

로렌츠 힘 원리를 이용한 금속 구조물용 굽힘 진동 비접촉 가진기 개발

Development of a Noncontact Exciter of a Flexural Vibration for Metallic Structures by using the Lorentz Force Mechanism

이선호* · 박찬일** · 김윤영†

Sun Ho Lee, Chan Il Park and Yoon Young Kim

1. 서론

굽힘 진동은 다양한 구조물의 설계에 있어서 가장 중요한 해석 대상 중 하나이다. 이러한 굽힘 진동은 모드시험을 통해 확인이 가능하며, 이를 위해서는 힘을 전달하고 전달된 힘에 대한 정보를 알 수 있는 장치를 필요로 한다.

구조물에 힘을 전달하기 위해 사용되는 상용화된 장치에는 충격 해머와 전자기 가진기가 있다. 두 방법 모두 구조물과 직접적인 접촉이 필요하므로 회전축, 단열 배관, 깨지기 쉬운 구조물 등에 적용하기에는 어려움이 따른다. 최근 이와 같은 문제를 해결하기 위해 다양한 메커니즘을 이용하여 비접촉으로 진동을 발생시키는 연구가 이루어지고 있다. 그 중 압축 공기를 이용한 방식, 초음파 음향 방식을 이용한 방식, 와전류 가진방식이 있으나 구조물에 작용하는 힘의 수준이 낮아, 작은 외팔 보나 소형구조물에서만 적용이 가능하다는 한계가 있다.⁽¹⁻³⁾ 이 외에 레이저를 이용한 방식은 앞선 방식들에 비해 상대적으로 큰 힘을 만들어낼 수 있으나 구조물에 영구적인 손상을 입힌다는 단점이 있다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 모드 시험을 수행함에 있어 직접적인 접촉이 어려운 금속 구조물에 적용 가능한 비접촉 식 굽힘 진동 발생 장치를 제안하고자 한다. 제안한 가진기(이하 로렌츠 힘 가진기)는 앞선 연구의 한계였던 외팔 보를 벗어나, 더 큰 힘을 요하는 평판, 배관뿐만 아니라 실제 자동차 구동축에서도 적용이 가능하다. 또 단열재로 둘러싸인 배관 같이 실험 대상 구조물의 직접적인 노출이 어려운 경우에도 사용이 할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 로렌츠 힘 가진기가 비접촉으로 구조물을 가진하는 원리에 대해 설명하고, 다양한 실험을 통하여 제안된 가진기의 성능을 검증해 보고자

한다.

2. 비접촉 가진기의 원리 및 검증

2.1 가진 원리

로렌츠 힘 가진기는 도체에 일정한 자속밀도를 분포시키기 위한 두 개의 영구자석(Nd-Fe-B)과 체적전류밀도 J 를 발생시키기 위한 8 자형 멀티루프코일(multi-loop coil)로 구성된다. (Fig. 1 참조). 두 개의 영구자석은 서로 다른 극성으로 마주 보게 배치되어 시편에 z 방향으로의 자속밀도(magnetic flux density) B 가 분포되도록 만든다. 이 때 서로 반대 방향으로 감긴 8 자형 코일에 교류전류를 흘려주면, 시편에는 z 방향으로 향하는 동자기장이 가해진다. 도체인 시편이 동자기장 아래에 있게 되면, 이를 감쇄시키기 위한 와전류(eddy current) J 가 시편에 둘레 방향(x 방향)으로 유도된다. 이 때 코일에 의한 와전류와 영구자석에 의한 자속밀도가 서로 수직인 방향으로 시편에 로렌츠 힘(Lorentz force)을 발생시키며 이로 인해 시편에 굽힘 변형이 야기 된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.⁽⁵⁾

$$F = \int_V Jdv \times B$$

2.2 성능 검증

성능을 검증하기 위해 알루미늄 평판의 주파수 응답을 구하여 보았다. 시험에 사용된 평판은 가로 500 mm, 세로 500 mm, 두께 2 mm 이며 자유단 상태를 구현하여 실험을 수행하였다. 로렌츠 힘 가진기는 8 자형 코일의 하나의 루프가 한 쪽이 가로 30 mm, 세로 15 mm 크기이며, 각각 에나멜선이 60 번씩 감겨져 있다. 그리고 정자기장을 가해주기 위해 크기가 10×20×5 mm 인 영구자석이 두 개 사용되었다.

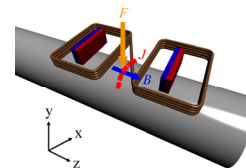


Fig. 1 Schematics of the developed non-contact exciter

† 교신저자; 서울대학교 공과대학 기계항공공학부
차세대자동차연구센터, E-mail : yykim@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-7130, Fax : (02) 872-5431

* 서울대학교 공과대학 기계항공공학부 대학원

** 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

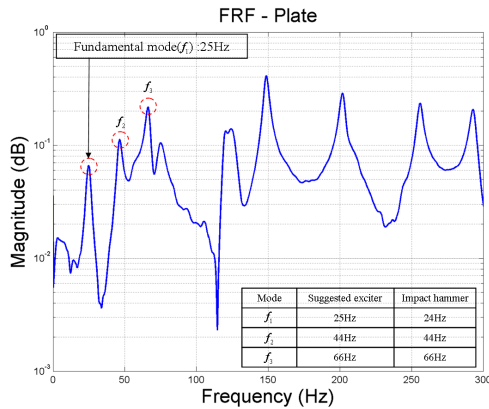


Fig. 2 Frequency response function of an aluminum plate by the developed non-contact exciter

평판 위에 비접촉으로 설치한 로렌츠 힘 가진기에 임펄스 신호 전류를 흘려주어 진동을 발생시켰다. 발생된 진동 신호는 가속도계로 측정하고, 이 두 신호를 이용하여 주파수 응답함수를 구했다. 이 때 얻어진 실험 결과를 Fig. 2 에 실었다. 이를 통해 상당히 낮은 주파수 영역인 기본모드 25 Hz 까지 가진이 되었음을 확인할 수 있었다. 이와 더불어 실험의 정확성을 확인하기 위해 충격 망치를 이용한 실험을 수행하였다. Fig. 2 의 표를 통해 알 수 있듯이, 두 방법을 이용한 결과가 거의 유사함을 알 수 있었다.

3. 가진기의 특성 고찰

외팔 보와는 달리 평판이나 배관의 경우, 기본모드 영역의 주파수 대역까지 가진하기 위해서는 더 큰 힘이 필요하다. 이에 본 장에서는 로렌츠 힘 가진기가 구조물에 더 큰 힘을 가할 수 있도록 하는 3 가지 변수를 소개하고 이에 대한 결과를 제시할 것이다. 또한 비접촉식 가진기의 중요평가 요소인 비접촉 성능에 대한 결과도 소개하고자 한다.

로렌츠 힘 가진기의 힘을 증가시키는 세 가지 변수인 입력 전류의 양, 임펄스 신호의 너비, 코일 크기에 대한 실험 결과를 Fig. 3(a~c)에 나타냈다. 전류의 양을 늘려 임펄스 신호의 크기 (Fig. 3(a))를 키우거나 폭 (Fig. 3(b))을 넓힘으로써 코일에 인가된 에너지의 양이 증가하며, 이로 인해 큰 힘을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한 8 자형 코일의 크기를 키워가면서 실험한 결과 (Fig. 3(c)), 크기가 증가함에 따라 시편에 인가된 자기장의 크기가 커져 힘이 증가함을 알 수 있었다. 마지막으로 비접촉 성능을 확인하기 위해 시편과 로렌츠 힘 가진기 사이의 거리를 달리 하며 측정한 결과 (Fig. 3(d)), 거리가 늘어남에 따라 신호의 크기는 줄어드나 12 mm 이상에서도 의미 있는 신호를 얻을 수 있었다.

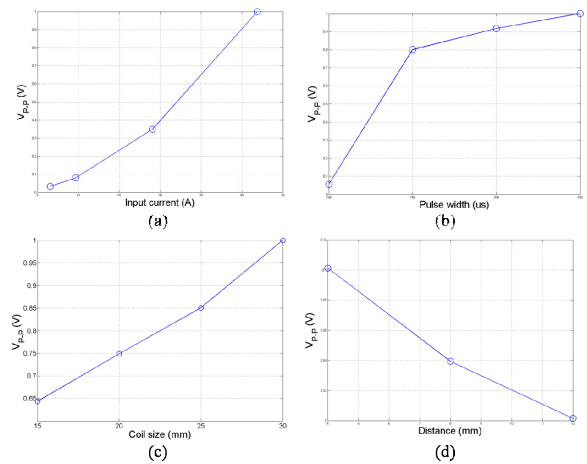


Fig. 3 The peak-to-peak values of measured signals by proposed method varying (a) input current, (b) pulse width, (c) coil size, (d) distance between the exciter and specimen

4. 결론

본 연구에서는 금속구조물을 비접촉으로 가진할 수 있는 새로운 트랜스듀서를 개발하였다. 로렌츠 힘 원리를 이용한 가진기의 구동원리를 소개하였고, 알루미늄 평판의 주파수 응답함수를 구해봄으로써 그 성능을 확인하였다. 이와 더불어 가진기의 힘을 증가시키는 세 가지 변수들과 비접촉 특성에 대하여 알아 보았다.

후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업 (과제 번호: 2009 - 0083278)의 지원을 받은 것으로 이에 감사합니다.

참고 문헌

- (1) Vanlanduit, S., Daerden, F., Guillaume, P., 2007, "Experimental Modal Testing Using Pressurized Air Excitation", J. Sound Vibration, Vol. 299, pp. 83~98.
- (2) Huber, T. M., Fatemi, M., Kinnick, R., Greenleaf, J., 2006, "Noncontact Modal Analysis of a Pipe Organ Reed using Airborne Ultrasound Stimulated Vibrometry", J. Acous. Soc. Am., Vol. 119, pp. 2476~2482.
- (3) Sodano, H. A., 2006, "Non-contact Eddy Current Excitation Method for Vibration Testing", Exp Mech., Vol. 46, pp. 627~635.
- (4) Castellini, P., Revel, G. M. and Scalise, L., 2004, "Measurement of Vibrational Modal Parameters using Laser Pulse Excitation Techniques", Measurement, Vol. 35, pp. 163~179.
- (5) Cheng, D. K., 1989, Field and Wave Electromagnetics, ADDISON WESLEY, Singapore