

거리센서 및 힘센서를 이용한 정밀 베어칩 장착시스템의 힘 제어

Precision Force Control of Bare-chip Mounting System using Displacement and Force Sensors

심재홍*, 조영임**

*한국산업기술대학교 메카트로닉스공학과

**수원대학교 컴퓨터학과

Jae-Hong Shim*, Young-Im Cho**

* Dept. of Mechatronics Engineering, Korea Polytechnic University

** Dept. of Computer, Suwon University

요 약

플립칩 과 같은 정밀한 전자부품을 일반적인 표면실장방법에 의해 고속으로 장착 시킬 경우에는 칩의 표면이 PCB 실장면에 닿는 순간 접촉력(Contact Force)이 크게 발생한다. 과도한 접촉력에 의해 솔더 볼의 표면에 크랙이 가거나 솔더 볼이 변형되어 좁은 피치 내에서 인접해 있는 솔더 볼이 서로 붙는다든지, 또한 리드가 손상된다든지 하는 등과 같은 현상이 발생하여 표면 실장 불량률의 원인이 될 가능성이 높아진다. 또한, 유연한 재질로 구성된 PCB 실장면에 과도한 힘을 가할 시에는 실장면의 국부적인 탄성변형이 발생하여 칩의 장착위치가 변경되어 정확한 위치에 실장하기 위해서는 칩을 장착할 때 플립칩과 실장면의 자세를 평형상태로 제어할 필요가 있으며, 특히 발생하는 충격을 감소시키기 위한 충격 제어와 충돌 후 일정한 접촉력 유지를 할 수 있는 힘 제어가 필수적임을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 상기와 같은 자세제어 및 힘제어를 요구하는 플립 칩 장착을 위한 액츄에이터와 거리/힘 센서 시스템을 개발하였다. 제안된 시스템의 효율성을 입증하기 위해 다양한 환경에서 성능시험을 수행하였으며, 그결과 제안된 시스템의 만족할 만한 실험결과를 보여주었다.

1. 서론

최근 들어 정보통신, 컴퓨터, 디스플레이 등 첨단 전자기기의 소형화, 경량화, 고기능화 추세에 따라 관련된 소형 전자 부품들을 고밀도 PCB에 장착하기 위한 전자부품 표면 실장 기술이 빠른 속도로 개발되고 있다. 일반적인 전자부품 표면 실장방법으로 관통장착 방법(Through-Hole Mounting Technology), 표면실장 기술(Surface Mounting Technology) 과 같은 방법들이 사용되고 있다. 관통장착 방법에 비해 보다 소형 전자부품을 실장하는 표면실장 기술은 스크린 프린터를 이용하여 PCB에 크립 솔더를 도포한 뒤 전

자부품을 솔더 위로 마운트 시키고 열을 가하여 크립 솔더를 용융, 경화시키는 방법이다. 최근 경박단소화 추세에 따라 전자 칩의 크기가 점점 작아짐에도 불구하고 보다 다양한 기능을 요구하면서 칩 표면에 위치하는 리드의 피치가 감소함에 따라 스크린 프린터의 홀 크기의 한계 등으로 인하여 더 이상 기존의 부품 실장 방법으로는 표면 실장을 수행하기가 매우 어렵다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 솔더 볼(Solder Ball)을 칩의 표면에 부착시킨 뒤 PCB에 장착시키고 납땀하는BGA(Ball Grid Array), CSP(Chip Scale Packaging), COB(Chip onBoard)등의 방법이 개발되어 실제 산업현장에

서 응용되고 있다.1) 마이크로 BGA나 CSP의 경우는 솔더 볼의 피치가 0.5mm이고, 볼의 직경이 0.25 ~ 0.3mm정도이다. 이보다 한단계 친밀보한 패키징 방법으로 개발된 플립 칩(Flip Chip)은 솔더 볼의 피치가 0.2mm이고, 볼의 직경 또한 0.1 ~ 0.2mm정도로서 마이크로 BGA나 CSP에 비해 매우 조밀하다. 이러한 칩을 일반적인 표면실장방법에 의해 고속으로 장착 시킬 경우에는 칩의 표면이 PCB 실장면에 닿는 순간 접촉력(Contact Force)이 크게 발생한다. 과도한 접촉력에 의해 솔더 볼의 표면에 크랙이 가거나 솔더 볼이 변형되어 좁은 피치 내에서 인접해 있는 솔더 볼이 서로 붙는다든지, 또한 리드가 손상된다든지 하는 등과 같은 현상이 발생하여 표면 실장 불량률의 원인이 될 가능성이 높아진다. 또한, 유연한 재질로 구성된 PCB 실장면에 과도한 힘을 가할 시에는 실장면의 국부적인 탄성변형이 발생하여 칩의 장착위치가 변경되어 정확한 위치에의 장착이 어렵게 된다. 따라서 CSP나 플립 칩과 같은 고정도 칩을 고속으로 정확한 위치에 실장하기 위해서는 칩을 장착할 때 발생하는 충격을 감소시키기 위한 충격 제어와 충돌 후 일정한 접촉력 유지를 할 수 있는 힘 제어가 필수적임을 알 수 있다. 또한, 유연한 재질로 구성된 PCB 실장면에 과도한 힘을 가할 시에는 실장면의 국부적인 탄성변형이 발생하여 칩의 장착위치가 변경되어 정확한 위치에의 장착이 어렵게 된다. 따라서 CSP나 플립 칩과 같은 고정도 칩을 고속으로 정확한 위치에 실장하기 위해서는 칩을 장착할 때 플립칩과 실장면의 자세를 평형상태로 제어할 필요가 있으며, 특히 발생하는 충격을 감소시키기 위한 충격 제어와 충돌 후 일정한 접촉력 유지를 할 수 있는 힘 제어가 필수적임을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 상기와 같은 자세제어 및 힘제어를 요구하는 플립 칩 장착을 위한 액츄에이터와 거리/힘 센서 시스템을 개발하였다.

2. 제안된 장착 헤드 메커니즘

본 연구에서는 플립 칩 본더용 헤드 메커니즘은 매크로 액츄에이터상에 마이크로 액츄에이터가 탑재된 형상을 지니고 있는 매크로/마이크로(macro/micro manipulator) 개념으로 설계되었으며 그림 1과 같이 시작품을 제작하였다[1][3]. 매크로 운동기구에는 큰 로봇이 단순히 위치제어에 의해 마이크로 운동기구를 이송하며, 마이크로 운동기구는 작은 크기를 가지며, 실제 작업(task)을 수행한다. 이와 같은 2단계 운동기구의 장점

은 저중량, 저관성, 저마찰 등을 들 수 있다. 따라서, 일체형 운동기구보다 빠른 제어속도를 가지며, 안정된 작업수행이 가능하다. 마이크로 운동기구의 설계와 제어가 이러한 시스템의 성공에 절대적으로 중요하다.

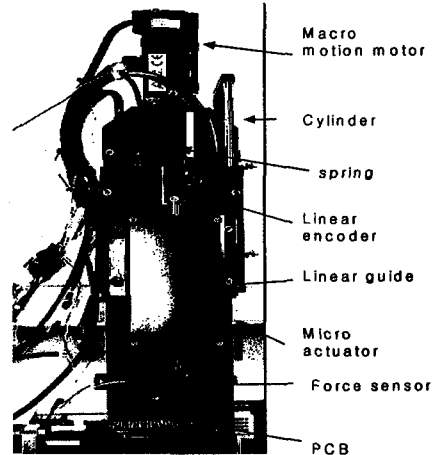


그림 1 제안된 베어칩 장착 메커니즘

3. 거리센서를 이용한 힘 제어

PCB 위치의 불확실성에 의해 장착 헤드부의 운동 프로파일의 오차가 발생하고 이러한 오차에 의해 베어 칩에 과도한 충격력 등이 발생하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 PCB의 정확한 위치를 레이저 센서를 이용하여 측정하고 측정된 거리를 바탕으로 모션 프로파일을 계획하여 칩을 장착하면 충격력을 줄일 수 있게 된다.

본 논문에서는 상용거리센서(KEYENCE LB-041)를 활용하여 장착 헤드부의 거리센서로 장착하는 방안을 모색하고 실험을 하였다. 마운터 헤드의 측면에 그림 2와 같이 부착하였다.

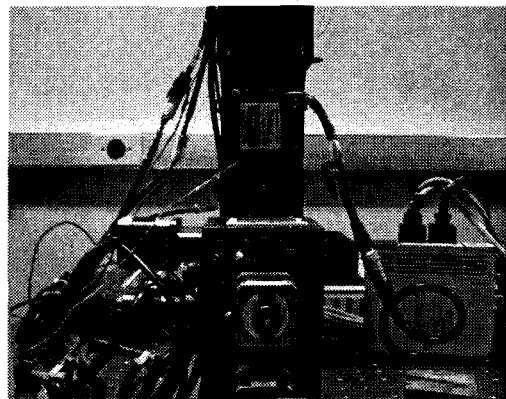


그림 2 거리센서가 장착된 베어칩 마운터

3.1 거리센서 캘리브레이션

본 실험에서는 헤드부 노즐의 끝단과 PCB 사

이의 거리에 대하여 거리 d를 0으로 세팅하고 일정거리만큼 헤드를 위쪽 방향으로 이동시키면서 측정된 리니어엔코더 값에 대하여 레이저의 출력을 측정하였다. 레이저 센서의 캘리브레이션은 헤드의 측면에 부착된 리니어 엔코더를 기준으로 이루어진다. 모터의 엔코더를 이용하는 방법은 볼스크류에서의 백래쉬등의 영향을 받으므로 헤드의 선형적인 위치 정보를 측정하는 리니어 엔코더가 더 정확한 정보를 얻을 수 있다. 센서의 측정 영역을 헤드의 이동영역과 맞추도록 지그를 조정하여 고정하고, 헤드부를 1mm간격으로 이동시키면서 한 위치에서 레이저 거리 센서의 AD value를 구한다.

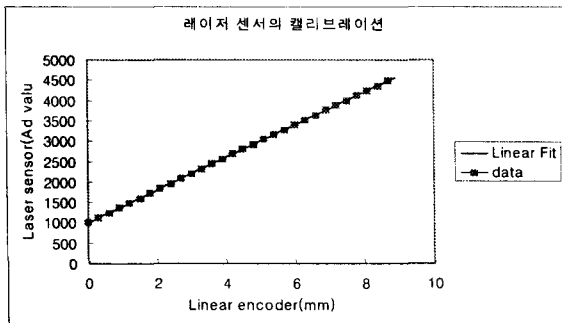


그림 3 거리센서 캘리브레이션 결과

4. 접촉면 평행 유지를 위한 자세제어

칩을 PCB 위에 올려놓기만 하면 장착이 끝나는 것이 아니다. 실제 배어 칩을 장착할 때 칩의 장착면과 PCB의 장착면이 정확히 수평이 아니라고 하면 칩은 제대로 놓이지 못하고 부서질지도 모른다. 그림 4에서 보는 바와 같이 PCB의 접촉면이 정확한 평면이라고 판단할 수 없다.

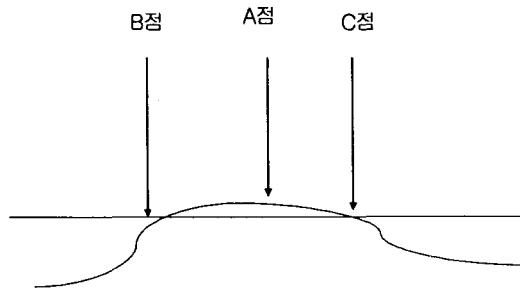


그림 4 PCB 접촉면

따라서 본 연구에서는 그림 4에서 보는 바와 같이 PCB상의 예상되는 접촉면 주위의 3점을 거리센서를 이용하여 평면의 기울기각을 측정하고, 이를 이용하여 칩의 장착면과 PCB의 접촉면간의 평행도를 일치시키는 방향으로 장착을 하고자 하

였다.

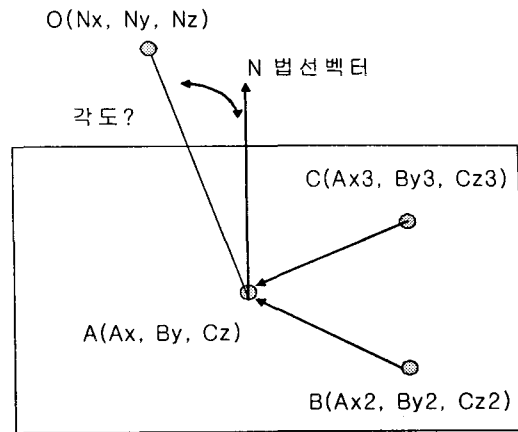


그림 5 접촉면의 3점 측정

거리 센서에 의해 측정된 3점이 이루는 평면의 법선벡터를 구함으로써 평면의 기울기 θ 를 구할 수 있다.

① 법선벡터 N

$$B-A = (Ax2, By2, Cz2) - (Ax, By, Cz) = BA$$

$$C-A = (Ax3, By3, Cz3) - (Ax, By, Cz) = CA$$

$$N = (B - A) \times (C - A) \quad (1)$$

② 평면의 방정식

$$Nx(x - Ax) + Ny(y - Ay) + Nz(z - Az) \quad (2)$$

③ AO의 방향벡터

$$O - A = (Ox, Oy, Oz) - (Ax, By, Cz)$$

$$= (Dx, Dy, Dz) \quad (3)$$

$$\frac{x - Ax}{Ox - Ax} = \frac{y - By}{Oy - By} = \frac{z - Cz}{Oz - Cz} \quad (4)$$

$$\sin \theta = \frac{(Dx \cdot Nx) + (Dy \cdot Ny) + (Dz \cdot Nz)}{\sqrt{(Dx^2 + Dy^2 + Dz^2)} + \sqrt{((Nx)^2 + Ny^2 + Nz^2)}} \quad (5)$$

5. 거리센서와 힘센서를 이용한 실장 실험 결과

충격력이 발생하는 것은 PCB의 위치에 대한 정확한 정보를 알지 못함으로 인하여 PCB에 칩을 실장하기위해서 PCB의 위치보다 더 아래 방향으로 눌러줌으로써 반력으로 인한 접촉력이 발생하게 된다. 따라서 PCB거리 정보를 알 경우 힘 센서를 사용하지 않고서 과도한 접촉력을 예방할 수 있다. PCB 위에 올려놓기만 하면 되는 부품도 있지만, 적정 힘으로 가압을 해주어야 하는 부품이 있다. 이러한 부품을 위해서는 force regulating 이 필요하다. 정확한 거리정보를 이용하면 PCB의 변형 거리를 알 수가 있게 된다.

본 실험에서는 거리센서의 거리정보를 이용하여 전체 tack time을 줄이면서 고속으로 인한 초기 큰 충격력으로 인한 바운싱 등 불안정성을 없앨 수 있는 접근 방법을 모색하고자 한다.

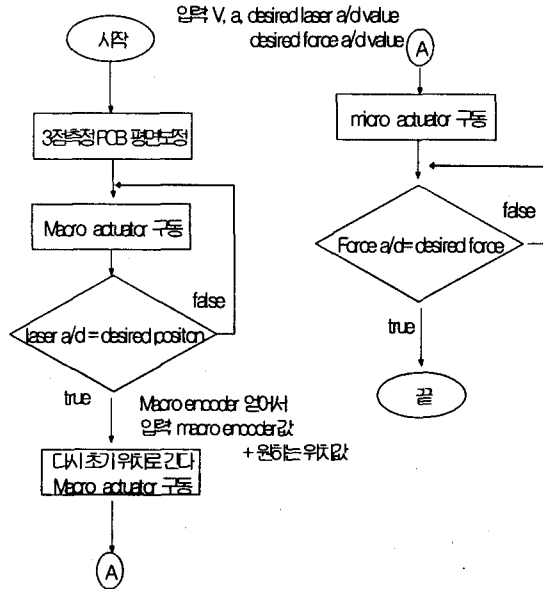


그림 6 거리센서와 힘센서를 이용한 힘제어

그림6은 측정된 칩의 하단으로부터 PCB까지의 거리정보를 이용하여 PCB 평면보정을 하고 microactuator로 실장을 하였을 때의 제어블록도를 보여준다. 하나의 프로파일을 이용하여 모션 프로파일을 계획하고 모션프로파일의 생성이 완료되면 접촉력에 따라 힘 제어 모드로 전환하도록 하였다. 이에 대한 실험 결과는 그림 7과 같다. 약간의 모션의 오버 슈트로 인하여 접촉이 일어나고 접촉력이 약 200gf정도가 발생하나 매우 빠른 시간내에 최종 제어 힘인 30gf에 도달하였다.

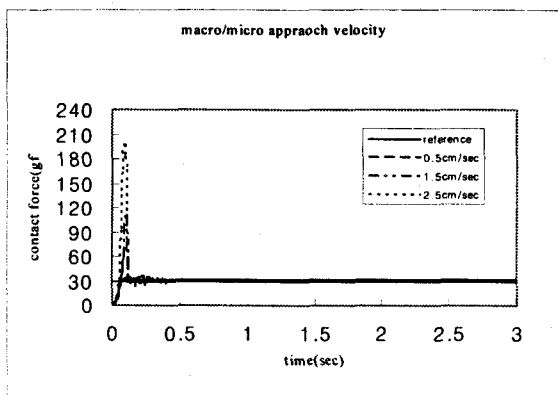


그림 7 힘제어 결과

6. 결론 및 향후과제

PCB 와 칩 사이의 거리정보에 대한 불확실성으로 인하여 칩을 실장할 때 큰 접촉력이 발생하게 된다. 이러한 근본적인 거리정보의 불확실성을 해결하기 위한 시도로써 레이저 거리센서를 마운터 헤드에 장착하였고 거리정보의 획득으로 인한 유용성을 살펴보았다. 또한 실장 후 일정 힘으로 가압해 주어야 할 필요성이 있는 칩의 경우 힘 센서정보를 이용하여 실장을 하게 된다. 여기서 거리센서는 저속구간을 줄임으로써 생산성 향상에 큰 기여를 할 수 있다.

향후 과제로써 마이크로 액추에이터에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 현재 진행된 연구는 시제품의 제작 및 힘 제어의 적용의 효용성만 실험적으로 증명하였다. 현재 적용된 제어 알고리즘 PID 제어를 이용했고 임팩트 힘을 더 줄이기 위해서는 적응 제어나 퍼지제어 등 상위 컨트롤 알고리즘을 적용해야한다.

7. 참고문헌

- [1] Jaehong Shim, Youngim Cho, Yeontaek Oh, "Precise Contact Force Control of a Flip Chip Mounting Head System", Proceedings of the International Control, Automation and Systems, pp2-5, 2002.
- [2] Duk-Young Lee and Hyungsuck Cho, "Precision Force Control via Macro/Micro Actuator for Surface Mounting System.", IEEE International Conference of Robotics and Systems, pp3-6, 2002.
- [3] Jaehong Shim, Youngim Cho, "Intelligent Force Control of a Flip Chip Mounting System", Int. J. of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 4, No. 3, pp316-321, 2004.
- [4] K.youcef-Toumi, Assistant Professor and D. A. Gutz, Graduate Student, "Impact and force control", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp410-414, 1989.
- [5] Buckles, B. and Petry, F., "A Fuzzy Model for Relational Databases, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 7, pp213-266, 1982.
- [6] Nakju Doh, Gyudong Jeon, Wan Kyun Chung, Youngil Yourm, "Pre-Transition Phase Control : Three Different Approaches", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp2806-2807, 2000.