

곡물의 균일한 이송을 위한 리니어 피더의 동특성 해석

Dynamic Analysis of a Linear Feeder for Uniform Transformation of Grains

이 규 호* · 김 성 현** · 정 진 태†
Kyuhoo Lee, Syunghyun Kim and Jintai Chung

(2007년 8월 16일 접수 ; 2007년 10월 12일 심사완료)

Key Words : Grain Transformation(곡물이송), Linear Feeder(리니어 피더), Dynamic Behaviors(동적 거동), Multi-body Dynamic(다물체 동역학)

ABSTRACT

The purpose of this study is to improve the performance of a linear feeder that can transport grains uniformly. In order to analyze the dynamic behaviors 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 feeder motion in the space is visualized by using graphic computer software. In addition, a dynamic model of the feeder is established for a multi-body dynamics simulation. For the dynamic simulation, RecurDyn, which is a commercial multi-body dynamic package, is used. From the experimental and the computational approaches, an optimal dynamic motion is obtained for uniform transportation of grains. Furthermore, we also consider the determination of design parameters for optimal dynamic motion such as centroid, stiffness, and damping coefficient of the feeder system.

1. 서 론

이 연구는 미곡 종합처리시설의 주요시설인 색채 선별기의 성능 향상을 위하여 곡물을 균일하게 이송할 수 있는 진동 부품 장치인 리니어 피더(linear feeder)의 성능 향상에 관한 연구이다.

색채선별기는 미곡 종합처리장에서 사용하는 최첨단 장비로 고속 CCD카메라를 이용하여 명암에 따라 변색된 곡물을 선별하여 양품의 쌀만을 골라내는 기계장치이다. 즉, 상부의 호퍼(hopper)에 투입된 곡물이 피더의 강제운동에 의해 슈트(shoot)를 통하여 하강하고, 압축된 공기를 이용한 공기층에 의해 변색된

곡물이 분리되어 양품의 곡물만을 선별하는 원리로 작동한다. 따라서 고속의 CCD 카메라가 선별 대상을 정확히 파악하여 불량곡물을 안정적으로 분리하기 위해서는 곡물을 일정하고 균일하게 이송시키는 역할을 담당하는 피더의 성능 확보가 필수적이다.

곡물이나 산업용 부품의 이송에 쓰이는 피더 중 가장 많이 쓰이고 있는 피더임에도 불구하고, 국내에서 생산하는 피더의 수준은 해외의 선진 기술을 모방하는 정도이다. 피더가 곡물의 이송에 가장 중요한 부품임에도 국내에서는 운동 특성의 계측 및 분석이 전혀 시도되지 않았기 때문에, 곡물 이송용 국산 피더는 선진국 제품에 비해 만족할 만한 성능 수준이 아니다. 한편 국외에서는 컴퓨터 프로그래밍을 이용한 피더의 부품 이송속도와 가진 진폭의 크기에 따른 피더의 운동을 해석하고⁽¹⁾, 주기적·비주기적인 가진에 의한 부품의 이송률에 대한 연구가 진행되어

† 교신저자 : 정희원, 한양대학교 기계정보경영공학부
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031)400-5287, Fax : (031)406-6964

* 한양대학교 기계공학과

피더의 개발에 응용 되고 있다⁽²⁾. 색채선별기를 세계 최초로 개발한 영국의 Sortex사와 일본의 Anjai사와 Satake사가 피더의 기술 개발 노하우를 가지고 있으나 외부로 기술을 공개하지 않고 있다.

이 연구에서는 액추에이터의 가진에 의한 피더의 각 면의 변위를 시간영역에서 측정하고^(3,4), 피더의 주 운동방향을 정의하여 시간영역의 데이터를 공간 좌표에 표현하여 피더의 운동 궤적을 구하였다⁽⁵⁾. 이를 통하여 국내 생산 피더와 벤치마킹모델의 차이점을 분석하여 균일한 곡물 이송을 위한 피더의 거동을 파악하였다. 또한 동역학 시뮬레이션 모델을 수립하고 피더 부품의 무게중심, 강성, 감쇠 등을 고려

한 해석을 통하여 설계변수의 변화에 따른 피더의 동적 거동을 고찰하였다.

2. 피더의 거동 분석

Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하여 피더의 하부 지지부와 상부 지지부의 진동량 측정실험을 수행하였다. Fig. 2에 도시된 바와 같이 피더의 상부에 3축 가속도계를 부착하여 진동 신호를 채집하였다. 채집된 진동신호를 조건 증폭기로 증폭하여 신호분석기를 통하여 분석하였다. 60 Hz의 교류전류를 인가하여 액추에이터가 동작할 때, Fig. 2에 도시된 지점에서의 x, y, z방향의 진동량을 측정하여 Table 1에 정리하였다. Table 1에서 볼 수 있듯이 z방향의 신호크기는 x와 y방향의 신호 크기에 비하여 상당히 작음을 알 수 있다. 액추에이터의 가진에 의한 피더 운동은 x와 y방향을 주 운동방향으로 한다. 이는 액추에이터의 가진에 의한 피더의 운동이 x-y평면상에서 이루어짐을 나타내므로 z방향의 운동은 고려할 필요가 없음을 확인하였다.

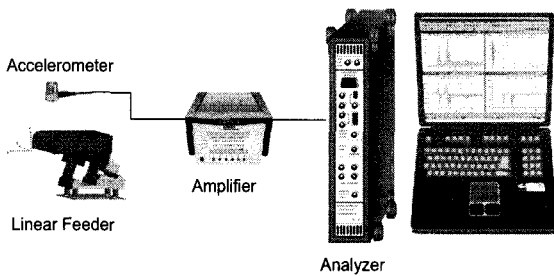


Fig. 1 Experimental setup for the signal analysis

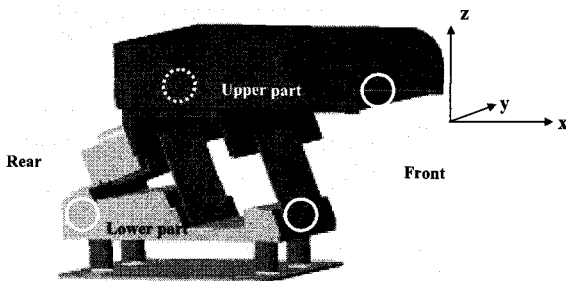


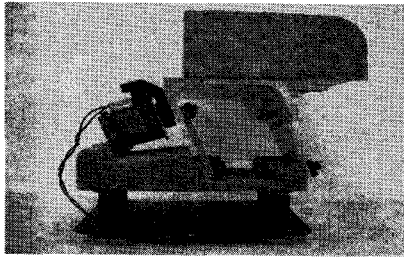
Fig. 2 Measurement points of time signal on the linear feeder

Table 1 Accelerations of the measurements points in the x, y, and z-direction (unit : m/s²RMS)

		x-direction	y-direction	z-direction
Lower part	Front	5.09	6.54	0.21
	Rear	4.91	12.50	0.21
Upper part	Front	29.60	16.00	1.87
	Rear	28.00	11.30	0.58

국내에서 출시되어 색채 선별기에 적용되고 있는 리니어 피더의 동적 거동을 살펴보기 위하여 Fig. 3과 같은 두 개의 모델에 대하여 x와 y방향의 변위를 피더 상부 바스켓의 앞부분과 뒷부분에서 측정하여 피더의 운동을 분석하였다. Fig. 3(a)는 1개의 하부 base와 상부로 구성되어 일반적으로 사용되는 피더이며, Fig. 3(b)는 2개의 하부 base와 상부로 구성되는 구조를 가지고 있으며 특히 두 개의 하부 지지부는 판스프링으로 연결되어 있는 모습을 확인할 수 있다.

이들 두 모델의 피더 바스켓의 앞부분과 뒷부분의 x-y평면상의 운동을 동시에 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 전면부의 변위가 후면부의 변위보다 크고 전면부의 x-y평면상의 기울기가 후면부의 기울기와 다르다는 사실을 관찰할 수 있다. 이와 같이 전면부의 변위가 후면부의 변위보다 크고 전면부와 후면부의 기울기가 다른 경우 곡물이 x방향으로 이송되어 피더로부터 이탈할 때 y방향 변위가 커서 곡물이 튀어 오르는 결과를 야기한다. 이러한 곡물의 튀어오름은 곡물의 균일한 이송을 저해하여 색채 선별기의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 특히 Fig. 4(b)와 같이 전면부와 후면부의 기울기 부호가

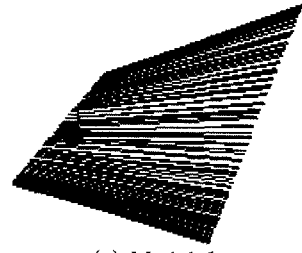


(a) Model 1

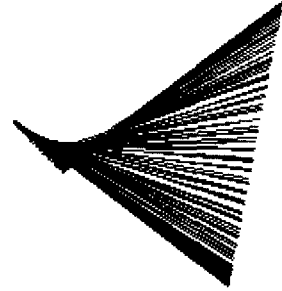


(b) Model 2

Fig. 3 Linear feeder models for the experiment

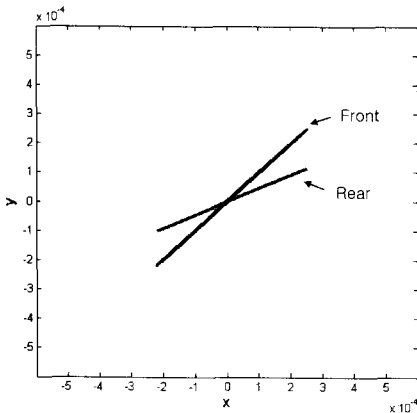


(a) Model 1

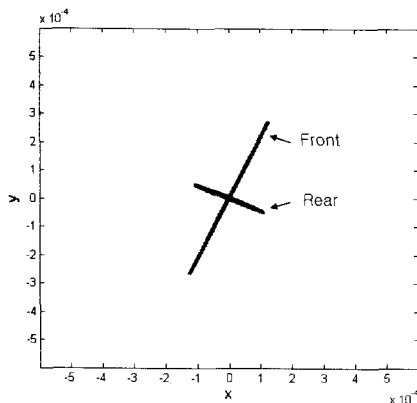


(b) Model 2

Fig. 5 Motions of linear feeders in the space



(a) Model 1



(b) Model 2

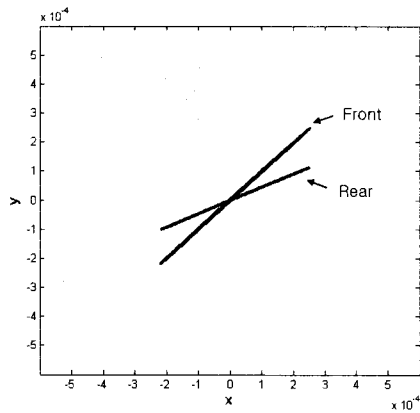
Fig. 4 Dynamic behaviors of linear feeder

다를 경우 곡물의 뒹 현상은 더욱 크게 나타난다.

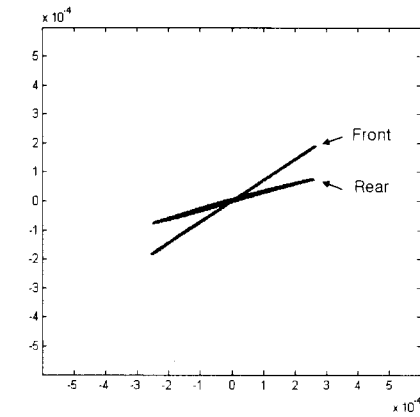
위에서 언급한 곡물의 뒹 현상은 피더가 병진운동 뿐만 아니라 회전 운동을 갖기 때문에 발생한다. Fig. 5는 피더의 공간상의 자취를 표시한다. Fig. 5에서 관찰 할 수 있듯이 피더는 병진운동과 회전 운동을 동시에 갖는다. 특히, Fig. 5(b)에 도시된 모델 2의 피더 궤적은 Fig. 5(a)의 모델 1의 피더궤적에 비하여 회전 운동이 큰 것을 확인 할 수 있다. 실제 구동시에 모델 2의 피더가 모델 1의 피더보다 곡물을 더 뒹게 하는 것을 관찰 하였다. 따라서 회전 운동을 최소화 하는 방법이 피더의 성능을 높이는 방안 이라고 할 수 있다.

3. 벤치마킹을 통한 분석

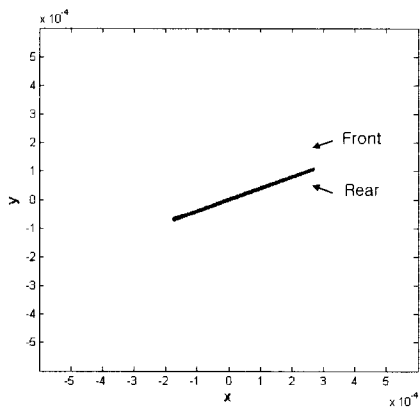
피더의 성능이 좋은 일본의 A사와 영국의 S사의 피더를 벤치마킹 모델로 정의하고 앞서 수행한 실험과 동일한 조건으로 변위를 측정하여 성능이 미흡한 국내 피더와 비교하였다. 국내와 해외의 벤치마킹 모델에 대한 피더의 전면부와 후면부에서의 x방향에 대한 y방향의 변위의 진폭비를 Table 2에 요약하여 정리하였다. 즉, Table 2는 전면부와 후면부에서의 피더의 x방향과 y방향 최대 변위의 비를 보여준다. 측정결과 국내제품의 피더가 일본제품과 영국제품의



(a) Domestic model



(b) Japan model



(c) UK model

Fig. 6 Comparison of dynamic behaviors of linear feeders

피더에 비해서 전면부에서의 x방향에 대한 y방향의 변위가 가장 큰 것을 알 수 있다. 다시 말해, 국내 피더 전면부의 기울기는 1인 반면 일본 피더와 영국피더는 0.7과 0.4를 나타내어, 국내 피더가 외국

Table 2 Comparison of magnitude ratio of the x-directional displacement to the y-directional displacement

	Front	Rear
Domestic model	1 : 1.0	1 : 0.5
Japan model	1 : 0.7	1 : 0.3
UK model	1 : 0.4	1 : 0.4

피더에 비하여 기울기가 크다.

x방향에 대한 y방향의 진폭이 상대적으로 작다는 사실은 곡물이 위로 튀어오르기 보다는 앞으로 이송되는 경향이 강함을 의미한다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 지나친 y방향의 진동이 균일한 곡물 이송에 저해 요인으로 작용한다는 것을 말한다. 국내, 일본과 영국 제품의 피더 거동의 양태를 비교하기 위해서, Fig. 6에 전면부와 후면부의 변위를 3가지 제품별로 도시하였다. Fig. 6(a)는 국내제품, Fig. 6(b)는 일본제품, Fig. 6(c)는 영국제품에 대한 전면부와 후면부의 운동궤적을 나타낸다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 x-y평면상에서 전면부의 기울기와 후면부의 기울기의 차가 국내 제품에서 가장 크고, 일본제품, 영국제품 순으로 작다. 특히, 영국제품의 경우 전면부와 후면부의 기울기 차이가 거의 없다. 이는 피더가 회전운동을 하지 않고 병진운동만을 가진다는 사실을 의미한다. 이러한 결과는 실제 색채 선별기를 운전할 때 영국제품, 일본제품, 국내제품 순으로 안정적으로 곡물을 이송하는 사실과 잘 부합하고 있다.

앞서 수행한 일련의 실험과 분석을 통하여 균일한 곡물이송을 위한 피더의 동적 거동을 두 가지로 압축할 수 있다. y방향의 진동량이 클수록 곡물은 위로 튀어오르는 경향을 가지므로 피더의 전면부와 후면부에서의 y방향 진폭은 x방향의 진폭보다 작아야 한다. 그리고 전면부와 후면부의 궤적 기울기의 차이가 작을수록 회전운동이 배제되어 안정적인 곡물 이송이 가능하다.

4. 동역학 모델의 수립

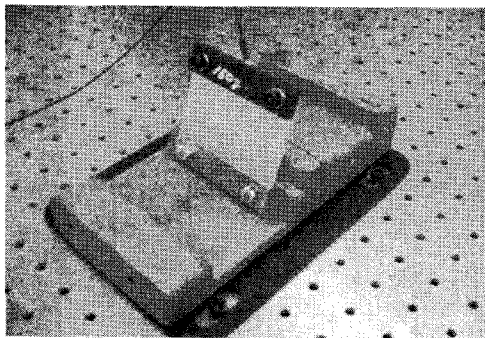
상용 동역학 해석 프로그램인 Recurdyn을 이용하여 동역학 해석을 하기 위해 실험을 통해 피더 부품의 물성치를 구하였다. 물성치를 획득할 대상은 색채 선별기 본체와 하부 base를 연결하는 고무 지지

대와 상부 base와 하부 base를 연결하는 판스프링의 강성과 감쇠계수이다. 충격 햄머 실험방법으로 Fig. 7에 도시된 실험대상에 대하여 고유진동수와 고유감쇠를 구하였다. 그리고 Recurdyn을 이용하여 Fig. 8에 보이는 바와 같이 모델링을 하여 얻은 고유진동수를 서로 비교 보완하여 얻은 고유진동수를 서로 비교 보완하여 물성치를 획득하였다. 결정된 물성치는 Table 3과 같다.

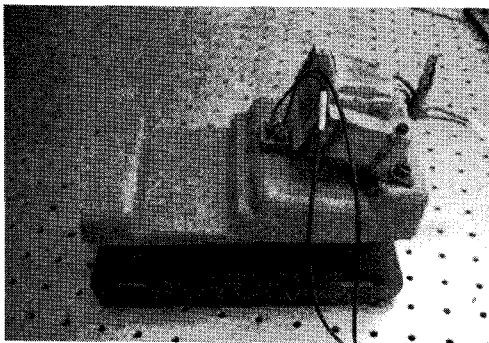
Fig. 7의 실험대상에 대하여 충격 햄머 실험을 하여 얻은 첫 번째 고유진동수는 Fig. 7(a)의 경우 30.2 Hz이고 Fig. 7(b)의 경우 10.5 Hz이다. 반면

Table 3 Dynamic analysis model for the simulation using Recurdyn: (a) leaf spring and (b) rubber base

	Young's modulus	Shear modulus
Leaf spring	19,800 MPa	6,740 MPa
Rubber base	4.0 MPa	1.36 MPa



(a) Leaf spring



(b) Rubber base

Fig. 7 Experimental set-up to aquatint material properties

Fig. 8(a)의 첫 번째 고유진동수는 29.0 Hz이고 Fig. 8(b)의 첫 번째 고유진동수는 10.4 Hz이다. 실험과 시뮬레이션을 비교하면 서로 큰 차이가 없이 잘 일치하기 때문에 Table 3의 물성치를 신뢰할 수 있다.

실험과 시뮬레이션을 토대로 획득한 고무와 판스프링의 물성치를 동역학 해석 프로그램에 적용하여 해석을 위한 피더의 모델을 수립하였다. Fig. 9는 수립된 피더의 해석모델을 보여주고 있다. 피더의 상부 base와 하부 base는 강체로 가정을 하였으며 고무와 판스프링은 유연체로 가정을 하였다. Fig. 10(a)는 실험을 통한 피더의 후면부와 전면부의 궤적을 나타내며 Fig. 10(b)는 시뮬레이션을 통한 후면부와 전면부의 궤적을 나타낸다. 실험과 시뮬레이션을 통한 결과를 비교하였을 때 전면부와 후면부의 궤적의 기울기 차이와 x, y방향의 진폭비 또한 서로 같음을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션에 사용한 판 스프링과 고무 base의 물성치의 값을 신뢰할 수 있다.

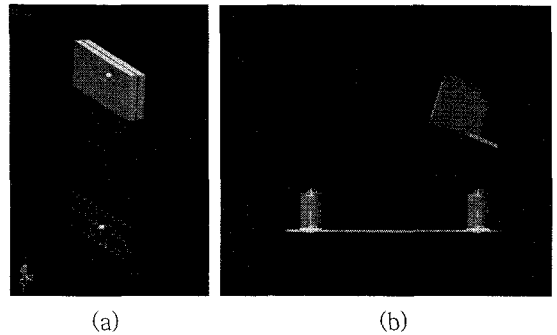


Fig. 8 Dynamic analysis model for simulation using Recurdyn: (a) leaf spring and (b) rubber base

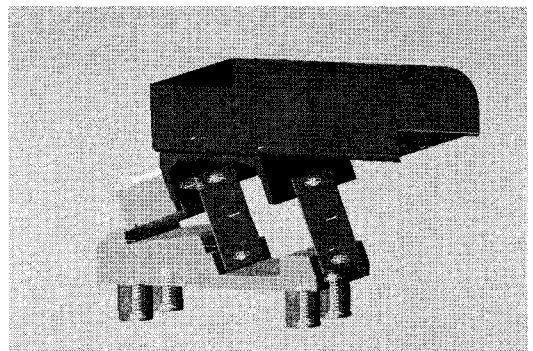
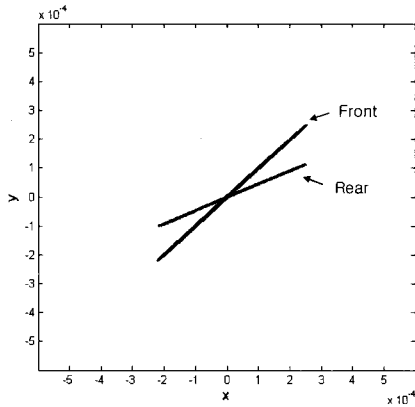
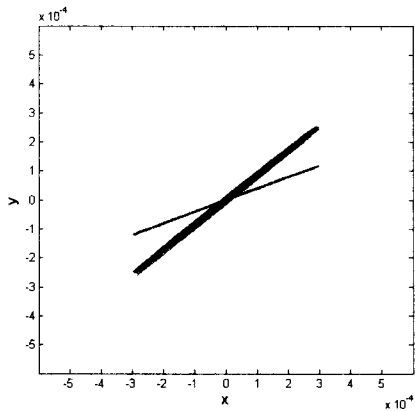


Fig. 9 Established model for dynamic simulation



(a) Experimental result



(b) Simulation result

Fig. 10 Dynamic behavior of linear feeder

5. 물성치 변화에 따른 동역학 해석

피더의 전면부와 후면부의 진폭과 거동의 기울기를 일치시키기 위하여 고무강성, 하부 base의 질량, 무게중심의 변화에 따른 동역학 해석을 수행하였다. 앞 절에서 언급한 바와 같이 피더의 전면부와 후면부가 같은 진폭, 같은 기울기를 갖게 되면 회전운동이 배제되고 병진운동만을 갖게 되므로 곡물의 균일한 이송을 구현할 수 있다. 이러한 조건을 얻기 위하여 고무강성, 하부 base의 질량, 무게중심 등을 변화시켜가며 동역학 해석을 수행하였다.

고무 base의 강성을 변화 시키면서 시뮬레이션을 한 결과는 Table 4와 같다. 영률이 증가하면 피더의 전면부와 후면부의 진폭비 차이가 줄어들음을 알 수 있다. 고무 base의 강성을 매우 높게 증가시켰을 경우 그 결과는 고무 base를 제거하고 하부 base를

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 액추에이터의 가진에 따른 시스템의 진동 절연 효과를 기대할 수 없으므로 고무 base의 강성을 증가시키는 것만으로는 균일한 곡물 이송을 기대할 수 없다.

피더의 하부 base의 질량을 변화 시키면서 시뮬레이션을 수행한 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 볼 수 있듯이 하부 base의 질량이 증가하면, 피더의 후면부의 진폭비는 변함이 없지만 전면부의 진폭비가 줄어드는 것을 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 균일한 곡물이송을 위한 피더의 동적 거동은 전면부와 후면부의 진폭비가 서로 같고 x방향의 진폭이 y방향의 진폭보다 커야 한다. 하지만 질량을 12 kg까지 증가시켰을 때에도 전면부와 후면부의 진폭비가 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 하부 base의 질량을 증가시키는 것만으로는 원하는 동적 거동을 얻을 수 없다고 말할 수 있다.

하부 base의 형상을 변화시켜 무게중심의 변화에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 기존 모델의 경우 액추에이터의 가진점과 무게중심의 차이가 크기 때문에 회전 운동을 유발할 수 밖에 없다는 사실에 주목하여, 형상을 변화시켜 하부 base의 무게중심을 액추에이터의 가진점에 근접시키도록 하부 base의 형상을 변화시켜 가면서 동역학 해석을 수행하였다. Fig. 11에 표시된 4개의 모델은 모두 질량이 10 kg 이나 무게중심의 위치가 서로 다르다. 모델 (a)의 무게중심이 가장 낮으며, (b), (c), (d) 순으로 무게중심의 높이가 높아진다. 각 모델에 대한 x방향에 대한 y방향의 변위 비를 해석한 Table 6에서 알 수 있듯이 기존에 수행하였던 고무와 질량의 변화에 따른 결과에 비하여 무게중심의 변화에 따른 전면부와 후면부의 진폭비의 차이가 줄어들음을 알 수 있다. Fig. 11(d)의 경우 전면부와 후면부의 진폭비의 차이가 거의 존재하지 않음을 알 수 있고, x방향의 진폭이 y방향에 비하여 상당히 큼을 알 수 있다. Fig. 11(d)의 모델로 동역학 해석을 수행하여 얻은 피더의 전면부와 후면부의 거동을 Fig. 12에 나타내었다. 이 경우 전면부와 후면부에서 궤적의 진폭과 기울기가 거의 동일하여 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서 무

Table 4 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 5 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	1 : 0.83	1 : 0.39
10	1 : 0.74	1 : 0.39
12	1 : 0.68	1 : 0.39

Table 6 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

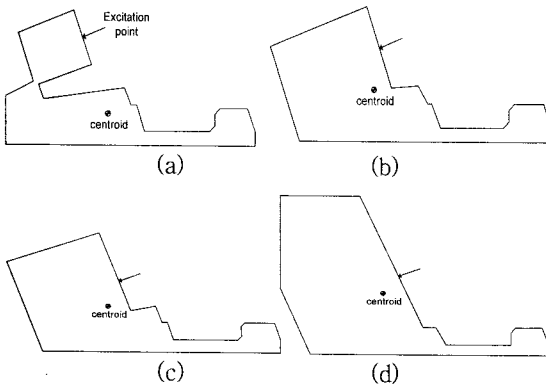


Fig. 11 Four models with different mass center

계중심의 변화가 고무 base의 강성 변화와 하부 base의 질량의 변화보다 더 바람직한 결과를 도출한다.

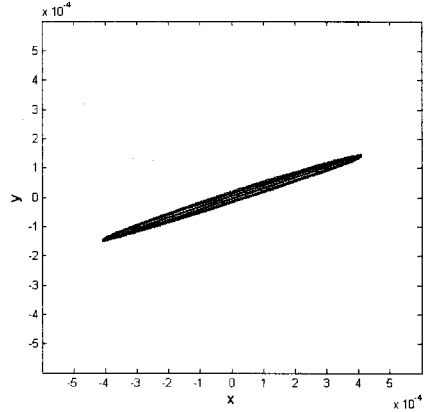


Fig. 12 Dynamic behavior of the feeder presented in Fig. 11(d)

6. 결 론

이 연구에서는 균일한 곡물 이송을 위한 리니어 피더의 동적 거동을 제시하고, 제시된 동적거동을 나타내기 위한 피더의 설계변수에 대하여 고찰 하였다. 피더가 곡물을 균일하게 이송하기 위한 바람직한 설계방향은 다음과 같다.

- (1) 피더 후면부와 전면부의 x와 y방향의 변위중 x방향의 변위가 지배적 이어야 한다.
- (2) 피더 후면부와 전면부가 그리는 운동궤적의 기울기가 같아야 한다.
- (3) 피더 후면부와 전면부의 x와 y방향의 진폭비의 차이는 작아야 하며 이는 피더의 운동이 병진운동만을 갖기 위해 필요하다.
- (4) 피더의 설계 시 액추에이터의 가진점과 피더 하부 base의 무게중심은 같은 높이여야 한다.

후 기

이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Lim, G. H., 1993, "Vibratory Feeder Motion Study Using Turbo C++ Language", Advanced in Engineering Software Vol. 18, pp. 53~59.
- (2) Hongler, M.-O. and Figour, J., 1989, "Periodic

Versus Chaotic Dynamics in Vibratory Feeders”,
Helvetica Physics Acta, Vol. 62, pp. 68~91.

(3) Ewins, D. J., 2000, MODAL TESTING Theory
Practice and Application, Research Studies Press
Ltd, Philadelphia.

(4) Chung, J., 2004, “Dynamic Characteristics of
an Optical Pick-up Actuator Considering the Motion

of a Feeding Deck”, Transactions of the Korean
Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.
14, No. 1, pp. 10~16.

(5) Hanselman, Duane C., 2001, Mastering Matlab
6 A comprehensive Tutorials and Reference.
Pearson Education.