

저융점 합금 필러를 이용한 도전성 접착제의 유동해석

Characteristics of Conductive Adhesives Using Low-Melting-Point Alloy Fillers

이 진운*, 이 성혁*, 김 종민*

* 서울특별시 동작구 흑석동 221, 중앙대학교 공과대학 기계공학부

ABSTRACT This study conducts numerical simulations of isotropic conductive adhesives using low melting point alloy fillers during the reflow process. The CIP method and predictor-corrector method are used to simulate more accurately on free surface flow of low melting point alloy fillers. For finding out optical conditions to obtain reliable conduction paths, the present study conducts extensive numerical simulations.

1. 서 론

21세기에 들어서면서 전자, 정보통신기기의 소형화 및 고기능화에 따라 반도체 IC 패키지의 고집적화, 고성능화, 저비용화, 소형화, 미세피치화가 가속화되고 있다. 또한, 인류환경문제 인식에 따른 각종 국제 환경규제 조치로 인해 기존의 접합재료, Pb-Sn을 대체할 새로운 접합재료로 등방성 도전성 접착제나 이방성 도전성 접착제와 같은 친환경 도전성 복합재료와 친환경 접합공정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 그러나 전도성 복합재료에 의한 도전 매커니즘은 혼합된 금속 입자들의 기계적, 물리적 접촉에 의해 이루어지므로 기존 솔더링에 비해 상대적으로 낮은 도전성, 불안정한 접촉저항, Ag 마이그레이션(Migration) 등의 치명적인 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 해결할 수 있는 저융점 합금(Low Melting Point Alloy, LMPA) 필러를 이용한 새로운 도전성 접착제가 제안되었다[2-3]. 저융점 합금 필러를 사용한 등방성 도전성 접착제를 시뮬레이션에서는 필러들의 자유 표면 해석이 중요하다. 일반적으로 자유표면 유동 해석에 널리 이용되는 VOF (Volume of Fluid) 법은 이산화 방법에 상관없이 이용할 수 있는 장점이 있지만, 경계면의 처리 과정이 복잡하여 3차원으로의 확장이 어렵고, 기하학적으로 복잡한 형상에 대해선 부정확한 결과를 나타내는 단점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 Takewaki 등은 쌍곡선 방정식의 도입한 CIP (Cubic Interpolated Propagation) 법을 개발하였다[4]. CIP법은 3차

스플라인 보간법을 사용하여 밀도 차이가 큰 자유 표면 유동의 수치오류를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 특히 날카로운 경계면에서 수치오류를 동반하는 다상 열 및 유동 해석에 적합한 통합해법이다. 본 연구는 저융점 합금을 사용한 등방성 도전성 접착제에서 신뢰성 높은 도전 패스를 형성하기 위한 최적의 조건을 찾기 위해 CIP 법과 predictor-corrector 법을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 지배 방정식 및 수치 해석

2.1 지배방정식

본 연구에서는 유동 해석을 하기 위해 기본적으로 연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식을 모두 고려한다. 특히, 표면 장력을 고려한 운동량 방정식과 압력에 관해 변형된 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \rho + \rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{g} + \sigma \kappa \frac{\nabla f}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla p = -\rho c_s^2 \nabla \cdot \mathbf{u} \quad (3)$$

여기서 σ , κ , f , 그리고 c_s 는 각각 표면장력계수, 곡률 반경, 특성 함수, 음속을 의미한다.

2.2 이산화 방식 및 해법

본 연구에서는 지배방정식을 대류 단계와 비대류 단계로 나누어 계산한다. 대류 단계의 이산화 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\rho^* - \rho^n}{\Delta t} + \mathbf{u}^n \cdot \nabla \rho^n = 0 \tag{4}$$

$$\frac{\mathbf{u}^* - \mathbf{u}^n}{\Delta t} + \mathbf{u}^n \cdot \nabla \mathbf{u}^n = 0 \tag{5}$$

$$\frac{p^* - p^n}{\Delta t} + \mathbf{u}^n \cdot \nabla p^n = 0 \tag{6}$$

대류 단계에서의 ρ^* , \mathbf{u}^* , p^* 은 CIP 법을 이용해서 구한다. 비대류 단계의 이산화 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\rho^{n+1} - \rho^*}{\Delta t} = -\rho^* \nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1} \tag{7}$$

$$\frac{\mathbf{u}^{n+1} - \mathbf{u}^*}{\Delta t} = -\frac{\nabla p^{n+1}}{\rho^*} + \nu \nabla^2 \mathbf{u}^{n+1} + \mathbf{g} + \sigma \kappa \frac{\nabla f}{\rho^*} \tag{8}$$

$$\frac{p^{n+1} - p^*}{\Delta t} = -\rho^* c_s^2 \nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1} \tag{9}$$

비대류 단계의 계산식 (7)-(9)에서 새로운 시간 때(n+1)의 속도와 압력이 존재하기 때문에 직접 풀 수가 없다. 이를 해결하기 위해서 다음의 predictor-corrector 법이 사용하였다[5].

-predictor step

$$\frac{\mathbf{u}^c - \mathbf{u}^*}{\Delta t} = -\frac{\nabla p^*}{\rho^*} + \nu \nabla^2 \mathbf{u}^* + \mathbf{g} + \sigma \kappa \frac{\nabla f}{\rho^*} \tag{10}$$

$$\nabla \cdot \left(\frac{1}{\rho^*} \nabla \delta p \right) = \frac{\delta p}{\rho^* c_s^2 \Delta t^2} + \frac{\nabla \cdot \mathbf{u}^c}{\Delta t} \tag{11}$$

-corrector step

$$\mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{u}^c - \frac{\Delta t}{\rho^*} \nabla \delta p \tag{12}$$

$$\rho^{n+1} = \rho^* - \rho^* \nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1} \Delta t \tag{13}$$

$$p^{n+1} = p^* + \delta p \tag{13}$$

3. 유동 시뮬레이션

리플로우 프로세싱 동안에 기계적 상호접속을 얻기 위한 등방성 도전성 접착제의 융합특성과 젖음 특성은 중요하다. 리플로우 프로세싱의 과정 동안에 저융점 합금들의 유동 모사를 하기 위해 위, 아래의 칩과 기판은 벽 경계조건을 주어 35.0°의 젖음 조건을 설정하였다. 좌우 옆의 경계조건은 칩의 압축성을 고려해 압력경계조건을 이용해서 왼쪽에 100 Pa, 오른쪽에는 0 Pa을 설정하였으며, 레진과 저융점 합금에 대한 물성치는 다음의 Table 1에 정리하였다. 저융점 합금의 체적율은 50 %이고, 저융점 합금의 지름은 40 μm , 접합 높이는 100 μm 로 고정하였다. 중력 효과를 고려하기 위해 9.81 m/s^2 을 중력가속도로 사용하였다. 본 연구에서는 수치 안정성을 위해 전체 계산 영역에서의 오류가 0.2 % 이하가 될 때까지 비대류 단계에서 predictor-corrector 법을 반복 계산하였다. Fig. 1은 실제 저융점 합금 필러를 사용한 등방성 도전성 접착제 실제 단면 사진이다. 저융점 합금 필러들은 리플로우 프

Table 1. Material properties of resin and LMPA

	Resin	LMPA
Density ρ [kg/m^3]	1200	7300
Viscosity μ [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]	0.38	0.00181
Surface tension coefficient σ [N/m]	0.043	0.45

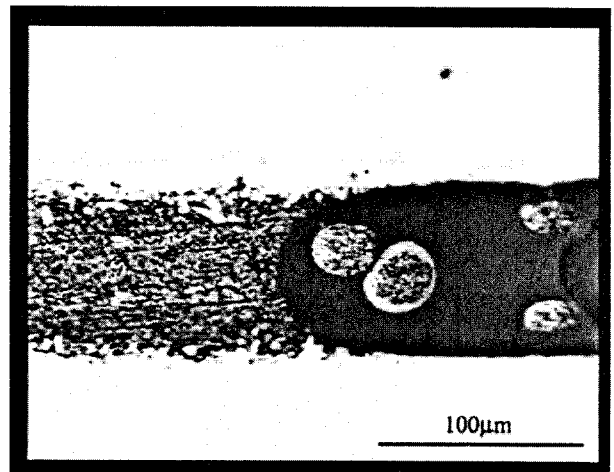


Fig. 1. Cross-sectional photographs of low melting alloy adhesive joint with 100 μm gap[3].

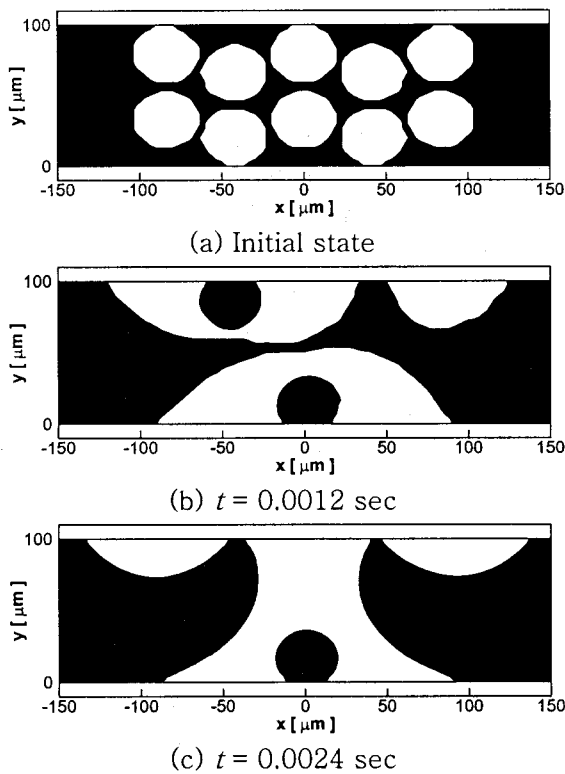


Fig. 2. Transient behavior of low melting point alloy fillers.

로세싱동안 열과 압력에 의해 녹아 칩과 기판을 연결해주는 도전 패스를 형성하게 된다. Fig. 2는 등방성 도전성 접착제 리플로우 프로세싱 동안의 저융점 합금 필러들의 유동의 시뮬레이션 결과이다. 초기 상태와 비교해 보면, 저융점 합금 필러들은 시간이 지남에 따라 서로 녹아 융합을 하게 된다. 저융점 합금 필러들은 리플로우 프로세싱 동안 점점 융합되어 커져 등방성 도전성 접착제에서 칩과 기판 사이의 도전 패스를 형성하는 중요한 역할을 하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 저융점 합금 필러를 사용한 등방성 도전성 접착제의 유동을 시뮬레이션을 수행하였다. 저융점 합금 필러의 자유 표면 유동 해석을 위해 CIP 법과 predictor-corrector 법을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 통해 실제와 유사한 융합을 예측하였다. 차후 연구에서는 시뮬레이션을 이용해 레진의 점성, 필러의 체적율, 접합 높이 등과 같은 등방성 도전성 접착제의 도전 패스의 형성에 대한 최적 조건을 찾는 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10702-0) 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Liu : Conductive Adhesives for Electronics Packing, Eletonchemical Publications Ltd., (1999)
2. K. Yasuda, J. M. Kim, and K. Fujimoto : Adhesives Joining Process and Joint Property with Low Melting Point Filler, Journal of Electronic Packing, 127(2005), 12-17
3. Yasuda, J. M. Kim, M. Yasuda, and K. Fujimoto : New Process of Self-Organized Interconnection in Packing Using Conductive Adhesives with Low Melting Point Feller, Japanese Journal of Applied Physics, 43(2004), 2277-2282
4. H. Takewaki, A. Nishiguchi, and T. Yabe : Cubic Interpolated Pseudo-particle Method (CIP), for Solving Hyperbolic-type Equations, Journal of Computational Physics, 61(1985), 261-268
5. Seong y. Yoon, and T. Yabe : The unified simulation ofr incompressible and compressible flow by the predictor-corrector scheme based on the CIP method, Computational physics communications, 119(1999), 149-158