

원자로 노심내 조사물의 유체기인 가진력 해석

Flow Induced Force Analysis of Irradiated Rod in Nuclear Reactor

배승훈* · 홍진숙† · 정의봉** · 임희창**

Seung-Hoon Bae, Chinsuk Hong, Weui bong Jeong and Hee Chang Lim

1. 서 론

원자로 노심 내에 일정한 물질을 삽입하여 방사능을 쪼임으로서 원하는 물질을 얻어내는 방법을 조사한다. 이때 원자로 노심에서 흐르는 냉각수에 의해 발생하는 유체력에 의해 조사물이 노심에서 진동하면 노심내 조사물과 구조가 손상되는 원인이 된다. 따라서 손상의 원인이 되는 원자로 노심의 유체 유발 가진력을 해석을 통해 살펴보고자 한다. 본 모델에서는 FSI 해석에 앞서 적절한 유체 도메인을 확보하기 위해서 우선 유체영역만을 고려하여 조사물의 단면에서 발생하는 가진력을 구해보았다.

유체 유발 진동의 케이스에는 크게 2가지로 나누어지게 되는데, 정상상태의 유동과 비 정상상태의 유동으로 나뉘게 된다. 이중에서도 정상 유동의 경우만을 고려하기로 하고 우선 유동 해석을 수행하였으며, 실험을 분석하기에 앞서 실제 크기와 유사한 개념적인 모델을 가지고 이를 해석하는 방법으로 가진력을 구하였다.

2. 모델 및 해석

2.1 개념 모델

(1) 개념도 및 해석 모델

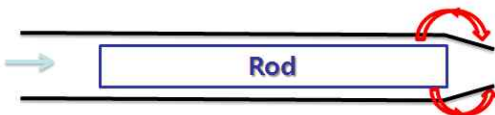


Fig. 1 Concept model of irradiated rod

Fig. 1 그림은 해석 모델의 개념도 이다. 원형 실린더 속에 정 사각형 모양의 막대가 고정되어 있으며 실린더의 끝단에는 노즐이 설치되어 있다. 유체가 실린더 속으로 지나 갈 때 끝단에서 와류나, 특정 원인들로 인해 불규칙한 힘들이 발생하는 모습이며, 이것이 유체 유발 진동의 가진력이 된다.

실제 모델의 총 길이는 3.05m 이며 실린더의 직경은 5cm 이다. 조사봉의 길이는 1m 이며, 정사각 단면의 길이는 31mm이다. 조사봉의 위치는 입구단으로 부터 2m~ 3m 지점의 사이에 있다. 봉의 위치는 치우침 없이 실린더의 정 중앙 면에 위치한다.

(2) 해석 조건

유동해석에 사용된 해석 조건은 다음과 같이 표1로 나타 낼 수 있다.

Table 1 Boundary and initial value table

해석 조건	설명
입구단(평균속도)	Logarithmic velocity profile (3m/s)
출구단(절대압)	Average static pressure(1.0atm)
벽면	Roughness : $z_0=1e-6m$
난류모델	K-omega
초기조건	3m/s
해석시간	2초
요소수(종류)	2602320개(Hexa element)

입구단의 속도조건은 난류유동이 완전하게 발달된 파형인 로그 속도 파형이고 끝단에는 상대압이 0가 되는 조건을 사용하였다. 나머지 조건은 Table 1에 나타난 바와 동일하다.

해석에 사용된 요소는 아래 그림 Fig.2 와 같으며 경계층 제현을 위해 벽면에서 가장 가까운 메쉬의 두께를 $Y+=5$ 정도로 설정해주었다.

(3) 해석 정도 검증

파이프 유동에서 발달한 속도장이 실제와 유사하게 발달 되었는지 확인하기 위해서 널리 알려진 $Y+$, $U+$ 무차원 그래프와 비교하는 방법을 사용하

† 교신저자; 울산대학교 디지털기계학부
E-mail : cshong@uc.ac.kr
Tel : (052)-279-3134 , Fax : (052)-279-3237
* 부산대학교 대학원 기계공학부
** 부산대학교 기계공학부

였다.

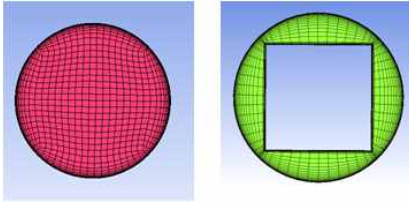


Fig. 2. Fluid domain mesh

이때 각각의 Y^+ , U^+ 는 다음과 식(1)과 같이 표현되는 무차원 값이며,

$$U^+ = \frac{\bar{u}}{u^*}, Y^+ = \frac{y u^*}{\nu} \quad (1)$$

레이놀즈수가 5이하인 영역에서는

$$U^+ = Y^+ \quad (2)$$

다음과 같은 식(2)을 따르고 그이상의 영역에서는 식(3)같은 영역을 따르는 식으로 표현되며 식(3)의 계수들은 어느 정도 수정될 수 있다.

$$U^+ = 2.5 \ln(Y^+) + 5.0 \quad (3)$$

비교대상이 되는 무차원 그래프는 매끄러운 실린더 벽면을 대상으로 하는 것이기 때문에 해석에 사용되는 거친 벽면과 차이가 있음을 감안하면 Fig.3 에서 나타나는 실제 유동장의 결과와 비슷한 값이 나올 수 있으며, 보정된 계수의 값은 각각 2.5→2.2, 5.0→2.3이다.

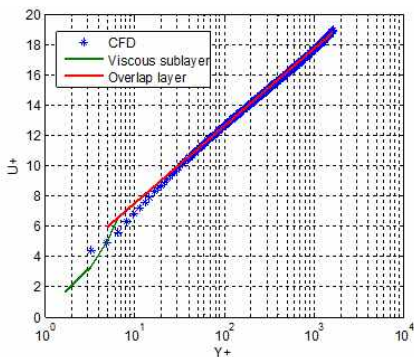


Fig. 3 Y^+, U^+ Benchmarking graph

2.2 해석 결과

해석 결과 조사봉의 끝단 부분 단면 압력 분포가 가장 변화가 컸으며 그 힘 자체가 대칭적이지 않아서 끝 단면에 모멘트가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

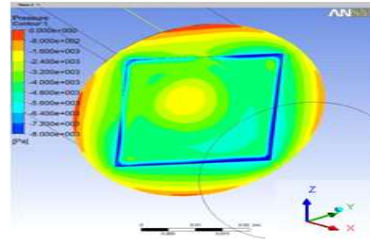


Fig. 4 Pressure distribution

따라서 시간에 따른 조사봉의 끝단 면적에 생성되는 토크를 구해서 주파수 영역으로 나타내면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있으며 8.3Hz 성분의 주기적인 토크와과 정적 토크가 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

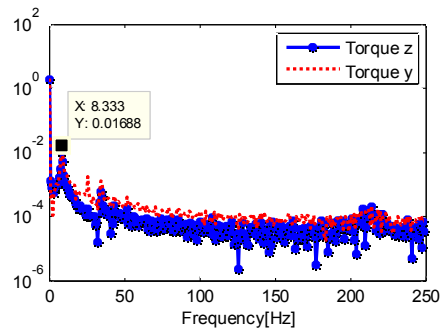


Fig. 5 Frequency analysis data of torque

3. 결 론

유동해석을 통하여 조사봉에 발생하는 유체기인 가진력을 구해 낼수 있었으며 그 성분이 저주파수의 형태로 나타나는 것을 확인 할수 있었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 지원을 받아 2012년 원자로연기기반확충사업을 통해 수행되었으며 이에 감사드립니다.