

# SMT 마운터의 동특성 분석

## Dynamic characteristic analysis of SMT mounter system

임경화† · 정진호\* · 범희락\*\*

Kyung-Hwa Rim, Jin-Ho Jung, Hee-Rak Beom

**Key Words**: 표면실장기술(Surface mount technology), 진동해석(Vibration analysis), 동특성(Dynamic characteristic), 모드 시험(Modal test), 입력 성형(Input shaping),

### ABSTRACT

Dynamic characteristic analysis is required in developing SMT mounter system with high installation speed and position precision, because of vibration source occurred by positioning head. This paper presents the method of improving dynamic characteristic of SMT(Surface Mount Technology) mounter with finite element method and modal test. The design direction is that natural frequencies of SMT mounter must be higher than the vibration source. In addition, the effect of input shaping on residual vibration reduction is investigated by simulating the response of a first-order system.

### 기 호 설 명

$w_n$  : 비감쇠 고유 진동수  
 $\zeta$  : 감쇠비

### 1. 서 론

최근 전자제품의 소형화, 고기능화에 따른 PCB(Printed circuit Board)의 고집적화가 증가되고 있다. 이러한 전자부품의 소형화 요구로 표면실장기술(SMT, Surface Mount Technology)의 개발이 급속도로 진전되고 있으며, 이와 관련된 기술도 함께 발전하고 있다.

표면실장기술의 핵심기술력은 전자부품의 고속이송과 소형화에 따른 정확한 위치에 탑재하는 것으로 판가름 날 것이며, 이를 위하여 현재 국내에서는 많은 특허와 기술들이 나오고 있다. 이러한 기술의 발

달은 전자제품의 성능이 크게 향상됨과 동시에 품질 관리가 쉬어져 생산성을 높일 수 있다. 하지만 이러한 표면실장기술의 고속 이송은 구조물에 과도한 진동을 유발시켜 정밀 위치 제어 성능에 악영향을 끼치고 장비를 사용하는 사람이나 주위의 정밀 장비에 심각한 영향을 줄 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 시스템의 대역폭을 늘려 가진원(Vibration source)의 영향이 최소화가 될 수 있도록 해야 하며, 정밀 위치 제어를 하기 위해서 잔류 진동에 대한 위치 제어기 성능의 향상이 필요하다.

본 연구에서는 현재 개발중인 SMT 마운터 시스템에 대해 진동 저감을 하기 위해서 실험적으로 구조물의 고유진동수(Natural frequency)를 확인하고 이를 근거로 하여 유한요소법(Finite element method)으로 모델링 한 뒤, 구조설계를 변경하여 진동저감 효과를 확인한다. 그리고 진동의 가진원인 헤드 거동의 제어를 수치적으로 해석하여 기틀을 마련하고자 한다.

† 교신저자; 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부  
E-mail : rim@kut.ac.kr

Tel : (041)560-1147, Fax : (041)560-1253

\* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 대학원

\*\* 미래산업(주) 부사장

## 2. 시스템 구조 및 분석 방법

### 2.1 시스템의 구조

개발하고 있는 SMT 마운터의 구조는 Fig. 1과 같이 기존 SMT 장비들과 달리 모듈형태 마운터 시스템(Unit module mounter system)으로 구성되어 있어, 동일 플랫폼을 기반으로 고속 장착, 부품 범위 확대 등의 서로 다른 요구를 헤드(Head), 피더(Feeder), 겐트리(Gantry)의 교체를 통하여 쉽게 구현할 수 있도록 되어 있다. 메인 프레임(Main frame)은 상단에 리니어 모터(Linear motor), 이송부 등을 지지하며 하단에 제어부품을 포함하고 바닥면 및 케이스를 고정하는 구조로 SMT 마운터 시스템 전체의 뼈대를 구성하는 구조물이다. 이송부는 칩을 이송하는 헤드가 한 모듈에 2개가 수직방향(Z 방향)으로 이송용 서보모터에 부착되어 있다. 또한 리니어 모터는 피더에서 공급되는 전자부품을 주어진 속도 프로파일(Velocity profile)에 따라 헤드를 수평방향(X, Y 방향)으로 각각 독립적인 고속 병진 운동을 시키면서 PCB의 정해진 위치에 장착하는 일을 하며, 이러한 과정 중에 헤더는 가감속하므로 구조물을 진동하게 하는 가진원이 되기도 한다. 가진원에 의해 발생하는 진동은 고정밀 위치제어에 외란(Disturbance)으로 작용하므로 장비의 전체 제어 성능에 큰 영향을 미치는 요인이 되므로 고강성 저진동형 시스템 설계를 하는 것이 매우 중요하다.

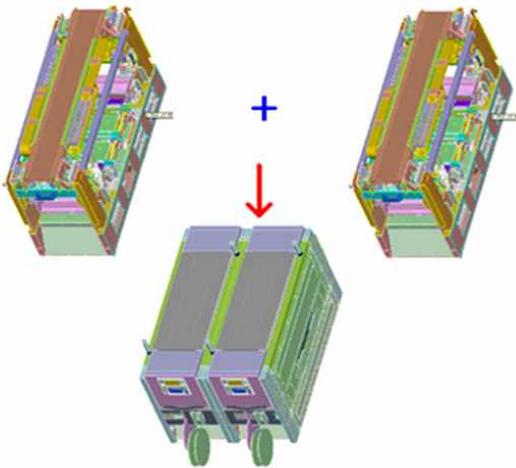


Fig. 1 SMT mounter system

### 2.2 실험 및 해석 방법

시스템의 주요 가진원은 리니어 모터를 이용하여 고속으로 이송되는 헤드가 소자를 장착하는 과정에서 요구되는 급격한 가감속 과정에서 기인한다. 따라서 시스템의 메인 프레임의 고유진동수와 각 부분의 고유진동수가 가감속 과정에서 발생하는 가진 주파수와 일치하는지 여부를 판단해야 하며, 이를 위해서는 모드 시험(Modal test)을 이용하여 주요 부위의 고유진동수와 모드형상을 파악하여야 한다.

모드 시험은 다양한 가진방법이 있지만 SMT 마운터 장치가 매우 크므로, 임팩트 해머(Impact Hammer)로 구조물에 충격가진(Impulse excitation) 하면서 응답을 가속도 센서로 측정하여 주파수 관점에서 시스템의 동특성을 파악한다. 이때 임팩트 해머에 부착된 하중 센서에서 입력되는 충격량의 크기와 가속도 센서의 응답 데이터는 동적신호분석기(Dynamic signal analyzer)로 수집하여 시스템의 고유진동수와 모드 현상을 도출하여 시스템의 동특성을 파악한다.

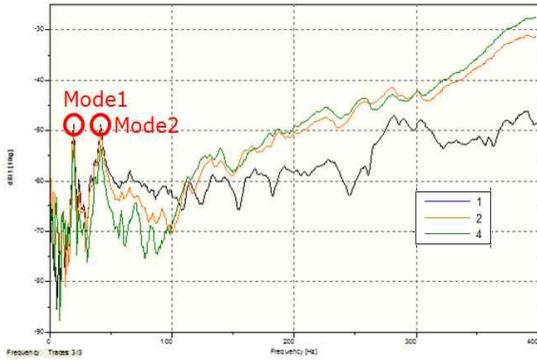
시스템의 고유진동수 회피 및 보강 설계를 위해서는 수치해석 모델을 수립할 필요가 있다. 이에 따라 SMT 마운터 설계를 위하여 주어진 CAD 파일을 이용 복잡한 부분은 간략화 하고 시스템의 구조물을 모델링한 후, 유한요소법(FEM) 프로그램을 이용하여 진동해석을 수행한다.

## 3. 실험 및 해석 결과

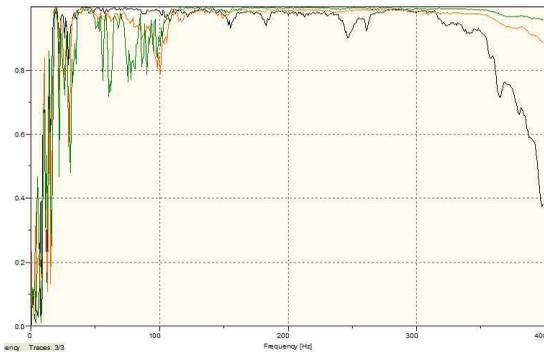
### 3.1 모드 실험

시스템 각부의 고유진동수와 모드 현상을 알기 위해서 측정부에 가속도 센서를 부착하고 임팩트 해머를 이용하여 충격 가진 하였으며, 이의 실험은 메인 프레임의 고유진동수를 측정하기 위하여 수행하였다.

측정한 주파수 응답함수는 수평방향(X 방향)으로 가진하고 같은 방향의 4 위치의 가속도를 각각 측정하여 구한 측정치이다. 분석한 결과는 Table. 1과 같이 기본 메인 프레임의 1차 고유진동수는 저주파수 영역인 20Hz 근처에 있으며, 2차 고유진동수도 근방에 존재하는 것을 확인할 수 있다.



(a) Frequency response function



(b) Coherence function

Fig. 2 Measurement with modal test (x-axis)

Table. 1 Natural frequencies of main frame

Mode No.	Natural frequency (Hz)
1	19.5
2	41.4

### 3.2 유한요소해석

복잡한 시스템의 동특성에 대한 문제점을 파악하고 보완하기 위해서는 동적 해석모델을 이용하여 해석할 필요가 있다. 유한요소해석(FEM Simulation)을 위해서 전처리기(Pre-Process)는 Hyper-Mesh을 이용하여 시스템의 전체 거동에 큰 영향을 주는 프레임 모델과 함께 케이스를 포함한 전체시스템 모델로 나누어 모델링 하였으며, 해석에 영향을 주지 않는 부분은 간략화 하여 해석 자유도를 줄인 반면에 구조물의 형태 및 연결을 상세하게 모델링하였다.

리니어모터 이송부는 강체 요소를 이용하여 구동

축 방향으로의 자유도를 자유 조건(Free condition)으로 정의하였다. 모델링 되어진 유한요소모델을 이용하여 NASTRAN 프로그램을 이용하여 Fig. 3에서 보는 바와 같이 동적해석을 수행하였다.

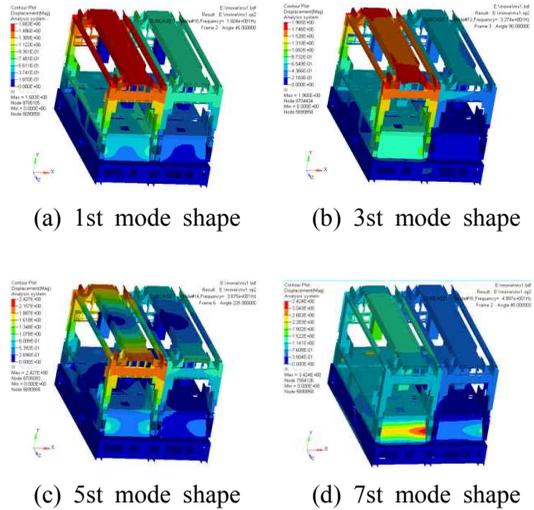


Fig. 3 Modal analysis results

Table. 2 Simulated natural frequencies with F.E.M

Mode No.	Natural frequency (Hz)	Shape
1, 2	16.0	Rolling
3, 4	32.7	Pitching
5, 6	36.8	Yawing
7	49.0	Heaving

현재 주어진 SMT 마운터 시스템은 동일 플랫폼 위에 2개의 겐트리가 탑재되어 각각의 모드에서 2개의 동일한 고유진동수가 나타난다. Table. 1과 비교하였을 때 유한요소 모델에서의 고유진동수는 실제 측정치와 비슷함을 알 수 있다. 여기서 차이가 발생한 원인은 복잡한 형태의 모델링을 간략화하면서 생긴 오차일 것으로 판단된다.

### 3.3 진동 성능 개선

해석 결과 프레임의 고유 진동수는 16Hz 근방에서 발생하는 것을 알 수 있다. 이에 진동저감을 위해서는 검증된 유한요소 모델을 이용하여 저주파수 영역의 1차 고유진동수를 증가시켜 대역폭을 늘려 설계하는 것이 바람직하다.

메인 프레임의 1차 고유진동수 모드는 로링 모드형상(Rolling mode shape)이므로 이를 보강하기 위해서는 적당한 위치 구조물의 두께를 증가시켜 고유진동수를 증가시킨다.

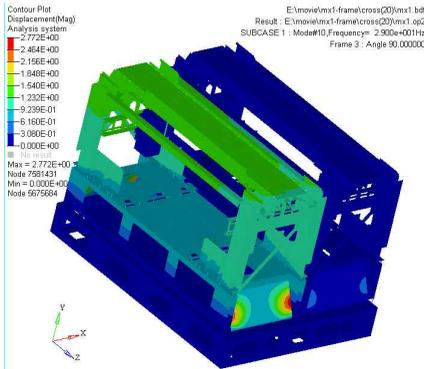


Fig. 4 Improved model

Table. 3 Before/After comparisons

Mode	Before	After
Rolling	16.0 Hz	29.0 Hz

Fig. 4는 구조물을 보강한 모델이며, Table 3에서 보는 바와 같이 1차 고유진동수가 80%까지 증가하였음을 알 수 있다.

#### 4. 헤드의 잔류진동 감쇠

헤드의 고속 동작은 잔류진동을 발생시켜 시스템을 구성하는 기계의 수명을 단축시키고 칩탑재 작업 속도를 저하시킨다. 이러한 잔류진동을 없애기 위한 연구는 오랜 전부터 진행되어 왔으며, 이러한 연구 중에 하나로서 입력 성형 기법이 제안되었다.

본 연구에서는 간단하게 제어특성을 파악하고 적절한 제어기를 설계하고 시뮬레이션을 통하여 진동 저감 효과를 확인하고자 한다.

##### 4.1 입력 성형 기법

기존의 되먹임 제어(Feedback control)에서는 시스템에서 발생하는 진동을 감소시키기 위해서 추가적인 설비와 제어장치가 필요하였다. 하지만 입력 성형 기법은 Fig. 5와 같이 앞먹임 제어

(Feedforward control)로써 입력 신호를 직접 조정하여 시스템에서 발생하는 진동을 억제하는 방식으로 적은 비용으로 쉽게 접근할 수가 있으며, 기존의 폐루프 제어기(Close loop control) 변경 없이도 사용할 수 있다.<sup>(4)</sup>

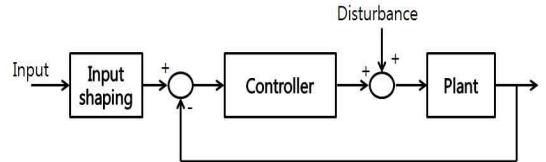


Fig. 5 Block diagram of input shaping method

입력 성형 기법의 기본적으로 크기가 서로 다른 임펄스 응답을 Fig. 6와 같이 시간차를 두고 입력 되었을 때 합성곱(Convolution)에 의해 시스템의 응답 크기가 영(zero)이 되어 진동이 저감되는 원리이다.

1자유도 진동 모델이 주어져 있다가 하였을 때 임펄스에 대한 시간 응답은 다음과 같이 쓸 수 있으며, 이 공식은 입력 성형 기법에서의 가장 기본이 되는 공식이다.

$$y(t) = \frac{Aw_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta w_n(t-t_i)} \sin w_n \sqrt{1-\zeta^2} (t-t_i) \quad (1)$$

여기서 A는 임펄스의 크기이고  $t_i$ 는 임펄스 입력이 가해진 시간이다. 이를 이용하여 N개의 임펄스가 가해졌을 때 응답을 구하고 두 번째 임펄스에 의한 시스템의 응답의 크기가 영(zero)이 되기 위하여 조건들을 대입하여 대수적으로 풀면 다음과 같은 상수를 구할 수 있으며, 이는 두 번째 임펄스의 크기 K와 시간  $\Delta T$ 을 나타낸다.<sup>(5)-(6)</sup>

$$K = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (2)$$

$$\Delta T = \frac{\pi}{w\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (3)$$

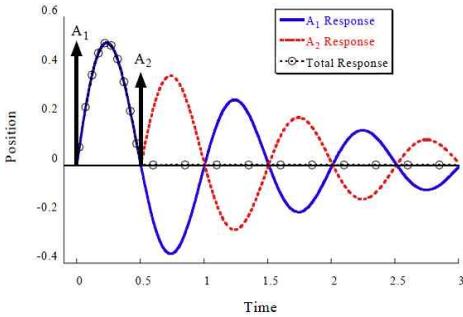


Fig. 6 Convolution of impulse response

#### 4.2 입력 성형 제어

Table. 4에서 주어진 1자유도 진동 모델의 파라미터를 식(2), 식(3)을 이용하여 입력 성형 제어기의 임펄스 형상은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} t_1 & t_2 \\ A_1 & A_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & \Delta T \\ 1 & K \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0.324 \\ 0.692 & 0.308 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

Table. 4 Characteristic of 1DOF vibration model

Parameter	Value
Mass	1 kg
Stiffness	100 N/m
Damping	5 N · s/m
Natural frequency	10 rad/s
Damped ratio	0.25

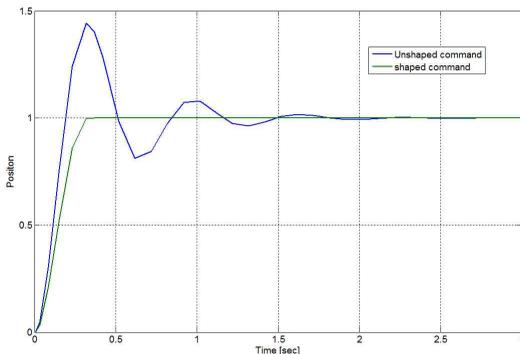


Fig. 7 Comparison of Input shaping

설계된 임펄스 형상을 가지고 컴퓨터로 시뮬레이션 하기 위해 MATLAB Simulink을 이용하여 입력 성형기의 진동 저감 효과를 비교하였다.

시뮬레이션 상이지만 입력 성형기를 입력신호로 주었을 때의 결과는 Fig. 7에서와 같이 진동의 크기가 확연하게 줄어든 것을 볼 수 있다. 하지만 실제적인 구조물에서는 고유 진동수와 감쇠비를 정확하게 측정하는 것이 어렵기 때문에 위와 같은 결과보다는 잔류 진동이 발생할 것이며, 이를 보완하기 위한 강건한 입력 성형기를 추후 검토할 예정이다.

#### 5. 결 론

SMT 마운터 시스템에 구조적인 진동 문제를 전반적으로 분석하고 시스템의 공진을 회피하기 위해 구조 변경에 대해 제시하였으며, 유한 요소 모델 해석을 통하여 이를 검증하였다. 그리고 헤드의 고속 운행으로 발생하는 진동을 저감하기 위한 방법으로 입력 성형 기법을 제시하였으며, 시뮬레이션으로 진동 저감의 응답 특성이 좋은 것을 확인하였다. 이는 앞으로 성능 개선을 하는데 있어서 참고 자료로 활용될 것이다.

#### 후 기

이 연구는 지식경제 기술혁신사업(ATC 사업) 지원으로 이루어졌으며, 자료는 (주)미래산업에서 제공받았습니다. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Rim, K. H., An, C. H., Beom, H. R., Yang, X., Han, W. H., 2009, Vibration Analysis of A Mounter Equipment, Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 606-607.
- (2) Rim, K. H., Jang, H. T., 2001, Vibration Reduction of Chip-Mount System, Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 11, No. 8, pp. 331-337.
- (3) Ko, B. S., L, S. Y., 2002, Vibration Analysis and Experiments of a Chip Mounting Device,

Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 1039~1042.

(4) Jae, C. Y., AHN, T. K., 2005, Reduction of Residual Vibration in Wafer Positioning System Using Input Shaping, Transactions of the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 559~563.

(5) Kim, H. K., Kwon, O. Y., 2008, Application of Input Shaping Method for Positioning Stage in Consideration of Base Structure Vibration, Korea Machine Tool Manufacturers Association, pp 375~380.

(6) Bae, G. H., Song, E. H, 2009, Vibration Reduction for Displacement Amplification Mechanism Based Micro-stage by Using Input Shaping Method, Korea Machine Tool Manufacturers Association, pp 15~19.