

# 원자로 노심내 편심된 조사물의 FIV 해석

## Flow-Induced Force Analysis for Eccentric Irradiated Rod in Nuclear Reactors

배승훈\* · 홍진숙† · 정의봉\*\* · 임희창\*\*

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

### 1. 서 론

조사관, 원자로 노심에 금속물질을 삽입하여 방사선을 쪼임으로써 원하는 물질을 얻어내는 방법을 의미한다. 이때 원자로 노심에서는 원료봉을 냉각시키기 위해서 냉각수를 순환시키는데, 이때 냉각수의 유동으로 인해서 조사관속의 조사물이 진동한다. 이러한 진동현상은 조소재의 질을 저하시키는 원인이 된다. 이전 연구에서는 진동 가진원을 파악하기 위해서 우선 유체영역만을 모델링하여 조소재 표면의 힘을 구하였다. 그 결과 조소재가 편심 되어 있을 때 발생하는 정적힘이 조소재의 편심을 더욱 심화시키는 방향으로 발생하였다. 따라서 본 논문에서는 편심정도에 따른 힘의 변화와 동적인 힘이 조소재의 벽면에 어떻게 생성되는지 살펴보고, FIV 해석을 통해 편심된 경우 조소재의 거동이 어떻게 발생하는지 살펴보았다.

### 2. 모델 및 해석

#### 2.1 개념 모델

##### (1) 개념도 및 해석 모델

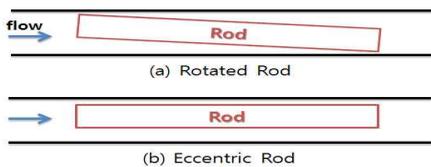


Fig. 1 Two type of Irradiated Rod

Fig. 1은 해석 모델의 개념도 이다. (a)의 경우 원형 실린더 속에 정 사각형 모양의 막대가 회전되어 있는 모습을 나타내고 있고, 봉의 중심을 기준으로 1/3rad 만큼 회전 되어 있다. (b)의 경우 회전은 되지 않고 평행이동만 되어 있는 모습을 나타낸다. 해석에 쓰인 실린더의 직경은 0.05m이고 실린더의 총 길이는 1.25m 이다. 조사봉의 길이는 0.3m 이며, 정사각 단면의 넓이는  $31*31mm^2$  이다. 조사봉의 위치는 입구단으로 부터 0.2m~0.3m 지점에 있다.

##### (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	Smooth wall
난류모델	k-w, LES
초기조건	3m/s
해석시간	0.8초

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

##### (3) 평행 이동에 따른 힘 변화

편심된 정도에 따라 조소재에 발생하는 힘을 살펴 보기위해서 Fig.1의 (b)의 경우에 대해서 여러 가지 케이스로 해석을 해보았다. 이전 논문에서 편심이 있는 방향에 힘이 발생하였으므로 편심이 없는 방향의 힘은 무시하고 편심된 쪽의 힘만 살펴보면 Fig.2 와 같다. 간격이 좁아질수록 합력의 크기가 양에서 음으로 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이것은 실제 물체가 물속에서 흔들리다가 벽에 부딪히기 전까

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

지 유체력이 물체의 편심을 가중시키는 방향으로 작용하다가 물체와의 간극이 지나치게 좁은 경우에 각면의 속도차이가 심해지면서 다시 복원력이 작용할 것이라는 것을 보여 준다.



Fig. 2 Upper and lower force difference

#### (4)LES를 이용한 동적 특성 조사

유체력의 동적인 특성을 살펴보기 위해서 LES 통해 표면에서 발생하는 압력을 살펴보았다. 정확한 해석을 위해 210만개의 Hexa 요소를 사용하였으며 조사재 벽면에서 CFL수가 1이 넘지 않게 유체를 모델링해주었다.

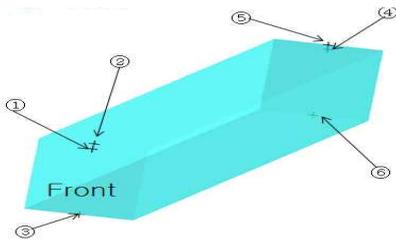


Fig. 3 Pressure measuring points

해석 후 Fig.3처럼 각각의 측정점에서 시간에 따른 압력 데이터를 구해보았다. 가장 큰 압력 변화를 가지는 지점은 조사재의 맨 앞부분에서 가장 큰 압력 변화 폭을 지니고 있었으며 그 결과를 주파수 변환 하면 다음과 같다.

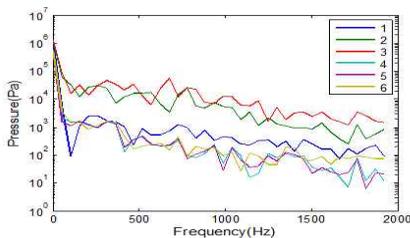


Fig. 4 Transform data of pressure

그 결과 Fig. 5에서 알 수 있는 결과는 특정 주파수의 성분은 없고 고주파가 될수록 떨어지는 특성을 가지고 있었다.

#### (5)FIV 해석

앞의 결과를 통해 고주파수의 성분이 가진력으로 들어오는 것은 거의 없다고 판단되어  $k-\epsilon$  모델을 통해서 해석을 수행하였다. Fig.1의 (a)와 같은 구조에 조사재의 앞단을 편으로 고정하고 뒷단은 유체와 구조 격자간의 충돌을 막기 위해서 18kN/m의 스프링으로 구속하고 해석을 수행하였다.

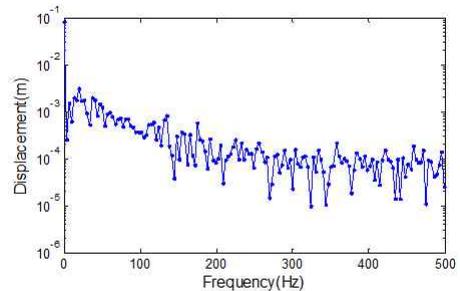


Fig. 5 Displacement of Irradiated Rod

Fig.5는 조사재 후단의 시간에 따른 변위를 푸리에 변환한 것이다. 20.2Hz, 30Hz일 때 가장 변위가 큰 것을 알 수 있다. 다른 성분들은 고주파수일 때 일정하게 떨어지는 것으로 보아서 LES의 경향을 따라가는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

유체기인 가진력은 조사재의 편심을 더욱 증가시키는 방향으로 발생하다가 편심이 심해지면 다시 복원력이 발생하고, LES 해석을 통해 고주파수로 갈수록 유체력의 영향이 작아지는 것을 알 수 있었다. 따라서 FSI 해석 시 RANS 모델인  $k-\epsilon$ 을 써서 저주파수의 진동응답을 얻을 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 교육과학기술부의 지원을 받아 2013년 원자로연구기반확충사업을 통해 수행되었으며 이에 감사드립니다.