

# LOC Die Bonder의 접합 공정 해석 및 접합력 제어

## Dynamic Analysis and Control of Bonding Process for LOC Die Bonder

김 재 훈(금오공대 대학원), 홍 성 욱(금오공대), 김 영 식(금오공대), 김 원 남(탑 엔지니어링)  
Jae-Hun Kim(Graduate School, Kumoh National Univ. of Tech.), Seong-Wook Hong(Kumoh National Univ. of Tech.), Yeung-Shik Kim(Kumoh National Univ. of Tech.), Won-Nam Kim(TOP Eng.)

### ABSTRACT

The present study considers the analysis and control of the bonding process for a LOC Die Bonder. A mathematical model for describing the bonding process is developed and proved by experiments. A feedback scheme is also applied for the system in order to ensure the robustness of the bonding force control. The theoretical and experimental results are proved useful for the design and control of the LOC Die Bonder.

Key Words : Feedback Control(되먹임 제어), LOC Die Bonder(LOC 다이 본더)

### 1. 서론

반도체 산업의 급격한 발전에 따라 반도체 제조 장비의 국산화가 활발히 이루어지고 있다. Die Bonder는 기존의 Epoxy형에서 16M DRAM에서는 LOC(lead on Chip)형으로의 전환이 이루어지고 있으며 관련기술이 활발히 연구되고 있다. 그러나 현재까지 LOC Die Bonder는 전량수입에 의존하고 있는 실정이며 반도체 산업의 경쟁력 확보를 위해서는 국산화가 시급히 요구되고 있는 실정이다[1].

Die Bonder에서 접합공정(Bonding Process)은 가장 핵심이 되는 공정으로서 Chip에 충격을 주지 않으면서 빠른 시간 내에 적절한 하중을 인가하여 접합이 이루어지게 해야 한다. 이를 위해 접합 구동부 평가 및 접합 구동부 제어를 위해 힘 측정센서(Load Cell)를 부착하여 접합력을 측정하여 제어하는 방법이 일반적으로 활용되고 있다. 반도체 산업은 장치산업으로서 Die Bonder공정에서의 시간단축은 생산성의 개선과 직결되므로 이와 같은 작업을 빠른 시간 내에 처리할 수 있도록 구동부를 제어하는 방법의 개발이 필수적이다. 현재 선진국 장비에서는 접합하중을 인가하기 위해 약 0.25초 정도의 시간을 소비하는 것으로 파악되고 있으며 이 시간은 생산성의 제고를 위해 더욱 단축하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 Die Bonder의 접합하중 안정화를

위해 Mount Head 구동부에 대한 제어방법을 개발하고 이에 관련된 제반 실험 데이터를 확보하는 것을 주요 목표로 하였다. 따라서 Mount Head 구동부를 위한 제어장치를 개발하고, 구동부에 대한 특성 분석 및 접합하중 안정화 방법을 개발하였다. 접합 공정에 대한 모델링과 특성 해석 및 제어에 이르는 전 과정을 통해 접합 공정에 대한 시간 단축은 물론 여러 가지 경우에 대한 응용이 가능할 것으로 기대된다.

### 2. 접합 공정 모델링 및 분석

#### 2.1 접합 공정의 구성

접합 공정은 Chip에 Lead Frame을 접합하는 공정을 의미하며, 적정수준으로 가열된 Chip과 Lead Frame을 일정한 하중으로 일정시간 동안 가압하는 과정으로 이루어진다. 그림 1은 실제 LOC Die Bonder 접합공정을 보여주고 있다. LOC Die Bonder에서는 Lead Frame이 Feeder에 의해 공급되면, Mount Stage에 올려진 상태에서 대기하던 Chip을 Lead Frame의 하단부로 상승, 밀착 시키게 되며 이 상태에서 상부에 있는 Mount Head가 하강하여 Chip과 Lead Frame을 1초 이상 압착하게 된다. 이때 Mount Head에 의한 하중이 일정한 값을 유지해야함은 물론 가압 중 충격에 의한 Chip의 파손을 방지하기 위해 과도한 하중이 인가되는 것을 엄격히

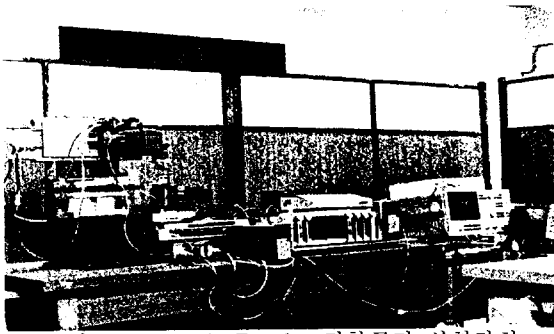


그림 1. LOC Die Bonder 접합공정 실험장치

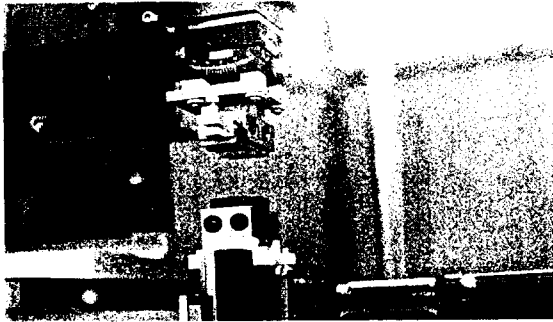


그림 2. Mount Head

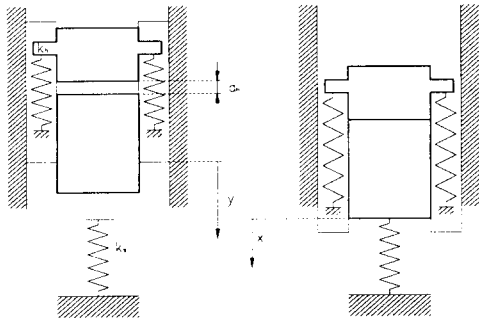


그림 3. Mount Head와 Mount Stage의 모델링

제한하고 있다. 현재의 사양에서는 오차범위를 적정 하중치의 10% 이하로 규제하고 있다.

그림 2는 Mount Head를 보여주고 있다. Mount Head에서 인가되는 하중은 Mount Head의 자중에 의해 일정한 양의 하중이 1차로 인가되며 추가로 인가되는 하중은 Mount Head가 Lead Frame에 밀착된 후 Mount Head와 상대이동이 가능하도록 제작된 구동부가 계속 하강하여 스프링이 신장됨에 따라 하중이 추가된다. 그러나 스프링 신장에 의해 추가 하중을 가하기 위해서는 스프링의 초기 인장상태를 넘기는 정도의 하중이 가해진 이후에 가능하다. 추가되는 하중은 Mount Head에 부착된 하중계(Load

Cell)에 의해 측정되고, 적절한 하중이 인가되어 제어할 수 있는 구조로 구성되어 있다. 접합 공정에서 가해질 가능성이 있는 충격을 방지하기 위해서 Mount Head를 느린 속도로 하강하는 것이 바람직하지만 이로 인해 접합 공정시간이 많이 소요되면 생산성을 떨어뜨리는 원인이 될 수 있으므로 빠른 속도로 하강시킬 필요가 있다. 따라서 이미 언급한 바와 같이 충격을 주지 않으면서 빠른 속도로 하강시키기 위해서는 인가되는 하중에 대한 적절한 제어가 필요하게 된다.

Mount Head 구동은 Stepping Motor를 이용하고 있으며, 2절 링크와 슬라이드 구조로 구성된다. 구동 모터에는 50:1의 감속비를 갖는 Harmonic Gear가 결합되어 이송 정밀도를 높였다.

## 2.2 Mount Head의 자중에 의한 충격력 해석

Mount Head에 의한 접합 하중의 충격을 개념적으로 파악하기 위해 그림 3과 같은 이상화된 모델을 구성하였다. 실 작업에서는 Mount Head의 상단부가 스프링과 일체를 이룬 상태에서 준비 위치로부터 접합대기 위치까지 하강한다. Chip과 Lead Frame의 접합준비가 완료되면 Mount Head는 접합대기 위치에서 적절한 접합력이 얻어질 때까지 하강해 1차적으로 Mount Head의 자중에 Mount Stage에 얹혀지게 되는데, 이 조건은 일정한 속도를 갖는 진동체가 그림 3과 같이 순간적으로 강한 스프링 위에 얹혀지는 것으로 모델링 할 수 있다. 이 때의 운동방정식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$m\ddot{x}(t) + b\dot{x}(t) + kx(t) = mg u_0(t) \quad (2-1)$$

또는

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta\omega_n\dot{x}(t) + \omega_n^2x = g u_0(t) \quad (2-2)$$

여기서  $m$ 은 Mount Head의 자체 질량이며,  $b$ ,  $k$ 는 각각 접합부에서 발생하는 점성감쇠계수와 스프링상수를 의미한다.  $u_0(t)$ 는 단위계단함수로서 다음과 같이 정의된다.

$$u_0(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (2-3)$$

또한,  $\omega_n$ ,  $\zeta$ 는 각각 고유진동수와 감쇠비를 의미하며 다음과 같이 정의된다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_s}{m}}, \quad \zeta = \frac{b}{2\sqrt{mk_s}}$$

자중에 의한 충격력을 해석하기 위해 Mount Head의 자중이 속도  $v_0$ 로 하강하여 접촉하는 순간 Mount Head 상단(스프링부)의 이동이 멈추는 것으로 가정하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다. 즉,

$$x = \frac{mg}{k_s} \{1 - e^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_d t + \phi)\} + \frac{v_0}{\omega_d} e^{-\zeta\omega_n t} \sin \omega_d t \quad (2-4)$$

여기서

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}, \quad \tan \phi = \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta}$$

초기속도가 없다고 하면, 즉  $v_0=0$ 이라고 하면 Mount Stage에 가해지는 최대하중은 아래와 같이 결정된다.

$$\max(k_s x) = mg \left\{ 1 + \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \zeta x} \right\} \quad (2-5)$$

식 (2-5)로 부터 Mount Head의 자중에 의한 하중은 감쇠에 크게 의존하는 것을 알 수 있으며, 감쇠가 전혀 없는 경우가 최대하중으로서  $2mg$ 가 가해지며 감쇠가 커질수록 그 값은 작아지게 된다. 한편 식(2-4)에 의하면 바닥에 전달되는 힘은 초기속도에 직접 비례하게 되는데, Mount Head의 자중에 의해 전달되는 힘과 합성되어 나타나게 되어 독립적인 계산은 의미가 없다. 그러나 일반적으로 초기속도가 낮아지면 바닥에 전달되는 힘은 감소하게 된다.

2.3 Mount Head의 초기속도와 간극 및 스프링의 초기 인장력을 고려한 접합공정 모델링

초기속도와 스프링과 Mount Head 사이의 간극 및 스프링의 초기 인장력을 고려하여 식 (2-5)를 다시 구하면 다음과 같은 운동방정식을 쓸 수 있다.

$$i) \quad 0 \leq y < d_h \\ m_1 \ddot{x} + b\dot{x} + k_s x = m_1 g u_0(t)$$

$$ii) \quad d_h \leq y, \quad t_0 = \frac{d_h}{v_0} \quad (2-6)$$

$$(m_1 + m_2) \ddot{x} + b\dot{x} + (k_s + k_h)x = m_1 g + f_p u_{i_0}(t) + k_h(y - d_h)$$

여기서  $v_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $d_h$ ,  $f_p$ 는 각각 초기속도, Head의 1차 질량과 Head의 2차 질량, 그리고 스프링과 Head와의 간극 및 스프링의 초기 인장력을 의미한다.

### 3. 동특성 분석

#### 3.1 실험 장비 구성

실험장비는 하드웨어와 소프트웨어로 나뉘며, 하드웨어는 제어 프로세서, A/D 변환기, 펄스발생기, Mount Head 이송부, Mount Stage 이송부, 하중계 및 증폭기로 구성 된다.

제어 프로세서는 Intel사의 8-bit Micro Controller 인 8051과 호환되는 것으로 직렬통신(RS-232C)를 통하여 개인용 컴퓨터에 의해 프로세서 동작제어, 내장된 외부 메모리와 프로그램 및 데이터의 상호교환이 가능하게 되어 있으며, 이들 기능과 관련된 프로그램은 내부메모리(Embedded Loader ROM)에 장착되어 있다[2].

A/D변환기는 12-bit A/D변환기로서, 하중계로 부터 측정된 접합 하중신호를 이산 데이터로 변환, 입력한다. 하중계가 압축력만을 받기 때문에 증폭기로부터 양(+)의 신호만이 출력되므로 A/D변환기는 단극(Uni-polar) 모드로 설정하였고, 하중계 신호는 A/D변환기로 입력되기 전에 별도 제작된 증폭기를 통하여 10배 증폭되었다. A/D변환기의 입력신호의 범위는 0~10V이다.

Mount Head와 Mount Stage의 스텝 모터의 구동 펄스를 발생시키기 위하여 2개의 펄스발생기가 사용되었으며, 이것은 모드 선택에 따라 다양한 구동방식으로 동작될 수 있다.

Mount Head의 정밀 이송을 위하여, 1/50 감속기가 내장된 5상 스텝모터가 사용되었고, 구동기를 2분할 모드(Half mode)로 작동할 경우에 스텝모터의 분해능은 0.0072°/펄스이다. 모터축에 부착된 링크계(Link system)는 회전운동을 직선운동으로 변환하여 Mount Head을 이송시킨다.

접합하중을 측정하기 위하여 스트레인 게이지형 하중계를 Mount Head에 설치하였고, 하중신호는 증폭기를 통해 수치적으로 표현되는 한편 보조적으로 아날로그 출력단자가 준비되어있다.

소프트웨어는 Intel사의 8051 어셈블러와 어셈블리 된 목적(Object) 파일을 16진(Hex) 파일로 변환하는 프로그램, 프로세서를 운영하기 위한 개인용 컴퓨터 용 프로그램으로 구성되어 있다.

### 3.2 초기 속도 변화에 대한 접합력의 비교

시물레이션은 Mount Head의 간극과 스프링의 초기 인장력을 고려한 식 (2-6)을 이용하였고, 해석적인 결과를 얻기 어려우므로 Matlab을 이용한 수치 계산에 의해 응답특성을 구하였다[3].

실제 접합력 측정에서 Mount Head에 부착된 하중계는 초기 상태에서 자체 자중으로 인해 하중이 인가되어 있는 상태가 되므로, Mount Head를 자체 측정대로 이송을 시킨 후, 측정대에 하중계를 장착하여 실제 하중을 측정하였다. Mount Head의 이송 속도 계산은 Mount Head에 의해 하중계에 하중이 인가되지 않는 시점부터 Mount Head가 원점으로 복귀한 후 다시 하중계로 이송하여 하중이 인가되는

시점까지를 1회 왕복 거리로 하고, 이를 10회 측정하여 평균을 취하였다.

식에 포함된 매개변수의 값은 다음과 같다.

$$m_1 = 1.18kg, m_2 = 2.85kg, k_h = 22KN/m, \\ k_s = 2MN/m, \zeta_1 = 0.4, \zeta_2 = 0.7, d_h = 1.09mm, \\ f_b = 2kg_f$$

위와 같이 매개 변수를 두고 초기 속도를 각각  $0.0050m/s$ ,  $0.0101m/s$ ,  $0.0150m/s$ 로 변화시켰을 때의 접합력을 계산한 결과와 실제 접합력을 그림4 ~ 6에서 보여주고 있다. 실제 접합력에서 스프링과 Mount Head와의 간극에 의해 하중이 증가하지 않는 영역이 존재하고 있으며, 스프링의 초기 인장력과 Mount Head의 링크부 및 접합부의 특성에 의한 영역이 존재함을 알 수 있다. 속도가  $0.005m/s$  경우에 2차로 하중이 인가되는 과정중 하중이 인가되고 다소간의 하중이 증가하지 않는 부분이 관찰는데, 이 부분은 Mount Head의 열선에서 전달되는

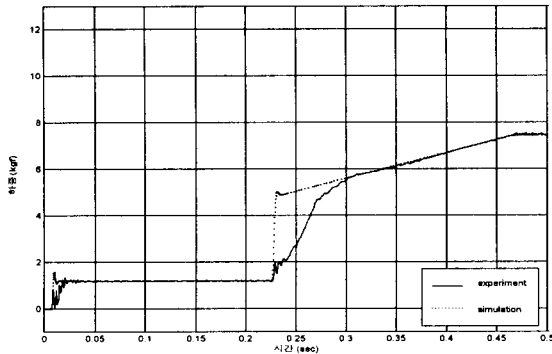


그림 4. Simulation 결과와 실제 접합력 비교  
(속도  $0.0050m/s$ )

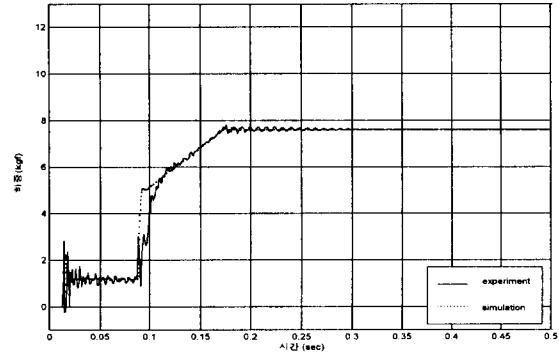


그림 6. Simulation 결과와 실제 접합력 비교  
(속도  $0.0150m/s$ )

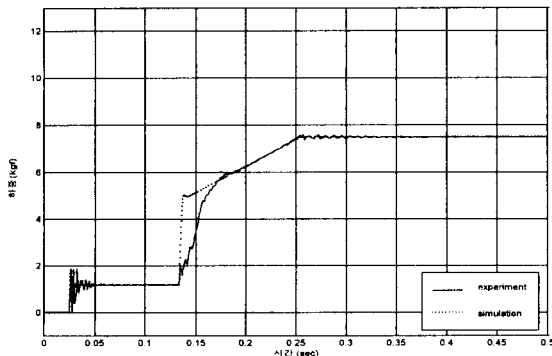


그림 5. Simulation 결과와 실제 접합력 비교  
(속도  $0.0101m/s$ )

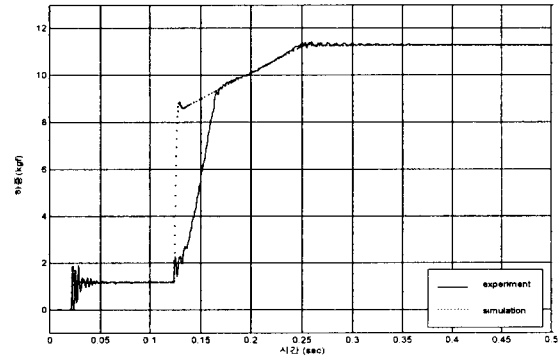


그림 7. Simulation 결과와 실제 접합력 비교  
(인장력 증가, 속도  $0.0101m/s$ )

열변형에 의한 영향을 고려하여 0.1 ~ 0.2 mm 정도의 간극을 두기 때문이다. 또한, 초기 속도가 증가할수록 초기의 충격력이 증가하는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과에서 대체로 모든 구간에서 실험 결과와 비슷한 양상을 보이고 있으며, 2차로 하중이 인가되는 부분에서는 Mount Head의 링크부 및 접합부의 특성이 고려되지 않기 때문에 약간의 차이를 보이고 있다.

다음으로 스프링 인장력을 증가시켜서  $f_p = 5.86 \text{ kg}_f$ 로 두고, 식에 포함된 매개변수의 값과 속도는 위와 동일하게 하여 실험 및 계산을 하였다.

실험 결과(그림 7), 인장력은 증가했지만 정격 하중에 도달하는 시간은 적절한 하중이 가해졌을 경우와 거의 똑같은 것을 알 수 있다.

#### 4. 되먹임제어 및 특성 분석

기존의 Die Bonder에서는 Scheduling 방법으로 접합하중을 인가하였고, Scheduling에 의한 방법은 기계요소와 마모, 피로현상 등에 의한 기계적 특성 변화(스프링의 탄성계수 변화, Mount Head 스텝모터 기어의 백래쉬 등)가 발생하면 수작업을 통해 재조정해야 하는 어려움이 있다. 따라서, 기계적 특성 변화로 유발되는 오차 요인을 자동보정하고, 빠른 접합하중을 인가하기 위한 되먹임 제어 방법을 개발하고, 이에 대한 특성을 분석한다.

시스템의 되먹임제어 작업 순서는 다음과 같다.

- ① 리미트스위치 신호에 기준하여, Mount Stage 및 Mount Head를 원점 복귀시킨다.
- ② Mount Stage를 작업위치로 이동한다.
- ③ Mount Head를 작업위치(시편과 접촉하기 직전 위치)로 이동시킨다.
- ④ 이송이 완료 되었을 경우, 접합하중신호를 측정, A/D변환한다.
- ⑤ 접합하중과 설정하중신호(접합 하중 - 설정하중)간의 오차를 연산한다.
- ⑥ 오차가 허용오차 범위밖에 있을 경우 ⑦의 작업을 수행한다. 오차가 허용오차 범위내에 있을 경우 Mount Head를 정지시키고, 접합공정에 필요한 일정 시간동안을 지연시킨 후 ①로 돌아 간다.
- ⑦ 오차의 부호에 따라 방향을 결정하고, 오차에 제어가 이득을 곱한 후 Mount Head의 이송량을 계산한 다음 Mount Head를 이송시키고, ④의 작업을 수행한다.

⑧ 입력된 접합공정 횟수 만큼 ① ~ ⑦의 작업을 반복한 후에 Mount Stage를 원점 복귀시키고 작업을 종료한다.

④번 작업중 접합하중신호의 측정 및 A/D변환과정에는 17회의 샘플링 및 평균 작업이 포함되어 있으며, 이를 통해 전기적 잡음에 의한 오동작 가능성을 배제하였다. A/D변환기는 자유기동(Free Run) 방식으로 동작(A/D변환 값을 프로세서가 읽는 즉시 A/D변환이 재수행)되도록 하여, A/D 변환이 최대 샘플링속도(A/D변환시간:  $35\mu\text{sec}$ )로 이루어질 수 있게 하였다. Mount Head의 이송량은 (접합하중오차의 이산값 ÷ 정수변수)로 부터 연산된다. 접합하중의 허용오차 범위는 이산값으로  $\pm 2H$ (최대 접합하중의  $\pm 0.1\%$  이내)로 설정하였다.

하중을 6 ~ 10  $\text{kg}_f$ 사이에서 단계적으로 변화시키고, 이에 맞추어 정수 변수(계인)를 1/6 ~ 1/2까지 단계적으로 변화시켜서 각각의 기준하중과 정수변수의 값에 대하여 제어계의 응답특성(상승시간, Overshoot, 정상상태 오차)을 측정하였다. 그림 8 ~ 10은 되먹임 제어시 측정된 접합하중을 도시하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 상승시간은 0.25sec 정도의 시간이 소요된다. 정수 변수의 값이 1/2에서는 오실레이션이 계속되는 것을 볼 수 있고, 계인 값이 감소할수록 Overshoot이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 정상상태오차((기준하중 - 정상상태 접합하중) / 기준하중)는 설정된 기준하중에 관계없이  $\pm 0.1\%$ 이내로 유지되었다.

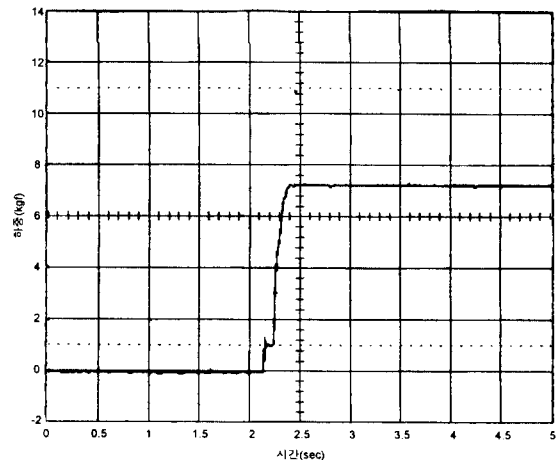


그림 8. 되먹임 제어시 접합력 변화(계인 = 1/6)

## 5. 결론

본 연구에서는 LOC Die Bonder의 핵심공정인 접합공정을 모델링, 분석하였으며 과도한 하중이 인가되지 않으면서 적절한 하중이 빠른 시간에 인가될 수 있도록 제어하는 방법을 개발하였다.

LOC Die Bonder의 접합공정에서 과도한 하중이 인가되는 현상을 평가하기 위한 모델링 및 수치적 분석을 실시하였다. 2차 하중이 인가되는 부분은 모델의 복잡함으로 인한 모델링의 오차가 있었으나, 전체적으로 잘 일치하였으며 접합력 설정 및 제어에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Mount Head 구동부에 의해 인가되는 하중을 이용한 되먹임 제어 시스템을 구성하여 하중조건과 기계적 특성 변화에 상관없이 접합력 제어가 될 수 있도록 하였다. 또한 기준하중에 무관하게 접합력 안정화를 위해 0.25sec정도 소요되었다.

## 6. 참고문헌

1. 홍성욱 외 4인, LOC Die Bonder의 진동원 분석 및 대책, 연구보고서, 1996. 5.
2. 문세홍 외 1인, 인텔 8051 구조와 설계응용, Ohm사, 1989. 12.
3. Intel the Microcomputer Company, 8-BIT EMBEDDED CONTROLLER HANDBOOK, 1989.
4. MATLAB Reference Guide, The Mathworks Inc., 1992. 10.

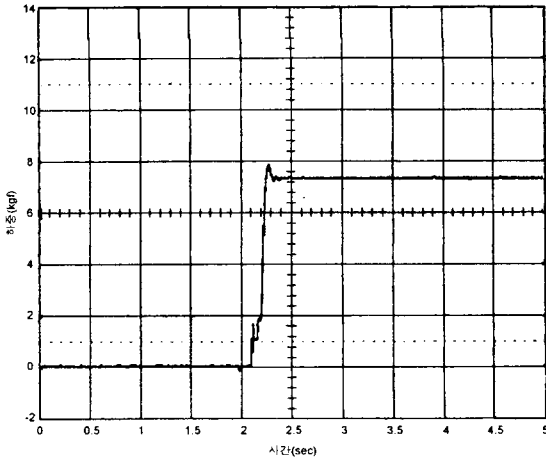


그림 9. 되먹임 제어시 접합력 변화(게인 = 1/4)

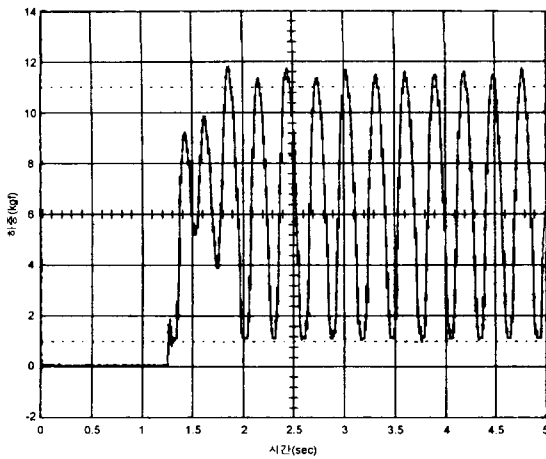


그림 10. 되먹임 제어시 접합력 변화(게인 = 1/2)