

분기 회로를 연결한 PUMPS 를 이용한 진동 제어 Vibration Control using Shunted PUMPS

박재원* · 한재홍† · 강래형**

Jae-Won Park, Jae-Hung Han, and Lae-Hyoung Kang

1. 서 론

압전 작동기는 스마트 재료의 하나인 압전 재료를 이용한 작동기로써, 기존의 기계적 메커니즘을 이용한 작동기에 비해 단위 부피 및 단위 질량당 낼 수 있는 에너지가 크다는 이점이 있다⁽¹⁾. 하지만 작동 변위가 작다는 단점 때문에 그 적용 범위가 제한되고 있어 이를 극복하기 위한 증폭 메커니즘이 다양하게 연구되고 있다. 외부 장치의 도움 없이 구성된 것은 내부 증폭형 작동기로 분류되며, 유니모프, 바이모프, 곡면형 작동기 등이 있다⁽²⁾. 유니모프 작동기는 제작이 용이하다는 장점이 있으며, 이 중 곡면형 유니모프 작동기는 다른 유니모프 작동기에 비해 작동 변위와 힘이 우수하다⁽³⁾. 일반적으로 많이 알려져 있는 곡면형 유니모프 작동기는 RAINBOW (Reduced And Internally Biased Oxide Wafer), THUNDER (THin-layer composite UNimorph ferroelectric DrivER and sensor), LIPCA (LIghtweight Piezo-compocite Curved Actuator), CERAMBOW (CERAMic Biased Oxide Wafer) 등이 있고, 한국에서는 강래형 등에 의해 개발된 PUMPS (Piezoelectric Unimorph using Mechanically Pre-stressed Substrate) 가 있다⁽³⁻⁵⁾. 본 논문에서는 압전 분기 감쇠기의 진동 저감 기술을 PUMPS에 적용하였다. 압전 분기 감쇠기는 압전 재료에 분기 회로를 연결한 장치로써, 압전 재료를 통해 구조물과 회로 사이에 에너지를 교환함으로써 구조물의 진동을 저감한다. 본 연구에서는 수동 공진형 분기 회로를 PUMPS에 연결하여 외팔보의 진동을 저감하였다.

2. PUMPS 작동기

2.1 PUMPS의 형상 및 원리

PUMPS는 강래형 등에 의해 개발된 초기 응력을 가진 기저 구조물을 이용한 곡면형 압전 유니모프이다⁽³⁻⁴⁾. RAINBOW나 THUNDER와 같은 다른 곡면형 유니모프 작동기는 고온 설비나 특수 접착제가 필요하고 고온 접합 이후 재분극 과정을 거쳐야 하는 문제점이 있다. 하지만 PUMPS는 고온 접합 과정을 거치지 않기 때문에 특수 설비나 재분극 과정이 필요 없다. 또한 THUNDER의 한 종류인 TH-8R와 같은 재료와 크기로 제작한 PUMPS가 같은 전계 내에서 더 높은 작동 변위와 힘을 낼 수 있음이 보고된 바 있다⁽³⁻⁴⁾.

Figure 1은 제작된 PUMPS의 형상이다. 상온에서 기저층에 기계적으로 인장 응력을 가하여 길이를 늘린 후, 압전 재료를 부착한 다음 응력을 제거함으로써 Figure 1과 같이 압전 재료에 인장 응력이 가해지는 곡면형 유니모프를 제작하였다. 사용된 재료의 물성치와 크기 데이터를 Table 1에 정리하였다. 압전 재료와 기저층의 두께 비율은 유니모프의 작동 변위와 작동력을 최대화할 수 있는 최적화 과정을 거쳐 선택하였다.



Figure 1 Shape of PUMPS

Table 1 Specification of Materials for PUMPS

	Piezoceramic	Substrate
Material	PZT5A3	SUS304
Density (kg/m ³)	7,700	8,000
Elastic Modulus (GPa)	61	190
Length (mm)	38.1	63.5
Width (mm)	12.7	13.7
Thickness (mm)	0.254	0.15

† 교신저자; 정회원, KAIST 항공우주공학과
E-mail : jaehunghan@kaist.ac.kr
Tel : (042) 350-3723, Fax : (042) 350-3710
* KAIST 항공우주공학과
** 전북대학교 LANL-CBNU 한국공학연구소

2.2 PUMPS의 압전 특성

압전 재료는 인가 전압과 내부 응력에 따라 물성이 변화하는 특성을 가지고 있다⁽⁵⁾. 인가 전압과 내부 인장 응력이 높아질수록 압전 상수인 d_{31} 값이 증가한다. PUMPS를 비롯한 곡면형 작동기는 인장 응력이 가해졌을 때 d_{31} 이 증가하는 성질을 이용한다. Figure 2는 인장 응력이 가해졌을 때 PUMPS의 d_{31} 값을 실험적으로 얻어 피팅한 그래프이다⁽⁵⁾.

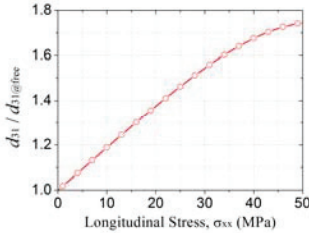


Figure 2 d_{31} ratio according to tensile stress

3. 압전 분기 감쇠기

3.1 압전 분기 감쇠기의 원리

압전 분기 감쇠기는 Figure 3과 같이 압전 재료에 임피던스 $Z(s)$ 를 가지는 분기 회로를 연결한 진동 저감 장치이다. 분기 회로의 종류에 따라 감쇠기의 종류를 구분할 수 있으며, 또한 제어 방식에 따라 수동, 반능동, 능동형 감쇠기로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 수동 제어 방식을 사용하였으며, 그 중에서 가장 성능이 좋은 것으로 알려진 공진형 압전 분기 감쇠기를 적용하였다. 공진형 압전 분기 감쇠기는 분기 회로에 저항과 인덕터를 연결한 것으로, 기계적 시스템의 동조 질량 감쇠기와 동일한 역할을 한다⁽⁶⁾.

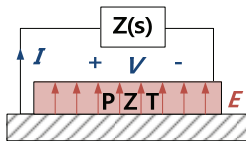


Figure 3 Structure with shunted piezoelectric

3.2 분기 회로를 연결한 PUMPS의 성능 분석

압전 분기 감쇠기의 성능은 일반화된 전기-기계 상수 K_{31} 에 의해 결정된다. K_{31} 값은 이론적으로 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다. K_p^E/K_{tot} 는 구조물 전체에 대한 압전 재료의 변형률 에너지 비율이고, k_{31} 은 압전 재료 자체의 전기-기계 결합 상수, \hat{Z} 는 분기 회로의 임피던스를 무차원화시킨 것이다. PUMPS는 인장 응력으로 인해 향상된 d_{31} 값을 가지고 있으며, k_{31} 값은 d_{31} 에 비례한다⁽⁶⁾. 따라서 PUMPS를 사용함

으로써 일반 유니모프 작동기에 분기 회로를 적용한 것보다 더 향상된 K_{31} 을 기대할 수 있다.

$$K_{31} = \frac{K_p^E}{K_{tot}} \left(1 + \frac{k_{31}^2}{1 - k_{31}^2} \cdot \frac{\hat{Z}}{1 + \hat{Z}} \right) \quad (1)$$

4. 진동 제어 실험

분기 회로를 연결한 PUMPS의 진동 저감 성능을 확인하기 위해 알루미늄 외팔보의 제어 실험을 수행하였다. Table 1과 같이 제작한 PUMPS를 보에 부착하고 직렬 공진형 분기 회로를 연결하여 충격력에 대한 과도 응답 데이터를 획득하였다. 1차 굽힘 모드의 진동이 효과적으로 저감됨을 확인하였다.

3. 결 론

PUMPS는 일반 유니모프 작동기에 비해 더 우수한 작동 성능을 낼 수 있는 곡면형 압전 유니모프 작동기의 하나이다. 본 논문에서는 PUMPS에 공진형 분기 회로를 연결하여 외팔보의 진동 저감에 적용하였고, 그 효과적인 성능을 확인하였다.

후 기

“본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.”

참 고 문 헌

- (1) B. Culshaw, Smart Structures and Materials, Artech House, 1996.
- (2) C. Niezrecki, D. Brei, S. Balakrishnan, and A. Moskalik, “Piezoelectric Actuation : State of the Art,” The Shock and Vibration Digest, Vol. 33, No. 4, pp. 269-280, 2001.
- (3) 강래형, 이종원, 한재홍, 정상준, 고한영, “초기응력을 가진 기저구조물을 이용한 곡면형 압전 유니모프 개발,” 한국소음진동공학회지, 제 19권, 제 1호, pp. 94-100, 2009.
- (4) Lae-Hyong Kang, Jong-Won Lee, Jae-Hung Han, Sang-Joon Chung, and Han-Young Ko, “Development of a piezoelectric unimorph using a mechanically pre-stressed substrate,” Smart Materials and Structures, Vol. 18, No. 10, 104007 (9pp), 2009.
- (5) 강래형, 한재홍, “내부응력과 인가전계에 대한 압전 비선형 특성 평가,” 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 130-131, 2010.
- (6) 박재원, 한재홍, 오현웅, “온도 변화에 따른 압전 분기 감쇠기의 감쇠 성능 민감도 분석,” 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 540-541, 2012.