

자기 접속 프로세스에 대한 불용 입자 거동에 대한 수치해석 연구

Numerical Analysis of Fusible Filler Behavior for Self-Interconnection Process

권혁득*, 이정희**, 김종민*, 이성혁***

* 서울특별시 동작구 흑석동 221, 중앙대학교 공과대학 기계공학부

** 경기도 성남시 분당구 서현동 246-5 FUNCTION BAY Inc.

*** 서울특별시 동작구 흑석동 221, 중앙대학교 공과대학 기계공학부, shlee89@cau.ac.kr

ABSTRACT The present article aims to develop a numerical method for numerical analysis of fusible filler behavior for self-interconnection process. The CIP (Cubic Interpolated Propagation) method is used for determination of interfaces and the CSF (Continuum Surface Force) model is adopted for evaluation of curvature. To validate these models, first, the present study performs the numerical simulation for a droplet formation and it simulates the interactions among fusible fillers inside resin under the operating condition. As a result, similar tendency is found compared to the experimental observation. This study would be a first step towards finding the optimum condition for self-interconnection process.

1. 서 론

기존 접합재료(Sn-37Pb)를 대체할 새로운 접합재료로서 등방성 도전성 접착제나 이방성 도전성 접착제와 같은 도전성 접착제와 친환경 접합공정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1] 본 연구는 저융점 합금 입자를 이용하여 새로운 자기 조직화 접속 과정을 개발하기 위한 해석적 노력으로서 솔더들의 융합 및 변형을 예측할 수 있는 해석 코드를 개발하는 데에 주목적이 있다. 일반적으로 자유표면 유동 해석에 널리 이용되는 VOF (Volume of Fraction)법은 이산화 방법에 관계없이 이용할 수 있는 장점은 있으나 경계면의 처리과정이 복잡하여 3차원으로의 확장이 어렵고 기하학적으로 복잡할 경우 부정확한 결과를 나타내는 단점이 있다. 이 문제점을 해결하는 방안으로 Takewaki 등[2]은 쌍곡선 방정식의 해법에서 도입한 CIP (Cubic Interpolated Propagation)기법을 개발하였다. CIP법은 3차 스플라인 보간법을 사용하여 밀도 차이가 큰 자유표면 유동의 수치오류를 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 특히 날카로운 경계면에서 수치오류를 수반하는 다상 열 및 유동 해석에 적합한 통합해법이라 할 수 있다. 본 연구에서는 우선 모델검증을 위해 단일 액적 형성에 대한 해석을 수행하고 이후 2차원 입자들의 융합과정을 해석하여 정성적인 특성을 분석하였다.

2. 장 이론

2.1 지배방정식

시간에 종속된 연속방정식, 운동량 보존방정식 및 열역학적 관점에서 유도한 에너지 보존방정식을 일반적인 형태로 표현하면 다음과 같다.

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

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

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

여기서 σ 와 κ 는 각각 표면장력계수와 곡률반경이며 c_s 는 음속을 나타낸다.

2.2 CIP법

CIP 법[2]은 쌍곡선형 방정식을 풀기 위한 해법으로 3 차원 스플라인 보간법을 이용한 파동방정식 풀이 해법을 사용하여 수치확산 오류가 적고 다차원으로의 확장이 용이한 장점이 있어 자유표면유동 및 이동경계문제 해석에 효과적이다.

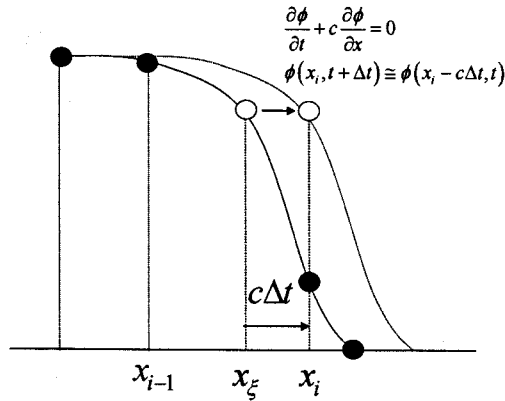


Fig.1 Principle of spline interpolation.

Fig.1 과 같이 x_i 와 x_{i+1} 사이를 하나의 다항식으로 보간하는 스플라인 보간법을 사용하고 있다. 식(1)의 파동 방정식에 대한 수치해는 c 가 거의 변화하지 않도록 시간간격 Δt 를 충분히 짧게 잡으면, 격자점 x_i 에서 다음 시각 $t + \Delta t$ 에서의 함수값 ϕ_i^{n+1} 은 식(4)와 같이 구할 수 있다. 본 연구에서 사용한 CSF 방법의 최종적인 표면 체적 힘은 다음과 같이 나타날 수 있다.

$$\phi_i^{n+1} \cong \phi(x_i, t + \Delta t) \cong \phi(x_i - c\Delta t, t) = \phi_{\xi}^n \quad (4)$$

3 장 수치 해석

본 연구에서 사용된 CCUP(CIP-Combined Unified Procedure)기법은 CIP 법을 일반적인 열유체 해석에 적용하기 위해 도입되었다. CCUP 법에서는 지배방정식을 대류단계와 비대류 단계로 분리하여 계산한다. 대류단계는 3 차 스플라인 함수를 사용한 CIP 법을 이용하여 계산하며, 비대류 단계는 비엇갈림 격자배열에서 유한 체적법[3]을 이용한 이산화방정식을 풀어 계산한다. 본 연구에서는 대류항을 먼저 수행한 다음 비대류항을 계산한다.

$$\left. \frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_{adv} + \mathbf{u}^n \cdot \nabla \rho^n = 0 \quad (5)$$

$$\left. \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} \right)_{adv} + \mathbf{u}^n \cdot \nabla \mathbf{u}^n = 0 \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial t} \right)_{adv} + \mathbf{u}^n \cdot \nabla p^n = 0 \quad (7)$$

식(5) ~ (7)의 대류항에 관한 방정식을 CIP 법을 이용하여 예측값 $\rho^*, \mathbf{u}^*, p^*$ 를 구한다. 비대류항 (non-advection terms)은

$$\left. \frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_{non-adv} = -\rho^* \nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1} \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_{non-adv} = -\frac{\nabla p^{n+1}}{\rho^*} + \mathbf{g} + \sigma \kappa \frac{\nabla \phi}{\rho^*} \quad (9)$$

$$\left. \frac{\partial p}{\partial t} \right)_{non-adv} = -\rho^* c_s^2 \nabla \cdot \mathbf{u}^{n+1} \quad (10)$$

이고 임의의 표면 A 의 곡률은 $\kappa = -(\nabla \cdot \mathbf{n})$ 와 같고 이때 \mathbf{n} 은 수직 벡터를 나타낸다. 본 연구에서 사용한 CSF 방법의 최종적인 표면 체적 힘은 다음과 같이 나타날 수 있다.

$$\kappa \nabla c = -\mathbf{n}(\nabla \cdot \mathbf{n}) \quad (11)$$

4 장 해석 결과 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 임의의 사각 액체가 존재하는 경우 원형 액적으로 변형되는 과정을 해석 모델의 검증용 위해서 수치 해석하고 정성적인 특성을 조사하였다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 시간이 지남에 따라 최소 표면 에너지를 유지하기 위해 원형 액적으로 변해 감을 확인할 수 있다. 이 해석에서 주변의 외력은 무시하였고 자유표면에너지에 의한 경계면의 위치 변화를 예측하고 운동량과 표면장력과의 평형 해석이 가능한지를 확인하기 위해 수행되었다. Fig. 3은 용융입자의 융합거동을 해석하기 위한 수치해석 모델을 나타낸다. 실제 운전조건과 동일한 경계조건을 부여하기 위해 상부는 moving 경계로 처리하였고 이때 변형격자(deforming mesh)처리를 하였다. 또한 양 옆면은 압력경계 조건으로 처리하였으며 용융입자와 레진의 물성 값은 Table 1과 같다. Fig. 4는 예측된 용융입자들의 거동을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 입자들의 초기 배열은 시간이 지남에 따라 변화하고 입자들은 상호 융합되어 점차 입자들의 크기가 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 거동 예측은 최적조건을 도출하는 데에 중요한 자료를 제공할 수 있을 것이다. 용융 입자의 융합은 입자들의 표면장력에 의한 것으로 이후 고

	Solders	Resin
Density, ρ	6986	1150
Viscosity, μ	0.00181	0.38
Surface tension coefficient, γ	0.574	0.043

Table 1. The properties for calculation

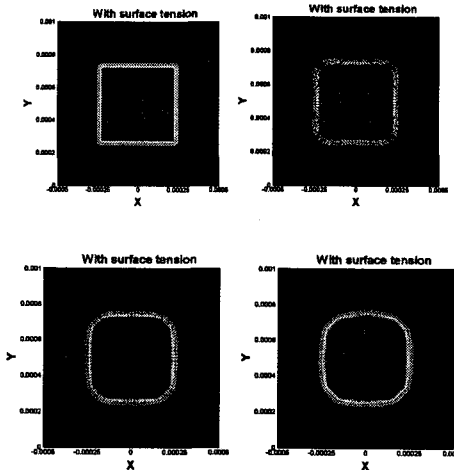


Fig. 2 Simulated results for a liquid droplet formation.

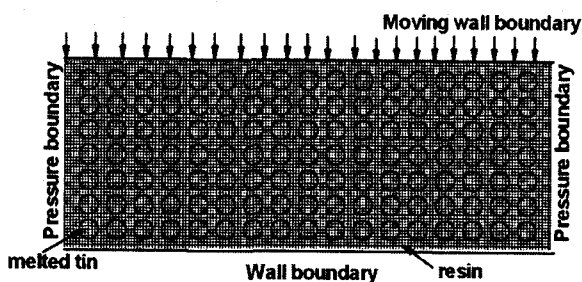


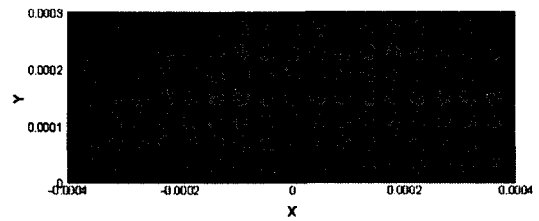
Fig. 3 A schematic of numerical simulation for fusible filler interaction inside the resin.

체 표면의 접촉을 고려하면 실제 현상과 유사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

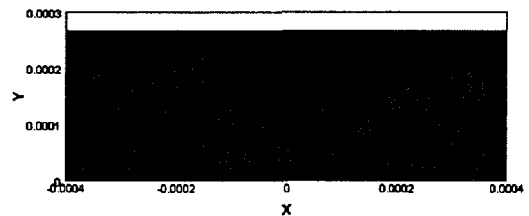
4. 결 론

본 연구는 자기조직화 접속프로세스 과정에서 나타나는 입자들의 융합과정을 수치해석 모델을 이용하여 구현하고 해석을 통해 정성적인 특성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 우선 본 해석에서 사용된 모델은 자유표면에너지와 운동에너지의 상호작용을 정성적으로 잘 예측하였고 단일 액적 변형은 최소 자유표면에너지 형성을 위한 경계면 이동과 관련이 있다.



(a) Initial state



(b) During the interaction

Fig. 4 Predicted results for coalescence among fusible fillers inside the resin during the compression process.

2) 2차원 입자들의 융합과정을 해석하기 위해 실제 운전조건인 압축조건을 수치해석적으로 구현하였으며 이때 압축 조건은 입자 융합이 발생하는 초기 난동 조건을 작용한다. 입자 융합 및 거동은 정성적으로 잘 예측되었다. 이것은 현재 사용하는 수치해석 모델이 적절함을 보여준다.

후 기

본 연구는 과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-0702-0)지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Liu : Conductive Adhesives for Electronics Packaging, Electrochemical Publications Ltd., 1999, 1-432
2. H. Takewaki, A. Nishiguchi and T. Yabe, 1985, Cubic Interpolated Pseudo-particle Method (CIP), for Solving Hyperbolic-type Equations, Journal of Computational Physics, 61, (1985), 261-268.
3. J.H. LEE, J. Kang, D. Im, and C.J. Kim, Analysis of the Flow in Square Cavity Using CIP Method in Non-staggered Grid Arrangement, KSME Spring Conference, (2003), 1821-1826.
4. J.U. Brackbill, D.B. Kothe, and C. Zemach, A Continuum Method for Modeling Surface Tension, Journal of Computational Physics, 100, (1992), 335-354.