

# 원자로 노심내 편심된 조사물이 받는 유체기인 가진력 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 핵원료봉을 냉각시키기 위해서 냉각수를 순환시키는데, 이때 냉각수의 유동으로 인해서 조사관속의 조사물이 진동한다. 이러한 진동현상은 조새재의 질을 저하시키는 원인이 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 진동의 가진원을 파악하기 위해서 우선 유체영역만을 모델링하고 해석하여 조사재 표면의 힘을 구하고 가진력의 원인을 파악하고자 한다. 가진력의 원인으로 추정되는 원인은 크게 두 가지인데 첫 번째는 조사재 후단에서 발생하는 후류의 와류현상으로 인해 조사재 끝단에서 불규칙하게 운동량이 전달되는 것이다. 두번째는 조사재가 조사관에 정 중앙에 있지 않고 편심되어 있을 때 발생하는 편심된 정적힘이 발생하는 경우이다. 조사재 후류에서 발생하는 동적인 힘이 조사재의 고유진동수와 일치 할 때 공진현상을 발생시키는 힘이 될 것이다. 후자의 경우에는 조사재의 강제운동을 일으키는 힘이라 예상할 수 있다. 본 논문에서는 편심된 경우 조사재의 벽면에 발생하는 힘들을 살펴보고 보의 거동이 추후에 어떻게 될 것인지 추정해보도록 하고, 차후 연구에서 동적인 힘을 살펴 보도록 하겠다. 따라서 실제 크기와 유사한 개념적인 모델을 가지고 이를 해석하는 방법으로 가진력을 구하였다.

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

\* 부산대학교 대학원 기계공학부

\*\* 부산대학교 기계공학부

## 2. 모델 및 해석

### 2.1 개념 모델

#### (1) 개념도 및 해석 모델



Fig. 1 Concept model of irradiated rod

Fig. 1은 해석 모델의 개념도 이다. 원형 실린더 속에 정 사각형 모양의 막대가 고정되어 있고 실린더의 끝단에는 노즐이 설치되어 있으며 조사재가 편심되어 있는 모습을 나타내고 있다.

해석에 쓰인 실제 유체영역의 총 길이는 3.11m이며 해석의 수렴성을 위해 노즐 뒷단부도 모델링 되어 있다. 실린더의 직경은 5cm 이다. 뒷면을 기준으로 0.1도 만큼 회전되어 편심되어 있고, 조사봉의 길이는 1m 이며, 정사각 단면의 넓이는 31\*31mm<sup>2</sup> 이다. 조사봉의 위치는 입구단으로 부터 2m~3m 지점의 사이에 있다.

#### (2) 해석 조건

유동해석에 사용된 해석 조건은 다음과 같이 표 1로 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 <sub>0</sub> =1e-6m
난류모델	SST-모델
초기조건	3m/s
해석시간	2.7초
요소수(종류)	3785117(Hexa element)

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

해석에 사용된 요소는 아래 그림 Fig.2 와 같으며 경계층 재현을 위해 벽면에서 가장 가까운 메쉬의 두께를  $Y^+=5$  정도로 설정해주었다. 또한 조사체에 편심된 형태를 격자에서도 볼 수 있다.

(3) 해석 정도 검증

파이프 유동에서 발달한 속도장이 실제와 유사한 형태로 발달 되었는지 확인하기 위해서  $Y^+$ ,  $U^+$  무차원 그래프를 그리고 알려진 무차원 식과 비교하는 방법을 사용하였다.

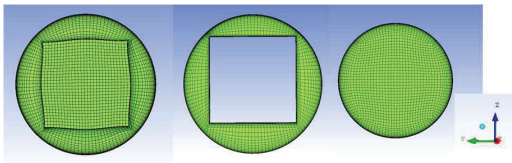


Fig. 2. Fluid domain mesh

이때 각각의  $Y^+$ ,  $U^+$ 는 다음과 같이 표현되는 무차원 값이며,  $U^+ = \bar{u}/u^*$ ,  $Y^+ = yu^*/\nu$  이러한 식으로 정의된다. 여기서  $u^*$ 는 마찰 속도,  $u^* = \sqrt{\tau_w/\rho}$ 로 같이 벽면의 전단응력과, 유체의 밀도로 정의되는 값이다.  $Y^+$ 가 5이하인 영역에서는,

$$U^+ = Y^+ \quad (1)$$

다음과 같은 식(1)을 따르고 그이상의 영역에서는 식(2)같은 영역을 따르는 식으로 표현되며 식(3)의 계수들은 어느 정도 수정될 수 있다.

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

Fig.3에서 식(1)은 매끄러운 실린더 벽면을 대상으로 계산 결과를 예측하는 식이기 때문에 거친 벽면을 사용한 해석 결과에 비해 그 값이 작은 것을 알 수 있다. 왜냐하면 거친 벽면의 경우 난류가 빨리 발달하므로 층류층이 좀 더 얇기 때문이다. 보정된 계수의 값은 각각 2.5→2.1, 5.0→2.1이다.

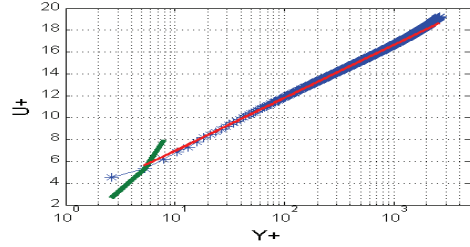


Fig. 3  $Y^+, U^+$  Benchmarking graph

2.2 해석 결과

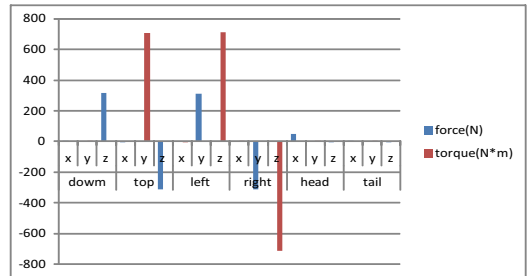


Fig. 4 Fluid force on the irradiated rod

해석 결과 조사봉의 각면에 발생하는 힘들의 성분은 Fig.4와 같고 각방향의 모든 값들을 더해보면  $F_x = 54.7N, F_y = 0.01N, F_z = 3.25N$ 과 같다. 이는 봉이 편심된 방향으로 이동하려는 것을 의미한다. 또한 각방향의 돌림힘 합을 모두 구해보면 다음과 같이,  $T_x = 0N.m, T_y = 710.1N.m, T_z = -0.04N.m$ 인데 z축으로 편심되어 있으므로, 편심된 방향으로 회전하는 성분의 크기가 가장 크다.

3. 결 론

유동해석을 통하여 편심된 조사봉에 발생하는 편심 유발 유체기인 가진력을 구하였다. 그 때의 유체기인 가진력은 조사체의 편심을 더욱 증가시키는 방향으로 발생된다. 또한 길이 방향 면에서 유체기인 가진력이 상대적으로 크게 발생하였다.

후 기

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