

이송 모듈을 사용한 리플로우 오븐의 열유동해석

정원중 · 권현구* · 조형희†

*연세대학교 대학원 기계공학과, †연세대학교 기계공학과

Thermal design of reflow oven with PCB-module

Won Jung Jeong*, Hyun Goo Kwon*, and Hyung Hee Cho†

*Graduate School of Mechanical Engineering, Yonsei University

†School of Mechanical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

Because of new requirements related to the employment of SMT(Surface Mounting Technology) manufacturing and the diversity of components on high density PCB(Printed Circuit Boards), Thermal control of the reflow process is required in order to achieve acceptable yields and reliability of SMT assemblies. Accurate control of the temperature distribution during the reflow process is one of the major requirements, especially in lead-free assembly. This study has been performed for reflow process using the commercial CFD(Computational Fluid Dynamics) tool for predicting flow and temperature distributions. Porous plate was installed to prevent leakage flow which was one of the major problem of temperature uniformity in the reflow process. There is a separation region where the flow is turned. Outside wall made of porous plate is to prevent and minimize separation region for acquiring uniform temperature during operation. This paper provided design concept from CFD results of the steady state temperature distribution and flow field inside a reflow oven.

Key Words : Reflow oven, Temperature uniformity, SMT, Soldering process, Porous plate

기호설명

P_o	:	다공률
P	:	온도 측정 위치 $P_1, 2, \dots, 14$
ΔT_{OVEN}	:	오븐 내 최대 평균 온도차
D	:	평균 편차
U_o	:	오븐 입구 유속
Re_{Dh}	:	Reynolds 수

1. 서 론

최근 전자 산업의 급속한 발전으로 캠코더, 컴퓨터, 통신기기 등과 같은 첨단 전자기기가 소형화, 경량화되고 있다.

따라서 과거와 달리 한정된 회로기판(Printed Circuit Board)의 표면에 많은 부품의 실장이 요구되고 있다.

이러한 경향으로 현재는 실장사이즈, 접촉 높이, 무게 등의 제한으로 인하여 천공작업을 생략하고, PCB 표면에 칩을 직접 실장(SMT - Surface Mount Technology)하는 방식이 널리 사용되고 있다.

이러한 표면실장 공정을 위한 리플로우 장비에 요구되는 일반적인 성능은 열적 손상없이 균일한 솔더링, 공정 시간의 최소화, 회로 기판의 변화에 따른 대응의 용이성 등이 있다. 이러한 요구 성능을 만족시키기 위하여 Whalley와 Hyslop[1]은 2차원 수치 해석모델을 사용하여 PCB 기판의 온도를 예측하였고, 실험을 통하여 리플로우 오븐에서의 공기 및 회로기판의 칩 온도를 측정하였다. Yu와 Kivilathiti[2]는 3차원으로 리플로우 오븐을 모델링하여 온도 분포와 유동 패턴을 예측하였다. 이러한 연구의 근본 목적은 오븐 내부의 온도를 제어하여, 용접 공정의 안정성을 확보하기 위한 것이다. 이를 위해서는 회로기판의 이송 속도와 작업 공간상의 온도가 중요한 요소[3]로 보고되고 있다.

본 연구에서는 이제까지 주로 수행되었던 수평형(권

†E-mail : hhcho@yonsei.ac.kr

베이블트) 이송방식 리플로우 오븐의 연구에서 대두되었던, 온도 불균일성을 개선하기 위한 것이다. 각 작업 공간 사이에서 유발되는 틈새유동(Leakage flow)과 격벽 열전달에 의한 온도 불균일성을 개선하기 위하여 모듈(Fig. 2)을 이용한 이송 방식을 채택하였다.

해석을 위한 수치 모델은 Fig. 1과 같이 상대적으로 작은 공간과 시간 생산성을 향상 시킬 수 있는 수직형 이송방식을 취하는 리플로우 오븐에 대한 것이다. 작업 공간에 대한 열/유동 현상을 파악하고 이송 모듈 외벽의 다공률을 조정하여 유동 제어를 통한 온도 균일성을 확보하고자 하였다.

본 연구는 가공 영역의 온도 균일성 확보를 위하여 격벽과 다공판을 설치하여 유동의 편향성을 제어하고, 이를 통하여 작업공간의 온도 균일성을 향상 시키는 것이 목적이다.

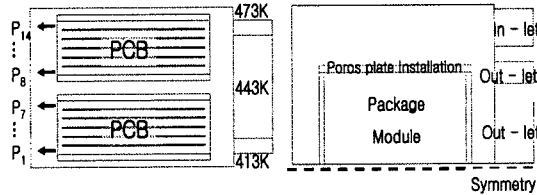


Fig. 1. Schematic view of present study domain.

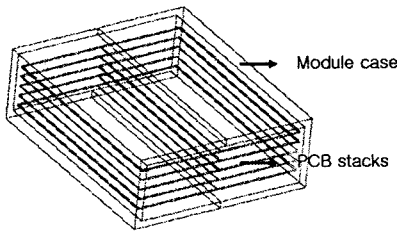


Fig. 2. Schematic view of PCB Module.

2. 해석 방법

FVM(Finite Volume Method)방법으로 사용되고 있는 Fluent 6.1[9]을 사용하여 수치해석을 수행하였다.

오븐 내부는 리플로우 공정을 위한 온도로 설정하였다. 그리고 수직형 리플로우 오븐은 기존의 컨베이어 벨트 이송 방식 오븐에서 적용된, 벨트 진행 방향에 따른 온도 설정과 달리 수직 방향의 모듈로 이송된다. 따라서 오븐 내부의 경계조건은 작업공간 입구를 443K로 설정하고, 전도 열전달을 고려하기 위하여 상/하단을 각각 0.002 m의 금속 격벽을 묘사하였다. 유동의 입구부에는 4 m/s의 자유유동 속도를 설정하였다($U_0=4$

m/s). 입구 수력 직경 $D_h=0.08$ m이며, 입구 유동 Re_{Dh} 수는 1.742×10^4 였다.

Table 1. Air property

$\rho = \frac{PM}{RT}$	Ideal Gas Law
$\mu = \mu_o \left(\frac{T}{T_o} \right)^{3/2} \frac{T_o + S}{T + S}$	Sutherland's Law
$K = \frac{15}{4} \frac{R}{M_w} \mu \left[\frac{4}{15} \frac{C_p M_w}{R} + \frac{1}{3} \right]$	Thermal Conductivity
$C_p = C_0 + C_1 T + C_2 T^2$	2 nd Polynomial

Table 2. Solid material properties.

	Al alloy	PCB
Density(Kg/m ³)	2770	700
Heat capacity(J/Kg-k)	875	2310
Heat conductivity(W/m-K)	177	0.173

해석모델은 입구 덕트, 입/출구 다공판, 면(중심)대칭 오븐, PCB 가공판, 분리판(Operating Zone Separator)으로 구성되어 있다.

모델링 및 격자 생성은 gambit 2.1을 사용하였으며, 대칭으로 1/2만을 모델링하여 symmetry 경계조건을 사용하였다. 총 격자는 약 182만개였다. 유동을 제어하기 위하여 이송 모듈 외벽에 다공판($P_0=50\%$)과 격벽($P_0=0\%$)을 설치하였다.

Fig. 1은 전체 모델 제원 및 다공판 설치 위치에 대한 개략도를 나타낸다. 본 장비는 기존의 리플로우 공정에 적용되므로, 공정이 요구하는 설정 온도를 적용하였다.

난류 모델은 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. Table 1, 2에서

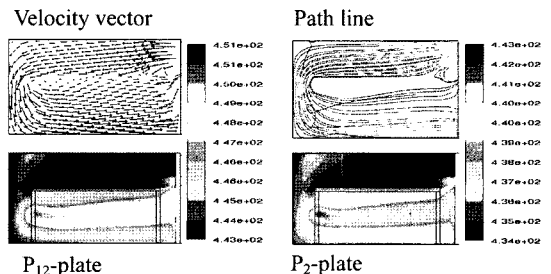


Fig. 3. Temperature and velocity distribution for the origin model.

는 작동 구간의 설정온도가 413K이고 30K의 간격의 저/고온부의 열전달을 고려하기 위하여, 공기의 밀도는 이상기체로 가정하고 점성계수는 Sutherland's law를 비열은 온도에 대한 Third-order Polynomial을 적용하였다. 분리판, 격벽 그리고 회로기판을 통한 열전도를 고려하기 위하여 밀도, 비열, 열전달 계수를 지정하였다.

온도 및 유동 특성은 P₁-plate에서 P₁₄-plate까지 평면에서 획득하였으며 온도 균일도는 평균 온도와 편차를 기준으로 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원형 모델(Origin Model)에서의 유동 및 온도 분포

오븐 내부의 기본적인 유동 및 온도 특성을 살펴보기 위하여 내부 이송 모듈 설치 조건에서 해석을 수행하였다.

Fig. 4에서는 443K설정된 가공영역의 온도 분포와 평균 편차를 제시하였다. P₁-plate에서 P₁₄-plate까지 단계적으로 온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 편차를 고려하면 작업 공간의 상/하부 끝단에서 온도 불균일성이 심화되는 것을 확인하였다. 이는 기존 리플로우 장비에서 대두되는 문제점인 작업영역 간의 틈새 유동을 제어하기 위한 알루미늄 이송 모듈 설치에 의한 전도 열전달에 기인한다($T_{oven}=10.27K$). 특히 최하단에 위치하는 P₁-plate에서의 T_{plate} 는 6.24K, 편차는 1.14이며, 최상단의 P₁₄-plate의 경우 T_{plate} 는 6.56K, 편차는 1.29으로 나타났다. 이는 중간 영역에 위치하는 P₅-plate에서 T_{plate} 가 1K 범위에서 해석되는 것과 비교하여 개선이 요구되는 영역이다. Fig. 3에서는 입구부의 자유유동($U_0=4m/s$)이 오븐의 후단부의 좁은 유로를 통과한 후 편향하여 중심부에서 높은 유속을 보이고, 토출부로 진행하면서 중앙부와 가공영역 끝단으로 확산되고 있다. 따라서 고온부(473K)에 위치하는 상단의 P₁₂-plate에서는 유동이 확산되는 중앙 영역에서 높은 온도 구간을 확인하였으며, 저온부(413K)에 위치하는 P₃-plate의 경우 P₁₂-plate와 대조적인 경향을 보였다(Fig. 4). 따라서 이러한 유동이 선회에 따른 박리현상을 저감하기 위하여 이송 모듈 외벽에 다공판을 적용하여 해석을 수행하였다.

3.2 수정 모델(Modified Model)에서의 유동 및 온도 분포

원형 모델의 수치해석을 통하여, 유동의 편향과 이에 따른 박리를 저감시키기 위하여 Fig. 5와 같이 모듈 외벽의 다공도를 조정하여 수치 해석을 진행하였다.

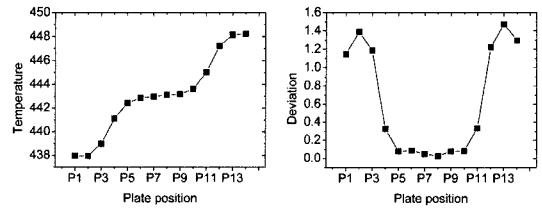


Fig. 4. Temperature and deviation of the origin model.

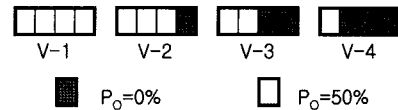


Fig. 5. Cases of porous plate installation.

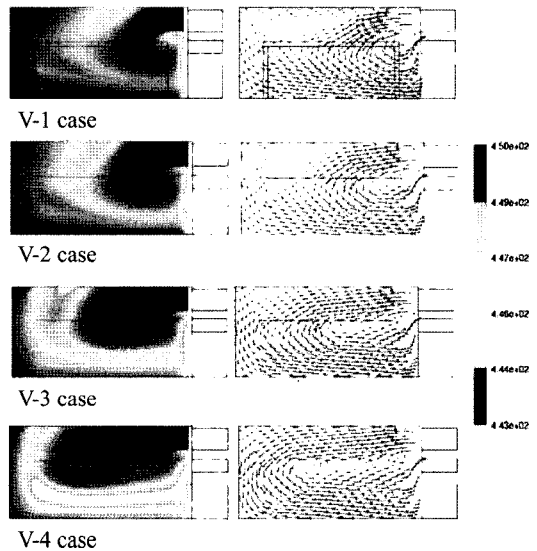


Fig. 6. Temperature and velocity distribution at P12-plate.

해석모델은 V-1 case에서 V-4 case까지 다공도를 조정하였다. V-1 case의 경우 원형 모델의 오븐 후단에서 좁은 면적비로 급격히 편향하는 것을 방지하고 벽면에 균일한 다공도($P_0=50\%$)를 부여하였을 때의 특성을 고려하기 위한 것이다. V-2 case에서 V-4 case까지는 외벽을 4분할하여 유동의 유입면적을 조정하여 특성을 해석하였다.

Fig. 6에 모듈 내벽의 다공률 조정에 따른 온도 및 유속 분포를 나타내었다. V-4 case의 경우 이송 모듈의 외벽이 구조적으로 원형 모델과 유사하다. 모듈의 후단부에서 편향된 유동이 박리되면서 작업 공간 중앙에 높은 온도 영역을 형성하여 내부의 온도 불균일성을 야기한다. V-4 case에서 V-1 case로 진행하면서 모듈

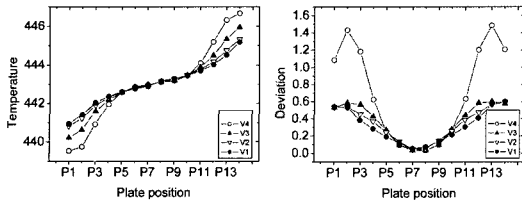


Fig. 7. Temperature and deviation distribution.

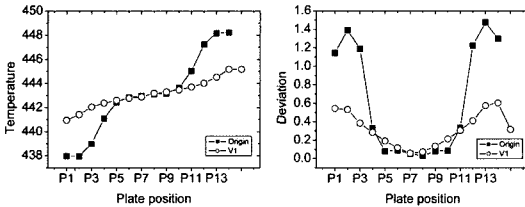


Fig. 8. Comparison with origin model and V-1 case.

외벽의 개구율 증가에 따른 유동의 유입 면적이 증가한다. 이를 통하여 유동의 편향성이 완화되는 것을 확인하였으며, 박리영역도 감소하고 작업 공간 상에서 균일한 온도장을 형성하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7에서는 각 경우의 측정 위치에 대한 평균온도와 편차를 제시하였다. Fig. 6에서 가시적으로 확인 할 수 있는 것과 같이 모듈 외벽의 입구 유로 확대에 따라 박리 영역이 작아지면서 온도 균일성의 향상을 확인하였다. 원형 모델과 유사한 구조를 갖는 V-4 case의 경우 T_{oven} 은 7.11K, 편차는 0.68이다(원형 모델 T_{oven} =10.27K, $D=0.63$). 그러나 모듈의 입구부 1/4에 격벽을 설치하고, 3/4영역에 50%의 다공률을 설치한 V-2 case와 이와 유사한 결과를 보이는 V-1 case에서는 입구부의 유량이 토출부로 편향되는 것이 제어되고, 유동의 박리 영역의 저감을 통하여, 오븐의 균일성(T_{oven} =4.22K)과 편차($D=0.32$)에서 가장 개선된 값을 보였다. 이는 원형 모델을 기준으로 비교하였을 때, 평균 온도에서는 58%, 편차에서는 49% 향상된 성능을 보였다(Fig. 8).

4. 결 론

본 연구는 반도체 공정에서 상용되는 수평형 리플로우 오븐을 개량한 수직형 리플로우 오븐에 대하여, 상용 수치해석 프로그램을 이용하여 내부의 온도 및 유동 특성을 해석하였다.

기존 리플로우 오븐의 취약점인 작업공간 상의 틈새 유동을 제어하기 위하여 알루미늄 재질의 이송 모듈을

묘사하였다. 모듈을 통하여 작업 공간 상의 틈새 유동을 제어 할 수 있었지만, 모듈의 외벽을 통한 유동의 유입이 차단된다. 따라서 오븐 후단 유입부에서 유동이 박리되며, 이는 온도 불균일성을 유발하였다. 모듈의 외벽에 다공도를 부여하여, 유동장을 전환하고 박리 영역을 최소화 할 수 있었다.

결과적으로 원형 모델의 오븐 내 평균 온도차 10.27K, 편차 0.63가 다공판 외벽으로의 전환을 통하여, V-1 case에서는 T_{oven} =4.22, $D=0.32$ 을 얻을 수 있었다.

본 연구를 통하여 오븐의 성능을 대표할 수 있는 온도 편차를 개선할 수 있었다. 그러나 수치해석 모델에서 히터의 토출 온도가 443K로 균일하다는 조건을 부여하였다. 따라서 이것에 대한 실험적 검증이 향후 수행되어야 할 과제이다.

참고문헌

- David C. Whalley, Stuart M. Hyslop, "A Simplified model of the reflow soldering process", Soldering & Surface Mount Technology, Vol. 1, pp. 30-37, 2002.
- Hao Yu, Jorma Kivilahti, "CFD modelling of the flow field inside a reflow oven", Soldering & Surface Mount Technology, Vol. 1, pp. 38-44, 2002.
- Frahad Sarvar, Paul P. Conway, "A modelling tool for the thermal optimisation of the reflow soldering of printed circuit assemblies", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 30, pp. 47-63, 1998.
- John Weisheit, Dale Roney, Randy Ternes, "Achieving higher productivity, reducing waste and costs through improved wave soldering technology", Global SMT & Packaging - Lead free Resource Guide, pp. 20-22, 2002.
- Ning-Cheng Lee, "Optimizing the reflow profile via defect mechanism", Soldering & Surface Mount Technology, Vol. 1, pp. 13-20, 1999.
- Reena Cole, Mark Davies, "A Board Level Study of Array of Ball Grid Component-Aerodynamic and Thermal Measurement", Journal of Electronic Packaging, Vol. 125, pp. 480-488, 2003.
- A. Tavares, J.E. Gonzalez, "Modeling the Thermal Behavior of Solder Paste Inside Reflow Ovens", Journal of Electronic Packaging, Vol. 125, pp. 335-346, 2003.
- S. H. Fan, Y. C. Chan, J. K. L. Lai, "Fatigue Lifetime of PBGA solder Joint Reflowed at Different Conveyor Speeds", Transaction of the ASME, Vol. 123, pp. 290-294, 2001.
- Fluent 6.1 User's Guide, Vol. 2, 2003.