

# LED Encapsulation을 위한 스태틱 믹서의 전산 설계 및 유동해석을 이용한 액상 실리콘의 혼합 특성에 대한 연구

조용규<sup>† 1</sup> · 하석재<sup>1</sup> · 호 소<sup>1</sup> · 조명우<sup>1</sup> · 최종명<sup>2</sup> · 홍승민<sup>2</sup>

인하대학교 기계공학과<sup>1</sup> · (주)프로텍<sup>2</sup>

## A Study on the Computational Design of Static Mixer and Mixing Characteristics of Liquid Silicon Rubber using Fluidic Analysis for LED Encapsulation

Yong-Kyu Cho<sup>1</sup> · Seok-Jae Ha<sup>† 1</sup> · Huxiao<sup>1</sup> · Myeong-Woo Cho<sup>1</sup>  
Jong Myeong Choi<sup>2</sup> · Seung-Min Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Inha University · <sup>2</sup>PROTEC Co. LTD

**Abstract :** A Light Emitting Diode(LED) is a semiconductor device which converts electricity into light. LEDs are widely used in a field of illumination, LCD(Liquid Crystal Display) backlight, mobile signals because they have several merits, such as low power consumption, long lifetime, high brightness, fast response, environment friendly. In general, LEDs production does die bonding and wire bonding on board, and do silicon and phosphor dispensing to protect LED chip and improve brightness. Then lens molding process is performed using mixed liquid silicon rubber(LSR) by resin and hardener. A mixture of resin and hardener affect the optical characteristics of the LED lens. In this paper, computational design of static mixer was performed for mixing of liquid silicon. To evaluate characteristic of mixing efficiency, finite element model of static mixer was generated, and fluidic analysis was performed according to length of mixing element. Finally, optimal condition of length of mixing element was applied to static mixer from result of fluidic analysis.

**Key Words :** Light Emitting Diode, Encapsulation, Injection molding Static mixer, Fluidic analysis, Liquid silicon rubber(LSR)

### 1. 서 론

LED는 높은 수명과 더불어 낮은 소비전력에 따른 에너지 절감, 색온도 조절, 소형화 및 경량화라는 장점으로 인해 그 사용과 응용 분야는 점차 증가하고 있다.<sup>1)</sup> 현재 LED 산업의 동향은 과거 Epi-chip 중심에서 패키징 및 모듈 중심으로 이동하고 있으며 더 높은 효율을 이루기 위한 관련 분야의 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히 기존의 조명용 분야에서 FPD(Flat Panel Display)에 적용되는 BLU(Back Light Unit)등으로 확대됨과 더불어 LED TV 시장의

수요 창출에 대응하여 LED 기술 또한 단위소자의 성능향상 보다는 대량생산, 고성능 및 고출력화 추세로 변화되고 있다.<sup>2)</sup>

현재 LED 패키징 공정은 기판 위에 다이(die)본딩 공정과 와이어(wire)본딩 공정, 이후 LED 칩을 보호하고 휘도를 향상시키기 위한 형광체(phosphor)와 실리콘(silicon) 토출 공정, 렌즈 성형 공정을 통해 이루어진다.<sup>3)4)</sup> 이 중 렌즈 성형 공정은 LED의 집광 효율을 증대시키기 위한 LED 패키징 공정의 핵심 기술 중 하나이다.

일반적으로 LED의 렌즈는 높은 내열성, 내습성 등의 기계적인 특성과 높은 광 출력 효율과 투명도 등 광학적 특성이 요구된다. 이에 따라 LED 렌즈의 재질로 액상 실리콘(Liquid Silicon Rubber : LSR)이

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.

ykcho@inha.edu

접수 : 2012. 12. 26. 채택 : 2013. 02. 22.

사용되고 있다. LSR 소재는 열 경화성 수지로 성형 시 경화제와 동일(1:1) 부피 비율로 혼합되어 사출 장치 내의 플런저(plunger)로 공급된다. 이 때 주재와 경화제 혼합 시에 균일하게 혼합되지 않을 경우에 사출 금형으로 사출 된 후 경화 과정에서 각 캐비티(cavity) 별로 경화 정도의 편차가 발생되어 성형 불량 및 공정 시간 증가 등의 문제점이 발생하고, 이는 LED 렌즈의 광학적 특성을 저해하는 요인이 된다. 따라서 액상 실리콘 소재의 균일한 혼합을 위해서 별도의 혼합 장치가 필요하다.

일반적으로 유체의 믹싱을 위한 장치로는 패들, 프로펠러, 터빈 등 특정 방향으로 유체의 흐름을 유도하는 기계적 교반 장치나 구동부 없이 파이프나 덕트 내부에 장착된 스테틱 믹서(static mixer) 등이 있다. 스테틱 믹서(static mixer)는 믹서가 설치된 내부에서 유체의 유동만으로 믹싱과정이 발생됨에 따라 외부 동력원을 별도로 공급받는 기계적 교반 장치에 비해 고장 요소 및 보수를 필요로 하는 부품 파트가 거의 없으며, 교반 공정의 단축, 단순화, 연속화 등이 가능하여 공정 관리가 용이하고 생산 원가 및 에너지 절감이 가능한 장점이 있다.

본 논문에서는 액상 실리콘 소재의 혼합을 위한 스테틱 믹서(static mixer)의 전산 설계를 수행하였고, 스테틱 믹서(static mixer)의 유한요소 모델을 생성하여 유동 해석을 수행하였다. 해석 결과를 바탕으로, 스테틱 믹서(static mixer)의 형상(믹싱 요소 길이)에 따른 액상 실리콘의 주재와 경화제의 혼합 특성 변화에 대하여 분석하여 LED 렌즈 사출 성형 적용 가능성에 대해 검토하였다.

## 2. 스테틱 믹서(static mixer)의 설계

본 연구에서 설계한 스테틱 믹서(static mixer)는 Fig. 1과 같이 유체의 혼합을 발생시키는 기본적인 믹싱 요소(mixing element)의 다수로 구성되어 있고 기본적으로 유체의 분할(flow division), 뒤섞임(radial mixing), 유동방향 전환(rotational circulation)등 3가지 현상이 반복적으로 발생하는 구조이다.<sup>5-7)</sup>

유체는 믹싱 요소 1개를 통과할 때마다 2등분으로 흐름이 나누어진다. 따라서 스테틱 믹서(static mixer) 내 믹싱 요소를 반복적으로 통과할 때마다 유체의 흐름이 나누어지는 횟수가 기하급수적으로 증가하게 된다. 또한 믹싱 요소가 좌 방향 우 방향

으로 교차 배열되어 있기 때문에 유체가 이동하면서 유체의 안쪽과 바깥쪽이 반복적으로 변화하게 되고, 이에 따라 유체의 분할과 더불어 믹싱 효율이 증대된다. 믹싱 요소로 인한 유체 유동의 전환은 스테틱 믹서(static mixer)를 통과하는 유체의 흐름이 관 중심부에서 내측면, 내측면에서 다시 중심부로 이동하는 과정이 반복적으로 발생하게 된다. Fig. 2는 스테틱 믹서(static mixer)의 유동 전환 과정을 나타낸다.

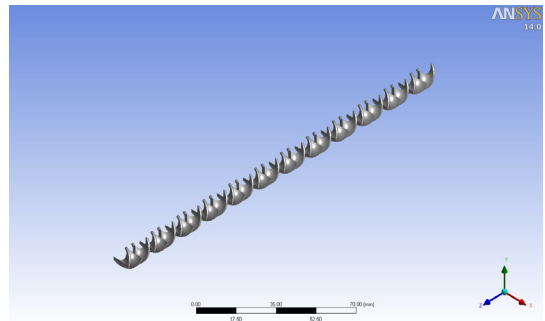


Fig. 1. Designed static mixer model

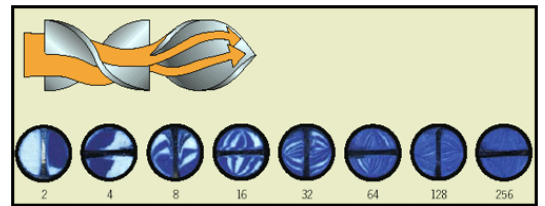


Fig.2. Flow transition in static mixer

설계된 스테틱 믹서(static mixer)는 Fig. 3과 같이 사출 장치에 장착된다. 재료공급부에서 주재와 경화제가 동일(1:1) 유량으로 공급되어 스테틱 믹서(static mixer)를 통과하게 되고 플런저에 투입된다. 최종적으로 혼합된 액상 실리콘 소재는 사출 금형 내에서 투입되어 열 경화를 통해 사출 성형 공정을 거치게 된다.

스테틱 믹서(static mixer)의 믹싱 요소 길이는 8mm, 16mm, 32mm로 설계하였다. 믹싱 요소의 길이에 따라 믹싱 요소의 수는 각각 48개, 24개, 12개가 된다.(전체길이 :192mm) 믹싱 요소의 수가 작을수록 스테틱 믹서(static mixer)의 제작이 용이하나 유체의 분할, 뒤섞임, 유동방향 전환이 적어 혼합이 잘 이루어지지 않는다. 따라서 본 연구에서는 유동

해석 결과로부터 각 믹싱 요소에 대하여 혼합도를 분석하였고 최적의 믹싱 요소 길이를 선정하여 스테틱 믹서(static mixer)에 적용하였다.

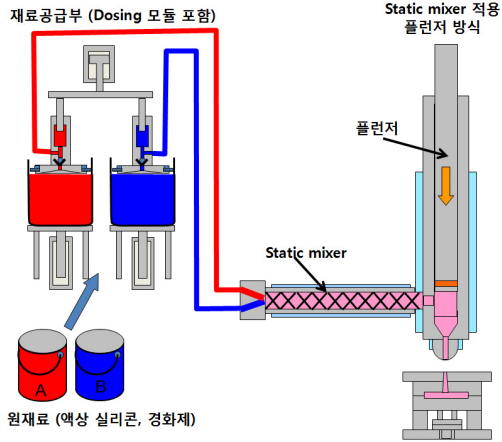


Fig. 3. Schematic diagram of injection molding system using static mixer

### 3. 스테틱 믹서(static mixer)의 유한요소 모델링 및 경계조건

설계된 스테틱 믹서(static mixer)의 혼합 효율을 검증하기 위해 3차원 모델링을 이용하여 유한요소 모델을 구성하였고 유한요소모델을 이용하여 스테틱 믹서(static mixer)의 유동해석을 수행하여 출구에서의 혼합도를 분석하였다. 유동 해석을 위해 사출 장치내의 파이프와 동일하게 Y자 형태로 직경 18mm, 길이 20mm의 유로를 모델링하여 스테틱 믹서(static mixer)와 결합시켰다.

유동 해석을 위해 사용된 액상 실리콘 소재는 LSR 7080으로 주요 유동 특성은 Table 1과 같다.<sup>8)</sup> 주재와 경화제가 스테틱 믹서(static mixer)를 통과한 후 플런저에서 투입되는 액상 실리콘 부피를 기준으로 다음 식을 이용하여 투입 유량을 설정하였다.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times L = 5.1 \times 10^{-6} m^3 = 5.1 cm^3 \quad (1)$$

$$M = \frac{\rho V}{2} = 1.05 \times 5.1 = 2.6675 g \quad (2)$$

주재와 경화제의 밀도 및 점도, 투입 유량 값을 이용하여 다음 식을 이용하여 레이놀즈 수의 계산이 가능하고 유동 특성을 예측할 수 있다.

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} \quad (3)$$

계산 결과 주재의 레이놀즈 수는  $1.9 \times 10^3$ 이고 경화제의 레이놀즈 수는  $3.8 \times 10^3$ 으로 Y자 형태의 파이프 내 유동을 층류 유동으로 구분될 수 있다. ( $Re=2000$ 이하) 레이놀즈 수가 매우 클 경우 난류 유동에 의해 스테틱 믹서(static mixer)의 유무와 관계없이 혼합이 발생하나 층류의 경우 확산에 의한 혼합에 의존할 수밖에 없다. 따라서 본 연구에서 사용된 사출 장치에서 스테틱 믹서(static mixer)를 이용한 혼합이 필수적임을 알 수 있다.

Table 1. Material property of LSR

Material	Resin	Hardener
Density ( $g/cm^3$ )	1.05	1.05
Viscosity (Pa·s)	100	50
Specific heat (J/g·K)	1.26	1.26
Flow rate (g/s)	2.6675	2.6675

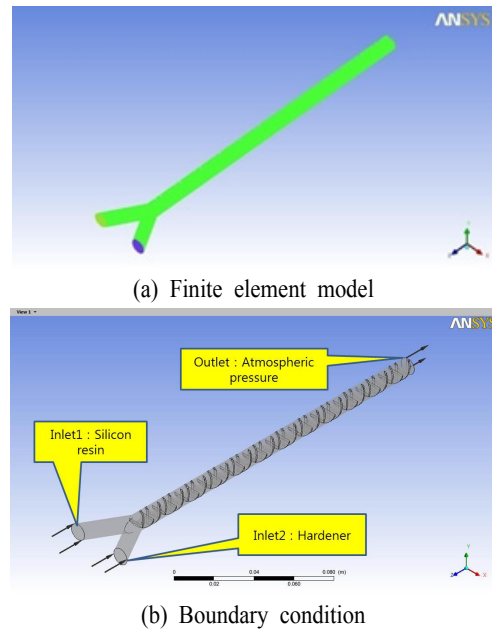


Fig. 4. Condition of fluidic analysis

스테틱 믹서(static mixer)의 유동 해석은 Ansys CFX V14를 이용하였고 Fig. 4(a)와 같이 Tetrahedrons mesh로 유한요소모델을 생성하였다. 유한요소 크기는 0.0005mm로 설정하였고 Fig. 4(b)와

같이 경계 조건을 설정하였다. 입구부에 각각 주재와 경화제를 투입하고 출구부는 대기압 조건으로 부여하였고 벽면은 no slip 조건으로 설정하여 스테틱 믹서(static mixer) 내부의 유동을 분석하였다.

#### 4. 스테틱 믹서(static mixer)의 유동 해석 결과

유동 해석을 통해 혼합물의 전체 체적에서 각 성분의 구성 비율인 부피율(volume fraction)을 사용하여 스테틱 믹서(static mixer)의 혼합 효율을 분석하였다. 각 믹싱 요소를 지나면서 주재와 경화제의 부피율 변화를 통해 혼합도를 알 수 있다.

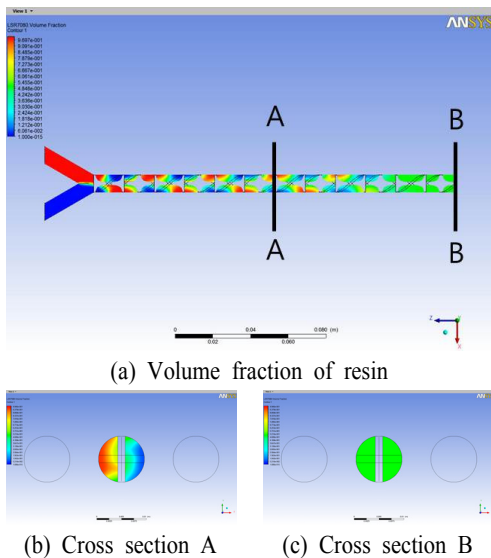


Fig. 5. Result of fluidic analysis (mixing element : 32mm)

Fig. 5(a)는 믹싱 요소가 32mm일 때의 유동 해석 결과로 각 믹싱 요소를 지날 때의 주재의 부피율 변화를 나타낸다. 믹싱 요소를 지나면서 주재와 경화제가 혼합되어 부피율이 감소하게 된다. 최종적으로 혼합이 균일하게 이루어지면 주재와 경화제의 부피율이 동등하게 된다.(주재:경화제 = 0.5:0.5) Fig. 5(b)와 (c)는 스테틱 믹서(static mixer)의 전체 길이의 1/2 위치(A-A)와 출구부(B-B)에서의 부피율을 단면으로 나타낸 것이다. 1/2 위치를 통과하더라도 충분히 혼합되지 않아 주재의 부피율이 믹서를 기준으로 왼쪽 부분이 더 높은 경향을 보였다. 이는 주재의 유

동이 왼쪽 부분에 집중됨을 의미한다. Fig. 5(c)에서 주재와 경화제는 출구부에 도달할 때 유체의 혼합이 완료됨을 알 수 있다. 이는 믹싱 요소의 길이가 32mm인 스테틱 믹서(static mixer)의 경우 전체 길이인 192mm 이상이 되어야 안정된 혼합 성능이 확보됨을 의미한다.

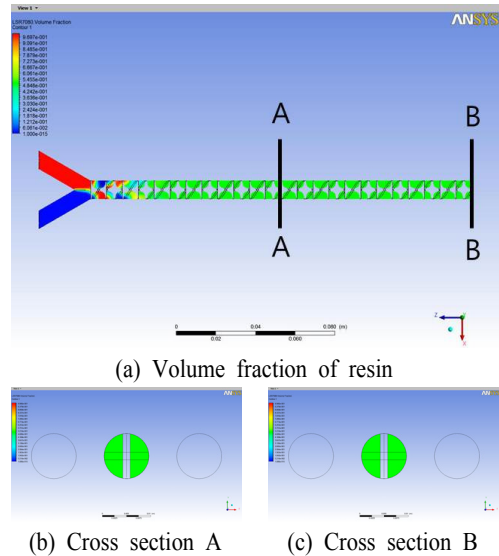


Fig. 6. Result of fluidic analysis (mixing element : 16mm)

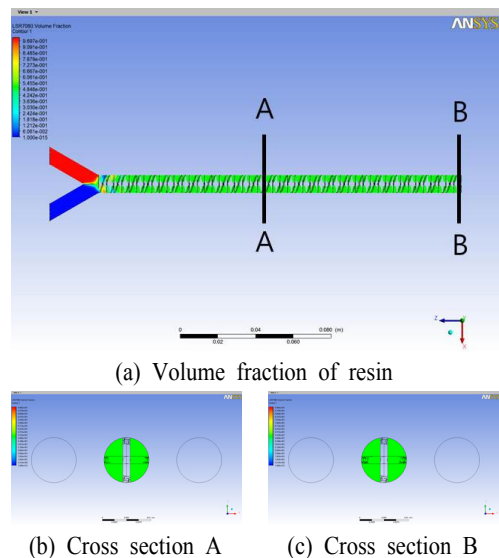


Fig. 7. Result of fluidic analysis (mixing element : 8mm)

Fig. 6과 Fig. 7은 믹싱 요소 길이가 각각 16mm와 8mm일 때의 유동해석 결과이다. 16mm의 경우 전체 길이의 1/4 지점에서 주재와 경화제가 완전히 혼합되었고, 8mm의 경우 입구 초입부에서 이미 혼합이 완료되었다. 따라서 Fig. 6(b)와 Fig. 7(b)에서 단면A를 통과할 때 주재와 경화제가 동등한 부피율을 가짐을 알 수 있다. 유동 해석을 통해 믹싱 요소의 길이가 작아짐에 따라 유동 흐름이 복잡해지고 액상 실리콘의 혼합이 더 빠르게 진행됨을 알 수 있다.

Table 2는 믹싱 요소 길이 조건에 따른 스태틱 믹서(static mixer)에 작용하는 내부 압력의 변화를 나타낸다. 믹싱 요소 길이가 짧을수록 높은 압력이 입구부에 작용하였는데 이는 스태틱 믹서(static mixer)를 통과할 때 압력 강하가 증가하여 초기 액상 실리콘 유입 시 더 높은 압력을 공급해야 함을 의미한다.

**Table 2.** Maximum pressure of static mixer

Length of mixing element	8mm	16mm	32mm
Maximum pressure	2.7 MPa	1.3 MPa	0.68 MPa

## 5. 결 론

본 논문에서는 LED 렌즈 성형에 사용되는 액상 실리콘의 주재와 경화제의 균일한 혼합을 위해 스태틱 믹서(static mixer)를 설계하였고 믹싱 요소 길이에 따른 유동 해석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 설계된 스태틱 믹서(static mixer)를 사용함에 따라 액상 실리콘의 주재와 경화제의 혼합 효율을 향상시킬 수 있었다.

2) 제한된 전체 파이프 길이(192mm)에 대하여 믹싱 요소 길이가 16mm이하일 때 안정된 혼합 성능을 확보할 수 있었다.

3) 믹싱 요소 길이가 짧을수록 액상 실리콘의 혼합 효율은 향상되나 압력 강하가 증가하여 액상 실리콘 주입 시 더 높은 압력이 공급되어야 하고, 믹싱 요소의 수가 증가함에 따라 스태틱 믹서(static mixer)의 제작 상의 난이도가 증가한다.

위의 결과를 토대로 본 연구에서 선정된 최적의 믹싱 요소 길이는 16mm로 안정적인 혼합 성능을

확보함과 동시에 제작이 용이할 것으로 판단된다. 설계된 스태틱 믹서(static mixer)의 혼합 성능에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 추후 제작된 스태틱 믹서(static mixer)에 액상 실리콘을 투입하여 혼합도를 평가하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 후기

본 논문은 지식경제 기술혁신사업(산업원천기술 개발사업)의 일환으로 수행 중인 ‘LED Encapsulation 장비 및 통합공정 개발’ 과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 1) H. J. Round, Electrical World, 49. 309, 1907
- 2) 박승혁, “형광체를 이용한 LED 기술동향”, 한국전기전자재료학회지 : 전기전자재료, V. 21, No. 1, pp. 27-38, 2008
- 3) E. Fred Schubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press, pp. 26-46, 2003
- 4) E. Fred Schubert, Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press, pp. 245-253, 2003
- 5) D. M. Hobbs, F. J. Muzzio, “The Kenics static mixer: a three-dimensional chaotic flow”, Chemical Engineering Journal Vol. 67, pp. 153-166, 1997
- 6) D. M. Hobbs, P. D. Swanson and F. J. Muzzio, “Numerical characterization of low Reynolds number flow in the Kenics static mixer, Chemical Engineering Science, Vol. 53, No. 8, pp. 1565-1584, 1998
- 7) D. M. Hobbs, F. J. Muzzio, “Reynolds number effects on laminar mixing in the Kenics static mixer”, Chemical Engineering Journal, Vol. 70, pp. 93-104, 1998
- 8) www.momentive.com