

배관에서 비틀림과 고차모드의 제거 방법 및 활용

The Method for a Suppression of Higher Modes of the Guided Torsional Wave in a Pipe and Its Applications

권영의† · 김희웅* · 김윤영**

Young Eui Kwon, Hoe Woong Kim and Yoon Young Kim

1. 서론

현재까지 배관에서 유도 초음파 트랜스듀서를 사용한 결함의 진단과 관련하여 많은 연구가 진행되어 왔다⁽¹⁾. 배관의 결함 진단에 주로 사용되는 유도 초음파로는 종파(Longitudinal wave)와 비틀림파(Torsional wave)가 있다. 이 중에서 비틀림 파는 1차 모드(mode)의 비 분산 특성으로 인하여 장거리 진행 후에도 파의 모양이 변하지 않아 결함 위치의 판별에 유리하다는 장점이 있다. 하지만 배관의 두께가 두꺼워 지거나 사용하는 주파수가 높아지면 비틀림 파의 고차 모드가 발생하게 되고, 이 고차 모드가 가지는 분산 특성으로 인해 1차 모드의 장점을 효율적으로 사용할 수 없게 된다. 결국 두꺼운 배관에서 1차 모드만 사용하기 위해서는 주파수를 낮춰야 하나, 사용하는 주파수가 낮아지면 결함 진단의 민감도 또한 낮아진다.

두꺼운 배관에서 높은 주파수의 1차 모드만을 사용하기 위한 방법으로는 먼저 신호 처리를 통해 고차 모드를 제거하는 방법을 들 수 있다. 하지만 이 방법은 손실되는 정보가 존재 할 수 있으므로 결함 진단의 목적을 달성하지 못할 가능성이 있다. 또 다른 방법으로 가진하는 파의 주파수 대역을 좁게 하여도 고차 모드를 제거 할 수 있는데, 이 경우 파의 수가 많아져 결함을 진단 할 수 없는 구간이 늘어나는 단점이 있다.

본 연구에서는 두께가 두꺼운 배관에서 1차 모드만 주로 진행 시킬 수 있는 장치를 제안하였고, 그 원리를 분석하였다. 또한 실제의 경우에 적용해 봄으로써 제안한 장치가 결함 검출에 효율적으로 이용될 수 있음을 확인하였다.

2. 비틀림 파 고차 모드의 제거 및 활용

제안된 고차 모드 제거 장치는 아래의 그림 1 과 같이 배관 중간에 두께가 얇아지는 구간을 포함하며, 이 때 두께가 가장 얇은 구간은 2 차 모드의 임계 두께보다 얇아야 한다. 이 장치는 결함 진단 대상 배관과 진단과 용 접촉 매질(Shear couplant)을 사용하여 연결된다. 가진 부에서 높은 주파수의 비틀림파를 가진하면 1차 모드뿐 아니라 고차 모드들도 함께 가진된다. 이렇게 발생된 비틀림파가 고차 모드 제거 장치의 두께가 얇은 구간을 지날 때 어떤 두께에서도 항상 경계 조건을 만족하는 1차 모드만이 구간을 통과 할 수 있고, 얇은 두께의 경계 조건을 만족하지 못하는 고차 모드들은 반사되기 때문에 대상 배관에 고주파의 1차 모드만 진행 시킬 수 있게 된다⁽²⁾.

그림 2 는 제안된 장치의 성능 확인을 위한 실험 결과로써 직경이 70 mm, 두께가 13 mm 인 배관에서 미엔더 코일과 영구자석, 자기변형 패치를 사용

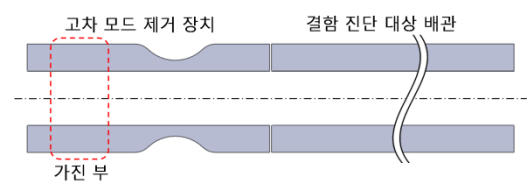


그림 1. 고차 모드 제거 장치의 단면도

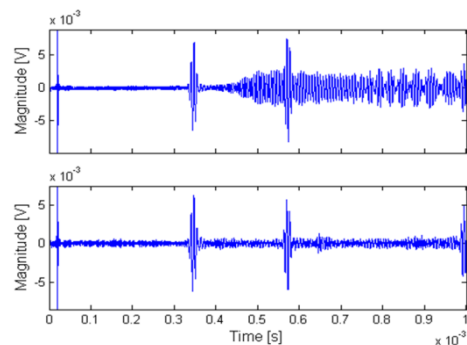


그림 2. 제안된 장치를 사용하기 전(위)과 장치를 사용한 후의 신호(아래)

† 교신저자; 서울대학교 기계항공공학부 대학원
E-mail: dreamerkwon@idealab.snu.ac.kr
Tel: (02) 880-1688, Fax: (02) 872-5431

* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

** 서울대학교 기계항공공학부
차세대 자동차 연구 센터

하여 150 kHz 의 비틀림파를 가진, 측정된 신호이다. 이때 사용된 고차 모드 제거 장치의 두께가 가장 얇은 구간은 1.5 mm 로 150 kHz 의 비틀림파를 가진 했을 때 2 차 모드가 발생되지 않는 두께이다. 제거 장치를 사용하기 전과 후를 비교 하였을 때 고차 모드가 확연히 제거 된 것을 확인 할 수 있다.

3. 고차 모드 제거 장치의 활용

제안된 고차 모드 제거 장치의 효용성을 확인해 보기 위하여 직경이 70 mm, 두께가 13 mm 인 알루미늄 배관에 직경 4 mm 의 원형 관통 결함(hole crack)을 제작하여 결함 진단을 수행하였다. 자기변형 패치 트랜스듀서를 사용하여 비틀림 파를 가진, 측정하였으며, 결함은 가진 부로부터 110 cm, 측정 부로부터 20 cm 떨어져 있어 속도가 3130 m/s 인 비틀림파의 1 차 모드로 검출될 경우 0.48 ms 부근에 측정된다.

실험은 200 kHz 의 비틀림 파에 고차 모드 제거 장치를 사용한 경우와 그 장치와 같은 크기의 배관에서 가진하되 얇아지는 구간이 없는 경우, 두 번째 경우와 같은 장치에서 주파수만 50 kHz 로 낮춘 총 세 가지 경우로 진행 되었다. 50 kHz 의 비교적 낮은 주파수로 참조 실험을 한 번 더 수행 한 까닭은 일반적으로 배관에서 유도 초음파로 결함을 진단할 때 사용하는 주파수가 높아서 고차 모드가 발생한다면, 2 차 모드가 발생하지 않을 때까지 주파수를 낮추어 사용하기 때문이다.

위에서 설명한 세가지 경우에 대한 실험 결과는 그림 3 과 같다. 먼저 첫 번째와 두 번째 그림을 비교 해 보면 50 kHz 의 경우에는 고차 모드의 영향이 없는 반면, 200 kHz 의 경우에는 2 차 모드까지 발생하여 측정되는 것을 확인 할 수 있다. 두 경우 모두 결함을 진단 해내지 못했는데, 50 kHz 의 비틀림 파를 가진 한 경우는 사용하는 주파수가 너무 낮아 작은 결함을 감지 할 수 있을 만큼 민감하지 못했고, 고차 모드 제거 장치를 사용하지 않은 200 kHz 비틀림 파의 경우에는 고차 모드의 신호 안에 결함의 신호가 섞여 있어서 결함의 유무를 확인 할 수 없었기 때문이다.

반면에 고차 모드 제거장치를 사용하여 200 kHz 의 비틀림 파를 가진 한 경우에는 2 차 모드의 신호가 제거 되어 결함 신호가 잘 측정되는 것을 확인할 수 있다.

이 실험을 통해 비틀림 파를 사용하여 배관의 결함을 진단함에 있어서 1 차 모드만 가진 되는 낮은 주파수나 고차 모드가 함께 가진 되는 높은 주파수에

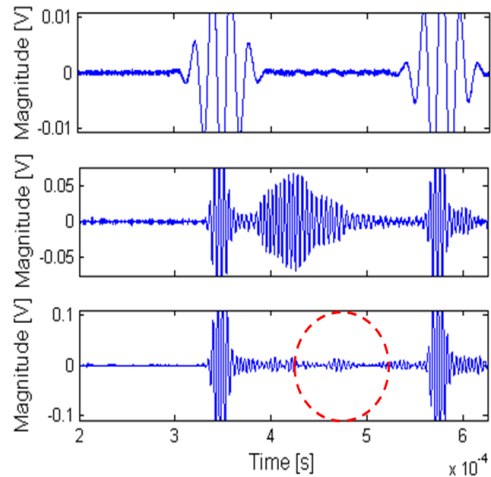


그림 3. 위에서부터 결함 진단 장치를 사용하지 않은 50 kHz 비틀림 파, 결함 진단 장치를 사용하지 않은 200 kHz 비틀림 파, 결함 진단 장치를 사용한 200 kHz 비틀림 파를 사용한 결함 진단 결과

서는 검출되지 않았던 결함을 고차 모드 제거 장치를 통하여 성공적으로 검출할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 배관에서 고차 모드를 제거하여 1 차 모드만 진행 시키는 장치를 제안 하였고, 이를 활용하여 결함 진단을 수행함으로써 그 유용성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 창의적 연구 진흥 사업 (과제번호: 2009-0083279), WCU(과제번호: R31-2009-000-10083-0)의 지원을 받은 것으로 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- (1) Y.Y. Kim, C.I. Park, S.H. Cho, and S.W. Han, 2005, "Torsional wave experiments with a new magnetostrictive transducer configuration", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 177, No. 6, pp. 3459-3468
- (2) 조승현, 권휴상, 안봉영, 이승석, 2009, "SH 파 분산특성 변화를 이용한 배관 점진감육 진단 기법", 한국소음진동공학회 2009 년 춘계학술대회논문집, pp. 258-259