

## 이방성 전도 필름의 접착 저항, 접착력 및 신뢰성에 미치는 접속 변수의 영향

임 명 진 · 백 경 옥

한국과학기술원 재료공학과

### The Influence of Bonding Parameters on the Contact Resistance, Adhesion and Reliability of Anisotropically Conductive Film(ACF)

Myung J. Yim and Kyung W. Paik

Dept. of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

373-1, Kusong-Dong, Yusong-Gu, Taejon 305-701

(1997년 4월 26일 받음, 1998년 2월 27일 최종수정본 받음)

초 록 본 연구에서는 LCD 패키징용 이방성 전도 필름의 전기 전도 현상을 이해하기 위해서, 니켈 입자와 금속 코팅 된 폴리머 입자가 도전 입자로 들어간 이방성 전도 필름의 전기적, 기계적 특성 및 신뢰성에 미치는 접속 변수의 영향을 연구하였다. 이방성 전도 필름을 통한 전기적 전도 현상은 각각의 도전 입자와 기판 사이의 기계적 접촉에 의해 접촉 방향으로만 전류가 흐르게 되는 것이 주되는 전도 기구이다. 따라서 접속 압력에 따라 각각의 도전 입자의 변형으로 기판 사이의 접촉 면적이 변하는데 이방성 전도 필름의 접착 저항은 이런 접촉 면적 변화에 의해 결정된다. 접속 압력에 따라 초기에 접착 저항은 감소하다가 점차 접착 저항치가 안정화되는 거동을 보였다. 그러나 높은 접속 압력에서는 오히려 저항치가 약간 증가함을 보였다. 이방성 전도 필름 접착의 접착력을 평가하기 위해 필 테스트(peel test)를 시행하였는데, 접속 압력과 접속 온도를 증가 시킬수록 이방성 전도 필름 접착에 의한 FPC(Flexible Printed Circuit)와 ITO(Indium Tin Oxide) 글래스 간의 접착력은 증가하였다. 이방성 전도 필름의 접착 저항과 접착력에 미치는 환경적 요인을 평가하기 위해 고온 시효 시험, 온도 사이클링 시험, 고온 고습 시험의 신뢰성 시험을 시행하였으며, 이중 고온 고습 시험이 ACF접착의 전기적, 기계적 특성에 가장 악영향을 주었다. 또 큰 압력으로 접속된 것보다 작은 압력으로 접속되었을 때, 그리고 도전입자로는 금속 코팅 된 폴리머 입자가 사용될 때 신뢰성이 상대적으로 좋은 것을 발견했다.

**Abstract** To understand the mechanism of electrical conduction in ACF (Anisotropical Conductive Film) for LCD packaging application, we experimentally investigated the effect of bonding parameter on the electrical and mechanical properties of ACF joint using nickel powders and metal-coated polymers filled ACFs. Electrical conduction through the pressure engaged contact area between conductive particles and conductor substrate was the main conduction mechanism in ACF interconnection. Therefore contact resistance of ACF joint was determined by the contact area change between particles and contact substrate. The decrease of connection resistance was followed by a constant resistance value with increasing applied bonding pressure. Another interesting observation was minor increase of resistance at high bonding pressure. To evaluate the adhesion property of ACF joints, peel strength test was performed. Peel strength between a Flexible film and an ITO(Indium Tin Oxide) glass increased with increasing bonding pressure and bonding temperature. In addition, environmental effects on contact resistance and adhesion strength such as thermal aging, high temperature/humidity aging and temperature cycling were also investigated. High temperature /humidity aging test had the most detrimental effect on ACF joint. The deterioration in interconnection resistance was higher for the sample bonded by excessively high bonding pressure than those bonded by appropriate pressure, for the sample with Ni-filled ACF than those with Au-coated polymer-filled ACF.

### 1. 서 론

최근 전자 패키징 기술에서는 회로의 미세 간격화와 접속 밀도의 증가에 따라 많은 수의 좁은 간격을 가진 전극을 한번에 접속시킬 필요가 점점 증가하고 있다. 특히 액정 디스플레이 분야에서도 대량 생산화, 소형화, 저가형에 대한 추세로 발전함에 따라 안정적이고 공정조건이 간단한 미세간격 접속의 방법과 재료개발에 연구가 모아지고 있다. 이에 따라 최근 LCD 패키지의 구동 칩과 액정 패널과의 기계적, 전기적 접속용으로 사용되는 이방성 전도 필름에 관한 관심

도 점차 높아지고 있다.<sup>1)</sup>

ACF는 도전입자와 절연성 접착제 (insulating adhesive)로 구성되어 있는데, 낮은 온도에서 많은 수의 I/O 단자의 미세간격접속에 적합한 재료이다. ACF를 이용한 LCD 패키징 기술의 한 방식인 Chip-On-Film 기술에서는 이미 산업적으로 100 $\mu$ m 피치 (pitch) 이상의 접속 간격을 갖는 전기적 접속용으로 사용되고 있으며, 50 $\mu$ m 이하의 극미세 간격 접속을 가능하게 하는 Chip-On-Glass 기술의 산업적 적용도 활발히 진행 중이다. 또한 ACF는 솔더를 대체하여 플립칩 (Flip-Chip) 기술에서의 적용가능성도 매

우 높은 것으로 보고되고 있다.<sup>2~3)</sup>

ACF 접속에서의 전기적 전도현상은, 열경화성 에폭시 레진의 폴리머 matrix 안에 분산되어 있는 도전 입자가, 접촉할 때 동시에 가해주는 열과 압력에 의해 접촉단자의 표면과 기계적으로 접촉하게 되면서 이루어진다고 알려져 있다. 이때 도전 입자와 접촉 단자와의 접촉은 외부압력에 의한 도전성 입자의 변형량에 따라 일정한 접촉 면적을 가지게 된다. 안정한 전기적 접촉을 이루기 위해서는 전도입자와 접촉단자가 충분한 접촉면적을 이루고 있어야 한다. 그러므로 이방성 전도 필름에 의한 접속의 접촉저항은 접촉 압력, 도전입자의 기계적, 전기적 성질에 영향을 받는다.<sup>4~6)</sup> 아울러 접촉저항 뿐만 아니라 이방성 전도 필름의 접착력 및 신뢰성도 접촉 압력, 접촉 온도 등의 변수의 영향을 받는다. 이방성 전도 필름이 액정 디스플레이 패키징 기술에 널리 사용되어 많은 실험데이터가 축적되어 있지만 전기 전도도와 기계적 성질 및 신뢰성에 미치는 접속변수의 영향을 구조적으로 이해하기 위한 시도는 적었다. 그래서 본 연구에서는 이방성전도 필름을 통한 전기적 접속의 특성에 미치는 접속변수의 영향을 실험적으로 고찰하기 위해 접촉 압력을 가할 때 도전입자의 변형거동과 전기적 접촉 저항의 변화, 접착력을 측정하였고, 신뢰성 측면에서 전기적 접속이 외부 환경의 영향에 어떤 반응을 하는지 접촉 저항 및 접착력 관점에서 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

### 이방성 전도 필름

본 실험에 사용된 ACF 필름은 두께가 약 20~30 $\mu\text{m}$  정도이고 직경이 약 5 $\mu\text{m}$ 인 니켈 입자와 금 코팅 된 폴리머 입자가 각각 도전입자로 분산되어 있다. 필름의 기본 구성 물질인 절연수지로는 여러 가지 기판에 강한 접착력과 높은 전이 온도(Tg)를 가지는 에폭시 수지가 사용되었고 여기에 몇 가지 다른 에폭시 수지와 경화제, 유화제 등을 넣어 자체 제조하였다. 특히 일반적인 전도성 접착제(conductive adhesive)와는 다르게 20초 내에 빠른 경화가 가능하도록 제조되었다. 여기에 니켈 입자와 금 코팅 된 폴리머 입자가 분산되어 혼합체를 만든 뒤 다루기 쉽게 이형지 위에 필름화 시켰다.

액정모듈 대신에 ITO막이 400~500Å 두께로 전면 도포된 글래스를 사용하였다. 이때 ITO 글래스 표면저항은 50~70  $\Omega/\square$ 이다. 그리고 이 ITO 글래스 위에 ACF 접속을 이룰 유동 인쇄 회로(Flexible printed circuit; FPC)는 캡톤 폴리이미드(Kapton polyimide) 필름 위에 200 $\mu\text{m}$  피치의 metallization 패턴을 가지고 있다. 금속 막 패턴에 의한 전극의 단면을 살펴보면, 약 35 $\mu\text{m}$  두께의 구리 전극 위에 니켈과 금이 순서대로 각각 2 $\mu\text{m}$ , 0.5 $\mu\text{m}$ 씩 전기 도금되어 있다.

### 접착 공정

접착하기 전에 모든 ITO 글래스와 FPC는 접속 특성에 역효과를 줄 수 있는 유기물질을 제거하기 위해 용매를 써서 닦아낸다. ACF는 접속 면적만큼의 크기로 잘라낸 다음

Table 1. The Bonding Parameter for ACF bonding

Pre-bonding of FPC to glass substrate	
Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	80
pressure(Kgf/cm $^2$ )	2
Time (s)	5
Final bonding of FPC to glass substrate	
Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	180
pressure(Kgf/cm $^2$ )	2, 3, 4, 5
Time (s)	20

낮은 압력과 온도(80 $^{\circ}\text{C}$ , 2Kgf/cm $^2$ , 5초)를 동시에 받은 후 가압상태(pre-bonding)가 된다. 그 후 이형지를 제거한 후 FPC를 ITO 글래스의 접합부분에서 본 압착(final bonding)시킨다. 가압착과 본 압착에서의 접착변수를 표 1에 나타내었다.

### 접촉 저항 및 접착력 측정

ACF의 접촉 저항을 측정하기 위해 4탐침 단자 법(four-point-probe method)을 이용하였다.<sup>7)</sup> 그림 1과 같이 FPC의 test pattern에서 2개의 금속 선 상에 전류 공급 단자를 각 금속 전극에 각각 놓고 역시 같은 금속 전극에 전압 측정단자를 접촉시킨 후 정 전류 10 mA를 가해주었을 때 이방성 전도 필름의 접촉에서 발생하는 전압차를 측정하여 저항을 구한다. 이때 각각 전류 공급단자와 전압 측정단자가 함께 2, 3번 금속 전극에 접촉된 금속선 상의 ACF의 접촉저항( $R_2$ ,  $R_3$ )과 피치 간격만큼의 ITO 표면저항 값( $R_{ITO}$ ), 그리고 2개의 금속선의 저항값( $R_{metal}$ )을 얻게 된다. 이후 전압측정단자는 그대로 둔 채, 1개의 전류공급 단자를 바깥쪽으로 인접한 4번 금속 전극으로 이동하여 저항을 측정된 뒤( $R_{23}$ ), 이 값을 빼주면 다음과 같은 식으로 한 개의 ACF 접촉저항( $R_3$ )과 금속선의 저항값( $R_{metal}$ )을 측정할 수 있다. 여기서  $R_{metal}$ 은 ACF 접촉저항( $R_2$  또는  $R_3$ )보다 매우 작은 값이고 접촉 변수의 영향을 받지 않으므로 무시할 만 하다.

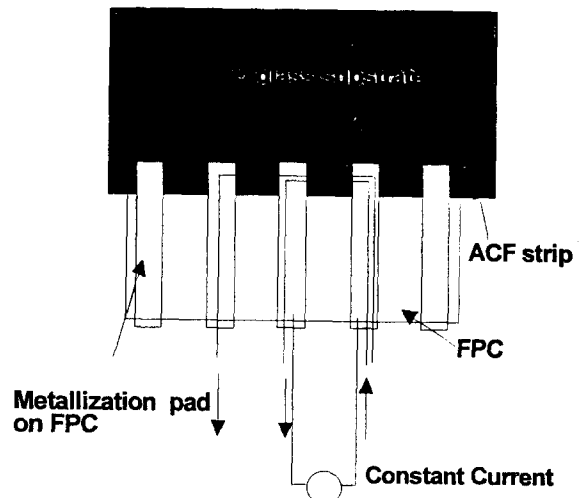


Fig. 1. The four-point probe technique for the measurement of contact resistance.

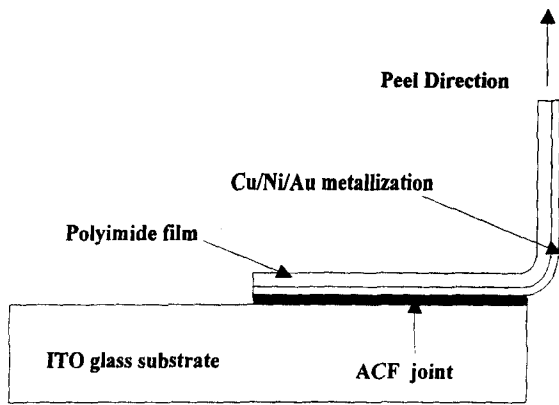


Fig. 2. Schematic diagram of peel strength measurement of ACF-jointed FPC to ITO glass substrate.

$$R_{23} = V_{23}/I_{23} = R_2 + R_{ITO} + R_3 + 2R_{metal} \quad (1)$$

$$R_{23} = V_{23}/I_{24} = R_2 + R_{ITO} + R_{metal} \quad (2)$$

$$\therefore R_{23} - R_{23} = R_3 + R_{metal} = R_3 (R_3 \gg R_{metal}) \quad (3)$$

ACF 접속의 접착력을 측정하기 위해서 필 접착력 테스트 (peel strength test) 를 실행하였다. INSTRON static 4206 모델을 사용하여 분당 0.1mm의 속도로 글래스를 고정시킨 채 그림 2와 같이 FPC를 90° 방향으로 인장하는 방법으로 실시하였다. 각 시편의 접속 온도 (160, 180, 200 °C)와 접속 압력 (2, 3, 5 kgf/cm<sup>2</sup>)에 따라 접착력을 측정하였고, 180 °C 시편에 대해서는 신뢰성 테스트 전과 후의 접착력 변화를 구하였다. 각 측정값은 최대하중을 ACF 접속 길이로 나누는 방법으로 구하였다.

ACF 접착 시편의 신뢰성을 평가하기 위해 고온 시효 (aging) 시험, 고온 고습 시험, 온도 사이클링 시험의 세 가지 테스트를 한 후 전기적 특성 변화와 접착력 변화를 각각 측정하였다.

고온 시효시험은 125 °C에서 500시간 동안 시행하였으며, convection oven을 사용하였다. 고온고습 시험은 온도 85 °C, 습도 85%RH 상태에서 500시간동안 시행하였다. 온도 사이클링 시험은 -40 °C에서 85 °C 사이의 범위를 왕복하는데, 양 극단의 온도에서 20분 동안 유지시키며, 25 °C에서 5분 동안 유지한다. 25~85 °C 사이에서의 온도 변화율은 2.75 °C/min이고, 25 °C에서 -45 °C 사이에서는 1.5 °C/min이며, 모두 250 사이클을 시행하였는데 테스트 동안 60%RH를 유지시켰다. 사용장비는 Thermotron 2800 이다.

신뢰성 시험 후 접착상태의 단면 변화를 살펴보기 위해 주사전자현미경 (SEM) 을 이용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 접속 저항 거동

그림 3는 니켈 입자와 금 코팅 된 폴리머 입자가 도전입자로 쓰이는 ACF 접속에서의 열 압착 시 가해주는 압력이 접속 저항에 미치는 영향을 보여주고 있다. 각각의 ACF는

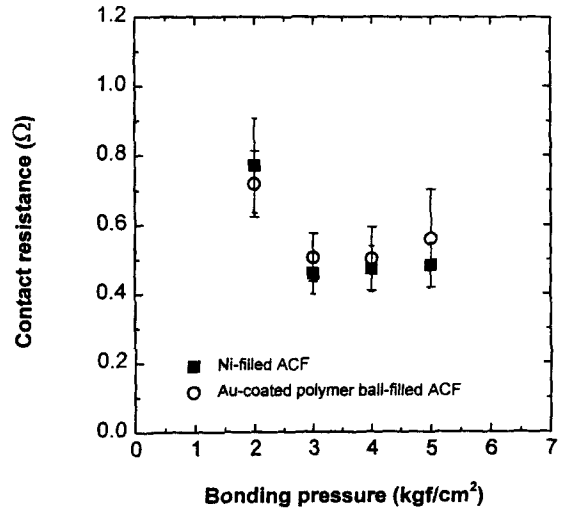


Fig. 3. Connection resistance plotted as a function of bonding pressure

3kgf/cm<sup>2</sup> 이상에서의 접속 압력에서 0.6Ω 이하의 안정된 값을 나타내고있고 니켈 입자 함유된 ACF의 저항치가 금 코팅된 폴리머 함유된 ACF의 저항치 보다 작은 값을 유지하고 있다. 그런데, 2Kgf/cm<sup>2</sup>에서는 니켈 입자가 함유된 ACF가 금 코팅 된 폴리머 함유된 ACF보다 큰 접속 저항 값을 나타내면서 2~3Kgf/cm<sup>2</sup>의 압력 범위에서 더 큰 저항치의 감소를 보이고 있다. 또 2Kgf/cm<sup>2</sup>에서 금 코팅 된 폴리머 함유된 ACF가 니켈 입자 함유된 ACF보다 표준편차가 작은 것도 주목할만하다. 이것은 외부에서 가해주는 압력에 따라 도전 입자인 니켈 입자와 금 코팅 된 폴리머 입자가 각각 어떻게 변형거동을 보이는가를 살펴보면서 해석을 해야 한다. 그림 4에서 보는 것과 같이 니켈 입자 함유된 ACF에서 니켈 입자는 크기가 일정하지 않아서 적은 압력하에서 금속 전극과 글래스 기판 사이에 끼여있는 도전 입자들 중 직경이 큰 입자가 먼저 닿게 되어 그보다 크기가 작은 입자는 전극 표면과 접촉을 이룰 수 없어서 도전에 참여하지 못하게 된다. 점점 외부에서 가하는 압력이 증가함에 따라 금속 전극과 글래스 기판 간의 거리인 접속 간격 (interconnection width)이 감소하게 되는데 이에 따라 접촉된 도전 입자들은 더 변형하게 되며 크기가 작은 입자들도 금속 전극과 접촉할 기회를 가지게 된다.

접속 압력이 증가함에 따른 접속 간격을 SEM 사진 상에서 측정해 보면 점점 감소하게 되는데 니켈 입자의 경우 3kgf/cm<sup>2</sup> 이상에서는 그다지 변동을 보이지 않는다. 이는 니켈 입자의 강도가 커서 지속적인 소성변형이 되기 위해서는 더 많은 압력이 필요하기 때문이다. 그림 5에서는 니켈 함유된 ACF에서의 접속 압력과 접속 간격과의 관계를 나타내고 있다.

한편, 금 코팅 된 폴리머 입자의 경우 접속 압력이 증가함에 따라 금속 전극과 글래스 기판 사이에 있던 도전입자가 전도경로를 이루게 되고 지속적인 입자의 변형에 의해 접촉면적이 증가하게 된다. 그림 6에서 보는 바와 같이 작은 압력 하에서는 폴리머 볼의 변형 정도가 작지만 압력이

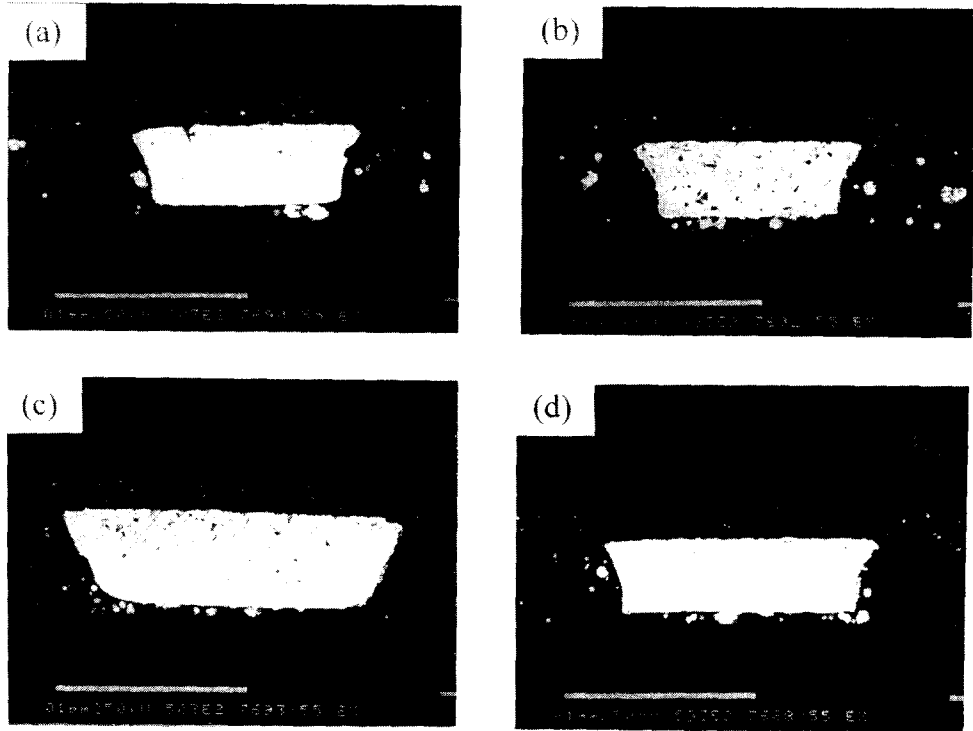


Fig. 4. Cross section of ACF joint with Ni particles at (a) 1.5kgf/cm<sup>2</sup>, (b) 2kgf/cm<sup>2</sup>, (c) 3kgf/cm<sup>2</sup> and (d) 5kgf/cm<sup>2</sup>

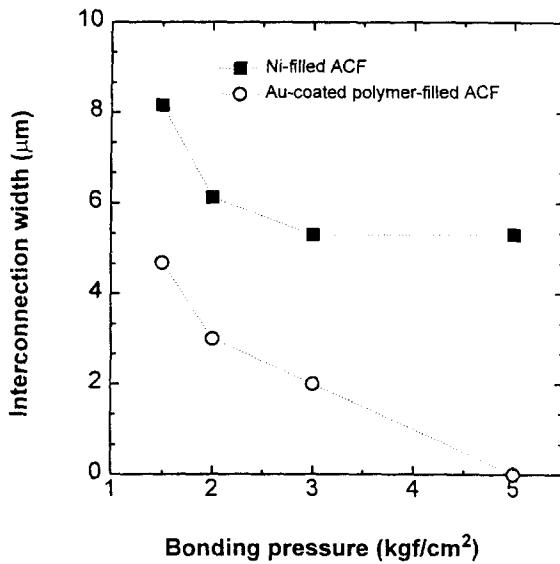


Fig. 5. The relationship between bonding pressure and interconnection width

증가함에 따라 입자의 변형량이 커진다. 5kgf/cm<sup>2</sup> 이상에서는 입자의 변형량이 매우 많아지게 되어 금속 전극에서의 표면 돌출부분(asperity)의 일부분은 글래스 기판과 접촉을 하게 되기도 한다. 그림 5에서도 금 코팅된 폴리머 입자가 들어있는 ACF에서의 압력과 접속 간격 간의 관계를 나타내고 있으며, 강도와 크기 분포가 작은 금 코팅된 폴리머 입자가 들어간 ACF의 경우 전체 접속 압력 범위에서 니켈 함유된 ACF보다 접속 간격이 작으며 압력이 증가할수록

그 감소량이 커지는 것을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 접촉 저항 값이 5kgf/cm<sup>2</sup> 접속 압력 부분에서 약간 증가하는 것은 소성변형이 심하게 일어나서 도전 입자의 표면 금 코팅 층이 폴리머 입자에서 분리되거나 코팅 층에 crack이 발생하기 때문이다.<sup>2)</sup>

3kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 압력에서 금 코팅된 폴리머 입자나 니켈 입자는 안정한 접촉저항 값을 보여주고 있다. 3kgf/cm<sup>2</sup> 보다 큰 압력하에서는 금 코팅된 폴리머 입자의 경우, 금 코팅 층이 파괴되기 쉽고 니켈 입자의 경우는 접속 간격이 안정한 값을 유지하면서 니켈 입자의 소성변형에 필요한 에너지가 접속부위의 내부 응력을 인가시키는 경우가 되므로 신뢰성을 떨어뜨릴 우려가 있다. 그러므로 가장 적절한 접속 압력 조건은 3kgf/cm<sup>2</sup> 근처이다.

**접착력 거동**

그림 7은 접속 온도에 따른 ITO 글래스 기판과 FPC사이의 ACF 필 접착력 변화를 나타낸다. 접속 온도가 증가하면 접착력이 증가하며 180°C 이상에서는 그 증가량이 감소하는 것으로 나타났다. 접속 온도의 접착력에 대한 영향은 도전 입자의 종류와는 상관없이 비슷한 거동을 보이고 있다. 일반적으로 필 접착력 테스트에 의해 측정된 접착력은 계면 접착력과 피접착 물질의 소성변형을 일으키는 데 쓰인 힘의 합으로 표현된다.<sup>8)</sup> 금속/폴리머 간의 접착력은 계면 화학반응 정도에 영향을 받으며 이 경우 접착제 레진(adhesive resin)의 온도에 대한 반응에 관계 있는 것으로 생각된다. 즉 접속 온도가 높을수록 에폭시 계의 접착제 레진의 경화가 빠르게 진전되어 접착력이 증가하는 것이다. 필 접착력 테스트 시 파괴경로는 금속 전극과 ACF의 계면

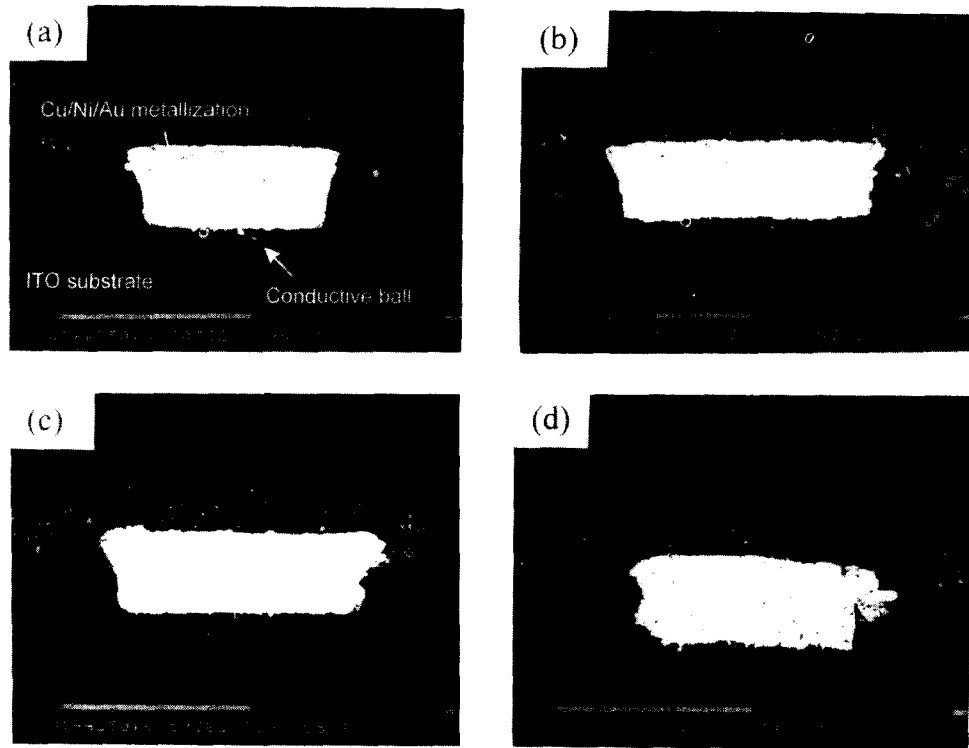


Fig. 6. Cross section of ACF joint with Au-coated polymer spheres at (a) 1.5 kgf/cm<sup>2</sup>, (b) 2kgf/cm<sup>2</sup>, (c) 3kgf/cm<sup>2</sup> and (d) 5kgf/cm<sup>2</sup>

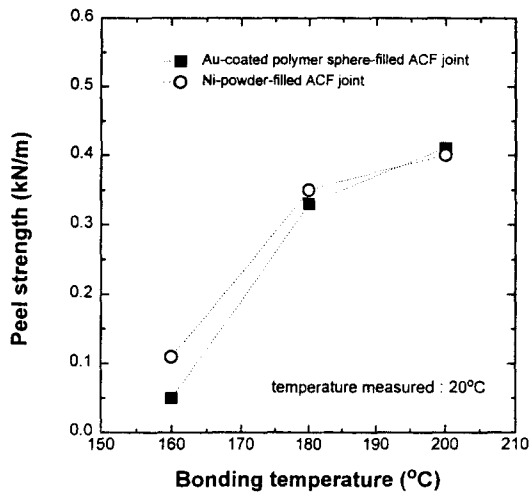


Fig. 7. The effect of bonding temperature on peel strength of ACF joints. Bonding conditions: 3kgf/cm<sup>2</sup>, 20 sec

이다. 즉, 접착제 잔여 물질은 항상 글래스 기판에서 발견되었다.

그림 8은 접속 온도가 180℃일 때 접속 압력에 따른 ACF 접착력과 접속 간격을 나타낸 것이다. 접속 압력이 증가함에 따라 접착력이 증가하는데, 3kgf/cm<sup>2</sup> 이전에는 그 증가량이 급하고 이후에는 약간 증가하는 거동을 보인다. 접속 간격에는 도전 입자들이 외부압력에 의해 변형되어 있으므로 접속 간격이 감소할수록 도전 입자의 소성변형의 양이 증가했다고 볼 수 있다. Maniks<sup>9)</sup> 등은 접착력에 미치는 surface force의 영향에 관한 연구에서 surface force가

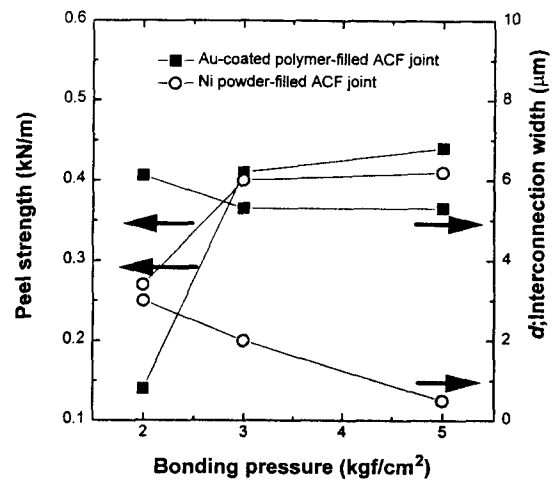
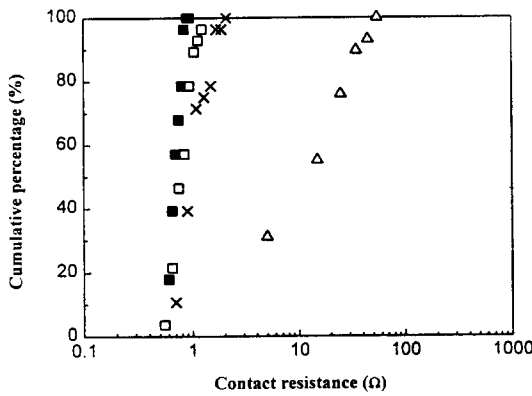


Fig. 8. Peel strength and interconnection gap width(d) of ACF joint verses the bonding pressure.

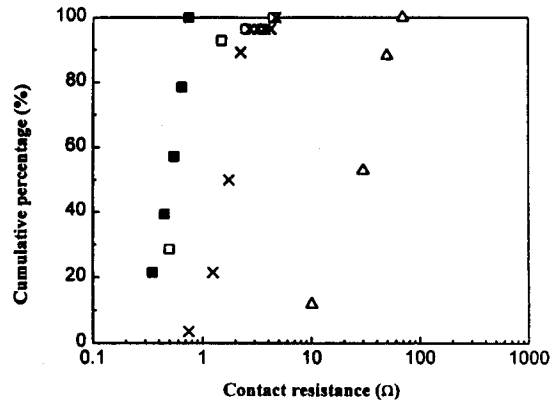
클수록 접촉면에서의 소성변형이 많아지고 충분한 접촉면적을 확보하여 접착력이 증가한다고 보고하였다. 본 실험에서도 접속 압력이 증가하면 도전입자의 소성변형이 증가하여 접착력 증가에 기여하고 있으며, 폴리머 레진이 FPC와 글래스 기판과 접촉하는 면적이 더 증가하여 접착력이 증가한다.

신뢰성 시험 결과

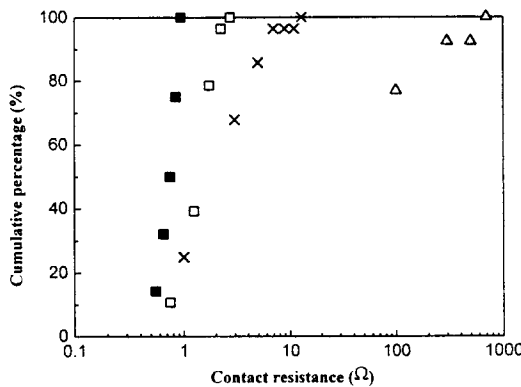
그림 9~10에는 ACF와 접속 압력조건에 따라 각각의 신뢰성 시험 후의 접착저항 분포를 나타내고 있다. x축은 접착저항 값을 나타내며 y축은 접착저항 값의 누적분포도



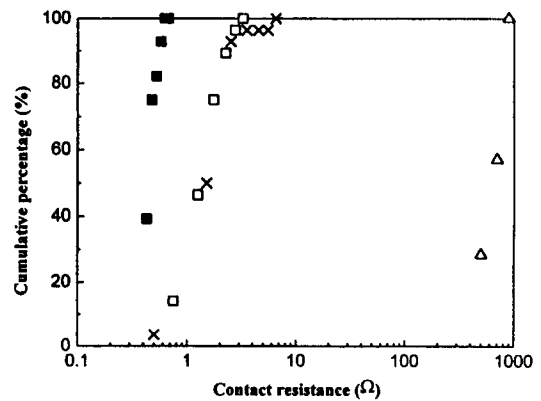
(a)



(a)



(b)



(b)

■ Initial resistance      □ After 500h 120°C aging test  
 × After 250 cycles temp. cycling test    △ After 500h 85°C/85% RH test

■ Initial resistance      □ After 500h 120°C aging test  
 × After 250 cycles temp. cycling test    △ After 500h 85°C/85% RH test

Fig. 9. The connection resistance distribution of initial and at the completion of the three reliability tests : bonding pressure is 2kgf/cm<sup>2</sup> (a) Au-coated polymer sphere-filled ACF and (b) Ni-filled ACF.

Fig. 10. The connection resistance distribution of initial and at the completion of the three reliability tests : bonding pressure is 5kgf/cm<sup>2</sup> (a) Au-coated polymer sphere-filled ACF and (b) Ni-filled ACF.

를 나타낸다. 그림 9에서 금 코팅된 폴리머 함유된 ACF와 니켈 함유된 ACF의 각 신뢰성 시험에 대한 접촉 저항증가를 비교하였다. 각 ACF에 대해서 각 신뢰성 시험 후 평균 접촉저항과 표준편차는 모두 증가했으며 그 중 고온 고습 시험이 가장 크게 접촉저항을 증가시킨다는 결과가 나타났다. 또 니켈 함유된 ACF 접속이 금 코팅된 폴리머 함유된 ACF 접속보다 신뢰성 시험 후 접촉 저항 증가량이 크게 나타났다. 2kgf/cm<sup>2</sup>의 접속 압력에 의해 접착된 Ni-filled ACF 접속은 고온 고습 시험 후 0.771Ω의 초기 접촉 저항에서 178Ω의 평균 접촉저항에 176.18Ω의 표준편차, 그리고 15개의 접속이 open되었다. 본 연구에서는 1000Ω 이상의 접촉 저항을 open된 접속으로 규정하였다. 그런데 금 코팅된 폴리머 함유된 ACF는 고온 고습 시험 후에 0.718Ω (표준편차 0.095Ω)의 초기 접촉저항에서 21.44Ω (표준편차 15Ω)에 1개의 open된 접속 부위를 가지게 되었다. 각 접속 압력 조건에 의해 만들어진 시편의 신뢰성 전과 후의 접촉 저항과 표준편차의 변화를 표 2에 정리하였다. 다른 고온 시효 시험과 온도 사이클링 시험 후에서도 니켈 입자가 함유된 ACF 접속의 신뢰성이 금 코팅된 폴리머 입자

가 함유된 ACF 접속보다 나쁘게 나타났다.

니켈 입자가 도전 입자인 ACF가 금 코팅된 폴리머 입자가 들어있는 ACF보다 더 큰 접촉 저항 증가를 보인 이유는 사용된 도전입자의 열팽창계수 차이 때문이다. 표 3에서 보면 니켈 입자의 열팽창계수는 금 코팅된 폴리머 입자나 경화된 에폭시 계 열경화성 접착제의 열팽창계수보다 분명히 작다. 그러므로 높은 온도에서 도전 입자들과 접착제 레진 사이에 열팽창력 차이에서 오는 응력이 발생한다. 이 응력 때문에 전기적 접촉에서 틈이 생겨 전기적 저항이 커지게 된다. 고온에서 열팽창계수 차이에서 오는 열 응력은 니켈 입자의 경우 더 크게 발생하므로 신뢰성 시험에서 니켈 입자가 함유된 ACF가 금 코팅된 폴리머 입자가 함유된 ACF보다 저항 증가량이 크다.

각 접속 압력이 신뢰성에 미치는 영향을 살펴보면, 일반적으로 접속 압력이 작을 때 ACF의 신뢰성은 높게 나타났다. 그림 9~10과 표 2에 의해 125°C 시효 시험에서 니켈 함유된 ACF와 금 코팅된 폴리머가 함유된 ACF 모두 2Kgf/cm<sup>2</sup>의 접속 압력에서 저항 증가량이 제일 작았다. 그런데 온도 사이클링 시험에서 니켈 입자가 함유된 ACF는

Table 2. Electrical contact resistance( $\Omega$ ) of the ACF interconnection between ITO glass and Flexible Printed Circuit before and after the Environmental Tests.

\*A: Ni-filled ACF interconnection

B: Au-coated polymer-filled ACF interconnection

Test	ACF type*	Bonding pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	No. of test joint	Electrical Resistance( $\Omega$ ) (mean value(standard deviation))		No. of open joints
				before	after	
				125 °C aging 500 hrs	A	
		3	28	0.459(0.059)	5.308(4.546)	0
		5	28	0.483(0.065)	1.687(0.125)	0
	B	2	28	0.718(0.095)	0.865(0.125)	0
		3	28	0.518(0.096)	0.53(0.101)	0
		5	28	0.56(0.141)	1.405(0.774)	0
85 °C/85%RH 500 hrs	A	2	28	0.771(0.136)	177.68(176.2)	15
		3	28	0.459(0.059)	72.06(28.89)	22
		5	28	0.483(0.065)	666.25(195.5)	21
	B	2	28	0.718(0.095)	21.44(15.20)	1
		3	28	0.518(0.096)	25.2(22.01)	2
		5	28	0.56(0.141)	41.347(20.8)	10
temperature cycling 250 cycles	A	2	28	0.771(0.136)	3.634(2.37)	0
		3	28	0.459(0.059)	1.702(0.901)	0
		5	28	0.483(0.065)	2.18(1.092)	0
	B	2	28	0.718(0.095)	1.165(0.361)	0
		3	28	0.518(0.096)	1.064(0.714)	0
		5	28	0.56(0.141)	2.02(0.706)	0

Table 3. CTE's of metal and adhesives

Coefficient of thermal expansion (10-5/°C)						
Conductive particle				Adhesive		
Ni	Cu	Au	Metal-coated	Thermoplastic	Thermosetting	
1.3	1.7	1.4	7.0	12	7.9	

3Kgf/cm<sup>2</sup>의 경우 저항 증가량이 1.242 $\Omega$ 으로 제일 작았으나 금 코팅된 폴리머가 함유된 ACF에서는 2Kgf/cm<sup>2</sup>의 경우 0.45 $\Omega$ 으로 제일 작았다. 고온 고습 시험에서는 니켈 입자가 함유된 ACF의 경우 3Kgf/cm<sup>2</sup>에서 저항 증가량이 제일 적었으나 open된 접속의 수는 2Kgf/cm<sup>2</sup>의 경우가 제일 작았다. 금 코팅된 폴리머 입자가 함유된 ACF의 경우 2Kgf/cm<sup>2</sup>에서 접착저항 증가량과 open 접속수가 모두 작았다. 종합해 보면, 각 신뢰성 시험에 미치는 접속 압력은 대체로 적을수록 신뢰성 특성이 좋아지는 것으로 나타났다. 이는 접속 압력을 지나치게 줄 경우 국부적인 탄성 응력이 ITO 글래스 기판과 도전 입자에 유발되어 축적된 탄성 변형 에너지가 외부 열과 습기 등과 반응하여 기계적인 팽창력으로 변환되어 도전 입자와 전극표면 사이의 접착 면적을 감소시키거나 접착 간격을 만들기 때문이다. 접속 압력이 클수록 ITO 글래스에서 응력을 많이 가져다 주지만, ITO 글래스가 쉽게 소성 변형되지 않으므로 탄성 한계 내에서 수용할 수 없는 접속 압력은 접속 부위의 잔류 응력의 형태로 축적되게 된다. 그래서 고온 고습한 조건 등에 의해

폴리머 접착제가 퇴화되는 등의 이유로 금속/폴리머 계면의 접착력이 떨어져 축적된 잔류 응력이 풀어지면서 접속 부위가 들뜨는 현상이 일어날 수 있다. 이 경우는 지나친 접속 압력 조건으로 축적된 잔류 응력과 고온에서 열팽창계수 차로 인해 발생한 열팽창력의 조합으로 틈이 발생해 접착 저항이 크게 증가하게 된다.

그림 11에서는 신뢰성 시험 후의 ACF 접속단면을 나타낸 것이다. 125°C aging 시험이나 온도 사이클링 시험에는 틈이 보이지 않으나 (c), (d)의 85°C/85%RH 시험 후에는 화살표가 가리키듯이 접속 부위에 완전한 틈이 보인다. 이는 고온 고습한 조건에 의해 접착제와 금속단자 사이의 접착력이 감소하여 고온에서 열팽창계수 차이에 의한 열 응력을 받아 이 같은 틈을 발생시키게 되는 것이다. 그러므로 접착 저항증가 또는 open 접속을 발생시키는 요인으로 열팽창계수 차이에 의한 열 응력 하나만의 영향보다는 습기조건이 추가되어 접착제의 퇴화(degradation)로 인한 불순물 막에 의해 계면 접착력을 감소시켜 열 응력효과가 더 커지게 되어 틈 형성이 더 쉬워지게 되었다.

금속 도전 입자의 산화도 ACF 접속의 접착 저항 증가 이유의 하나라고 보고하고 있다.<sup>11~13)</sup>

그림 12에는 각 신뢰성 시험 후 FPC와 ITO 글래스 간의 ACF 접속의 접착력 변화를 나타내었다. 니켈 입자 함유된 ACF에서는 고온 고습시험과 온도 사이클링 시험 후에 접착력이 각각 62% 감소하고 17% 증가하였지만 고온 시효 시험 결과 접착력 증가량이 160%나 되었다. 금 코팅된 폴리머 입자가 함유된 ACF에서도 고온 고습시험에서

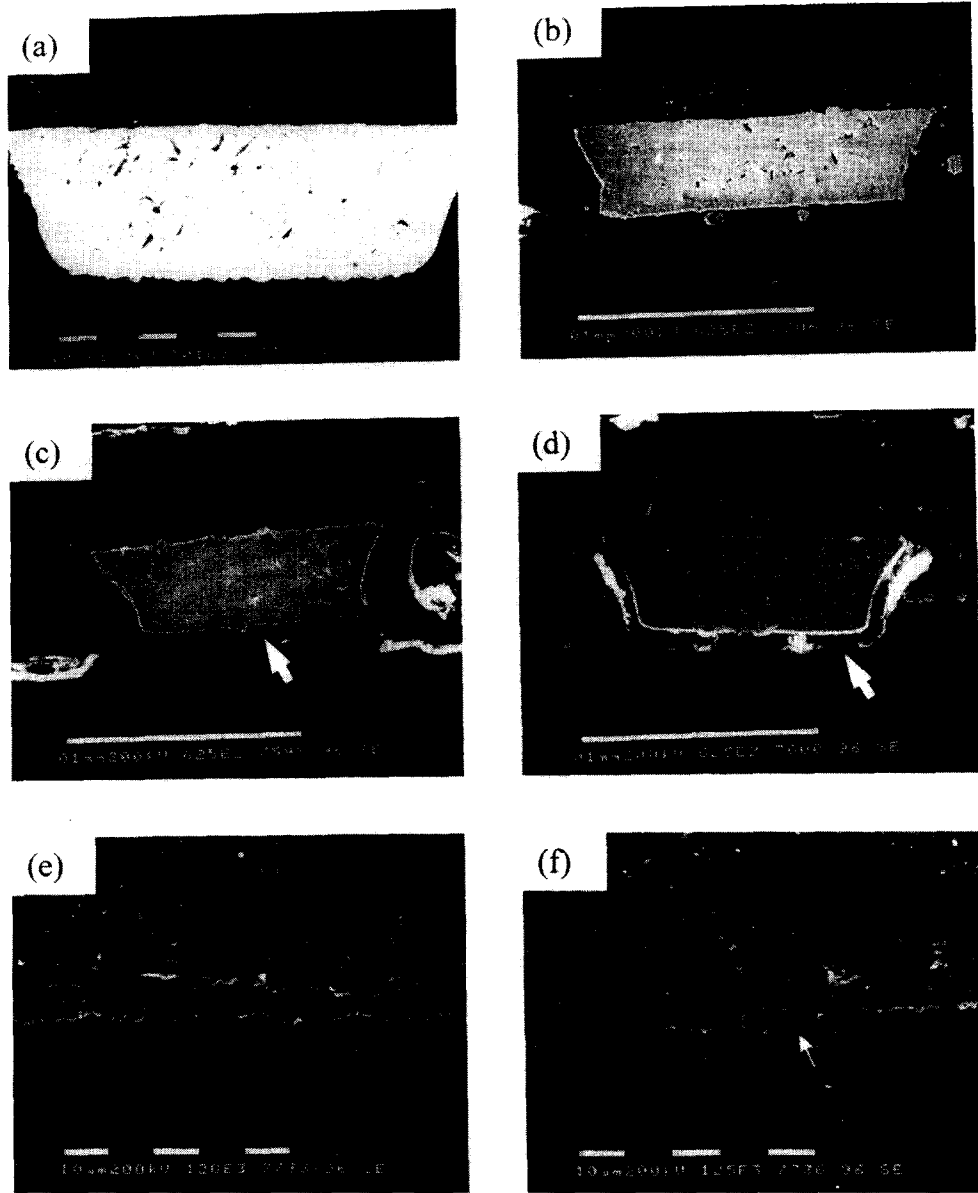


Fig. 11. Microstructures of ACF joints after (a), (b) 125°C aging test, (c), (d) 85°C/85%RH test and (e), (f) temperature cycling test. The arrow in (c), (d) indicates the conduction gap.

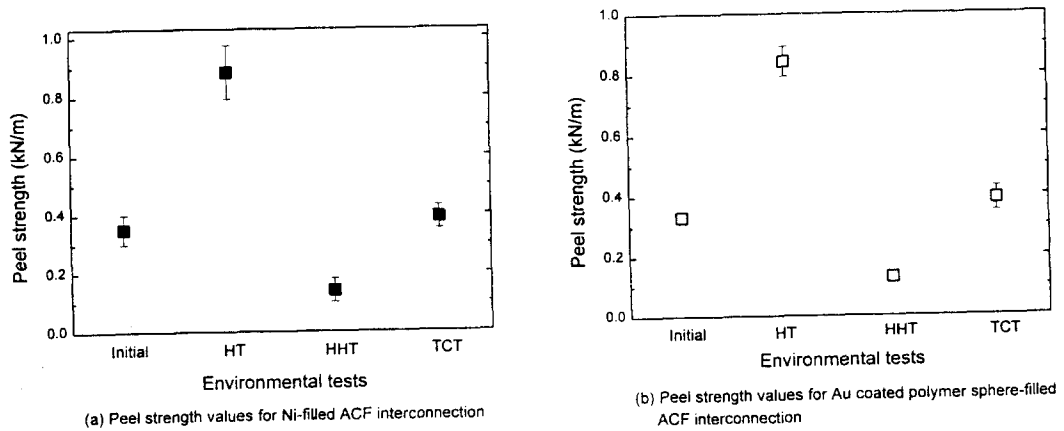


Fig. 12. Peel strength variation between before and after the reliability tests. (HT: High Temperature aging test, HHT : Hot Humidity Test, TCT : Temperature Cycling Test) Initial sample condition : 3kgf/cm<sup>2</sup>, 180°C, 20 sec.



60% 감소하였고, 온도 사이클링 시험에서 12% 증가하였으나 고온 시효 시험에서 154% 증가하였다. 위에서 보듯 ACF의 접착력 거동은 도전 입자의 종류에 상관없이 절연 물질의 접착력에 영향을 받는 것으로 나타났다. 접착력 파괴는 언제나 절연물질/금속 단자 계면에서 발생했다.

온도 사이클링 시험 후 접착력이 약간 증가한 반면, 고온 고습 시험 후에는 접착력이 급히 감소했는데, 아마 고온보다 습기가 접착력에 악영향을 미치는 것으로 생각된다. 고온 시효 시험 후 접착력이 증가한 것은 접착제 레진이 125°C에서 500시간 방치되는 동안 경화되지 않고 남아있는 작은 양의 레진의 완전경화가 이루어져 계면 접착력을 증가시켰기 때문이다.

#### 4. 결 론

직경 5mm 니켈 입자가 함유된 ACF와 금 코팅된 폴리머 입자가 함유된 ACF를 사용하여 접속 압력과 접속 온도의 전기적, 기계적 특성 및 신뢰성에 미치는 영향을 살펴본다. 다음과 같은 결론을 나타내었다.

- 1) 접속 압력에 따라 초기에 접촉 저항은 감소하다가 점차 접촉 저항치가 안정화되는 거동을 보였다.
- 2) 이방성 전도 필름의 접착력은 접속 압력과 접속 온도를 증가시킬수록 이방성 전도 필름 접속에 의한 FPC (Flexible Printed Circuit)와 ITO (Indium Tin Oxide) 글래스 간의 접착력은 증가하였다.
- 3) 신뢰성 시험 중 고온 고습 시험이 ACF접속의 전기적, 기계적 특성에 가장 악영향을 주었으며, 또 큰 접속 압력으로 접속된 것보다 작은 접속 압력으로 접속되었을 때, 그리고 도전입자로는 금속 코팅된 폴리머 입자가 사용될 때 신뢰성이 상대적으로 좋았다.

4) 신뢰성 테스트 후 접착력 감소는 주로 고온 고습한 조건에서 에폭시 레진의 흡습성에 의한 접착력 감소이다.

#### 참 고 문 헌

1. S. Asai, J. Appl. Polym. Sci., **56**, 769 (1995)
2. H. Date, Proc. Int'l Symp. on Microelec. '4, 570 (1994)
3. A. Torri, M. Takizawa and K. Sasahara, Proc. 9<sup>th</sup> Int'l Microelec. Conf., 324 (1996)
4. K. Kulojarvi, P. Savolainen. and J. Kivilahti, 10<sup>th</sup> Euro. Microelec. Conf., 28 (1995)
5. R. Holm, *Electric Contacts*, 3<sup>rd</sup> ed., pp.45, Springer Verlag, New York, U.S.A (1981)
6. Y. Wei and E. Sancaktar, Proc. Int'l Symp. on Microelec. '95, 231 (1995)
7. D. Klosterman, L. Li and J. E. Morris, Proc. Elec. Comp. & Tech. Conf., (1996)
8. J. Kim., K. S. Kim, and Y. H. Kim, J Adh. Sci. & Tech., **3**, 175 (1989)
9. J. Maniks and A. Simanovskis, J. Adh. Sci. & Tech, **10**, 541 (1996)
10. Z. Lai and J. Liu, IEEE Trans. on Comp. Pack. Manuf. & Tech. B, **19**, 644 (1996)
11. J. Liu and R. Rorgren, J. Elec. Manuf., **3**, 205 (1993)
12. J. Liu, K. Boustedt and Z. Lai, Proc. Tech. Prog. Surf. Mount Int'l, 102 (1995)
13. R. S. Rorgren and J. Liu, IEEE Trans. on Comp. Pack. Manuf. & Tech. B, **18**, 305 (1995)