

동흡진기 이론을 적용한 배관 진동 저감

Reduction of Pipe Vibration Using Radial Shape Dynamic Absorber

신성환* · 박진호* · 윤두병* · 이정환** · 전형섭***

Sung-Hwan Shin, Jin-Ho Park, Doo-Byung Yoon, Jeong-Han Lee and Hyeong-Seop Jeon

1. 서 론

산업현장에서의 배관설비는 인체의 혈관처럼 적정 온도 및 압력 조건을 만족시키며 각 기기를 연결하여 운전 최적화를 유지하는 주요 설비이다. 배관계의 고진동은 주요기기의 연결부, 밸브, 배관 지지물과 건물등에 복합적인 반복 하중을 가하여 관련 지지물 및 구조물에 열화 현상 및 구조건전성을 저하시키는 원인을 제공한다. 배관 진동은 주로 난류 또는 와류 유동과 유체 공동 (cavitation)에 의한 저주파수 특성을 가지고, 이를 기계적으로 제어할 수 있는 Snubber나 WEAR (wire energy absorption rope)등이 개발되어 있다. 하지만 압력맥동에 의한 고주파수 진동에 대한 대처 방안은 매우 미비한 상황이다.

본 연구에서는 저주파수 뿐만아니라 고주파수 배관 진동을 제어하기 위한 신개념 동흡진기 (dynamic absorber) 개발을 목적으로 한다. 이를 위하여 방사형 동흡진기를 설계하여, 압력맥동에 의한 고주파수 진동이 발생하는 대형 배관에 적용한 후, 진동 저감 효과를 평가하였다.

2. 대형배관에서의 고주파수 진동

일반적으로 대형 배관에서 고주파수 진동은 압력 맥동파의 영향으로 발생한다. 예를들어 배관에 설치된 역지밸브의 이상으로 디스크가 배관을 막아 내부 유체 흐름을 방해할 경우, 유로 차단 정도에 따른

압력 경계조건 및 유체 음속의 상호관계의 의하여 organ pipe 모드가 발생한다. 이 모드가 배관계의 고유 진동주파수와 일치하는 경우 음향공진 현상이 발생하여 배관의 진동을 심각하게 유발할 수 있다.

이러한 가능성을 발전소 대형 배관에 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 역지밸브 이상으로 밸브 양단에 압력차가 발생할 경우, 30Hz 이상의 고주파수 영역에 강한 압력파가 나타나고, 압력파는 고주파수 진동의 원인으로 작용함을 확인하였다. 그림 1은 역지밸브 이상시 60Hz 근처에서 강한 압력파가 발생하는 해석 결과이다.

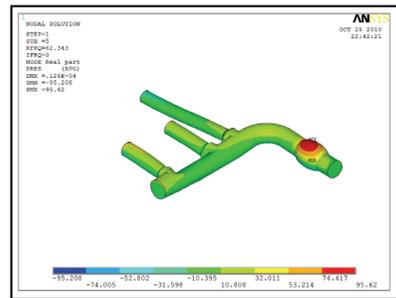


그림 1. 24인치 배관의 역지밸브 이상시 발생하는 압력 맥동파 분석

3. 방사형 동흡진기 설계

일반적으로 배관의 진동 저감을 위해 사용되는 Snubber나 WEAR 등의 완충기 (vibration damper)는 viscous damping 이나 hysteresis damping의 개념을 사용하기 때문에 고주파수의 낮은 변위 진동에는 진동에너지 감소에 취약하다. 또한 단축 방향 진동에 한정되고 설치를 위해서는 완충기의 지지대가 추가로 요구된다. 하지만 현장에서 추가 구조물을 설치하는 것은 쉬운 문제가 아니다.

동흡진기 이론은 진동 방향과 동일한 방향으로

† 교신저자; 정회원, 한국원자력연구원
E-mail: soulshin@kaeri.re.kr
Tel: 042-868-4851, Fax: 042-868-8313
* 한국원자력연구원
** (주) 액트
*** (주) 세안기술

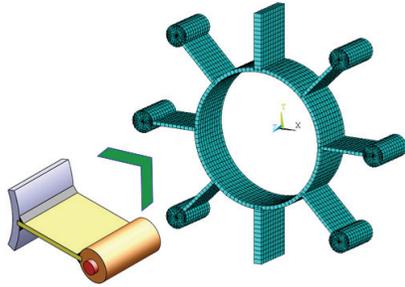


그림 2. 배관 진동 저감을 위한 방사형 모양의 동흡진기

동흡진기가 진동할 수 있도록 설치하여 진동체의 진동을 줄이는 매우 고전적인 방법이다. 이러한 기본 원리에 진동 제어 방향의 다양성, 배관과의 체결 편의성을 고려하여 설계 변경한다면 압력맥동 및 배관의 고유진동수의 관계에 의한 일정진동수에서의 진동을 저감시킬 수 있는 유용한 도구로 활용할 수 있다.

배관의 진동은 3차원 방향으로 발생하기 때문에 이를 제어하기 위해서는 다축방향 제어 방안이 요구된다. 이 중, 방사상 방향의 진동제어를 위하여 동흡진기를 그림 2와 같이 튜브 모양의 Base에 방사형으로 부착하고 이를 배관에 클램프로 고정한다. 열팽창등을 고려하여 Base는 배관과 동일한 재질로 제작하고 동흡진기는 등간격으로 배치한다. 동흡진기의 질량부분은 실린더 형상을 가지고, 제어주파수를 설정하기 위하여 질량을 추가할 수 있도록 하며, 질량의 위치도 변경 가능하도록 설계된다.

이러한 방사형 동흡진기는 배관 손상없이 직접 부착되기 때문에 추가 구조물의 설치가 필요없어 편의성이 향상된다. 또한 진동이 상대적으로 큰 위치에 설치가 용이하여 진동 저감효과를 향상시킬 수 있다.

4. 동흡진기에 의한 진동 저감

설계된 방사형 동흡진기를 실제 발전소 배관 시스템에 적용되어 그 성능을 평가하였다. 적용된 배관 시스템은 직경 24인치 주배관 1개와 16인치 부배관 3개로 구성된 것으로 주배관 역지밸브의 이상으로 압력맥동파가 발생하여 고진동이 발생한 경우이다.

그림 3은 배관 시스템 및 진동이 가장 크게 나타나는 주배관 역지밸브 위치에서의 진동을 측정 한 결과이다. 먼저 동흡진기가 설치되지 않은 경우 (Case1)에는 61.5Hz 성분을 갖는 진동이 나타난다. 이를 감소시키기 위하여 주배관에 동흡진기를 3개 설치한 경우 (Case2)에는 주요 주파수 성분이 두 개의 주파수로 나뉘고, 각 성분의 크기가 감소된다. 이는 전형적인 동흡진기 사용시 나타나는 진동 주파수 변화 특성이다. 마지막으로 각 부배관에 추가로 동흡진기 3개를 설치한 경우 (Case3)에는 이런 현상이 보다 명확하게 나타나면서 기존 문제가 되었던 주파수 성분이 감소되었음을 볼 수 있다. 전체적으로 방사형 동흡진기 설치를 통해 50% 이상 진동 저감이 이루어 졌다.

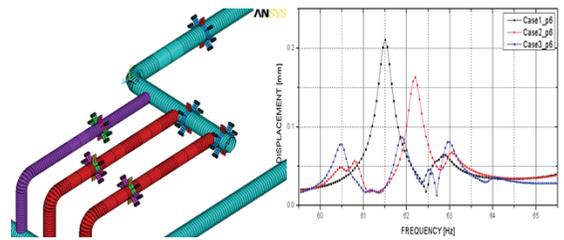


그림 3. 24인치 배관에 설치된 방사형 동흡진기에 따른 진동 저감 효과

5. 결 론

본 연구에서는 압력맥동에 의하여 발생할 수 있는 대형 배관의 고주파수 진동을 저감하기 위한 방안으로 방사형 동흡진기를 설계 적용하였다. 설계된 동흡진기를 실제 배관에 적용한 결과, 기존 배관 진동이 변위 (peak-to-peak)면에서 50% 이상 저감 되었음을 확인하였다.

하지만 제안된 동흡진기는 배관 진동에 의하여 동흡진기 접합부의 응력 집중으로 인한 피로 손상 가능성이 있고, 축방향 진동 제어에 취약한 문제점이 있어 이에 대한 보완 설계가 요구된다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원 (KETEP; No. 2011T100200116) 및 교과부 원자력기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.