

LCD 구동 IC의 실장을 위한 초음파 ACF접합 기술

Ultrasonic ACF Bonding Technique for Mounting LCD Driver ICs

정 상 원, 윤 원 수, 김 경 수*

(Sang Won Joung, Won-Soo Yun, and Kyung-Soo Kim)

Abstract : In the paper, we develop the ultrasonic bonding technique for LCD driver chips having small size and high pin-density. In general, the mounting technology for LCD driver ICs is a thermo-compression method utilizing the ACF (An-isotropic Conductive Film). The major drawback of the conventional approach is the long process time. It will be shown that the conventional ACF method based on thermo-compression can be remarkably enhanced by employing the ultrasonic bonding technique in terms of bonding time. The proposed approach is to apply the ultrasonic energy together with the thermo-compression methodology for the ACF bonding process. To this end, we design a bonding head that enables pre-heating, pressure and ultrasonic excitation. Through the bonding experiments mainly with LCD driver ICs, we present the procedures to select the best combination of process parameters with analysis. We investigate the effects of bonding pressure, bonding time, pre-heating temperature before bonding, and the power level of ultrasonic energy. The addition of ultrasonic excitation to the thermo-compression method reduces the pre-heating temperature and the bonding process time while keeping the quality bonding between the LCD pad and the driver IC. The proposed concept will be verified and demonstrated with experimental results.

Keywords : an-isotropic conductive film (ACF), LCD drive IC, thermo-compression ultrasonic bonding.

I. 서론

최근 십여 년 간의 IT(Information Technology)의 급속한 발전과 멀티미디어 기반의 엔터테인먼트 산업의 확산에 따라 전자 제품들의 초소형화, 초경량화 및 고기능화 경향이 두드러지게 되었다. 이러한 추세에 따라 핵심 전자 부품들은 BGA(Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Packaging), MCM(Multi-chip Module) 등의 형태를 가지게 되며 점차 핀 배치 밀도가 증가하고 있는 추세이다[1-3]. 일반적으로 이러한 고밀도 부품의 실장은 접합 부위의 낮은 저항, 높은 기계적 신뢰성 및 높은 생산 수율 등 우수한 실장 성능을 만족해야 된다. 따라서 고밀도 전자 부품에 대한 새로운 칩 실장기술이 요구되고 있는 것이 현실이다.

대표적으로 칩 실장 기술은 와이어 접합, TAB(Tape Automated Bonding), 플립칩(flip-chip) 접합 등 크게 3가지로 구분된다[4]. 와이어 접합 및 TAB에 사용되는 IC의 경우, IC의 크기가 크고 접합 핀의 기구적 밀도가 낮은 경우에 매우 효율적으로 적용된다[5]. 반면, BGA, CSP 및 MCM 등에 적용되는 플립칩은 작은 크기에 고밀도 핀 배열이 가능하도록 설계되어 있다. 따라서 플립칩을 사용하면 높은 입출력 핀 수, 높은 전기적 특성 (즉, 낮은 접합저항), 낮은 제조비용, 작은 크기 등의 많은 장점을 가지게 된다. 대표적으로 LCD 구동 IC, 통신 장비 및 카메라 모듈용의 CIS(CMOS Image Sensor) 등이 플립칩으로 설계되어 사용되고 있다. 따라서 플립칩 실장 기술은 대표적인 IT부품 제조 기술이다. 최근의 휴대폰용 카메라모듈의 급속한 확대는 COF(Chip-On-Flexible PCB)에 기

반한 플립칩 실장기술을, LCD등의 디스플레이 장치의 확산은 COG(Chip-On-Glass) 기반 플립칩 기술을 필수로 하고 있다.

LCD 구동 IC의 실장은 열경화성 수지 내에 도전볼을 포함하고 있는 ACF(An-isotropic Conductive Film)를 이용한 이중 금속간 열압착 접합 기술에 의해 이루어지고 있다. 이러한 ACF 열압착 접합 기술은 열압착 공정으로 인해 긴 공정 시간(process time)을 필요로 하여 결과적으로 생산 효율이 낮게 되는 큰 단점을 가지고 있음이 잘 알려져 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여, 최근에 ACF접합 공정에 초음파에너지를 활용하기 위한 시도가 카메라 모듈용 CIS에 대해 이루어졌으나, ACF의 특성 해석 등 재료적인 해석에 초점이 맞추어져 있고 공정 및 장비 기술로서의 확대 적용 가능성을 제시하지는 못하였다[6].

본 연구에서는 소형/고밀도 핀 배열 수를 갖는 플립칩 접합을 위한 초음파 접합 방법을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 특히 LCD 구동 IC의 실장에 적용함으로써 ACF공정을 크게 개선 향상시킬 수 있음을 보이도록 한다. 이를 위해서, LCD 구동 IC 시편에 대한 초음파 접합 실험 및 분석을 통해, LCD 모듈 제조에 있어서 초음파 접합 기술의 가능성을 보이고, 향상된 접합 공정 변수를 도출함으로써, 기존의 접합 기법 (예를 들면, 열압착 ACF접합 기법 등)을 대체할 수 있음을 보인다. 이를 위해서 본 연구에서는 테스트 시편, 40kHz의 접합 주파수를 갖는 초음파 발전회로, 초음파 혼, 초음파 본더 등의 설계 및 제작 방법을 제안하고 접합 시편에 대한 접합 공정 실험을 수행한다. 실험을 통해 얻어진 공정 변수를 분석함으로써 제안된 방법이 LCD 모듈 제조에 있어서 생산성을 크게 향상시킬 수 있음을 보인다. 또한 실험 결과의 분석을 통해 제안된 초음파 ACF접합 공정 기법이 갖는 문제점에 대해 논의하기로 한다.

II. 초음파 접합기술

일반적인 초음파 접합 기술은 동종 금속 사이의 마찰에 의

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 1. 31., 채택확정 : 2008. 2. 24.

정상원 : 한국산업기술대학교 지식기반기술에너지대학원

(won3238@naver.com)

윤원수 : 한국산업기술대학교 기계공학과(wsyun@kpu.ac.kr)

김경수 : KAIST 기계공학과(kyungsookim@kaist.ac.kr)

※ 본 연구는 산업자원부 중기저점기술개발사업 (CCM인라인조립장비개발) 및 교육인적자원부 BK21 지원으로 이루어졌음.

한 분자 (또는 원자) 간의 확산에 따른 직접적인 접합 기술이다[9,10]. 이러한 초음파 접합 기술은 범프(bump)와 패드(Pad)가 금(Au)으로 구성되고 낮은 편 배열 밀도를 갖는 IT부품의 실장에 효과적으로 적용 되고 있다. 예를 들면, 휴대폰에 들어가는 부품인 Smart Card, LED, SAW Filter, TCXO 등의 실장에 초음파 기술이 일부 적용되고 있다[7,8]. 일본 등의 선진 장비 업체의 선형 연구 결과에 의하면 초음파 접합은 기존의 열압착 공정에 비해 공정 시간을 획기적으로 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 LCD 구동 IC의 실장은 Au 범프를 갖는 LCD 구동 IC와 Al 소재의 패드간에 ACF 부재를 매개체로 하여 열압착에 의한 도전볼 형성 및 ACF경화에 의해 이루어 진다. 최근, 가열 없이 순수한 초음파 진동에너지에 의한 ACF 소재의 경화 가능성 분석이 부분적으로 알려져 있다. 특히, 특정 시간 (7초~10초) 동안의 초음파 가진에 의한 마찰열의 발생으로 ACF 수지의 경화 온도에 이를 수 있음이 증명되었다 [11]. 따라서 본 논문에서는 기존의 열압착 공정에 초음파 진동에너지를 추가적으로 부가함으로써 기존의 ACF 열압착 공정을 크게 개선할 수 있음을 보이는 기초연구이다. 따라서 본 연구에서 제안하는 기술은 열압착초음파 기술을 이용한 ACF접합 공정이라는 측면에서 기존의 동종 금속간 초음파 접합기술 및 순수 초음파 접합기술과는 구별된다.

III. 열압착 초음파 접합 실험 환경

본 연구에서는 휴대폰에 사용되는 소형 LCD 구동 IC에 대한 초음파 응용 ACF접합 공정을 제안하고, 접합 실험을 실시하여 실장 기술의 가능성과 적합한 파라미터를 도출하기로 한다.

그림 1은 제안된 공정 실험을 위해 설계 제작된 초음파 실장용 프로토타입(prototype) 장비를 보여주고 있다. 시스템은 초음파 발진 모듈, 초음파 혼으로 이루어진 초음파 접합 헤드, 그리고 구동 장비로 나누어진다. 초음파 발진 모듈은 초음파 발생을 위한 초음파 진동자 및 초음파 발진 회로로 구성되어 있다. 진동자는 40kHz의 공진특성을 갖는 PZT 진동자를 사용하였고 (일본의 혼다社 제품), 초음파 발진회로의 최대출력은 60W가 되도록 설계 제작하였다. 또한 초음파 혼은 접합 정밀도의 향상을 위해 변위를 최소화하도록 해석을 통해 설계하였고, 제작된 혼의 툴팁(tool-tip)에서의 최대 변위는 $\pm 4(\mu\text{m})$ 이다.

실험에 사용되는 LCD는 휴대전화에 쓰이는 소형 액정 (상용크기 구분: 2.4inch 소형LCD)으로서 접합이 이루어질 범프 및 패드의 크기 및 성분은 표 1과 같다.

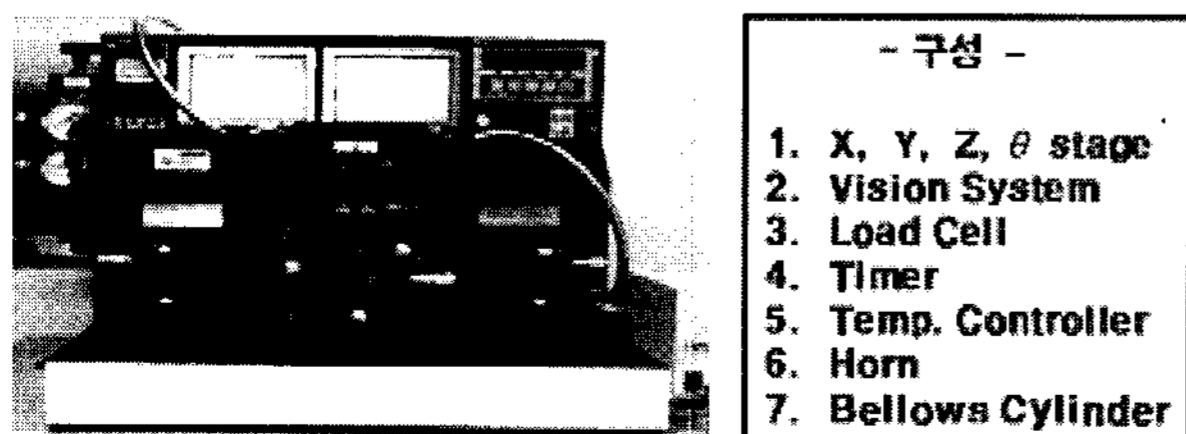


그림 1. 제작된 초음파 장비 및 전체 시스템 구성.
Fig. 1. Ultrasonic bonding jig and overall system structure.

표 1. LCD 구동 IC 및 패널의 접합부 구성.

Table 1. Structure of bonding area in LCD driver IC and panel.

LCD Driver IC	Au Bump Size: (30.45 x 78.68) μm Pitch: 67 μm (산화막 없음)
LCD Panel	Al Pad Size: (31.96 x 79.85) μm Pitch: 67 μm (산화막 존재)

IV. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 자체 설계 제작된 접합 장비를 이용하여, 일반적인 ACF열압착 접합(Thermo-Compression Bonding) 기법과 본 연구에서 새로이 제안된 초음파 열압착 접합(Ultrasonic Thermo-Compression Bonding) 방법을 각각 적용하여 실험을 수행하기로 한다. LCD 구동 IC의 접합에 사용되는 ACF는 HITACHI社 제품으로서 권장 접합 시간은 18~20초이다. 본 연구에서 제안하는 초음파 접합 공정은 가압, 가열 상태에서 초음파 에너지를 부가함으로써 이루어 진다. 이를 위해서, 압력은 0.54MPa로 고정하고, 시편의 예열온도 및 접합 시간을 주요 인자로 하여 접합 실험을 수행한다(표 2 참조). 실험에 사용된 ACF 및 자체제작 본더를 이용, 열압착 접합을 시도할 경우는 230 $^{\circ}\text{C}$ ~250 $^{\circ}\text{C}$ 사이의 가열상태로 15초 가량의 비교적 긴 경화시간이 필요한 것으로 실험상 판명되었다. 그러나 동일한 압력/온도의 상태에서 초음파 에너지를 부가할 경우 매우 짧은 시간 내에 접합이 이루어지게 되어, 표 2와 같은 접합시간을 가지고 실험을 진행하였다.

ACF접합에 있어서 가장 중요한 요소는 범프와 패드간의 도전볼 생성이며, 이에 따른 전기적 저항의 최소화이다. 따라서 접합 실험 이후에 도전볼 형성 여부를 파악하기 위하여 접합부위에 대한 형상을 관찰하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

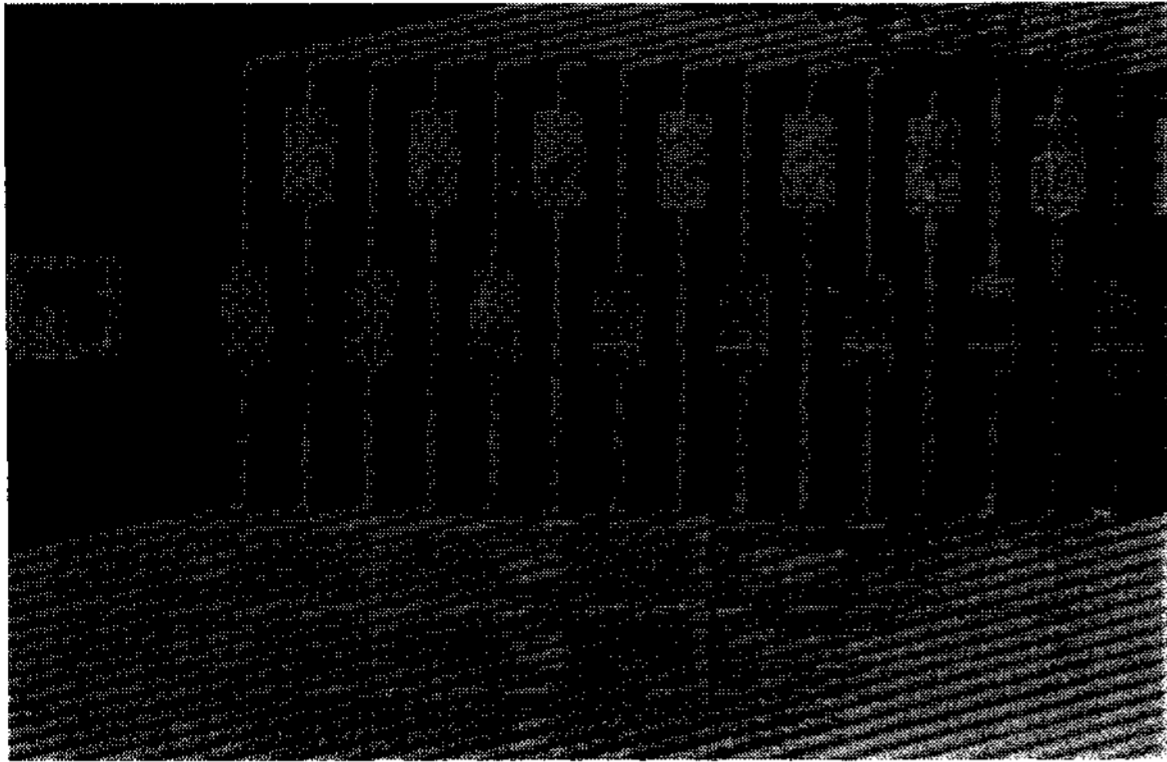
열압착기법에 의한 ACF접합 공정에 있어서, 1.5초 및 3초 간 접합한 결과, LCD 패널 좌측에는 도전볼이 생성되었으나 패널 우측은 도전볼 생성이 되지 않았다. 5초간의 열압착 접합 결과에서는 좌·우측에 모두 도전볼이 형성되었다. 좌·우측의 결과가 상이하게 나오는 것은 접합 시편과 LCD 패널의 상호편평도 (Co-planarity) 오차에 따른 압력분포의 차이로 판단된다. 이는 접합 시편의 크기가 커질수록 경향이 두드러지는 문제로 알려져 있다[12]. 1.5초~5초 간의 열압착 공정에 의해 이루어진 접합 결과는 전단력 실험 결과 적합하지 않은 것으로 판명되었다. 이는 사용한 ACF가 충분한 경화도를 갖기 위해 18~20초의 가열시간을 필요로 하나, 본 실험에서는 극히 짧은 시간만을 가열하여 ACF열경화성수지에 충분한 열이 공급되지 않았음을 의미한다.

열압착 초음파 접합을 1.5초, 3초, 5초의 조건으로 실시한 경우, 접합면에서 많은 도전볼이 생성되었다. 그림 2는 기존

표 2. ACF접합 실험을 위한 주요 변수.

Table 2. Major parameters for ACF bonding.

접합 압력	0.54 MPa
시편 예열 온도	230 $^{\circ}\text{C}$, 240 $^{\circ}\text{C}$, 250 $^{\circ}\text{C}$
접합 시간	1.5sec, 3sec, 5sec



(a) 열압착 접합 기법 적용의 경우



(b) 열압착 초음파 접합 기법 적용의 경우

그림 2. 열압착 기법 및 열압착 초음파 기법에 의한 LCD driver IC 접합 결과(접합조건: 0.54MPa, 240°C, 1.5sec).

Fig. 2. Experimental results for bonding LCD driver ICs by thermo-compression method, and thermo-compression ultrasonic method(bonding conditions: 0.54MPa, 240°C, 1.5sec).

의 열압착 접합 기법 및 제안된 초음파 접합 기법으로 ACF 접합 공정을 수행한 후의 접합 부위에 대한 확대 사진이다. 그림에서 관찰 할 수 있듯이 같은 접합압력, 예열온도 및 접합시간의 조건에서 도전볼이 형성된 상태가 매우 다를 수 있다. 즉, 초음파 접합의 경우(그림 2(b)), 열압착 접합의 경우에 비해 훨씬 많은 도전볼이 형성되었다. 또한 초음파 접합 후의 도전볼의 배치가 균일해 짐으로써 도전볼의 밀도가 매우 높아진다는 점은 매우 특징적인 현상이다. 현재 도전볼의 균일한 배치 현상에 대해 이론적인 해석이 이루어 지지는 못한 상황이며, 추후 연구주제로 남아있다. 결과적으로, 각 접합조건에 따른 형성된 도전볼의 개수는 표 3에 정리하였다. 도전볼의 개수는 각 범프 및 패드에 형성된 도전볼의 개수를 3회 측정하여 평균을 구한 결과이다. 이 결과를 바탕으로 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.

- 열압착 초음파 접합 기법은 열압착 기법에 비해, 매우 짧은 접합시간에 불구하고, 충분한 수의 도전볼을 형성한다.
- 열압착 초음파 접합 기법은 비교적 낮은 예열온도에서 ACF접합이 가능하도록 한다.

접합 공정 후의 접합 특성을 평가하기 위한 방법으로 본 연구에서는 전단강도를 측정하였다. 측정 시편은 현재 양산 중인 LCD 제품 과 열압착 초음파 접합을 실시해서 얻은 샘플

표 3. 접합조건에 따른 도전볼 형성 개수 비교.

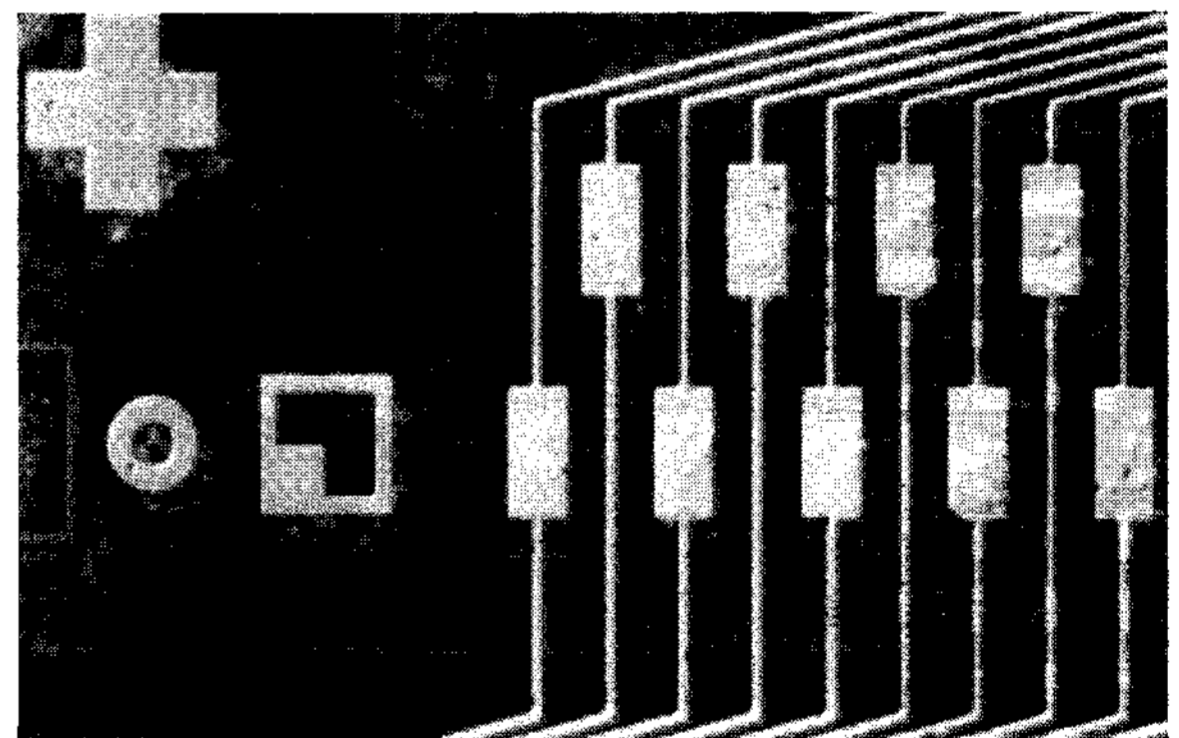
Table 3. Number of conductive balls depending on bonding conditions.

접합조건		열압착 방법 (개수)	초음파 기법 (개수)
0.54 MPa	1.5 sec	230°C	4.4
		240°C	4
		250°C	4.6
	3 sec	230°C	6.4
		240°C	5.2
		250°C	5.6
	5 sec	230°C	8.8
		240°C	5.8
		250°C	6

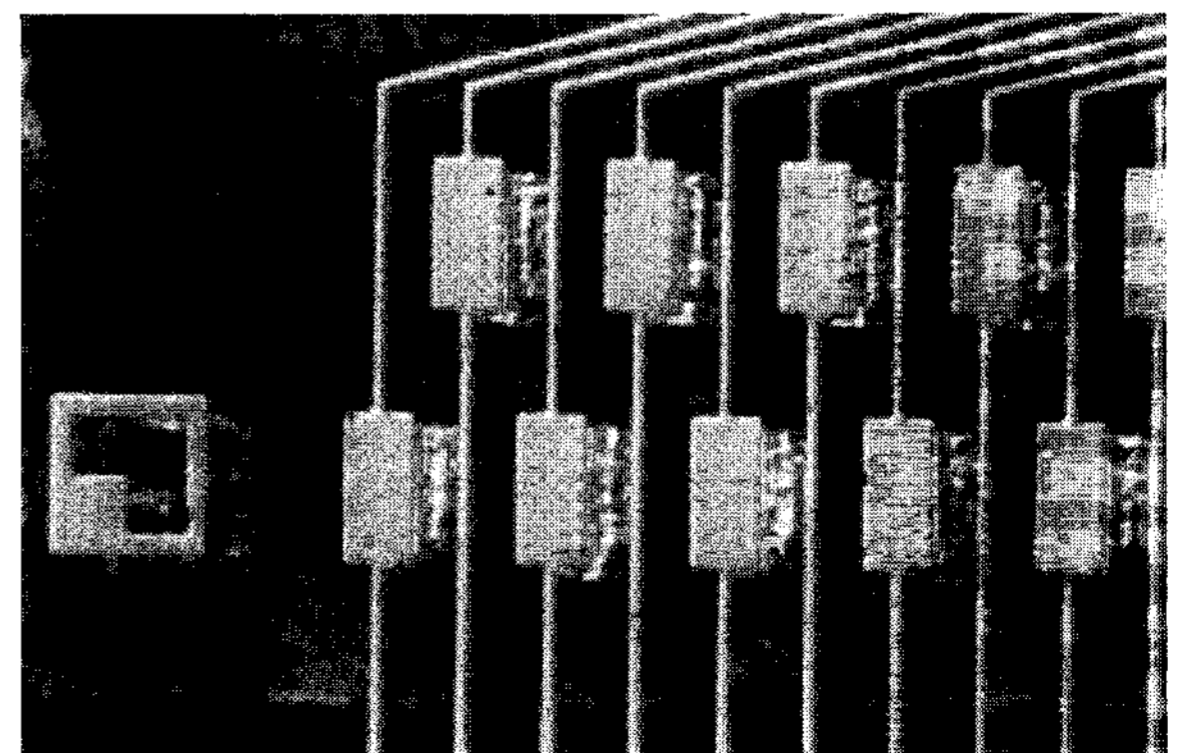
표 4. 접합 시편에 대한 전단강도 측정.

Table 4. Fracture force measurements for bonded samples.

전단강도 측정 조건		전단강도 측정 결과	
장비명 측정허용치	STR-1000 50kgf	열압착기법 (양산제품)	48kgf
전단 속도	30mm/min	초음파기법	50kgf 이상



(a) 열압착 접합 기법 적용의 경우



(b) 열압착 초음파 접합 기법 적용의 경우

그림 3. 열압착 및 초음파 접합 기법에 따른 접합 정밀도 비교(접합조건: 0.54MPa, 240°C, 3sec).

Fig. 3. Comparison of alignment accuracy after bonding(bonding conditions: 0.54MPa, 240°C, 3sec).

플 (접합조건: 235°C, 3sec, 0.55MPa)에 대하여, 전단강도를 측정하였다(표 4 참조). 전단력 측정은 최대 50kgf까지의 힘을 측정할 수 있는 장치를 사용하여 이루어졌다. 열압착 초음파 접합 기법에 의한 LCD모듈의 접합 강도는 양산제품과 비교하여 동등 또는 우수하다고 판단되었다.

본 실험을 통하여, 초음파 접합 기술이 LCD 모듈을 제조하는 ACF접합 공정에 매우 효과적으로 응용될 수 있음을 증명하였다. 매우 짧은 접합시간에 충분한 전단강도 및 도전불의 형성은 기존의 열압착에 의한 ACF접합 공정을 크게 개선할 수 있음을 보여준 것이다. 그러나 이러한 가능성에도 불구하고, 초음파 접합 기술이 극복해야 할 문제점이 남아 있다. 그림 3은 열압착 기법(그림 3(a)) 및 열압착 초음파 기법(그림 3(b))을 적용한 후 얻어진 접합 시편의 정렬 상태를 보여주는 그림이다. 열압착 기법을 적용한 경우에 비하여, 초음파를 적용한 경우의 정렬상태가 양호하지 못한 경우가 존재한다. 이는 횡방향 초음파 가진을 이용하기 때문에 발생하는 본질적인 문제로 볼 수 있으며, 이로 인해 작은 핀-피치(pin-pitch)를 갖는 경우에는 초음파 접합 기법이 제한적일 수 밖에 없다. 이는 추후에 해결해야 할 과제로 남아 있다.

V. 결론

본 연구에서는 LCD 구동 IC 등과 같은 고기능 첨단 디지털 기기의 핵심 부품을 효율적으로 실장 할 수 있는 열압착 초음파 접합 기법을 개발하였다. 초음파 접합기법의 개발을 위해, 40kHz의 공진 주파수를 갖는 횡방향 초음파 혼을 개발 적용함으로써 그 실용 가능성을 제시하였다. 또한, 제안된 기법의 실험적 증명을 위하여, 초음파 본더를 설계 제작하여 초음파 접합 실험 및 공정 분석을 실시하였다. LCD 모듈 제조를 위한 ACF접합 공정에 있어서, 열압착 초음파 접합 기술의 적용은 기존에 사용되고 있는 열압착 방식보다 획기적으로 접합 시간을 개선할 수 있다. 이는 열압착이 가해지는 상태에서 부가적으로 초음파에너지에 의한 마찰열이 부가됨으로써 가능하였다.

본 연구에서 제안하는 열압착 초음파 접합기술을 활용하면, 예열온도를 낮춘 상태에서 접합이 가능하므로 칩 실장 중에 미치는 열의 영향을 최소화할 수 있는 저온 접합 공정이 가능할 것으로 기대된다. 그러나 초음파 가진에 의한 접합부 정렬의 정밀도 문제는 앞으로 해결해야 할 과제로 남아 있다.



정 상 원

2006년 한국산업기술대학교 기계공학과 졸업. 2006년~2008년 한국산업기술대학교 지식기반기술/에너지대학원 나노생산공학전공 석사. 관심분야는 반도체 장비 설계, 초음파 장비 응용 등.

참고문헌

- [1] B. Vandeveld and E. Beyne, "Improved thermal fatigue reliability for flip chip assemblies using redistribution techniques," *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, vol. 23, no. 2, pp. 239-246, 2000.
- [2] P. Garrou, "Wafer level chip scale packaging (WL-CSP): An overview," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 23, no. 2, pp. 198-205, 2000.
- [3] P. Elenius, S. Barrett, and T. Goodman, "Ultra CSP™- A wafer level package," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 23, no. 2, pp. 220-226, 2000.
- [4] S. K. Kang and C. G. Woychik, "Mechanisms of interconnection formation in VLSI packaging," *the metal science of joining*, 1992. SU-13, no. 1, pp. 1-8, 1966.
- [5] 이혁모, "전자패키징에서의 무연 솔더링접합 기술 동향," *재료연구정보센터소식지*, vol. 8, no. 5, pp. 3-9, 2003.
- [6] 김경수, 정상원, 윤원수, "CCM용 플립칩 접합을 위한 초음파 접합기술 개발," *한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회논문집*, 2006.
- [7] F.-L. Wang, L. Han and J. Zhong, "Experiments on the bonding interface vibration of thermosonic flip chip," *Conf. on High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis*, pp. 1-3, 2005.
- [8] H. Yatsuda, T. Horishima, T. Eimura, and T. Ooiwa, "Miniaturized SAW filters using a flip-chip technique," *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 43, no. 1, pp. 125-130, 1996.
- [9] 구자명, 김종웅, 윤정원, 노보인, 이창용, 문정훈, 유중돈, 정승부, "플립칩 패키징을 위한 초음파 접합 기술," *대한용접·접합학회지*, 제 26 권, 제 1 호, pp. 31-36, 2008.
- [10] 김정호, 이지혜, 유중돈, 최두선, "종방향 초음파를 이용한 Au 범프의 솔더링 공정," *대한용접학회지*, 제 22 권, 제 1 호, pp. 65-70, 2004.
- [11] K. W. Lee, H. J. Kim, M. J. Yim, and K. W. Paik, "Curing and bonding behaviors of Anisotropic Conductive Films (ACFs) by ultrasonic vibration for flip chip interconnection," *IEEE Electronic Components and Technology Conference*, pp. 918-923, 2006.
- [12] Q. T. Schaible, B. Bond, L. J. Y.-C. Lee, "Thermosonic flip-chip bonding system with a self-planarization feature using polymer," *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, vol. 22, no. 3, pp. 468-475, 1999.



윤 원 수

1993년 부산대학교 기계공학과 학사. 1995년 포항공과대학교 기계공학과 석사. 2000년 포항공과대학교 기계공학과 박사. 2000년~2003년 (주)터보테크 선임연구원. 2003년~2004년 Univ. of Michigan, Ann., USA 방문연구원. 2004년~현재 한국산업기술대학교 교수. 관심분야는 CAM/CNC, 자동화 장비 설계, 지능형 생산 시스템 설계 등.



김 경 수

1993년 KAIST 기계공학과 학사. 1995년 KAIST 기계공학과 석사. 1999년 KAIST 기계공학과 박사. 1999년~2003년 LG전자 디지털미디어연구소 책임연구원. 2003년~2005년 STMicroelectronics Co. Ltd. 기술 Manager. 2005년~2007년 한국 산업기술대학교 기계공학과 교수. 2007년~현재 KAIST 기계공학과 교수. 관심분야는 제어이론, 디지털 메카트로닉스 및 제어 시스템 설계, 초음파 응용 액츄에이터 설계 등.