

건식저장 용기모사 단순 원통셀의 부분 유체점유 조건에 따른 동특성 변화

이강희, 강홍석, 김재용, 김형규, 이영호

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

leekh@kaeri.re.kr; kaeri.leekh@gmail.com

1. 서론

건식저장 용기를 포함한 방사성 폐기물의 보관 구조물로는 통상 원통셀 구조가 주류를 이루고 있다. 보강재를 구비한 원통셀 구조는 보관 및 수송, 지진사고 시 발생가능한 정상 및 과도하중에 대한 구조적인 안정성이 우수하며, 동력학적으로 셀의 길이방향이 아닌 두께 방향으로 동위상(in-phase) 혹은 역위상(out-of-phase) 진동모드가 형성되는 쉘진동 모드의 진동특성을 보여준다. 아울러, 지하수와 같은 유체 혹은 바닷가의 습증기와 인접할 경우, 유체와 셀 판의 유체구조 상호작용에 의한 동적 거동을 야기할 수 있고, 이러한 부분은 장기간의 보관에 따른 피로손상을 야기할 수 있기 때문에 동적 설계자의 관심대상이 된다. 같은 맥락에서, 해석적인 도구를 활용하여 저장용기를 모사하는 셀 구조물이 유체와 접할 때, 동적 특성과 거동(나아가 장기간의 시효변형까지)을 예측하는 해석모델을 개발하고자 다양한 연구가 시도되고 있다^[1-3]. 그러나 이중 해석 도구를 활용한 동특성해석 결과에서 차이가 발생됨을 알았다. 이것은 해석 도구가 갖는 유체-구조 경계조건 및 유동조건에 대한 유한요소 모델링의 차이에서 비롯된 것으로 추정되며^[4], 본 논문에서는 유체에 잠긴 셀 구조물의 동특성을 실험적으로 파악하여 이론모델을 검증하는데 활용하고자 한다. 유체에 잠긴 원통셀 구조물의 동특성을 확인하기 위한 실험과 결과에 대해서 기술하고, 유체 점유에 따른 고유진동수 변화에 관해 토의하고자 한다.

2. 유체에 잠긴 단순 원통셀 동특성 확인 실험

그림1과 같이 자유-자유조건으로 공중에 매달린 시험대상 원통셀을 대상으로 공기중 및 수중 모달시험(modal testing)을 수행하였다. 표1은 시험대상 원통셀은 외경 168.3 mm, 두께 3.4mm, 높이 1.0 m의 SUS304 재질(무게 13.73 kg)을 사용하였고, 수중시험시 사용된 아크릴 수조는 내경 280 mm, 두께 10 mm, 높이 1.5 m, 대략 90%(대략 120L)의 상온 순수를 채우고 실험하였다(실험실 온도 25℃, 습도 62% 조건에서 실험됨). 수중에 잠긴 원통셀의 경우, 상단부에 가속도 센서를 설치할 수 있도록 원통셀의 상단부가 22 mm가량 수면 위로 노출되도록 수위를 조정하였다. 소형 충격 헤머로 가진하고, 7개의 일반목적 가속도센서를 이용하여 원통셀의 반경방향 가속도 응답을 측정하였다. 측정된 충격 가진력과 응답으로부터 주파수 응답

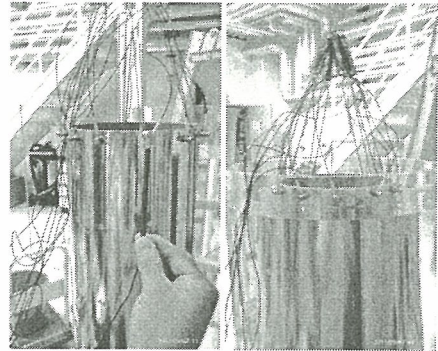


Fig. 1. 공기중 및 유체에 잠긴 단순 원통셀 동특성 확인 실험사진.

함수를 얻었고, 모드해석(modal analysis)을 수행하여 동특성을 확인하였다.

3. 실험결과

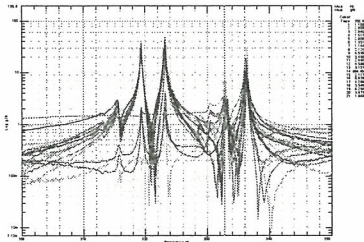
그림1의 (a)와 (b)는 각각 공기중 및 수중에서 측정된 원통셀의 주파수 응답함수(frequency response function)를 나타낸다. 공기중 기저 고유진동수는 315.5 Hz에서, 수중 시험환경의 부가질량에 의해 183.3 Hz로 42% 감소되었다. 수조와 시험대상 원통셀의 반경방향 간극이 협소하여, 접수된 유체의 부가질량에 의한 고유진동수 감소가 크게 나타난 것으로 보여지며, 간극이 더욱 협소해지면 이러한 차이는 증가될 것으로 판단된다. 그림 3은 공기중 모달시험 결과로 확인된, 원통셀의 3차원 모드형상을 나타낸다. 대상 구조물은 축방향 대칭성을 가지나, 원주를 따라 반경방향으로 동위상 및 역위상 진동변위를 나타내므로, 1/2 단 순모델로 시험모델을 구성시켰다. 중심부에 있는 붉은색 선은 스프링 지지점의 두 기준점을 나타낸다. 시험모델자유도의 제한성으로 인하여, 상세한 모드형상을 보여주고 있지 못하지만, 해석결과와 모드형상과 상당부분 일치되는 결과를 얻었다. 실험의 결과는 이론모델의 해석결과에서 확인된 코드간 결과의 차이를 검증하는데 활용될 것이다.

4. 결론

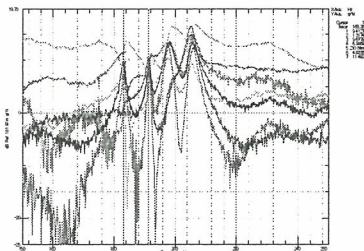
진동실험을 통하여, 유체에 잠긴 건식저장 용기 모사 단순 원통형 구조물의 동특성을 확인할 수 있었고, 고유진동수 감소의 원인은 쉘에 인접한 유체의 부가질량 효과임을 알았다. 또한, 수조 벽과의 간극이 감소됨에 따라 유체의 부가질량 효과는 증가됨을 알았다. 향후, 간극의 크기와 실험 결과를 일반화하기 위하여 다양한 치수의 원통형을 대상으로 실험할 계획이다.

5. 감사의 글

본 연구는 원자력 연구원의 기관 고유과제로 수행되었으며, 기관장님과 관계기관의 도움에 감사드립니다.

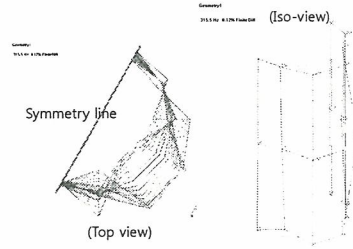


(a) 공기중

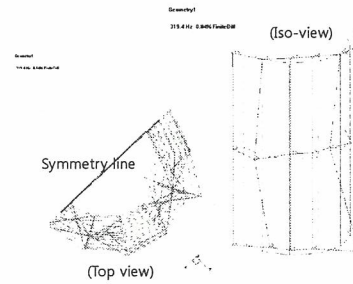


(b) 수중

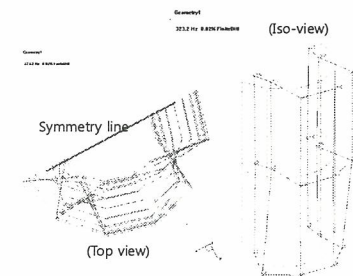
Fig. 2. 공기중/수중 자유지지 단순 원통형의 주파수 응답함수 (관심주파수 대역 한정).



(a) first shell mode



(b) second shell mode



(c) third shell mode

Fig. 3. 공기중 진동모드 형상.

6. 참고문헌

- [1] 서기석 외, 건식저장 시스템 구조/열해석 및 안전성시험 평가(1차년도 중간 보고서), KAERI/CR-161/2003, 2003.
- [2] 이영호, 김형규, 최종원, “사용후핵연료 건식저장 구조재료 장기열화평가 방법론 개발”, 방사능폐기물학회 춘계학술대회 논문집, 2011.
- [3] 임승호, “원자로 내부의 집수된 다공 구조물의 모드 해석”, ANSYS user’s seminar, 2011.
- [4] 김재용, 이강희, 강홍석, 고성호, “유체-구조가 연성된 모달해석 결과비교- ANSYS와 ADINA”, KPVP 추계학술대회 발표논문집, 2011.