

실험계획법을 이용한 LCD 압착장비의 설계최적화

The Design Optimization of LCD Panel Bonding Equipment by Design of Experiment

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 design of press bonding tool in LCD module equipment is a very complex and difficult task because many designable variables are involved while their effects are not known. It takes long-time experiments and much expenses to verify the effects of these design variables. However the optimization of bonding tool using OLB(outer lead bonding) and PCB Bonding is a very important problem in LCD manufacturing process, so much design efforts have been made for improving the bonding tool performance. In this paper, a reasonable and fast process which gives optimized solution under the design requirements has been presented. Both analytical and statistical methods are employed in this process. A reliable analytic model using experiment-oriented FE analysis can be obtained, in which the regression equations that predict the tool efficiency from various DOE method are found. Improvement of tool efficiency could be estimated by the regression equations using meaningful factors converged by RSM(Response Surface Method). With this process a reasonable optimized solution that meets a variety of design requirements can be easily obtained.

Key Words: OLB (패널 외부단자 압착), PCB Bonding (PCB 압착), Design Optimization (설계 최적화), Press Bonding Tool (압착공구), Design of Experiment (실험계획법), Response Surface Method (표면반응법)

1. 서론

LCD(Liquid Crystal Display)는 액체와 고체의 성질을 동시에 가지고 있는 액정의 물리적 성질을 화면표현에 응용한 것으로서 액정상하에 전압차를 인가하여 액정분자의 배열변화를 유도함으로써 문자나 영상 등을 표현하는 장치이다. 여러가지 방식으로 구현될 수 있는 LCD 중 TFT(Thin Film Transistor)-LCD 는 색상표현력, 응답속도와 같은 기본적인 물리적 특징점과 생산성의 지원하에 다양한 분야에서 대표적으로 LCD 의 수요를 이끌고 있다.^{1,2} TFT LCD 는 구조상 크게 패널, 구동 회로부, 샤시(chassis)부로 구분할 수 있는데 TFT-

LCD 의 제조공정도 구조의 분류와 같이 TFT, 컬러필터 및 액정공정, 모듈(module)공정, 기구(sashi)공정 등으로 임의적으로 구분할 수 있다.

이중 모듈 공정은 완성된 LCD 패널과 외부용 단자(lead)압착을 통해 연결하여 정보와 전력을 전달하게 하는 공정으로서 대부분 전용 전도성 매개체를 압착에 이용한다. 모듈공정은 압착 대상체에 따라 크게 OLB(Outer Lead Bonding) 공정과 PCB 압착공정(press bonding)으로 구분할 수 있다. OLB 는 다양한 형태로 제공 되는 구동 IC 를 전도성 매개체를 이용하여 패널의 외부단자에 정렬압착 하는 공정으로서 전도성 매개체로는 ACF (Anisotropic Conductive Film)가 사용된다. PCB 압착

공정은 전력과 정보 인가 회로가 인쇄된 PCB 를 구동 IC 에 정렬 압착하는 공정으로서 역시 OLB 와 같이 ACF 를 이용하여 주로 패널에 압착된다.^{1,3}

ACF 를 이용한 LCD 모듈공정은 완성된 패널에 동작성과 외부조정성을 부여하는 단계로서 패널 내구성을 결정하는 중요한 공정이다.^{4,5} 단자(lead) 와 다양한 압착부를 가진 IC, PCB 부위는 실제 사용 중에 매우 불안정한 상태가 되어 인장과 압축의 힘을 반복적으로 받게 된다. 압착부의 견고성과 통전의 안정성은 LCD 패널 품질의 중요한 요소이며 이를 구현하기 위한 공정장비의 최적화 노력이 계속되어 왔다.

OLB 와 PCB 압착공정은 각기 다른 성능요구(function requirements)를 가지며 각각 유사한 다수의 설계인자를 가진다.⁶ OLB 의 경우 15um~30um 의 얇은 ACF 로 20um 이내의 얇은 단자를 압착하여 연결하게 되는데 이때 Panel 과 IC 의 각 단자는 압착될 표면의 온도편차가 존재할 경우 단자가 팽창하는 방향과 양이 달라지게 되어 상호간의 통전율이 큰 영향을 받는다. 따라서 OLB 의 경우에는 압착될 표면의 온도균일도를 확보 하는 것이 공정의 주요항목이 된다. 이와 달리 PCB 압착의 경우 40um 이상으로 상대적으로 두꺼운 ACF 와 1mm 이상의 두께를 가지는 PCB 상에 실장된 100um 내외의 두꺼운 단자를 연결 하는 공정으로 압착될 전체의 평탄도를 유지함으로서 PCB 의 휨과 편차를 보상할 수 있도록 하는 것이 중요한 요소가 되는데 이때 압착물의 평탄도는 도달온도가 높으면 높을수록 단면의 불균일성과 길이방향으로 긴 형상특성에 의해 조정, 유지하는 것에 어려움을 가지게 된다. 따라서 PCB 압착은 도달온도의 최소화가 중요한 공정항목이 되고 있다. 이와 같이 OLB 와 PCB 압착공정은 각각의 공정의 특성과 각각 적용되는 ACF 의 특성에 따라 목적 함수가 달라지는데 단자 와 적용되는 ACF 의 특성에 따라 OLB 는 압착면의 온도 균일도의 확보 가 공정의 우선 목표가 되고 PCB 압착 공정은 도달 온도로 평가할 수 있는 온도 효율의 향상이 공정의 중요한 목표가 된다.

OLB 와 PCB 압착의 주요 목적 함수로 선정한 온도균일도와 온도효율은 각각 다음과 같이 정의하였다. 압착물의 온도균일도는 동일하게 Heater 의 온도가 부여되었을 때 42mm ~ 52mm 의 단위 길이를 가지는 압착물 가장 끝부분의 격자가 가지는

온도값의 최소값, 최대값의 차로 정의하였 으며 이 값이 작을수록 온도균일도가 높은 것으로 판단하였다. 그리고 온도효율은 역시 같은 단위 길이와 Heater 온도 아래에서 압착물 가장 끝부분의 격자들의 온도값의 평균을 도달온도로 생각 하였 으며 이 도달온도가 높을수록 온도효율이 높은 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 다수의 설계인자를 가지는 압착공구(press bonding tool)의 설계문제에 있어 해석적, 통계적 방법을 이용하여 최적화 설계안을 도출하는 프로세스를 제안하고 최적설계안을 도출하고자 한다. 아래 Fig. 1 에 본 연구의 최적화 프로세스를 도시하였다.

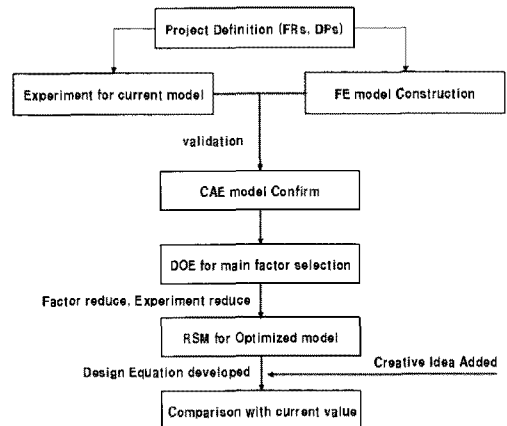


Fig. 1 Optimization Process of LCD bonding tool

2. 설계조건 및 실험결과

2.1 시스템 설계조건

OLB 와 PCB 압착의 압착공구는 동일한 전도성 매개체인 ACF 를 압착한다는 점과 압력, 온도 조건의 유사성으로 인해 같은 설계개념이 적용되어 왔다. 압착공구의 각 설계 변수들은 실제 패널의 물리적 특성과 양산시의 제약사항들의 제한을 받 으며 구현 가능한 설계 범위가 한정되게 된다. 특히 압착공구의 끝단 부분은 패널 끝 부분의 치수에 제약을 받고, 보호지는 두께에 따라 공급방법과 공급주기 등에 영향을 받으며 주요 적용소재들은 압착공구가 필요로 하는 고온강도와 내마모성 등의 요구에 따라 몇몇 특성 소재로 제한되게 된다. 본 압착공구가 가지는 여러 주요 설계변수들과 현재의 적용조건을 Fig. 2 와 Table 1 과 같이 정리하였다.

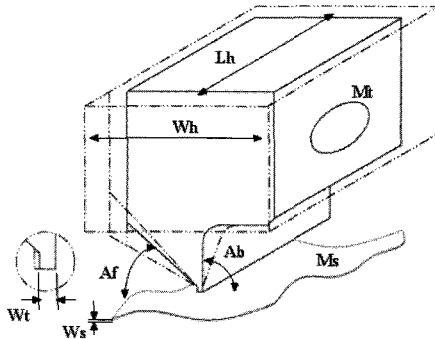


Fig. 2 Schematics of press bonding tool

Table 1 Range of design variables of press bonding tool

	Variable	Current	Range
Lh	block length	42mm	35mm<Lh<52mm
Wh	block width	47mm	42mm<Wh<52mm
Af	angle tool tip	42°	30° <Af<46°
Ab	angle tool tip	90°	70° <Ab<90°
Ws	sheet depth	200mm	120um<Wh<300um
Wt	tooltip width	1.5mm	1.2mm<Wt<2mm
Mt	tool material	STS440C	STS304~Moldmax
Ms	Sheet material	Tefron	Tefron Composit

2.2 압착(press bonding) 실험 해석모델 구축

다수의 설계변수를 가지는 복잡한 부품설계에 있어 주요변수를 추출하고 그 최적해를 구하기 위해서 정확한 해석모델을 구축하고 여기에서 확정된 경계조건과 각종 해석적 물성을 이용하여 설계 변경시의 성능을 예측 함으로서 개발시간과 비용을 절감하고자 하였다. 실험은 연구된 이전에 해석 모델을 이용하여 가상으로 수행되었으며 해석 모델의 치수와 형상 변경은 해석 기구 에서 지원하는 합성(morphing)기능을 이용하여 빠르게 수행될 수 있었다. 아래 Fig. 3은 반복실험에 이용한 해석 모델을 나타낸 것이며 실제실험결과와 해석모델의 온도 특성의 오차는 5% 이내로서 Table 2와 같이 간략히 비교하였다.⁷ 여기에서 Tool Down 이란 압착틀이 패널, ACF 와 접촉하여 압착중일 때의 온도이고, Tool Up 은 압착이 끝난 후 상승하여 대기할 때의 온도를 나타낸다. 온도차는 이 두 경우의 온도편차를 표시하고 있다.

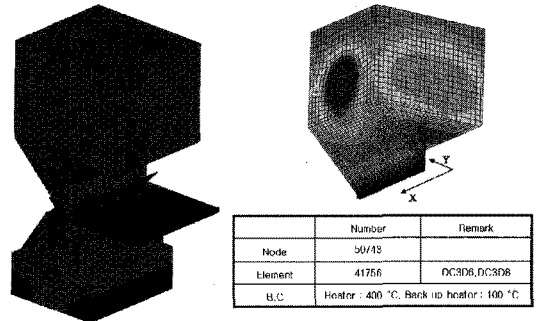


Fig. 3 Simulation model for optimization of bonding tool

Table 2 Comparison of result between simulation and experiments

	Test (°C)	CAE (°C)	Diff. (°C)	Remark
Tool Down	328.3	327.3	-1	Everage Result over 5point
Tool Up	353.7	359.8	+6.1	
Temp.Diff.	25.4	32.5	+7.1	

3. 최적해의 도출

3.1 주요변수의 분리

본 연구에서는 압착공구 부품과 보호지를 최적화의 대상으로 파악하였다. 현재의 시스템은 적용 핵심소재인 ACF(anisotropic conductive film)의 동일한 적용과 유사공정에 대한 설계적인 효율성을 감안하여 동일한 설계개념으로 제작된 압착 공구를 이용 하여 공정이 수행되고 있다.

그러므로 OLB 와 PCB 압착의 두 공정은 설계 요구기능(FRs)은 다르지만 같은 설계변수(DPs)를 가지는 특성이 있다. 따라서 상관분석을 통해 공통 최적해의 도출이 효율적인지, 개별적인 최적해의 도출이 효율적인지를 먼저 판단할 필요가 있다. 그리고 온도 균일도와 온도효율은 각각 X, Y 방향 면적의 온도 평균과 온도차이의 측정이 필요하므로 3 차원으로 구축된 해석모델을 이용한 실험이 필요하다. 이 때 X 방향은 얇고 긴 압착틀의 길이방향으로 설정하고 Y 방향은 압착틀의 폭 방향으로 정의한다.

대상 설계모델에서 정리된 설계변수는 재질, 형상치수 등 총 8 개이다. 이의 실험과 검증은 모두 256 회의 해석모델을 이용한 실험을 필요로 하는데 실험계획법 중의 직교배열표를 이용한 부분

요인실험을 통해 실험횟수를 최소화하면서 주요변수를 분리할 수 있도록 하였다. 부분요인 실험은 불필요한 교호작용이나 고차의 교호작용을 생략하여 실험의 크기를 줄일 수 있도록 인자의 조합중에 일부만을 실험하는 방법이다. 흔히 실험 초기에 어떤 인자가 큰 영향을 미치는지 확실하지 않으므로 많은 잠재 인자를 가지고 실험하게 되지만 실험의 결과 일부만이 주요인자로 입증되게 된다. 이렇게 실험에서 대응하는 인자가 많아 실험횟수를 가급적 적게 하고자 할 경우와 여러변수들 중에서 주요인자를 빠르게 선별하고자 할 때 직교배열표를 이용한 부분요인실험을 적용할 수 있다.^{12,13} 8 개의 설계변수중 주요변수를 빠르게 추출하기 위하여 4 분석도를 가지는 2 수준 부분요인실험을 진행하였다. 각각의 설계변수는 실제 공정적용상 적용가능한 영역을 가지며 이는 앞의 Table 1 에서 이미 확인하였다. 부분 요인 실험의 배치는 상용 통계 소프트웨어인 Minitab (Ver.14)를 이용하여 수행되었으며 배치된 실험은 Fig. 4 와 같다. 변경모델의 해석은 ABAQUS (Ver.6.3)을 이용하여 수행되었다.^{8,9}

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
StdOrder	RunOrder	Center	PE	Blocks	A	B	C	D	E	F	G	H
1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	14	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	16	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	9	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	8	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	15	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	12	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	13	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	5	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	11	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	7	13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	10	14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	2	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	4	16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fig. 4 Fractional design for screening main variables

부분요인실험 수행 결과 16 개 각 실험에 대한 온도효율과 온도 균일도의 결과를 얻을 수 있었다. 결과를 분석해 보면 온도 균일도는 보호지의 두께(Hi), 압착공구팁의 폭(Wt), 전체 압착틀의 폭(W)의 순으로 중요도를 가지며 온도 효율의 경우 보호지의 두께(Hi), 보호지 열전도도(Mi), 압착 공구팁의 폭(Wt), 압착 공구의 전면각(Am) 등이 주요한 인자로 선별 되었으며 그 결과는 Fig. 5 와 같다. 주로 상부 구조부보다는 열전달이 이루어 지는 패널 상면의 인접부 재질과 두께, 폭 등이 큰 비중이 있음을 확인할 수 있다.

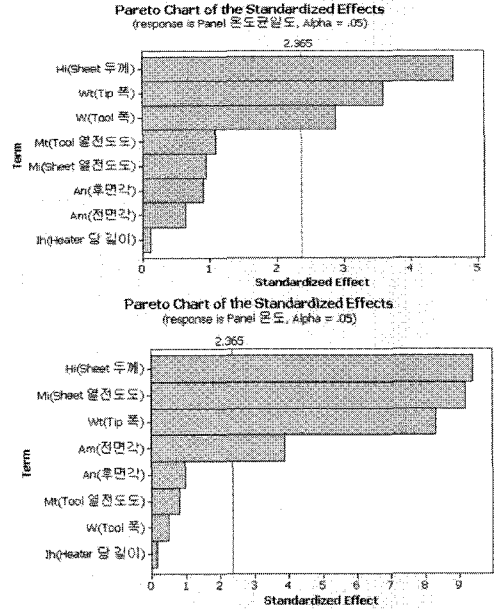


Fig. 5 Decision of main factor using fareto chart

부분요인실험의 결과를 이용하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과 Fig. 6 과 같이 온도효율과 온도균일도는 서로 강한 음의 상관관계를 지니는 것을 알 수 있다. 즉 온도효율을 높이면 온도균일도가 저하되고 온도균일도를 높이면 온도효율이 저하된다. 따라서 공통최적해의 도출은 비효율적이며 개별 최적해의 도출이 필요함을 알 수 있다.

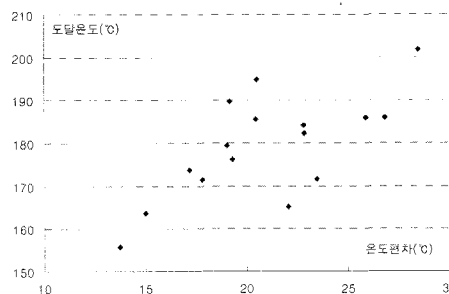


Fig. 6 Correlation analysis of efficiency and uniformity

3.2 최적해의 도출

반응표면법(RSM, Response Surface Method)은 실험인자들의 수준을 변동시켜서 어떤 처리조합이 가장 최적의 또는 원하는 반응값을 산출해 내는지를 결정하기 위한 방법이다. 반응표면법은 민감도

를 이용하지 않는 대표적인 최적화 방법으로서 이산화된 설계공간에 대해서 적절한 설계점 (design point)을 결정한 후 이 설계점들을 바탕으로 최소자승법(least square method)을 적용해서 설계 영역에서의 응답(response)을 함수적으로 쉽게 구성하고 예측할 수 있게 한다. 최소자승법을 통해서 일반적인 다항함수로 얻어지기 때문에 계산이 빠르며 쉽게 최적점의 탐색이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 전체 설계영역에서 국소적인 최소점이 나 최대점의 영향을 크게 받지않고 쉽게 전역최소점(global minimum), 전역최대점(global maximum) 및 전체적 경향과악이 가능하다는 장점을 가진다.^{10,11}

반응표면법을 이용하여 이미 도출된 주요 변수들의 최적해를 도출하였다. 아래 Table 3 과 같이 OLB 와 PCB Bonding 은 각각 3 개와 4 개의 주요 설계변수를 가지며 이에 따라 각각 20 회 와 31 회 의 실험을 필요로 하게 된다. 주어진 변수 들에 대한 반응표면의 실험배치는 Table 4, 6 과 같으며 상용통계 소프트웨어인 Minitab(Ver. 14)를 이용하여 도출되었다

Table 3 Required test set and main variables for OLB and PCB Bonding

Tool	Test set	Variable	Remark
OLB	20 set	Hi, Wt, W	Central composite
PCB bonding	31 set	Hi, Mt, Wt, Am	

먼저 OLB 에 대해 도출된 3 개의 주요변수는 각각 Sheet 두께(Hi), 압착공구팁 폭(Wt), 압착 공구폭(W)이다. 이는 곧 압착면 온도 균일도에 가장 큰 영향을 주는 설계변수들이 된다. 위 3 개의 변수는 20 회의 해석모델을 이용한 실험을 통해 곡률 효과가 확인된 회귀식과 회귀 모델을 얻는다.

반응표면법을 통한 OLB 주요인자들의 실험과 결과는 Table 4 와 같고 식 (1)과 같은 회귀식을 얻을 수 있다.

$$\Delta T = 16.1 - 1.49Hi + 1.96W + 0.02Am \quad (1)$$

위의 회귀식은 각 주요 변수별로 설계시의 예상 성능을 예측할 수 있도록 해주며 아래 Table 5 와 같이 정리하였다.

Table 4 Result of experiments for OLB using RSM

Std Order	Run Order	Hi	Wt	W	Deviation (°C)
		Sheet Thick(um)	Tip Width (mm)	Total tool width (mm)	
11	1	210	1.2	47	13.64
1	2	120	1.2	42	14.83
20	3	210	1.6	47	16.02
17	4	210	1.6	47	16.02
6	5	300	1.2	52	12.02
12	6	210	2	47	18.07
9	7	120	1.6	47	17.55
16	8	210	1.6	47	16.02
4	9	300	2	42	15.79
5	10	120	1.2	52	15.26
14	11	210	1.6	52	16.02
15	12	210	1.6	47	16.02
7	13	120	2	52	18.62
3	14	120	2	42	18.97
10	15	300	1.6	47	14.74
13	16	210	1.6	42	15.99
18	17	210	1.6	47	16.02
8	18	300	2	52	15.84
2	19	300	1.2	42	11.96
19	20	210	1.6	47	16.02

Table 5 Regressive equations for OLB using RSM

Regression Equation	Temp. Deviation = 16.1-1.49·sheet thickness+1.96·tool tip width+0.02·forward angle		
	Variable	Available range	Remark
Optimized Condition	Am(forward angle)	70° <Am<90°	70°
	Wt(tool tip width)	1.2mm<Wt<2mm	1.2mm
	Hi(sheet thickness)	120um<Hi<300um	300um

PCB 압착은 주요변수의 분리결과 보호지 두께(Hi), 보호지의 열전도도(Mi), 압착공구팁의 폭(Wt), 압착공구의 전면각(Am) 등 4 개의 주요 변수를 가짐을 알 수 있다. 이 4 개의 변수는 RSM 결과 31 회의 실험을 통해 식 (2)와 같이 최적화된

회귀식을 얻고 이를 통해 설계시의 성능예상과 함께 최적 변수값을 도출할 수 있었다.

$$T = 182.352 + 6.27Mi - 7.22Hi + 4.16Wt - 3.13An - 1.1Mi^2 + 1.83Mi^2 - 2.79An^2 + 1.83MiHi \quad (2)$$

실험결과와 회귀식은 아래 Table 6 및 Table 7 과 같이 나타내었다.

Table 6 Result of experiments for PCB Bonding

Std Order	Run Order	Mi	Am	Hi	Wt	Final Temp. (°C)
		Sheet Cond. (W/mk)	Back angle (°)	Sheet Thick. (mm)	Tip Width (mm)	
3	1	0.3	70	300	1.2	168.7
12	2	0.7	90	300	1.2	180.94
24	3	0.5	90	210	1.6	187.58
22	4	0.5	80	210	2	199.06
4	5	0.7	70	300	1.2	187.2
19	6	0.5	80	120	1.6	203.59
16	7	0.7	90	300	2.	190.44
25	8	0.5	80	210	1.6	195
9	9	0.3	90	120	1.2	183.14
1	10	0.3	70	120	1.2	189.47
6	11	0.7	70	120	2	211.59
23	12	0.5	70	210	1.6	195.33
8	13	0.7	70	300	2	198.97
5	14	0.3	70	120	2	201.16
7	15	0.3	70	300	2	179.76
20	16	0.5	80	300	1.6	188.05
17	17	0.3	80	210	1.6	187.87
14	18	0.7	90	120	2	201.82
21	19	0.5	80	210	1.2	188.38
13	20	0.3	90	120	2	192.61
2	21	0.7	70	120	1.2	199.83
26	22	0.5	80	210	1.6	184.87
27	23	0.5	80	210	1.6	195.22
15	24	0.3	90	300	2	173.21
10	25	0.7	90	120	1.2	192.53
29	26	0.5	80	210	1.6	184.87
18	27	0.7	80	210	1.6	200.14
28	28	0.5	80	210	1.6	184.87
30	29	0.5	80	210	1.6	184.87
31	30	0.5	80	210	1.6	184.87

Table 7 Regressive equations for PCB Bonding using RSM

Regressive Equation	Temp. = 182.352+6.27·sheet material-7.22·sheet thickness+4.16·tool tip width-3.13·angle tool tip-1.1·(sheet material) ² +1.83·(sheet material) ² -2.79·(angle tool tip) ² +1.83·sheet material·sheet thickness		
	Variable	Available range	Remark
Optimized Condition	An(angle tool tip)	30° <An<42°	42°
	Wt(tool tip width)	1.2mm<Wt<2mm	2mm
	Hi(sheet thickness)	120um<Hi<300um	120um
	Mi(Sheet material)	0.3<Mi<0.7	0.7W/mk

RSM 을 통해 구해진 최적변수를 입력하여 구성 된 모델을 해석을 통해 실험한 결과 OLB 압착공구의 경우 히터를 400℃로 가열 시에 온도 편차가 기존모델의 15.65℃에서 10.34℃로 감소하여 약 33.9%의 개선효과를 얻을 것임을 예측할 수 있다. 그리고 PCB 압착공구의 경우 히터를 400℃로 가열 시에 도달온도가 180.55℃에서 202.94℃로 높아져서 약 13.9%의 열효율이 향상됨을 예측할 수 있다. 이 결과들은 실험을 통해 잘 검증된 경계조건들을 동일하게 이용 하였으므로 실제 모델의 결과예측에 충분한 정확도를 가질 것으로 예상된다. 그리고 실험을 통해 얻어진 결과들은 자체로 하나의 DB(database)가 되어 이를 이용하여 변수들의 설계 변경 시 나타나는 결과값을 예측할 수 있음으로써 최적값 이외의 다른 결과 들도 설계 시에 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 실험을 통하여 정밀하게 구축된 해석모델을 이용하여 통계적 방법을 이용하여 최적설계안을 도출하는 프로세스를 제시하였다.

다변수가 존재하는 LCD 압착공구의 설계에 있어 부분요인실험을 이용하여 간소화된 횟수의 실험을 통해 빠르게 주요 설계변수들을 추출해 낼 수 있었다. 그리고 이 결과를 이용한 상관분석으로 최적해의 도출방향을 합리적으로 결정할 수 있었다.

최적해의 도출에는 민감도를 이용하지 않는 반응 표면법을 이용하여 최적해를 위한 변수의 결정과 최적모델의 회귀식을 도출할 수 있었다. 그리고 이렇게 결정된 변수들로 구성된 모델을 해석한 결과 뚜렷한 성능의 개선을 확인하였다.

본 연구의 결과는 실제 압착공구의 설계 및 제작에 유용하게 적용될 수 있으며 그 유효성과 정확도를 실제로 검증할 필요가 있다. 또한 구축된 모델과 해석을 통해 축적된 결과값은 압착공구 설계최적화와 개선된 성능을 가지는 다양한 압착공구의 설계와 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

- 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.
- 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.
- Huh, J. S., Jung, B. C., Lee, T. Y. and Kwak, B. M., "A Study on the Robust Optimal Supporting Positions of TFT-LCD Glass Panel," Trans. of the KSME(A), Vol. 30, No. 8, pp. 1001-1007, 2006.
- Jang, K. W. and Park, K. W., "Effect of Heating Rate During ACFs Curing Process on Material Property and Thermal Cycling Reliability of Flip Chip Assembly," The 57th Electronic Components and Technology Conference, pp. 1725-1730, 2007.
- Yim, M. J., "A Study on the Electrical Conduction Mechanism of Anisotropically Conductive Film for LCD Packing Application," Proc ASME International and Intersociety Electronic/Photonic Packing Conf., pp. 65-72, 1997.
- Suh, N. P., "Axiomatic Design," pp. 31-45, 2002.
- Hwang, I. K., Kim, D. M., Park, J. S. and Chae, S. W., "A study on the Improvement of High Temperature Bonding Performance of LCD Panel Bonding Equipment," Proceedings of KSME Autumn Conference, pp. 441-442, 2007.
- ABAQUS™, "ABAQUS Standard User's manual Version 6.3," 2005.
- Minitab™, "MiniTAB V14," 2005.
- Na, S. L., "Design Optimization of Auto-Body Members for Crashworthiness Enhancement with the Response Surface Method," Master's Thesis, Mechanical Engineering, KAIST, 2003.
- Hong, K. J., Jeon, K. K., Cho, Y. S., Choi, D. H. and Lee, S. J., "A Study on the Construction of Response Surfaces for Design," Trans. of the KSME(A), Vol. 24, No. 6, pp. 1408-1418, 2000.