

비금속 배관의 비접촉 굽힘 진동 측정을 위한 자기센서의 개발

Development of magnetic sensor for the non-contact measurement of bending vibrations of non-metallic pipes

한순우† · 김윤영*

Soon Woo Han and Yoon Young Kim

1. 서론

길이가 긴 배관 또는 회전중인 축의 굽힘 진동을 측정하여 상태 감시 등에 활용하고자 할 때, 가속도계 등의 접촉식 센서를 사용하지 못하는 상황이 종종 발생한다. 이러한 경우 레이저 진동계 등을 이용하여 비접촉으로 진동을 측정할 수 있으며, 자기 변형 현상의 활용 또한 고려할 수 있다. 그러나, 단열재 등으로 쌓여 있는 배관, 좁은 공간 내부의 회전축 그리고 재질이 비금속인 경우 등 다소 특수한 경우에는 이와는 다른 측정 방식이 요구된다.

본 논문에서는 비금속 배관의 비접촉 굽힘 진동 측정을 위한 센서를 제안하고자 한다. 최근의 연구에 의해 비자성 배관 주변에 특정 형태의 자기장을 인가하고 배관에 굽힘 진동을 발생시키면 굽힘 진동에 의한 측정 대상의 변위와 자기장의 연성 효과에 의해 굽힘 진동을 비접촉으로 측정할 수 있음이 밝혀졌는데, 본 연구에서는 이를 비금속 배관의 굽힘 진동 측정에 응용하고자 한다.

본 논문에서는 우선 제안하는 센서의 측정 원리를 간단히 기술하고 이를 이용한 굽힘 진동 측정 결과를 기술하였다. 또한 제안한 방식을 이용하여 직교하는 2 축의 굽힘 진동을 동시에 측정한 결과를 기술하였다.

2. 신호의 측정

2.1 비자성 배관의 비접촉 굽힘 진동 측정

연직 방향으로 시간에 따라 속도 $v(t)$ 로 진동하는 비자성 배관의 상하부에 Fig. 1(a)와 같이 축 방향을 따라 상호 반대 방향으로 자기장(B)을 형성시킨 경우, 식(1)과 같은 역 로렌츠 힘 기제(inverse Lorentz force mechanism)에 의해 배관의 상 하부에 같은 방향

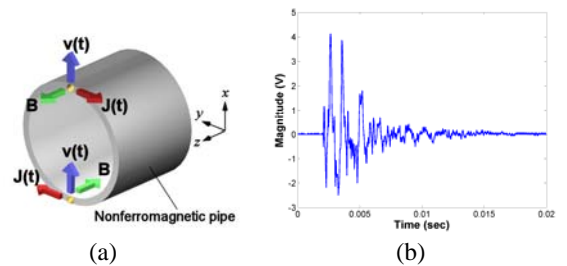


Fig. 1 Measurement of bending vibrations in a nonferromagnetic pipe by the magnetic sensor (a) Illustration of the measurement principle, (b) Measured bending vibrations

으로 흐르는 유도 전류 $J(t)$ 가 형성된다.

$$J(t) = v(t) \times B \tag{1}$$

이 유도 전류에 의해 배관 내부에는 축 방향의 동적 자기장이 형성되며, 이 동적 자기장은 배관에 원주 방향으로 설치된 솔레노이드에 패러데이-렌츠 법칙에 의거, 유도 기전력을 발생시킨다. 이 유도 기전력은 $v(t)$ 에 비례하므로 이를 통해 배관의 굽힘 진동을 비접촉으로 측정할 수 있다. 이때 솔레노이드에는 속도의 시간 미분량, 즉 가속도가 측정되게 된다. Fig. 1(b)에는 제안한 방식에 의해 자기 센서로 비접촉 측정한 알루미늄 배관의 굽힘 진동 신호를 나타내었다.

2.2 비금속 배관의 굽힘 진동 비접촉 측정

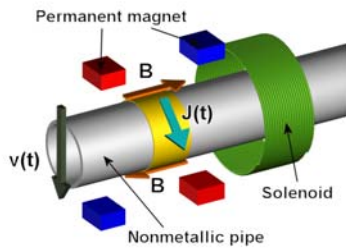
앞서 제시된 방식은 그 자체로는 금속 배관에서만 적용이 가능한데, 전류가 흐를 수 있도록 적절한 전기 전도체를 이용한다면 비금속 배관에서도 비접촉으로 굽힘 진동을 측정할 수 있다. 이 경우, 측정 대상 배관 자체의 강성 및 질량에 비해 전도체 재료의 강성 및 질량이 무시할 수준으로 낮아야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 동박(copper foil)을 이용하였다. Fig.2(a)에 나타난 바와 같이 비금속 배관(아크릴 재질)의 원주 방향으로 동박을 감아 전류가 흐를 수 있게 하고 동박의 상하부에 앞절에서 제시된 것과 같이 비대칭 형태의 자기장을 인가하였다. 이 상태에서 임팩트 해머를 이용하여 배관을 상하 방향으로

† 교신저자; 한국철도기술연구원

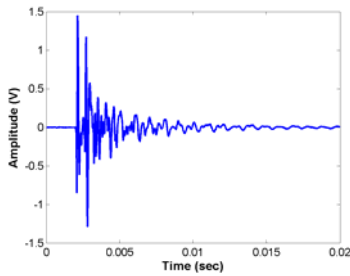
E-mail : scarus@krii.re.kr

Tel : (031) 460-5537, Fax : (031) 460-5509

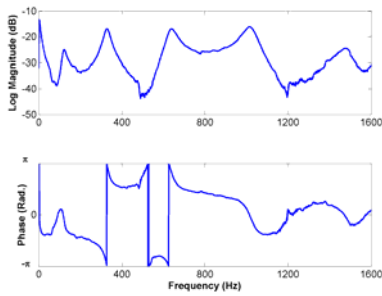
* 서울대학교 기계항공공학부



(a) Schematic diagram of the suggested principle (solenoid is illustrated as shifted from its original position)



(b) The signal measured by the configuration in (a)



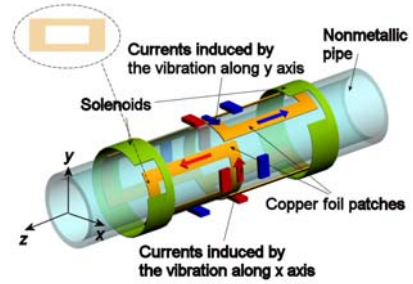
(c) FRF of the measured signal (Bode plot)

Fig. 2 The configuration for noncontact measurement of bending vibrations in nonmetallic pipe

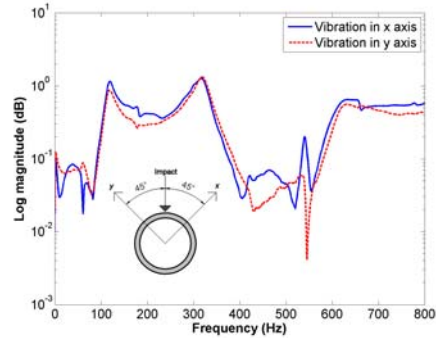
가진하여 진동을 발생시키고 제안한 센서에 의해 측정된 결과 Fig. 2(b)에 나타난 바와 같은 신호를 얻을 수 있었다. 또한 이 신호의 특성을 살피기 위해 FFT 분석기를 이용하여 배관의 주파수 응답함수를 구하였다(Fig. 2(c)). Fig. 2(b),(c)에 나타난 결과로부터 제안한 방식에 의해 비금속 배관의 굽힘 진동을 비접촉으로 측정할 수 있음을 확인하였다.

2.3 비금속 배관의 2축 굽힘 진동 동시 측정

축 방향에 수직인 평면에서 배관의 진동 양상을 관찰하고자 할 때에도, 본 연구에서 제안한 방식을 응용할 수 있다. 2.2 절에서 제안한 방식은 동박을 배관의 원주 방향으로 완전히 감싸서 유도 전류가 폐회로를 이루며 흐를 수 있도록 하는 방식이다. 이 동박을 Fig. 3(a)의 점선 원 내에 표현한 형태로 가공하여 비금속 배관에 부착하고, 2.2 절과 같은 방식으로 자기장을 가한 후 배관에 굽힘 진동을 발생시키면 앞에서 언급한 원리에 의해 자기장이 지나가고



(a) Schematic diagram of the measurement principle



(b) Schematic diagram of the measurement principle

Fig. 3 Simultaneous measurement of vibration signals in along two orthogonal axes

있는 동박 부위에서 유도 전류가 발생한다. 이 유도 전류는 동박면을 따라 동박 후면까지 흐르게 되는데 여기에 솔레노이드를 설치하면 유도 기전력이 발생되어 신호를 측정할 수 있게 된다. 따라서 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 동박을 배관에 직교하도록 부착하여 동박마다 자기장을 인가하고 그 끝단에 솔레노이드를 부착하면 직교하는 두 축의 굽힘 진동을 동시에 측정할 수 있게 된다. Fig. 3(b)는 제안하는 방식에 의해 배관의 x,y 축에 모두 45도를 이루는 방향으로 가진한 후 직교하는 두 축에서 신호를 측정하여 FRF로 나타낸 결과로서 신호가 원활히 측정되는 것을 알 수 있다. 그러나 본 절에서 제시한 방식에 의해 측정되는 신호는 2.2 절에서 측정된 신호에 비해 신호 대 잡음비가 낮아, 이를 개선할 필요가 있다.

3. 결론

본 논문에서는 비금속 배관의 비접촉 굽힘 진동을 위한 자기 센서를 제안하였다. 이 센서는 역로렌츠 힘 기체에 기반하여 비대칭 자기장 구조와 유도 전류가 흐를 수 있는 전기 전도체를 이용하여 신호를 측정한다. 또한 제안한 방식을 이용하여 배관의 굽힘 진동 신호를 2축에서 동시에 측정할 수 있었다.