

LCD 패널 압착장비의 고온압착성능 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of High Temperature Bonding Performance of LCD Panel Bonding Equipment

황일권¹, 김동민¹, 채수원^{1,✉}

Il Kwon Hwang¹, Dong Min Kim¹ and Soo-Won Chae^{1,✉}

¹ 고려대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Korea Univ.)

✉ Corresponding author : swchae@korea.ac.kr, Tel:02-3290-3367

Manuscript received: 2010.7.1 / Accepted: 2010.9.24

The bonding process of LCD panel is attaching an inner lead to an outer lead in the production line of LCD panel module. It is composed of an OLB process and a PCB bonding process. Since bonding tool assembly is one of the core parts of the bonding equipment that determines the durability and performance of the final product, much design efforts to enhance uniformity and efficiency of the process have been made. In this paper, FE analyses have been employed to determine the bonding tool size. Bonding tool of long bar shape has been simplified as a piece with same heater pitch, and appropriate boundary conditions such as convection and radiation are considered. Thermal analysis results by the FEM have been validated by the experiments. With the use of FE analysis varies design parameters and the corresponding effects have been evaluated. It was observed that the approach presented in this paper could be employed for the design of LCD module bonding tool.

Key Words: OLB (패널 외부단자 접합), PCB Bonding (PCB 접합), LCD Panel (LCD 판넬), Press Bonding Tool (압착 공구), FE Analysis (유한요소해석)

기호설명

Pr = Prandtl number

Nu = Nusselt number

Re = Reynolds number

Gr = Grashof number

Ra = Rayleigh number

Ts = surface temperature

T = air temperature

g = gravity

β = volumetric thermal expansion coeff.

k = thermal conductivity

ν = kinematic viscosity

a = thermal diffusivity

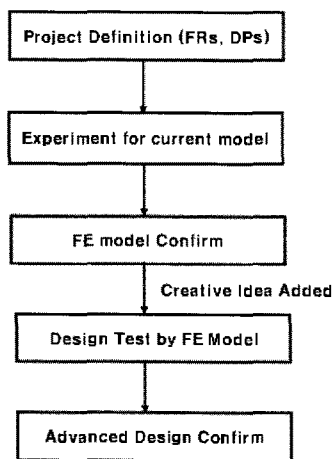
1. 서론

LCD(Liquid Crystal Display)는 두 개의 얇은 유리판 사이에 액체와 고체의 성질을 동시에 가지고 있는 액정을 주입하고 상하 전극의 전압차를 이용하여 액정분자의 배열을 변화시켜 문자나 영상을 표현하는 장치이다. 이중 TFT(Thin Film Transistor)-LCD는 물리적인 특성에 의하여 색상 표현력과 화질, 응답속도면에서 탁월한 성능을 가지며 지속적인 기술 개발과 생산 대형화에 따른 가격 경쟁력을 바탕으로 노트북, TV, 자동차, 항공

기 등에 광범위한 수요를 가지고 있다.^{1,2} TFT LCD 는 구조상 크게 패널, 구동회로부, 샤시(chassis)부 로 구분할 수 있는데 TFT-LCD 의 제조 공정도 TFT, 컬러 필터 및 액정 공정, 모듈 (module)공정, 기구(sashi)공정 등으로 구분할 수 있다.

모듈공정은 완성된 LCD 패널에 외부의 정보와 전력의 인가가 가능하도록 구동 회로부(IC, PCB)를 전도성 매개체를 이용하여 정렬압착하는 공정이다. 모듈공정은 압착 대상체에 따라 크게 OLB (Outer Lead Bonding) 공정과 PCB 압착(press bonding) 공정 으로 구성된다. OLB 는 다양한 형태로 제공되는 구동 IC 를 전도성 매개체를 이용하여 패널의 외 부단자에 정렬 압착하는 공정이다. 구동 IC 는 주 로 TAB (Tape Automated Bonding)의 형태로 공급되 며 전도성 매개체로는 ACF (Anisotropic Conductive Film)나 용접(soldering) 등이 이용된다. PCB 압착공 정은 전력과 정보 인가 회로가 인쇄된 PCB 를 구 동 IC 에 정렬 압착하는 공정이다. 역시 OLB 와 같은 전도성 매개체를 이용하여 압착한다.^{1,2}

압착공정에 사용되는 압착공구(press bonding tool)는 고온과 고압의 환경하에서 LCD 패널을 압 착하게 되므로 열적 특성과 변형에 대한 특성이 주요한 관심대상이 된다. 특히 대상체인 ACF 필름 에 190℃~200℃의 고온을 효율적으로 부여해야 하는 품질요구특성(FRs) 때문에 열적 특성을 고려한 설계가 필요하며 이를 위해서는 설계에 필요한 다 양한 정보의 제공과 성능예측이 선행되어야 한다.



FRs : Function Requirements
DPs : Design Parameters

Fig. 1 Process of press bonding tool design

본 논문에서는 설계의 선행작업으로 정확한 해석모형을 구축하여 열적 특성을 예측하고 설계의 변경이나 개선 시에 수반되는 성능변화를 예측하여 최적의 기구설계를 지원하는 방법론을 연구하였다. 또한 정확한 해석모형의 구축을 위해 실험을 통한 필요 데이터의 획득과 해석모형을 통한 비교 수렴의 과정을 수행하였다. 그리하여 확보된 해석 모델을 활용하여 다양한 개선 아이디어를 먼저 검증하고 효율적인 압착 장치 성능 개선의 사례를 제시하고자 한다. 아래 Fig. 1 에 본 연구의 프로세스를 도시하였다.

2. 시스템 조건 및 실험결과

2.1 대상 시스템 선정

OLB 와 PCB 압착에 적용되는 기계장치는 크게 압력과 온도를 인가하여 ACF 의 압착 조건을 만드는 압착 공구와 압착시 매우 견고한 압착 공구로부터 패널은 보호하고 온도와 압력을 분산 평준화 시켜주는 역할을 하는 보호지(protect sheet), 그리고 압착시 지지 역할을 하는 백업(back up)으로 구성된다. ACF 압착 공정의 주요부인 압착공구와 보호지, 백업을 해석 모델의 대상 시스템으로 선정하였다. 상부의 구조부, 지지부와 백업 하부의 프레임은 관심부의 열전달 현상과의 연관성이 약하므로 대상 시스템에서 제외하였다.

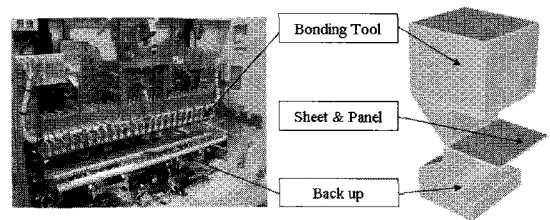


Fig. 2 Schematics of press bonding tool system

2.2 압착(press bonding) 실험

압착실험의 목적은 유효한 해석모형을 구축하기 위한 기본 근거 자료를 확보하는 데 있다. 실험은 OLB 용 자동 생산 설비(SEC-MC040641)를 이용하여 수행되었다. 정상적인 공정 조건으로 가열 되고 가압 능력이 부여된 실험 장비를 이용하여 실제 패널을 압착하는 OLB 공정을 수행할 때 압착시 압착 공구(tool)의 표면(tip)에 열전대를 부착하여 그 신호를 정리하였다. 실제 공정 조건

은 패널 상부에 접촉된 ACF 표면에서의 온도이다. 그리고 이 온도는 ACF의 두께가 약 30 um 이내로 극히 얇으므로 패널상부의 온도와 일치한다. 그러나 이 부분의 온도는 열전대의 일반적인 특성에 따라 측정체 부착위치와 보호지조건에 의해 큰 편차를 나타낼 수 있다.³ 열전대가 단자 상에 위치하는지, 아니면 단자 사이에 위치하는지에 따라 10℃ 이상의 큰 편차를 보이게 되고 보호지의 약 10%에 달하는 두께 편차의 영향도 크게 받는다. 따라서 안정된 온도조건을 획득할 수 있는 압착공구(tool) 팁 표면의 온도를 측정하여 해석모델의 온도와 비교, 검증하는 것을 실험의 목적으로 하였다. 열전대 부착 위치인 압착공구팁 부분에는 균등하게 5 개소에 열전대를 부착하여 평균온도를 얻음으로써 히터와의 상대 위치 차이에 따른 실험상의 오차를 최소화하였다. 실험에는 Ni-Cr / Ni-Al의 열전대 (K type) 가 사용 되었고 46 인치 표준 LCD 패널이 소재로 이용 되었다. 아래 Fig. 3 과 Table 1 에 실험의 개요를 요약하였다.

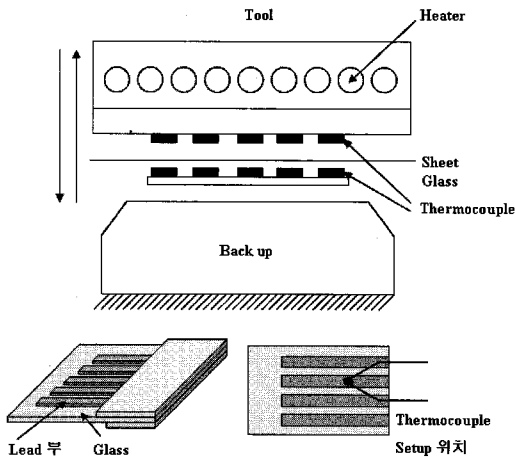


Fig. 3 Structure of bonding tool system for experiment

Table 1 Test conditions for manufacturing equipment

	Test Condition	Remark
ACF Harden Spec.	185 ~ 195℃	Spec.
used Sheet	200 um Tefron Sheet	
Tool Heater Setting	200 ~ 450℃	
Backup Temp.	100℃	
Measured Point	Glass 5pt. Tip 5pt.	
ACF Spec.	CP1520LSR. Sony	
Test Method	3.5MPa, Setting Temp.	

2.3 압착 실험 결과

실험결과 각기 목표한 온도 데이터를 획득할 수 있었다. 단 압착부품(tool) 표면에 부착된 열전대의 접촉력 상태에 따른 부착강도와 반복횟수 등에 따라 미소한 차이가 존재할 수 있고, 고온용 열전대 자체가 약 1℃의 측정오차를 가질 수 있으며 압착공구의 표면가공상태 및 평탄도 조정상태에 따라 측정온도가 영향을 받을 수 있다. 실험결과 압착공구의 양 측면부분으로 갈수록 1~3℃정도 압착공구 팁의 온도가 낮음을 알 수 있고 전체적인 압착공구 팁의 온도 균일도는 ±5℃ 이내로 측정되어 실제공정수행이 가능한 상태임을 확인하였다. 아래의 결과 중 tool down 은 압착을 위해 압착공구가 LCD 패널 위에 위치한 상태이고 tool up 은 압착공정을 마친 후 대기 and 대상 패널 교체를 위해 상승한 상태를 말한다. 실험결과는 Fig. 4 및 Table 2 와 같이 요약하였다.

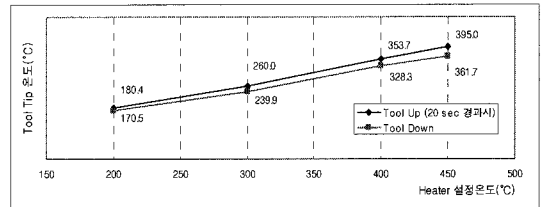


Fig. 4 Result of bonding test by equipment

Table 2 Test conditions for manufacturing equipment

Tool Heater Setting Temp.		average	Tool Heater Setting Temp.		average
200	tool down	170.5	200	tool up	180.4
300	tool down	239.9	300	tool up	260.0
400	tool down	328.3	400	tool up	353.7
450	tool down	361.7	450	tool up	395.0

3. 해석모델 구축 및 검증

3.1 경계조건 결정

열 해석 모델의 구축에 있어 물성의 정확한 입력과 함께 중요한 사항이 대류, 복사 등 경계 조건의 결정이다. 가장 정확한 방법은 실험으로 각 부분과 각 시간의 경계조건을 결정하는 것이지만, 본 연구에서는 단순화된 모델의 식을 이용하여 경계조건을 결정하였다. 압착공구는 복잡한 외형을 가지고 있으나 외부의 유동조건이 공정이 수행되

는 클린룸(cleanroom)장비의 특성상 거의 유동이 없는 내부상태가 되며 단지 0.1m/s 의 속도로 압착공구가 상승하강하면서 일으키는 유동만이 존재한다. 압착공구의 상승하강 속도는 약 0.1m/s 이하로 빠르지 않으므로 이는 곧 압착틀이 정지한 상태에서 유동이 0.1 m/s 로 움직이는 조건으로 대처할 수 있으며 약하고 균일한 유동하의 수직벽 조건 (vertical plate condition)의 구조로 Fig. 5 와 같이 단순화할 수 있다. 그러나 공정 중에 압착공구가 상승 하강하는 시간은 약 0.5 초 미만으로 정지하고 있는 상태의 시간에 비해 매우 작은 시간 이며 압착공구가 정지하고 있을 때에는 가열된 압착공구 팁 표면의 온도에서 기인하는 부력 (vouancy)에 의한 대류효과가 주로 존재하게 된다. 따라서 수직 평판상에서의 저속의 기류에 대한 실험 연구결과와 부력만이 주로 존재하는 상태에서의 대류 조건에 대한 연구결과를 활용하여 압착공구 주변의 대류조건을 결정하였다. 대류 열전달 계수의 계산에는 Nu(Nusselt number), Ra(Rayleigh number)의 계산이 먼저 필요한데 수직평판상에서의 조건에 따른 실험 연구결과를 참조하여 식 (1), (2), (3)을 써서 Nu 와 Ra 를 먼저 구할 수 있다. 식 (1)은 약한 외부유동하의 수직 평판에서의 실험식이고 식(2)는 부력이 주로 작용 하는 외부유동 상태의 실험식이다. 그리고 식 (4)는 이렇게 구한 Nu 를 이용하여 대류조건에서의 대류 열전달 계수를 구하는 식이다.^{4,5}

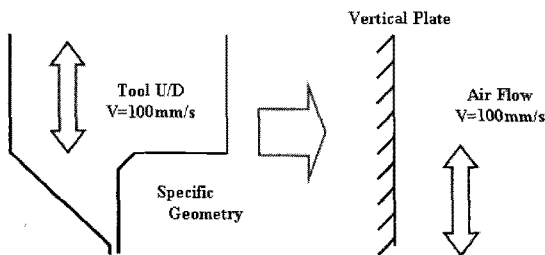


Fig. 5 Simplified model of press bonding tool for determining convection coefficient

$$Nu = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (1)$$

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (2)$$

$$Ra = GrPr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (3)$$

$$Conv.Coeff., h = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4)$$

여기서 측정과 물성 데이터를 이용하여 Nu 와 k (thermal conductivity), L (specific length) 를 알 수 있으며 이를 이용하여 대류열전달 계수 h 를 식(4)와 같이 근사적으로 산출할 수 있다.

그리고 내외의 온도차를 바탕으로 압착공구의 열유동량을 계산해 보면 복사로 인한 열방출량은 대류의 50% 이상으로 적절한 적용을 필요로 한다. 아래 Table 3 은 온도차에서 기인하는 대류와 복사로 인한 열전달량을 비교한 것이다. 이 계산에서 압착공구 팁 표면 공기의 온도는 히터(heater)의 온도와 압착공구 팁 표면의 온도의 중간 값인 370℃를 사용하였고 주위 대기의 온도는 측정된 값인 60℃를 사용하였다. 결과를 확인하면 100℃로 가열되는 백업의 복사량은 매우 미소하므로 해석상에서 생략이 가능함을 알 수 있으므로 해석모델에는 고온으로 가열되어 있는 압착공구에 잘 연마된 스테인레스 스틸의 물성(emissivity)을 적용하였다.⁶

Table 3 Comparison heat flux rate between convection and radiation

Heat transfer	Hear flux rate(W/m ²)	(%)
Convection (Tool)	2980.7	60.1
Radiation	Tool	1530.5
	Back up	68.14

3.2 해석모델의 구축 및 검증

압착공구는 가로로 긴 형상(long bar type)을 지니고 히터간의 간격(pitch)을 기준으로 동일한 단면을 가진다. 그리고 이렇게 나누어진 하나의 조각(block)은 최 외각의 조각을 제외하면 모두 동일한 외부 경계조건을 가진다. 따라서 전체 압착공구에 대한 해석모델을 구축하는 것은 비효율적이므로 히터 하나의 간격을 단위길이로 하여 단위길이의 압착공구에 대한 해석 모델을 구축하여 전체의 경향을 예측하고자 하였다. 이렇게 압착공구의 해석모델은 그 사용목적에 따라 단순화된 2D 모델이 효율적일 수 있고 3D 모델의 적용이 필요할 수도 있다. 본 연구에서는 실험 데이터를 바탕

으로 각각의 해석모델을 구축한 후 필요에 따라 활용하고자 하였다. 각각의 모델에는 육면체의 요소가 이용되었으며 동일한 대류, 복사 경계조건이 적용되었다. 그리고 실제로 LCD 패널의 상부는 수 nm~ 수십 um 의 두께를 가지는 각종 금속과 레진(Resin) 이 코팅(coating)되어 있으나 이는 동일한 두께를 가지는 ACF resin 의 물성으로 치환하여 적용하였다. 각종 2D, 3D 모델의 특성과 형상을 Fig. 6 과 Fig. 7 에 각각 나타냈다.⁷

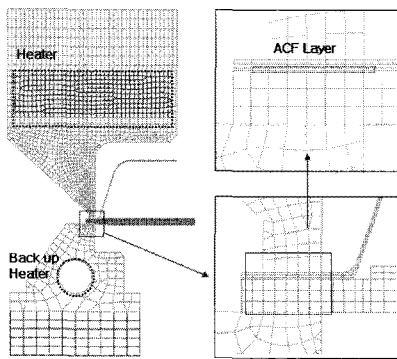


Fig. 6 2-D FE model of press bonding tool

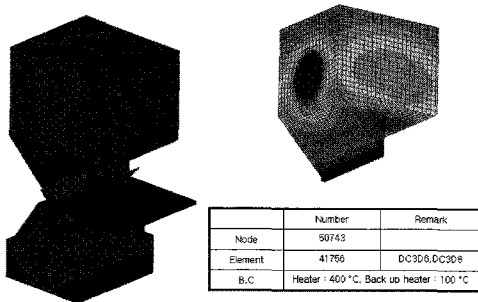


Fig. 7 3-D FE model of press bonding tool

구축된 2D, 3D 해석모델과 실제 실험결과를 비교한 결과 모델간의 정확도는 거의 비슷한 수준임을 확인할 수 있으며 실제 실험과 해석결과와의 오차도 최대 5% 미만으로서 특히 관심은도인 400℃ 가열조건에서는 오차 5℃ 미만의 매우 정확한 결과를 반영하는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 Table 4 와 Table 5 로 정리하였다. 이는 해석목적과 여건에 따라 2D, 3D 해석모델의 적용이 모두 유효하다는 결과를 보여주며 또한 패널상부의 단순화와 대류, 복사열전달계수의 적용이 정확했음을 확인할 수 있다.

Table 4 Comparison of results between simulation and experiment of bonding tool

Tool Temp. (°C)	Tip up (Test)	Tip up (CAE)	Tip down (Test)	Tip down (CAE)
200	180.4	185.2	170.5	175.6
300	260.0	272.1	239.9	254.4
400	353.7	358.4	328.3	332.2
450	395.0	401.3	361.7	371.6

Table 5 Analysis results from 2D and 3D FE model of bonding tool

	Test (°C)	2D Result (°C)	3D Result (°C)
Tool down	328.3	332.7	327.3
Tool up	353.7	358.4	359.8
Difference	25.4	25.7	32.5

Fig. 8 과 같이 가로로 긴 형상 (long bar)인 압착공구의 구조에 따라 중간부분과 양 끝 부분은 서로 다른 열적 조건을 가질 수 있다. 중간부분은 좌우의 온도조건이 대칭적으로 형성되어 균일하며 좌우 면에는 대류의 영향이 없다. 그러나 양끝 부분은 한쪽 끝 면이 전체적으로 외기에 접하게 되므로 중간부분보다 심한 열손실과 비대칭적인 온도분포를 나타낼 것으로 예상되었다. 이 끝부분의 정확한 모델구축은 압착공구의 유효길이 결정 등에 매우 중요하게 이용될 수 있다. 이미 구축된 3D 모델에 대류조건만을 변경하여 그 결과를 Fig. 9 와 같이 확인하였다. 이의 검증방법으로서 적외선 열화상 카메라를 이용하여 압착공구의 온도를 측정하여 해석결과와 비교하였다. Fig. 10 은 열화상 카메라를 통해 확인한 결과이며 구축된 해석모델은 중간, 양측에 구분없이 충분히 근사한 모델로서 높은 정확도를 가짐을 확인할 수 있었다.

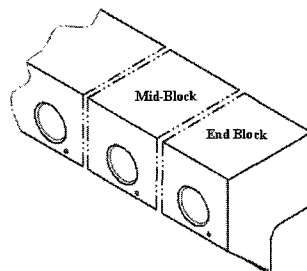


Fig. 8 Tool shape of long bar type bonding tool

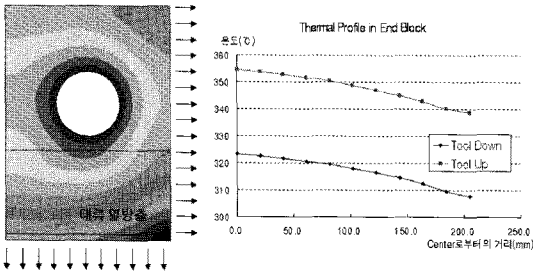


Fig. 9 Thermal characteristics of end-block of bonding tool by FE model

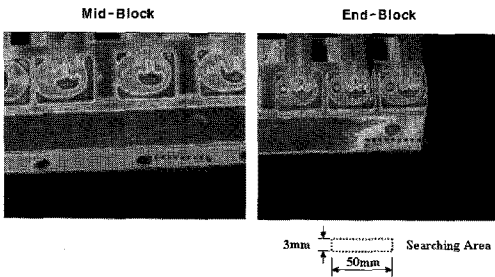


Fig. 10 Validation of end block model with IR thermal image

4. 설계개선 결과

4.1 히터의 유효길이 결정

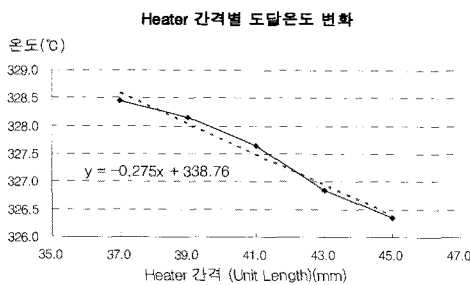


Fig. 11 Temperature in heater length variation

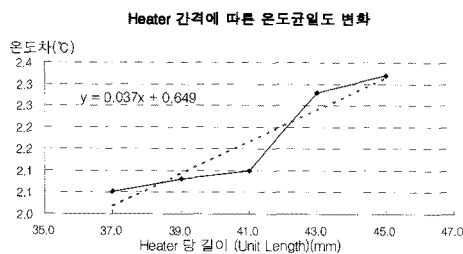


Fig. 12 Thermal uniformity in heater length variation

OLB 와 PCB 접합에 사용되는 ACF 는 각각 $\pm 5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 이내의 적정 경화온도 범위를 가진다. 그러므로 압착공구 팁 부분에서의 온도 균일도는 압착공구의 중요한 필요조건 중 하나가 된다. 온도의 즉각적인 모니터링과 조정성이 가능하도록 압착공구의 히터는 짧은 단면방향으로 삽입되게 되며 이때 히터간의 간격은 중요한 설계변수가 되므로 신중하게 결정되어야 한다. 앞서 정밀도를 확인한 해석모델을 이용하여 히터배열 설계기준의 분석이 가능하다. 그리고 해석모델을 이용하여 ACF 상에서의 온도를 예측하는 것도 가능하며 이러한 데이터를 바탕으로 공정조건과 ACF 의 사양에 따라 적절한 설계적 선택이 가능해진다. 아래 Fig. 11 과 Fig. 12 는 각각 히터(heater)의 간격에 따른 공구 팁 부분의 도달온도와 온도 균일도의 추이를 나타낸 것이다.

압착공구의 끝부분은 한쪽의 전체 면이 외기에 접하게 되므로 틀의 중간부분과는 달리 많은 온도 편차가 발생하게 되므로 공정 시 적절한 배제 구간이 필요하다. 그리고 그 기준은 적용되는 ACF 의 온도특성과 사양에 따라 달라질 수 있다. 아래 Fig. 13 은 끝부분으로부터의 도달온도 분포를 예측한 것이며, Table 6 은 ACF 의 기준에 따라 배제되어야 하는 길이를 제시한 것이다.

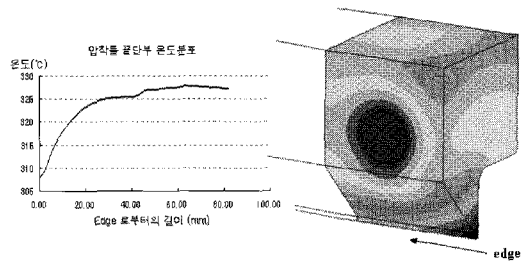


Fig. 13 Temperature variation as distance from tool edge

Table 6 Non-process length as distance from tool edge

Available Tolerance	Unavailable length (mm)	Available Tolerance	Unavailable Length(mm)
$\pm 2^{\circ}\text{C}$	36.9mm	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	17.5mm
$\pm 3^{\circ}\text{C}$	24.6mm	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	9.2mm
$\pm 4^{\circ}\text{C}$	20.5mm		

4.2 절연재의 설계

압착공구팁 끝단부의 온도하강으로 인한 배제구간의 발생은 필요한 압착공구의 길이를 증대시

키게 되므로 절연재(Insulator)의 적용을 통해 배제 구간을 최소화하는 것이 필요하다. 절연재는 설계나 조립시 용이하게 적용될 수 있으며 세라믹 계열이 주로 사용될 수 있다. 절연재의 적용 효과를 극대화 하고 효과를 정량적으로 예측하기 위해 해석모형을 이용하였다. 분석대상 절연재는 크게 측면상부 절연(upper insulator)과 측면 전체 절연(edge insulator), 전면, 후면 절연(cover)으로 나누어 해석을 수행하고 그 결과를 비교하였다. Fig. 14는 각 절연방법의 형상을 나타낸 것이고 그 결과를 Table 7에 정리하였다.

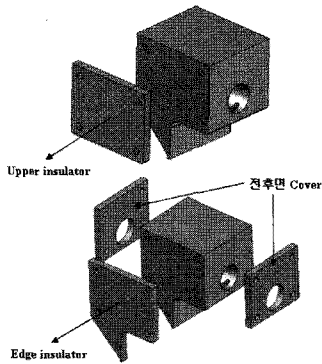


Fig. 14 Shape of insulator for reducing non-process part

Table 7 Analysis results of insulator application for bonding tool

	Temp. (Max)(°C)		Temp.Diff. (Tu. Max-Min)(°C)	
	Tool Down	Tool Up	Tool Down	Tool Up
Non-Insulator	325.5	357.2	17.7	18.5
Edge Insulator	326.2	358.4	15.4	15.2
UpperInsulator	325.0	356.8	18.2	18.7
3-faceInsulator	325.8	358.1	15.4	15.3

위 결과를 보면 실제 측면과 전면, 후면에 모두 절연재를 적용하는 것이 가장 좋은 효과를 보이는 것을 알 수 있지만, 전, 후면의 절연재는 적용으로 인한 성능상승효과가 미미함을 확인할 수 있다.

실제 부품의 설계나 제작, 사용 중 유지보수 시에는 적용에 대한 효과와 적용을 위한 여러 가지 비용을 함께 고려해야 하는 경우가 많다. 따라서 투입에 대비해 효율적인 설계가 필요함을 생각할 때 측면의 절연재 적용이 가장 합리적임을 확

인할 수 있다.

4.3 히터배열 기준설계

LCD 패널상에서의 압착에 적용되는 ACF의 종류와 피압착재 등에 따라 압착공구가 구현해야 하는 온도 균일도의 기준이 달라지게 되고 과잉설계를 막고 최적화된 압착 공구 적용을 위해 히터 배열에 따른 열적 성능의 예측이 필요하다. 이를 위해 해석모형을 활용하여 히터 배열간격에 따른 온도 균일도와 도달온도의 변화를 예측할 수 있다. 아래의 Table 8은 해석을 통한 압착공구의 도달온도와 발생 온도차를 예측한 것이며 실제 패널상면의 온도차와 도달온도는 이에 비례하여 증가하게 된다.

Table 8 Prediction for thermal specification of bonding tool due to the pitch of heater

Unit Length (L)	Temp. (Max)(°C)		Temp. Diff. (Tu. Max-Min)(°C)	
	Tool Down	Tool Up	Tool Down	Tool Up
37mm	328.5	360.2	2.05	0.79
39mm	328.1	360.0	2.08	0.78
41mm	327.7	359.6	2.02	0.89
43mm	326.9	358.9	2.28	1.02
45mm	326.4	358.5	2.32	1.00

5. 결론

본 연구에서는 실험을 통하여 획득한 자료를 바탕으로 실제 데이터를 정밀하게 반영하는 해석모형을 구축하였고 이를 활용하여 여러 가지 설계 개선의 효과와 방향을 확인하고자 하였다.

실험을 통하여 확보된 데이터를 활용하여 복잡한 형태와 열전달 환경하의 부품의 경계조건을 단순화하여 결정하고 타당성을 확인하였다. 그리고 연속적인 온도변화에 대해서도 잘 적용되는 2-D와 3-D의 해석모형을 확보하였으며 이 해석결과를 바탕으로 압착공구의 성능구현에 중요한 요인들인 히터유효길이와 배열기준, 절연재의 적용방법 등을 예측하여 적용 안을 제시하였다.

본 연구의 결과는 실제 압착공구의 설계 및 제작에 적용될 수 있으며 그 유효성을 실제로 검증할 필요가 있다. 또한 구축된 모델은 압착공구 설계최적화와 개선된 성능을 가지는 다양한 압착공구의 개발에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2009-0063176)

참고문헌

1. Um, Y. Y., Lee, B. Y. and Park, S. H., "Analysis on the Fracture of a Panel Glass in a Liquid Crystal Display Module under Mechanical Shock," J. of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 17, No. 12, pp. 76-81, 2000.
2. Ko, K. W. and Kim, J. H., "Research on Defect Inspection of LCD Panel," J. of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 7-14, 2007.
3. Sun, Y. L., "A Study on the Temperature Accuracy due to Conditions of Thermocouple Installation," J. of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 49-54, 1982.
4. Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., "Introduction to Heat Transfer, 4th edition," Wiley, pp. 824-830, 2001.
5. Churchill, S. W. and Chu, H. H. S., "Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Vertical Plate," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 18, No. 11, pp. 1323-1329, 1975.
6. <http://www.matweb.com>
7. ABAQUS™, "ABAQUS Standard User's Manual Version 6.3," 2006.