

액정 디스플레이(LCD)의 선 결함 발생 저감을 위한 TCP 형상 최적화

박상후*, 이부윤**, 김원진**

The Shape Optimization of TCP to Reduce the Line Defects of LCD Module

Sang-Hu Park*, Boo-Youn Lee** and Won-Jin Kim**

ABSTRACT

The tape carrier package(TCP) is one of the most important components in a liquid crystal display(LCD) module. It has a role to transmit electrical signals from a printed circular board(PCB) to a display panel. If TCP is damaged under mechanical shock, the signals can not be transmitted to the panel and as a result, some dead lines are generated on the panel. This kind of phenomenon is commonly called as 'line defects'. In this paper, new structural design concepts of TCP are proposed to guarantee its reliability by using Taguchi's approach and dynamic FE-analysis. The line defects problem of TCP module is solved by replacing the original TCP with the newly designed one.

Key Words : TCP(tape carrier package), Line Defects(선 결함), LCD(액정디스플레이), FEM(유한요소법), Sensitivity Analysis(민감도 해석)

1. 서론

LCD(liquid crystal display)는 음극선관(Cathode-ray Tube)에 비하여 두께가 얇고 가볍기 때문에 최근에 그 수요가 급증하고 있다. 특히 그 사용용도가 노트북, 카메라 등의 휴대용품에서부터 계측장비 등의 산업용품까지 다양해지고 사용환경도 사무실에서 실험실, 생산현장 등으로 그 범위가 넓어져서 외부의 충격 등에 쉽게 노출됨에 따라, LCD 모듈의 파손과 결함 발생에 대한 신뢰성 평가의 중요성이 더욱 증대되고 있다^[1].

Fig.1 은 LCD 모듈의 구조를 나타낸 것으로 ①은 탑 케이스(top case), ②는 판넬유리(panel glass), ③은 도광판(light guider), ④는 TCP(tape

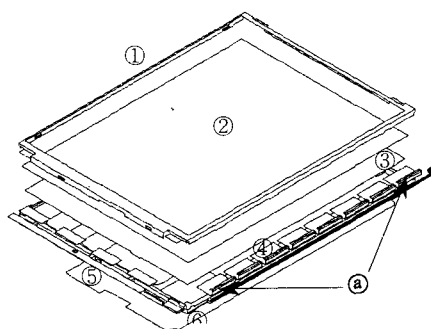


Fig. 1 Schematic view of LCD module

* LG 생산기술원 Design Engineering Center
** 계명대학교 자동차공학부

carrier package), ⑤는 회로기판(PCB) 그리고 ⑥은 지지구조물(main supporter)을 나타낸 것이다.

충격에 의하여 자주 발생하는 LCD 모듈의 결함으로는 판넬유리 파손, 도광판 파손, 램프(lamp) 파손 그리고 TCP의 파손으로 인한 선 결함(line defects) 발생 등이 있다. 본 연구에서는 이러한 결함 중에서 선 결함(line defects)에 대하여 연구하였다. 선 결함의 주된 원인은 TCP 내부의 미세한 구리선(copper line)의 파손 또는 판넬유리와 부착되는 부분이 떨어져서, 전기적인 신호가 회로기판에서 디스플레이 판넬부로 전달이 되지 못하여 화면에 원하지 않는 선(line) 형태의 결함들이 나타나는 것이다. 또 다른 원인으로서는 생산공정에서 취급 부주의에 의하여 TCP가 손상을 받게 되어 결함이 발생하는 경우도 있다. Fig.2에는 선 결함의 한 예를 나타내었는데, 선 결함은 다른 주요 결함과 달리 충격뿐만 아니라 진동 시험에서도 유사한 원인으로 자주 발생한다^[2].

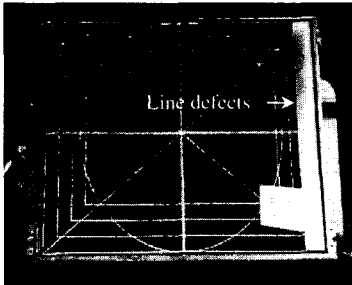


Fig. 2 An example of line defects in LCD module

본 연구에서는 해석적 방법을 통하여 선 결함의 원인을 분석하고, 또한 다꾸찌 기법(Taguchi method)^[3]을 이용하여 TCP의 기구 설계인자에 대한 민감도 분석(sensitivity analysis)을 하였으며, 내충격성을 향상시키도록 주요 설계인자에 대한 설계개념(design concepts)을 설정하였다. 그리고 개발 모델에 적용하여 그 신뢰성을 검증하였다.

2. 현상분석

2.1 TCP의 형상 및 구조

TCP의 구조는 구동용 집적(IC)패키지 형태이며, 판넬유리와 회로기판을 연결시켜서 영상신호를 전달하는 역할을 수행한다. 본 연구에 사용된 LCD 모듈의 TCP 형상은 Fig.3과 같다. Fig.3에서

①과 ③은 각각 회로기판과 판넬유리에 부착되는 부분이고, ②는 구동용 IC(driver IC)이다. 또한, ④부분은 굽힘형상이 쉽게 될 수 있도록 바탕필름(base film)을 굽힘반경만큼 잘라내어 강성(strength)을 약하게 만든 부분이다.

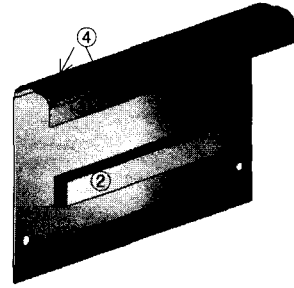


Fig. 3 Schematic view of TCP

바탕필름은 TCP의 전체 형상을 유지해주는 역할을 가지기 때문에 Fig.3의 ④부분은 다른 부분에 비하여 취급상 주의해야 할 취약부이며, 실제 충격 또는 진동 시험에서도 구리선 파손이 자주 발생하는 곳이다^[2].

TCP 제조공정은 얇은 바탕필름에 접착제(adhesive)를 바르고 그 위에 구리선을 부착한 뒤에 구리선의 보호를 위해서 에폭시 계열의 강성재(solder resist)를 도포하게 된다. TCP의 일반적인 구성 재료를 Table.1에 나타내었다.

Table 1 The materials of TCP components

Components	Material(or Brand)	Thickness(μm)
Base film	(Kapton V)	75
Copper	(SLP)	18
Adhesive	(Toray #5700)	20
Solder Resist	epoxy	20

2.2 충격에 의한 TCP 파손분석

충격시험에서 발생하는 선결함의 원인과 TCP의 취약부를 분석하기 위하여 Pam-Crash^[4]를 이용한 충격해석을 실시하였다. LCD 모듈의 경우, 다른 제품과 달리 부품간의 접촉이 많이 존재하고, 리브(rib) 등의 미소 구조물이 전체 변형거동에 많은 영향을 주기 때문에 Fig.1에 나타낸 주요부품의 형상을 모두 고려하였다. Fig.4는 결함

된 해석 모델의 유한요소 형태를 나타내었다.

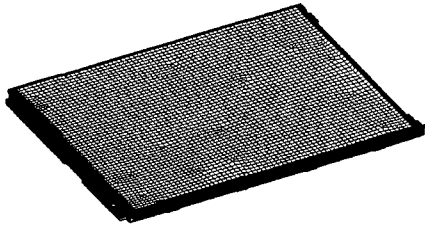


Fig. 4 Finite element model of LCD module

해석조건은 실제 실험조건과 동일하게 하였으며, 입력 충격량은 제품의 충격시험 규격에 따라 100G, 6ms의 가속도를 갖는 사다리꼴 파형(trapezoidal curve)을 사용하였다. 이러한 시험규격은 운송과정과 사용환경을 고려하여 결정하게 된다¹⁵⁻¹⁶.

일반적으로 충격시험은 LCD 모듈의 6면에 대해 모두 실시하지만, 선결함의 경우에는 면방향 낙하에서 주로 발생하기 때문에 해석에서는 면방향에 대한 것만 고려하였다. Fig.5에는 해석에서 고려한 충격방향과 충격시험에 사용된 LCD 모듈을 고정하는 지그(jig)의 형상을 나타내었다. 실험에 있어서 지그는 충격시험기¹⁷에 나사로 고정된다.

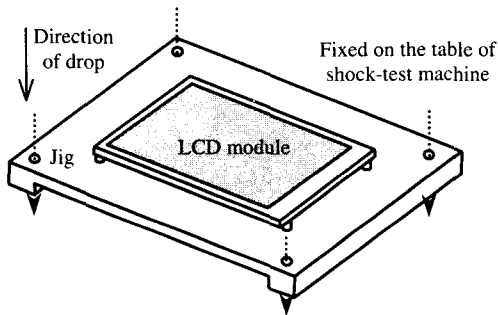


Fig. 5 Schematic shape of jig and direction of drop

해석 결과에서 판넬유리의 가장자리에 부착된 TCP(Fig.1의 ㉠)에서 판넬유리와 접합된 부분 부근이 응력이 집중되어 취약한 곳임을 알 수 있었고, 실제 시험에서도 Fig.2와 같이 대부분의 선결함이 LCD 모듈의 양쪽 가장자리 부근에서 나타났다. 이것은 Fig.3에 나타낸 바와 같이 TCP의 양 끝단은 판넬유리와 회로기판과 접합되어 있는데,

회로기판의 경우 지지구조물(Fig.1의 ㉡)과 양 끝단에서 나사체결로 고정되어 변형에 대한 저항력이 있는 반면에 판넬유리의 경우에는 지지구조물에 올려져서 접촉만 하고 있는 상태므로 면방향 충격시 굽힘 변형을 방지할 수 있는 강한 구속조건이 없고, 외부의 하중에 대하여 어느 정도 자유롭게 변형하게 된다. 따라서 LCD 모듈의 가장자리에 위치한 TCP의 경우에는 이러한 주변의 구속조건에 의해서 판넬유리와 회로기판의 상대변위 차에 의하여 비틀림 변형이 쉽게 발생하게 되어 취약하다. Fig.6은 충격해석에서 구한 가장자리 구속조건 부근에서의 변형형상과 나사체결 위치에 대한 단면 그림을 나타낸 것이다.

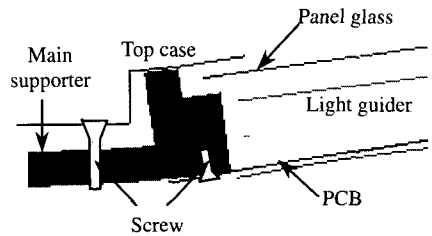


Fig. 6 Sectional shape of deformed LCD module around constraint boundary

그리고 Fig.7은 충격해석에서 구한 가장자리에 있는 TCP의 변형형상을 나타낸 것인데, 판넬유리와 접합한 부근에서 국부적인 변형(Fig.7의 A 부분)이 많이 발생함을 알 수 있다. 실제 실험에서도 이곳에서 변형에 의하여 접합부위가 떨어져서 선 결함이 자주 발생되었다²¹.

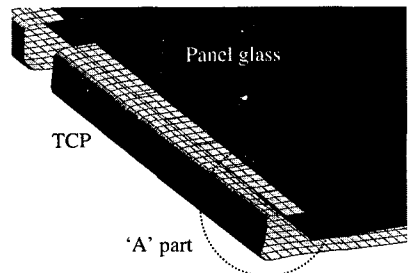


Fig. 7 Deformation shape of TCP from the shock analysis

3. TCP 형상 최적화

3.1 설계인자 선정

TCP의 내충격성 향상 및 파손방지 설계를 위한 형상 최적화 과정에서는 우선적으로 기구설계의 주요 인자에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 설계인자를 효과적으로 분석하기 위하여 다꾸찌 방법을 도입하였다. 그리고 본 방법에서는 L_9 직교배열표(orthogonal array)를 사용하였으며, 3수준(level) 인자 4 개를 설계인자로 선정하였다. Fig.8 에는 선정된 TCP의 설계인자를 나타내었다.

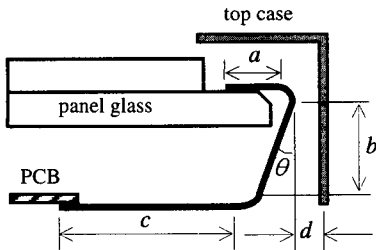


Fig. 8 Structural design parameters of TCP

그리고 Fig.8에서 a 인자의 경우, 길이에 따른 민감도를 분석하기 위하여 직교배열표 이외에 추가로 현재 조건과 길이를 증가시킨 조건(2 수준)으로 검토한 인자이다. TCP는 그 제작 공정이 복잡하고 많은 비용이 들어서 설계변수에 대하여 실험적으로 검토하기가 어렵기 때문에 본 연구에서는 해석적 방법으로 설계인자의 민감도를 분석하였다. 설계인자의 수준 크기는 실제 설계상에서 고려할 수 있는 허용 범위 내에서 결정하였는데, TCP의 경우에는 LCD 모듈 내의 다른 부품과의 관계에 의하여 치수가 결정되므로 허용 치수의 범위가 상당히 좁은 편이다. Table 2 에는 각 인자에 대한 수준과 그 크기를 나타내었다.

Table 2 Design parameters and levels selection

Parameters	Levels		
a	2.55mm	3.55mm	
b	1.62mm	2.62mm	3.5mm
c	15mm	18mm	23mm
d	0.02mm	0.4mm	0.92mm
θ	0°	10°	20°

민감도를 분석하기 위한 평가특성치(output characteristic value)는 선 결합이 잘 발생하는 가장자리에 위치한 TCP의 판넬유리와 접합부(Fig.7의 A부분)에서 변형 에너지 밀도(deformation energy density)를 이용하였다. 즉, 변형 에너지 밀도가 크다는 것은 단위체적당 변형 에너지가 크다는 것을 의미하므로 그 부분이 취약하다고 볼 수 있다. 민감도 해석을 통하여 변형 에너지 밀도를 최소화시키는 설계인자의 값을 선정하였다. 여기서 TCP가 선형 탄성변형을 한다는 가정하에 변형 에너지 밀도를 다음식을 이용하여 구하였다.

$$E_{int} = \frac{1}{2} \sigma_{ij} \cdot \epsilon_{ij} \quad (1)$$

여기서 i, j 는 1~2이다.

3.2 민감도 해석

앞 절에서 기술한 것과 같이 L_9 직교배열과 a 인자에 대한 민감도 해석을 수행하였으며, 변형 에너지 밀도가 최소화되도록 설계인자에 대한 설계 개념을 정립하였다. 각 설계인자에 대한 민감도를 변형 에너지 밀도 변화량(%)으로 비교하여 Fig.9에 나타내었다.

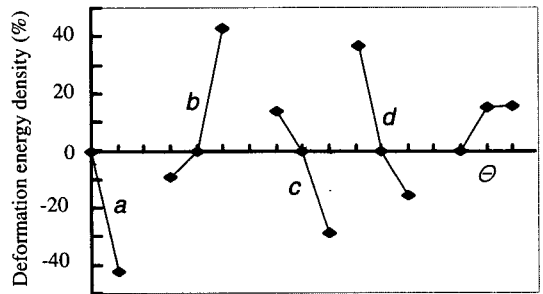


Fig. 9 Deformation energy densities with the variation of parameters' level

검토한 인자 중에서 d 인자는 TCP 자체의 형상설계가 아닌 탑 케이스와 TCP의 간격을 정의한 인자이다. 이것은 LCD 모듈의 충격 변형에 있어서 탑 케이스와 TCP의 접촉에 의한 간섭 정도를 결정하는 인자이며, 간섭에 의한 TCP의 국부변형은 파손에 영향을 주는 민감도가 큰 인자 중의 하나임을 알 수 있었다. 주어진 사다리

꼴 파형(trapezoidal curve) 가속도 충격조건에서 탑 케이스와 TCP가 상호 간섭을 일으키지 않는 간격조건에 대하여 해석적 방법으로 알아 보았으며, 약 0.9 mm 이상일 때 간섭이 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다. 그러나 간격이 너무 큰 경우에는 LCD 모듈 자체의 외형이 과대해지므로 0.9~1.0 mm 가 이상적인 간격이라고 판단된다. Fig.10 은 d 가 0.02mm 와 0.92mm 일 때, TCP 와 탑 케이스 사이의 접촉력(contact force)에 대한 해석결과를 나타낸 것이다.

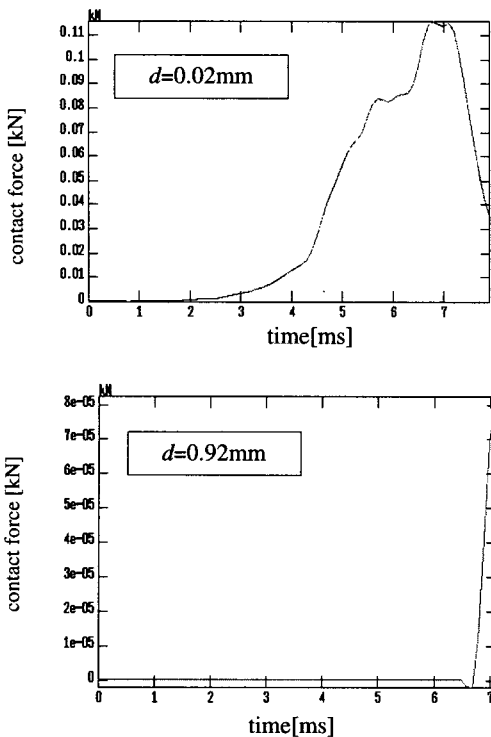


Fig. 10 Contact forces having two different values of design parameter, d

Fig.9의 민감도 해석결과를 통하여 다음과 같은 TCP의 기구설계 개념을 정립하였다. 설계 허용범위 내에서 a 인자는 길이를 길게, b 인자는 길이를 짧게, c 인자는 길이를 길게, d 인자는 간격을 크게 그리고 각도(θ)는 0° 가 되도록 설계를 하는 것이 내충격성에 유리한 조건임을 알 수 있었다.

본 연구에서 검토한 설계인자의 수준에서 TCP 기구설계의 최적안을 선정해 보면, Fig.8에서

$a=3.55\text{mm}$, $b=1.62\text{mm}$, $c=23\text{mm}$, $d=0.92\text{mm}$, $\theta=0^\circ$ 이다. TCP의 최적설계 조건을 검증하기 위하여 개발 모델에 적용한 결과를 요약하면, C사의 내충격 시험규격(100G, 6ms & 200G, 2ms)을 통과하는 좋은 결과를 얻었다. 또한, 기존 모델에서 TCP의 민감도가 큰 b , d 설계인자를 Fig.9에 정의된 설계 개념으로 허용범위 내에서 수정하여 실험한 결과, 내충격성이 기존 모델 대비 15% 정도 향상되었다.

4. 결론

본 연구에서는 LCD 모듈의 신뢰성 문제 중에서 가장 해결하기 어려운 문제 중 하나인 선결합에 대한 원인을 분석하였고, 내충격 향상을 위한 TCP 설계 개념을 정립하였다. 그리고 그리고 본 연구를 통하여 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 선결합은 LCD 모듈의 가장자리에 위치한 TCP에서 주로 발생하며, 주 원인으로 판넬유리와 접합하는 부분의 부근에서 국부적인 변형이 발생하여 TCP 내부의 구리선이 파손되거나 접합부위가 떨어져서 발생한다
- 2) 선결합을 방지하기 위해서는 탑 케이스와 TCP의 간격을 충분히 유지해서 충격에 의한 변형시 간섭이 발생되지 않도록 해야 하며, 최소 0.9mm 이상을 유지해야 한다.
- 3) 내충격성 향상을 위하여 TCP의 형상에 대한 4가지 설계 개념을 다꾸찌 방법을 이용한 민감도 해석으로 구하였다.
- 4) 도출된 TCP 설계 개념을 개발 모델에 적용하여 선결합의 발생 문제를 해결할 수 있었다.

참고문헌

1. 박상후, 이부윤, 엄윤용, “액정 디스플레이(LCD)의 판넬유리 파손 평가에 관한 연구,” 정밀공학회지, Vol. 17, No. 12, 2000.
2. 연구보고서 : “LCD 내진동 내충격 설계에 관한 연구,” LG 전자, 1998.
3. G. Taguchi, S. Konishi, Y. Wu, “Taguchi Methods,” Quality Engineering Series Vol. 1,

Japanese standards association, 1992.

4. Pam-Crash Users Manual, ESI, 1999.
5. 소형 전기 기기의 충격시험 방법, 한국공업규격(KS C 0905).
6. 환경 시험 방법(전기,전자) 충격시험 방법, 한국공업규격(KS C 0241).
7. LANSMONT shock test system (model 65/81),
<http://www.lansmont.com/Products/ShockIt/Default.htm>