Journal of the Microelectronics & Packaging Society
Vol. 15, No. 2, p. 7-15. 2008

ACF를 이용한 CCM (Compact Camera Module)용 COF(Chip-On-Flex) 실장 기술 및 신뢰성 연구

정창규 · 백경욱*

한국과학기술원 신소재공학과

A Study on the Assembly Process and Reliability of COF (Chip-On-Flex) Using ACFs (Anisotropic Conductive Films) for CCM (Compact Camera Module)

Chang-Kyu Chung and Kyung-Wook Paik*

Dept. of Materials Science and Engineering, KAIST

초 록: 본 논문에서는 ACF를 이용한 CCM용 COF 어셈블리의 실장 기술을 연구하고 COF 어셈블리의 신뢰성 분석을 수행하였다. 열팽창계수, 모듈러스, 유리전이온도 등 경화 후 ACF의 열-기계적 물성들을 분석하였으며, ACF의 경화거동 결과를 바탕으로 COF 접합공정 온도 및 시간을 최적화 하였으며, 도전입자의 변형 관찰 및 전기적 접촉 저항 측정을 통해 본딩 압력에 대한 최적화를 수행하였다. 또한 ACF 물질 특성이 COF 어셈블리의 신뢰성에 미치는 영향을 알아보기 위해 열싸이클 시험, 고온 유지 시험, 고온고습 시험을 수행하였다. 신뢰성 시험 수행 후 ACF를 이용한 COF 어셈블리의 신뢰성에 가장 문제가 되고 있는 점은 열-싸이클 신뢰성 시험에서 나타난 ACF joint의 접촉 저항 증가 문제였고, 이는 ACF 자체의 열-기계적 물성과 밀접한 관계가 있음을 확인하였다.

Abstract: In this paper, the Chip-On-Flex (COF) assembly process using anisotropic conductive films (ACFs) was investigated and the reliability of COF assemblies using ACFs was evaluated. Thermo-mechanical properties of ACFs such as coefficient of thermal expansion (CTE), storage modulus (E'), and glass transition temperature (T_g) were measured to investigate the effects of ACF material properties on the reliability of COF assemblies using ACFs. In addition, the bonding conditions for COF assemblies using ACFs such as time, temperature, and pressure were optimized. After the COF assemblies using ACFs were fabricated with optimized bonding conditions, reliability tests were then carried out. According to the reliability test results, COF assemblies using the ACF which had lower CTE and higher T_g showed better thermal cycling reliability. Consequently, thermo-mechanical properties of ACFs, especially T_g, should be improved for high thermal cycling reliability of COF assemblies using ACFs for compact camera module (CCM) applications.

Keywords: Anisotropic Conductive Film, Chip-On-Flex, Coefficient of thermal expansion, Storage modulus, Glass transition temperature, Contact resistance, Peel adhesion strength, Reliability

1. 서 론

ACF (Anisotropic Conductive Film)는 막의 두께 방향으로는 도전성, 면 방향으로는 절연성을 갖는 전기 이방성 및 접착성을 갖는 고분자 물질로, 일반적으로 니켈, 금/니켈/폴리머(Ni, Au/Ni/polymer)

*Corresponding author
E-mail: kwpaik@kaist.ac.kr

등의 도전 입자들과 열경화성, 열가소성 수지의 혼합물로 이루어져 있다.[1] 이러한 ACF는 저온공정(150~200°C), 저가의 재료, 공정의 용이성, 미세 피치 가능성(35 mm 이하) 등의 장점으로 인해 COG(Chip-On-Glass), COB(Chip-On-Board), COF (Chip-On-Flex) 등과 같은 플립칩(flip-chip) 접속 기술의 접속재료로 평판디스플레이 구동회로 IC 실장 및 반도체 패키지용 플립칩 실장 등에 널리 사용되고 있다.[2-5]

ACF를 이용한 플립칩 접속 기술 중 COF 기술은 CMOS 이미지 센서 시장 및 모바일 카메라 폰, 디지털 카메라 등의 카메라 모듈 시장이 성장함에 따라 CCM(Compact Camera Module)용 CMOS 이미지 센서 칩의 접속 방식으로 많이 사용되고 있는 추세이다. COF 기술은 이미지 센서의 앞면(Active side)이 FPCB(Flexible Printed Circuit Board)의 전극에 직접 플립칩 본딩되므로, 렌즈 경통부분을 포함한 전체 모듈의 높이를 낮출 수 있어 경박단소한 모듈을 제조할 수 있다(Fig. 1).[5] 이러한 CCM용 COF 어셈블리의 전기적, 기계적 특성 및 신뢰성은 접속재료인 ACF의 경화 특성, 열-기계적 물성 및 플립칩 접합 공정 변수(온도, 시간, 압력)에 영향을 받는다. 따라서 ACF의 물성 분석 및 접합 공정 변수 최적화는 COF 어셈블리의 특성 및 신뢰성에 있어 매우 중요하다.

본 연구에서는 경화 온도에 따른 ACF의 경화거동을 분석했고, 열팽창계수(coefficient of thermal expansion, CTE), 모듈러스(storage modulus, E'), 유리전이온도(glass transition temperature, T_g) 등의 경화 후 ACF의 열-기계적 물성들을 측정하였다. ACF의 경화거동 결과를 바탕으로 COF 접합공정 온도 및 시간을 최적화 하였으며, 도전입자의 변형 정도 관찰 및 전기적 접촉 저항 측정을 통해 본딩 압력에 대한 최적화를 수행하였다. 또한 ACF 물질 특성이 COF 어셈블리의 신뢰성에 미치는 영향을 알아보기 위해 열-싸이클 시험(-40~ +150°C), 고온유지시험(150°C), 고온고습 시험(85°C/85%RH)을 수행하였다.

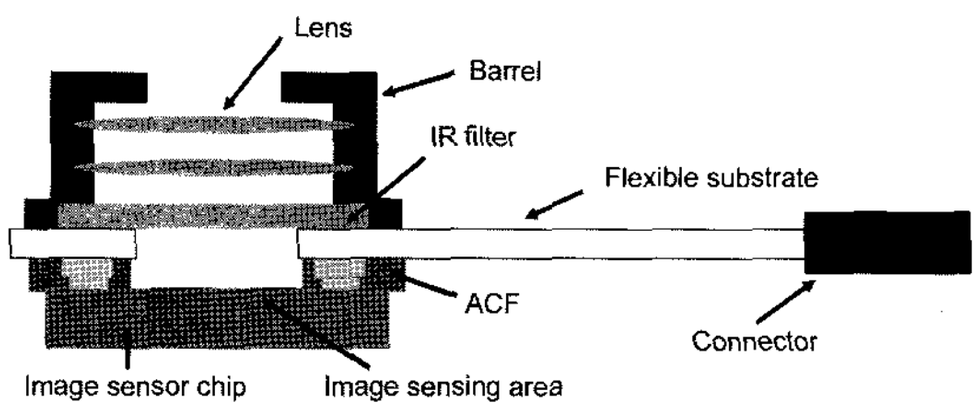


Fig. 1. Cross-sectional structure of COF assembly using ACF for CCM

실험 방법

2.1. ACF 재료 및 물질 특성 평가

본 실험에 사용된 두 종류의 ACF 재료들(ACF-A, ACF-B)은 COF 접속용 ACF 재료들로서 에폭시 수지를 기반으로 하며, 모두 5 mm의 지름을 갖는 금/니켈/폴리머(Au/Ni/polymer)의 도전 입자들을 함유하고 있다. ACF-B의 경우 ACF 내부에 도전입자 외에 다량의 silica 입자들을 함유하고 있다 (Table 1).

ACF 재료들의 기본적인 경화특성을 DSC (Differential Scanning Calorimeter, Perkin-Elmer DSC7) 장비의 dynamic scan, isothermal scan 두 가지 mode를 통하여 분석하였다. Dynamic scan의 경우 40~200°C 온도 구간에서 승온 속도 10°C/min로 ACF 재료들의 발열 onset 온도와 peak 온도를 측정하였고, isothermal scan의 경우 160, 180, 200°C 온도에서 경화가 일어나는 시간을 측정하였다.

ACF 재료들의 열-기계적 물성 평가를 위해 ACF

Table 1. Specification of ACFs and test vehicles

ACFs	Conductive filler	5 μm diameter Metal coated polymer ball
	Non-conductive filler	ACF-A(-), ACF-B(SiO_2)
	Thickness	ACF-A(35 μm), ACF-B(50 μm)
	Punched dimensions	6 mm × 6 mm (inner) 9 mm × 9 mm (outer)
Chip	Dimension	8 mm × 8 mm × 0.68 mm
	Bump material	Au (electro-plated)
	Bump size	100 μm × 100 μm
	Bump height	20 μm
	Image sensing area	4.5 mm × 4.5 mm
Flexible substrate	Base material	PI (25 μm)
	Electrode material	Cu/Ni/Au (12/0.5/0.1 μm)
	Punched area for image sensing	4.6 mm × 4.6 mm

재료들을 200°C에서 30초 동안 경화시켰으며, TMA (Thermo-Mechanical Analyzer) 장비를 이용하여 열팽창계수, 모듈러스, 유리전이온도를 측정하였다.

2.2. Test Vehicles 준비 및 COF 접합공정

2.2.1. Test Vehicles

실험에 사용된 이미지 센서 칩은 Si wafer에 1000 Å 두께의 SiO_2 증착 및 패터닝, 1 mm 두께의 Al 증착 및 패터닝, 1000 Å 두께의 Si_3N_4 증착 및 패터닝, 전해도금 방식을 이용한 Au 범프 형성 공정을 통해 제작되었다. 제작된 칩의 크기는 8 mm ×8 mm×0.68 mm이며, 칩 외각을 따라 80개의 Au 범프가 형성되어있다. Au 범프의 크기는 100 μm ×100 μm×20 μm이다. 테스트 칩은 CCM용 COF 어셈블리 적용을 위해 칩 중앙에 가상의 이미지 센싱 영역을 갖는다.

실험에 사용된 연성기판(FPCB)은 25 μm두께의 폴리이미드(polyimide, PI)와 위에 0.5 μm두께의 Ni/0.1 μm두께의 Au 층을 갖는 12 μm두께의 Cu 전극으로 이루어져 있다. FPCB는 빛이 칩에 이미지 센싱 영역으로 전사될 수 있도록 하기 위해 펀칭된 영역을 가지고 있으며, Cu 전극들은 ACF속의 도전 입자들을 통해 접속되는 범프-전극 간의 접촉 저항(Contact resistance)을 측정하기 위해 패터닝 되었다. 실험에 사용된 칩과 연성기판의 디자인과 상세 설명은 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다.

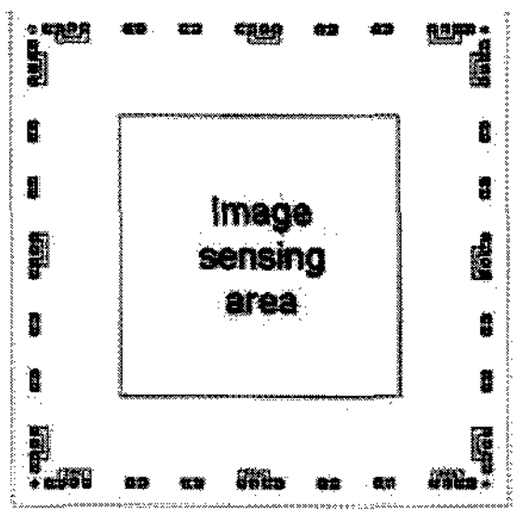
2.2.2. ACF 펀칭 및 COF 접합공정

실험에 사용된 ACF 재료들은 빛이 칩의 이미지 센싱 영역에 전사되도록 하기 위해 안쪽은 6 mm ×6 mm의 크기로, 바깥쪽은 9 mm×9 mm의 크기로 펀칭 되었다.

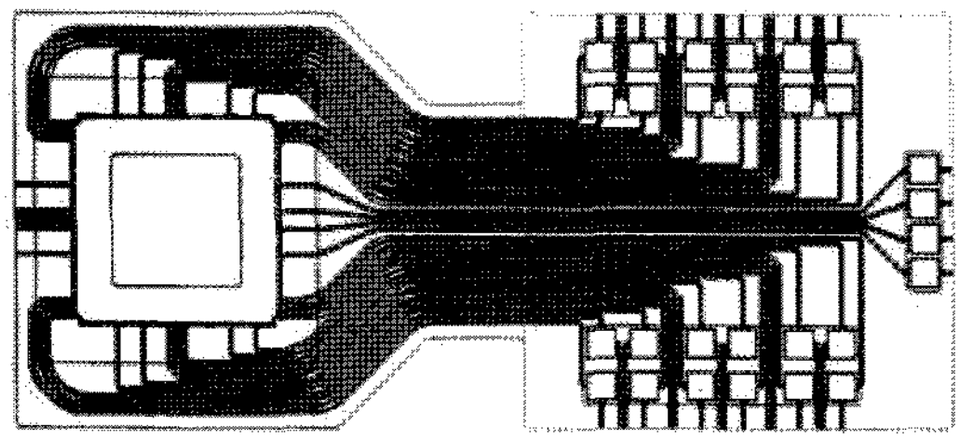
펀칭된 ACF를 이용한 COF 접합공정은 Fig. 3에 나타내었다. 먼저 펀칭된 ACF를 연성기판 위에 가압착 시키고, 플립칩 본더를 이용하여 칩 범프와 연성기판 전극을 정렬 시킨 후 열압착 본딩(thermo-compression bonding)을 수행하였다. 본딩 압력은 25, 50, 75, 100 MPa였으며, 칩 표면의 온도가 200°C를 유지된 상태에서 본딩을 수행하였다. 본딩 시간은 ACF-A의 경우 16초, ACF-B의 경우 20초였다. 본딩 공정 후, 4-point probe 방식(Fig. 4)을 통해 접촉 저항을 측정하였고, SEM(Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 접합 후의 접속부위의 단면관찰을 수행하였으며, 90° peel test를 통해 ACF와 연성기판 간의 접착력을 측정하였다.

2.3. 신뢰성 시험

ACF 물질 특성이 COF 어셈블리의 신뢰성에 미치는 영향을 알아보기 위해 열-싸이클 시험, 고온



(a)



(b)

Fig. 2. Designs of (a) test chip and (b) flexible substrate

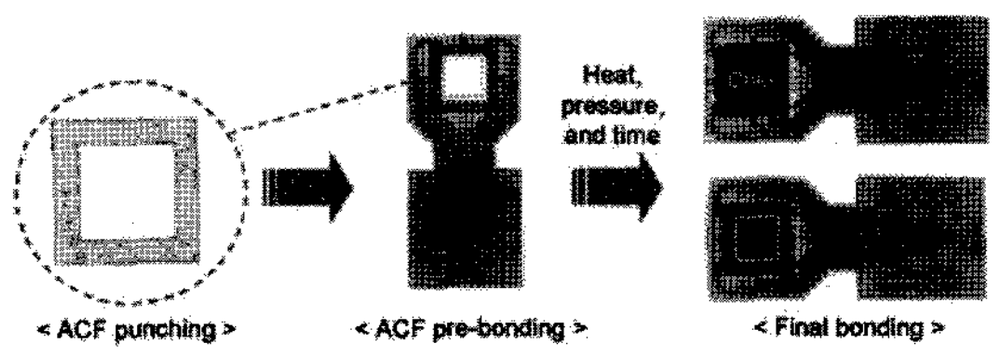


Fig. 3. COF bonding process using the punched ACF

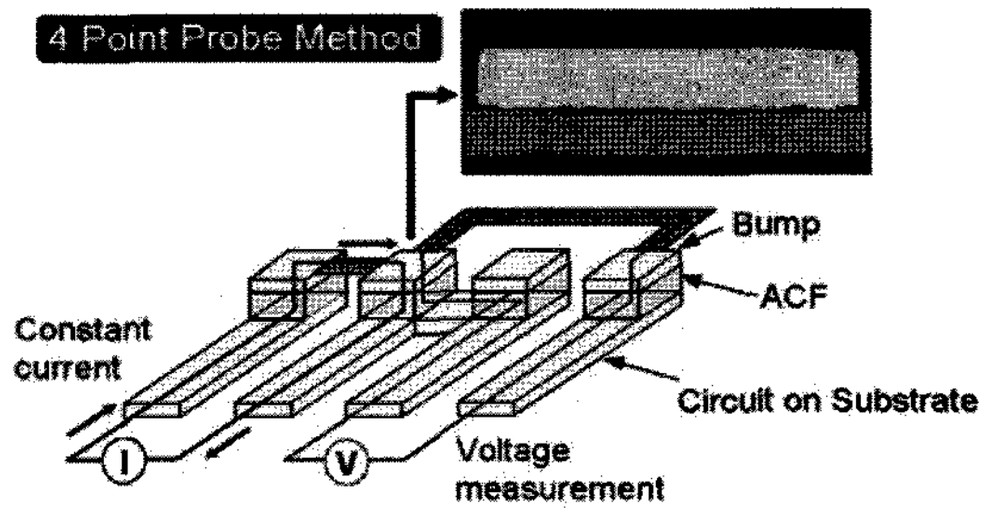


Fig. 4. The contact resistance measurement of an ACF joint using a 4-point probe method

유지 시험, 고온고습 시험을 수행하였다. 열-싸이클 시험은 -40~+150°C의 온도구간 동안 최고 최저 온도에서 15분 간 유지되는 조건으로 1000 싸이클 이상 수행되었다. 고온 유지 시험은 150°C 온도에서 1000시간 이상 수행되었으며, 고온고습 시험의 경우 85°C의 온도와 85%RH의 습도 조건으로 1000 시간 이상 수행되었다. 신뢰성 시험이 진행되는 동안 COF 어셈블리의 범프 접촉 저항이 측정되었으며, 신뢰성 시험 이후의 ACF와 연성기판 간의 접착력 변화를 90° peel test를 통해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. ACF 재료 특성 평가

3.1.1. ACF 경화 거동

Fig. 5는 DSC dynamic scan을 통해 두 종류의 ACF의 경화온도를 측정한 결과이다. 경화가 시작되는 onset 온도는 ACF-A와 ACF-B 모두 105~110°C 정도로 비슷한 경화시작온도를 나타냈다. 경화가 가장 활발하게 일어나는 온도인 peak 온도는 두 종류 ACF 모두 120°C 정도로 측정되었다. 이 결과를 토대로 ACF의 가압착 공정 온도는 경화가 일어나지

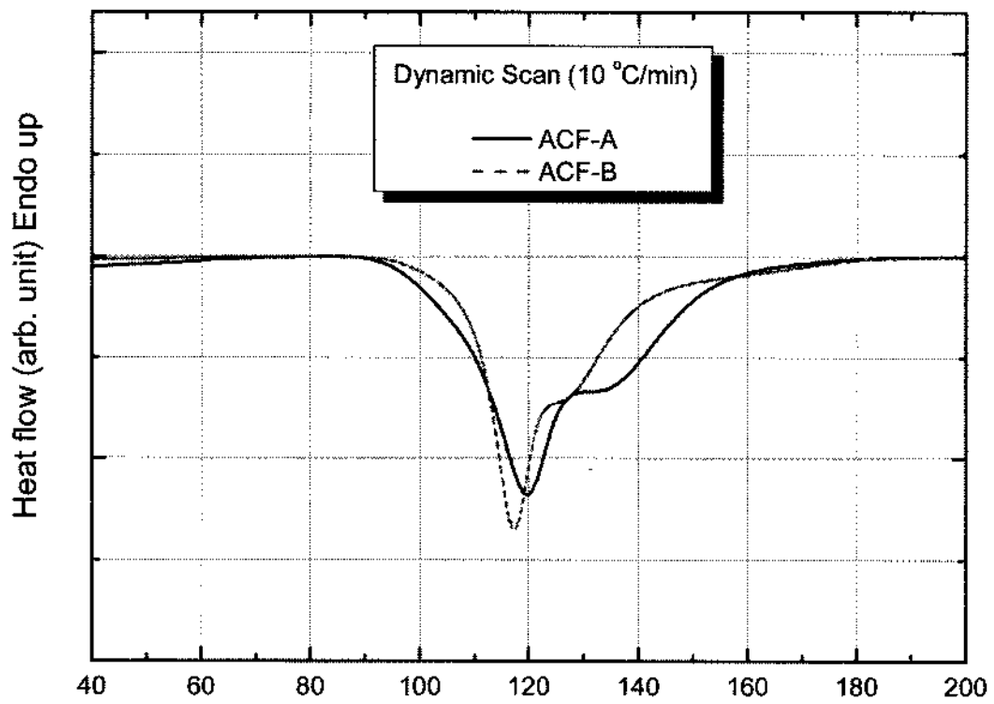


Fig. 5. DSC dynamic scan results of ACFs

Table 2. Summary of isothermal scan results of ACFs

ACF	Isothermal cure time (sec)		
	160°C	180°C	200°C
ACF-A	18.3	15.7	10.1
ACF-B	19.9	16.5	14.2

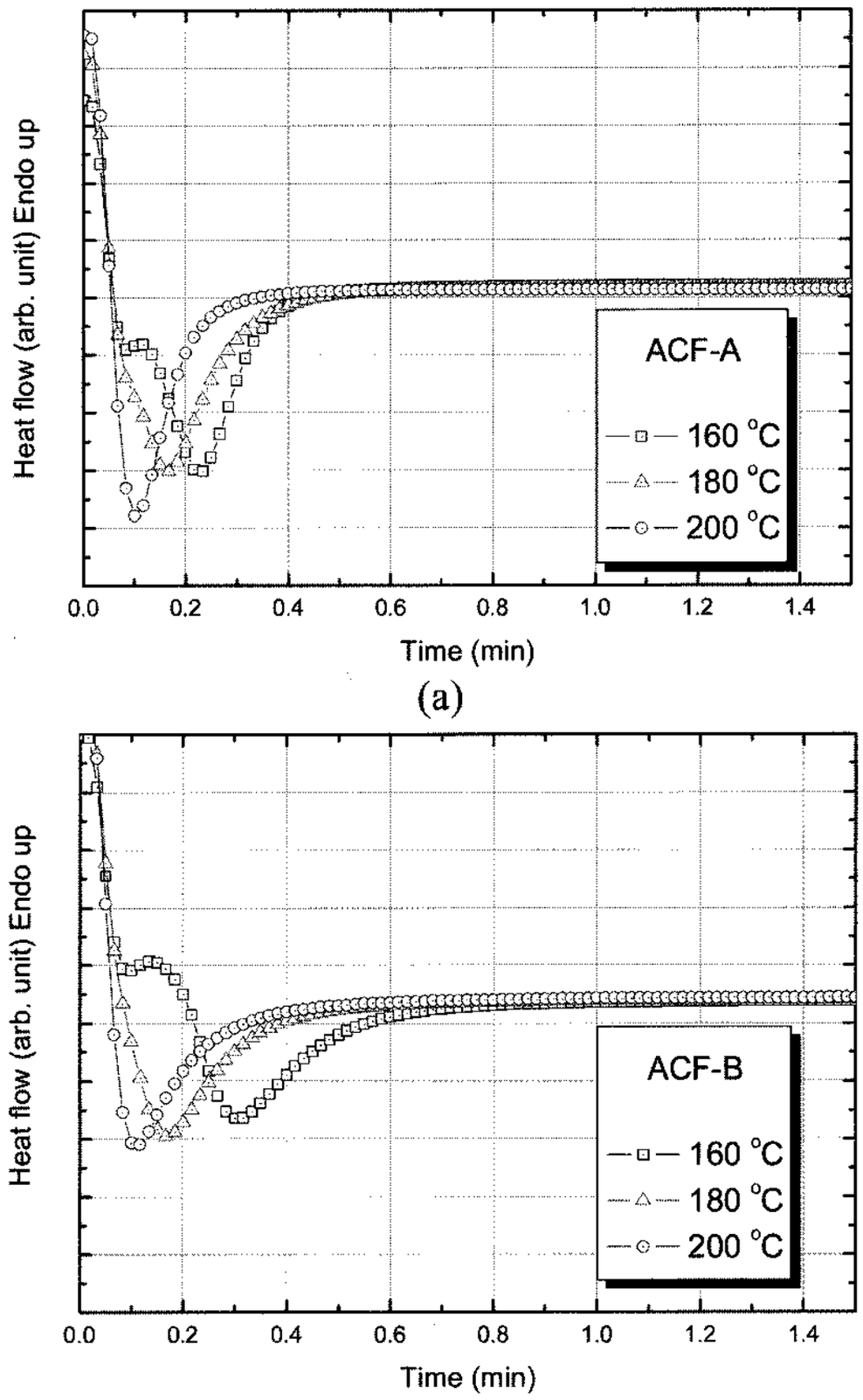


Fig. 6. DSC isothermal scan results of ACFs; (a) ACF-A, (b) ACF-B

않는 온도인 80°C로 결정되었다. Fig. 6은 두 종류의 ACF를 DSC isothermal scan을 통해 160, 180, 200°C 온도에서 경화가 일어나는 시간을 측정한 결과이며, Table 2는 90% 이상 경화가 진행되었을 때의 경화시간을 보여준다. DSC isothermal scan 결과에서 보는 바와 같이 경화시간은 온도에 민감하며 경화온도가 증가할수록 경화시간은 감소하였다. 본 실험에서는 본딩 시간 단축을 위해 200°C에서 본딩 공정을 수행하고 200°C에서 측정된 DSC isothermal scan 시간 값을 기준으로 하여 완전한 경화를 이루기 위해 6초 정도 시간을 더 주는 본딩시간을 설정하였다.

3.1.2. ACF 재료들의 열-기계적 물성 평가

Fig. 7은 두 종류의 ACF의 온도에 따른 길이 변화 결과이다. ACF는 열경화성 고분자이기 때문에

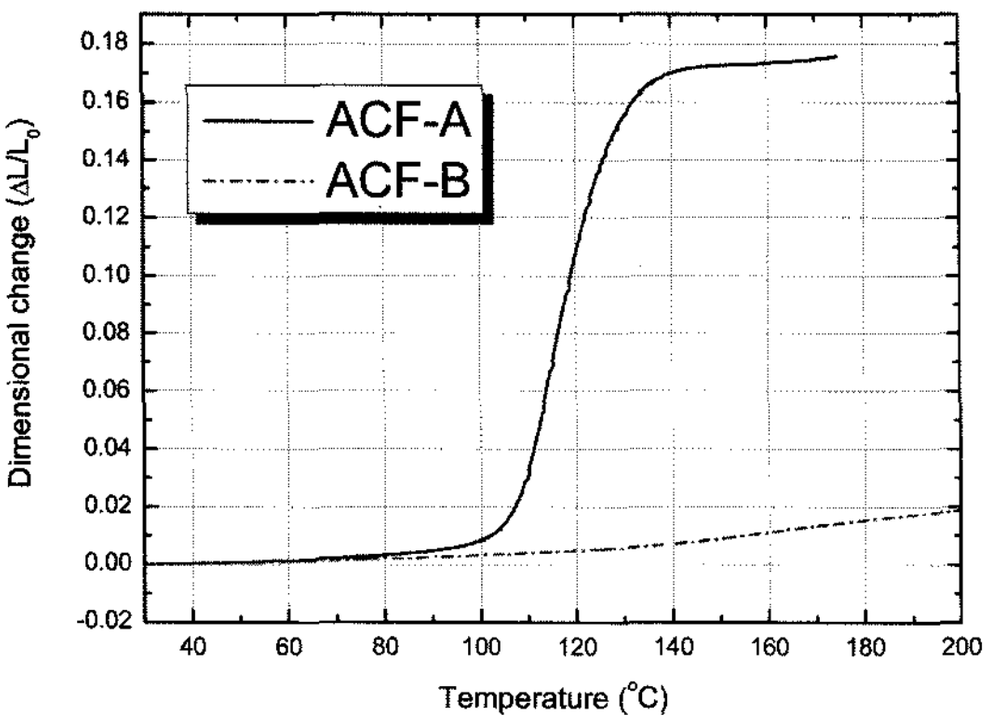


Fig. 7. Dimensional change curves of ACFs as a function of temperature

경화 후에 유리전이온도를 전후하여 두 개의 열팽창계수 값(α_1, α_2)을 가진다. 온도에 따른 길이 변화 결과에서 보여지듯이, ACF 내부에 silica 입자들을 함유하고 있는 ACF-B의 경우 ACF-A에 비해 낮은 열팽창계수 값을 가졌다. 두 ACF재료들의 α_1, α_2 값들을 Table 3에 정리하였다.

Fig. 8은 두 ACF의 온도에 따른 모듈러스 및 loss tangent (tan δ) 변화를 보여준다. 온도가 올라갈수록 각각의 ACF 재료들의 모듈러스는 점차 감소하였고, 유리전이온도 후에 급격한 감소 현상을 보여주었다. Silica 입자를 함유한 ACF-B가 여타의 비전도성 입자를 함유하지 않은 ACF-A에 비해 높은 모듈러스 값을 보여주었다. ACF의 유리전이온도는 loss tangent의 peak 값에서의 온도로 정의된다. Fig. 8에서 보여지듯이, ACF-B의 유리전이온도가 ACF-A에 비해 약 38°C 정도 높았다. 유리전이온도 이상에서 ACF는 매우 rubbery한 특성을 갖기 때문에 COF 어셈블리를 구성하는 칩과 기판을 잡아주는 접착력이 약해질 수 있고, 이에 따라 각각의 범프 joint에서 불량이 발생할 확률이 높아질 수 있다. 따라서 높은 유리전이온도를 갖는 ACF가 좋은 열-싸이클 신뢰성을 보여줄 것으로 판단된다.

3.2. ACF를 이용한 COF 접합공정

본 실험에서는 COF 접합공정인자 중 전기적 저항에 가장 큰 영향을 미치는 본딩 압력을 25, 50, 75, 100 MPa로 변화시키면서 접합공정을 수행하였다. 본딩 온도는 200°C였으며, 본딩 시간은 DSC isothermal scan 결과를 이용하여 ACF-A의 경우 16초, ACF-B의 경우 20초로 수행되었다.

Fig. 9은 본딩 압력에 따른 ACF joint의 접촉 저

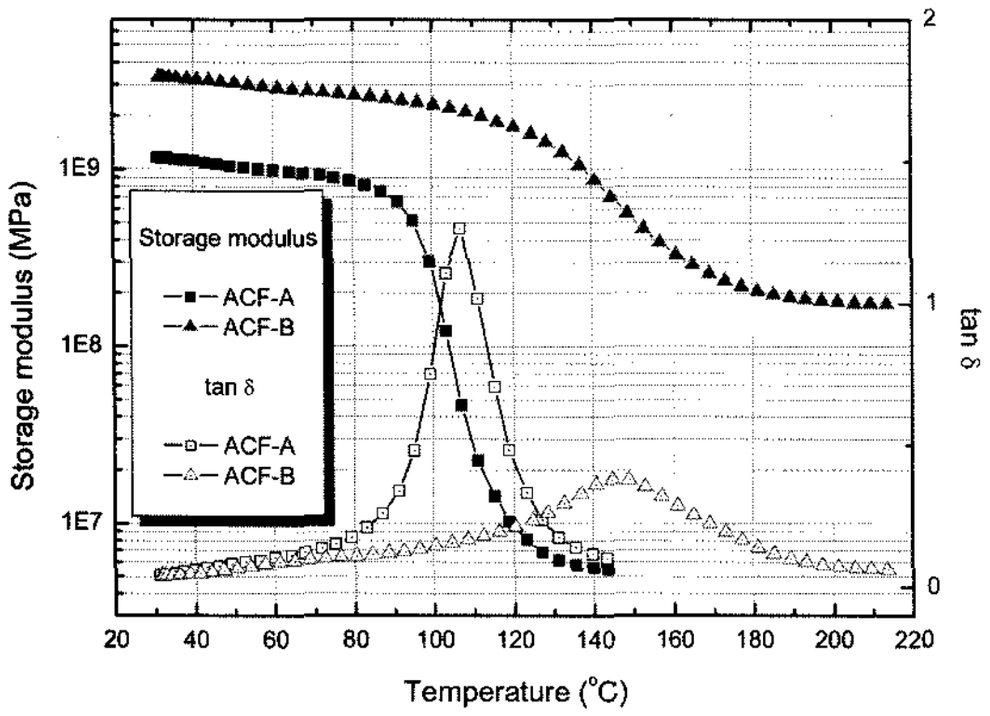


Fig. 8. Storage modulus and loss tangent curves of ACFs as a function of temperatures

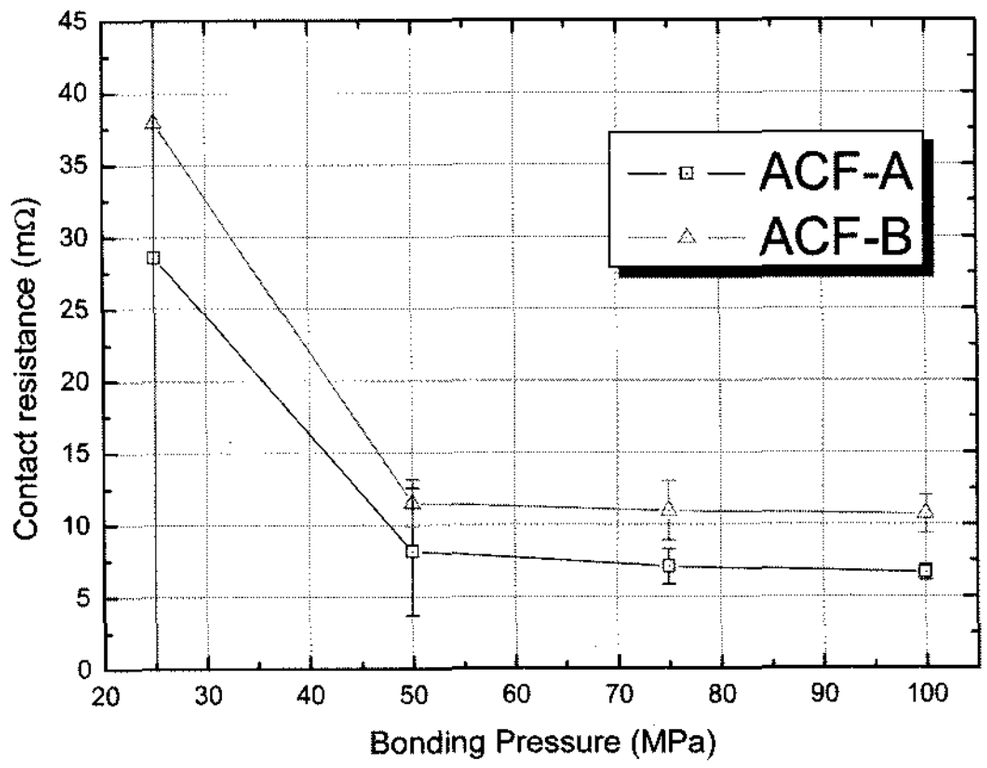


Fig. 9. Contact resistances of ACF joints as a function of bonding pressure

Table 3. Thermo-mechanical properties of ACFs

ACF	α_1 (below T_g)	α_2 (above T_g)	Modulus @ R.T.	T_g (°C)
ACF-A	93.2 ppm/ °C	7554 ppm/ °C	1.2 GPa	107
ACF-B	44.0 ppm/ °C	213.0 ppm/ °C	3.3 GPa	145

항 변화를 보여준다. ACF-A와 ACF-B 모두 본딩 압력이 증가할수록 접촉 저항 값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 25 MPa의 본딩 압력 하에서는 ACF-A의 경우 평균적으로 약 29 mΩ의 높은 접촉 저항 값을 보여주었고, ACF-B의 경우도 ACF-A와 마찬가지로 약 38 mΩ의 높은 접촉 저항 값을 보여주었다. 또한 ACF-A의 경우 75 MPa 이상의 본딩 압력에서 10 mΩ 이하의 안정적인 접촉 저항 값을 보여주었고, ACF-B의 경우 50 MPa 이상의 본딩 압력에서 10 mΩ에 근접하는 안정적이고 낮은 접촉 저항 값을 보여주었다.

Fig. 10과 Fig. 11은 본딩 압력에 따른 ACF joint의 단면을 SEM을 이용하여 관찰한 결과이다.

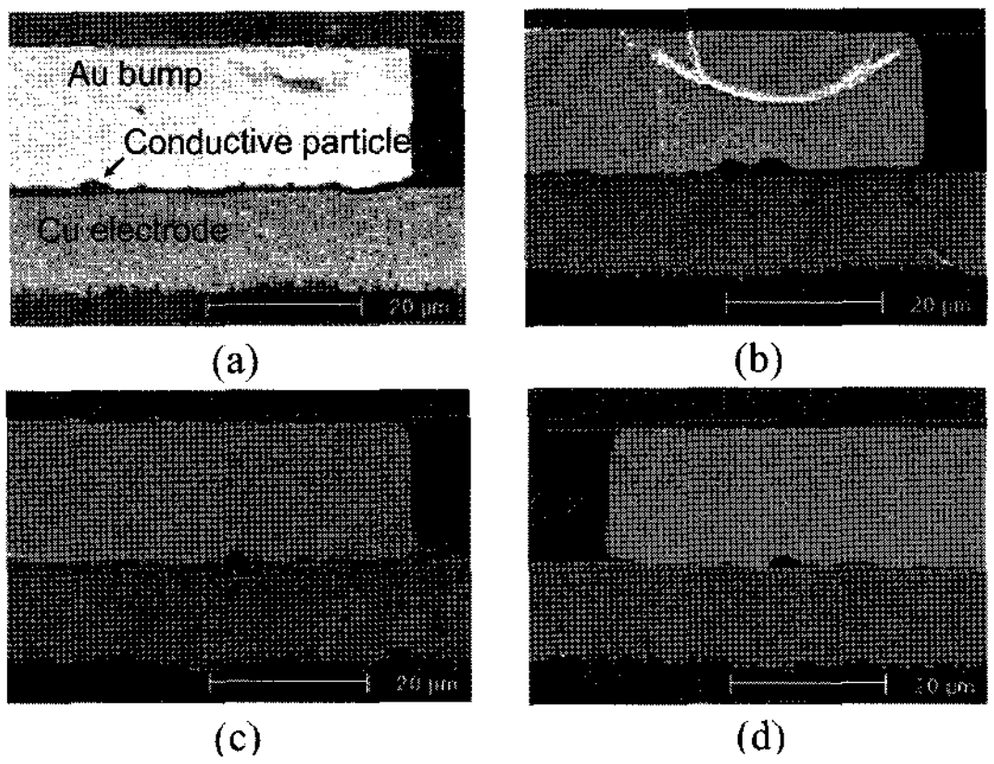


Fig. 10. Cross-sectional SEM images of ACF-A joints as a function of bonding pressure; (a) 25 MPa, (b) 50 MPa, (c) 75 MPa, (d) 100 MPa

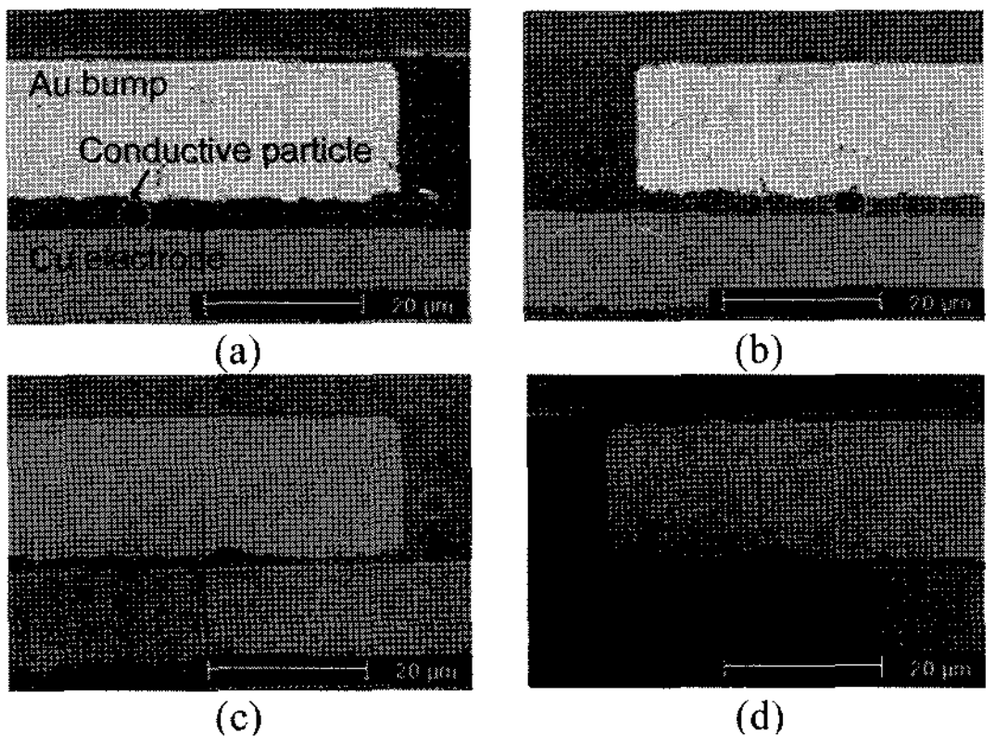


Fig. 11. Cross-sectional SEM images of ACF-B joints as a function of bonding pressure; (a) 25 MPa, (b) 50 MPa, (c) 75 MPa, (d) 100 MPa

ACF-A의 경우 본딩 압력이 25 MPa일 때부터 도전입자들이 Au 범프와 Cu 전극 사이에 끼여 ACF의 전형적인 전기적 접촉을 형성하고 있음을 알 수 있다. 따라서 25 MPa의 압력 하에서 큰 접촉 저항 값이 측정되다가 본딩 압력의 증가에 따라 접촉 저항이 감소하는 것은 본딩 압력이 증가함에 따라 도전입자의 접촉 면적이 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 75 MPa 이상의 압력에서는 도전입자에 의한 ACF joint 접속 외에도 Au 범프와 Cu 전극이 직접적으로 맞닿는 direct contact이 발생하여 접속 면적이 넓어지게 되어 낮은 접촉 저항을 보인 것으로 생각된다. ACF-B의 경우 ACF-A와는 다르게 ACF 내부에 모듈러스가 큰 silica가 다량 첨가되어 있기 때문에 동일한 압력 하에서의 도전입자 변형 정도가 ACF-A 보다는 상대적으로 작다는 것을 관찰하였다. 하지만 ACF-B 역시 본딩 압력이 증가할수록 접촉 저항이 감소하였고, 이는 도전입자의 접촉 면적의 증가에 따라 저항 값이 감소한 것으로 판단된다. ACF-B의 경우 ACF-A와는 다르게 100 MPa의 압력 하에서도 도전입자에 의한 접촉 만으로 joint를 형성하는 것을 확인할 수 있었는데 75 MPa과 100 MPa의 두 가지 압력의 경우를 비교했을 때 Au 범프와 Cu 전극 사이의 gap이 줄어들지 않는 것으로 보아 ACF 내부에 다량 첨가된 silica에 의해 gap이 줄어들지 않는 것으로 판단된다. 따라서 75 MPa 이상의 압력을 주어도 접촉 면적을 높이는 도전입자의 변형을 유발하기는 힘들기 때문에 75 MPa의 압력 값이 ACF-B를 이용한 COF 접합공정에 적합한 압력이라고 생각된다.

Fig. 12는 90° peel test를 통해 본딩 압력에 따른 ACF와 연성기판 간의 접착력을 측정한 결과이다. ACF-A의 경우 본딩 압력 별 접착력의 차이가 표준편차 안에 들어가는 정도의 미세한 차이이기 때문에 접착력의 본딩 압력 의존도는 거의 없다고 할 수 있으며, 접착력의 평가기준인 600 gf/cm을 모두 통과하였다. ACF-B 또한 50 MPa의 본딩 압력 조건에서만 평가기준인 600 gf/cm 값과 비슷한 접착력을 보여주었고, 나머지 압력 별 조건에서는 기준 값을 모두 통과하였다. ACF-B 역시 ACF-A와 마찬가지로 압력 별로 조금씩 차이는 있지만 접착력의 본딩 압력 의존도는 거의 없다고 판단할 수 있고, ACF-B가 ACF-A 보다 전반적으로 낮은

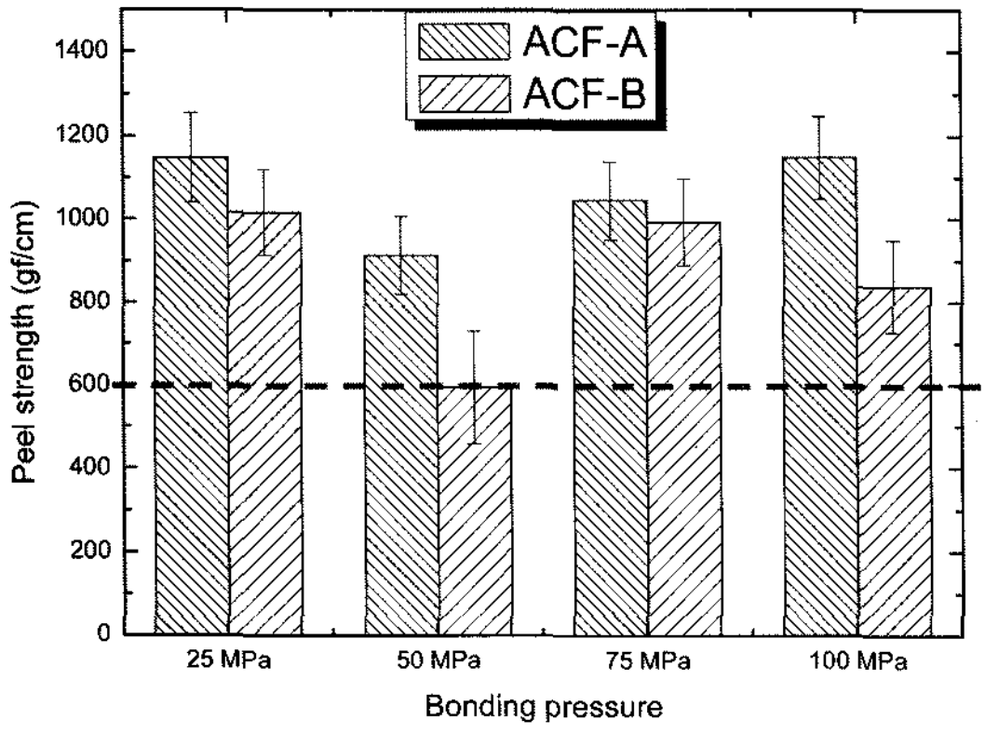


Fig. 12. Peel strengths of COF assemblies as a function of bonding pressure

접착력을 갖는 이유는 ACF-B 속의 silica 입자들이 ACF와 PI 계면 사이에 존재하여 ACF와 PI 사이의 접착력을 저하시키는 작용을 하는 것으로 사료된다.

DSC isothermal scan 결과를 토대로 한 ACF를 이용한 COF 접합공정의 최적 본딩 온도 및 본딩 시간은 200°C에서 ACF-A의 경우 16 초, ACF-B의 경우 20 초였으며, COF 어셈블리의 접촉 저항 및 접착력 측정, 단면 구조 관찰 결과를 통해 최적화된 본딩 압력은 ACF-A, ACF-B 모두 75 MPa이었다.

3.3. COF 어셈블리의 신뢰성 시험

최적화된 본딩 조건을 이용하여 COF 어셈블리를 준비하였고 본딩 직후의 초기 접촉 저항 및 초기 접착력 측정을 시행하였다. 또한 ACF 물질 특성이 COF 어셈블리의 신뢰성에 미치는 영향을 알아보기 위해 열-싸이클 시험, 고온 유지 시험, 고온고습 시험을 수행하였다. ACF joint의 전기적 불량은 접촉 저항이 150 mΩ을 넘었을 경우로 정의하였고, 각 신뢰성 시험 동안의 불량률을 Fig. 13에 나타내었다.

Fig. 13(a)는 열-싸이클 신뢰성 시험(-40~+150°C) 동안의 COF 어셈블리의 ACF joint의 불량률을 나타낸다. ACF-B의 경우 1263 회의 열-싸이클을 거친 후에도 전기적 불량이 발생되지 않은 것에 비해 ACF-A는 전기적 불량 기준인 150 mΩ을 넘은 ACF joint가 1263 회의 열-싸이클 후에 약 17% 발견되었다. Table 4에 나타낸 것과 같이 ACF-B의 경우 큰 변화 없이 안정적인 접촉 저항을 유지한

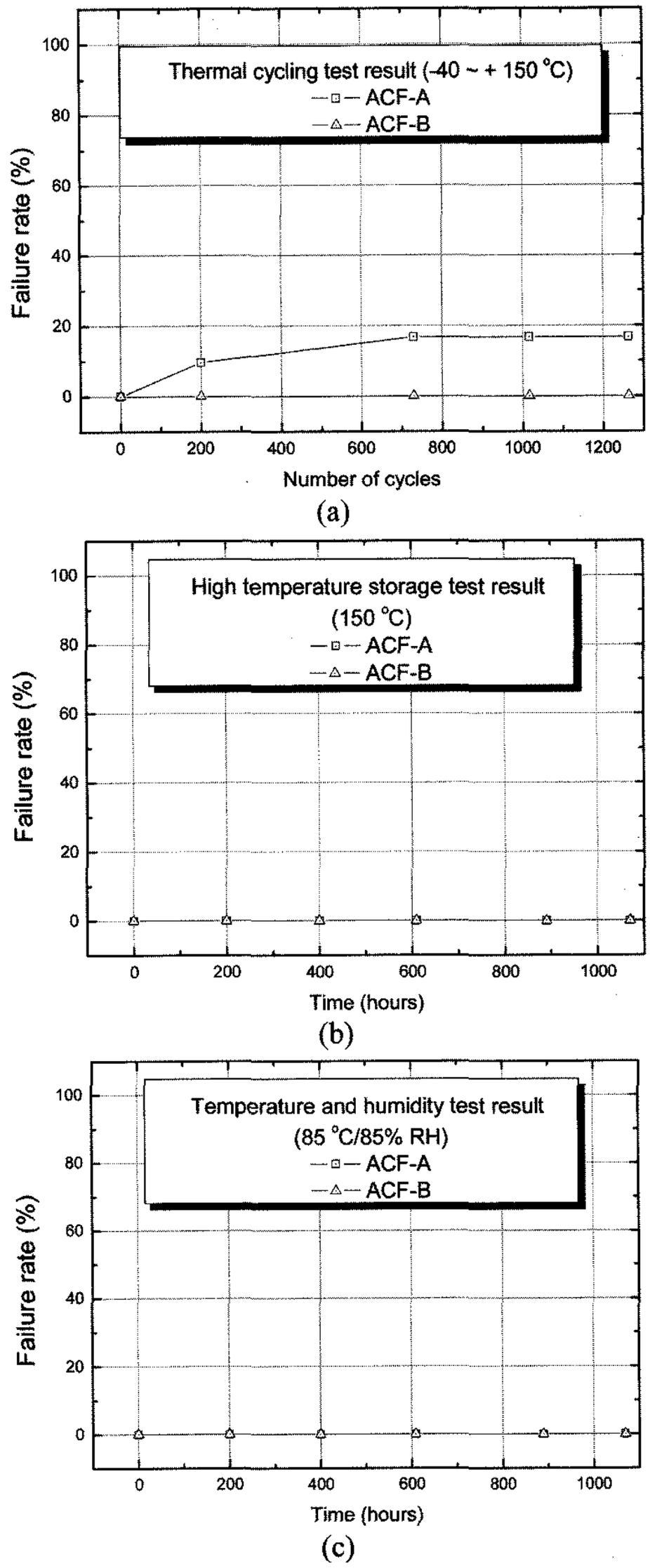


Fig. 13. Failure rate of ACF joints during reliability tests; (a) thermal cycling test, (b) high temperature storage test, (c) temperature and humidity test

Table 4. Summary of thermal cycling test results

ACF	Average contact resistance (mΩ)		Failure rate
	As-bonded	After thermal cycling test	
ACF-A	6.2 ± 1.1	28.7 ± 27.3 (Non-failed ACF joints)	17%
ACF-B	8.2 ± 2.2	7.3 ± 2.3	0%

반면 ACF-A의 경우 본딩 직후 대비 약 4.5배의 평균 접촉 저항 증가를 보여주었다. ACF-A의 경우 열-싸이클 신뢰성 시험 이후의 평균 접촉 저항 값은 불량 기준인 150 mΩ을 넘지 않은 ACF joint들의 평균 접촉 저항 값이다. COF 어셈블리의 열-싸이클 신뢰성은 ACF의 경화 후 열-기계적 물성과 밀접한 관련이 있다. ACF의 열-기계적 물성 평가에서 설명하였듯이, ACF-B는 ACF-A에 비해 낮은 열팽창계수, 높은 모듈러스, 높은 유리전이온도를 가졌으며 이는 ACF-B가 ACF-A 보다 온도에 따른 물질 안정성이 높다는 것을 의미한다. 앞서 설명하였듯이, 유리전이온도 이상에서 ACF는 매우 rubbery한 특성을 갖기 때문에 COF 어셈블리를 구성하는 칩과 기판을 잡아주는 접착력이 약해질 수 있고, 이에 따라 각각의 범프 joint에서 불량이 발생할 확률이 높아질 수 있다. 열-싸이클 신뢰성 시험의 온도 profile은 -40°C~+150°C였기 때문에 온도 profile 상 최대 온도인 150°C와 유사한 유리전이온도를 갖는 ACF-B의 경우 열-싸이클 시험을 시행했을 경우에도 안정적인 접촉 저항을 보여준 반면, 150°C와 약 40°C 이상 차이가 나는 유리전이온도를 갖는 ACF-A (유리전이온도: 107°C)의 경우 열-싸이클 시험에서 상대적으로 나쁜 신뢰성을 보여주었다. 보다 정확한 접촉 저항 변화 거동을 확인하기 위해 열-싸이클이 진행되는 동안 한 개의 ACF joint에서의 접촉 저항을 온도에 따라 측정하였고 그 결과를 Fig. 14에 나타내었다. ACF-A의 경우 130°C를 넘게 되면 접촉 저항이 급격하게 증가하는 반면 ACF-B의 경우 온도에 따른 접촉 저항이 안정적으로 유지되는 것을 확인하였다. 이는 열-싸이클 신뢰성 시험 결과와 일치하는 결과이다. 따라서 COF 어셈블리의 열-싸이클 신뢰성은 ACF의 유리전이온도가 열-싸이클 시험 온도 profile의 최대 온도 보다 높거나 유사해야 좋은 신뢰성을 달성할 수 있으며, 이는 ACF의 열-기계적 물성이 어셈블리의 신뢰성과 매우 밀접한 관련이 있음을 보여주는 결과라 하겠다. 열-싸이클 신뢰성 이후에 90° peel test를 통해 측정한 접착력(Fig. 15)은 두 종류의 ACF에서 모두 감소하였으나 접착 기준 강도인 600 gf/cm 이하로는 감소하지 않았다.

Fig. 13(b)는 고온 유지 신뢰성 시험(150°C) 동안의 COF 어셈블리의 ACF joint의 불량률을 나타낸다. 고온 유지 시험 1000시간 이상이 수행된 이후에도 150 mΩ을 넘은 ACF joint가 발견되지 않았

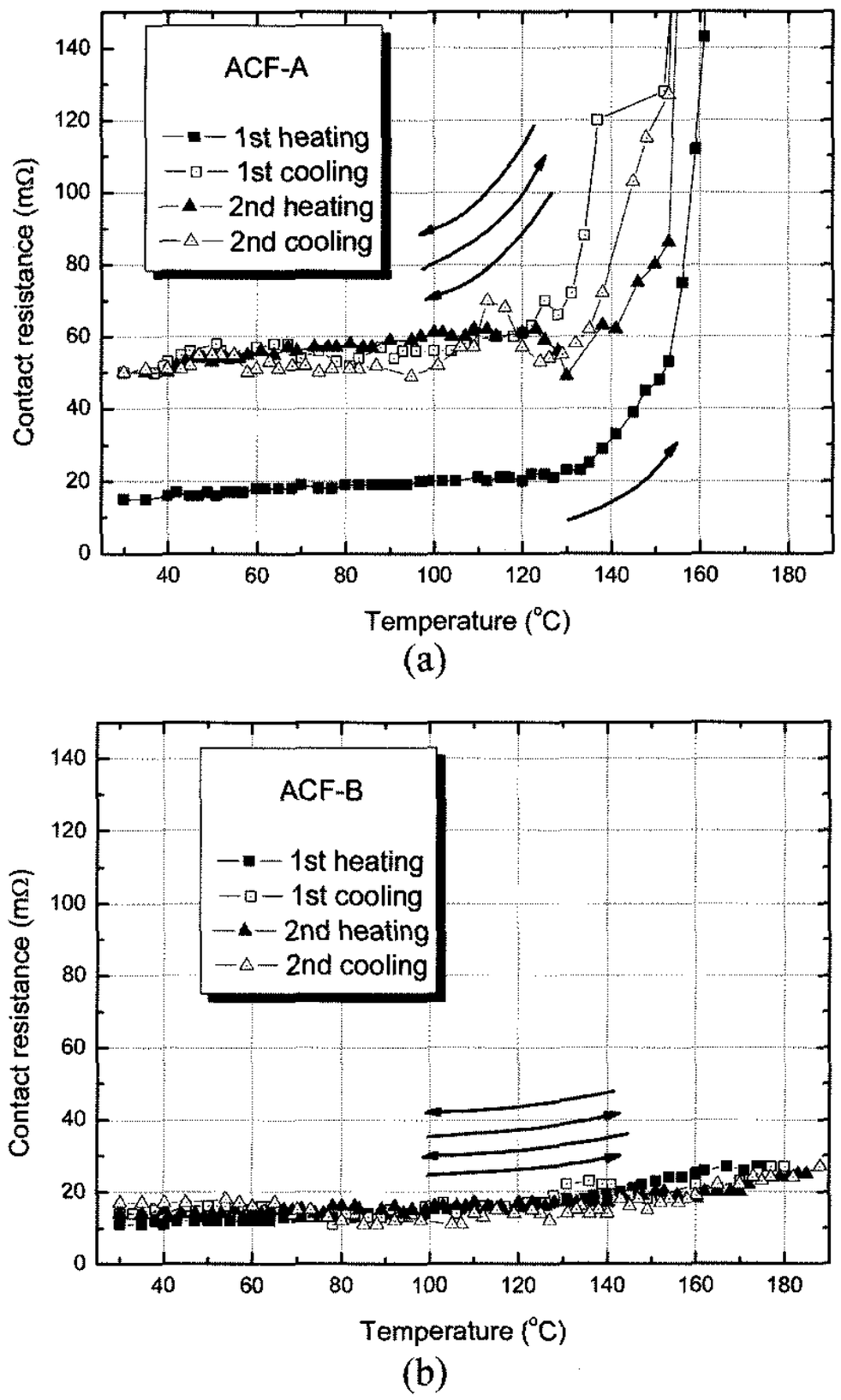


Fig. 14. In-situ contact resistance measurement during thermal cycling; (a) ACF-A, (b) ACF-B

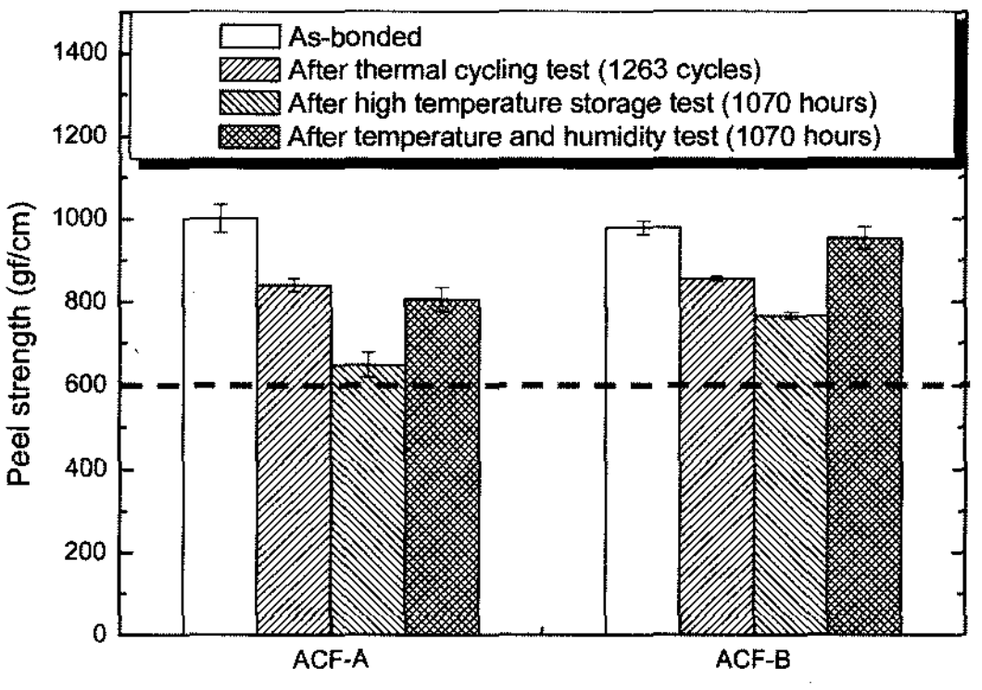


Fig. 15. Peel strength changes of COF assemblies after reliability tests

으며, 신뢰성 시험 이후에 측정된 접착력(Fig. 15) 또한 두 종류의 ACF에서 모두 감소하였으나 접착 기준 강도인 600 gf/cm 이하로는 감소하지 않았다. 열-싸이클 시험의 경우 온도 싸이클에 의해 COF 어셈블리를 구성하는 칩과 기판의 열팽창계수 차이로 인한 수축-팽창 반복의 누적 피로가 생기게 되어 ACF의 열-기계적 물성에 따라 COF 어셈블리의 신뢰성이 큰 영향을 받게 된다. 하지만 고온 유지 시험의 경우 칩과 기판의 열팽창계수 차이로 인한 수축-팽창 누적 피로가 없기 때문에 열-싸이클 신뢰성에 비해 상대적으로 좋은 신뢰성을 보여준 것으로 판단된다.

Fig. 13(c)는 고온고습 신뢰성(85°C/85%RH) 시험 동안의 COF 어셈블리의 ACF joint의 불량률을 나타낸다. 고온고습 시험 1000시간 이상이 수행된 이후에도 150 mΩ을 넘은 ACF joint가 발견되지 않았으며, 신뢰성 시험 이후에 측정된 접착력(Fig. 15) 또한 두 종류의 ACF에서 모두 조금씩 감소하였으나 접착 기준 강도인 600 gf/cm 이하로는 감소하지 않았다. 일반적으로 COF 어셈블리의 주된 흡습 경로는 칩과 ACF, ACF와 PI 사이의 이종 계면인데 두 ACF 모두 600 gf/cm 이상의 높은 접착력을 유지하기 때문에 좋은 고온고습 신뢰성을 보여준 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 ACF를 이용한 CCM용 COF 어셈블리의 실장 기술을 연구하고 COF 어셈블리의 신뢰성 분석을 수행하였다.

경화 온도에 따른 ACF의 경화거동을 분석했고, 열팽창계수, 모듈러스, 유리전이온도 등의 경화 후 ACF의 열-기계적 물성들을 분석하였다. ACF의 경화거동 결과를 바탕으로 COF 접합공정 온도 및 시간을 최적화 하였으며, 도전입자의 변형 관찰 및 전기적 접촉 저항 측정을 통해 본딩 압력에 대한 최적화를 수행하였다. 또한 ACF 물질 특성이 COF 어셈블리의 신뢰성에 미치는 영향을 알아보기 위해 열-싸이클 시험, 고온 유지 시험, 고온고습 시험을 수행하였다. 신뢰성 시험 수행 후 ACF를 이용한 COF 어셈블리의 신뢰성에 가장 문제가 되고 있는 점은 열-싸이클 신뢰성 시험에서 나타난 ACF joint의 접촉 저항 증가 문제였고, 이는 ACF 자체의 열-기계적 물성과 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 열-싸이클 신뢰성 시험의 최대 온도인 150°C와 유사한 145°C의 유리전이온도를 갖는 ACF-B의 경우 열-싸이클 시험 이후에도 안정적인 접촉 저항값을 유지한 반면, 유리전이온도가 열-싸이클 신뢰성 시험의 최대 온도인 150°C 보다 약 43°C 낮은 ACF-A의 경우 본딩 직후 대비 약 4.5배의 평균 접촉 저항 증가를 보여주었다. 따라서 COF 어셈블리의 보다 높은 열-싸이클 신뢰성을 확보하기 위해서는 ACF의 경화 후 열-기계적 물성이 향상되어야 하며, 특히 유리전이온도가 높을수록 높은 신뢰성을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. Liu, *Conductive Adhesive for Electronics Packaging*, Electrochemical Publications LTD, Port Erin, pp. 6~12 (1999).
2. W. S. Kwon, M. J. Yim, K. W. Paik, S. J. Ham, and S. B. Lee, "Thermal Cycling Reliability and Delamination of Anisotropic Conductive Adhesives Flip Chip on Organic Substrates with Emphasis on the Thermal Deformation," *J. Electron. Packaging*, Vol. 127, No. 2, pp. 86~90 (2005).
3. S. Ganesan and M. Pecht, *Lead-free Electronics*, Wiley-Interscience Publication, New Jersey, pp. 437 (2006).
4. C. Y. Yin, M. O. Alam, Y. C. Chan, C. Bailey, and H. Lu, "The Effect of Reflow Process on the Contact Resistance and Reliability of Anisotropic Conductive Film Interconnection for Flip Chip on Flex Applications," *Microelectron. Reliab.*, Vol. 43, No. 4, pp. 625~633 (2003).
5. M. J. Yim and K. W. Paik, "Recent Advances in Anisotropic Conductive Adhesives for Microelectronics Packaging Applications," *Ceramist*, Vol. 8, No. 6, pp.23~39 (2005).