

Navigation Connection용 ACF(Anisotropic Conductive Film)의 수명 예측

유영창[†] · 신승중* · 곽계달**

Lifetime Estimation of an ACF in Navigation

Yeong-Chang Yu, Seung-Jung Shin and Kae-Dal Kwack

Key Words: ACF(이방성 전도 필름), Delamination(박리), Swelling(팽창), Connector(접속기구), Conductive Ball(도전 볼), Adhesion(접착)

Abstract

Recently LCD panels have become very important components for portable electronics. In the high density interconnection material, ACF's are used to connect the outer lead of the tape automated bonding to the transparent indium tin oxide electrodes of the LCD panel. ACF consists of an adhesive polymer matrix and randomly dispersed conductive balls. In this study, we analyzed Failure Mode / Mechanism of ACF which is identified Conductive ball Corrosion, Delamination, Crack and Polymer Expansion / Swelling. In ALT(Accelerated Life Test), we select primary stress factors as temperature and humidity. As time passes by, an increase of connection resistance was observed. In conclusion, we have found that high temperature / humidity affects the adhesion.

1. 서론

최근 점점 증가하는 고밀도 집적 공정으로 인해, 전극 접합에 있어서 기존의 납땀을 대신할 새로운 기술이 요구되고 있다. 전자제품 관련 분야에서 안정적이고 간단한 공정의 접속 방법과 접속재료에 대한 연구가 진행되고 있는데, 전기적 접속에 사용되는 ACF 같은 접합소재가 개발되어 많이 이용되고 있다.

ACF는 1977년 소니사에서 처음으로 개발되어 전자계산기에 사용되었다. 주요 특징으로는 미세한 피치의 패드간의 접합, 단순하고 낮은 공정온도, 적은비용, 거의 없다고 할 수 있는 환경오염 등의 장점이 많아 널리 사용되고 있는 재료이며,

chip과 ITO(indium Tin Oxide) glass의 접속, chip과 FPCB(Flexible Printed Circuits Board)의 접속등에 사용되고 있는 미래 핵심 소재로서 기존의 solder와 connector를 대체하는 제품에 적용된다.

Navigation LCD panel과 PCB 기판의 연결 접합에 쓰이는 ACF를 시험하기로 하였는데, ACF는 주 성분이 고분자합성물질이기 때문에, 다른 전자 부품과는 구동원리, 고장 메커니즘 등이 많이 다르다.

ACF가 LCD 패키징에 주로 사용된지 수십년이 지났지만, 전기적 접속과 신뢰성에 미치는 환경변수의 영향에 대한 연구는 미비한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 ACF의 고장모드 / 메커니즘을 분석하고, 가속열화시험을 수행하여 ACF의 전기적 열화특성 및 B₁₀ 수명시간을 추정하고자 하였다.

† 유영창, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부
E-mail : y2cse@hanmail.net
TEL :011-258-0075

* 한세대학교 IT학부

** 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부
신뢰성분석연구센터(RARC)

2. ACF 의 고장분석

2.1 ACF의 구조 및 특징

ACF는 필름형태로서 열 경화성 에폭시 접착제 성분 안에 도전볼이 포함된 구조인데, 크기는 종류마다 다르지만 보통 두께는 35-50 μm 폭은 2mm 정도이다.

Bump와 Pad간의 본딩은 전극 사이에 ACF를 놓고 고온 고압으로 압착하는 방식으로서, ACF의 본딩과정을 Fig. 1에 나타내었다. 본딩과정은 1차 pre 본딩과 2차 main 본딩으로 나뉘며, (a)처럼 먼저 다이 위에 ACF를 펼쳐놓은 다음에 약 80 $^{\circ}\text{C}$, 3Kgf 정도의 온도와 압력으로 3-5초 정도 짧게 압착한다. 그 후에 separate 필름을 제거한 후, (b)처럼 위에 die bump를 올려 놓고 약 200 $^{\circ}\text{C}$, 5Kgf 정도의 조건으로 15초간 압착하면 (c)처럼 ACF 접합이 완료 된다.

접합이 완료되면, ACF의 가운데에 있는 도전볼들이 전극 사이에서 고온으로 압착되어 눌러서 납작해진다. 그래서 전기신호가 바로 이 도전볼 입자를 지나 양쪽의 전극으로 도통하게 되는 형태이다. 따라서 ACF막의 두께방향(Z축)으로는 도전성, 면방향(X-Y)방향으로는 절연성이라는 전기적 이방성 성질을 갖는다.⁽¹⁾

도전볼의 구조는 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 도전볼의 지름은 5 μm 정도 이며, 가운데에 polymer로 채워져 있고, Ni등으로 둘러싸여 있으며, 마지막으로 Au로 코팅되어 있는 도전입자 형태이다.

2.2 ACF의 고장 모드 / 메커니즘

ACF 구조상 접속 부분의 도전볼이 매우 작은 편이기 때문에 다른 일반 접합보다 당연히 접속 저항이 큰 편이다. 그리고 물질 성분상 polymer나 adhesive 성분이 수분을 흡수하여 expansion / swelling하는 성질을 갖고 있다. 이렇게 되면, bump와 pad간의 접속 면적이 줄어들면서 접속 저항은 증가하고, 결국 제품의 오작동 및 open고장이 발생하게 된다. 주로 습도에 의한 도전볼의 expansion으로 인한 저항 증가가 주요 원인으로 여겨진다. 그 외에 도전볼의 부식, 크랙과 접속면간의 열팽창계수(CTE: Coefficient of Thermal Expansion)의 차이, 박리등에 의하여 고장이 발생한다. 실제로 Navigation이 장착되는 자동차의 실내온도는 한 여름철에는 80 $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 올라가며, 습도도 60% 이상으로 상당히 높다.

상기 언급된 ACF의 고장 모드/메커니즘을 바탕

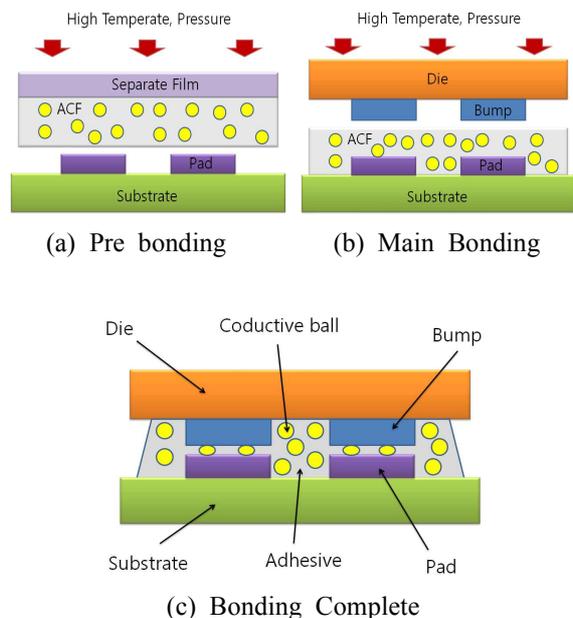


Fig. 1 Bonding Structure of ACF

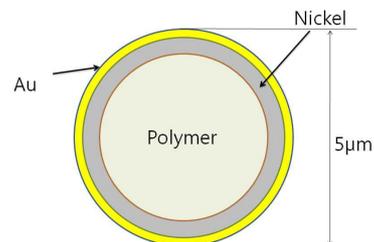


Fig. 2 Diagram of Conductive Ball

으로 정리하여 FTA(Fault Tree Analysis)를 Fig. 3에 정리하였다.

3. 가속 열화 시험

3.1 2단계 품질기능전개(QFD)

ACF의 수명을 평가하기 위한 시험항목을 도출하기 위하여 2단계 품질기능전개(Two-Stage Quality Function Deployment)를 실시하였으며, 이를 Fig. 4에 나타내었다. 그림 (a)에서는 사용 환경 및 조건과 고장 메커니즘과의 관계, (b)에서는 고장모드 및 메커니즘과 시험방법과의 관계에 대하여 분석하였다. QFD 분석결과 고온고습을 가속인자로 하는 시험법이 ACF의 가속열화시험으로 가장 적합하다고 판단되었다.

3.2 시료 선정

ACF가 사용된 제품은 대부분은 완제품 형태이

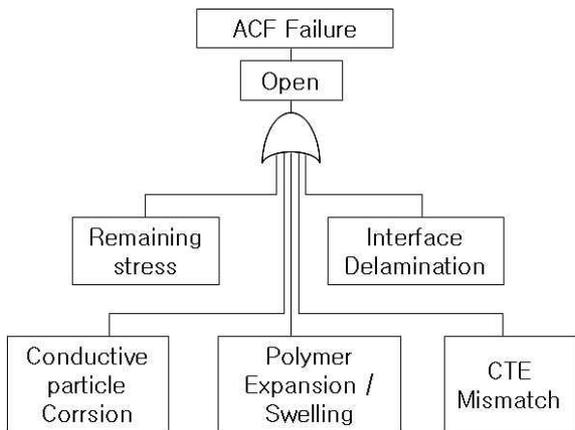
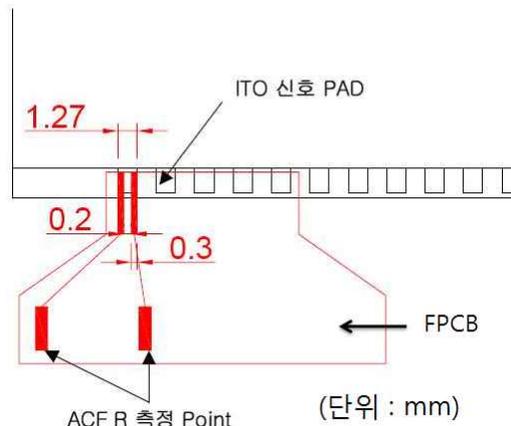


Fig. 3 FTA of Anisotropic Conductive Flim



(a) Structure of ACF Connection

Requirements/Stresses	Mechanisms				
	Conductive particle Corrosion	Remaining stress	CTE Mismatch	Polymer Expansion / Swelling	Delamination
Temperature -30°C to 80°C			△		
Humidity 10% to 90% RH	⊙	⊙	○	⊙	⊙
Peel stress 600g				⊙	○
Score	5	5	4	10	8

(a) Matrix 1 - Mode / Mechanism



(b) Sample of ACF

Fig. 5 Test Sample of ACF

Mechanisms		Test Methods		
		High Temperature	High Temperature / Humidity	Thermal Cycle
Conductive particle Corrosion	5		⊙	○
Remaining stress	5	○	○	⊙
CTE Mismatch	4		⊙	
Polymer Expansion / Swelling	10	△	○	○
Delamination	8	△	⊙	△
Score		33	130	78

(b) Matrix 2 - Test Method

Fig. 4 QFD Result of ACF

며, 다른 IC 나 LCD 회로가 포함되어 있다. 따라서 순수하게 ACF의 접합부분만을 독립적으로 시험하기 위해서, Fig. 5 (a)와 같이 하나의 pad에 FPCB 두 개의 Cu bump 가 ACF 접합되어 있는 형태로 설계하여 제작하였다. 시료는 ITO막이 수백Å 두께로 도포된 glass를 사용하였는데, LCD 용 ITO glass에 ACF를 1차 pre bonding 한 후, 그

위에 FPCB를 2차 main bonding 하였다. 도포된 ITO 막의 특성상 초기 저항이 일반 제품보다 높은 30~40Ω 정도로 측정 되었으며, 제작된 시료를 그림 (b)에 나타내었다.

3.3 측정 방법 및 고장판정기준

Fig. 5 (a)에서 ACF의 저항측정 point로 표시된 두 점의 저항치를 측정하여, ACF의 저항증가로 인한 접속 부위의 open을 확인할 수 있다. FPCB 자체의 저항은 가속수명시험 후에도 변동이 없었다. 따라서 간단히 두 점 사이의 저항접속저항치만 측정하기로 하였다. 측정은 4탐침 단자법 (four-point-probe method)으로 하였다. 고장판정기준은 선행연구결과를(4)(5) 토대로 하여 500Ω을 고장기준으로 판정하였다.

3.4 시험 방법

시험조건의 주된 가속인자는 고온·고습이기 때문에 정상 기압에서는 이 조건을 충족시킬 수 없다. 그래서 본 연구에서는 PCT(Pressure Cooker

Table 1 Electrical Specification

Item	Specification		
	Temperature	Presssure	Times
Pre bonding	145℃	1.5Kgf	2s
Main bonding	220℃	1.2Kgf	17s
Criterion	600gf Tension force		

Table 2 Experimental Environment Condition

Factor	Temperature (℃)	Humidity (%RH)	No. of Samples
Run 1	125℃	100%	20
Run 2	125℃	85%	20
Run 3	105℃	100%	20

Test) chamber에 시료를 넣어놓고, 각 Level당 1000시간씩 시험하였으며, 72시간마다 저항치를 측정하였다.

3.5 시험 결과

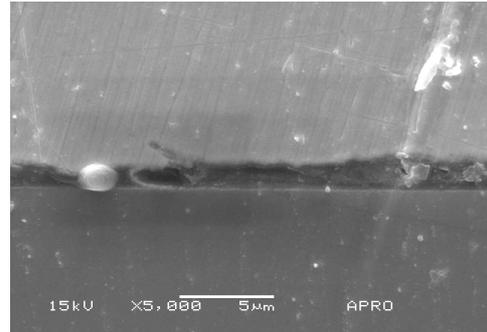
3.5.1 시험의 관측결과

시험이 진행될수록 점점 저항치가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 고온의 환경에서 그 증가의 정도가 더 크다는 것을 관찰할 수 있었다. 가속수명시험 전후의 도전볼을 Fig. 6에 나타내었다. 그림 (a)는 시험전의 도전볼이고, 그림 (b)는 시험후 고장난 시료의 도전볼로서 초기대비 도전볼이 expansion되어 전극 사이가 떨어진 것을 확인할 수 있다. 이는 저항의 증가를 초래한다.

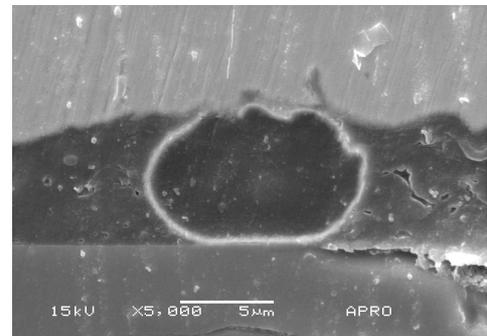
3.5.2 수명분포의 적합성 검토 및 가속성 검토

가속시험을 통해 얻어진 데이터에 적합한 수명분포를 가정하기 위해서 와이블, 지수, 대수정규 분포의 우도함수(likelihood function)값을 비교하여 Table 3에 나타내었다. 3개의 수명분포의 우도함수값 중, 가장 큰 수치를 갖는 와이블 분포가 가장 적합한 수명분포로 나타났다.

가속수명시험에서 관측된 고장시간을 조건에 따라 각각 와이블 확률용지에 타점하여 Fig. 7에 표시하였다. 각 조건의 시험 데이터들이 직선에 가깝게 배치되어 있고, 추정선 또한 서로 평행하게 나타남을 볼 수 있다. 그러므로, 와이블 분포가 적합하며 시험조건들 사이에 가속성이 성립함을 알 수 있다.⁽³⁾



(a) Normal Conductive ball



(b) Failure Conductive ball

Fig. 6 Failure Analysis using SEM

Table 3 Conformance result of life distribution

Distribution	Weibull	Exponential	Lognormal
Likelihood-Function	-349.3348	-371.0313	-351.9928

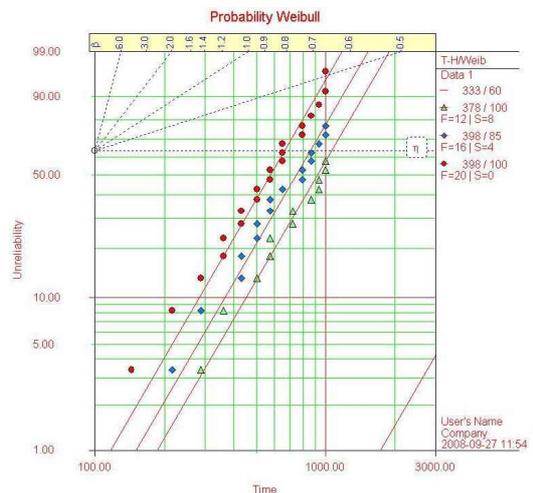


Fig. 7 Weibull probability paper plot

3.5.3 가속수명시험 모델

ACF의 수명과 스트레스의 관계는 온도-습도

모델을 적용하였다. 따라서 ACF의 수명을 특성 수명(η), 온도(T), 습도(%RH) 사이의 관계식으로 아래의 식 (1)과 같이 가정하였다.

$$\eta(T, RH) = A \cdot e^{\left(\frac{\phi}{RH} + \frac{b}{T}\right)} \quad (1)$$

여기서 A, b, ϕ 는 시험방법 및 조건에 따라 결정되는 상수이다.

3.5.4 와이블 형상모수와 수명-스트레스 관계식
 와이블 분포와 식 (1)의 수명-스트레스 관계식을 가정하고, ALTA 소프트웨어를 이용하여 가속 수명시험 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다.

$$\beta = 2.6479, b = 145.4697, A = 0.0229, \phi = 3509.2646$$

따라서 ACF의 온도-습도에 의한 수명-스트레스 관계식, 가속계수식 및 B_{10} 수명식은 각각 식 (2), 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$\eta(T, RH) = 0.0229 \cdot e^{\left(\frac{3509.2646}{RH} + \frac{145.4697}{T}\right)} \quad (2)$$

$$AF(T, RH) = e^{3509.2646\left(\frac{1}{RH_d} - \frac{1}{RH_a}\right)} \cdot e^{145.4697\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)} \quad (3)$$

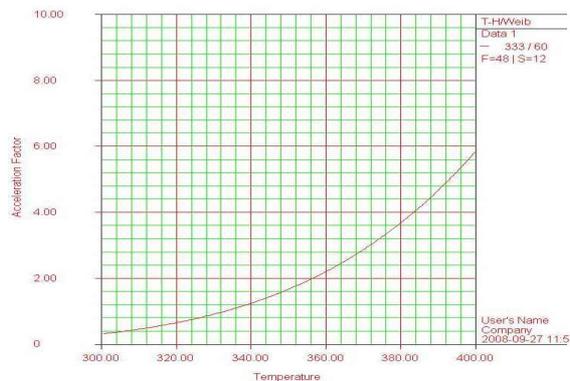
$$B_{10} = \eta \cdot (-\ln(0.9))^{\frac{1}{2.6479}} \quad (4)$$

3.6 시험결과의 해석

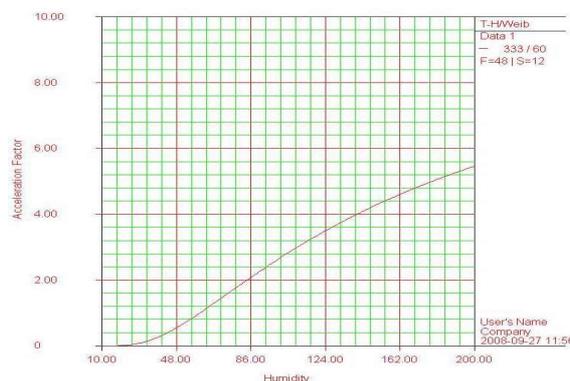
ACF의 가속수명시험 결과로부터 고장모드는 회로 단선임을 확인하였다. 또한 주요 매커니즘은 expansion / swelling 이라는 것도 알 수 있었다.

온도-습도에 대한 가속계수의 영향을 Fig. 8에 나타내었다. 본 시험의 결과로부터 온도에 대한 가속계수가 습도에 대한 가속계수보다 상대적으로 높아 수명에 미치는 영향이 지대한 것으로 판명 되었다. 이는 ACF의 재료 특성상 고온에서 접착 성분이 물러지면서, 또한 대기중의 수분을 더 빠르게 흡수하기 때문이다.

ACF의 온도 및 습도의 변화에 대한 B_{10} 수명의 변화를 Fig. 9에 나타내었다 일반적인 환경에서

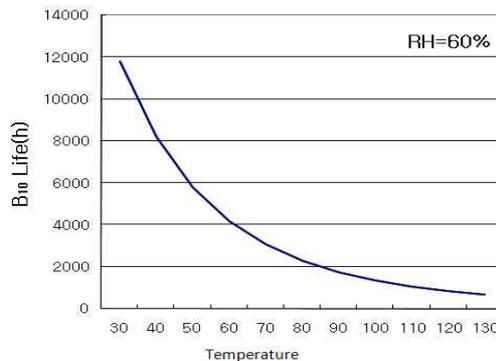


(a) Temperature

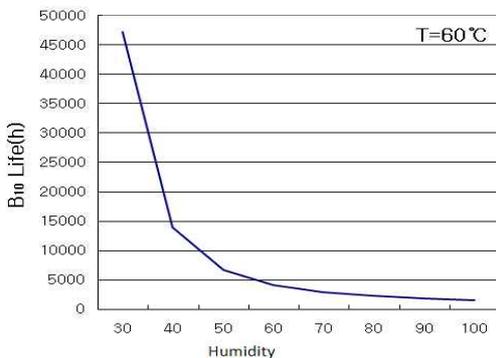


(b) Humidity

Fig. 8 AF vs. Stress



(a) Temperature



(b) Humidity

Fig. 9 B10 vs. Stress

온도 60℃, 습도 60%에서의 B₁₀ 수명은 4,181시간으로 추정되며, 실제 사용 조건과 제품에 따라 수명시간은 달라질 수 있다. 시험의 결과로 고온-고습의 환경에서 ACF의 고장 발생시간은 단축됨을 확인하였다.

4. 결 론

본 시험에서는 여러 분야에 다양하게 이용되고 있는 전도성 접착제인 ACF의 가속수명시험을 수행하였다. 고장분석 결과 주요 고장 메커니즘은 polymer의 expansion / swelling 으로 확인되었으며, 온도-습도를 가속인자로 한 가속시험을 실시하였다. 와이블 분포와 온도-습도 모델을 가정하고 실제 데이터를 분석하여 수명-스트레스 관계식과 가속계수를 추정할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Sang-Soo Lee, Min Park, Soonho LIM, and Junkyung Kim, 2005, "Technological Trend of ACF Development", *Polymer Science and Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 48~49.
- (2) C. Y. Yin., H. Lu., C. Bailey., Y. C. Chan., 2005, "Moisture Effects on the Reliability of Anisotropic conductive films", *Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in micro-Electronics and Micro-Systems Conference 2005*, Vol. 2005, No. 6, pp.162~165.
- (3) ReliaSoft Corporation-Tucson, 2002, "Modeling and Analysis of Time-dependent Stress Accelerated Life Data", *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp.343~348
- (4) Myung J. Yim. and, 1998, "The Influence of Bonding Parameters on the Contact Resistance, Adhesion and Reliability of Anisotropically Conductive Film(ACF)", *Korean Journal of Materials Research*, Vol. 8, No. 5, pp401~406.
- (5) Lei L. Mercao, Senior Member, IEEE, Jerry White, Vijay Sarihan, and Tien-Yu Tom Lee, 2003, "Failure Mechanism Study of Anisotropic Conductive File (ACF) Packages", *IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS AND*

PACKAGING TECHNOLOGIES SEPTEMBER, Vol. 26, No. 3, pp509~515.

(6) J.R. Morris, 1995, *AMLCD*, pp.66.