

스텐실 프린팅 공정에서 미세범프의 성형성 향상을 위한 연구

서원상*, 민병욱*, 박 근⁺, 이해진⁺⁺, 김종봉⁺⁺⁺

(논문접수일 2011. 10. 20, 수정일 2011. 12. 16, 심사완료일 2011. 12. 19)

Improvement of Filling Characteristics of Micro-Bumps in the Stencil Printing Process

W. S. Seo*, B. W. Min*, K. Park⁺, H. J. Lee⁺⁺, J.-B. Kim⁺⁺⁺

Abstract

In the present study, the stencil printing process using solder paste are numerically analyzed. The key design parameters in the stencil printing process are the printing conditions, stencil design, and solder paste properties. Among these parameters, the effects of printing conditions including the squeegee angle and squeegee pressure are investigated through finite element (FE) analysis. However, the FE analysis for the stencil printing process requires tremendous computational loads and time because this process carries micro-filling through thousands of micro-apertures in stencil. To overcome this difficulty in simulation, the present study proposes a two-step approach to sequentially perform the global domain analysis and the local domain analysis. That is, the pressure development under the squeegee are firstly calculated in the full analysis domain through the global analysis. The filling stage of the solder paste into a micro-aperture is then analyzed in the local analysis domain based on the results of the preceding global analysis.

Key Words : Solder paste(솔더 페이스트), Stencil printing(스텐실 프린팅), Squeegee angle(스퀴지 각도), Micro bumps(미세범프), Numerical analysis(수치해석)

1. 서론

최근 휴대용 정보통신기기를 비롯한 각종 전자제품들이 경량화와 슬림화됨에 따라 소자의 집적도가 매우 빠른 속도로 증가하고 있다. 전자산업에서 사용되는 패키징 기술에서 범프를 이용한 플립칩 본딩이 활발히 사용되고 있는데, 전자제품 및 반도체 부품의 크기는 작아지는 반면 높은 성능이 요구됨에 따라 패키징 기술도 고집적화, 미세 피치화가 요구되고 있다. 이에 따라 플립칩 본딩에서는 미세 범프의 형성 기술개발과 그 신뢰

성 확보가 중요한 과제라고 할 수 있으며, 상기 이유로 패키징 공정에서 솔더 페이스트의 스텐실 프린팅 공정을 통한 접합의 소형화가 크게 요구되고 있다^(1,2). 이는 기존의 솔더 볼 등을 이용한 접합 공정은 더 소형화하는데 어려움을 보이고 있기 때문이다. 스텐실 프린팅 공정은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 다수개의 미세구멍이 형성된 스텐실 마스크에 롤러나 고무 패드로 솔더 페이스트를 충전시킨 후 채워진 솔더 페이스트를 리플로우하여 미세범프를 형성하는 방법이다⁽³⁾. 이와 같은 스텐실 프린팅 방법은 빠른 생산 속도와 비용 절감 효과 등의 장점이 있으

* 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원
+ 서울과학기술대학교 기계설계자동화공학부
++ 한국생산기술연구원 미래융합연구그룹
+++ 교신저자, 서울과학기술대학교 자동차공학과 (jbkim@seoultech.ac.kr)
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

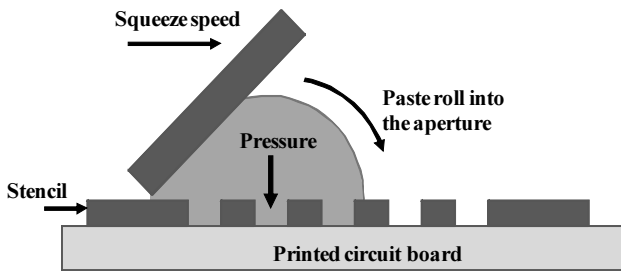


Fig. 1 Schematic illustration of the stencil printing process

나, 미세 피치의 적용에는 어려움이 있으며 높이를 균일하게 얻을 수 없는 문제점이 있다.

최근 성능이 우수한 솔더 페이스트의 개발 및 인쇄 장비의 개선으로 높이의 균일성은 많이 향상되었으며, 미세 피치의 적용도 되고 있다. 스텐실 프린팅 공정에 이용되는 솔더 페이스트는 솔더 분말, 플럭스, 그리고 바인더 등으로 구성되어 있고, 프린팅 후에 가열에 의해 솔더 분말이 용융되어 기판 패드와 전자부품의 리드를 접합시킨다⁽⁴⁾.

솔더 페이스트를 이용한 스텐실 프린팅 공정에서 중요한 인자는 페이스트 재료, 프린팅 조건, 스텐실 설계, 환경변수 등이며⁽⁵⁾ 상기 인자들이 프린팅 성능에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되어 왔다. Evans와 Beddow는⁽⁶⁾ 솔더 페이스트의 유동 특성에 대해 연구하여 전단유동 속도에 따른 점도의 변화를 분석하였다. Kim 등⁽⁴⁾은 스텐실 프린팅 후 리플로우 공정에서의 솔더 페이스트 용융 현상에 대해 연구하여 용융되면서 솔더 페이스트의 형상 변화를 관찰하였다. 또한 Lee 등⁽²⁾은 프린트된 솔더의 고온 시효 특성에 대해 연구하여 솔더 재료의 종류, 시효 온도, 그리고 시효 시간에 따른 접합강도를 분석하였다. Durairaj 등도 스텐실 프린팅 공정에서 솔더 페이스트의 거동에 대해 연구를 수행하였다. 2009년에는 진동응력시험(Oscillatory stress sweep test)과 크리프-회복 시험을 통해 솔더 페이스트의 유동 특성을 분석하였고⁽³⁾, SnAgCu 페이스트의 유동 특성이 프린팅 성능에 미치는 영향에 대해서도 연구하였다⁽⁷⁾. 2010년에는 벽면 미끄럼 현상이 무연 솔더 페이스트의 유동 특성에 미치는 영향을 분석하였다⁽⁸⁾. Ihm 등⁽⁹⁾은 고분자 전해질 연료 전지 전극의 성능을 개선하기 위해, H⁺ 형태의 고분자 전해질 막에 발생하는 부풀어 오름(Swelling) 현상을 제거하는 새로운 스텐실 프린팅 공정을 제안하여 성능을 개선한 바 있다. 그리고 Tsai⁽¹⁰⁾는 반응표면법과 신경망 최적화 방법을 도입하여 프린팅 공정의 최적화에 대해 연구하였다.

한편 접촉각에 대한 영향 분석을 위한 실험적으로 연구가 수행되었다. Moon 등⁽¹¹⁾은 스텐실 프린팅 공정이 아닌 솔더 볼을 이용한 접합 공정의 리플로우시 플라즈마 세정이 접합강도에 미치는 영향에 대해 연구하였다. Wang⁽¹²⁾은 플립칩 패키징 공정에서 솔더 페이스트의 유동성과 패드의 친수성이 언더필 공

정에 미치는 영향을 분석하였다. 이와 같은 지금까지의 솔더 페이스트의 유동 특성 분석이나 프린팅 성능 파악에 대한 대부분의 연구는 실험적으로 수행이 되었다. Shin 등⁽¹³⁾은 플립칩 패키징에 적용되는 무연 솔더 조인트 및 UBM 층의 신뢰성 검증을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 스텐실 프린팅 공정에 영향을 주는 여러 가지 인자(스퀴지 각도, 압력 등)가 프린팅 성능에 미치는 영향을 전산모사에 의한 수치해석 기법을 사용하여 분석하였다. 스텐실 프린팅 공정을 해석하기 위해서는 스텐실 마스크에 형성된 수만개의 미세구멍을 통해 솔더 페이스트가 채워지는 과정을 모사해야 하는데, 이를 위해서는 유한요소모델의 자유도가 엄청나게 증가하여 현실적인 계산이 불가능하게 된다. 따라서 본 연구에서는 해석 영역을 전체 해석영역(Global analysis domain)과 국부 해석영역(Local analysis domain)으로 구분하여 2단계에 걸쳐 해석을 수행하였다. 즉 전체 해석영역에서 미세구멍을 생략한 단순화된 해석 모델에 대해 프린팅 공정에 대한 해석을 1차적으로 수행하고, 해석 결과로부터 얻어진 압력분포를 경계조건으로 사용하여 미세구멍에 솔더 페이스트가 채워지는 현상을 2차적으로 해석하였다. 상기 2단계에 대한 세부적인 해석 결과를 각각 2장과 3장에 기술하였다.

2. 프린팅 공정의 압력 형성과정 해석

2.1 프린팅 공정 해석을 위한 모델 단순화

실제의 스텐실 프린팅 공정에서 Fig. 1과 같이 프린팅 롤러 또는 패드에 의해 페이스트의 충전이 유발된다. 이와 같은 실제 스텐실 프린팅 공정을 해석하기 위해서는 프린팅 패드 또는 롤러의 이동을 묘사해야 한다. 상기 과정은 이동 경계조건으로 처리해야 하며 그에 따른 다수개의 미세 구멍으로의 충전과정을 묘사해야 하기 때문에 복잡하고 긴 계산 시간을 요구한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 스텐실 구멍 없이 스퀴지 각도에 따라 솔더 페이스트 내부에 형성되는 압력분포에 대해 단순화된 모델로 해석하였으며, 이를 통해 스퀴지 각도가 솔더 페이스트 내부에 발생하는 압력분포에 미치는 영향을 분석하

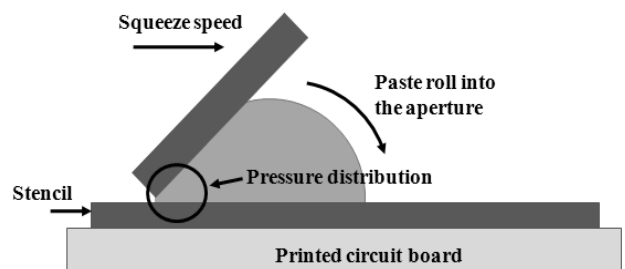


Fig. 2 Simplified analysis model of the stencil printing process for pressure prediction

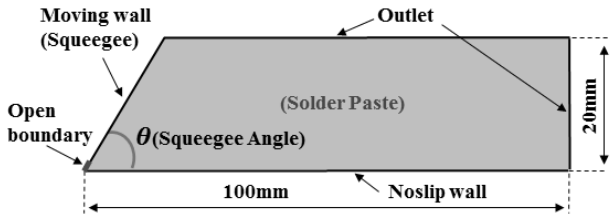


Fig. 3 Dimensions and boundary conditions for the analysis

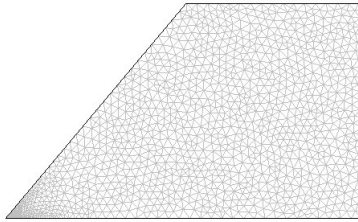


Fig. 4 Mesh distribution for the simplified model

였다. 해석은 마이크로 유동 해석에 많이 이용이 되고 있는 상용 소프트웨어인 COMSOL Multiphysics™를 이용하였고, 단일 유동(Single-phase flow)에 기초하여 해석을 진행하였다.

Fig. 3에 해석형상과 경계조건을 도시하였다. 솔더 페이스트의 채워진 두께는 20mm이고, 솔더 페이스트의 채워진 폭은 100mm로 설정하였다. 스quee징 패드를 나타내는 왼쪽 면은 이동경계조건(Moving wall condition)을 적용하였다. 스quee징을 이용한 프린팅시 바닥면에서 생기는 코팅층을 고려하기 위해서 10µm의 개방 경계조건(Open boundary condition)를 적용하였다. 윗면과 오른쪽 면은 출구압력(Pressure outlet) 조건을 적용하였으며, 바닥면은 미끄럼방지(No-slip) 조건을 적용하였다. 격자 생성은 왼쪽 하단부에서 압력분포가 집중될 것을 예상하여 Fig. 4와 같이 외쪽 하단부에 격자가 조밀하도록 격자세분화를 수행하였다.

2.2 단일 유동(Single-Phase Flow) 지배방정식

전체 영역에 대한 프린팅 공정 해석은 COMSOL 마이크로 유동해석 모듈의 단일 유동(Single-Phase Flow)으로 해석하였고, 사용된 지배방정식은 다음과 같다⁽¹⁴⁾.

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = \nabla \cdot [-pI + \eta \nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T] + \vec{F} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2)$$

식 (1)은 단일유체의 유동에 대한 지배방정식이고, 식 (2)는 유체의 보존성과 관련된 연속방정식(Continuity equation)이다. 여기서, ρ는 밀도, \vec{u} 는 속도 벡터, p는 압력, η는 동점도,

\vec{F} 는 체적력, t는 단위행렬이다. 해석에서 솔더 페이스트의 밀도는 4200kg/m³, 그리고 솔더 페이스트의 점도는 200Pa.s로 모든 해석에 동일하게 적용하였다. 해석은 스quee징 각도에 따라 솔더 페이스트 내부에 형성되는 압력분포에 대한 영향을 파악하는데 중점을 두고 진행이 되었다.

2.3 프린팅시 압력 형성과정 해석결과

Fig. 5에 스quee징이 솔더 페이스트를 프린팅한 후 형성된 솔더 페이스트 내부의 압력분포를 도시하였다. Fig. 5(a)는 스quee징 각도 60°, 스quee징 속도 25mm/s, 그리고 솔더 페이스트 점도 200Pa.s인 경우 0.5초 동안 프린팅한 후의 솔더 페이스트 내부의 압력분포를 보여준다. 전체적으로 형성된 압력에 큰 변화가 없는 것으로 보이지만, Fig. 5(b)에 보인 확대 그림을 통해서 보면 왼쪽 하단부에 국부적으로 40kPa 이상의 압력이 형성되는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6에 시간에 따른 압력 분포의 변화를 그래프로 도시하였으며, Table 1에 정량적인 값을 비교하였다. 그래프를 보면 패드로부터의 거리가 멀어짐에 따라 압력이 급격하게 감소하며 시간의 증가에 따라 솔더 페이스트 내부에서 압력분포가 점점

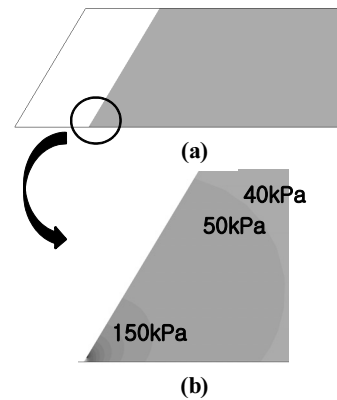


Fig. 5 FE analysis results: (a) pressure builds up on the squeegee corner and (b) the detailed view

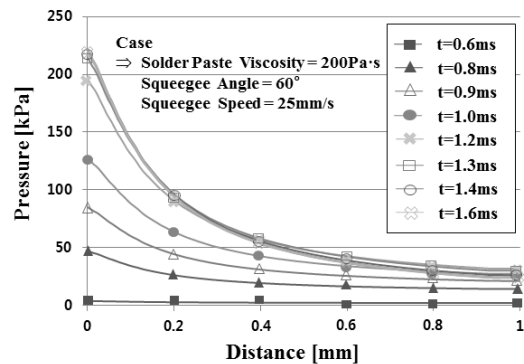


Fig. 6 Pressure development with an increase of squeegee time

Table 1 Pressure values with an increase of squeegee time (unit: kPa)

Distance \ Time	0.6ms	0.8ms	1.0ms	1.2ms	1.4ms	1.6ms
0.0mm	3.7	47.0	127.5	196.0	220.9	220.6
0.2mm	2.6	26.0	63.3	90.4	95.5	94.0
0.4mm	2.3	19.2	42.4	56.4	55.2	53.3
0.6mm	2.1	16.4	34.0	42.7	39.0	36.9
0.8mm	2.0	14.8	29.0	35.1	30.0	27.9
1.0mm	1.9	14.0	27.2	31.7	26.1	23.9

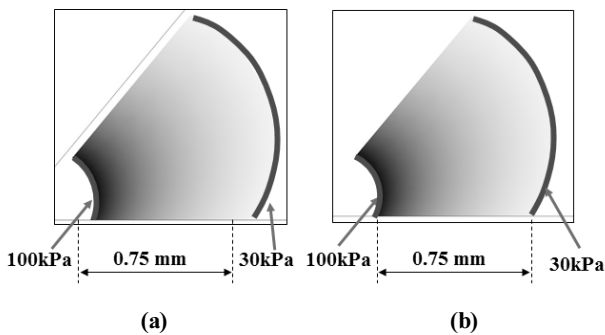


Fig. 7 Distance between points of 30 kPa and 100 kPa at elapsed time of (a) 2.0 ms and (b) 500 ms

크게 형성 되는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 0.9ms 이후에는 솔더 페이스트 내부의 압력분포가 변화하지 않고 유지되는 것을 확인 할 수 있어 단시간에 형성된 압력이 전체 공정에서 균일하게 유지됨을 확인할 수 있다.

Fig. 7에 시간의 경과에 따른 패드 주변의 압력분포를 도시하였고, 특히 압력분포가 30kPa에서 100kPa 사이 구간의 거리를 비교하였다. Fig. 7(a)와 (b)에 각각 프린팅 시간이 2.0ms 일 때와 500ms일 때의 압력분포를 도시하였는데, 2가지 경우 모두 압력 30kPa부터 100kPa 까지의 압력분포를 가지는 길이가 0.75mm 로 같은 것을 확인할 수 있다. 상기 결과로부터 솔더 페이스트 내부의 압력은 프린팅 초기(0.9ms)에 형성이 되고, 프린팅 공정에 걸쳐 일정하게 유지 된다는 것을 확인할 수 있다.

2.4 스퀴지 각도에 따른 압력분포 해석결과

스퀴지 각도가 솔더 페이스트 내의 압력분포에 미치는 영향을 분석하기 스퀴지 각도를 30°와 90° 사이에서 변화시켜가며 해석을 실시하였다. 이때 스퀴지 속도는 25 mm/s, 솔더 페이스트 점도는 200 Pa.s로 설정하였다. Fig. 8에 스퀴지 각도의 변화에 따른 솔더 페이스트 내부의 압력분포를 그래프로 도시하였으며, Table 2에 정량적인 값을 비교하였다. 그래프를 보면 스퀴지 각도가 작을수록 솔더 페이스트 내부에서 높은 압력 분포가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 특히 스퀴지 각도가 작아짐에 따라 같은 거리에서 발생된 압력도 커질뿐 아니라 일정한

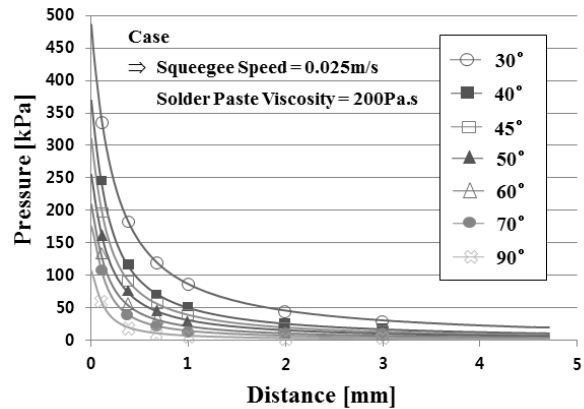


Fig. 8 Pressure development for various squeegee angles

Table 2 Pressure values for various squeegee angles and distances (unit: kPa)

Distance \ Angle	30°	40°	45°	50°	60°	70°
0.1mm	345	246	204	166	132	110
0.4mm	176	109	87	70	51	37
0.7mm	119	70.5	56	44	31	22
1.0mm	86	49	39	31	21	15
2.0mm	46	25	20	15	10	7
3.0mm	31	17	13	10	7	5

압력 이상이 발생하는 영역(거리)도 급격하게 증가함을 알 수 있다.

3. 미세범프 충전해석

3.1 충전해석 개요

2장에서 기술한 솔더 페이스트 내부에 형성된 압력분포 예측 결과에 기초하여 미세범프에 대한 충전해석을 실시하였다. 해석의 효율성을 위해서 해석은 Fig. 9에 보인 것과 같이 한 개의 구멍을 솔더 페이스트가 채워지는 과정에 대해 수행하였다⁽¹⁵⁾. 이때 스텐실에 형성된 구멍은 원통형 형상을 이루고 있기 때문에 축대칭으로 가정하여 해석을 수행하였다. Fig. 9(a)는 초기 조건으로 솔더 페이스트가 구멍 위에 위치한 형상을, 그리고 Fig. 9(b)는 일정 시간이 지난 후 압력에 의해서 솔더 페이스트가 구멍으로 밀려들어 가는 형상을 개략적으로 보여준다. 해석한 형상과 초기 위치를 Fig. 10에 나타내었다. 구멍의 반경은 65µm 이고, 솔더 페이스트의 두께는 40µm로 설정하였다. 윗면에 가해지는 압력은 2장의 해석결과에 기초하여 30kPa과 100kPa 두가지 경우를 적용하였고, 나머지 외곽면의 경계조건은 모두 습식 벽(wetted wall)으로 접촉각을 주어 처리하였다. 한편 스텐실 구멍에는 공기가 채워져 있는데(Fig. 10 참조), 솔더 페이스트가 유입됨에 따라서 이 공기가 배출될 수 있도록

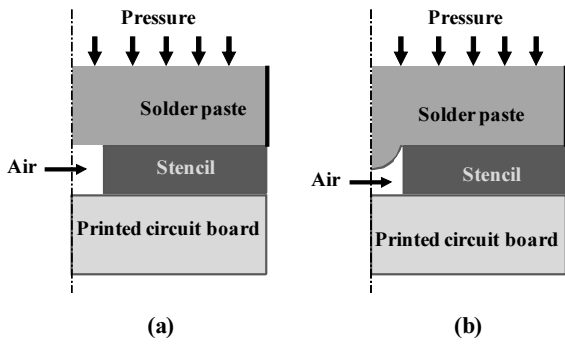


Fig. 9 Simplified 2D axisymmetric model for filling analysis : (a) initial condition and (b) the filling stage

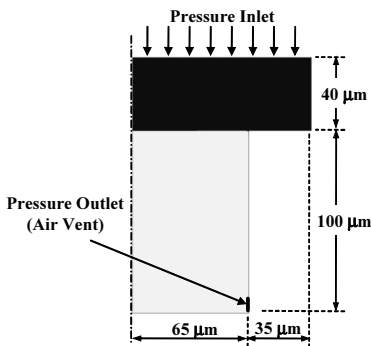


Fig. 10 Dimensions and boundary conditions for filling analysis

하기 위해 구멍의 오른쪽 아래 부분의 벽에 길이 5μm의 출구 압력 경계조건을 부과하였다(상대압력 0 Pa).

3.2 이상 유동(Two-phase flow) 지배방정식

해석은 동일하게 마이크로 유동의 해석에 많이 이용이 되고 있는 COMSOL Multiphysics™를 이용하였다. 이때 공기가 솔더 페이스트에 미세유동에 미치는 영향을 고려하기 위해 이상 유동(Two-phase flow)으로 가정하여 해석하였으며, 사용된 지배방정식은 식 (1)에 유체의 자중 및 표면장력(\vec{F}_{ST}) 항목을 고려하여 다음과 같이 표현된다⁽¹⁴⁾.

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = \nabla \cdot [-pI + \eta \nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T] + \vec{F} + \rho \vec{g} + \vec{F}_{ST} \quad (3)$$

해석에서 공기의 밀도는 1.35kg/m³, 공기의 점도는 0.00002 Pa.s, 솔더 페이스트의 밀도와 점도는 각각 4200kg/m³, 200 Pa.s로 설정하였고⁽¹⁶⁾ 표면장력은 SnPb 솔더의 표면장력 자료⁽¹⁷⁾를 이용하였다. 접촉각은 Hsieh 등⁽¹⁸⁾이 상온에서 측정한 SnAgCu의 접촉각 60°를 기본으로 하여 해석을 실시하였다. 해석은 이전 해석결과에서 얻는 솔더 페이스트 내부에 형성되는 압력분포에 따라서 솔더 페이스트가 스텐실 구멍에 충전되는데 미치는 영향을 판단하는데 중점을 두고 진행하였다.

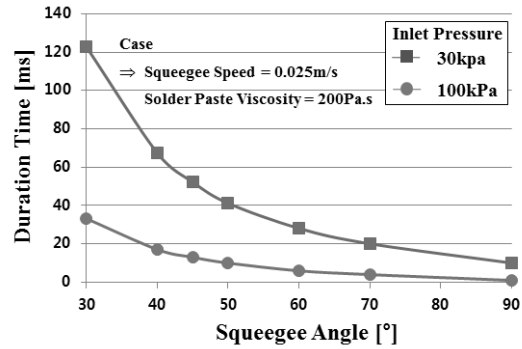


Fig. 11 Pressure duration time for various squeegee angles

Table 3 Pressure duration time for various squeegee angles

Angle	Duration Time - 30kPa(ms)	Duration Time - 100kPa(ms)
30°	123	33
40°	67	17
45°	52	13
50°	41	10
60°	28	6
70°	20	4
90°	10	1

3.3 미세범프 충전해석 결과

충진해석에서 압력 경계조건은 2장에서 해석한 결과를 이용하였다. 충전해석 결과를 분석하는데 있어서 솔더 페이스트 내부의 압력분포도 중요하지만 형성된 압력분포가 어느 정도의 시간을 유지하며 스텐실의 구멍을 지나는지도 솔더 페이스트의 충전물에 큰 영향을 미친다. 따라서 130μm의 직경의 구멍에 압력이 가해지는 유지시간을 스퀴지 각도에 따라 파악했다. 압력분포 유지시간은 다음과 같이 정의하였다.

$$t_{duration} = \frac{L_{pressure} + L_{aperture}}{V_{squeegee}} \quad (4)$$

여기서, $t_{duration}$ 는 압력 유지시간이고, $L_{pressure}$ 은 스퀴지 각도에 따른 솔더 페이스트 내부에 형성된 압력분포 길이이며, $L_{aperture}$ 는 스텐실 구멍의 직경, $V_{squeegee}$ 는 스퀴징 패드의 이동속도(25 mm/s)이다.

Fig. 11에 스퀴지 각도에 따라 형성된 솔더 페이스트 내부 압력의 유지시간을 그래프로 도시하였으며, Table 3에 정량적인 값을 비교하였다. 스퀴지 각도에 따라 형성된 솔더 페이스트 압력중에서 30kPa이상의 내부 압력 유지시간과 100kPa이상의 내부 압력 유지시간에 대해서 분석하였다. 이때 스퀴지의 각도가 작을수록 충전 압력에 대한 충전 압력유지 시간이 큰 것을

확인할 수 있으며, 따라서 충전 압력의 유지시간을 길게 하기 위해서는 스퀴지 각도를 작게 설계해야 함을 알 수 있다. 또한 최소 스퀴지 각도인 30°에서 30kPa이상의 압력은 약 12.0ms 동안 유지되며, 100kPa이상의 압력은 약 35ms 동안 유지됨을 알 수 있는데, 상기 결과는 스퀴징 패드가 스텐실 구멍을 지날 때 충전 압력과 충전 압력유지 시간에 따라서 스텐실 구멍에 솔더 페이스트 충전률과 큰 연관성이 있으므로 스텐실 프린팅 설계시 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

앞에서 구한 압력과 유지시간을 적용하였을 때 미세범프의 성형성 여부를 확인하기 위해 충전해석을 수행하였다. Fig. 12는 충전 압력이 30kPa일때 솔더 페이스트의 충전해석 결과이며, 솔더 페이스트 충전 형상과 충전 시간을 확인할 수 있다. 즉 30kPa의 압력으로 충전이 진행될 경우 60ms의 시간이 경과 하여도 스텐실 구멍에 솔더 페이스트가 100% 충전되지 않아 추가적인 압력유지 시간이 필요함을 확인할 수 있다. 반면에 Fig. 13은 충전 압력이 100kPa일때 스텐실 구멍에 솔더 페이스트

트의 충전 해석 결과이며, 40ms의 시간이 경과되었을 때 스텐실 구멍에 솔더 페이스트가 100% 충전됨을 알 수 있다.

앞서 제시된 결과, 즉 솔더 페이스트 내부 압력 유지시간 (Fig. 11)과 솔더 페이스트 충전 시간(Fig. 12~13)에 대한 결과를 연관시켜 보면, 충전압력이 30kPa일 때 100% 충전에 필요한 시간은 75ms 로 예측되었으며, 이때 스퀴지 각도는 40° 이하로 설계해야 함을 알 수 있다. 반면 충전압력이 100kPa일 경우는 100% 충전시간이 30ms 로 예측되었고, 따라서 스퀴지 각도는 30° 이하로 유지되어야 스텐실 구멍에 솔더 페이스트가 100% 충전 가능하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 스텐실 프린팅 공정의 여러 가지 인자가 프린팅 성능에 미치는 영향을 해석적으로 분석하였다. 컴퓨터 메모리 제한으로 수만 개의 구멍을 가지는 실제 프린팅 패드에 대한 해석을 수행하지 않고, 문제를 단순화하여 해석하였다. 먼저 단순 형상으로 솔더 페이스트 내부에 형성되는 압력분포를 해석하였고, 형성된 압력분포를 기준으로 스텐실 구멍에 채워지는 솔더 페이스트의 충전률에 대해서도 분석하였다. 해석결과를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 스퀴지 아래에 발생하는 프린팅 압력은 스퀴지 속도 0.025 m/s, 솔더 페이스트 점도 200Pa.s, 그리고 스퀴지 각도가 60°인 경우 0.9ms 안에 형성이 되고, 그 이후에는 그 압력이 그대로 유지됨을 알 수 있었다. 스퀴지 속도와 각도, 그리고 솔더 페이스트 점도에 따라 다소 달라지겠지만 매우 초기에 이미 포화된 압력이 발생함을 알 수 있었다.
- (2) 스퀴지 각도가 작아짐에 따라 큰 프린팅 압력이 넓은 영역에서 발생함을 알 수 있었다. 압력이 넓은 영역에서 발생하기 때문에 압력이 유지되는 시간이 길어짐을 알 수 있었다.
- (3) 한 개의 구멍에 대한 충전 해석으로 충전 형상과 시간에 따른 충전률을 구할 수 있었다. 그리고, 충전 해석에서 구한 충전 시간과 압력 발생 해석에서 구한 압력 유지 시간을 비교하여 완전 충전이 되기 위해서는 스퀴지 각도가 40°이하여야 함을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 서울테크노파크의 차세대패키징 공정.장비 실용화 사업의 일환으로 지식경제부 지원을 받아 수행되었으며, 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과로 이에 감사드립니다.

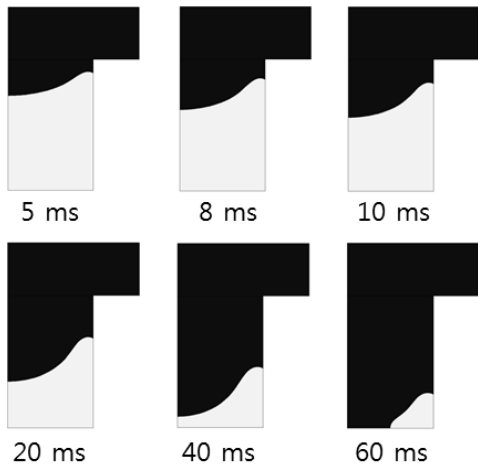


Fig. 12 Solder paste filling shapes for 30 kPa of inlet pressure

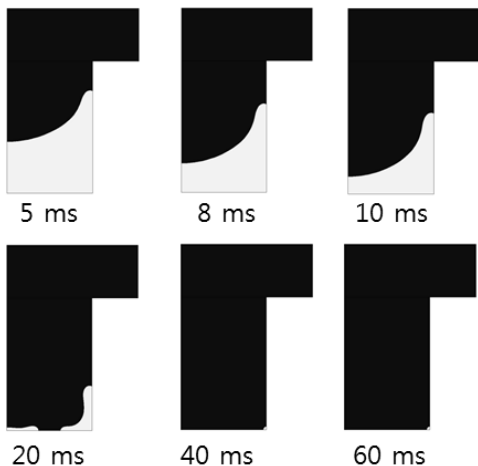


Fig. 13 Solder paste filling shapes for 100 kPa of inlet pressure

참 고 문 헌

- (1) Ko, Y. K., Shin, Y. S., Yoo, S., and Lee, C. W., 2009, "Via Filling Technique with Molten Solder and Low Temperature Solder Bump for 3D Packaging," *Proc. 2009 Fall Conference of Korean Society for Precision Engineering*, pp. 699~700.
- (2) Lee, J., Cho, S., Lee, Y., Kim, K., Cheon, C., and Jung, J., 2005, "Aging Characteristics of Sn-1.8 Bi-0.7-Cu-0.6In Solder," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol. 12, No. 4, pp. 301~306.
- (3) Durairaj, R., Mallik, S., Seman, A., Marks A., and Ekere, N. N., 2009, "Rheological Characterisation of Solder Pastes and Isotropic Conductive Adhesives used for Flip-chip Assembly," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 209, No. 8, pp. 3923~3930.
- (4) Kim, M., Ahn, B., and Jung, J., 2001, "A Study on Melting Phenomena of Solder Paste," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol. 8, No. 1, pp. 5~11.
- (5) Haslehurst, I., and Ekere, N. N., 1996, "Parameter Interactions in Stencil Printing of Solder Paste," *J. of Electron. Manuf.*, Vol. 6, No. 4, pp. 307~316.
- (6) Evans, J. W., and Beddow, J. K., 1987, "Characterization of Particle Morphology and Rheological Behavior in Solder Paste," *IEEE Trans. Compon., Hybrids, Manuf. Technol.*, Vol. 10, No. 2, pp. 224~231.
- (7) Durairaj, R., Ramesh, S., Mallik, S., Seman, A., and Ekere, N. N., 2009, "Rheological Characterisation and Printing Performance of Sn/Ag/Cu Solder Pastes," *Mater. Design*, Vol. 30, No. 9, pp. 3812~3818.
- (8) Durairaj, R., Man, L. W., Ekere, N. N., and Mallik, S., 2010, "The Effect of Wall-slip Formation on the Rheological Behavior of Lead-free Solder Pastes," *Mater. Design*, Vol. 31, No.3, pp. 1056~1062.
- (9) Ihm, J. W., Choi, D., and Ryu, H., 2004, "High Performance Electrode of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells Prepared by Direct Screen Printing Process," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol. 11, No. 1, pp. 65~69.
- (10) Tsai, T., 2008 "Modeling and Optimization of Stencil Printing Operations: A Comparison Study," *Comput. & Indust. Eng.*, Vol. 54, No. 3, pp. 374~389.
- (11) Moon, J. K., Ki, J. M., and Jung, J. P., 2004, "Fluxless Plasma Soldering of Pb-free Solders on Si-Wafer-Effect of Plasma Cleaning," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol. 11, No. 1, pp. 77~85.
- (12) Wang, J., 2007, "The Effects of Rheological and Wetting Properties on Underfill Filler Settling and Flow Voids in Flip Chip Packages," *Microelectron. Reliab.*, Vol. 47, No. 12, pp. 1958~1966.
- (13) Shin, K. H., Kim, H. T., and Jang, D. Y., 2007, "An Analysis on the Thermal Shock Characteristics of Pb-free Solder Joints and UBM in the Flip Packages," *J. Manuf. Engng. Technol.*, Vol. 16, No. 5, pp. 134~139.
- (14) COMSOL, 2008, *Comsol Multiphysics : MEMS Module User/s Guide, Ver. 3.5a*, COMSOL AB.
- (15) Seo, W. S., Min, B. W., Kim, J. H., Lee, N. K., and Kim, J. B., 2010, "An Analysis of Screen Printing using Solder Paste," *J. Microelectron. Packag. Soc.*, Vol. 17, No. 1, pp. 47~53.
- (16) NIHON GENMA MFG. CO., n.d, viewed 13 August 2010, "Solder Cream ZERO series NP303-CQS-2," <www.bit-elektronik.de/images/loetpaste/NP303-CQS-2-en>
- (17) Howell, E. A., Megaridis, C. M., and McNallan, M., 2004, "Dynamic Surface Tension Measurements of Molten Sn/Pb Solder using Oscillating Slender Elliptical Jets," *Int. J. Heat and Fluid Flow*, Vol. 25, No. 1, pp. 91~102.
- (18) Hsieh, H., Lin, F., Yao, F., and Lin, M., 2009, "The Effects of Temperature and Solders on the Wettability between Ribbon and Solar Cell," *Solar Energy Mater. & Solar Cells*, Vol. 93, No. 6~7, pp. 864~868.