

원자로 내부 다공구조물의 설계변수에 따른 유체의 부가질량효과 확인 Added mass effect verification of perforated nuclear reactor internal components

고병한* · 최영인* · 임승호* · 박경수† · 박노철* · 박영필*

Byung-Han Ko, Youngin choi, Seungho Lim, No-Cheol Park, Kyung-Su Park and Young-Pil Park

1. 서 론

최근 원자력 에너지에 대한 의존도가 높아짐에 따라 더 높은 성능의 원자로 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 원자력 발전은 에너지 효율이 높고 경제적이란 장점이 있지만, 지진을 비롯한 재해가 발생하면 최근 후쿠시마 원전 사고와 같이 넓은 범위에 막대한 피해를 입히게 된다. 원자로의 파괴를 막기 위해서는 원자로의 정확한 동특성 파악이 필수적이며, 확보한 특성을 토대로 설계하여 높은 안정성을 확보해야 한다.

하지만 원자로 내부의 유동분배통이나 상부안내구조물과 같은 다공구조물들은 유한요소 모델링을 복잡하게 만들며, 구멍을 표현하기 위해서 많은 요소를 필요로 하기 때문에 해석에 많은 시간을 소비하게 된다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 다공구조물들의 고유진동수를 예측하는 기술들이 많이 연구되었다. 하지만 대부분 공기중에서 예측하는 기술이기 때문에, 냉각수에 의해 유체-구조 연성(FSI) 되어있는 원자로 내부구조물의 경우 앞선 연구들을 적용하였을 때 잘 맞지 않는 문제점이 있다. 따라서 유체-구조 연성 유한요소해석 문제에서 정확한 해석 결과를 얻어내기 위해서는 해석 설계변수에 따른 부가질량효과를 예측할 필요가 있다.

본 논문에서는 간단한 형상의 다공구조물을 유한요소 모델링한 후, 설계변수를 변화시키며 동특성을 추출하였다. 그리고 설계변수가 구조물의 동특성에 어떻게 영향을 미치는지 알아보고, 부가질량효과가 어떻게 변화하는지 분석하였다..

2. 유한요소 해석

2.1 다공구조물 형상 모델링

빠르고 정확한 해석을 위하여 육면체 요소를 이용하여 사용하는 요소 수를 최대한 줄이기 위하여 Figure 1과 같이 유한요소 모델링을 진행하였다. 유체는 유체-구조가 연성된 부분과 그렇지 않은 부분으로 분리하였으며, 세부적으로 구멍 내부의 유체, 구조물과 접촉하는 유체, 구조물과 접촉하지 않는 유체로 나누어 묘사하였다.

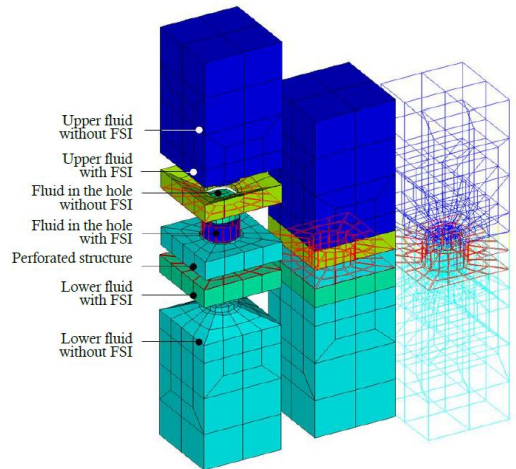


Figure 1 Transition patterns for hexahedral elements

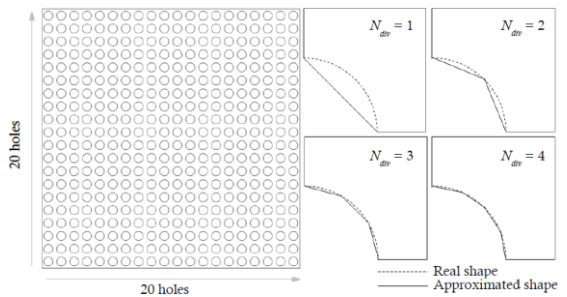


Figure 2 Circumferential element number patch test

† 박경수; 연세대학교 기계공학과
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 기계공학과

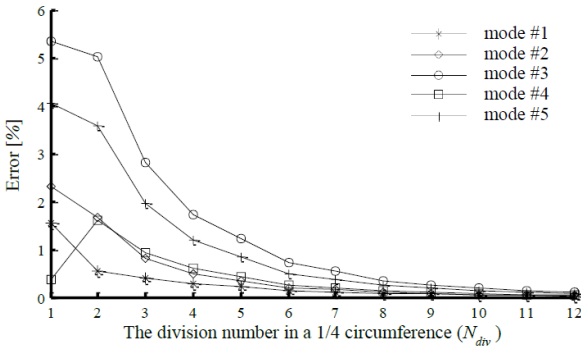


Figure 3 Natural frequency variation w.r.t hole divisions

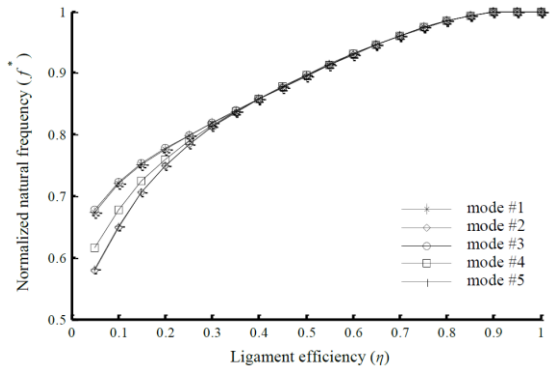


Figure 5 Normalized natural frequency w.r.t ligament efficiency in air

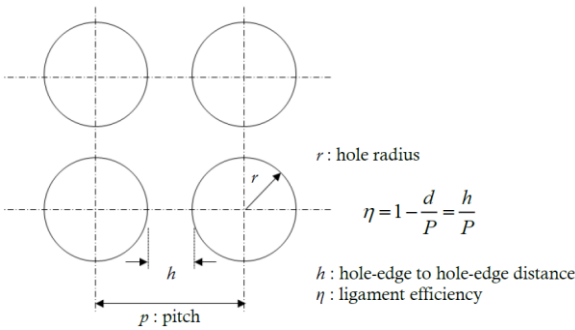


Figure 4 Definition of ligament efficiency in patch test

2.2 원주방향 요소 패치 테스트

원주방향 요소 수의 변화에 따라 해석 결과가 달라지므로 정확한 해석 결과를 얻기 위하여 ligament efficiency가 0.3일 때 Figure 2와 같은 모델의 패치테스트를 수행하였다. Figure 3에서 볼 수 있듯이 원주방향으로 요소를 잘게 나눌수록 정확도가 향상되는 것을 관찰할 수 있으며, 특히 6개 이상 될 경우 5차모드까지 에러가 1% 이내로 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

2.2 Ligament efficiency 테스트

Ligament efficiency의 정의는 Figure 4과 같다. Ligament efficiency 변화에 따른 동특성 변화를 관찰하기 위하여 테스트를 수행하였다. 테스트 결과는 normalized natural frequency f^* 로 관찰하였으며, 정의는 식 (1)과 같다.

$$f^* = f_p / f_s \dots\dots\dots(1)$$

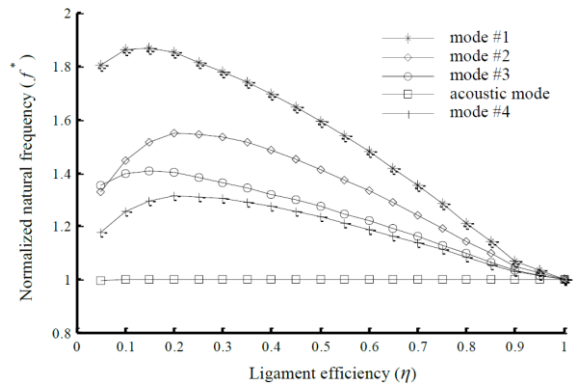


Figure 6 Normalized natural frequency w.r.t ligament efficiency in water

f_p 는 다공평판의 고유진동수이며, f_s 는 구멍이 없는 평판의 고유진동수를 나타낸다. 고유진동수가 변화하는 양상을 살펴보면, 공기 중에서는 ligament efficiency가 감소하면 질량이 크게 감소하므로 고유진동수가 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 반대로 접수된 구조에서는 반대로 고유진동수가 증가하는데, 이는 부가질량효과가 감소하기 때문에 나타나는 현상으로 분석된다.

3. 결 론

본 논문에서는 다공구조물의 설계변수에 따른 부가질량효과를 분석하였다. 이를 통해 접수된 다공구조물의 동특성을 예측할 수 있을 것으로 기대된다.