

제조공정용 Fast Back 이송장치 진동·소음 저감에 관한 연구

한두희¹, 이승훈², 손영득^{1*}

¹한국기술교육대학교 기계설비제어공학과, ²한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과

A Study on Vibration & Noise Reduction of Fast Back Feeding Device for Manufacturing Process

Doo-Hee Han¹, Seung-Hun Lee², Yung-Deug Son^{1*}

¹Department of Mechanical Facility Control Engineering, Korea University of Technology and Education

²Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 본 논문은 스낵식품 가공 공정라인에서 사용하는 설비 중 하나로 이송물의 관성을 이용한 제조공정용 Fast Back 이송장치이다. 기존의 이송 장치는 벨트 컨베이어와 기계식 크랭크를 적용한 구동 장치로써 소음과 진동이 크고 환경 공해 발생하며 주기적인 유지보수가 필요하다. 이로 인해 본 논문에서는 제안하는 Fast Back 이송 장치는 크랭크식 구동장치 부분을 리니어 서보모터로 대체하고 가속에 따른 힘의 평형을 맞추기 위한 평형추 장치를 적용하여 안정된 동작을 확보하였다. 평형추 장치는 주기적으로 발생하는 충격형태의 가진력을 상쇄 시키는 것으로 진동해석을 통해 진동의 주요 원인을 파악하고 저감대책을 수립하였다. 시제품 제작을 통한 진동시험에서 약 10배 정도의 진동 저감에 대한 유효성을 검증하였다. 또한, PLC제어를 통한 전진과 후진에서의 속도, 가속도 조절을 가능하게 설계함으로써 직선형 구동력을 직접 발생시켜 별도의 기계적 변환장치가 필요하지 않아 에너지 손실이나 소음 및 진동을 발생시키지 않고 운전 속도에도 제한을 받지 않음을 증명하였다.

Abstract This paper presents a fast back-type transfer device for snack food processing that uses the inertia of transferred material. A conventional conveying system is a drive system that uses a belt conveyor and mechanical crank, which generate noise and vibration and cause environmental pollution. Vibration and noise are reduced in the proposed fast back feeding device by using a counterweight. The crank drive unit was replaced with a linear servomotor, and an equilibrium device was designed to balance the force due to acceleration. This makes it is possible to adjust the forward and backward speed and acceleration through PLC control. A vibration damper device offsets the vibration force of the periodic shock form. The main cause of the vibration was identified through vibration analysis, and reduction measures were established. We verified the effectiveness of the vibration by making a prototype and performing about 10 vibration tests. Because no mechanical transducer is needed, energy loss, noise, and vibration do not occur, and the operating speed is not limited.

Keywords : Fast Back Feeding Device, Linear Motor, Hopper, Vibration Damper, Air Pressure, Vibration, Noise

이 논문은 2019년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Yung-Deug Son(Korea University of Technology and Education)

email: ydson@koreatech.ac.kr

Received May 9, 2019

Accepted August 2, 2019

Revised May 31, 2019

Published August 31, 2019

1. 서론

최근 산업 사회의 동향은 기술 개발의 발달과 품질 고급화 및 소득수준의 향상으로 식품안전성 기준이 선진국 수준의 HACCP (Hazard Analysis Critical Control) 기준으로 식품설비는 원료부터, 가공, 보존, 유통을 거쳐 최종 소비자에게까지 발생하는 위해 요소를 관리하며 위생관리, 생산 중 안전성을 확보하고 체계화하고 있다 [1-4]. 환경 공해요소인 소음, 진동 등을 해소하기 위해 기존 이송장치인 벨트 이송장치는 위생 및 소음 진동에 한계에 이르게 됨으로써 생산공정의 개선 및 자동화가 절실히 대두되고 있다[5,6]. 이러한 필요성에 의하여 본 연구에서는 Fast back 이송장치는 식품용기를 스테인레스 판로 교체하여 화학적 유기물 침전 등을 해소와 물성 변화를 최소화하고, 구동장치의 연구개발로 소음, 진동을 감소할 수 있는 이송장치이다[8,9].

Fast back 이송장치는 식품을 식품 용기에 운반하는 장치로 Fig. 1과 같은 구조로 구성되어 있다. 여기서 호퍼(Hopper)는 리니어 모터(Linear motor)에 연결되어 있고, 이송할 식품이 호퍼 위에 탑재되어 있다. 리니어 모터 작동에 의해 호퍼는 전진과 후진을 반복하면서 식품을 일정한 위치로 운송한다. 이 때 식품을 일정한 위치로 운송하는 방법을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 호퍼위에 식품을 적재하고 난 다음 리니어 모터 작동에 의해 원하는 위치까지 호퍼를 앞으로 전진시키고 동시에 빠른 속도로 호퍼를 뒤로 원 위치시키면 호퍼위에 있던 식료품들은 호퍼에서 분리되어 그 위치에 놓이게 된다.

Fast back 이송장치는 수평이동 방향으로 주기적인 충격형태의 가진력(Vibratory force)이 주어지는 시스템으로 지지계가 이를 받치는 형태로 되어 있으며, 기존의 리니어모터 제어시스템을 이용하여 이송속도를 빠르게 하면 소음·진동이 커져서 정상적인 운전이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 구조·진동 해석을 통해 진동 발생 형태의 예측과 진동발생을 주요원인을 파악하고 이에 대한 진동저감 대책을 수립하고자 한다.

Fast back 이송 장치의 메커니즘의 특성과 내부 거동을 잘 나타낼 수 있는 Fast back 이송장치 3D 모델에 대해 SolidWorks를 이용하여 모델링 하였으며, 진동 해석을 위해서 3D 모델의 동역학적 특성을 잘 나타낼 수 있는 간략화 이상화된 동적 모델을 생성 하여 동역학적 운동 방정식을 유도하고 이를 통해서 가진력에 대한 모델의 전달 계수를 산출하였으며 이를 최소화할 수 있는 평형 추(Vibration damper, Tuned mass damper)를

추가적으로 적용하는 방안을 도출 하였다. 또한, 시험용 Fast Back 이송장치를 제작하여 실제 동작환경에서 진동저감 장치의 효과를 측정하였다.

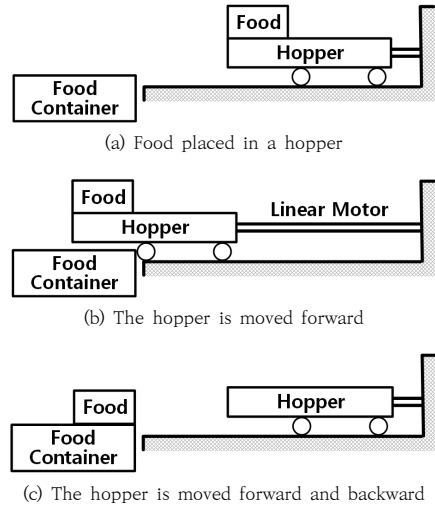


Fig. 1. Sequence of fast back feeder device for food

2. 본론

2.1 Fast back 이송장치의 진동 메커니즘

진동저감을 위해 개발한 평형추를 장착한 리니어 모터 구동 Fast back 이송장치의 3D 모델링은 Fig. 2와 같다. 본 장치는 기존 로터리식 수평이동 장치를 리니어 모터 방식을 채택한 것으로 바닥 기초에다 본 구조물의 하부에 더미 질량을 두고 그 밑에 고무패드를 적용하였고, 더미 질량 위에 와이어 댐퍼를 두고 리니어 모터와 이동하는 컨베이어를 위치시켰다. 리니어 모터의 동력학적 해석 모델은 Fig. 3과 같다.

여기서, m 은 리니어모터 구동부에서 호퍼 및 내용물을 포함한 이동부의 질량이고, M 은 리니어모터의 구동부를 포함한 와이어 댐퍼를 지지하는 베이스 구조물의 질량이며, m_d 는 바닥 위에 고무 패드와 와이어 댐퍼를 지지하는 질량이다. 그리고 와이어 댐퍼의 스프링 상수와 댐핑 계수는 k 와 c 이며 고무패드의 강성과 감쇠계수는 K_d 와 C_d 이다. 베이스 구조물과 변위와 리니어 모터 운동부의 길이 방향 변위 및 더미 질량의 변위는 $X(t)$, $y(t)$ 및 $X_d(t)$ 이다.

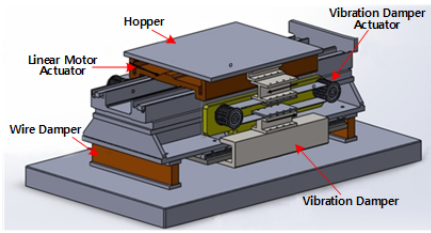


Fig. 2. 3D modeling of fast back feeding device

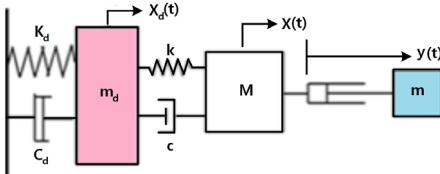


Fig. 3. Dynamic analysis model of linear motor

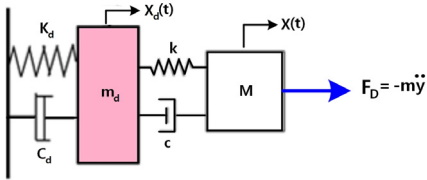


Fig. 4. Vibratory force in the horizontal direction

스택 등의 내용물을 이동시키기 위해서 리니어 모터는 y 의 변위를 전진방향으로 전진한 후 빠른 속도로 후진할 경우 내용물의 관성으로 인하여 이동된다.

이 때 구동부는 질량 m 에 가하는 힘(F_D)는 Eq. (1)과 같다.

$$F_D = m\ddot{y} \quad (1)$$

F_D 는 M 에 외력으로 작용하게 되는 힘으로 등가화하여 수평방향의 가진력으로 동력학적 모델링 하면 Fig. 4와 같다.

Eq. (1)를 2자유도 계의 운동방정식으로 나타내면 Eq. (2)와 같다.

$$\begin{Bmatrix} F_D \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -c_d \\ -c_d & c+c_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k+k_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x \\ x_d \end{Bmatrix} \quad (2)$$

실제로 패드의 강성계수는 와이어 댐퍼의 스프링 상수보다 훨씬 크므로 더미는 바닥에 고정되어 있다고 가정하고 근사화하면 동력학적 모델링 Fig. 5와 같다.

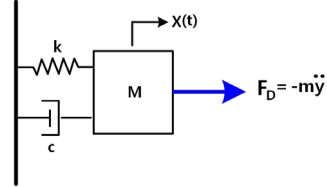


Fig. 5. Model of approximated vibratory force

여기서 F_D 는 호퍼의 베이스에 가하는 외력으로 작용하여 진동현상이 발생하게 된다.

구동부의 전 후진 시 시간별 속도 가속도는 Fig. 6과 같으며 구동부가 전진할 경우에는 가속도가 작지만 후진할 때는 가속도가 $1.0 \sim 1.5 \text{ m/s}^2$ 약 0.8 sec 간 작용하는 힘이 반복적으로 작용하게 되어 베이스 구조물 M 에 진동을 발생시킨다.

Fig. 6의 가속도 선도에서 구간별 0~1 sec에서 1 m/s^2 , 1~1.1 sec에서 -20 m/s^2 , 1.1~1.15초에서 20 m/s^2 , 1.15~1.25초에서 1 m/s^2 이고 속도 선도에서 주기가 1.25 ms 임을 알 수 있다. 이러한 가진력은 주기함수이므로 푸리에 급수로 나타내면 Eq. (3)과 같으며 이때 푸리에 계수 a_n, b_n 의 값은 Fig. 7과 같다.

$$F_D/m = a(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

$$a_n = \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} a(t) \cos n\omega_0 t dt = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} a(k\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right),$$

$$b_n = \frac{2}{\tau} \int_0^{\tau} a(t) \sin n\omega_0 t dt = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} a(k\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right),$$

$$\tau = 1.25 \text{ (s)}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{\tau} = \frac{2\pi}{N\Delta t} = \frac{2\pi}{1.25} \text{ (rad/s)},$$

$$f_0 = \frac{1}{1.25} \text{ (Hz)}, \quad \Delta t = 0.001, \quad N = 1250 \quad (3)$$

Fig. 7과 같이 푸리에 차수가 고차로 갈수록 푸리에 계수 값이 작아 가진력에 대한 영향이 작아지므로 100 차수의 계수까지 고려하여 재구현한 가속도 신호의 푸리에 계수 a_n, b_n 의 값은 Fig. 8과 같다.

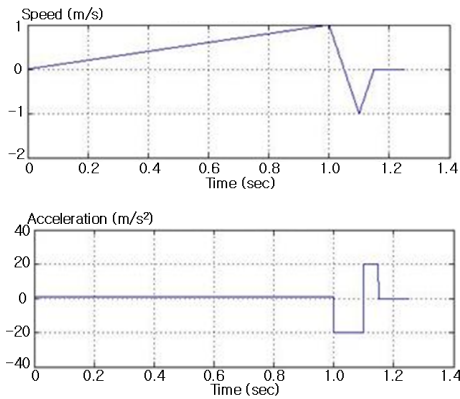


Fig. 6. Speed and acceleration of actuator

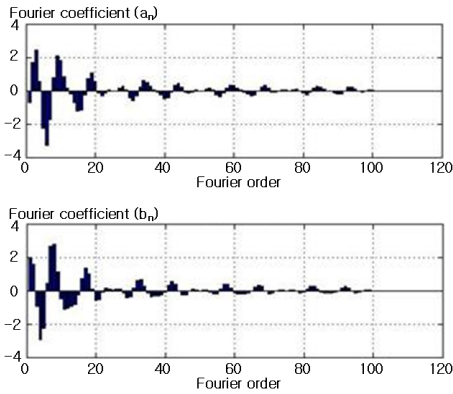


Fig. 7. Fourier coefficient a_n , b_n of actuator acceleration

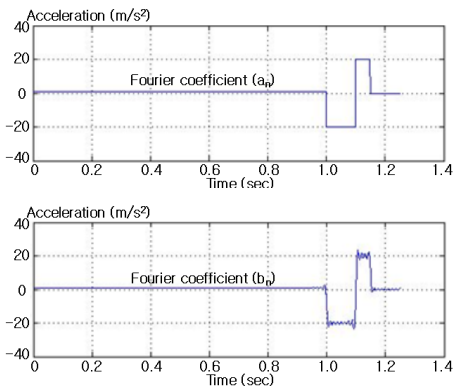


Fig. 8. Fourier coefficient of the reconstructed acceleration

진동 현상으로 발생되는 힘 F_D 를 푸리에 계수 a_n , b_n 등을 고려하여 나타내면 Eq. (4)와 같다. 이 때 와이어 덤퍼를 통하여 바닥에 전달하는 힘 F_T 를 Eq. (5)로 표현 할 수 있다.

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -F_D \quad (4)$$

$$= -m \left\{ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^N (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \right\}$$

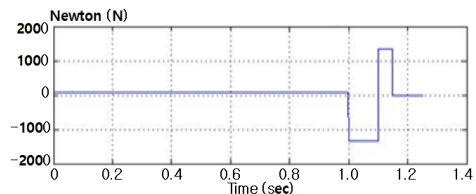
$$F_T = kx + c\dot{x} = -M\ddot{x} + F_D = -M\ddot{x} - m\ddot{y} \quad (5)$$

$$= Mm \sum_{n=1}^N \frac{n^2 \omega_0^2 [a_n \cos(n\omega_0 t - \phi_n) + b_n \sin(n\omega_0 t - \phi_n)]}{\sqrt{(k - M(n\omega_0)^2)^2 + (cn\omega_0)^2}} - m\ddot{y}$$

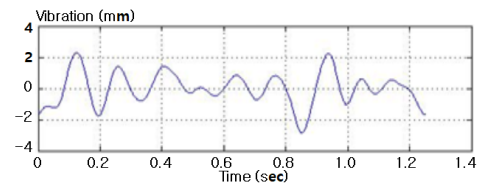
$$= \frac{m}{\omega_s^2} \sum_{n=1}^N \frac{n^2 \omega_0^2 \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cos(n\omega_0 t - \phi_n - \alpha_n)}{\sqrt{\left\{ 1 - \frac{(n\omega_0)^2}{\omega_s^2} \right\}^2 + \left(2\zeta \frac{n\omega_0}{\omega_s} \right)^2}} - m\ddot{y}$$

여기서, $M=265$ kg, $m=67$ kg, $k=4 \times k_0=4 \times (166)$ N/mm = 664 N/mm 이며 이송장치의 전·후 병진운동에 의한 고유진동수는 Eq. (6)과 같다. Eq. (5)를 이용하여 호퍼의 베이스 진동과 바닥에 전달되는 힘을 구하면 Fig. 9와 같다.

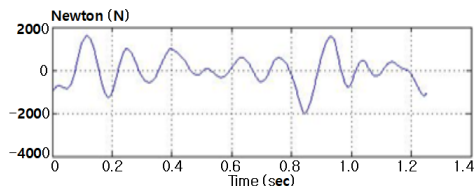
$$\omega_s = \sqrt{\frac{k}{M}} = \sqrt{\frac{4(166) \times 10^3}{265}} \text{ (rad/s)} \quad (6)$$



(a) Transmitted force without damper



(b) Horizontal response of base



(c) Force transmitter to the floor

Fig. 9. Vibration and force transmitted to the floor

2.2 공압을 이용한 평행추 시스템

와이어 댐퍼의 스프링 상수와 감쇠계수에 따라 기초에 전달되는 힘의 차이가 크지만 이러한 경우 Fig. 9와 같이 근본적으로 발생하는 진동과 전달력을 제거하기는 어렵다. 따라서 본 논문에서는 가진력의 발생 원인을 상쇄시키는 평행추 개념을 적용하고 진동 발생 원인을 방지하는 장치를 제안한다. Fig. 10는 공압을 이용한 평행추에 리니어 모터로 작동하는 이송장치의 실제 모습이다. 평행추를 적용한 공압 제어 장치에서 리니어 모터 이동부의 구동으로 발생하는 가진력과 기초 바닥에 전달되는 힘을 Eq. (7)과 정리 할 수 있다.

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_D = -m\ddot{y} \quad (7.a)$$

$$F_D = -m\ddot{y} \quad (7.b)$$

$$F_T = kx + c\dot{x} \quad (7.c)$$

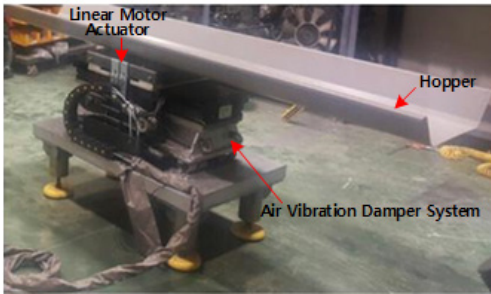


Fig. 10. Fast back Feeding Device using linear motor

리니어 모터의 이동부의 가속에 운동 Eq. (7.a)로 인해 관성력이 가진력 Eq. (7.b) 이 되고 이로 인한 베이스부의 응답이 발생하며 이로 인하여 기초 바닥에 전달되는 힘 Eq. (7.c)이 발생한다. 이 전달력은 와이어 댐퍼의 스프링 상수와 감쇠계수 및 계의 고유진동수에 따라 차이가 있지만 베이스 부의 응답이 존재하는 한 항상 발생한다. 따라서 본 논문에서 가진력의 발생 원인을 상쇄시키는 평행추 개념을 적용하여 가진력을 제로로 함으로써 진동과 전달력을 억제하는 장치를 Fig. 11에 평행추 장치의 개념도를 나타내었다. 이 장치는 리니어 모터부가 전진이나 후진하면 반대 방향으로 움직이는 평행추에 의해서 관성력이 상쇄되는 효과로 인하여 Eq. (7)의 $F_D = 0$ 이 되고 이로 인해 응답과 전달력이 0이 되는 것이다. 리니어 모터부의 전·후진 운동에 의해 호퍼 내의 내용물 이동은 PLC를 통한 속도, 가속도 조절에 의해 결정된다. 호퍼 전진 시 가속 시간은 호퍼와 호퍼 내용물이 같이 이

동 할 수 있는 속도로 길게 설정하고 후진 시에는 가속 시간을 짧게 설정하여 호퍼 내의 내용물이 관성에 의하여 현 위치에 남아 있고 호퍼만 후진 할 수 있다. 1 주기 동안 호퍼의 이동속도는 Fig.12와 같다.

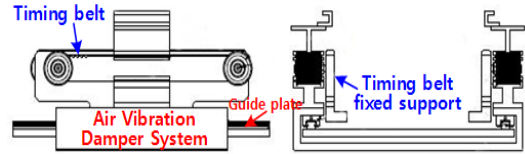


Fig. 11. Vibration damper system using air

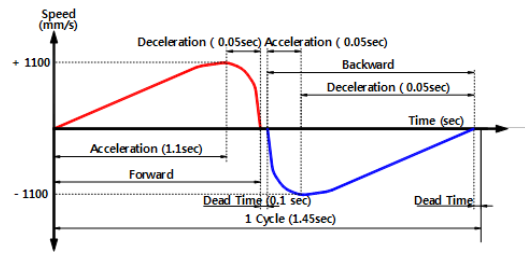


Fig. 12. Movement speed of the hopper during 1-cycle

2.3 평행추 적용에 따른 진동저감 실험

본 논문에서 제안하는 개발한 리니어모터로 작동되는 Fast back 이송장치는 Fig. 10과 같으며 진동 저감을 위한 실험을 2가지 형태로 수행하였다. 평행추 적용 유·무에 따라 Fast back 이송장치의 상판 즉 호퍼의 가속도와 이송장치의 지지하는 프레임의 가속도를 측정하여 서로 비교하였다.

Fig. 13(a)은 평행추가 없는 Fast back 장치의 상판의 가속도 값을 나타낸다. 여기서 전진할 때 최대 가속도 값은 5.8 m/s^2 이고, 후진할 때 최대 가속도 값은 9.82 m/s^2 임을 알 수 있다. 이는 전진할 때는 천천히 전진하다가 돌아올 때는 빨리 피드백 함을 알 수 있다. 따라서 Fast back의 기능을 가짐을 알 수 있다. Fig. 13(b)은 평행추가 있는 경우로 상판의 가속도 값이 전진할 때 최대 가속도 값은 5.36 m/s^2 이고, 후진할 때 최대가속도 값은 9.35 m/s^2 임을 알 수 있다. 이와 같이 이송장치의 상판의 운동은 평행추가 적용 유·무에 상관없이 유사한 운동을 한다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 14(a)는 평행추가 없는 Fast back 장치를 지지하는 프레임에서의 가속도 값을 나타내었으며 전진할 때 최대 가속도 값은 0.47 m/s^2 이고, 후진할 때 최대가속도 값은 0.62 m/s^2 임을 알 수 있다. 여기서 진동크기를 나

타내는 RMS(root mean square)값을 살펴보면 0.456 m/s²임을 알 수 있다. Fig. 14(b)는 평형추가 있는 경우로 지지하는 프레임에서의 가속도 값을 나타내었으며 전진할 때 최대 가속도 값은 0.05 m/s²이고, 후진할 때 최대 가속도 값은 0.09 m/s²임을 알 수 있다. 또한 RMS값을 살펴보면 0.048m/s²임을 알 수 있다. 이상에서와 같이 평형추가 있는 fast back 장치에서 평형추가 없는 경우보다 약 10배정도 진동이 저감됨을 알 수 있었다.

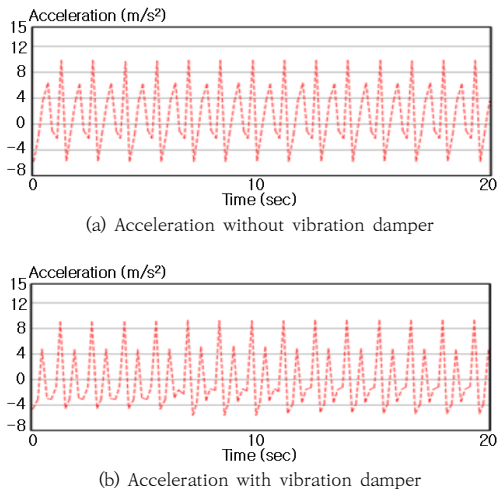


Fig. 13. Upper acceleration of fast back feeding device

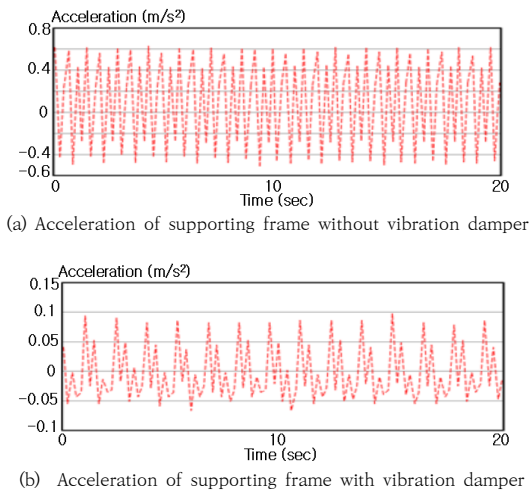


Fig. 14. Support frame acceleration of fast back feeding device

3. 결론

본 논문에서 제안하는 이송장치는 과자류 등 스낵식품 가공 공정라인에 사용되는 이송장치로 기존의 이송장치는 대부분이 벨트 컨베이어 방식임에 비해 관성력 원리를 이용한 이송장치이다. 제안하는 장치는 리니어모터로 작동되는 Fast back system으로 호퍼와 평형추가 서로 연동되어 반대방향으로 움직임으로 자동으로 전진과 후진 시 발생하는 진동으로 인한 문제를 해결하고자 개발되었다.

이송장치는 수평이동 방향으로 주기적인 충격형태의 가진력이 주어지는 시스템으로 지지계가 이를 받치는 형태로 되어 있으며 생산성 향상을 위해 리니어모터 시스템의 이송속도를 빠르게 하면 진동이 커져서 정상적인 운전이 불가능하다. 따라서 진동 해석을 통해 진동발생 형태의 예측과 진동발생을 주요원인을 파악하고 이에 대한 진동저감 대책을 수립하고 시제품을 제작하여 실험하고 평형추 적용 유·무에 따라 진동 저감효과가 약 10배 정도임을 검증하였다.

향후 연구에서는 공압 및 서보모터로 구동되는 Fast back 장치에 대해 평형추 시스템의 적용방법에 대해 검토할 예정이다.

References

- [1] Yong-Jin Cho, "Strategy for Intelligent Automation of Food Factory in the Era of the Fourth Industrial Revolution", *Food Industry and Nutrition*, Vol 23, No.2, pp.27-32, Dec. 2018.
- [2] Kim Bo-bae, Park Jin-woo, "Smart Kimchi raw material comprehensive treatment plant system design", *Proceedings of the Fall Conference of the Korean Society of Industrial and Engineering Engineers*, AURIC, KOREA, pp.1510-1515, November 2015.
- [3] C. Cárdenas, J. Bécares, E. Moya, "Modeling and process simulation of a single screw food extruder", 2009 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, IEEE, Mallorca, Spain, pp.1-4, Sept. 2009.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2009.5347241>
- [4] G.K. Venayagamoorthy, D. Naidoo, P. Govender, "An industrial food processing plant automation using a hybrid of PI and fuzzy logic control", *The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, IEEE, MO, USA, pp. 1059-1062, Vol 2, May 2003.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/FUZZ.2003.1206578>
- [5] C. Cárdenas, J. Bécares, E. Moya, "Modeling and

process simulation of a single screw food extruder", 2009 IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, IEEE, Mallorca, Spain, pp.1-4, Sept. 2009.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2009.5347241>

- [6] Hassaan Th. H. Thabet, Maysara A. Qasim, "Proposed industrial concept for automating a food production process using PLC", 2013 International Conference on Electrical Communication, Computer, Power, and Control Engineering (ICECCPCE), IEEE, Mosul, Iraq, pp.147-151, Dec. 2013.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ICECCPCE.2013.6998751>
- [7] Choi Gi-dol, "Automation technology of food processing", *Food Science and Industry*, Vol.20, No.2, pp.53-59, Jun. 1987.
- [8] Young Jin- Lee, "Automation task of 21st century food industry", *Proceedings of 1996 Conference on Korean Society of Food Science and Nutrition*, KFN, KOREA, pp.101-112, March 1996.

한 두 희(Doo-Hee Han)

[정회원]



- 1985년 2월 : 국민대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 석사과정 재학중
- 1985년 3월 ~ 1988년 7월 : 맥슨 전자 설계부 근무

- 1988년 8월 ~ 1993년 2월 : 한국 메가트론 설계실 근무
- 1993년 3월 ~ 2012년 5월 : 인투테크놀로지 대표이사
- 2012년 6월 ~ 현재 : (주) 파코엔지니어링 상무이사

<관심분야>

철강, 식품 산업기계 플랜트, 자동화설비

이 승 훈(Seung-Hun Lee)

[정회원]



- 2009년 8월 : 성균관대학교 전기전자공학부 (공학석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 박사과정 재학중
- 2010년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 아산캠퍼스 메카트로닉스과 조교수

<관심분야>

자동제어, PLC제어, 모터제어

손 영 득(Yung-Deug Son)

[정회원]



- 2015년 2월 : 부산대학교 전자전기공학부 (공학박사)
- 2001년 2월 ~ 2009년 8월 : 현대중공업 선임연구원
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계설비제어공학과 조교수, 건축전기설비기술사, 전기응용기술사

<관심분야>

모터제어, 지능제어, 신재생에너지, 전기설비