

동속운동을 위한 임팩트구동방식 압전액츄에이터 설계 Design of a impact driving type piezoelectric actuator for uniform velocity

*박기범¹, 양예경², 김광²

*K. B. Park¹, H.J Yang², #K. Kim(kimkwang@kpu.ac.kr)²

¹ 한국산업기술대학교 기계시스템설계 ² 한국산업기술대학교 기계설계공학과

Key words : SIDM, Longitudinal Vibration, Piezo Actuator, Impact Drive, Uniform Velocity

1. 서론

최근 전자기기의 소형, 경량화 추세에 따라 압전재료를 이용한 기기의 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 카메라 초점장치 등의 액츄에이터로 사용되며 휴대용 정보기기의 첨단화에 따라 초소형 카메라는 필수적인 부품으로 수요가 증가하고 있는 상황이다. 기존의 타 액츄에이터는 감속기나 캠 등의 부가장치를 필요로 해서 소형화의 어려움이 있거나 백래쉬 등으로 인한 오차, 낮은 효율 등으로 나날이 작고 얇아지는 휴대용 정보기에 적용하기에는 어려움이 많다. 그러나 압전액츄에이터는 그에 비해 구조가 간단하여 소형화에 유리하고 구동특성상 백래쉬가 발생하지 않으며 중량당 높은 구동력을 갖는다. 이 같은 특성으로 인해 의료기기, 로봇리스, 항공우주분야 등 다양한 분야로의 응용이 가능하다.

그 필요에 따라 다양한 메커니즘의 압전액츄에이터들이 개발되고 있다. 그중 선형액츄에이터는 구동방식에 따라 크게 인치웸 방식, 관성력을 이용한 방식, 마찰력을 이용한 방식과 표면의 파동을 이용하는 방식 등으로 분류된다. 이중 관성력을 이용한 구동방식에는 Higuchi 등이 제안한 SIDM(Smooth Impact Drive Mechanism)을 기반으로 적층형 및 원판형 등 압전세라믹의 종류와 모양에 따라 다양한 종류의 액츄에이터가 있으며 이러한 임팩트구동방식 압전액츄에이터는 구조가 간단하여 휴대폰용 초소형카메라 자동초점장치 등의 액츄에이터로 적용된다. 또한, 직접구동방식으로써 전기적으로 위치를 제어할 수 있는 장점이 있고 빠른 응답속도로 나노미터(nm)의 위치정밀도를 갖는 특성을 지니고 있어 정밀위치제어가 필요한 반도체, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 등의 분야에 위치제어를 위한 액츄에이터로 응용이 가능하다. 본 논문에서는 원판형 압전액츄에이터를 이용하여 구동면(샤프트)과 피구동면(이동자)의 접촉위치에 따라 달라지는 액츄에이터의 구동력을 정량화하고 등속운동이 가능한 임팩트구동방식 액츄에이터를 설계하였다.

2. 구동원리 및 특성

Seok-Jin Yoon 이 제안한 원판형 압전액츄에이터는 Fig.1에 두께방향으로 분극된 원판모양의 압전세라믹에 전압을 인가하면 팽창방향으로 팽창, 수축하는 특성을 이용한다. 팽창, 수축하는 세라믹에 변형량이 구별되는 탄성체를 결합하면 세라믹의 팽창변위는 수직변위로 변환되고 인가전압의 극성에 따라 볼록 또는 오목한 형태로 변형된다. 이때 발생한 미소한 크기의 변위로는 액츄에이터의 구동력을 얻기 어려우므로 충분한 변위를 얻기 위해 수직방향 진동모드의 공진을 이용한다. 이때 탄성체와 세라믹이 결합된 원판부의 중심에 샤프트를 수직 하에 결합하고

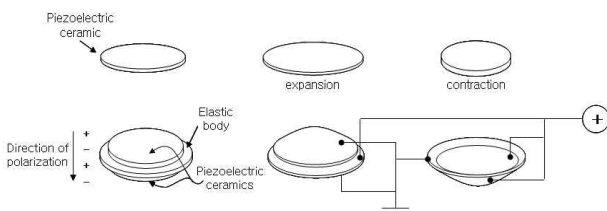


Fig. 1 Deformation of circular plate using radial mode

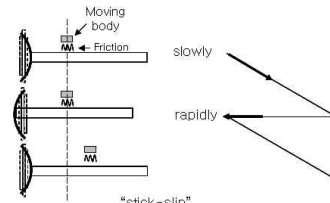


Fig. 2 Operating principle

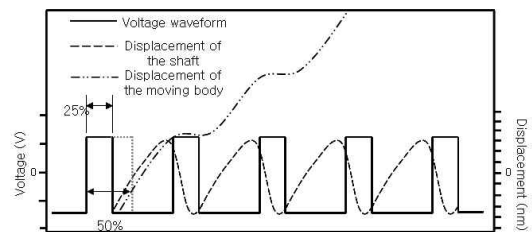


Fig. 3 Displacement characteristics of the shaft and moving body according to the input voltage waveform

구형파나 톱니파의 펄스폭을 변조하여 인가하면 샤프트는 톱니파는 물론 구형파의 경우에서도 Fig.2와 같이 톱니파형의 변위를 일으키게 된다. 이때 샤프트와 적당한 힘으로 접촉해 있는 이동자(Moving body)는 순간 정지마찰저항이 동마찰저항보다 커져 미끄러짐이 발생하고 초당 수만 회 이상 반복하여 이동자의 위치를 이동시키게 된다. Fig.3[2][3] 이때 종진동하는 샤프트에 발생하는 탄성변위의 방향이나 크기가 이동자의 속도와 방향에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 안정적인 구동을 위해서 샤프트는 원판부에 비해 가벼워야 하며[2] 재료의 선형 시에는 구동주파수에 대한 적절한 전파속도($c=E/\rho$)와 길이를 함께 고려해야 한다. carbon fiber나 pyrex 등이 샤프트의 재료로 사용되며 Duty ratio 25, 75%의 구형파에서 가장 높은 효율의 움직임을 보인다.[1][3][4]

3. 설계 및 분석

종방향으로 진동하는 샤프트의 탄성변위 프로파일은 구속조건에 따라 전 구간에서 일정하지 않고 한쪽 끝에서부터 sin 또는 cos 곡선의 모양으로 나타난다.[5] 속도의 크기 역시 샤프트 전체에서 일정한 값을 갖지 않고 이동자의 접촉위치에 따라 차이를 보이기 때문에 임팩트방식 압전액츄에이터의 등속화를 위해서는 샤프트의 종방향 진동특성을 고려하여 설계해야 한다. 본 설계에서 제안한 액츄에이터는 Fig.4 (a)와 같이 bimorph타입의 원판부 양단에 샤프트를 결합한 구조이며 샤프트의 끝단에서부터 시작되는 sin곡선의 탄성변위를 얻기 위해 Fig.5와 같이 샤프트의 양 끝을 고정하고 구동하였다. 샤프트의 고정으로 인해 Fig.5 (a)액츄에이터의 이동자는 고정부에서 원판부로 갈수록 속도가

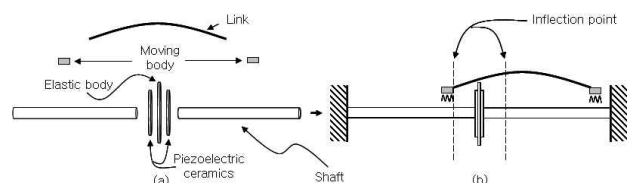


Fig. 4 Structure of a impact driving type piezoelectric actuator for uniform velocity

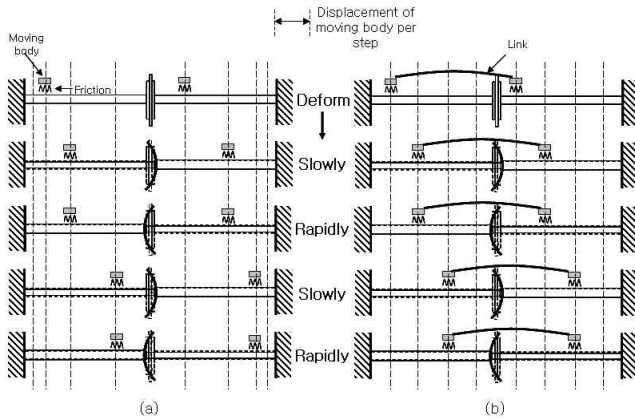


Fig. 5 Principle and characteristics of operation

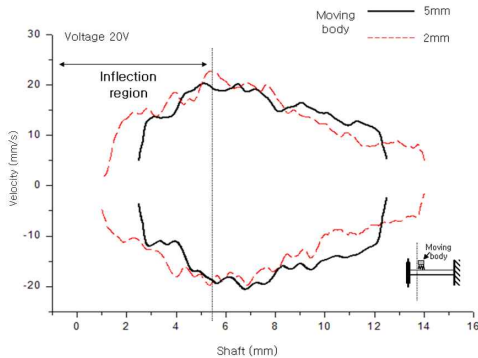


Fig. 6 Velocity of the moving body according to the length

증가하고 원판을 중심으로 대칭한 모습을 보인다. 또한, 오목, 볼록해지는 원판부로 인해 샤프트 각각의 이동자는 한 방향으로 이동한다. 위 특성을 이용하여 Fig.5 (b)에서는 이동자를 하나의 연결부로 결합하고 각 이동자에서 나타내는 속도를 평균화하였다. 샤프트의 전 구간에서 동일한 평균값으로 등속운동을 하기 위해서는 선형적으로 증가 또는, 감소하는 속도의 프로파일이 대칭하게 나타나야 하지만 원판부 질량으로 인해 Fig.6과 같이 속도가 감소하는 변곡구간(Inflection region)이 생긴다. 이 구간은 등속운동을 저해하는 요인이 되기 때문에 이동자의 연결부는 구동영역에 변곡구간이 포함되지 않도록 Fig.4 (b)와 같이 설계해야 한다. 그리고 이동자는 접촉위치에 따라 달라지는 구동력의 차이에 민감하게 반응하지 않을수록 좋다. 2mm, 5mm 이동자의 속도측정결과 Fig.6을 식(1)으로 표준편차를 구하면 2mm의 경우 표준편차가 4.6mm/s, 5mm의 경우 3.0mm/s로 2mm 이동자의 속도가 더 심하게 변동하는 것을 확인할 수 있다. 이동자의 길이가 길어짐에 따라서 스트로크(Stroke)는 줄어들게 되지만 본 설계의 목적은 등속운동을 통한 정밀위치제어에 있기 때문에 필요한 스트로크를 확보한 내에서는 이동자의 길이를 길게 하는 것이 더욱 안정적이다. 총 스트로크(S_{total})는 식(2)으로 샤프트 길이(S_r)에 이동자(S_m)와 변곡구간(S_i)의 길이를 빼서 구할 수 있다.

$$\text{표준편차} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{v} - v)^2}{n}} \quad (\bar{v} = \text{평균속도} \quad (1)$$

$$v = \text{측정속도}$$

$$n = \text{데이터의 수}$$

$$S_{total} = S_r - S_m - S_i \quad (2)$$

4. 실험 및 고찰

위에서 제안한 방법으로 액츄에이터를 제작하여 이동자의 운동속도를 경우에 따라 측정하였다. 실험에 사용된 액츄에이터 샤프트의 길이는 15mm, 이동자는 5mm로 하였다.

Fig.7에서 이동자의 속도를 따로 측정하고 서로 연결한 뒤 속도를 비교하였다. 이동자 a, b의 총 스트로크는 10mm, 속도는

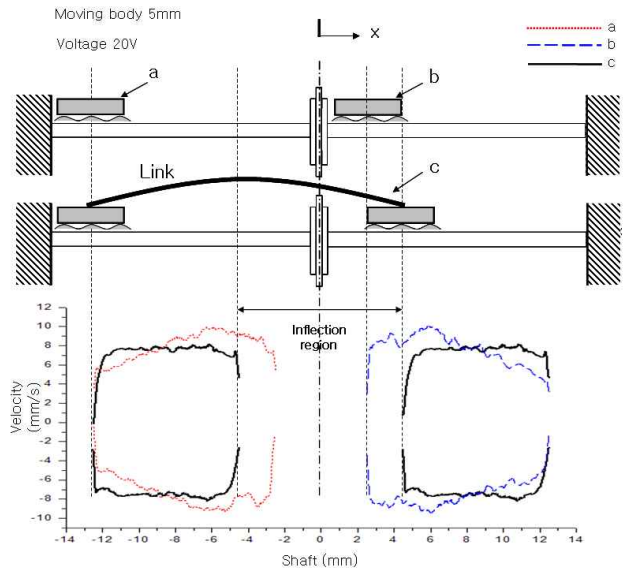


Fig. 7 Comparison of velocity of the moving bodies at each position of the shafts

7.5mm/s로 같았고 표준편차는 a의 경우 1.5mm/s, b는 1.6mm/s로 거의 비슷한 수준의 변동을 보였다. 이에 반해 두 개의 이동자를 연결했을 때는 변곡구간으로 인해 총 스트로크는 8mm로 줄어들었지만, 평균속도는 7.5mm/s로 동일했고 표준편차가 0.5mm/s로 줄어들었다. 위 결과로 두 개의 이동자를 연결하면 각 이동자 속도의 평균값으로 운동하는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 임팩트방식 압전액츄에이터의 샤프트와 이동자 접촉면 위치에 따른 속도의 차이를 등속화하기 위해 원판형 구동부 양단에 샤프트를 결합한 구조의 액츄에이터 설계를 제안하였다. 이 때 효율적이고 안정적인 구동을 위해 샤프트의 양단은 클램프(clamp)로 고정하였고 이동자의 연결부는 샤프트에서 나타나는 변곡점의 위치를 고려하여 설계하였다. 실험을 통해 평균 속도 7.5mm/s에서 표준편차가 0.5mm/s로 기존보다 속도의 변동 정도가 크게 줄어든 것을 확인할 수 있었고 더 나아가 open loop 제어가 가능한 수준의 등속화를 목표로 연구하고 있다. 이는 초정밀 위치제어에 필요한 높은 분해능을 갖는 고가의 센서사용을 최소화하여 비용을 절감하고 정밀측정기기나 의료 기기 등에 적용 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. C. Kang, K. Yoo, H. Ko, H. Kim, T. Ko and S. Yoon, Analysis of driving mechanism for tiny piezoelectric linear motor, J. Electroceram., 17, 609-612(2006)
2. H. Ko, K. Lee, K. Yoo, C. Kang, S. Kim, S. Yoon, Analysis of tiny piezoelectric ultrasonic linear motor, Japanese Journal of Applied Physics., vol. 45. No. SB. (2006), pp.4782-4786
3. R. Yoshida, Y. Okamoto and H. Okada, Development of smooth impact drive mechanism (2nd report), Jour. Jap. Soc. of Prec. Eng., 68(4), 536-541 (2002)
4. T. Rasmussen, O. Hansen, E. V. Thomsen, P. Sommer-Larsen, K. Uchino, S. Ural, S. Tuncdemir, Easy manufacturing of compact SIDM based motor, Actuator 2008, 11th International Conference on New Actuators, Bremen, Germany, 9 - 11 June 2008, pp.644-647
5. 박기범, 김광, "원판형 압전액츄에이터의 샤프트 진동특성 연구", 한국정밀공학회 2008년도 춘계 학술대회논문집, 185-186, 2008