

## 반도체 칩 패키지용 액상 봉지재의 점도거동 연구

김인범 · 이명천<sup>†</sup>

동국대학교 화학공학과  
(1999년 10월 20일 접수, 2000년 5월 2일 채택)

### Study on the Viscosity Behaviors of Liquid Encapsulant for Semi-Conductor Chip Packaging

In Beom Kim and Myung Cheon Lee<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering, Dongguk University  
(Received 20 October 1999; accepted 2 May 2000)

#### 요 약

반도체용 액상 봉지재에는 많은 양의 실리카가 충전제로서 쓰이고 있는데 실리카의 농도 및 종류에 따라 점도거동이 크게 변한다. 본 연구에서는 실리카 함량과 입자크기 등이 변화할 때 액상봉지재의 점도거동이 어떻게 변하는지를 살펴보았다. 또한, 그러한 점도거동을 충전제 함량과 입자의 모양 그리고 입자의 크기와 크기분포에 의한 영향이 고려될 수 있는 Mooney의 식을 사용하여 예측해 보았다. 실험결과, 액상 봉지재의 고유점도와 상대점도는 실리카의 평균입자크기에 따라 다른 값을 나타내었다. 그러므로, Mooney식에 있는 고유점도의 경우 기존에는 입자크기에 무관하게 2.5로서 나타내졌는데 이 고정된 값으로는 입자크기에 따라 점도가 다르게 나타나는 본 액상 봉지재의 점도거동예측에 사용될 수 없었으며 입자 크기에 따라 실험에 의해 결정된 값을 사용할 때 보다 정확한 예측이 가능하였다. 최대충전율의 경우 입자크기의 분포를 고려하여 결정될 때 보다 정확한 점도거동 예측이 가능할 것으로 예상된다.

**Abstract** - Because the encapsulants for semi-conductors contain high concentration of silica as a filler, the viscosity behaviors of them largely depend on the content and the type of silicas. This study investigated the effects of the content and the average size of silica on the viscosity behaviors of the liquid encapsulant before curing. And, such viscosity behaviors were fitted using a Mooney equation, which can consider the effects of content, shape, size and size distribution of fillers on the viscosity. Experimental results showed that both of intrinsic and relative viscosity depended on the average size of silica. Therefore, with the previous value of intrinsic viscosity, 2.5, which have been used independently for the size of fillers, the Mooney equation could not fit well the experimental data. More accurate fitting was made by using the experimentally determined intrinsic viscosities of each size of silicas. Moreover, the better predictions are expected to be possible by using the maximum packing fraction determined by considering the size distribution of silica.

**Key words:** Encapsulant, Viscosity, Mooney, Silica, Semi-Conductor

#### 1. 서 론

과거에 반도체용 액상 봉지재는 주위 환경에 대한 신뢰도가 크게 요구되지 않는 분야에 사용되어 왔다. 그러나, 최근 액상 에폭시 수지의 합성기술이 발달함에 따라 신뢰도가 크게 향상되어 액상 봉지재의 사용량이 점차 증가하고 있는 추세이다[1-3]. 액상 봉지재는 상온에서 filling 및 dispensing 작업이 가능하기 때문에 작업조건이 까다롭지 않고 기존 EMC(Epoxy Molding Compound) 봉지재에 비해 점도가 낮기 때문에 EMC 봉지재로는 침투해 들어갈 수 없는 복잡한 곳까지 스며들어가 수 있다[4].

액상 봉지재는 1960년대부터 전통적으로 chip on board(COB)나 integ-

rated circuit(IC)용으로 쓰여 왔으나 최근 Flip Chip on Board(FCOB)와 Direct Chip Attach(DCA) 기술이 비약적으로 발전하고 수요가 급증함에 따라 여기에 필요한 액상 봉지재의 사용량이 증가되기 시작했다. FCOB의 경우 칩과 기판 사이의 간격이 40-100  $\mu\text{m}$  정도인데 이 사이에 수 많은 볼들이 연결되어 있고 그 사이를 액상 봉지재가 모세관현상에 의해 스며들어가게 된다. 모세관현상에 의해 스며들어가게 되면 작업속도가 느리기 때문에 속도를 빠르게 하기 위해 압력을 가하여 스며들어가게 하는 공정이 연구되기도 한다[5].

이때 액상 봉지재가 스며들어가게 하는 속도는 점도에 의해 크게 좌우되며 이 점도는 기지재로 쓰이는 수지의 종류, 충전제의 종류 및 양 그리고 충전제의 크기분포에 의해 많은 영향을 받기 때문에 이에 대한 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다. 충전제로는 보통 EMC와 마찬가지로 실리카가 많이 쓰이고 있는데 최대 60 vol% 이상의 고함량으로 충전되기

<sup>†</sup>E-mail: leemc@dgu.ac.kr

도 하며 이때 쓰이는 충전제 입자는 높은 충전제 함량하에서 가능한한 낮은 점도를 나타낼 수 있도록 여러 가지 크기의 충전제를 혼합 사용한다. 일반적으로 충전제가 함유되어진 고분자 유체의 유동학적 거동에 영향을 줄 수 있는 인자들로써 충전제의 함량, 입자크기의 분산정도, 입자크기, 입자모양 등을 들 수 있다. 이러한 유동학적 거동을 예측할 수 있는 수식으로는 지금까지 많은 제안식들이 보고되고 있으나 용액 혹은 수지의 종류 그리고 입자의 종류에 따라 예측식이 결정된다. 반도체용 액상 봉지재의 경우 지금까지 이에 관련하여 연구결과가 보고된 바가 거의 없어 적용될 수 있는 예측식을 결정하기가 쉽지 않다. 가장 일반적으로 적용될 수 있는 예측식으로는 Mooney의 식 (6)이 있는데 다음과 같이 표현된다.

$$\ln \frac{\eta}{\eta_f} = \frac{[\eta]\Phi}{1 - \frac{\Phi}{\Phi_m}}$$

- $\eta$  : 충전제를 포함한 수지의 점도  
 $\eta_f$  : 순수 수지의 점도  
 $[\eta]$  : 고유점도(intrinsic viscosity)  
 $\Phi_m$  : 최대충전율  
 $\Phi$  : 충전제 충전율

본 연구에서는 액상 봉지재내의 충전제 함량과 입자크기가 변화할 때 점도 거동이 전단율에 따라 어떻게 변화하는지를 살펴보았다. 또한, 그러한 점도거동을 예측할 수 있는 여러 가지 수식중 충전제 함량과 입자의 모양 그리고 입자의 크기분포에 의한 영향이 고려될 수 있는 Mooney의 식을 사용하여 실리카 충전제가 함유되어진 에폭시 수지의 점도 거동을 예측해 보았다.

## 2. 실험

### 2-1. 실험재료

실험에 사용되어진 에폭시 수지는 현재 반도체 액상 봉지재용으로 널리 사용되어지고 있는 cycloaliphatic epoxy인 ERL-4221E(Union Carbide Co.) 수지를 이용하였으며, 가교제로는 hexahydro-4-methyl phthalic anhydride(HHMPA, Aldrich Chemical Co., Inc.)를 1 : 0.87의 몰비로 혼합하여 사용하였다. 이때 사용된 수지와 가교제의 화학적 구조는 Fig. 1에 나타내었다. 충전제로는 구상 실리카를 평균입자크기가 다른 세 종류를 선택하여 실험에 사용하였는데 평균입자크기가 각각 7, 18, 32  $\mu\text{m}$  (S-1, S-2, S-3)이며 Hitachi Chemical Co., Ltd.로부터 구입하였다.

### 2-2. 점도의 측정

실리카 충전제가 충전된 액상 봉지재의 점도를 측정하기 위해 각각의 실리카 충전제를 0, 18.4, 26.0, 34.5, 44.2 vol%로 상온에서 10분간 혼합한 후 얻어진 시료를 이용하였다. 점도의 측정은 상온에서 이루어졌으

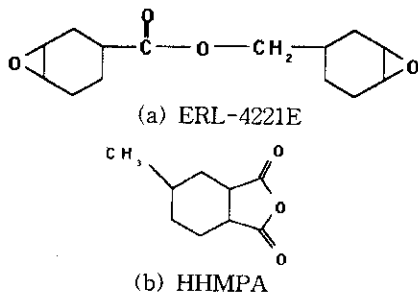


Fig. 1. The structures of an epoxy resin and a crosslinking agent.

화학공학 제38권 제4호 2000년 8월

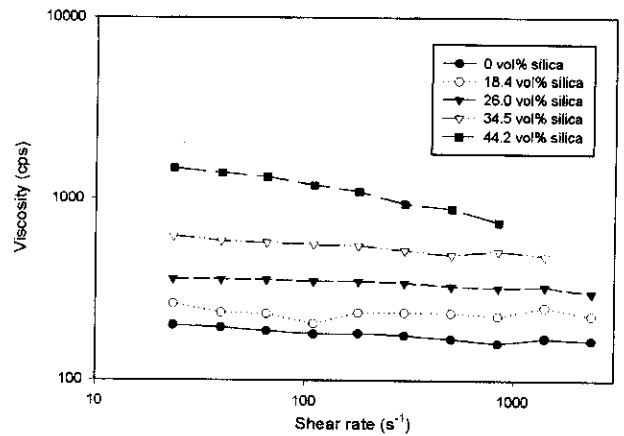


Fig. 2. Viscosity changes of liquid encapsulants containing S-1 silica with shear rate at each silica concentration.

며 Couette형태의 HAAKE RT-20 점도계를 사용하여 전단율 변화에 따른 점도값을 충전제 농도와 충전제 평균입자크기에 따른 종류별로 측정하였다. 또한 고유점도의 측정은 상온에서 모세관점도계(Ubbelode)를 이용하여 실시하였는데 실리카 종류별로 각각 충전농도를 0.28, 0.45, 0.8, 1.06, 1.64, 2.18, 2.61 vol%로 변화시켜가며 점도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 토론

### 3-1. 점도측정 결과

평균입자크기가 각각 7, 18, 32 m인 실리카를 0, 18.4, 26.0, 34.5, 44.2 vol%의 농도로 첨가된 액상 봉지재의 전단율값에 따른 점도변화를 Fig. 2-4에 각각 나타내었다. 세 그림에서 보면 실리카 함량이 낮을 경우 순수 에폭시수지와 비슷한 정도의 shear thinning을 보이지만 함량이 높아질수록 shear thinning이 점점 커지는 것을 볼 수 있다. 보통 충전제의 함량이 클 경우 충전제 입자들끼리 물리적 내부구조(skeleton)를 형성하게 되는데 전단율이 커지게 되면 초기에 형성된 이 내부 구조가 깨지고 유체의 흐름방향에 따른 새로운 구조를 형성하게 된다. 따라서, 이 효과는 충전제의 함량이 많고 상호작용이 클수록 더욱 뚜렷하게 되는데 본 실험에서 고농도로 갈수록 shear thinning 효과가 커지는 것은 이러한 이유 때문이다. 실험기기의 특성상 고함량과 고전단율로 갈수록 회전체에 높은 토크가 걸리게 되는데 토크값이 한계를 벗어나면 측정이 불가능해진다. Fig. 2-4에서 고함량과 고전단율로 갈수록 실험자료의 갯수가 줄어드는 것은 높은 토크값으로 인해 측정기기의 측정범

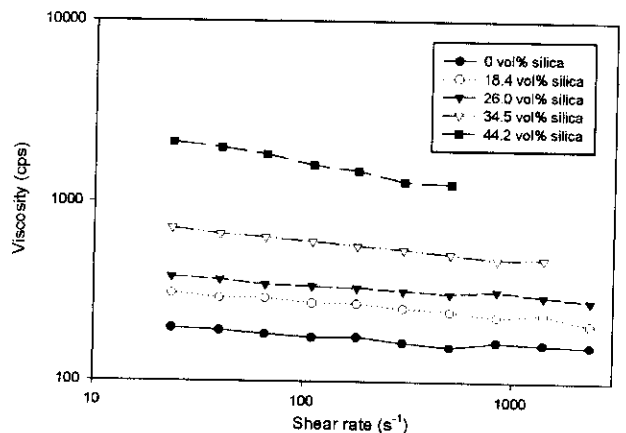


Fig. 3. Viscosity changes of liquid encapsulants containing S-2 silica with shear rate at each silica concentration.

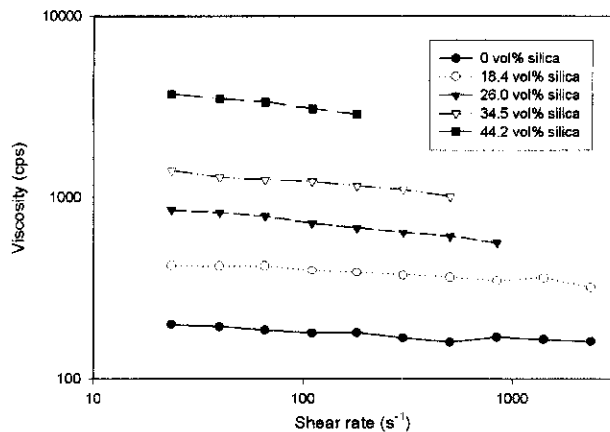


Fig. 4. Viscosity changes of liquid encapsulants containing S-3 silica with shear rate at each silica concentration.

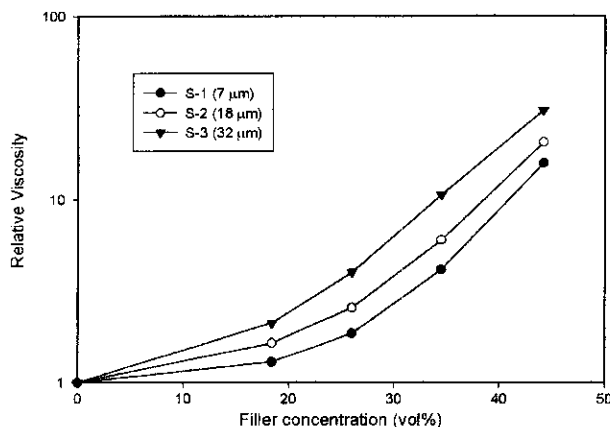


Fig. 5. Relative viscosity-concentration curve of each liquid encapsulant containing different size of silica.

위를 벗어나기 때문이다.

Fig. 5에서는 Fig. 2-4에서 함량별 실험자료를 각각 외삽하여 영점전단율(zero-shear rate)에서의 점도값을 구한 후 이를 실리카 함량에 대하여 나타내었다. 그림에서 보면 상대점도의 증가는 고함량에서 크게 증가하는 것을 알 수 있고 같은 함량에서는 입자크기가 클수록 점도가 큼을 알 수 있다. 일반적인 고분자 수지와 충전제에 대해서는 지금까지 입자크기에 따른 점도변화가 거의 없는 것으로 많이 알려져 왔으나 본 연구에서는 점도 차이가 있음을 보여주고 있다. 이 그림에서 보면 같은 부피분율에서 입자크기가 클수록 점도가 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 충전제가 함유된 수지의 경우 점도에 영향을 줄 수 있는 인자로는 입자와 수지의 상호작용과 입자간의 상호작용으로 나눌 수 있으며 입자간의 상호작용은 다시 정전기적인 것과 충돌에 의한 것으로 나눌 수 있다. 그런데 정전기적인 상호작용은 보통 입자크기가  $1\mu\text{m}$  이하인 경우 중요한 역할을 하기 때문에 본 연구에서의 입자간 상호작용은 주로 충돌에 의한 의미로 받아들일 수 있다. 따라서, 점도측정시 측정기기의 종류에 따라 입자와 수지와의 상호작용 혹은 입자와 입자간의 상호작용이 더 강조될 수 있다. 그런데, 일반적으로 판단해 볼 때 같은 부피분율에 대하여 입자크기가 작을수록 입자의 표면적이 커져서 입자와 수지간의 상호작용이 중요시되는 측정기기에서는 입자크기가 작을수록 점도가 커질 것으로 예상이 되나 오히려 점도가 작게 나오는 것은 본 연구에서 사용된 측정기기에서는 입자간의 상호작용이 점도상승에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편, 모세관 점도계를 사용하

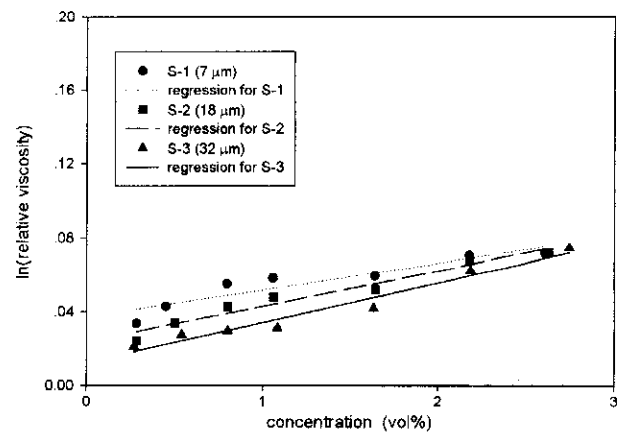


Fig. 6. Relative viscosity-concentration curve of each liquid encapsulant containing different size of silica. The slope represents the intrinsic viscosity.

여 상대점도를 측정하였을 때는 입자크기가 작을수록 높은 점도값을 얻어 측정방법에 따라 점도값이 다르게 나올 수 있음을 보여주고 있다 (Fig. 6). 측정기기의 종류에 따른 구체적인 상호작용별 효과는 추후 연구되어야 할 과제이다.

### 3-2. Mooney식을 이용한 점도예측

본 연구에서 사용한 시스템에 대하여 실리카 함유농도에 따른 점도변화를 예측할 수 있는 수식을 결정하기 위하여 충전제의 형태와 농도를 고려할 수 있는 Mooney식을 이용하여 보았다. Mooney식에 있는 고유점도,  $[\eta]$ , 는 지금까지 현탁 시스템에서 1911년 Einstein[7]이 제안한 2.5의 값을 지금까지 사용하여 왔는데 이 값은 충전제 함량이 아주 낮은 저농도에서 충전입자끼리의 상호작용이 없고 입자의 형태가 단단한 구형인 경우에 한해 적용되는 값이다. 이 값은 입자가 구형인 경우 입자 크기에는 무관한 값이며 단지 입자가 구형이 아닌 모양을 가질 때 변할 수 있는 것으로 제안되어 왔다. 최대충전율,  $\Phi_m$ , 은 입자크기가 단분산되어 있을 때 입자의 모양과 충전형태에 따라 0.54-0.74 사이의 값을 갖는다[8].

여기에서 고유점도값 2.5는 지금까지 대부분의 현탁 시스템에 대해 입자의 크기에 무관한 값으로 적용되어 왔는데 입자의 크기에 따라 점도값이 다른 본 시스템에 대해서는 잘 적용될 수가 없음을 Fig. 7에 나타내었다. 즉 고유점도값을 2.5로 고정시켰을 때 최대충전율값이 가질 수 있는 0.54-0.74 사이에서는 실험자료를 잘 맞출 수 없음을 보여주

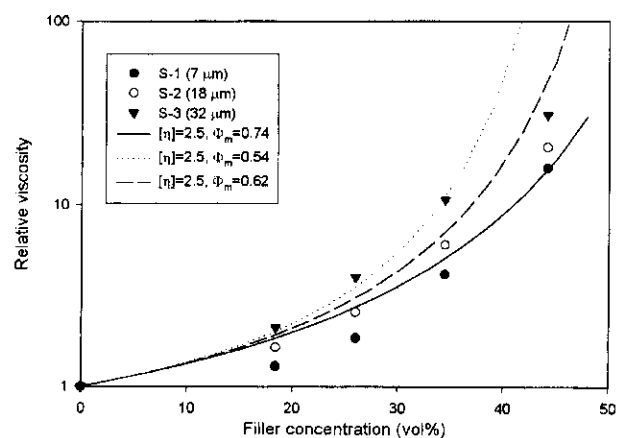


Fig. 7. Relative viscosity-concentration data and predicted curves. A Mooney equation was used for prediction.

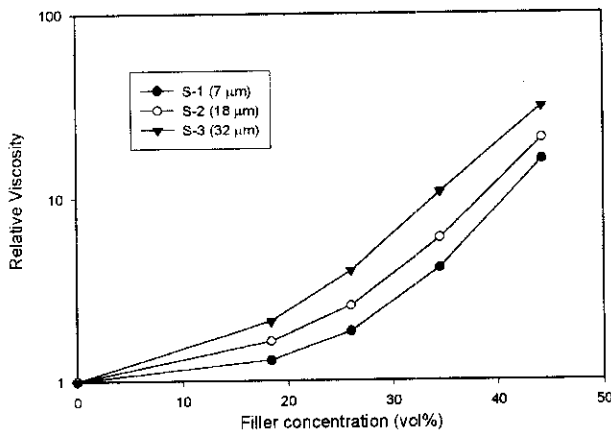


Fig. 8. Experimental data and regression curve of each encapsulant containing different size of silica.

Table 1. The intrinsic viscosity and maximum packing ratios of Mooney equation

	Intrinsic viscosity (experiment)	Intrinsic viscosity (regression)	Maximum packing ratio
S-1	1.45	1.55	0.61
S-2	1.92	2.18	0.65
S-3	2.20	3.51	0.76

고 있다. 따라서, 이에 대한 보정 작업으로 본 연구에서는 우선 고유점도값이 입자크기에 따라 변하는 지를 살펴보기 위해 입자크기에 따른 고유점도값을 모세관 점도계를 이용하여 측정하여 보았다. 이 결과를 Fig. 6에 나타내었는데 입자크기가 클수록 농도값 증가에 따른 기울기, 즉 고유점도가 커지는 경향을 나타내고 있다. 이때 결정된 고유점도값은 S-1, 2, 3이 각각 1.45, 1.92, 2.20 값을 나타내고 있는데 기존의 Einstein factor, 2.5 보다는 모두 작은 값들이다. 한편, 실험자료에 대해 고유점도와 최대충전율을 상수로 놓고 Mooney식을 이용하여 regression을 해본 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 이때 regression에 의해 결정된 고유점도와 최대충전율값들은 Table 1에 나타내었으며 고유점도의 경우 실험에 의해 결정된 값을 함께 나타내었다.

Table 1에서 보면 고유점도의 경우 실리카의 크기가 작을수록 실험값과 regression값이 오차가 적고 입자크기가 가장 큰 S-3의 경우 오차가 큼을 알 수 있다. 일반적으로 고유점도값은 입자간의 마찰과 같은 상호작용이 클수록 커지는데 실험에 의해 결정된 고유점도값은 묽은 농도에서 측정이 이루어지기 때문에 입자간의 상호작용이 거의 없는 상태에서 이루어져 실제 실험자료를 regression 한 값과 비교하여 오차가 발생한다고 할 수 있다. 이러한 마찰과 같은 입자간의 상호작용은 입자크기가 클수록 커지게 되는데 Table 1에서와 같이 입자크기가 클수록 실험치와 regression값이 오차가 커지는 것은 그러한 이유 때문일 것으로 판단된다. 최대충전율의 이론적 값은 입자크기가 단분산되어 있고 입자형태가 구형일 때 충전형태가 cubical이면 0.524, hexagonal이면 0.74로 알려져 있고, 실험치로는 random한 충전이면 0.601-0.641 사

이의 값을 갖고 가장 일반적으로 많이 쓰이는 값은 0.62로 알려져 있다[8]. 그러나, 실제 실리카 제품의 경우 입자크기가 단분산되어 있지는 거의 불가능하며 대개는 입자크기가 분산되어 있다. 입자크기가 분산되어 있으면 평균입자크기에 따라 최대충전율값이 달라지게 되는데[9] 이러한 이유 때문에 Table 1에서 실리카 종류에 따라 최대충전율값이 다르게 나오고 있다고 판단된다. 평균입자크기가 상대적으로 작은 S-1과 S-2의 경우 기존에 알려진 실험치 범위 0.601-0.641의 범주에 크게 벗어나지 않지만 입자크기가 큰 S-3의 경우 그러한 범주의 값보다 훨씬 큰 값이 나올 수 있다. 따라서, Mooney식에 있는 고유점도와 최대충전율값의 결정은 충전제의 크기와 크기분포가 고려된 상태에서 이루어져야 보다 정확한 점도예측이 가능하리라 판단된다.

## 5. 결 론

실리카가 충전된 반도체용 액상 봉지재의 점도거동은 실리카의 평균 입자크기에 따라 다른 값을 나타내었는데 입자크기가 클수록 입자간의 상호작용으로 점도값이 커졌다. Mooney식에 있는 고유점도의 경우 기존에 입자크기에 무관하게 고정된 값으로 사용되어 왔던 2.5로는 입자크기에 따라 점도가 다르게 나타나는 본 액상 봉지재의 점도거동에 예측에 사용될 때 큰 오차를 보였으며 입자크기에 따라 실험에 의해 결정된 값을 사용할 때 보다 정확한 예측이 가능하였다. 최대충전율의 경우 입자크기의 분포를 고려하여 결정될 때 보다 정확한 점도거동 예측이 가능한데 입자크기 분포를 고려한 이론적인 최대충전율값은 계속 연구되어야 할 사항이다. Regression에 의해 결정된 고유점도와 최대충전율값을 이용하여 입자크기에 따른 점도변화실험치를 잘 예측할 수 있었으며 이때 결정된 고유점도값은 실리카 입자크기가 작을 때는 잘 맞았으나 입자크기가 클 때는 입자간의 상호작용에 의한 영향으로 실험치와 어느정도 오차를 보였다. 따라서, Mooney식에 있는 고유점도는 입자크기와 입자간의 상호작용이 고려될 수 있는 새로운 상수로써 대치되어야 보다 정확한 점도 예측식이 되리라 생각된다.

## 참고문헌

- Shi, S., Jefferson, G. and Wong, C. P.: 1997 Int. Symp. on Adv. Packaging Materials, Braselton, Georgia, U.S.A., 42(1997).
- Baliga, J.: *Semiconductor International*, March, 87(1998).
- Markstein, H. W.: *Electronic Packaging & Production*, April, 33(1998).
- Matthew, K. S. and William, H. L.: *IEEE Trans. on Comp., Packaging and Manuf. Tech.-Part C*, 19(2), 133(1996).
- Han, S. and Wang, K. K.: *IEEE Trans. on Comp., Packaging and Manuf. Tech.-Part B*, 20(4), 424(1997).
- Mooney, M.: *J. Colloid Sci.*, 6, 162(1951).
- Einstein, A.: *Ann. Phys.*, 34, 591(1911).
- Miles, I. S. and Rostami, S.: "Multicomponent Polymer Systems," Polymer Science and Technology Series, Longman Science & Technical, New York(1992).
- Kim, I. B., Bae, D. H., Lee, M. C., Lee, E. S., Yun, H. C. and Lim, J. C.: *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 6, 949(1999).