

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 리니어 피더의 설계 및 분석

Design and Analysis of a Linear Feeder using Computer Simulation

이규호*·김성현**·정진태†
Kyuhoo Lee, Sunghyun Kim and Jintai Chung

Key Words : Linear Feeder(리니어 피더), Multibody Dynamic(다물체 동역학), Dynamic Motion(동적 거동)

ABSTRACT

The purpose of this study is to design of a linear feeder using a multi body dynamic program, and to analyze a dynamic motion of the feeder that can transport small mechanical parts uniformly. In order to establish the analysis model of the linear feeder, each parts of the feeder are divided into two types which the rigid and flexible body. For the dynamic simulation, RecurDyn, which is a commercial multi-body dynamic package, is used. We also consider the design parameters for optimal dynamic motion such as centroid, stiffness, and mass of the feeder system. In order to analyze the dynamic motion of a linear feeder, the displacements of the feeder are measured by several accelerometers when it is in an operating condition. After the signal data from the accelerometers are captured in the time domain, the dynamic motion in the space is visualized by using graphic computer software.

1. 서론

본 연구는 부품을 이송하는 시스템의 주요 진동 장치인 리니어 피더(linear feeder)가 부품을 균일하게 이송하는 최적의 동적 거동을 갖기 위한 시뮬레이션을 통한 설계와 실험을 통한 분석에 대한 연구이다.

피더는 부품을 이송하는 시스템에 사용되는 진동 부품장치로서 피더의 종류를 크게 두 가지로 분류하면, 이송 부품의 자세를 제어하고 일정한 방향으로 정렬하여 다음 공정으로 이송시키는 보울 피더(bowl feeder)와 전 단계에서 선별되고 제어된 부품의 자세를 그대로 유지하여 배출부까지 이송하는 리니어 피더(linear feeder)로 나눌 수 있으며 부품의 정렬 방식과 이송 시스템 등의 사용 환경에 따라 두 가지 이상의 피더를 조합하여 사용하거나 한 가지의 피더만을 사용하는 방식을 채택하고 있다. 특히 리니어 피더는 작은 기계부품이나 반도체 소자 등을 정렬 하여 컨베이어 벨트나 다음단계의 이송 시스템으로 보내는 역할을 수행하고 있

며 부품의 크기가 작아질수록 부품을 균일하게 이송하여야만 한다. 특히 최근에는 MLCC등의 작은 반도체 부품의 정렬 및 이송 과정에도 리니어 피더가 사용되고 있으며 고르지 못한 부품의 정렬과 이송상태의 불량은 이송하는 기계부품의 불량 및 고장의 원인이 되므로 균일한 이송을 위한 피더의 동적 거동의 확보 및 설계 기술이 확립이 필요하다.

리니어 피더는 보울 피더와 더불어 가장 많이 쓰이는 피더임에도 불구하고 국내 생산 피더의 수준은 해외의 피더를 수입하거나 해외 선진기술을 모방하는 수준이라고 할 수 있다. 이는 피더가 부품 이송과 정렬의 중요한 부품임에도 불구하고, 국내에서 운동특성의 계측 및 분석이 전혀 시도된 바 없기 때문에 선진국 제품에 비하여 만족할 만한 성능을 보여주지 않고 있다. 반면에 국외에서는 컴퓨터 프로그램 언어를 이용하여 피더의 시스템을 모델링하고 부품의 이송속도와 가진 진폭의 크기에 따른 피더의 운동을 해석하고⁽¹⁾, 피더를 2자유도를 갖는 시스템으로 모델링하고 전과제어와 피드백제어를 통한 시스템에 대하여 해석하였다⁽²⁾. 또한 Hongler⁽³⁾는 주기적·비주기적 가진에 의한 부품의 이송률에 대한 연구를 수행하여 피더의 개발에 응용하였다. 특히 독일의 RNA는 1960년대부터 쌓아올린 기술적 노하우를 바탕으로 자동 피딩 시스템 기술을 선도하고 있으나 기술의 공개를 하고 있지 않다.

본 연구에서는 이송중인 부품의 자세를 유지시키는 피더의 동적 거동을 정의하고 다물체 동역학 시뮬레이션 프로그

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계정보경영공학부
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031) 400-5287, Fax : (031) 406-6364

* 한양대학교 기계공학과

** 한양대학교 기계공학과

램을 이용하여 해석 모델을 수립하여 강성, 질량, 무게중심 등의 설계 변수에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 정의된 동적 거동을 갖기 위한 설계변수를 추출하여 해석 모델을 바탕으로 실제 피더를 제작하였다. 마지막으로 액츄에이터의 가진에 의한 피더의 각 면의 변위를 시간영역에서 측정하고^{(4),(5)}, 시간영역의 데이터를 공간 좌표상에 표현하여 피더의 운동 궤적을 구하였으며⁽⁶⁾ 해석 프로그램 결과와 피더의 동적 거동의 차이에 대하여 고찰 하였다.

2. 피더의 거동분석

이송중인 부품의 자세를 유지하여 배출부까지 이송시키기 위한 피더의 운동특성을 파악하기 위한 리니어 피더의 구조는 Figure 1과 같다. 피더를 구성하는 큰 부품인 하부 지지부(Lower part)와 상부 바스켓(Basket)은 판 스프링(Leaf spring)으로 연결되어 있으며 고무(Rubber Base)는 하부와 받침대를 연결하여 피더를 지지하고 있다. 하부 지지부에 부착되어 있는 액츄에이터는 상부의 바스켓을 가진 하며 액츄에이터의 가진에 의하여 상부 바스켓이 진동하면서 정렬된 부품을 이송하게 된다. 피더의 상부 바스켓은 그 사용 환경과 목적에 따라 바스켓의 형태나 레일 등의 형태를 가질 수 있다.

부품의 이송에 실질적인 역할을 하는 부품은 바스켓에 해당하기 때문에 이송중인 부품이 자세를 유지하고 균일한 이송상태를 가지기 위한 바스켓의 뒷면(Rear)과 앞면(Front)에서의 동적 거동을 살필 필요가 있다. Figure 2에 나타낸 두 개의 그림은 두 종류의 피더 바스켓의 자취를 나타낸다. 수치해석 프로그램을 이용하여 바스켓의 길이와 피더의 후면과 전면의 거동의 변위를 알맞게 조정하였다.

Figure 2(a)와 Figure 2(b)를 비교하면 피더가 부품의 자세를 유지시키면서 부품을 이송하는 바람직한 동적거동을 살필 수 있다. (a)의 경우 피더의 거동은 병진 운동 뿐만 아니라 회전 운동의 성분을 갖는 다는 것을 알 수 있다. 또한 후면의 변위에 비하여 전면의 변위가 크다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 피더의 운동은 부품이 전면으로 이송되면서 틱 현상을 발생시킬 수 있으며 부품의 자세가 유지되지 못하는 결과를 야기하므로 피더 바스켓의 동적 거동에서 제거해야만 한다.

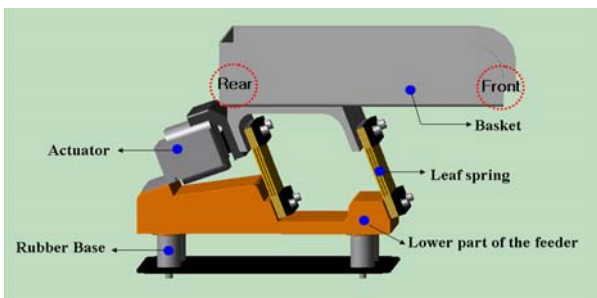


Fig.1 Schematic diagram of a linear feeder

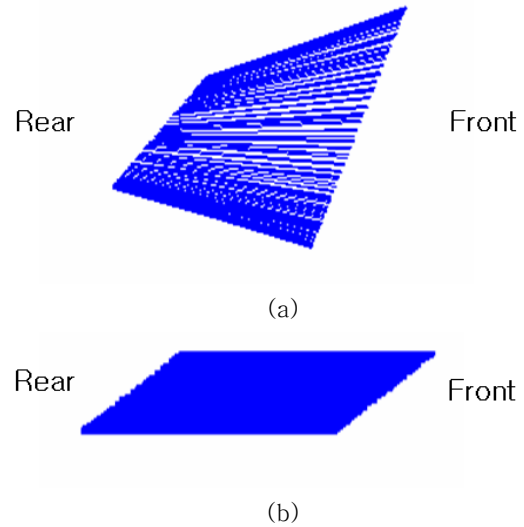


Fig.2 Motion of linear feeders in the space:
(a) model1 and (b) model2

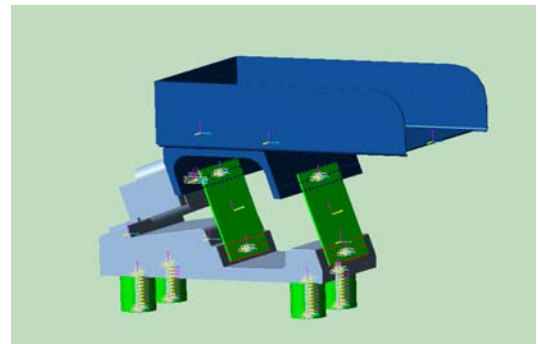


Fig.3 Established model for dynamic simulation

반면에 (b)의 경우는 병진 운동만을 한다는 사실을 알 수 있으며 후면부와 전면부의 변위도 서로 같다는 사실을 알 수 있다. 따라서 이송중인 부품의 자세가 유지될 수 있으며 부품의 틱 현상도 방지 할 수 있다. 따라서 부품을 이송하는 피더의 동적거동으로 적합하다는 사실을 확인할 수 있었다.

3. 동역학 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션을 위한 해석모델 정립

동역학 해석 프로그램을 이용한 해석 모델을 수립하기 위하여 피더를 구성하는 부품을 강체와 유연체로 구분하여 모델을 정립하였다. 상대적으로 변형이 적은 하부지지부와 바스켓을 강체로 정의하였으며 바스켓과 하부 지지부를 연결하는 판 스프링과 고무는 유연체로 정의하였다. 액츄에이터의 가진에 의한 고무와 판 스프링의 변형은 작기 때문에 선형 모델로 정의하였다. Figure 3은 실제 모델을 간략화시킨 해석 모델을 표현하고 있다.

2.2 물성치 변화에 따른 동역학 해석

피더 바스켓의 전면부와 후면부의 진폭과 거동의 기울기를 일치시켜 회전운동을 하지 않고 병진 운동을 갖는 피더를 설계하기 위하여 고무강성, 하부 지지부의 질량, 무게중심의 변화에 따른 동역학 해석을 수행하였다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 바스켓의 전면부와 후면부가 같은 진폭, 같은 기울기를 갖게 되면 회전운동이 배제되고 병진운동만을 갖게 되므로 부품의 틱 현상과 자세 불안정이 제거되어 부품의 균일한 이송을 구현할 수 있다. 이러한 조건을 얻기 위하여 고무강성, 하부 지지부의 질량, 무게중심 등을 변화시켜가며 동역학 해석을 수행하였다.

고무의 강성을 변화 시키면서 시뮬레이션을 한 결과는 Table 1과 같다. Table 1은 피더의 전면부와 후면부에서의 x방향에 대한 y방향의 변위의 진폭비를 나타내며 여기서 x방향은 곡물이 이송되는 방향을 의미하고 y방향은 피더 바스켓의 면 방향을 의미한다. 즉, Table 1은 전면부와 후면부에서의 피더 바스켓의 x방향과 y방향 최대 변위의 비를 보여준다. 따라서 앞서 언급한 회전 성분이 없는 병진 운동만을 하기 위해서는 전면부와 후면부의 진폭비의 차이가 없어야 함을 알 수 있다.

영률이 증가하면 피더의 전면부와 후면부의 진폭비 차이가 줄어들음을 알 수 있다. 고무의 강성을 매우 높게 증가시켰을 경우 그 결과는 고무를 제거하고 하부 지지부를 바닥에 고정시킨 결과와 일치하였다. 그리고 전면부와 후면부의 x방향과 y방향의 진폭비가 차이가 없음을 알 수 있으며 이는 전면부와 후면부의 궤적의 기울기 차이 또한 없음을 의미한다. 하지만 이러한 시스템을 실제 적용하였을 때 액츄에이터의 가진에 따른 시스템의 진동 절연 효과를 기대할 수 없으므로 고무의 강성을 증가시키는 것만으로는 균일한 곡물 이송을 기대할 수 없다.

피더의 하부 지지부의 질량을 변화 시키면서 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 볼 수 있듯이 하부 지지부의 질량이 증가하면, 피더의 후면부의 진폭비는 변함이 없지만 전면부의 진폭비가 줄어드는 것을 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 부품의 자세를 그대로 유지시키면서 부품을 균일하게 이송시키기 위해서는 피더의 동적 거동은 전면부와 후면부의 진폭비가 서로 같아야 한다. 또한 x방향의 진폭이 y방향의 진폭보다 커야 한다. 이는 바스켓의 운동이 회전 운동이 없는 병진 운동만 갖는다고 할지라도 위쪽 방향인 y방향의 운동이 이송하는 방향인 x방향보다 크면 부품의 틱 현상이 발생하기 때문이다. 하지만 시뮬레이션 결과 질량을 12kg까지 증가시켰을 때에도 전면부와 후면부의 진폭비가 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 하부 지지부의 질량을 증가시키는 것만으로는 병진운동만을 갖는 원하는 동적 거동을 얻을 수 없다고 말할 수 있다. Figure 4는 피더의 전면과 후면에서의 동적 거동을 동시에 나타낸 것이다.

Table 1 Magnitude ratio of the x-directional displacement to the y-directional displacement for the variation of young's Modulus

Young's Modulus	Front	Rear
4	1 : 1.0	1 : 0.42
27	1 : 0.62	1 : 0.41
∞	1 : 0.36	1 : 0.36

Table 2 Magnitude ratio of the x-directional displacement to the y-directional displacement for the variation of lower base mass

Lower base mass	Front	Rear
8 kg	1 : 0.83	1 : 0.39
10 kg	1 : 0.74	1 : 0.39
12 kg	1 : 0.68	1 : 0.39

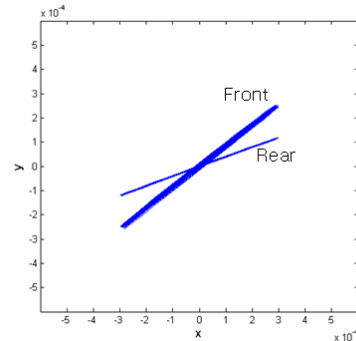


Fig. 4 Dynamic behavior of the feeder basket presented in mass 12kg

Table 3 Magnitude ratio of the x-directional displacement to the y-directional displacement for the variation of the mass center

Model	Front	Rear
(a)	1:1.0	1: 0.50
(b)	1 : 0.72	1: 0.40
(c)	1 : 0.41	1: 0.37
(d)	1: 0.37	1: 0.36

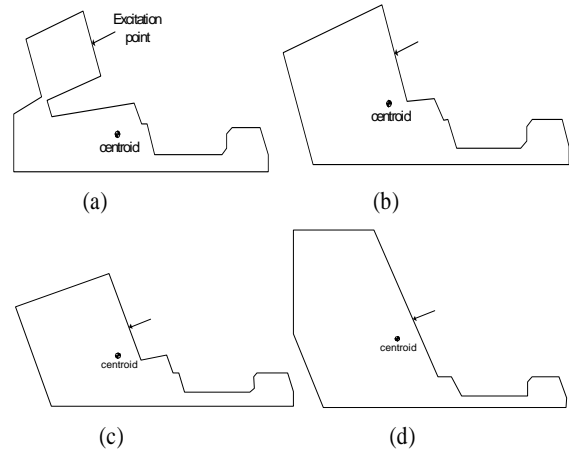


Fig. 5 Four models with different mass center

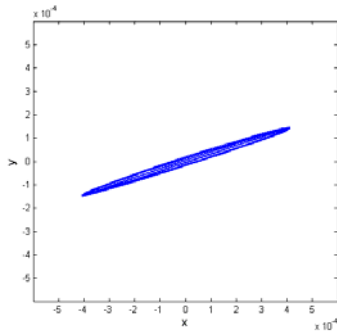


Fig. 6 Dynamic behavior of the feeder presented in Figure 10(d)

Figure 4에서 알 수 있듯이 전면부와 후면부에서의 동적 거동은 기울기 차이가 존재함을 알 수 있다. 따라서 병진 운동만을 갖는 피더는 전면부와 후면부의 궤적의 기울기 차이가 존재하지 않을 것이며 동적 거동 또한 겹칠 것이라는 것을 확인 할 수 있다.

하부 지지부의 형상을 변화시켜 무게중심의 변화에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 액추에이터의 가진점과 무게중심의 차이가 크면 회전 운동을 유발할 수 밖에 없다는 사실에 주목하여, 형상을 변화시켜 하부 지지부의 무게중심을 액추에이터의 가진점에 근접시키도록 하부지지부의 형상을 변화시켜 가면서 동역학 해석을 수행하였다. Figure 5에 표시된 4개의 모델은 모두 질량이 10kg이나 무게중심의 위치가 서로 다르다. 모델 (a)의 무게중심이 가장 낮으며, (b), (c), (d) 순으로 무게중심의 높이가 높아진다. 각 모델에 대한 x 방향에 대한 y방향의 변위 비를 해석한 Table 3에서 알 수 있듯이 기존에 수행하였던 고무와 질량의 변화에 따른 결과에 비하여 무게중심의 변화에 따른 전면부와 후면부의 진폭비의 차이가 줄어들음을 알 수 있다. (d)의 경우 전면부와 후면부의 진폭비의 차이가 거의 존재하지 않음을 알 수 있고, x방향의 진폭이 y방향에 비하여 상당히 크음을 알 수 있다. Figure 5 (d)의 모델로 동역학 해석을 수행하여 얻은 피더의 전면부와 후면부의 거동을 Figure 6에 나타내었다. 이 경우 전면부와 후면부에서 궤적의 진폭과 기울기가 거의 동일하여 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서 무게중심의 변화가 고무의 강성 변화와 하부 지지부의 질량의 변화보다 더 바람직한 결과를 도출한다.

4. 시뮬레이션을 활용한 피더의 제작 및 성능검증

동역학 해석을 통하여 얻은 결과를 바탕으로 무게중심을 고려하여 피더를 제작하였다. 제작된 피더를 나타내는 것이 Figure 7이다. 제작된 피더의 동적 거동을 살피기 위해서 실험 장치를 Figure 8과 같이 구성하고 바스켓의 전면부와 후면부에 가속도계를 부착하여 시간영역에서의 가속도를

측정하고 이를 적분하여 변위를 채집하였다. 신호 분석기를 통하여 채집된 시간영역의 신호를 수치해석 프로그램을 이용하여 공간궤적에 나타내었다. 이러한 일련의 과정을 통하여 시뮬레이션 결과에서 나타난 그래프와 동일하게 동적 거동을 얻을 수 있었다. Figure 9는 제작된 피더의 전면부와 후면부에서의 동적 거동을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 큰 차이를 보이지 않는다는 사실을 알 수 있다. 하지만 전면부와 후면부의 기울기 차이가 존재하여 회전 운동 성분을 가지고 있기 때문에 이를 제거하여야만 한다는 사실을 확인할 수 있다. 또한 제작된 피더의 무게가 18kg 정도로 매우 무겁기 때문에 피더를 사용하는 지지대가 약할 경우 지지대의 변형을 가져올 수 있다. 따라서 무게중심을 가진 포인트에 맞추고 피더의 무게를 줄이기 위하여 2차로 피더를 제작하였다.

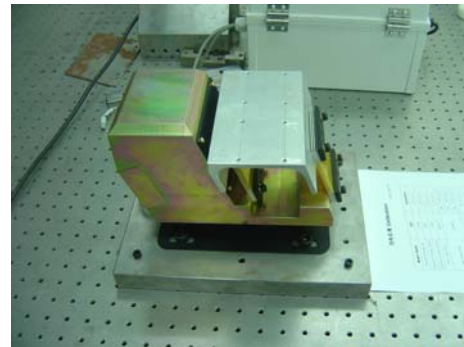


Fig. 7 Prototype of the feeder with changed mass center

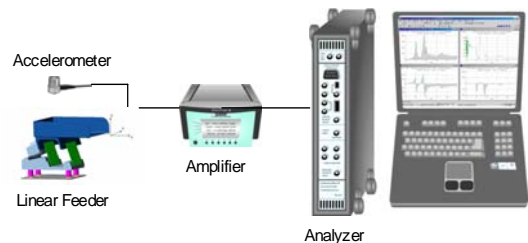


Fig. 8 Experimental set-up for the signal analysis

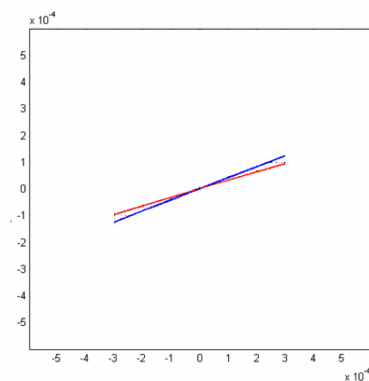


Fig. 9 Dynamic behavior of the prototype feeder

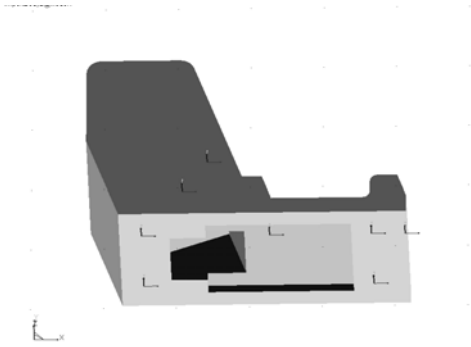


Fig. 10 Updated simulation model for dynamic analysis



Fig. 11 Second prototype of the feeder

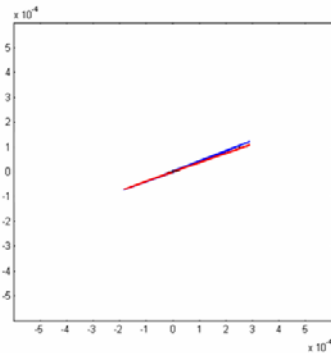


Fig. 12 Dynamic behavior of the prototype feeder

피더의 무게를 줄이고 무게중심을 액츄에이터의 가진점과 일치시키기 위하여 Figure 10과 같이 피더 하부에 홈을 만들어 무게중심을 위로 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 Figure 6과 같은 동적 거동을 얻을 수 있었다. 따라서 피더의 무게를 줄이고 형상을 변화시켜 Figure 11과 같은 피더를 제작하였으며 앞서 수행한 실험과 동일하게 시간영역의 신호를 채집하여 동적 거동을 얻을 수 있었다. Figure 12에서 알 수 있듯이 1차로 제작한 피더에 비하여 전면부와 후면부의 궤적의 차이가 많이 개선된 것을 확인할 수 있다. 이는 회전운동 성분이 제거된 피더가 병진운동만을 한다는 것을 의미하며 이송 부품의 자세를 유지시킬 뿐만 아니라 안정된 이송 상태를 갖는다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 부품의 자세를 유지하면서 부품을 이송시킬 수 있는 리니어 피더의 거동을 고찰하였으며 다물체 동역학 해석 프로그램을 이용하여 모델링을 수행하였다. 분석된 데이터를 바탕으로 시제품을 제작하였으며 실험을 통하여 얻어진 피더의 동적 거동을 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

- (1) 피더 후면부와 전면부가 그리는 운동궤적의 기울기가 같아야 한다.
- (2) 피더의 설계시 액츄에이터의 가진점과 피더 하부 Base의 무게중심은 같은 높여야 한다.
- (3) 다물체 동역학 해석 프로그램을 이용한 피더의 설계와 제작된 피더의 동적 거동이 동일하므로 해석의 타당성을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원 되었습니다. 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) G.H. Lim, 1993, "Vibratory feeder motion study using Turbo C++ language", *Advanced in Engineering Software* Vol. 18, pp. 53-59
- (2) Doi T, Yoshida K, Tamai Y, Kono K, Naito K, Ono T, 2001, "Feedback control for electromagnetic vibration feeder", *JSME international journal series C-mechanical system machine elements and manufacturing*, Vol.44, pp. 44-52
- (3) M.-O. Hongler and J. Figour., 1989, "Periodic versus chaotic dynamics in vibratory feeders", *Helvetica Physics Acta*, Vol. 62, pp. 68-91
- (4) D. J. EWINS, 2000, *MODAL TESTING theory practice and application*, Research Studies Press Ltd, Philadelphia
- (5) 정진태, 2004, "피딩테크 운동을 고려한 광픽업 액츄에이터의 동특성해석", *한국소음진동공학회, 제14권, 제1호*, pp. 10-16
- (6) Hanselman, Duane C., 2001, *Mastering Matlab 6 A comprehensive Tutorial and Reference*. Pearson Education