

# ACF를 이용한 COG 접합 공정에서 도전볼의 음영비와 접촉 저항과의 관계

## Relationship between Contrast Ratio of Conductive Particle and Contact Resistance on COG Bonding using ACF

진송완<sup>1</sup>, 정영훈<sup>2</sup>, 최은수<sup>3</sup>, 김보선<sup>4</sup>, 윤원수<sup>1,✉</sup>  
Songwan Jin<sup>1</sup>, Young Hun Jeong<sup>2</sup>, Eun Soo Choi<sup>3</sup>, Bosun Kim<sup>4</sup>, and Won-Soo Yun<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 한국산업기술대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University)

<sup>2</sup> 경북대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University)

<sup>3</sup> 한국산업기술대학교 대학원 기계시스템공학과 (Department of Mechanical system Engineering, Korea Polytechnic University)

<sup>4</sup> LG 디스플레이(주) (LG Display Co., Ltd.)

✉ Corresponding author: wsyun@kpu.ac.kr, Tel: +82-31-8041-0412

Manuscript received: 2013.12.9 / Revised: 2014.6.30 / Accepted: 2014.7.15

*Chip on glass (COG) bonding using anisotropic conductive film (ACF) is a key technology to assemble a driver IC onto a LCD glass panel. In this paper, an experimental investigation was conducted to investigate the correlation between contact resistance and characteristics of image taken by machine vision based inspection system. The results show that the contact resistance was strongly influenced by the contrast ratio of conductive particle rather than the number of conductive particles. Also, number of conductive particles whose contrast ratio is below 0.75 is crucial for determining the quality of the assembled samples. On the other hand, in the result of high temperature high humidity storage test, the contrast ratio of samples was increased. However, in the case of open-circuit samples after temperature humidity storage test, the number of conductive particles whose contrast ratio is above 0.75 was more than that of the closed-circuit samples.*

Key Words: COG Bonding (Chip On Glass 접합), ACF (이방성 도전 필름), Conductive Particle (도전볼), Contrast Ratio (음영비), Contact Resistance (접촉 저항)

### 1. 서론

최근 LCD 산업은 제품을 소형화 하는 동시에 가격을 낮추고 성능을 증가시키기 위하여 많은 노력을 하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 구동칩의 리드피치를 미세화하는 기술이 필수

적이며, 이를 구현하기 위해서 LCD 패널에 구동칩을 접합하는 접합 공정이 점차 중요해 지고 있다.<sup>1</sup> LCD 패널에 구동칩을 접합하는 공정은 TAB(Tape Automated Bonding)방식과 COF(Chip On Film)방식, COG(Chip On Glass)방식 등이 있다. 이중 COG 방식은 유리기관 위에 금속 도전볼을 산

포시킨 형태의 ACF(Anisotropic Conductive File: 이방성 도전 필름)을 중간 접착 매체로 사용해 구동칩을 LCD 패널에 바로 실장하는 공정으로<sup>2</sup> 다른 공정에 비해 패턴과 구동칩의 상호 연결의 길이가 짧아 전기적 특성이 우수하고 실장 면적을 최소화할 수 있다는 이점으로 인하여 최근 LCD 접합 공정에서 활발하게 사용되고 있다.

일반적으로 COG 공정은 크게 가압착(pre-bonding) 공정과 본압착(main bonding) 공정으로 나누어지며 접합 후 접합 결과를 평가하는 검사 공정을 거치게 된다. COG 공정의 접합 성능 평가에서 중요하게 고려해야 할 사항 중 하나는 LCD패널의 회로와 구동칩 간의 접촉 저항이며, 접촉 저항이 낮을수록 접합 성능이 우수하다고 볼 수 있다. 하지만 구동칩의 접촉 저항은 측정하기 까다롭기 때문에 모든 제품의 접촉 저항을 측정하는 전수 조사를 공정 중 수행하기는 불가능 하다. 그러므로 구동칩의 범프와 LCD 패널의 패턴 사이에서 압착되는 도전볼의 형태를 관찰하는 간접적인 방법을 사용하여 검사하고 있다. 이러한 COG검사 공정과 관련하여 Kim<sup>3</sup>등은 ACF를 사용한 리플로우(reflow) 공정에서 공정 압력과 도전볼의 형상과의 관계에 대한 연구를 수행하였으며, 불량 샘플 분석을 통해 최적 공정 압력을 도출하였다. 또한 Kwon<sup>4</sup> 등은 도전볼의 형상 변형과 접촉 저항과의 관계에 대한 연구를 수행하였다. 그 결과, 도전볼이 일정한 변형각을 유지 할 때 저항이 감소 된다고 하였다. Yim<sup>5</sup> 등은 압력과 같은 공정조건이 접촉 저항과 같은 성능에 미치는 영향을 분석하였으며 이에 따른 도전볼 개수와 변형에 대하여 연구하였다. 또한 COG 접합 공정의 ACF접합 부분은 고온에 일정시간 노출 될 경우 도전볼의 변형이 일어나 제품의 성능에 문제가 생길 수 있기 때문에 Rizvi<sup>6</sup> 등은 일정한 온도에 노출된 샘플들의 ACF 접합 부분에 발생하는 도전볼의 변형과 접촉 저항 불량에 대한 연구를 진행하였으며 Yin<sup>7</sup> 등은 높은 온도와 습도에 노출된 샘플의 접촉저항 변화를 관찰한 바 있다.

공정 후 범프에 압착된 도전볼은 LCD 패널의 금속 패턴 위에 위치하기 때문에 패턴에 가려져 일반적인 광학계로는 관찰할 수 없다. 그러므로 이러한 도전볼의 압착 형태는 미분간섭현미경(DIC microscope: Differential interference contrast microscope)을 사용하여 도전볼에 의해 변형된 LCD 패널의 압흔을 관찰하는 방법이 사용되고 있다. 하지만

현재 이와 같은 방법의 검사 공정은 관련된 연구의 부족으로 인하여 압흔을 관찰하고 범프당 관찰되는 도전볼의 개수를 분석하는 등 기본적인 단계에 머물러 있어 공정 중 획득하는 정보들을 효율적으로 사용하지 못하고 있으며 단순 참고 자료로만 사용되고 있다.

본 논문에서는 범프에 압착된 도전볼의 형상을 관찰하고, 접촉 저항과의 연관성을 실험을 통해 분석하였다. 실제 패널 생산에 사용되는 장비를 사용하여 공정 조건을 바꾸어 가며 샘플을 제작하였으며 제작된 샘플의 압착 형상을 미분간섭현미경을 이용하여 관찰하였다.

또한 고온 다습한 환경이 접합 성능과 도전볼 형상에 미치는 영향을 관찰하기 위해 85℃의 온도와 85%의 습도에 노출시키는 고온고습 방치 시험(high temperature high humidity storage test)을 수행하였고 고온고습 방치 시험 후 실험 샘플들의 저항 및 도전볼의 형상을 분석하여 실험 샘플들의 불량률과 도전볼의 압흔과의 상관관계를 분석하였다.

## 2. 실험장치

### 2.1 샘플 제작

연구에 사용된 샘플은 10개의 소스 구동칩 접합부와 3개의 게이트 구동칩 접합부를 가지고 있는 15.4in LCD패널을 사용하여 제작되었으며 이중 소스 구동칩 접합부만을 사용하여 샘플을 제작하였다. 제작에 사용된 구동칩의 크기는 18.8mm×1.31mm×300μm이며 역시 소스 구동칩 만을 사용하였다. ACF의 경우 Hitachi 사의 AC-808H를 사용하였으며 이 ACF의 권장 접합 조건은 온도는 170±10℃, 압력은 50~150MPa이고 접합 시간은 5 초 이상이다.

실험 샘플을 제작하기 위해 사용된 접합 장비는 5개의 접합 헤드를 가지고 있으며, 구동칩과 LCD패널의 공급, ACF의 부착까지 모든 작업이 자동화 되어 있다. ACF부착 정밀도는 ±50μm이며, 구동칩 부착 정밀도는 ±2μm이다. 튜팁의 온도정밀도는 ±1.9℃이다.

### 2.2 검사 장비

본 연구에서는 실험 샘플에 형성된 기포와 도전볼의 관찰을 위해 Fig. 1에 보이는 것과 같은 관찰 장비를 사용하였다. 이 장비는 CCD 카메라, 렌즈 경통(Navitara Zoom 6000), 3배율의 대물렌즈

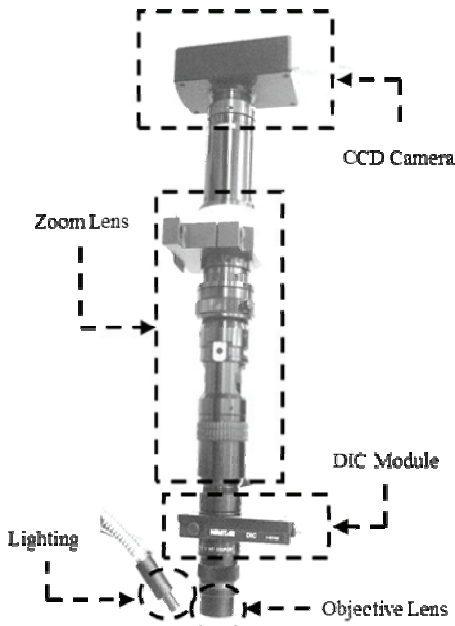


Fig. 1 DIC microscope

(Mitutoyo 375-037), 외부조명과 DIC모듈(Navitara DIC 1-63102)로 이루어져 있다. 구동칩의 범프에 압착된 도전볼은 일반 CCD 카메라만으로는 관찰할 수 없기 때문에, 미분간섭현미경의 회절로 인한 간섭현상을 이용하여 검출하였다. 미분간섭현미경을 통해 검출된 도전볼은 CCD카메라를 사용하여 8bit 이미지 파일로 획득 하였으며, LabVIEW 프로그램으로 분석 되어 각 도전볼의 음영비, 전체 개수와 위치 등의 데이터를 획득하였다.

**2.3 신뢰성 시험**

신뢰성 시험은 실험 샘플에서 기포의 면적과 개수, 도전볼의 음영비와 접착 저항의 데이터를 얻은 후에 진행하였다. 신뢰성 시험에 사용 된 장비는 (주제이오텍의 TH-180 제품이며, 실험 샘플은 측정 규격 KEA CG-6818에 따라 85%의 습도와 85°C의 온도에서 최대 500시간 동안 노출시킨 후 분석되었다.

**3. 결과**

**3.1 실험 조건 설정**

샘플을 제작하기 위한 공정 조건은 다양한 조건의 샘플을 얻기 위하여 접합 온도와 압력을 변

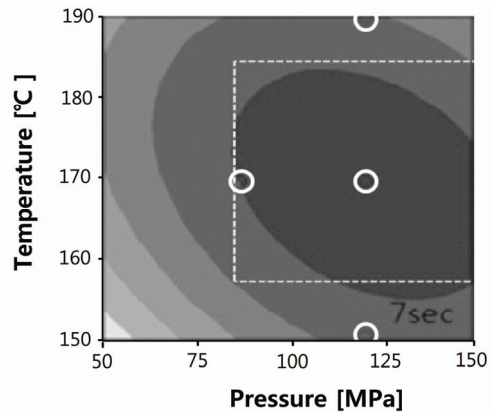


Fig. 2 Contour plot of response surface methodology

Table 1 Bonding Conditions

Test No.	ACF Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Time (Sec)
Test #1	150	120	7
Test #2	170	90	
Test #3	170	120	
Test #4	190	120	

수로 설정하고 반응표면분석법의 수행을 통해 선정되었다. 본 연구에서는 접착 저항에 중점을 두고 연구를 진행하였기 때문에 공정 조건 중 접합 강도에 주로 영향을 미친다고 알려져 있는<sup>8</sup> 접합 시간은 7초로 고정하고 실험계획법을 진행하였다. 변수 설정을 한 후 반응표면분석법을 수행한 결과 Fig. 2에 나타난 등고선 그래프를 얻을 수 있었으며, 이러한 결과를 바탕으로 그림에 표시한 것과 같은 네 가지 실험 조건을 선정하였다. 일반적으로 공정 최적조건으로 샘플을 제작하게 되면 샘플 간 저항의 변화가 크지 않기 때문에 최적조건 외에 접합 온도 및 압력에 변화를 주어 샘플을 제작하여 샘플간 저항이 다양하게 변할 수 있도록 하였다. 최종적으로 선정한 실험 조건은 Table 1에 나타나있으며, 각 조건당 36개의 샘플을 제작하여 분석하였다.

**3.2 도전볼 압흔과 접착저항과의 관계**

일반적으로 COG 공정으로 제작된 샘플은 공정 압력이 증가할수록 접착 저항은 줄어든다.<sup>9</sup> 이는 ACF내의 도전볼이 일정한 압력을 받아 구동칩의 범프에 압착되어 LCD 패널의 패턴과 구동칩을 통전시키는 역할을 하기 때문이다.<sup>10</sup> 특히 적절한 압

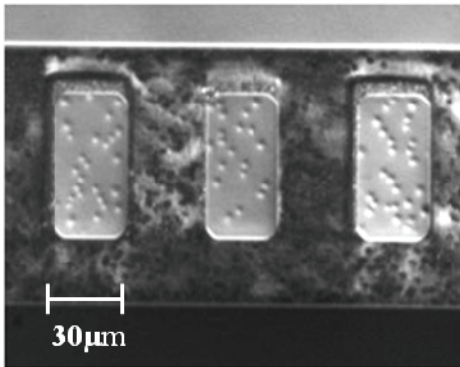


Fig. 3 Conductive particles on bump captured by DIC microscope

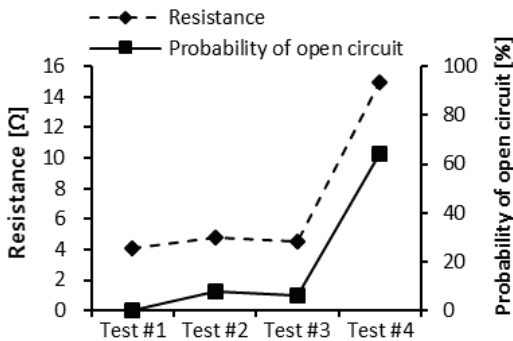
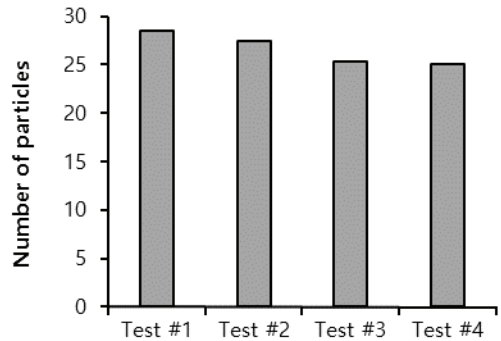


Fig. 4 Contact resistance and probability of open circuit of samples with different bonding conditions

력으로 도전볼 길부분의 코팅을 깨뜨려야 통전의 역할을 잘 수행 할 수 있다.<sup>11</sup> 그러므로 압착된 도전볼의 형상은 샘플의 접촉 저항과 직접적인 관련이 있다고 할 수 있다.<sup>4</sup>

Fig. 3에 미분간섭현미경을 사용하여 관찰한 압흔의 전형적인 영상을 나타내었다. 미분간섭현미경은 빛의 간섭을 이용하여 굴절률의 차이가 있는 시편을 입체감있게 보이게 하는 것으로 도전볼이 범프와 패턴사이에서 압착되면서 LCD 패널에 가해지는 국부적인 응력으로 인하여 굴절률이 바뀌게 되고 Fig. 3과 같은 그림을 관찰할 수 있게 된다. 본 연구에서는 관찰된 압흔의 가장 밝은 곳과 가장 어두운 곳의 밝기 비율값을 도전볼 압흔의 음영비(Contrast ratio)로 정의하여 압흔을 분류하였다.

Table 1에 제시한 네 개의 각 실험 조건으로 제작된 36개 샘플들의 평균 저항과 저항이 무한대로 측정되는 샘플의 비율인 단선률(probability of open circuit)을 Fig. 4에 나타내었다. 이 그래프에서 저항



(a) Mean number of conductive particles on bump

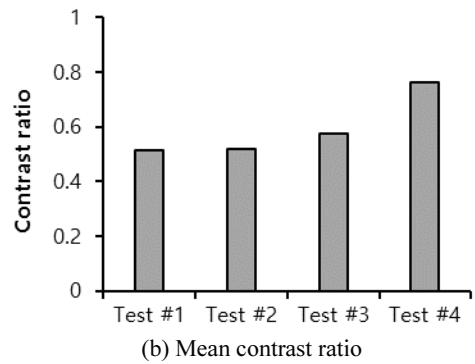


Fig. 5 Number of conductive particles on bump and contrast ratio

의 평균은 저항이 무한대로 측정되는 샘플을 포함하지 않은 결과이다. 그래프에서 관찰할 수 있듯이 Test #1~3의 경우 저항과 단선률 모두 큰 차이가 없었으며 양호한 값을 보이고 있었으나 Test #4 조건으로 제작한 샘플의 경우 평균저항과 단선률이 다른 샘플보다 현저하게 높은 것을 관찰할 수 있었다. 이는 접합 공정 시 높은 공정 온도가 접촉 저항에 영향을 주었기 때문이라 판단된다.<sup>6</sup> 접합 공정 시 높은 공정 온도는 구동칩의 변형을 유발하여 구동칩의 범프와 LCD패널의 패턴 간의 정렬 오차를 발생시키게 된다.<sup>12</sup> 이러한 현상으로 인해 도전볼의 압착이 제대로 이루어지지 않게 되고, 결과적으로 샘플의 접촉 저항에 불량이 생길 수 있다. 그러므로 높은 공정 온도 조건인 Test #4의 경우 접촉 저항 불량률이 매우 높게 나타나는 것이라 해석할 수 있다.

이러한 샘플들의 특징을 찾기 위하여 범프당 도전볼 압흔의 평균 개수 (Fig. 5(a))와 압흔의 평균 음영비 (Fig. 5(b))등을 계산하여 보았다. 압흔의 평균 개수는 Test #1~#4까지 점진적으로 감소하는 등

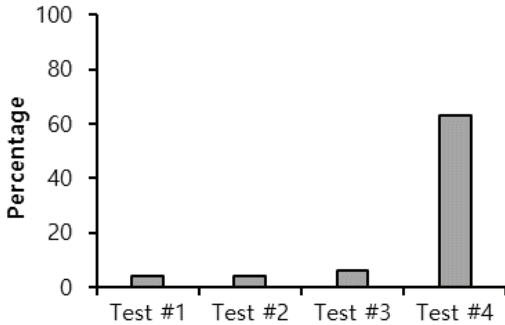
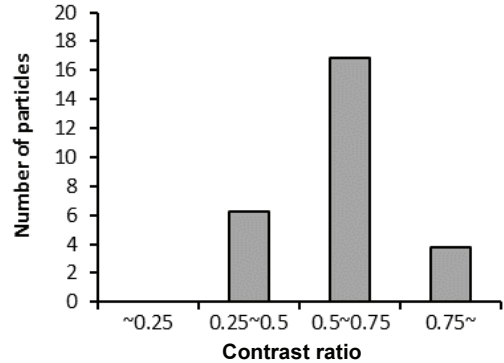


Fig. 6 Percentage of particles whose contrast ratio are higher than 0.75

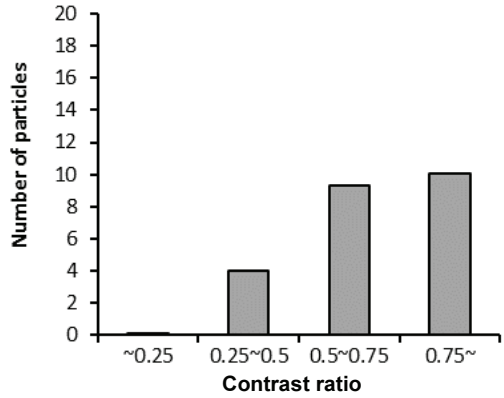
공정 조건마다 약간씩 변화하는 것을 관찰할 수 있었으나 큰 차이를 발견할 수는 없었으며 Test #3 과 #4의 경우 저항 및 단선률의 차이는 크지만 범프당 평균 도전볼의 개수는 크게 변화하지 않는 등 범프당 평균 도전볼의 개수는 샘플의 저항과 밀접한 관련이 없는 것으로 관찰 되었다. 하지만 음영비의 평균을 나타낸 Fig. 5(b)의 경우 범프당 도전볼의 평균 개수와는 달리 Test #1~#3까지는 0.5~0.6 사이의 값으로 비교적 큰 변화가 없었지만 #4의 경우 약 0.76으로 확연하게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 본 연구에서 정의한 도전볼 압흔의 음영비는 가장 어두운 부분의 밝기를 가장 밝은 부분의 밝기로 나눈 값이므로 밝은 부분과 어두운 부분의 밝기 차가 커질수록, 즉 압흔이 선명할수록 음영비가 작아지게 된다. 그러므로 평균 음영비 값이 커진다는 것은 선명한 압흔의 개수가 줄어드는 것이라 해석할 수 있다.

이러한 특징을 확인하기 위해서 전체 도전볼 개수에서 음영비가 0.75 이상인 도전볼의 개수가 차지하는 비율을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 관찰할 수 있듯이 Test #1~#3의 경우 음영비가 0.75 이상인 도전볼의 비율이 10% 이하로 매우 낮게 측정되었지만 Test #4의 경우 약 60%를 차지하는 등 확연한 차이를 관찰할 수 있었다.

이러한 특징은 단선된 샘플과 정상적인 샘플의 범프당 음영비 분포를 비교하여 나타낸 Fig. 7에 더욱 두드러지게 나타난다. Fig. 7(a)의 경우 정상 샘플의 음영비 분포, (b)의 경우 단선된 샘플의 음영비 분포를 나타낸다. Fig. 7에서 관찰할 수 있듯이 정상 샘플과 비정상 샘플 모두 범프당 약 25개의 압흔이 관찰되었지만 정상 샘플의 경우 음영비가 0.75 이하인 압흔이 평균적으로 약 20개 이상



(a)



(b)

Fig. 7 Contrast ratio distribution of normal samples (a) and open circuit samples (b)

존재하고 있는 반면 단선된 샘플의 경우 약 15개 미만의 압흔만이 음영비가 0.75 이하인 것으로 관찰되었으며 단선된 샘플의 경우 음영비 0.75 이상인 도전볼의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다.

### 3.3 신뢰성 시험의 영향

고온 다습한 환경이 샘플의 저항과 도전볼의 압흔 형상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 샘플을 85℃의 온도와 85%의 습도에 노출시키는 고온 고습 방치 시험을 최대 500시간 동안 수행하였다. 고온고습 방치 시험은 고온 다습한 조건에 샘플을 오랜 시간 노출하게 되므로 시험 중 ACF로 수분이 침투하거나 ACF가 팽창 되어 접촉 저항 불량 이 발생할 수 있으며,<sup>7,11</sup> 이러한 효과로 인하여 도전볼의 압흔도 변화할 수 있다.

Fig. 8에 고온고습 방치 시험 시간의 변화에 따른 샘플의 저항 및 단선률의 변화를 나타내었다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 시험 시간에 따라 저



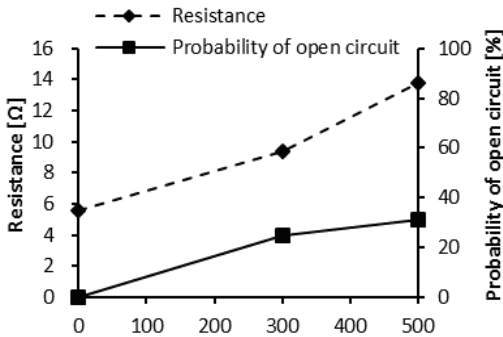


Fig. 8 Contact resistance and probability of open circuit after high temperature high humidity storage test

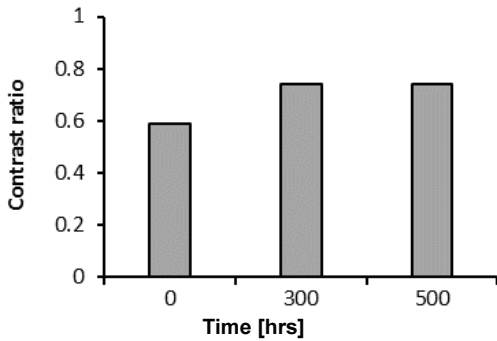


Fig. 9 Contrast ratio after high temperature high humidity storage test

항과 단선률 모두 증가하는 것을 관찰할 수 있었으며 500 시간이 지난 후 저항의 경우 초기에 약 6Ω이던 값이 14Ω으로 두 배 이상 상승하였으며 약 30%의 샘플이 단선된 것으로 관찰되는 등 샘플의 성능이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

시험 시간에 따른 압흔의 음영비 변화를 관찰해 본 결과(Fig. 9), 앞서 관찰한 것과 같이 저항 및 단선률이 증가함에 따라 평균 음영비가 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 이러한 결과는 단선된 샘플 및 정상적인 샘플의 결과가 섞여 있는 것이기 때문에 각 샘플의 특징과 압흔의 음영비에 미치는 고온고습 방치 시험의 영향을 정확하게 파악하기 힘들었다.

고온고습 방치 시험으로 인한 도전불 압흔의 변화를 정확하게 관찰하기 위하여 고온고습 방치 시험 후 저항이 무한대로 측정되는 샘플과 고온고습 방치 시험 후에도 정상인 샘플로 나누어 음영비의 변화를 비교하여 보았다(Fig. 10, 11). 고온고습 방치 시험에 사용된 전체 32개의 샘플 중에서

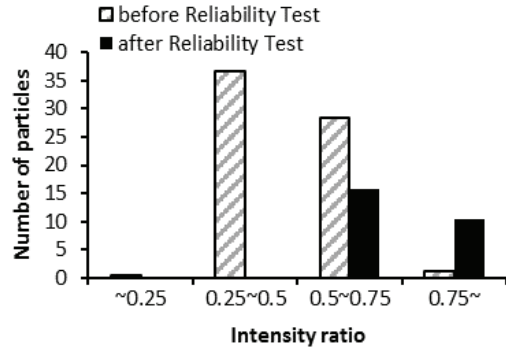


Fig. 10 Changes in contrast ratio distribution of conductive particles of samples remaining closed after high temperature high humidity storage test

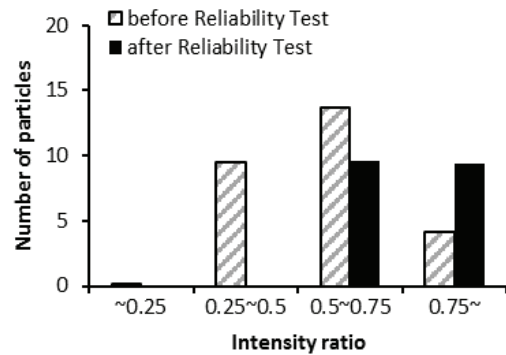


Fig. 11 Changes in contrast ratio distribution of conductive particles of samples which has been newly opened after high temperature high humidity storage test

26개의 샘플이 시험 전 저항이 정상적으로 측정되었으며 정상이었던 샘플 중 9개의 샘플이 시험 후 저항이 무한대로 측정, 즉 단선되었다. 고온고습 방치 시험 후에도 저항이 정상적으로 측정된 샘플의 경우 고온고습 방치 시험 전 도전불 음영비가 0.25~0.5 사이인 것들이 가장 많이 분포하고 있었으나(Fig. 10) 시험 후 단선된 샘플들은 검출된 도전불의 개수가 정상 샘플에 비하여 적을 뿐 아니라 음영비가 0.5~0.75 사이인 도전불이 가장 많았으며 0.75 이상인 도전불도 상대적으로 많이 분포하고 있는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 11). 고온고습 방치 시험 후 음영비는 두 경우 모두 전체적으로 증가하였는데 단선된 경우에는 10개 내외의 압흔만이 음영비가 0.75 이하였으나 고온고습 방치

시험 후에도 정상적으로 저항이 측정된 샘플의 경우 음영비가 0.75 이하인 압흔이 약 15개 정도 존재하는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 음영비가 낮은 도전볼이 많을수록 단선될 확률이 낮으며 샘플의 저항이 증가하거나 단선되는 경우 도전볼의 음영비 또한 높아진다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 COG 접합 공정의 접합 성능을 평가하기 위한 검사공정 중 관찰되는 도전볼의 압흔과 저항 및 단선률과의 관계를 분석하였다. 이를 위하여 실험계획법으로 4가지의 실험 조건을 선정하고 샘플을 제작하여 저항 및 압흔을 관찰하고 분석하였다. 특히 압흔을 나누는 기준으로 압흔의 가장 밝은 곳과 가장 어두운 곳의 밝기의 비율값으로 정의되는 음영비를 사용하여 분류하였다.

실험 결과 범프당 압흔의 개수보다 압흔의 평균 음영비와 음영비가 0.75 이상인 압흔의 비율 등이 샘플의 저항 및 단선률에 더 밀접하게 연관되어 있다는 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 정상 샘플과 단선된 샘플의 음영비 분포를 비교한 결과 단선 샘플의 경우, 음영비가 0.75 이상인 도전볼의 개수가 정상 샘플보다 현저하게 많은 것을 관찰할 수 있었다. 고온고습 방치 시험 전후의 샘플을 분석한 결과, 고온고습 방치 시험 후 도전볼 압흔의 음영비는 전체적으로 증가하였지만 단선된 샘플의 경우 음영비가 0.75 이하인 압흔의 개수가 10개 미만으로 감소하였으나 저항이 정상적으로 측정된 샘플의 경우 0.75 이하인 압흔의 개수가 15개 정도를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 COG 검사 공정 중 관찰된 도전볼 압흔과 저항과의 관계는 압흔의 범프당 개수보다는 음영비의 분포가 더욱 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났으며 특히 음영비가 0.75 이하인 도전볼들이 중요하게 작용한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 검사 공정 시 압흔을 검출하는 기준으로 사용될 수 있을 것이다. 즉, 음영비 0.75 이상의 압흔은 검출 대상에서 제외한다면 보다 정확한 검사 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

#### REFERENCES

1. Kristiansen, H. and Liu, J., "Overview of Conductive

Adhesive Interconnection Technologies for LCDs," IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, Vol. 21, No. 2, pp. 208-214, 1998.

2. Kwon, S. H., Kwon, S. R., Ko, D. J., Park, K. S., and Yang, S. H., "The Experimental Validation for the Optimization of Heating Tool Head for Minimized Temperature Distribution on Bonding Surface," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 6, pp. 7-12, 2008.
3. Kim, J. W., Moon, W. C., and Jung, S. B. "Effects of Bonding Pressure on the Thermo-Mechanical Reliability of ACF Interconnection," Microelectronic Engineering, Vol. 83, No. 11-12, pp. 2335-2340, 2006.
4. Kwon, W.-S. and Paik, K.-W., "Experimental Analysis of Mechanical and Electrical Characteristics of Metal-Coated Conductive Spheres for Anisotropic Conductive Adhesives (ACAs) Interconnection," IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 29, No. 3, pp. 528-534, 2006.
5. Yim, M. J., Hwang, J., and Paik, K. W., "Anisotropic Conductive Films (ACFs) for Ultra-Fine Pitch Chip-on-Glass (COG) Applications," International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 27, No. 1, pp. 77-84, 2007.
6. Rizvi, M. J., Bailey, C., and Lu, H., "Failure Mechanism of ACF Joints under Isothermal Ageing," Microelectronics Journal, Vol. 39, No. 9, pp. 1101-1107, 2008.
7. Yin, C. Y., Lu, H., Bailey, C., and Chan, Y. C., "Effects of Moisture Absorption on Anisotropic Conductive Films Interconnection for Flip Chip on Flex Applications," Microelectronic Engineering, Vol. 107, pp. 17-22, 2013.
8. Chen, K.-C., Li, H.-T., Hsu, C.-W., and Yang, C.-P., "Properties and Reliability Test of Anisotropic Conductive Film in Chip on Glass Package," Proc. of the IEEE on Electronics Systemintegration Technology, Vol. 1, pp. 51-55, 2006.
9. Kim, J.-W., Lee, Y.-C., Kim, D.-G., and Jung, S.-B., "Reliability of Adhesive Interconnections for Application in Display Module," Microelectronic Engineering, Vol. 84, No. 11, pp. 2691-2696, 2007.
10. Yin, C. Y., Alam, M. O., Chan, Y. C., Bailey, C., and Lu, H., "The Effects of Reflow Process on the

Contact Resistance and Reliability of Anisotropic Conductive Film Interconnection for Flip Chip on Flex Applications,” *Microelectronics Reliability*, Vol. 43, No. 4, pp. 625-633, 2003.

11. Kim, H. J., “Study on Bubble Formation in Rigid-Flexible Substrates Bonding using Anisotropic Conductive Films (ACFs) and Their Effects on the ACF Joint Reliability,” Ph.D. Thesis, Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2007.
12. Hong, S. J., “Design and Fabrication of Complex Inspection System in FPD,” Ph.D. Thesis, Department of Physics, Dankook University, 2008.