

LCD Module내 COF Bending에 따른 Lead Broken Failure의 개선

Improvement of COF Bending-induced Lead Broken Failure in LCD Module

심범주^{1,a}, 최 열¹, 이준신²
(Boum-Joo Shim^{1,a}, Yeol Choi¹, and Jun-Sin Yi²)

Abstract

TCP(Tape Carrier Package), COG(Chip On Glass), COF(Chip On Film) are three methods for connecting LDI(LCD Driver IC) with LCD panels. Especially COF is growing its portion of market place because of low cost and fine pitch correspondence. But COF has a problem of the lead broken failure in LCD module process and the usage of customer. During PCB(Printed Circuit Board) bonding process, the mismatch of the coefficient of thermal expansion between PCB and D-IC makes stress-concentration in COF lead, and also D-IC bending process during module assembly process makes the level of stress in COF lead higher. As an affecting factors of lead-broken failure, the effects of SR(Solder Resister) coating on the COF lead, surface roughness and grain size of COF lead, PI(Polyimide) film thickness, lead width and the ACF(Anisotropic Conductive Film) overlap were studied. The optimization of these affecting manufacturing processes and materials were suggested and verified to prevent the lead-broken failure.

Key Words : OLB, PCB, Bonding, COF, Lead broken

1. 서 론

LCD 분야에서는 제한된 panel 영역 내에 좀 더 많은 수의 pixel을 담을 필요성이 증가되고 있다. 이에 따라 LDI(LCD Driver IC) 한 개에 해당하는 input/output lead 수는 점점 더 많아지고 동시에 lead pitch는 더 미세해 지고 있다. 일반적으로 현재 LDI 제품에 사용되고 있는 packaging 방법은 TCP, COG, COF의 3종류가 있다. TCP(Tape Carrier Package)는 1980년대에 개발되어서 40 μ m pitch까지의 고 해상도 제품에 사용되었다. 하지만, 40 μ m 이하의 더 미세한 pitch의 제품이 개발되고 LCD module이 경박단소화 되면서 다른 packaging 방법보다 대응성이 떨어지는 TCP는 그 사용량이

줄어들고 있다. COG(Chip On Glass)는 low-cost 및 fine pitch 대응이 가능한 packaging 방법으로, 현재 중/소형 display 제품에 사용되고 있다. 하지만, chip의 엄격한 bump coplanarity 조건과 누적 공차 제어의 어려움 그리고 reparability가 떨어지는 것 등의 단점이 COG가 대면적의 LCD 제품에 적용되는 것을 어렵게 하고 있다. 한편 TCP의 단점을 극복하고자 1990년대에 개발된 COF(Chip On Film)는 low-cost 및 fine-pitch 대응성이 좋기 때문에 기존의 TCP를 대체하면서 그 사용 점유율을 높이고 있다. 하지만, 사용량이 늘어남에 따라 제조 공정 및 제품 사용 중에 있어서 COF lead broken failure가 문제되기 시작하였다. 이에 본 논문은 COF lead broken failure의 발생 mechanism을 규명하고 그에 대한 방지 대책을 세우는데 목적을 두고자 한다[1-4].

우선 lead broken failure 발생을 설명하기 위해 LCD 제조 공정을 개략적으로 기술하면 다음과 같다. LCD 공정 내에서 TFT(Thin Film Transistor)와 액정(Liquid crystal) 공정 후 panel을 원하는

1. 삼성전자(주) LCD 총괄
(충남 천안시 성성동 510)
2. 성균관대학교 정보통신공학부
a. Corresponding Author : boumjoo.shim@samsung.com
접수일자 : 2008. 1. 4
1차 심사 : 2008. 2. 4
심사완료 : 2008. 2. 23

크기로 절단하는 scribe 공정을 진행한다. 이후 panel의 data/gate pad edge부의 잔류 pad 제거 및 후속 공정에서의 glass 깨짐을 방지하기 위해 TFT glass 상/하부 모서리를 연마하는데 이것을 edge grinding 이라고 한다. 이때 panel이 수평면에서 연마된 각도를 edge grinding 각도라고 한다.

Scribe 공정 이후에 panel의 data/gate pad에 COF IC의 output lead를 접속하는 OLB(Outer Lead Bonding) 및 COF IC의 input lead와 PCB의 lead를 접속하는 PCB(Printed Circuit Board) bonding 공정을 진행한 다음 panel을 BLU(Back Light Unit)와 조립하는 공정을 진행하게 된다[5].

열 압착 방식의 PCB bonding 시 공정 온도의 상승/하강에 따라 COF와 PCB가 팽창 후 수축하게 되는데, 이 두 재료간의 길이/형상 차이 및 CTE(Coefficient of Thermal Expansion) 차이에 따라 변형량의 차이가 발생한다. 이에 따라 panel의 중앙에서 양끝으로 갈수록 COF의 뒤틀림(distortion)이 심화 되며, 이에 따라 COF의 양쪽 끝에서 응력이 최대로 집중된다. 이후 BLU 조립 공정에서 접합된 PCB를 panel의 배면으로 접어 넣기는 과정에서 COF에 굽힘 응력이 가해지게 된다. 이에 따라 COF에 응력 집중이 심화 되며, 이것은 특히 panel의 양 left/right side에서 PCB와 COF간에 변형량 차이로 인해 distortion되어 있던 COF에 응력 집중 현상을 심화 시킨다.

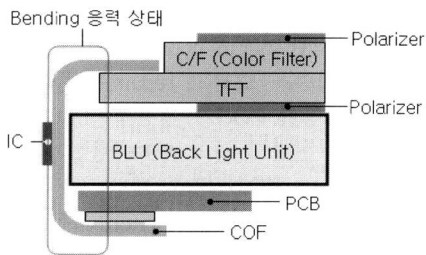


그림 1. PCB bending 후의 측면도(Panel+BLU).
Fig. 1. Side view after PCB bending(Panel+BLU).

BLU 조립 후속 공정 진행 및 사용 조건에 따라 반복적으로 발생하는 외부인자(진동/충격)에 의해 lead 내에 피로(fatigue)가 발생하게 되고 이로 인해 COF IC 내 응력이 집중된 부분에 lead broken failure의 발생 가능성이 증가하게 된다[6,7].

COF IC는 data를 처리하는 IC chip, base film으로 사용되는 polyimide, lead 재질로 사용되는 Sn plated copper 및 전기적인 short을 방지하기 위해 Sn plated copper 층 위에 도포되는 SR(Solder Resistor)로 구성되어 있다.

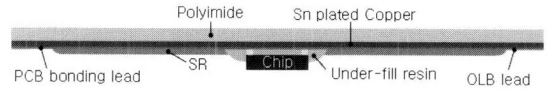


그림 2. COF IC 단면.
Fig. 2. Cross section of COF IC.

그림 3에서처럼 panel에 bonding된 하나의 COF 단품 내에서 lead broken이 발생하는 영역은 주로 panel edge grinding과 IC SR 사이에 위치하는 SR open부 lead이다.

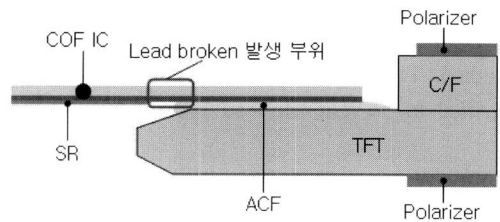


그림 3. COF lead broken failure 발생 위치(측면도).
Fig. 3. Position of COF lead broken failure (side view).

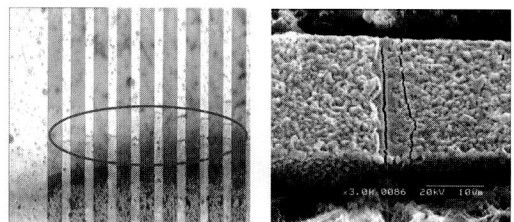


그림 4. COF lead broken failure의 사진.
Fig. 4. Pictures of COF lead broken failure.

그림 4와 같은 COF lead broken failure는 lead에 가해지는 굽힘 응력에 의한 파손이 주원인이다. 굽힘 응력을 정량적으로 묘사하기 위하여 COF의 lead 한 개를 두께가 얇은 beam이라고 간주하고

균일한 moment를 받는 순수 휨 상태에 있다고 가정 할 경우, beam bending equation 적용하면 PCB가 bending 될 때 COF lead 단면에 가해지는 응력은 아래와 같이 표현된다.

$$\sigma = \frac{My}{I_x} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{6M}{wt^2} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{6PL}{wt^2} \quad (3)$$

σ : Bending stress

M: Moment at the neutral axis

y : Perpendicular distance to the neutral axis

I_x : Area moment of inertia about neutral axis x

w : Width of the section being analyzed

t : Thickness of the section being analyzed

P : Bending force

L : Length of COF IC

식(3)으로부터 굽힘 하중 P와 IC의 길이 L이 일정하다고 가정할 때, bending 상태의 COF의 응력에 영향을 주는 인자는 COF의 lead 폭에 해당하는 w와 두께에 해당하는 t가 있다. COF에 가해지는 응력을 줄이려면 t를 증가 시키거나, w를 증가 시키면 된다. 또한 구조적으로 동일한 굽힘 응력이 가해질 경우 crack 발생 임계 응력이 높은 재료일수록 lead broken failure가 발생할 가능성이 낮아지게 된다.

그러나 IC lead 폭이나 lead 두께 등은 IC pitch 및 OLB 공정과 직접적으로 관련된 인자들로서 쉽게 제어하기 어려운 요소들이다. 따라서 상기 관점에서 COF lead broken에 영향을 줌과 동시에 개선을 위한 조건 변경이 가능한 요소들을 감안하면 (a) OLB 부분에서의 COF SR과 ACF overlap 여부 (b) Edge grinding 각도 변화 (c) COF IC 내 lead 부분의 SR 유무 (d) COF IC lead 재질 (e) COF의 PI 두께 (f) COF lead 폭 등이 도출된다. 본 연구에서는 상기 항목들의 lead broken에 대한 영향 여부 및 해당 불량 방지를 위한 최적 조건의 도출을 목적으로 실험적인 검증을 실시하였다.

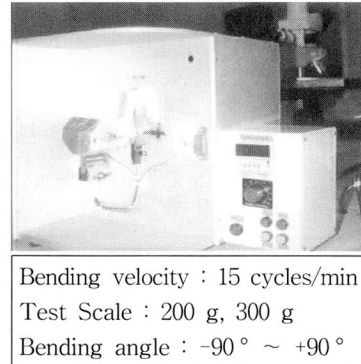


그림 5. MIT bending tester.

Fig. 5. MIT bending tester.

2. 실험

2.1 실험장치

반복적인 bending에 따른 COF lead의 broken 현상 발생 여부를 확인하기 위해 본 실험에서는 그림 5의 MIT bending tester를 사용하여 COF에 하중을 가한 상태에서 반복적인 bending을 실시하면서 lead broken이 발생하는 시점까지의 굽힘 횟수를 측정하였다.

2.2 실험 방법

(a) SR~ACF overlap에 따른 bending 평가

OLB final bonding 시 ACF가 panel 바깥쪽으로 flow되면서 경화되는데, flow되는 ACF와 COF IC 아래 면에 도포되어 있는 SR의 overlap 여부에 따라 IC lead 두께가 변화되며 이에 따라 식(3)의 분모항의 두께 t에 영향을 주어 lead에 가해지는 굽힘 응력에 영향을 줄 수 있다. 이에 따라 OLB 부분의 SR과 flow된 ACF의 overlap 유무에 따라 split된 시료를 가지고 진동 신뢰성 평가 및 bending test를 실시하여 lead broken 발생 여부 및 broken이 발생할 때까지의 반복 굽힘 횟수를 측정하여 해당 인자의 lead broken failure에 대한 발생 영향 여부를 평가 하였다.

(b) Edge grinding에 따른 ACF flow 정도 평가

Edge grinding의 각도에 따라 ACF flow양(X축: lead 길이 방향 flow거리)이 달라질 가능성이 있으며, 이에 따라 ACF~SR간 overlap이 IC lead 두께에 영향을 주어 lead broken 양상이 달라질 수 있다. 이와 관련해서 COF bonding 후 panel과 COF

의 관계를 2차원 측면도로 단순화 시켜 edge grinding 각도 별 ACF flow량을 계산하여 그 영향성을 파악하였다.

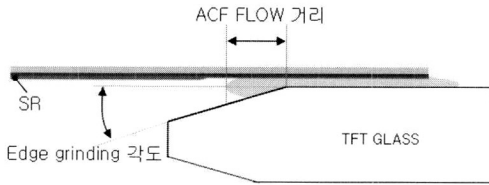


그림 6.- Edge grinding 각도 및 ACF FLOW 거리.
Fig. 6. Degree of edge grinding and length of ACF flow.

(c) COF lead부 SR 유무에 따른 bending 평가
IC lead pattern위를 SR이 덮고 있는 경우, Cu lead pattern위에 SR이 적층되는 것이므로 굽힘 응력 집중부의 두께 및 재질 차이가 존재하여 굽힘 응력의 차이가 발생하게 된다. 이와 관련해서 COF IC lead 부분에 SR이 도포된 시료와 미 도포된 시료의 반복된 bending test로 lead broken 발생까지의 횟수를 측정하였다.

(d) Cu의 표면 상태에 따른 bending 평가
COF lead 재질에 따라 표면 조도(surface roughness), grain size 등의 재료 특성이 달라지고 이에 따라 lead 내 crack 발생 및 전파 양상이 변화하게 된다. 따라서 Cu lead의 표면 조도 및 grain size를 달리한 COF IC에 대해 bending test를 진행하였고, lead broken이 발생할 때까지의 반복 횟수를 측정, 비교하였다.

(e) COF PI film 두께에 따른 bending 평가
PI film 두께에 따른 lead broken 발생 정도 차이를 확인하기 위하여 PI film의 두께를 변화 시키며 그에 따른 bending test를 실시하여 PI film의 두께와 lead broken의 상관관계를 평가하였다.

(f) COF Cu lead 폭에 따른 bending 평가
COF lead 형상의 변화에 따라 식(3)에서 분모에 t 혹은 w항에 영향을 주어 lead에 가해지는 응력의 차이가 발생할 수 있다. 이와 관련해 IC lead의 폭의 변화에 따라 lead에 가해지는 수직 응력 및 전단 응력을 유한 요소 해석법(Finite Element Method)을 통해 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

OLB 부분에서의 COF SR과 ACF의 overlap 여부에 따른 진동 신뢰성 결과를 표 1에 나타내었다. SR~ACF 간의 overlap이 안된 시료는 진동 신뢰성 결과 (신뢰성 조건 : 5~500 Hz, 2.41 G, Random, 30 min/±XYZ (6축)) 1회 진행 시 모든 시료에서 lead broken이 발생하였으나, SR~ACF 간 overlap된 시료는 진동 신뢰성 2회 시부터 67%(2/3배)의 시료에서 lead broken이 발생 되었다.

표 1. ACF와 SR overlap 여부에 따른 진동 신뢰성 평가 결과.

Table 1. Results of vibration reliability test.

구분	진동 신뢰성 결과		
	1회	2회	3회
Overlap 안됨	3/3	-	-
Overlap 됨	0/3	2/3	3/3

OLB 부분에서의 COF SR과 ACF overlap 수준에 따른 bending test 결과를 표 2에 나타내었다. SR과 ACF의 overlap 수준(1.05 mm Vs. 1.35 mm)에 따라 MIT bending 평가 결과 58 %의 유의차를 보이고, overlap의 유무(overlap 안됨 Vs. 1.35 mm overlap)에 따른 MIT bending 평가 결과 93 %의 유의차를 보인다. 따라서 overlap 수준 보다는 overlap 여부가 lead broken에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

표 2. ACF와 SR overlap 정도에 따른 MIT bending 평가 결과.

Table 2. Degree of ACF~SR overlap Vs. MIT bending test results.

구분	Bending 평가 결과	상대 비교
overlap 안됨	55 회	100 %
1.05 mm overlap	138 회	251 %
1.35 mm overlap	106 회	193 %

표 1 및 2의 결과로 볼 때 SR 미 도포 부분인 OLB lead를 압착 시 flow된 ACF가 lead를 덮어서 보강해 줌으로써 bending 혹은 진동 시 lead broken 발생 가능 부위의 두께를 증가시켜 해당 부위의 응력을 완화시켜 주는 효과가 있는 것으로 판단된다.

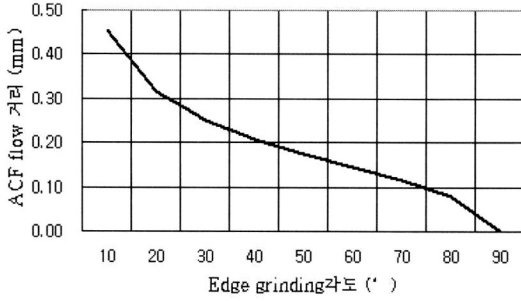


그림 7. Edge grinding 각도에 따른 ACF flow.
Fig. 7. Edge grinding degree Vs. ACF flow.

Edge grinding 각도에 따른 ACF flow 거리 계산 결과를 그림 7에 나타내었다. Edge grinding 각도가 작을수록 ACF flow 거리가 증가되어 SR~ACF 간 overlap margin을 확대시킬 수 있다. 하지만 실제로는 scribe 및 module 공정 진행상의 제한으로 일정 각도 이하로 edge grinding 각도를 낮추는 것은 어렵다. 결론적으로 주어진 조건에서 edge grinding 각도를 최소로 하는 것이 OLB lead 부에서 X축 ACF flow 거리를 증가 시키며, 이에 따른 SR~ACF 간 overlap margin을 확대 시키는 것을 알 수 있다. 이를 통해 IC의 OLB lead의 SR open부의 두께를 증가 시키며 lead broken failure 발생 확률을 낮출 수 있다.

COF lead 부분의 SR 유무에 따른 bending 평가 결과를 표 3에 나타내었다. 200 g 하중으로 bending 시 SR이 도포된 부분에서는 50회에서 lead broken이 발생한 반면, SR이 미 도포된 부분에서는 40회에서 lead broken이 발생 하였다. 그리고 300 g의 하중으로 bending 시 SR이 도포된 부분에서는 40회에서 lead broken이 발생하기 시작하였고, SR이 미 도포 된 부분에서는 30회에서 lead broken이 발생 하였다. 200 g과 300 g의 하중으로 bending test 결과 두 경우 모두 SR 도포부가 더 많은 bending 횟수에 견디는 것을 확인할 수 있다.

SR이 COF lead를 덮고 있을 때 bending에 따른 broken 발생 가능성이 낮아짐을 확인하였다. 그러나 IC lead와 panel pad 간의 bonding을 위해 일정 길이 이상의 SR이 도포되지 않은 OLB lead부가 필요하다. 결론적으로 SR open 부의 일정 길이를 유지한 상태에서 SR 도포 공차를 최소화하고 IC 부착 공차를 최소화하여 OLB final bonding 완료 후에 SR 도포부를 panel edge에 최대한 근접시켜 SR~ACF overlap 확률을 높여야 lead broken failure의 발생 확률을 낮출 수 있게 된다.

표 3. Lead 부 SR 유무에 따른 MIT bending test 결과.

Table 3. MIT bending test results between lead with SR and bare lead.

Bending 횟수	SR 도포된 lead		SR 미 도포된 lead	
	Loading scale		Loading scale	
	200 g	300 g	200 g	300 g
10회	0/3	0/3	0/3	0/3
20회	0/3	0/3	0/3	0/3
30회	0/3	0/3	0/3	3/3
40회	0/3	3/3	3/3	3/3
50회	2/3	3/3	3/3	-
60회	3/3	-	-	-

Cu lead 표면 조도에 따른 bending 평가 결과를 그림 8에 나타내었다. 표면의 조도가 낮을수록 bending 시 lead broken되는 bending 횟수가 증가하는 경향을 보인다. 이는 표면 조도가 낮을수록 응력 집중 시 crack 발생 시점이 될 수 있는 미세 결함(flaw)의 수가 줄어들기 때문으로 생각할 수 있다[8].

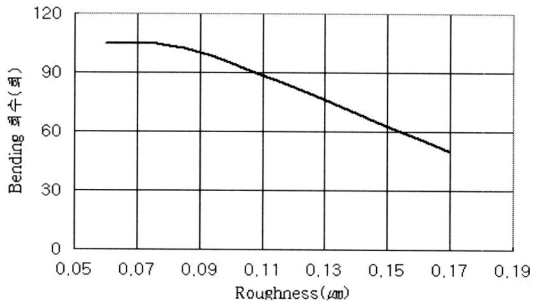


그림 8. 표면 조도에 따른 MIT bending test 결과.
Fig. 8. Surface roughness Vs. MIT bending test results.

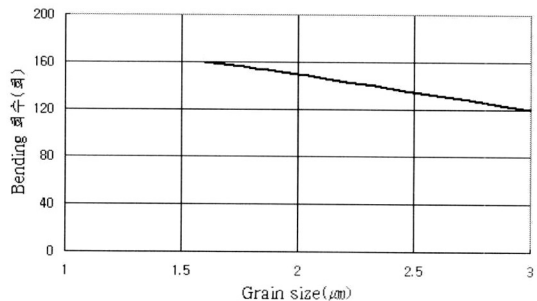


그림 9. Grain size에 따른 MIT bending test 결과.
Fig. 9. Grain size Vs. MIT bending test results.

그림 9에서 보는 바와 같이 Cu grain size에 따른 bending 평가 결과 표면의 grain size가 작을수록 bending test시 lead broken되는 bending 횟수가 증가하는 경향을 보인다. 이것은 grain 내에서 발생한 crack의 진과 시 grain boundary에서 그 진행이 방해받는데 grain size가 작을수록 crack이 경계 면을 만날 확률이 높아지고 그에 따른 crack의 진행이 방해받을 확률도 높아지기 때문이다[9-11].

표 4. PI film 두께에 따른 MIT bending test 결과.

Table 4. PI film thickness Vs. MIT bending test results.

Bending 횟수(회)	PI 38 μm		PI 25 μm	
	200 g	300 g	200 g	300 g
60	0/2	0/2	0/2	0/2
70	0/2	0/2	0/2	0/2
80	0/3	0/3	0/2	0/5
90	0/3	3/3	0/5	4/10
100	3/3	3/3	2/10	10/10
110	3/3	-	10/10	-
120	3/3	-	-	-

COF PI film 두께에 따른 lead broken 발생 정도 비교 결과 표 4와 같이 PI film 두께 38 μm 와 25 μm 에서 동일하게 200 g/300 g에서 각각 90회/80회 bending 까지 lead broken이 발생하지 않았으나, 100회/90회에서 lead broken이 발생 하였다.

PI 25 μm , 38 μm 일 때 scale 무게 200 g/300 g에서 실제 불량 발생 횟수가 동일하다. 결론적으로 두께 측면에서 lead 부에 도포되는 SR이나, lead 부를 덮은 ACF 보다 PI film의 두께가 lead broken 발생에 영향성이 적은 것으로 판단된다.

표 5. Lead 폭에 따른 응력 변화 분석.

Table 5. Lead width variation (20 μm /30 μm) Vs. Stress.

하중 구분	응력 구분	Lead 폭		변화율 (%)
		20 μm	30 μm	
Bending(-)	σ_z	194.6	158.5	-18.5 %
Bending(+)	σ_z	3261.1	3020.1	-7.4 %
Shear+Bending(-)	σ_z	266.9	411.4	+54.1 %
	τ_{xy}	135.4	183.3	+35.4 %
Shear+Bending(+)	σ_z	3893.0	2055.6	-47.2 %
	τ_{xy}	232.6	131.3	-43.5 %

표 5는 COF Cu 폭에 따라 lead에 가해지는 응력의 변화를 유한 요소 해석법을 통해 계산한 값이다. Lead 폭을 20 μm 에서 30 μm 로 변경 시 Bending(+)에서 발생 σ_z 가 7.4 % 감소하고 Shear + Bending(+)에서 σ_z 가 47.2 %까지 감소한다. 반면에 Shear + Bending(-)에서는 σ_z 가 54.1 %, τ_{xy} 가 35.4 % 증가하는 한다. 하지만 응력의 절대 값이 큰 Bending(+)과 Shear + Bending(+)에서의 응력 감소량이 Shear+Bending(-)에서의 응력 증가량 보다 큰 것을 알 수 있다.

표 6. Lead 폭에 따른 진동/hinge 신뢰성 평가 결과.

Table 6. Results of vibration and hinge reliability test of two samples.

항목	진동		Hinge		
	1회	2회	1회	2회	3회
Lead 폭 미 확장	1/3매	2/3매	0/3매	0/3매	0/3매
Lead 폭 확장	0/4매	0/4매	0/3매	0/3매	0/3매

표 6에서 SR open부 lead 폭이 확장되지 않은 시료는 진동 신뢰성 평가 시 1회/2회에서 모두 lead broken이 발생하였으나 SR open부 lead 폭 확장 COF에서는 진동 및 hinge 신뢰성 평가 모두에서 불량이 발생하지 않았다.

위의 표 5 및 표 6의 결과로 볼 때 lead 폭 확대에 따라 lead에 가해지는 응력이 감소하고 그에 따른 lead broken의 발생 가능성이 감소함을 알 수 있다.

4. 결론

LCD 제조 공정 시 원가 절감 및 fine pitch 대응을 위해 사용되는 COF IC의 lead broken failure 개선을 위해 COF lead 내 응력 집중 및 파손에 영향을 주는 6가지 인자를 도출하였다. 이를 바탕으로 bending test, 진동 신뢰성, hinge 신뢰성 및 유한 요소 해석법을 적용하여 data를 분석한 결과 lead broken failure의 발생을 줄이기 위해서는 panel의 edge grinding 각도를 낮추어 lead 길이 방향의 ACF flow 거리를 확대시키고, SR 도포부를 panel edge에서 최대한 근접시켜 SR과 ACF간의 overlap 확률을 증가시키며, 주어진 조건 내에서 COF Cu 폭의 확대를 통하여 IC의 bending 시

가해지는 응력을 최소화해야 한다는 것을 알 수 있었다. 또한 lead의 표면조도 및 grain size의 감소를 통해 crack 발생 임계하중을 증가시켜야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Turner W. and Lin G., "Flat panel display packaging", Electronic Components and Technology Conference 45th, p. 177, 1995.
- [2] G.-S. Shen, "LCD driver IC assembly technologies & status", 2002 Int'l Symposium on Electronic Materials and Packaging, p. 313, 2002.
- [3] C. S. Jang, "Issue in assembly process of next-generation fine-pitch chip-on-flex packages for LCD applications", IEEE Transaction on advanced packaging, Vol. 30, No. 1, p. 2, 2007.
- [4] Watanabe I. and Fujinawa T., "Recent advance of interconnection technologies using anisotropic conductive films in flat panel display application", 9th Int'l Symposium on Advanced Packaging Materials, p. 11, 2004.
- [5] J. I. Han, "Low temperature process for plastic LCDs", Trans. EEM, Vol. 4, No. 2, p. 12, 2003.
- [6] J. W. Kim, "Material Science for Mechanical Engineer", SciTech media, p. 52, 1997.
- [7] S. Kocanda, "Fatigue Failure of Metals", Sijthoff & Noordhoff International Publisher, p. 1, 1978.
- [8] J. A. Bannantine, "Fundamentals of Metal Fatigue Analysis", Prentice Hall, p. 11, 1990.
- [9] R. M. Brick, "Structure and Properties of Engineering Materials", McGraw-Hill, p. 9, 1977.
- [10] F. Ellyin, "Fatigue Damage Crack Growth and Life Prediction", Chapman & Hall, p. 430, 1997.
- [11] T. L. Annerson, "Fracture Mechanics", Taylor & Francis, p. 238, 2005.