

마찰력과 주파수 조절을 이용한 다자유도 피에조 선형 구동원리 제안

Suggest the principle of multi-DOF piezoelectric linear actuator by using friction & frequency

*박영호¹, 이종현¹, 김경수¹, 김수현¹

*Y. H. Park¹, J. H. Lee¹, K.S. Kim¹, #S. H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr)¹

¹ 한국과학기술원 기계공학과

Key words : piezo, friction, frequency

1. 서론

현대 사회의 대부분의 전자제품 수요자들은 휴대가 용이하며 기능이 많은 제품을 선호하기 때문에 전자제품들은 더욱 소형화 및 다기능화로 발전하고 있다. 이런 휴대용 전자제품들에는 구동기(actuator)가 거의 필수적인 부품 요소이며, 필수적으로 구동기가 필요한 경우가 아니라도 단순한 엔터테인먼트를 구현하기 위해서는 역시 구동기가 필요하다. 특히 점차 소형화 되어 가는 제품들; 예를 들면 카메라의 손떨림 방지, 자동 포커스 조절기능(A/F), 휴대폰 또는 게임기 등의 진동 장치 등 및 로봇의 유연하고 섬세한 움직임을 위한 구동 및 소형 정찰로봇의 수요증가를 보더라도 소형의 다자유도를 갖는 구동기가 필요한 것은 자명하다.

기존의 전자기 모터는 하나의 모터로 다자유도를 구현하기 위해서는 모터와 다수의 구동축 사이에 기어와 같은 전달부분이 있어서 필요에 따라 기어를 옮겨줌으로써 각각의 필요한 구동축과 모터를 연결하여주는 방법이 사용되었다. 그러나 이러한 방법은 모터와 구동축을 연결해주는 기어 부분을 이송시켜주기 위하여 별도의 구동기를 사용해야 하며, 별도의 기어부분이 들어감에 따라 부피와 무게가 증가하는 단점이 있으며, 또한 모터와 구동축이 기어에 의해 연결되어있기 때문에 효율이 낮아지는 단점이 있다.

기존의 압전소자를 이용한 선형 구동기의 경우 이동자를 하나만 두어 하나의 자유도만 얻을 수 있었다. 이 경우 다자유도를 얻기 위해서는 다수의 선형 구동기를 사용해야하기 때문에 부피와 무게의 증가를 가져오며, 소형화 설계에 제약이 따르게 된다.

이를 개선하기 위해 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 압전소자를 이용한 구동기에 둘 이상의 이동자를 두고, 압전소자의 주파수에 따른 진동 변화와 이동자 각각의 마찰계수를 이용하여 이동자들을 독립적으로 움직일 수 있는 다자유도 압전 선형구동 원리를 제시하였다.

2. 압전 선형구동기 모델의 원리

본 모델은 별도의 기구부가 필요 없으며, 기존의 압전소자를 이용한 선형 구동기를 그대로 이용하여 다자유도를 구현할 수 있다. 입력신호의 변화에 따라 각각의 이동자를 따로 움직이게 하거나 또는 동시에 움직이게 할 수 있다.

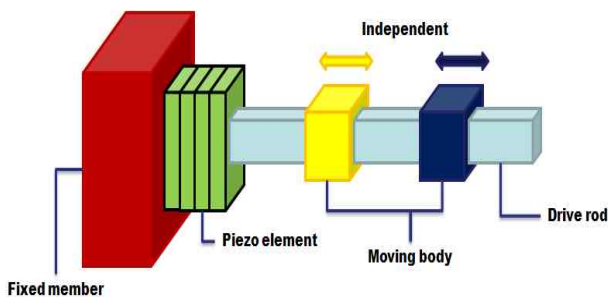


Fig. 1 Multi-DOF piezoelectric linear actuator

이러한 움직임이 가능한 이유는 압전소자를 이용한 선형 구동기의 작동원리에 있다.

$$m_m a_e < F_f < m_m a_s$$

X_1, X_2 : 이동자 1, 2
 m_m : 이동자의 질량
 a_e : 압전소자의 팽창 가속도
 a_s : 압전소자의 수축 가속도,
 F_f : 이동자와 가진축 사이의 마찰력

팽창할 때의 가속도가 마찰력 F_f 보다 작고, 수축할 때의 가속도가 마찰력 F_f 보다 클 때 구동기가 작동한다. 이동자(X_1, X_2)의 질량 m_m 및 마찰력 F_f 은 초기 제작 시 조절 가능한 변수이고, 압전소자의 팽창·수축시의 가속도는 입력전압을 조정하여 조절할 수 있다.

따라서 하나의 driving rod 위에 두 개의 이동자를 설치하고, 각각의 이동자의 무게 및 마찰력과 입력 전압신호를 조정하면 각각의 이동자를 움직이게 할 수 있다.

3. 다자유도 압전 선형구동기 모델

위의 원리를 토대로 각각의 이동자를 움직이게 하기 위해 상황별 Fig. 2와 같은 메카니즘을 적용해 보았다.

①에서는 피에조가 a_1 의 가속도로 팽창할 때 X_1 은 움직이지 않고 X_2 만 움직였다. 이를 가능하게 하기 위해 X_1 에 작용하는 마찰력 f_1 이 $m_1 a_1$ 의 곱보다 작아야 하고, X_2 에 작용하는 마찰력 f_2 는 $m_2 a_1$ 보다 커야 한다.

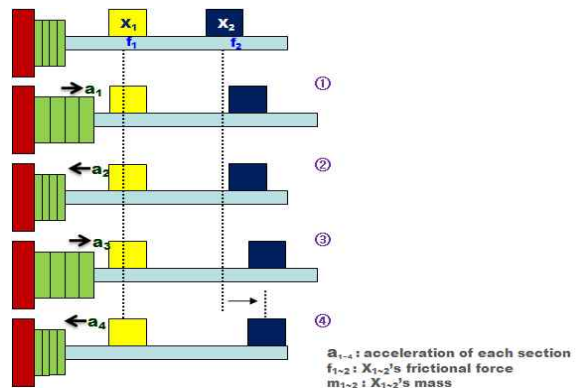


Fig. 2 X_1 don't move, X_2 moving (X_2 's frictional force > X_1)

Table 1 Comparison of ①~④'s moving

구분	X1	X2
①	· (hold)	+(right)
②	·	·
③	·	+
④	·	·
Result	·	+

이를 수식적으로 표현하면 다음과 같은 부등식이 나온다.

$$m_1 a_1 > f_1, \quad m_2 a_1 < f_2 \quad \text{----- (1)}$$

②에서는 피에조가 a_2 의 가속도로 수축할 때 X_1 과 X_2 모두 움직이지 않았다. 이것이 가능하려면 X_1 과 X_2 에 작용하는 마찰력 f_1, f_2 의 크기가 모두 $m_1 a_2, m_2 a_2$ 의 크기보다 작아야 한다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같은 부등식을 도출해 낼 수 있다.

$$m_1 a_2 > f_1, \quad m_2 a_2 > f_2 \quad \text{----- (2)}$$

③, ④는 ①, ②가 반복되며 이를 수식적으로도 ①, ②와 같이 표현될 수 있다.

$$m_1 a_3 > f_1, \quad m_2 a_3 < f_2 \quad \text{----- (3)}$$

$$m_1 a_4 > f_1, \quad m_2 a_4 > f_2 \quad \text{----- (4)}$$

위에서 도출된 (1) ~ (4)의 식을 종합해 보면,

$$\frac{f_1}{m_1} < a_1, a_3 < \frac{f_2}{m_2} < a_2, a_4 \quad \text{----- (5)}$$

의 식을 도출해 낼 수 있다.

Fig. 3의 ⑤에서 피에조가 a_1 의 가속도로 팽창할 때 X_1 과 X_2 모두 움직였다. 이를 가능하게 하기 위해 f_1, f_2 모두 $m_1 a_1, m_2 a_1$ 보다 커야 한다. 이는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$m_1 a_1 < f_1, \quad m_2 a_1 < f_2 \quad \text{----- (6)}$$

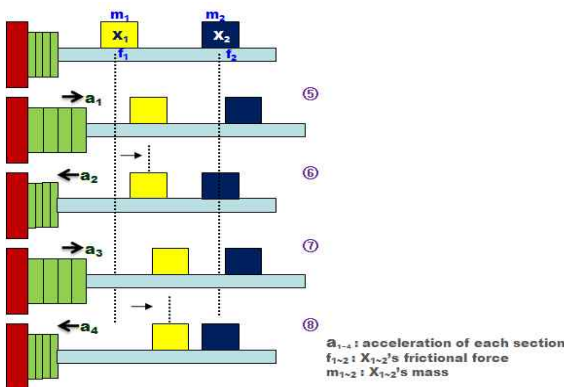


Fig. 3 X_2 don't move, X_1 moving (X_2 's frictional force > X_1)

Table 2 Comparison of ⑤~⑧'s moving

	X1	X2
⑤	+(right)	+
⑥	· (hold)	-(left)
⑦	+	+
⑧	·	-
Result	+	·

⑥에서는 피에조가 a_2 의 가속도로 수축할 때 X_1 은 움직이지 않고 X_2 만 왼쪽으로 움직였다. 이를 위해 $m_1 a_2$ 는 f_1 보다 커야 하고 $m_2 a_2$ 는 f_2 보다 작아야 한다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같은 부등식이 나온다.

$$m_1 a_2 > f_1, \quad m_2 a_2 < f_2 \quad \text{----- (7)}$$

⑦, ⑧은 ⑤, ⑥이 반복되며 수식은 ⑤, ⑥처럼 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$m_1 a_3 < f_1, \quad m_2 a_3 < f_2 \quad \text{----- (8)}$$

$$m_1 a_4 > f_1, \quad m_2 a_4 < f_2 \quad \text{----- (9)}$$

위에서 도출된 (6) ~ (9)의 식을 종합해 보면,

$$a_1, a_3 < \frac{f_1}{m_1} < a_2, a_4 < \frac{f_2}{m_2} \quad \text{----- (10)}$$

을 도출해 낼 수 있다.

(5)와 (10)의 식을 볼 때 여기서 m_1, m_2, f_1, f_2 는 조정 및 변환이 얼마든지 가능하기 때문에 a_1, a_2, a_3, a_4 또한 결정할 수 있으며 이를 통해 조건에 맞는 주파수를 설정 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 이동자와 driving rod의 마찰과 주파수 변화에 따른 피에조의 운동을 이용하여 다자유도 선형 구동 원리를 제안하였다. 각 이동자의 질량과 피에조의 가속도의 곱과 이동자와 driving 갭의 마찰력을 비교하여 각 구간에서 이루어 지는 움직임에 대한 조건을 만족시키는 식을 도출한다.

여기서 도출된 식을 종합하여 각 이동자의 질량과 이동자와 driving rod의 마찰을 조정하여 종합한 식에 대입하면 그것을 만족하는 가속도 조건을 찾아 결정할 수 있으며 그에 따른 주파수를 조정하여 피에조를 동작시키면 각각의 이동자를 독립적으로 움직이게 할 수 있다.

후기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. Yasuhiro Okamoto, Ryuichi Yoshida, "Development of Linear Actuators Using Piezoelectric Elements" Electronics and Communications in Japan, Part 3, Vol. 81, No. 11, 1998
2. C.Y Kang, K.H Yoo, H.P Ko, H.J Kim, T.K Ko, S.J Yoon, "Analysis of driving mechanism for tiny piezoelectric linear motor", J Electroceram (2006) 17:609-612
3. 유경호, 고현필, "인가 전압에 따른 초소형 압전 리니어 모터의 동특성," 한국 전기 전자 재료 학회 하계학술대회 논문집, 2005
4. Jose L. Pons, "Emerging Actuator Technologies", John Wiley & Sons Ltd, pp.47-91, 2005