

경화 및 냉각을 거친 LED 패키징 실리콘의 잔류응력에 대한 수치해석적 고찰

송민재¹· 김권희²· 강정진³· 김홍규[#]

A numerical study on the residual stress in LED encapsulment silicone after curing and cooling

M. J. Song, K. H. Kim, J. J. Kang, H. K. Kim

Abstract

Silicone is recently used for LED chip encapsulment due to its good thermal stability and optical transmittance. To mold a solid-state silicone encapsulment, curing by mixing at elevated temperatures followed by cooling is necessary. As the silicone molding process is involved in heating and subsequent cooling, the thermal residual stress, which causes mechanical warpage or optical birefringence in the final silicone encapsulment, may be induced if there are non-uniformities in cured silicone material properties or encapsulment shape design. The prediction of residual stress is necessary to design a high-quality silicone molding process. Therefore, in the present paper, a numerical parametric study was attempted to evaluate the heating and cooling effects on the thermal residual stress induced in the cured silicone.

Key Words : LED, silicone, encapsulment, residual stress, elastic modulus

1. 서 론

LED(Light Emitting Diode: 발광 다이오드)는 고효율, 고속응답, 장수명, 소형화, 경량, 저소비 전력에 의한 에너지 절감 등의 장점과 함께, 일산화탄소 발생이 전혀 없고 무수은 친환경 광원 등의 우수한 특징을 가지고 있어 많은 용도에 응용되고 있다. 또한 점광원 및 초소형 광소자로 선, 면, 공간 디자인을 자유롭게 할 수 있어서 활용분야가 신호, 디스플레이, 조명, 바이오, 통신, 휴대전화, LCD, 자동차 산업으로 넓리 사용이 확대되고 있다. 이러한 LED는 소자를 보호하기 위한 봉지재로서 열적, 광학적 특성이 우수한 에폭시, 실리콘 등의 열경화성 폴리머가 사용된다. 특히, 실리

콘 폴리머는 내열성이나 내구성이 요구되는 고화도 LED 용도로 수요가 증가하고 있으며 앞으로 대형 LCD 용 백라이트나 UV-LED의 수요증가와 일반조명등으로 사용이 확대되고 있어 종장기적으로 높은 성장을 보일 것으로 예측된다.

실리콘 폴리머는 액상의 주체, 경화제를 섞어서 금형 등의 틀에 집어넣고 열을 가하여 경화시키고 이를 냉각 시키는 제조과정을 통하여 만들어진다. 이러한 제조과정에서 발생하는 잔류응력은 강도저하 및 복구질의 발생으로 LED 제품의 기능 저하를 일으킬 수 있다. 따라서 이러한 실리콘 폴리머의 잔류응력에 관한 연구가 필요하다. 실리콘 제조과정에서 발생하는 잔류응력은 경화과정 중에 발생하는 것과 냉각과정 중에 발생하는 것으로 나뉘어진다고 알려져 있다.

1. 한국생산기술연구원, 고려대학교 대학원

2. 고려대학교 기계공학부

3. 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부

교신저자: 한국생산기술연구원 금형·성형기술연구부

E-mail: krystal@kitech.re.kr

하지만 경화중의 잔류응력은 냉각과정보다 크지 않기 때문에[1~3] 본 연구에서는 실리콘 폴리머의 경화 후 냉각과정에서 단순한 원통 형상의 실리콘 폴리머의 잔류응력을 연구하기 위하여 유한요소해석으로 냉각공정중 열에 의한 응력 및 물성치의 변화에 따른 잔류응력 경향을 파악하였다.

2. 실리콘 몰딩 공정

실리콘 폴리머의 성형은 압축성형(compression molding)공정을 도입하였다. 압축성형은 주로 분말상의 수지를 미리 예열된 일정한 형태의 금형에 투입하고 고온, 고압으로 압축하여 제품을 생산하는 공정으로 대부분의 경우 열경화성 수지의 성형이나 충전제의 함량이 매우 큰 경우에 사용된다. Fig. 1은 해석에 적용된 원통형 실리콘의 모델이며 Fig. 2는 압축 성형공정을 개략적으로 나타내었다. 성형 공정은 액상 실리콘의 주체와 경화제를 혼합한 뒤 금형에 dispensing 하여 150°C의 압축 경화공정 후 이를 상온에서 냉각하게 된다. 이때 냉각 시 잔류응력에 의한 휨(warpage)이 발생하게 된다. 성형후 이형시 상부 금형에 부착되어 냉각되는 경우와 하부 금형에서 냉각되는 2 가지의 공정의 잔류응력 경향을 해석 하였다.

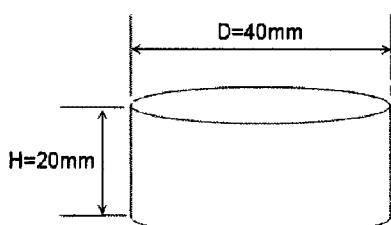


Fig. 1 Analysis model of silicone encapsulment

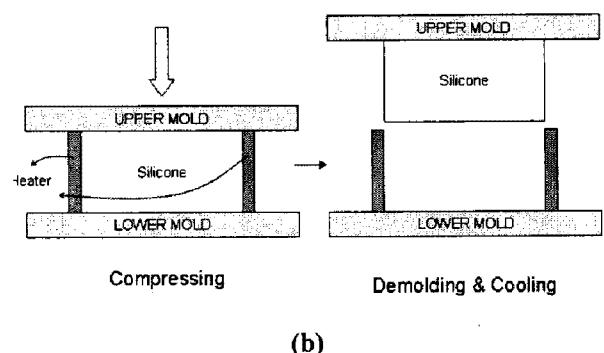
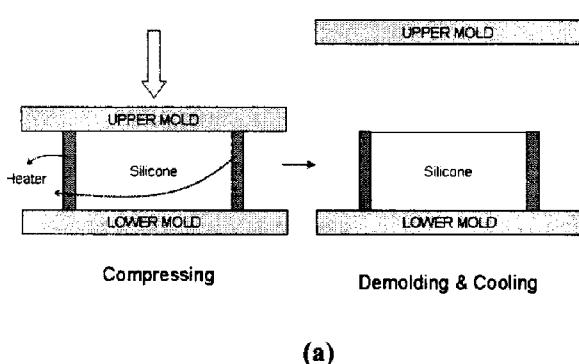


Fig. 2 Silicone molding process : (a) attaching molded silicone part to lower mold. (b) attaching molded silicone part to upper mold.

3. 유한 요소 해석

3.1 해석 조건

실리콘 폴리머는 150°C 온도의 경화후 20°C의 상온에서 자연대류로 냉각한다고 가정하였다. 또한 사용된 실리콘 폴리머는 경도가 41(shore D)정도로 딱딱하여 탄성 응력해석 만을 해석 영역으로 하였다. Table 1에 해석에 사용한 물성치를 나타내었다. 물성치는 matweb.com 의 silicone encapsulation grade를 참조하였다.

Table 1 Material property of silicone polymer

밀도(ρ)	1290 Kg/m ³
열전도도(k)	0.311W/m_K
비열(C_p)	4.581 J/kg_K
탄성계수(E)	3e+009N/m ²
포화 속도(v)	0.37
열팽창계수(CTE)	6e-005/Kdeg

사용한 요소는 육면체요소를 사용하였으며 대류 열전달계수는 자연대류 상태인 $h=10\text{ W/m}^2\text{K}$ 로 가정하여 과도 열전달 해석과 응력 해석을 동시에 진행하는 커플드 해석의 준정상상태(Quasi static)로 상용프로그램인 MSC. Marc로 해석을 수행하였다. 또한 실리콘 폴리머가 완전히 경화되어 균일한 탄성계수를 가질때와 불균일하게 경화되어 내부의 탄성계수가 원통 중심으로부터 원통표면까지 반지름 방향으로 다른 경우의 2 가지 경우의 잔류응력을 해석하였다. Fig. 3에 반지름 방향에 따라서 다른 탄성계수를 가정하였다.

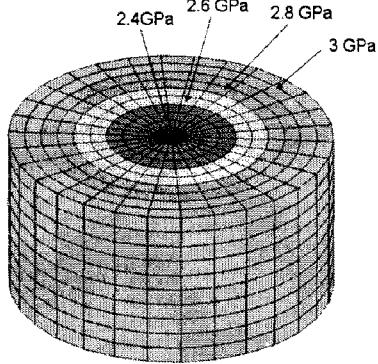


Fig. 3 Assumed different elastic modulus

3.2 해석 결과

Fig. 4는 하부 금형에 고정하고 냉각을 하였을 때의 응력 해석결과이며 (a)는 일정한 탄성계수 (b)는 내부의 탄성계수가 작을 때의 응력 해석 결과이다. **Fig.5**는 원통의 중심에서 원통표면까지의 반지름방향에 따른 잔류응력의 크기를 나타내었다. 일정한 탄성계수보다 탄성계수가 다를 때 잔류 응력이 작은 것을 알 수 있다.

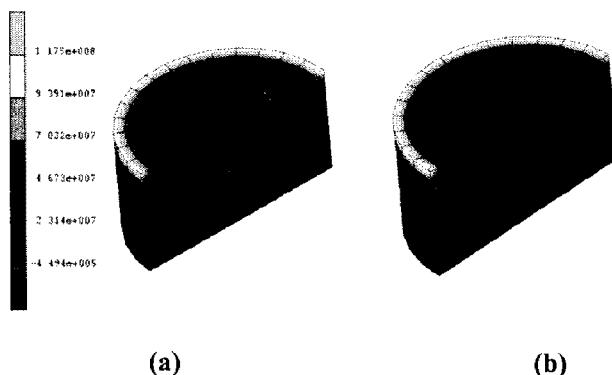


Fig. 4 Effective stress analysis results: (a) constant elastic modulus (b) different elastic modulus

Fig. 6은 상부 금형에 실리콘이 부착되고 이형후 냉각을 하였을 때 유효 응력 해석결과이다. (a)는 일정한 탄성계수 (b)는 탄성계수가 다를 때의 응력 해석 결과이다. **Fig.7**은 원통의 중심에서 원통 표면까지의 반지름방향에 따른 잔류응력의 크기를 나타내었다. 마찬가지로 일정한 탄성계수보다 탄성계수가 다를 때 잔류응력이 작은 것을 알 수 있다.

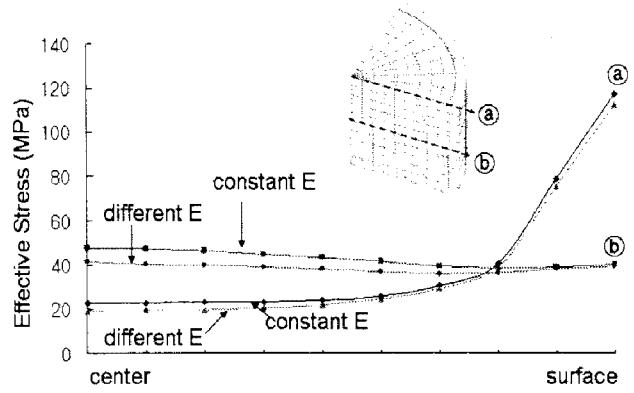


Fig. 5 Effective stress plot along radius direction

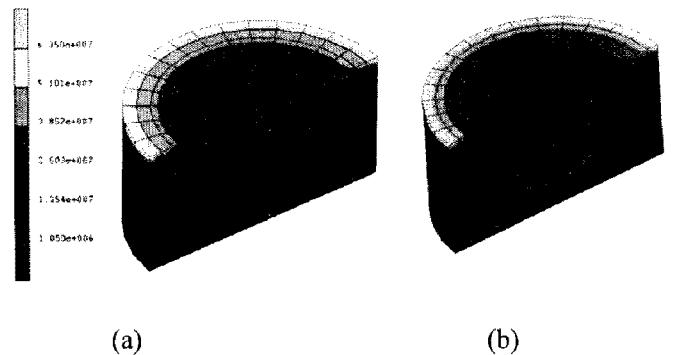


Fig. 6 Effective stress analysis results: (a) constant elastic modulus (b) different elastic modulus

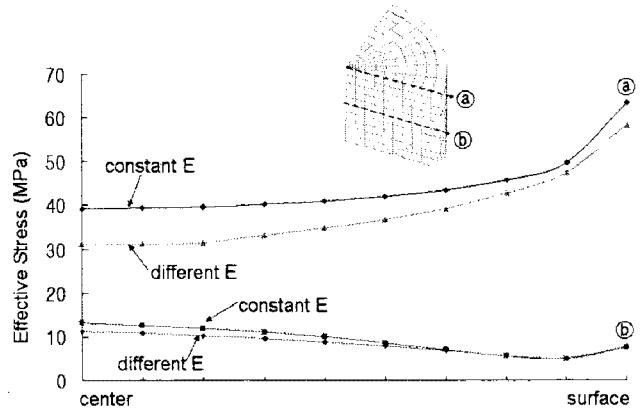


Fig. 7 Effective stress plot along radius direction

최대 유효 응력은 하부 금형에 실리콘을 고정하였을 때가 크게 발생했다. 냉각 시 실리콘의 하부금형 구속된 면이 상부금형보다 넓기 때문에 열응력에 대한 영향이 크다고 생각된다. **Table 2.**에 최대응력값을 정리하여 나타내었다.

Table 2. Max. residual stress of different condition

Cooling process condition	Max. Stress (MPa)
Lower mold fixed (constant E)	117.5
Lower mold fixed (different E)	112.6
Upper mold fixed (constant E)	63.5
Upper mold fixed (different E)	58.5

4. 결 론

발광 다이오드(LED)의 보호재로 사용되는 열경화성 실리콘 폴리머의 경화 후 냉각과정에서 단순한 원통 형상 실리콘의 잔류응력 경향을 연구하였다. 잔류응력의 영향이 큰 냉각공정 중의 경향을 유한요소해석으로 파악하였다. 실리콘이 균일하게 경화된 경우와 불균일하게 경화되어 외부와 내부의 탄성계수의 차이가 있을 때의 경향을 검토하였고 하형다이에 실리콘을 고정하여 냉각시킬 때가 잔류응력이 비교적 크게 발생하였다. 불균일한 경화에 의한 잔류응력 차이는 매우 적었으나 냉각방식에 따른 잔류응력의 차이는 크게 나타났다. 열응력은 구속된 면이 많을수록 값은 커지기 때문에 상부금형에 고정하였을 때가 잔류응력 저감을 위해 효과적이라고 생각된다. 이러한 경향을 파악하여 차후 실험으로 실리콘의 경화도, 기계적 물성데이터 확보 및 복굴절 경향을 파악하여 해석결과와 비교할 예정이다.

후 기

본 연구는 2009년도 한국과학재단(R11-2007-028-03001-0)의 지원과 지식경제부 산업핵심기술개발사업 “LCD용 LED Backlight 생산을 위한 대면적 정밀 패키징 기술개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 류동조, 황재영, 김성철, 1994, 탄소섬유/에폭시 복합체의 경화공정 중 물성변화, 유연학, 제6권, 제1호, pp10~19

- [2] 이상순, 1999, 섬유가 보강된 점탄성 복합재료에 발생하는 잔류응력의 3차원 경계요소 해석, 한국전산공학회 논문집, 제12권, 제3호, pp309~317
- [3] M. Shimbo, M. Ochi, Y. Shigeta, Shrinkage and internal stress during curing of epoxide resins, Journal of Applied Polymer Science, Vol.26, pp. 2265~22
- [4] K.S.Cho, I.S.Jeon, 2004, Numerical analysis of the warpage problem in TSOP, Microelectronics Reliability, Vol.44, pp. 621~626
- [5] L.C.E. Struik, 1978, Orientation effects and cooling stresses in amorphous polymers, Polymer engineering and science, Vol.18, pp. 799~811
- [5] Jacques, M.S., 1982, An analysis of thermal warpage in injection molded flat parts due to unbalanced cooling, Polymer engineering and science, Vol.22, pp. 241~247
- [6] Baaijens, F.P.T., 1991, Calculation of residual stresses in injection molded products, Rheol.Acta., Vol.30, pp. 284~299
- [7] S.R. White, H.T. Hahn, 1992, Process modeling of composite Materials: residual stress development during cure. Part II. experimental validation, Journal of Composite Materials, Vol.26, pp. 2423~2453
- [8] Edward M. Barrall, Mary Ann Flandera, 1974, Thermal analysis of the crosslinking reaction in silicone rubber, Vol.6, pp. 16~25
- [9] Shiang-Yu Teng, Sheng-Jye Hwang, 2007, Predicting the process induced warpage of electronic packages using the P-V-T-C equation and the Taguchi method, Microelectronics Reliability, Vol.47, pp. 2231~2341
- [10] S.R. White, H.T. Hahn, 1990, Mechanical property and residual stress development during cure of a graphite/BMI composite, Polymer engineering and science, Vol.30, pp. 1465~1473
- [11] M.R. Barone, D.A. Caulk, 1978, The effect of deformation and thermoset cure on heat conduction in a chopped-fiber reinforced polyester during compression molding, Vol.22, pp. 1021~1032
- [12] S.L. Liu, G Chen, M.S. Yong, 2004, EMC characterization and process study for electronics packaging, Thin Solid Films, pp.454~458
- [13] D.G. Yang, K.M.B. Jansen, L.J. Ernst, G.Q. Zhang, W.D. van Driel, 2007, Numerical modeling of warpage induced in QFN array molding process, Microelectronics Reliability, Vol.47, pp. 310~318