

스퀴징 공정변수에 따른 형광체막 성형 거동에 관한 연구

박정연¹ · 이정원² · 윤길상[#]

The Effect of Squeezing Parameters on the Fabrication Behavior of Phosphor Films

J. Y. Park, J. W. Lee, G. S. Yoon

(Received December 24, 2014 / Revised January 19, 2015 / Accepted January 27, 2015)

Abstract

It was confirmed that when phosphor slurry is formed in the cavity of an elastic mold, the pressure distribution of the phosphor slurry varies as a function of the major squeegee parameters (squeegee angle, squeegee velocity, and the viscosity of the phosphor slurry). The higher the slurry viscosity, the faster the squeegee velocity, and the smaller the squeegee angle, the higher the filling completeness of the phosphor slurry. The optimum conditions for complete filling of the phosphor slurry were found when the squeegee angle was between 30 to 45 degrees, squeegee velocity at 40 to 70mm/sec, and the viscosity of the phosphor slurry composite was at 6,556 cps (i.e. phosphor content around 50 wt. %).

Key Words : LED(Light Emitting Diodes), Phosphor slurry Squeezing, Squeegee Angle, Squeezing Speed, Elastic Mold

1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 저전력, 장수명, 고휘도, 빠른 응답, 친환경적 특성으로 인해 조명, 디스플레이 등 여러 분야에 사용되고 있는데, 특히 고출력 백색 LED는 최근 각종 조명 등의 응용시스템에 많이 사용되고 있는 추세이다[1].

백색 LED 제작방법은 단일 칩 형태의 방법으로 청색 또는 자색 LED 칩 위에 형광물질을 도포하여 백색을 얻는 각각의 방법과 두 개 또는 세 개의 LED 칩을 서로 조합하여 백색을 얻는 네 가지 방법으로 구분할 수 있다. 그 중 청색 LED 칩과 황색 형광체의 조합을 통해 백색 LED를 제작하는 방법은 1칩 2단자의 단순한 구조이기 때문에 제조단가를 절감할 수 있고 발광효율이 우수하기 때문에 백색 LED를 구현하는데 가장 광범위하게 사용하고 있다

[2~5]. 이러한 백색 LED를 제조하기 위해서 기존에 적용된 형광층 구현방식은 스프레이/스핀코팅법(Spray/Spin Coating Method), 침지코팅법(Dipping Coating Method), 디스펜싱법(Dispensing Method) 등의 슬러리 코팅방법(Slurry Coating Method)이 있다. 슬러리 코팅 방법의 경우 평탄하지 않은 표면에 인가시 두께가 일정치 않은 입자층을 만들고 얇은 입자층의 높은 패킹밀도를 얻기 위해 유기물의 바인더를 다량 함유하게 되어 열발산을 어렵게 한다. 또한 소자별 서로 다른 광효율 및 특정 색온도 구현, 색좌표 분실이 발생된다[6~8]. 위와 같은 두께 불균일성 등의 문제점을 개선하기 위하여 전기 영동법(Electrophoresis or Electrophoretic Deposition)[9], 형광체 세라믹 플레이트 부착법(Adhesion of Phosphor Plate)[10], 포토리소그래피 방식(Photolithography)[11], 용매 휘발방식(Coating & Volatilization)[12] 등이 개발

1. 한국생산기술연구원

Corresponding Author : Korea Institute of Industrial Technology,
E-mail: seviaygs@kitech.re.kr

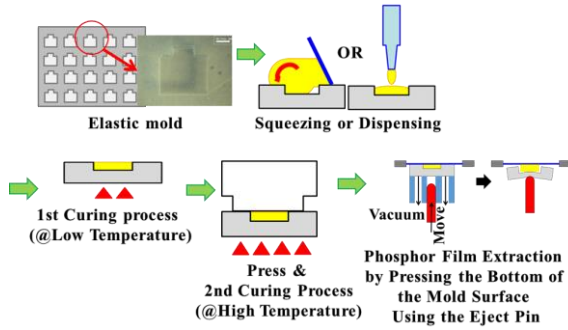


Fig. 1 An overview of the phosphor film molding process using the elastic mold

되었지만 형광체 대전(Electrification) 또는 유기용매 도입으로 인한 세척 등의 추가공정 소요, 형광체/칩 효율 저하 및 손상 등의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 두께 불균일성 및 공정단순화를 구현하기 위하여 최근 스크린 프린팅(Screen Printing) 방법을 이용하여 LED 칩 위에 형광체를 배치하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. Lee 등[13]은 실리콘 플레이트(Silicon Plate) 위에 실장된 플립칩(Flip Chip) 형상에 대응되는 프린팅 마스크(Printing Mask)를 실리콘 에칭(Silicon Etching)을 통해 제작한 뒤 UV 경화성 수지를 디스펜서(Dispenser)를 이용하여 먼저 도포한 다음 형광체 분말을 스퀴지(Squeegee)로 도포하여 형광층을 성형하는 공정에 대해 연구하였고, Shan Yu 등[14]은 실리콘 기판 위에 와이어 본딩까지 완료된 LED 칩 위에 금속 몰드를 올려놓고 형광체 슬러리를 도포하는 공정에 대해 연구하였다. Kewei Chen 등[15]은 역으로 형광체를 스크린 프린팅 공정으로 먼저 도포한 뒤 디스펜서를 이용하여 에폭시를 도포함으로써 형광층을 형성하는 공정에 관하여 연구하였다.

위에서 언급한 스크린 프린팅 방법을 이용하여 형광층을 성형하는 방법의 경우 스퀴징 공정에 영향을 미치는 공정변수 및 충전 경향에 대한 언급은 없는 상태이다. 또한 모두 웨이퍼 레벨에서 수행 가능한 스크린 프린팅 공정이라는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 웨이퍼 레벨이 아닌 상태에서 스퀴징 공정을 이용하여 형광체 슬러리가 도포된 탄성금형을 열경화시켜 형광체막을 성형한 뒤 형광체막 이송장비를 이용하여 형광체막을 청색 LED 칩 위에 실장하는 공정을 통해 백색 LED를 구현하고자 한다[16]. 이를 위해 우선 형광체 슬러리 스퀴징 공정에 영향을 미치는 여러 가지 인

자(형광체 슬러리 혼합점도, 스퀴지 각도, 압력 등)가 탄성 금형 충전에 미치는 영향을 전산모사에 의한 수치해석 기법을 사용하여 분석하였다. 그 다음 실제 탄성 금형 내 형광체 슬러리를 주입하는 스퀴징 실험을 통해 캐비티 내 충전경향을 해석결과와 비교하였다.

2. 스퀴징 공정 해석 및 실험계획

2.1 스퀴징 공정 해석을 위한 모델 단순화 및 해석 수행

탄성 금형 위에 작용하는 스퀴징 공정은 Fig. 2와 같이 스퀴지에 의해 형광체 슬러리의 충전이 유발된다[17]. 다수의 캐비티를 갖는 탄성 금형의 경우 이동 경계조건으로 처리해야 하며 그에 따른 다수개의 미세 구멍으로 충전 과정을 묘사해야 하기 때문에 복잡하고 긴 계산 시간을 요구한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 3와 같이 탄성 금형 내 캐비티 형상 없이 스퀴지 이송속도, 형광체 슬러리 혼합점도, 스퀴지 각도에 따라 형광체 슬러리 내부에 형성되는 압력분포에 대해 Ansys Fluent를 이용하여 단순화된 모델로 해석하였으며, 이를 통해 스퀴징 공정조건에 따라 발생하는 압력분포에 미치는 영향을 관찰하였다. 형광체 슬러리의 유동의 경우 단일 유동(Single-Phase Flow)으로 가정하여 해석을 진행하였으며, 탄성 금형 위에 도포된 형광체 슬러리의 채워진 두께는 20mm, 형광체 슬러리의 채워지는 폭은 81개의 캐비티를 모두 덮을 수 있는 100mm로 설정하였다. 스퀴지와 형광체 슬러리가 접하는 부분은 스퀴지의 측면 경계조건(Moving Wall Condition)을 적용하였고 형광체 슬러리의 주변 환경은 출구압력(Pressure Outlet) 조건을 적용하였다.

먼저 스퀴지 각도 45°, 스퀴지 이송속도 40mm/s, 형광체 슬러리 혼합점도를 Table 1과 같이 형광체 함량이 10wt%인 2500cps로 설정한 상태에서 스퀴징 공정이 진행되었을 때 형광체 슬러리 내에 작용하는 압력분포를 확인하였으며, 스퀴지 각도, 스퀴지 이송속도 및 형광체 슬러리 혼합점도를 파라미터로 설정한 상태에서(Table 2 참조) 반응표면분석법(Response Surface Analysis)에 기반한 유동해석 CAE를 수행하여 형광체 슬러리 내 최대압력분포를 보이는 최적 스퀴징 공정조건(Optimal Squeezing Process Condition)을 확인하였다.

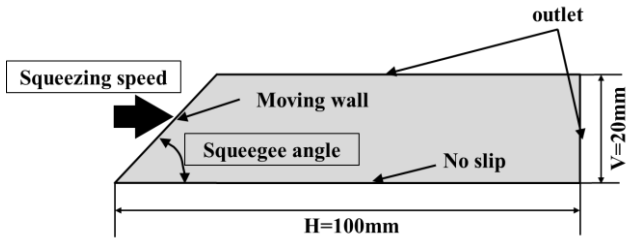


Fig. 2 Outline of the stencil printing process on the elastic mold

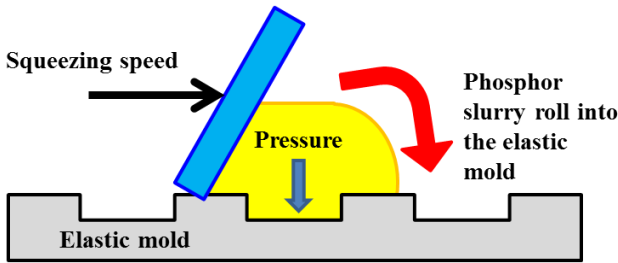


Fig. 3 Simplified analysis model of the stencil printing process for pressure prediction

Table 1 Comparison the viscosity of the phosphor slurry according to the phosphor content

Phosphor contents (wt%)	10	20	30	40	50
Viscosity(cps)	2500	3,282	3,819	5,650	6,579

Table 2 Parameter setting for optimization

Parameter	Unit	Values
Speed	mm/sec	10/40/70
Angle	°	30/45/60
Viscosity	cps	2,500~7,000

3. 유동해석 및 공정실험 결과

3.1 유동해석 CAE 결과

Fig. 4와 같이 스퀴지 각도 45도, 스퀴지 이송속도 40mm/sec, 형광체 슬러리 혼합점도 2,500cps 설정 시 스퀴지 측면과 형광체 슬러리가 접하는 하단부에 최대 7.04kPa의 압력이 형성되는 반면, 스퀴지 측면과 멀리 떨어진 부분에서는 대기압 상태를 유지하는 것으로 나타났다. 형광체 슬러리가 탄성몰드 캐

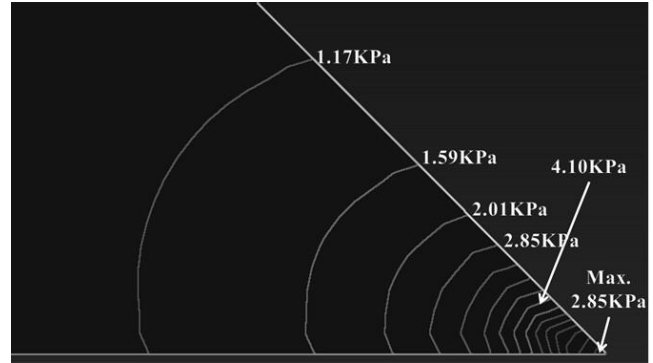


Fig. 4 Phosphor slurry pressure distribution of the squeezing process

No.	speed(mm/sec)	viscosity(cps)	degree	max. pressure(Pa)
1	40	4,625	45	7,012
2	10	4,625	45	1,759
3	70	4,625	45	12,281
4	40	2,500	45	7,019
5	40	7,000	45	7,017
6	40	6,556	30	23,915
7	40	4,625	60	3,762
8	15.609	2,694	32.804	23,892
9	64.391	2,694	32.804	21,779
10	15.609	6,556	32.804	11,769
11	64.391	6,556	32.804	11,369
12	15.609	2,694	57.196	1,674
13	64.391	2,694	57.196	6,783
14	15.609	6,556	57.196	1,674
15	64.391	6,556	57.196	6,782

Fig. 5 Comparison of maximum pressure data

비티에 원활하게 충전되기 위해서는 스퀴지 선단에 형성되는 압력이 높을수록 유리하기 때문에 이러한 압력분포를 고려할 때 형광체 슬러리 양이 탄성 금형을 전체적으로 덮을 수 있는 양 보다는 스퀴지로부터 일정 거리에 해당되는 영역에 형광체 슬러리를 도포하는 것이 보다 유리할 것으로 판단된다.

반응표면 분석법에 의해 형광체 슬러리 내 최대 압력분포를 보이는 최적 스퀴징 공정조건은 아래 Fig. 5와 같이 스퀴지 이송속도가 40mm/sec, 형광체 슬러리 혼합점도가 6,556cps(형광체 함량 40~50wt%에 해당됨), 스퀴지 각도가 30°일 때 23.915kPa로 도출되었다. 세가지 파라미터 중 형광체 슬러리에 작용하는 최대 압력값에 가장 큰 영향을 끼치는 인자는 스퀴지 각도이며, 형광체 슬러리 혼합점도 및 스퀴지 이송속도는 스퀴지 각도에 비하여 상대적으로 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

		speed (mm/sec)	10	40	70
Squeeze deg. = 30°	Before curing				
	After curing				
Squeeze deg. = 45°	Before curing				
	After curing				
Squeeze deg. = 60°	Before curing				
	After curing				

Fig. 6 The phosphor slurry filling patterns (phosphor 10wt% concentration)

3.2 스퀴징 공정실험 결과

3.2.1 형광체 함량 10%(혼합점도 2,500 cps)

실제 스퀴징 공정은 공기가 캐비티 내에 잔존하는 상태에서 형광체 슬러리가 도포되기 때문에 Fig. 6과 같이 형광체 슬러리가 정량 유입되지 못하며, 또한 경화 중 기포가 터지게 되고 형광체 슬러리 잔유물이 캐비티 벽면으로 붙은 채 경화됨을 확인하였다. 스퀴지 이송속도 및 스퀴지 각도가 증가할수록 기포의 크기는 감소되지만 완전히 없어지지 않으며, 경화 후의 캐비티 내 모습도 동일하게 관찰되었다.

3.2.2 형광체 함량 30wt% (혼합점도 3,819cps)

Fig. 7은 형광체 함량이 30wt%인 슬러지 충전경향을 나타낸 것이다. 형광체 함량이 10wt%인 슬러리 충전경향과 비교한 결과 형광체 증가로 인해 기포를 자중으로 누르는 힘의 크기가 증가하기 때문에 기포 크기가 감소되는 것을 확인하였다. 캐비티 내로 유입되는 형광체 슬러리의 양은 증가하지만 가압 열경화 공정 중 기포 탈출로 인하여 형광체 막의 성형품질이 저하되었다. 형광체 함량이 30wt%인 경우도 마찬가지로 스퀴지 이송속도, 스퀴지 각도가 증가할수록 기포의 크기는 감소되지만 완전히 없어지는 않음을 확인하였다.

		speed (mm/sec)	10	40	70
Squeeze deg. = 30°	Before curing				
	After curing				
Squeeze deg. = 45°	Before curing				
	After curing				
Squeeze deg. = 60°	Before curing				
	After curing				

Fig. 7 The phosphor slurry filling patterns (phosphor 30wt% concentration)

		speed (mm/sec)	10	40	70
Squeeze deg. = 30°	Before curing				
	After curing				
Squeeze deg. = 45°	Before curing				
	After curing				
Squeeze deg. = 60°	Before curing				
	After curing				

Fig. 8 The phosphor slurry filling patterns (phosphor 50wt% concentration)

3.2.3 형광체 함량 50wt% (혼합점도 6,579cps)

Fig. 8과 같이 스퀴지 각도가 30~45°, 스퀴지 이송속도가 40~70mm/sec인 경우 형광체 슬러리가 캐비티 내에 압축된 공기를 자중으로 누른 힘의 크기가 증가하기 때문에 형광체 슬러리 내에 존재한 일부 기포를 제외하고 스퀴징에 의해 캐비티 내 공기가 빠져나가지 못한 기포는 관찰되지 않았다. 그러나 스퀴지 각도 60°인 경우 스퀴지 블레이드와 형광체 슬러리 간의 접촉 면적 감소로 인하여 형광체 함량 증가로 인한 점도 상승에도 불구하고 캐비티 내에

형광체 슬러리가 주입되는 압력(Printing Pressure)이 작아지기 때문에 스퀴지 이송속도와 관계없이 캐비티 내에 기포가 발생되었다.

유동해석 CAE 및 스퀴징 공정실험 결과 이송속도가 빠를수록, 스퀴지 각도가 작을수록, 혼합점도가 높을수록 캐비티 내 형광체 슬러리 내 최대압력이 형성되며 이 때 캐비티 내에 형광체 슬러리가 기포 없이 균일하게 충전 됨을 확인하였다. 다만, 스퀴징 공정 실험 결과는 유동해석 결과와는 다르게 캐비티 충전에 가장 큰 영향을 끼치는 요인은 형광체 함량(혼합점도)인 것으로 나타났다. 이는 유동해석 시 캐비티 내에 잔존해 있던 압축공기에 의한 반발력 및 형광체 함량 증가에 따른 자중의 영향이 고려되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

주요 스퀴징 공정변수(스퀴지 각도, 혼합점도, 스퀴지 이송속도) 별로 탄성 금형 내 형광체 슬러리 충전 시 압력분포 예측 및 실제 스퀴징 공정실험을 통한 캐비티 내 충전경향을 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

(1) 형광체 함량이 높을수록, 스퀴지 각도가 작을수록, 스퀴지 이송속도가 빠를수록 탄성 금형 캐비티 내에 충전되는 형광체 슬러리의 양이 증가하였다.

(2) 캐비티 내 형광체 슬러리가 균일하게 도포되는 최적조건은 형광체 함량 40~50wt%, 스퀴지 이송속도 40~70mm/sec, 스퀴지 각도 30~45°일 때 형광체 슬러리 내부에 최대 23.915kPa 임을 해석적으로 유추하였다.

추후 형광체 소재 특성(크기, 밀도)에 따라 형광체 슬러리가 작용하는 자중의 영향 및 캐비티 내 압축공기에 의한 반발력, 그리고 탄성 금형 캐비티 두께를 고려하여 스퀴징 공정 실험 및 해석을 통해 캐비티 내에서 형광체 슬러리가 유동하는 모습을 정량적으로 예측할 수 있는 연구를 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제 기술혁신사업(신성장동력장비 경쟁력강화사업)의 일환으로 수행중인 “백색 LED 구현을 위한 LED 칩/패키지 형광체 Conformal 코팅

장비 개발” 과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] X. Luo, W. Xiong, T. Cheng, S. Liu, 2009, Temperature Estimation of High-power Light Emitting Diode Street Lamp by a Multi-chip Analytical Solution, IET Optoelectronics, Vol. 3, No. 5, pp. 225~232.
- [2] J. W. Park, G. H. Kim, J. H. Kim, W. Y. Cheon, S. B. Song, 2009, Proc. KIIEE Annual Spring Conf.(K. S. Lee), KIIEE, Seoul, Korea, pp. 252~255.
- [3] J. W. Park, G. H. Kim, J. H. Kim, K. O. Kim, 2008, Proc. KIIEE Annual Spring Conf.(K. S. Lee), KIIEE, Seoul, Korea, pp. 25~28.
- [4] K. H. Kim, W. Y. Cheong, J. H. Kim, S. B. Song, 2007, KIIEE Annual Spring Conf.(K. S. Lee), KIIEE, Seoul, Korea, pp. 71~76.
- [5] S. H. Hwang, S. J. Park, Y. L. Lee, 2010, A Study on Optimized Radiant Heat Design for 10W LED Lighting System, KAIS, Vol. 11, No. 7, pp. 2317~2322.
- [6] A. Okuno, Y. Miyawaki, N. Oyama, D. Wang, 2003, ICEPT 2003 15th Int. Conf.(IEEE), Shanghai, China, pp. 225~229.
- [7] J. Cheng, Q. H. Wang, Z. Lin, 2002, A 5-in CRT for High Luminance and High Resolution Projection Display, SID Symposium Digest Technical Paper, Vol. 33, No. 1, Boston, USA, pp. 1084~1087.
- [8] J. H. Yun, Y. E. Sung, 2004, Full Color Screen by EPD Combined with Photolithography for Flat Panel Displays, J. Electrochem. Soc., Vol. 151, No. 2, pp. H27~H32.
- [9] W. D. Collins, M. R. Krames, G. J. Verhoeckx, N. J. Leth, 2003, Using Electrophoresis to Produce a Conformally coated Phosphor-Converted Light Emitting Semiconductor, US Patent 6,576,488,B2, to Lumileds Lighting U.S., LLC, San Jose, CA(US).
- [10] G. O. Mueller, R. B. Mueller-Mach., 2009, Light Emitting Device Including Luminescent Ceramic and Light-Scattering Material, US Patent 7,521,862 B2, to Philips Lumileds Co., LLC San Jose, CA(US).
- [11] W. Collins, W. Snyder, D. Steigerwald, 2004,

- Producing Self-Aligned and Self-Exposed Photoresist Patterns on Light Emitting Material, US Patent 6,576,186, B2, to Lumileds Lighting U.S., LLC, San Jose, CA(US).
- [12] G. H. Negley, M. Leung, 2007, Methods of Coating Semiconductor Light Emitting Elements by Evaporating Solvent From a Suspension, US Patent 7,217,583, B2, to Cree, Inc., Durham, NC(US).
- [13] K. H. Lee, S. W. R. Lee, 2006, Electronics Packaging Technol. Conf. (IEEE), Singapore, pp.379~384.
- [14] S. Yu, L. Yang, C. Bin, H. Zheng, M. Chen, S. Liu, 2011, Int. Conf. on Electronic Packaging Technol. & High Density Packaging(IEEE), Shanghai, China, pp.103~107.
- [15] K. Chen, R. Zhang, S. W. R. LEE, 2010, Int. Conf. on Electronic Packaging Technol. & High Density Packaging(IEEE), Xi'an, China, pp. 1386~1392.
- [16] J. Y. Park, J. W. Lee, G. S. Yoon, 2014, Proc. 11th Trans. Mater. Process Mold Process Symposium(M. Y. Yang), Seoul, Korea, pp. 68~72.
- [17] W. S. Seo, B. W. Min, K. Park, H. J. Lee, J. B. Kim, 2012, Improvement of Filling Characteristics of Micro-Bumps in the Stencil Printing Process, J. Manuf. Eng. Technol., Vol. 21, No. 1, pp. 26~32.