test (PCT test)	121°C, 100%RH for 24hr, 48hr, 96hr, 168hr	JESD-22 A 102C
Unsaturated vapor pressure test (HAST test)	130°C, 85%RH for 24hr, 48hr, 50hr, 96hr	JESD-22 A 110B, IEC 60068 2-66, EIAJ ED-4701 B-123

유발시킨다.^(6,7) 재료 특성에 미치는 습기의 영향이 중요함에도 불구하고 재료의 습기에 대한 특성에 관한 이해는 부족한 실정이다.

본 논문에서는 전자 패키징 기판의 절연 (Buildup) 층 재료와 패턴 현상을 위한 드라이 (Dry) 필름의 등온 흡습 및 탈습에 따른 열 중량적 반응을 조사하여 소재 내부, 외부로의 습기 확산에 대한 특성을 분석하였다. 대표적 습기 차단 소재인 PET(Polyethylene terephthalate)를 모재 (Substrate)로 가지는 유연 전자 부품의 연구가 최근 수행되고 있고 신뢰성 평가방법 중 가속한 스트레스를 인가하는 가속시험으로 고온 고습 상태에서 압력을 가하는 포화 증기압 시험(PCT), 불포화 증기압 시험(HAST) 등을 적용하고 있다. 이에 따른 관련 규격 및 시험 조건은 국제 시험 규격인 Table 1 과 같다. 흡습 및 탈습 확산성으로부터 얻어진 확산 활성화 에너지를 등가의 수축 수준 예측을 위해 아레니우스(Arrhenius) 식에 따라 등가 가속 수명 비율을 예측할 수 있고 열중량법을 통해 얻은 확산성과 비교하여 타당성을 고찰하였다. 가속 조건에 따른 등가의 수축 수준에 도달하기 위한 습기 확산 물성을 포함한 모델링은 소재의 확산성과 형상, 온도, 포화에 도달하기까지 총 소요 시험 시간 등과 같은 변수들의 영향을 이해하는데 필수적으로 요구된다.

2. 습기 확산 특성

2.1 열적 특성

패키징 기판의 제조에 있어서 핵심 재료 중 드라이 필름과 절연 필름을 예시할 수 있다. 드라이 필름은 폴리스티렌(Polystyrene) / 폴리메틸 메쓰아크릴레이트(Polymethyl Methacrylate) 공중합체로 구성되어 있으며 자외선(Ultraviolet)에 민감하게 경화 반응이 일어난다. TMA(Thermo Mechanical Analyzer)를 이용한 기계적 변형 측정을 통해 예측한 유리

전이온도(T_g)는 드라이 필름에 대해서는 관측되지 않았고 절연 필름에 대해서는 약 165°C로 관측되었다. DSC(Differential Scanning Calorimetry)를 이용한 발열 반응 피크는 드라이 필름에 대해 130°C 부근에서 관측되었으나 절연 필름에 대해서는 관측되지 않았으며 이러한 발열 피크는 일반적으로 경화 과정으로 여겨진다. 드라이 필름의 라미네이션(Lamination) 과정은 금속 유전층에 광개시 고분자 복합물을 도포하여 화학적으로 제거하는 것으로서 외부 환경에 따른 수분 확산성에 의해 인성과 같은 기계적 특성에 영향을 미쳐 생산 공정에서 불량률 유발한다. 절연 필름은 기판내 층간 절연을 위해 실리카 필러(Silica filler)가 복합된 에폭시 레진(Epoxy resin)으로 구성되며 함유된 수분은 260°C의 리플로우(Reflow) 공정에서 높은 수증기압으로 인해 계면 박리(Delamination) 또는 누출(Leak) 결함을 일으킨다.

2.2 등온 흡습 및 탈습 물성

온도 및 습도에 관련된 모델로는 가속 시험을 평가 하기 위해 온도 및 활성화 에너지에 따른 반응 속도와 연관된 반응률이 수명과 반비례함을 나타내는 아레니우스(Arrhenius) 모델과 고온, 고습에 의한 전자 부품의 고온, 고습 가속 시험에 널리 쓰이는 온습도 모델이 있으며 식 (1)과 같이 각각 표현할 수 있고 고분자 소재 내에 확산된 포화 습기 농도와 포화 수증기압과의 관계는 헨리(Henry)의 법칙에 따라 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$S = S_o \exp\left(\frac{E_s}{kT}\right), \quad D = D_o \exp\left(\frac{-E_D}{kT}\right),$$

$$S = S_o (RH)^{-n} \exp\left(\frac{E_s}{kT}\right), \quad D = D_o (RH)^{-n} \exp\left(\frac{-E_D}{kT}\right) \quad (1)$$

$$C_{sat} = S \times P_{vp} \times \%RH$$

$$= S \times P_o \exp\left(\frac{E_{vp}}{kT}\right) \times \%RH \quad (2)$$

여기서 $S(kg/m^3 \cdot Pa)$ 는 용해성, S_o 는 용해성 조정 계수, $D(m^2/2)$ 는 확산성, D_o 은 확산성 조정 계수, P_o 는 수증기압의 조정계수, $C_{sat}(kg/m^3)$ 는 포화 확산 농도, $k(eVJ/K)$ 는 볼츠만 상수, $T(K)$ 는 온도, $E_s(eV)$ 는 용해 활성화 에너지, $E_D(eV)$ 는 확산 활성화 에너지, $P_{vp}(Pa)$ 는 주변 수증기압, RH 는 상대습도, $E_{vp}(eV)$ 는 수증기압의 아레니우스 관계식으로 표현된 활성화 에너지를 각각 나타낸다. 가속 모델의 경우 온도, 습도와 같은 환경적인 스트레스와 더불어 재료와 시험 조건에 따른 이러한 상수, 활성화 에너지 등을 알고 있어야 평가를 할 수 있다. 등온에서 다양한 습도에 노출하여 수분 흡습을 한 후 0%RH에서 수분 탈습을 시킨 드라이 필름과 절연 필름의 무게 증감률을 온도, 습도 제어 가능한 마이크로 저울을 이용하여 측정하였고 Fig. 1에 나타내었다. 시편은 약 8mm×8mm의 크기를 사용하였고 60℃에서 4시간 이상 건조하여 수분을 시험 전에 제거하였다.

Fig. 1의 측정 결과를 바탕으로 포화 흡습된 무게 증가량의 절반에 도달하는 시간을 얻어 식 (3)을 이용하여 습기 확산성을 추정하였고^(8,9) 습기 용해성은 식 (1)에 따라 실험적으로 얻은 포화 습기 농도 및 온도에 따른 포화 증기압을 이용하여 구하였다. 온도 의존적인 확산성과 용해성을 얻은 후 아레니우스 및 온습도 모델을 함수로 하여 최소 자승 오차를 얻기 위한 비선형 근사를 통해 Table 2 및 Table 3에 주어진 변수화된 계수들을 얻을 수 있었다.⁽¹⁰⁾

$$D \approx 0.04919 \frac{X^2}{t_{1/2}} \quad (3)$$

여기서 $X(m)$ 는 시료의 두께, $t_{1/2}(s)$ 는 포화 흡습된 무게 증가량의 절반에 도달하는 시간을 각각 나타낸다. 흡습 과정 동안 수분은 소재내 마이크로 기공에서 응축하고 탈습과정 동안 응축된 수분은 증발하여 외부 대기로 이송된다. 이러한 이송 메커니즘의 차이로 인해 흡습과 탈습의 각 과정에 대해 온도에 대한 의존성을 정의하는 아레니우스 관계식에 따라 변수화된 물성을 아래 Table 2에 요약하였다. 확산 활성화 에너지는 0.39에서 0.46eV로써 일반적인 패키징 소재의 값과 일치한다.⁽⁹⁾ 용해 활성화 에너지는 0.43에서 0.5eV로써 포화 수증기압의 아레니우스 관계식 형태로 정의되는 활성화 에너지 0.45eV와 유사하고 이러한 점은 수분 농도가 온도에 독립적이고 상대 습도에

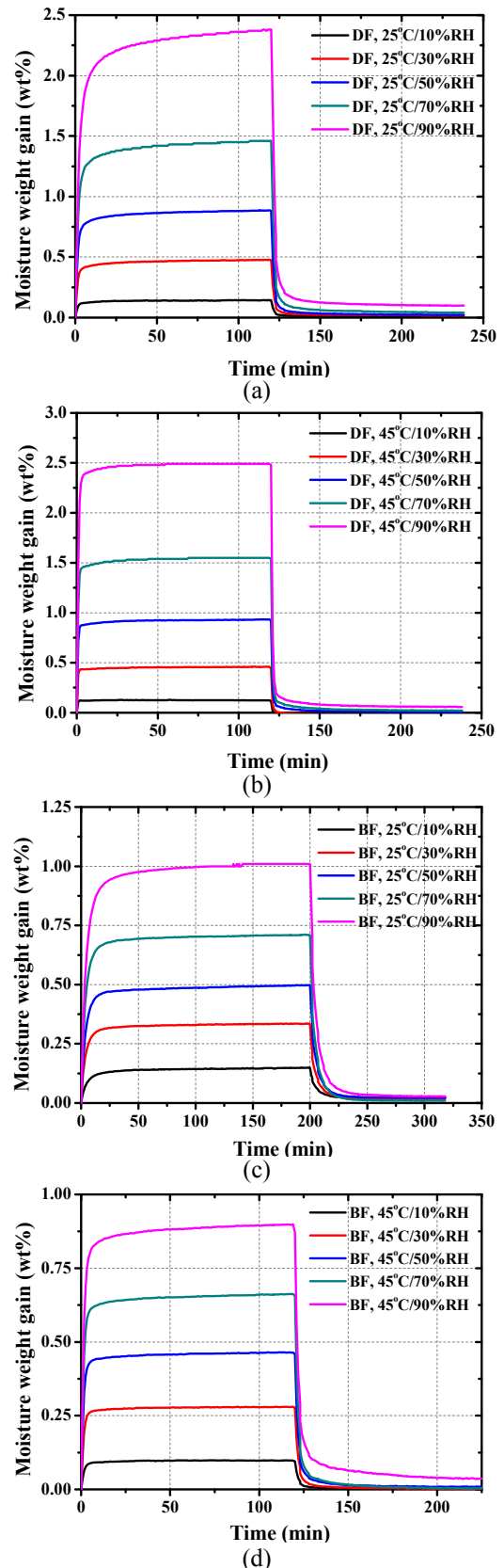


Fig. 1 Moisture weight gain and loss of Dry film (DF) and Buildup film (BF) at various temperature and water activities: a) DF at 25℃, b) DF at 45℃, c) BF at 25℃, d) BF at 45℃

Table 2 Characterization of moisture absorption and desorption parameters of Dry film and Buildup film according to Arrhenius model

Material	Dry film		Buildup film	
	Absorption	Desorption	Absorption	Desorption
E_D, eV	0.44	0.39	0.46	0.42
E_S, eV	-0.44	-0.43	-0.5	-0.5
$D_o, m^2/2$	1.25E-5	1.78E-6	1.59E-5	3.41E-6
$S_o, kg/m^3.Pa$	2.07E-10	3.41E-10	1.81E-11	1.93E-11
E_{vp}, eV	0.45	0.45	0.45	0.45

Table 3 Characterization of moisture absorption and desorption parameters of Dry film and Buildup film according to temperature/humidity model

Material	Dry film		Buildup film	
	Absorption	Desorption	Absorption	Desorption
E_D, eV	0.4448	0.3925	0.4610	0.4227
E_S, eV	-0.4429	-0.4298	-0.5	-0.4965
n_D	0.2642	0.1441	-0.020	-0.0064
n_S	-0.2771	-0.2744	0.087	0.0724
$D_o, m^2/2$	9.94E-6	1.55E-6	1.62E-5	3.41E-6
$S_o, kg/m^3.Pa$	2.69E-10	4.40E-10	1.67E-11	1.81E-11
E_{vp}, eV	0.45	0.45	0.45	0.45

의존한다는 점을 뒷받침한다.⁽¹¹⁾ 온도에 따른 반응 속도와 연관된 반응열을 나타내는 활성화 에너지는 흡습 및 탈습 과정동안 수분 확산성에서는 비선형 확산에 따른 일부 차이가 추정되었고 수분 용해성에서는 실험 영역에서 거의 같은 값을 보였다. 시편으로부터 휘발성 용제의 증발이 탈습과정에서 열중량적 측정법에서 무게의 감소에 영향을 줄 수 있으나 일반적으로 열중량적 측정법은 유리전이온도 이하에서 수분 확산을 특성화 하는데 보다 정확하다고 알려져 있다.⁽¹²⁾ 흡습 과정 동안 선형 확산 및 비선형 확산 모두 나타나지만 비선형 확산은 소재 내에 묶여진(bound) 물의 형태로 존재하기 때문에 비가역적으로 관측되었다. 흡습 및 탈습으로부터 얻어진 포화 수분 농도의 일치로부터 선형 확산은 가역반응임을 알 수 있다.

온습도 모델을 이용하여 근사를 하게 되면 아레니우스식에 따른 온도의 영향과 더불어 습도에 대한 영향을 변수화할 수 있으며 근사된 변수들은 Table 3에 나타내었고 확산성 및 용해성에 대한 습도의 영향을 근사된 습기 가속 지수 n_D , n_S 를 통해 알 수 있다. 식 (2)에 주어진 헨리의 법칙에 따라 포화 습기 확산 농도는 습기 용해성과 포화 수증기압으로 표현되고 아레니우스 관계식에 따른 용해 활성화 에너지와 포화 수증기압의 활성화 에너지가 같을 경우에는 습도에 선형적으로 비례하게 된다.

하지만, Table 2에 주어진 것과 같이 실험적으로 추정된 용해 활성화 에너지와 포화 수증기압의 활성화 에너지가 같지 않을 경우 각각을 아레니우스 관계식에 따른 식 (2)를 이용하여 포화 습기 확산 농도를 근사할 수 있으며 이것은 Table 3에 주어진 습도 지수 영향을 고려해주는 온습도 모델에 따른 식 (2)를 이용하여 근사한 포화 습기 확산 농도와 함께 Fig. 2에 각각 비교되었다. 온습도 모델이 높은 습도 영역까지 가까운 근사를 예측하였고 아레니우스 관계식에 따른 근사는 상대적으로 낮은 습도 영역에서 가까운 근사를 예측하였다.

이것은 온도에 따른 용해 활성화 에너지가 포화 수증기압이 같을 경우의 근사값은 높은 습도 영역에서 온습도 모델에서는 보다 작지만 아레니우스 관계식에서는 보다 크기 때문에 이러한 활성화 에너지의 차이가 각 모델에서 포화 확산 농도의 근사값 차이를 유발하였다. 흡습 및 탈습 과정동안 포화 확산 농도는 고습에서 온도의 영향을 가지며 소재내 습기의 미세 기공에서의 응축에 따른 영향으로 추정한다. 아레니우스 관계식에 따른 근사는 온도의 영향을 무시할 수 있을 낮은 습도에서 보다 정확하지만 높은 습도를 중요시 고려하여야 하는 PCT, HAST 시험의 경우는 온습도 모델을 적용하는 것이 보다 정확한 포화 확산 농도를 예측 가능한 모델이다.

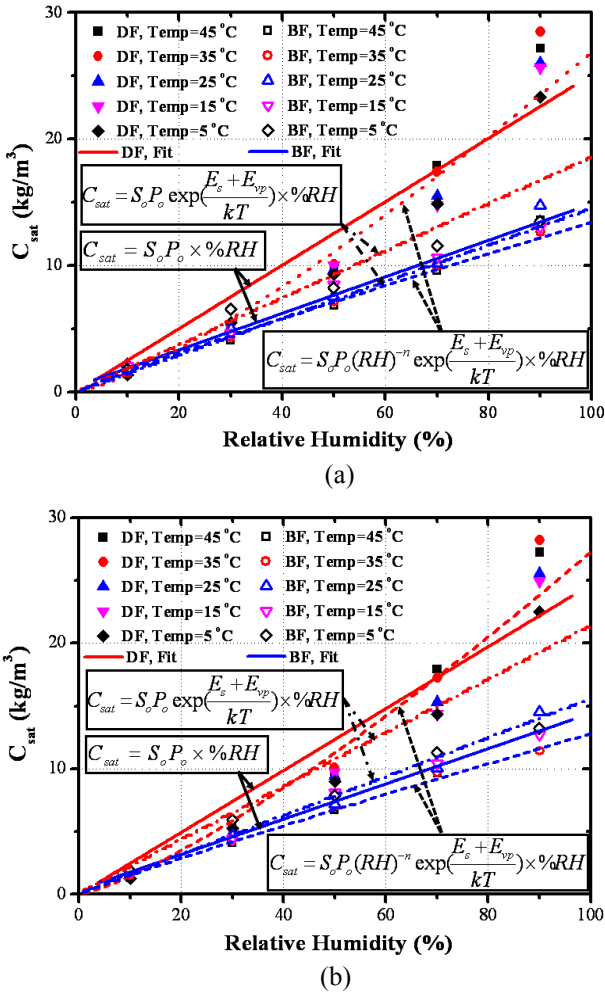


Fig. 2 The saturated moisture concentration of DF and BF. The solid lines represent global fits of data independent on temperature: a) Absorption, $Y=0.251X$, $R^2=0.91$ (DF), $Y=0.1513X$, $R^2=0.97$ (BF), b) Desorption, $Y=0.2467X$, $R^2=0.91$ (DF), $Y=0.1461X$, $R^2=0.97$ (BF)

3. 등가 수분 민감도

다층으로 구성되는 유연 패키징 모듈의 모재로 PET 를 사용하였고 고온, 고습 환경에서의 신뢰성 시험이 수명 평가에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 가속 시험에서 등가 수분 민감도는 국부적인 습기 농도가 서로 주어진 환경에서 동일하게 되는데 걸리는 시간을 나타내며 확산 거리에 따른 확산성 비율 및 온도에 따른 확산성 비율로 정의되는 가속 비율로 등가의 습기 민감도 수준을 특성화 할 수 있다. 유연 패키징 모듈은 전극을 가지는 모재와 광학 필름으로 구성되고 이를 외부로부터 보호하기 위한 전면 유리와 구성품들의 접합재로 구성이 된다.

Fig. 3(a)는 개략적인 패키징 모듈의 구성도를

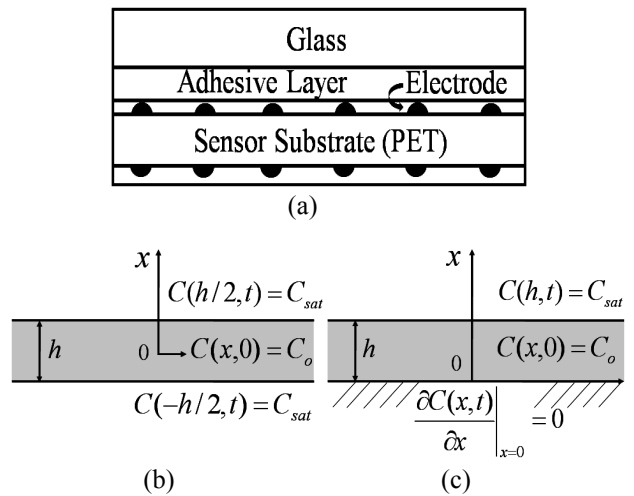


Fig. 3 Moisture diffusion problem: a) Schematic diagram of flexible packaging device. b) Transmission-through case. c) Diffusion-into case

보여주고 있고 이는 Fig. 3(b), (c)와 같이 모델링 된다. 여기서 고분자 층을 통해 습기가 투과되는 경우와 유리로 습기의 투과가 차단되는 경우에 대해 각각 조사하였다. 유리 또는 세라믹과 같이 습기 투과가 차단되는 층과 경계를 가지는 경우는 습기 농도가 대칭으로 확산되는 분포와 동일한 경계 조건을 따른다. 즉, 대칭면($x=0$)을 통한 질량 흐름이 없으며 확산 시간은 확산 길이 L_d 의 제곱에 비례한다. Fig. 3(b), (c)와 같이 같은 두께의 층에 대해 한 면이 차단되는 경우 확산 거리는 서로 2 배의 차이로 표현되고 Fig. 3(c)에 대한 확산 농도는 식 (4)와 같이 표현될 수 있고 식 (4)를 층의 두께에 대해 적분하면 식 (5)와 같이 확산된 습기의 양으로 표현할 수 있다.^(13,14)

$$C(x,t) = C_{sat} - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(C_{sat} - C_o)(-1)^n}{(2n+1)} e^{-(2n+1)^2 \pi^2 Dt / h^2} \cos((2n+1)\pi \frac{x}{h}) \quad (4)$$

$$\frac{M(x,t)}{M_{\infty}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{-(2n+1)^2 \pi^2 Dt / h^2} \quad (5)$$

여기서 $M(kg)$ 은 위치 및 시간에 따른 습기의 양이고 $M_{\infty}(kg)$ 은 포화된 습기의 양을 나타낸다. 시간에 따른 습기 농도 구배의 분포 모델링은 소재의 수분 확산성, 확산 거리, 습기 농도 포화에 필요한 총 소요 시간, 온도, 상대습도 등과 같은 변수들의 영향을 이해하기 위해 필요하고 통상 열-습기 유사(Thermal-Moisture Analogy)에 따른 상대습도로 정규화된 포화 습기농도를 이용하여 수분

Table 4 Moisture sorption properties of flexible packaging module at accelerated soaking condition and water spraying condition

Condition	85°C/85%RH		35°C/98%RH	
	$D_A, m^2/s$	$S_A, kg/m^3 \cdot Pa$	$D_W, m^2/s$	$S_W, kg/m^3 \cdot Pa$
Module, Absorption	3.8E-11	0.00027	2.94E-12	0.00327
Module, Desorption	2.0E-12	0.00561	2.7E-12	0.00877
Module with Al substrate, Absorption	1.6E-11	0.00026	7.4E-13	0.00308
Module with Al substrate, Desorption	7.2E-13	0.00506	4.9E-13	0.00787

확산 모델링을 한다.⁽⁸⁾

유연 패키징 모듈의 신뢰성 인증 시험은 35°C, 98%RH 에서 침습 시험을 하고 85°C, 85%RH 에서 가속 수명 시험을 한다. Fig. 4 는 각각의 시험 조건에서 흡습 후 상온(25°C, 45%RH)으로 탈습에 대한 모듈의 수분 증감률을 나타낸다. 수분 투과성 평가를 통해 수분 투과 차단성이 확인된 보호 유리층을 모듈과 결합하여 반투과성을 가지는 Fig. 3(c)의 확산성 모델링을 위해 본 논문에서는 금속 알루미늄 필름을 결합하여 모사 실험을 하였다.

Fig. 4 의 측정 결과를 바탕으로 포화 흡습된 무게 증가량의 절반에 도달하는 시간을 얻어 식 (3) 을 이용하여 습기 확산성을 추정하였고⁽⁸⁻⁹⁾ 습기 용해성은 식 (1)에 따라 실험적으로 얻은 포화 습기 농도 및 온도에 따른 포화 증기압을 이용하여 구하였다. 온도 의존적인 확산성과 용해성을 얻은 후 아레니우스 및 온습도 모델을 함수로 하여 최소 자승 오차를 얻기 위한 비선형 근사를 통해 Table 4 에 주어진 변수화된 계수들을 얻을 수 있었다.⁽¹⁰⁾ 알루미늄 필름으로 투과 차단 경계를 가지는 경우는 경계면을 따라 수분 확산 농도가 대칭적인 분포의 경우와 등가이다. 따라서, 포화 수분 농도에 이르기까지 걸리는 시간은 확산거리의 제곱에 비례하고 이에 따른 확산성은 반비례 감소와 같다. 35°C, 98%RH 조건 및 85°C, 85%RH 조건에서 흡습 확산성의 비율은 3.9 및 2.4 를 각각 얻었고 85°C, 85%RH 조건에서는 빠른 확산성의 예측을 추정함에서 발생된 오차로 추정한다. 흡습과 탈습에 따른 용해성은 수분 투과 차단에 상관없이 거의 같아 확산되어 침투된 수분이 탈습에서 동일하게 빠져 나왔다. 등가의 습기 농도에 따른 가속 수명 비율 $AF(\text{acceleration factor})$ 는 온습도 모델(습도 가속 지수 $n=0$ 의 경우는 아레니우스 모델)을 이용하여 다음 식 (6)과 같이 표현될 수 있다.

$$AF = \frac{t_W}{t_A} = \frac{D_A}{D_W} = \left(\frac{RH_A}{RH_W}\right)^{-n} \exp\left(-\frac{E_D}{k} \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_W}\right)\right) \quad (6)$$

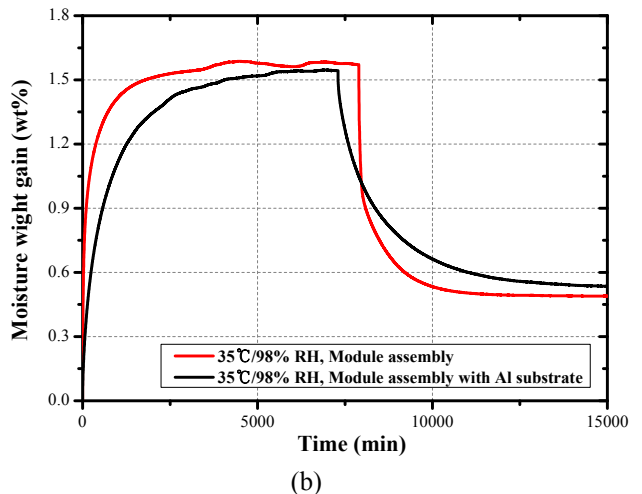
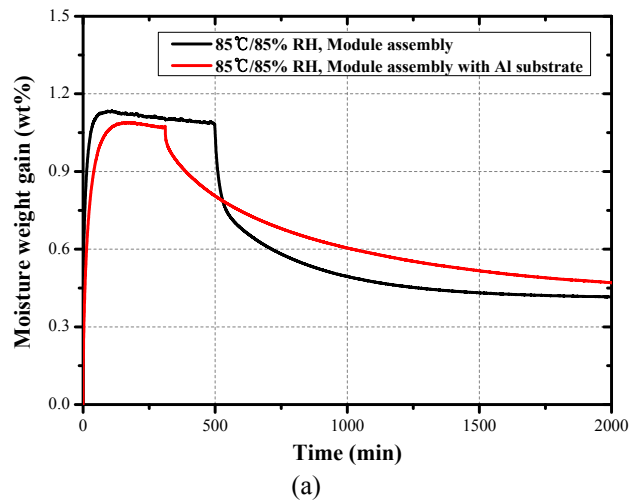


Fig. 4 Flexible packaging module assembly subjected to: a) absorption 85°C/85%RH and desorption 25°C/45%RH, b) absorption 35°C/98%RH and desorption 25°C/45%RH

여기서 t_W, T_W, D_W 는 침습 시험 조건에서 흡습 시간, 온도, 확산성을 나타내고 t_A, T_A, D_A 는 가속 수명 시험 조건에서 흡습 시간, 온도, 확산성을 나타낸다. Fig. 5 는 온도에 따른 PET 필름의 확산성을 나타내고 아레니우스 관계식에 따라 확산성 활성화 에너지는 기울기에서 얻어지며 약 0.5eV 임을

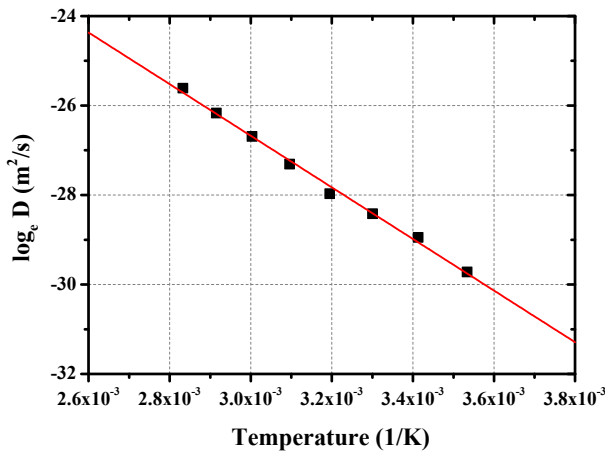


Fig. 5 Temperature dependent diffusivity of PET film. The solid line represents a global fit of data with equation $Y=-5769X-9.37$. The reduced R-squared value was 0.99

알 수 있다. PET의 확산성은 습도의 영향이 거의 없고 식 (6)에 따라 습도 가속 지수 $n=0$ 을 사용하여 약 14의 가속 수명 비율을 얻었다. 실험으로부터 각 조건에서 모듈의 흡습 및 탈습 물성은 Table 4에 주어지고 있고 흡습 가속 수명 비율은 모듈에 대해서는 13.1을 얻었고 알루미늄 반투과 모듈에 대해서는 21.6을 얻을 수 있었다. 즉, 온도에 따른 아레니우스 식을 이용하여 얻은 가속 수명 비율은 실험적으로 예측한 확산성에 따른 소요 시간의 비율과 비교할만한 결과를 얻었고 반투과 모듈에 대해서는 비선형 확산의 발생에 따른 오차로 추정한다.

4. 결론

열중량법을 이용하여 전자 패키징 소재의 습기 수축 특성 및 가속 수명 비율을 통한 신뢰성 평가를 다음과 같이 규정할 수 있었다.

(1) 등은 수분 흡습, 탈습에 따른 수분 확산성 및 용해성은 유리전이 온도 이하에서 가역적이었다. 즉, 등에서 흡습된 수분은 구조의 변화가 없는 상태에서 동일한 시간 스케일에 대해 탈습되어 짐을 알 수 있었다.

(2) 변수화된 흡습 물성인 용해성과 확산성은 온도 및 습도에 따른 의존성을 나타낸다. 확산성은 시간적, 공간적 스케일에 대한 연관성을 규정하고 소재의 등가 습기 수축 수준에 요구되는 소요 시간은 박막 형태의 소재에서 지배적 확산 거리인 두께 제곱에 비례하고 이에 따른 확산성은 반비례 감소와 같다

(3) 온도 및 습도에 따른 등가 습기 수축 수준에 필요한 시간은 확산성의 비율로 표현할 수 있고 유연성 패키징 모듈에 대한 확산 활성화 에너지와 확산성을 바탕으로 예측한 가속 수명 비율과 비교할 만한 결과를 보여 주었다.

참고문헌

- (1) Vitoratos, E., Sakkopoulos, S., Dalas, E., Paliatsas, N., Karageorgopoulos, D., Petraki, F., Kennou, S., and Choulis, S. A., 2009, "Thermal Degradation Mechanism of PEDOT:PSS," *Organic Electronics*, Vol. 10, p.61.
- (2) Kusanagi, H. and Yukawa, S., 1994, "Fourier Transform Infra-Red Spectroscopic Studies of Water Molecules Sorbed in Solid Polymers," *Polymer*, Vol. 35, No. 26, pp.5637~5640.
- (3) Soles, C. L., Chang, F. T., Bolan, B. A., Hristov, H. A., Gidley, D. W., and Yee, A. F., 1998, "Contributions of The Nanovoid Structure to The Moisture Absorption Properties of Epoxy Resins," *J. Pol. Sci.*, Vol. 36, pp.3035~3048.
- (4) Ruvolo-Filho, A. and Da Silva, A., 1998, "Transport of Dichloromethane in Poly(ether Imide) Films: Effect of The Solvent Activity and Temperature," *J. Macromol. Sci. Phys.*, Vol. 37, p.349.
- (5) Ruvolo-Filho, A. and Murakami, M. M., 1998, "Transport Properties of Water in Glassy Polycarbonate Films: Effects of The Processing and Thickness," *J. Macromol. Sci. Phys.*, Vol.37, p.627.
- (6) Fan, X. J. and Lim, T. B., 1999, "Mechanism Analysis for Moisture-Induced Failure in IC Packages," in *ASME IMECE 11th Symposium on Mechanics of Surface Mount Assemblies*, Nashville, Tennessee, p.14.
- (7) Ardebili, H., Wong, E. H., and Pecht, M. G., 2003, "Hygroscopic Swelling and Sorption Characteristics of Epoxy Molding Compounds Used in Electronic Packaging," *IEEE CPMT*, Vol.26, No.1, pp.206~214.
- (8) Park, H., 2011, "Comprehensive Quantification of Sorption Characteristics in Polymer Material of Thin Film Form," *Proc. the ASME IMECE2011-63339*, pp.949~955.
- (9) Pasternak, R. A., Schimscheimer, J. F., and Heller, J., 1970, "A Dynamic Approach to Diffusion and Permeation Measurements," *J. Pol. Sci. A-2*, Vol. 8, pp. 467~479.
- (10) Park, H., 2012, "Evaluation of Moisture Sorption Characteristics in Polymer Material," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 36, No. 11, pp. 1297~1303.
- (11) Wong, E. H. and Rajoo, R., 2003, "Moisture Absorption and Diffusion Characterization of Packaging Materials-

- Advanced Treatment," *Microelectronics Reliability*, Vol.43, pp. 2087~2096.
- (12) Shi, Y., Tay, A. A. O., Wong, E. H., and Ranjan, R., 2002, "An Effective Method of Characterizing Moisture Desorption of Polymeric Materials at High Temperature," *Elec. Pkg. Tech. Conf.*, pp.70~75.
- (13) Mills, A. F., 1995, "*Basic Heat and Mass Transfer*," Irwin.
- (14) Jang, C. and Han, B., 2009, "Analytical Solutions of Gas Transport Problems in Inorganic/Organic Hybrid Structures for Gas Barrier Applications," *J. Appl. Phy.*, V.105, 093532.