

원통형 연료집합체의 동적해석을 위한 지지 경계조건 선정

임정식, 유충현, 이병호, 손동성
 구양현, 천진식, 오제용
 한국원자력연구소, jsyim@kaeri.re.kr

1. Introduction

기존 경수로용 핵연료에 비하여 새로운 개념의 연구로용 핵연료의 일종으로 파이프 형상의 길이가 긴 원통형 핵연료를 들 수 있다. 이 핵연료는 노심에 장전될 때 상부 노심지지판의 핵연료 채널 수용 Hole 을 통해 삽입되어 상부 노심지지판에 걸친 상태로 지지되며, 하부 노심지지판과는 장전초기에 간격을 갖는 Hole 에 끼워져 장전되므로 연료채널의 동적 해석모델에 적용하기 위한 경계조건이 명확하지가 않다. 이로 인해 해석모델의 경계조건에 대한 타당성과 해석결과에 대한 신뢰성을 얻기가 곤란하다. 여기서는 길이가 긴 원통형 핵연료 채널의 동적해석에 적용할 경계조건을 선정하기 위하여 유한요소 모델을 통한 해석과 시험을 통해 타당한 경계조건을 선정하고자 한다.

2. Methods and Results

고려하고 있는 핵연료 채널은 하부의 핵연료 집합체와 상부의 조립체로 구성되며, 이 둘은 중간에서 나사체결에 의해 하나로 만들어진다. 이 핵연료 채널의 고유진동 특성을 해석적으로 구하기 위하여, 연료봉을 포함한 모의 핵연료 채널 부품의 기하학적 특성과 재료물성으로부터 ANSYS 의 beam-mass 모델을 만들고, 핵연료 채널이 상, 하 노심지지판에 지지될 때 일어날 수 있는 여러 가지 예상되는 경계조건을 가정하여 고유진동수를 얻은 후, 이 고유진동수와 모의 연료 채널을 이용한 진동시험에서 얻은 연료 채널의 고유진동수를 비교분석하여 실제적으로 타당한 경계조건을 선정하였다. 모의 연료채널 진동시험에서도 연료채널을 상, 하에서 지지하는 상부 고정판과 하부 연료채널 수용부의 간격을 조정하여 여러 가지 경계조건을 구현하여 시험을 실시하였다.

연료집합체 내부의 54 개의 연료봉 및 가연성 흡수봉은 각 각의 진동특성을 고려하여 하나의 beam 요소로 모델링 하였다.

2.1 모의 연료채널 진동시험

모의 연료 채널의 연료봉은 감손우라늄을 이용하여 만들어 졌다. 이 모의 연료채널의 고유진동 시험은 공기 중 및 수중에서 충격해머와 가

속도계를 이용하여 측정하였다[1]. 공기 중에서는 총 5 개의 가속도계를 사용하고, 수중에서는 4 개의 가속도계를 이용하여 모드형상과 고유진동수를 얻었다. 그림 1 은 모의 연료채널의 진동시험 개념도를 나타내었다. 수중 진동 시험조건은 연료채널 외부에 아크릴 관을 세워 물을 채워 넣고 연료채널 상부를 타격하여 이 때의 충격과 수중가속도계에서 얻어진 가속도 입력을 통해 FFT 분석으로 얻었다. 경계조건 구현은 상부 노심지지판을 모사한 연료채널 상부 고정판 두 개 사이에 핵연료 채널 고정부를 넣고 조임 나사로 고정판을 완전히 조인 상태를 고정경계로 가정하고, 고정판의 나사를 풀어 연료채널과 고정판 사이에 유격을 둔 상태를 단순지지로 가정하였다. 하부 경계조건은 하부노심지지판의 연료채널 수용 Hole 에 축방향 간격을 두어 뜨게 한 상태를 자유경계, 수용 Hole 의 한쪽 벽에 연료채널이 접촉한 경우를 단순지지, 연료채널을 내려서 Hole 에 완전히 삽입되어 간격이 없는 상태를 하부 고정경계 조건으로 간주하였다.

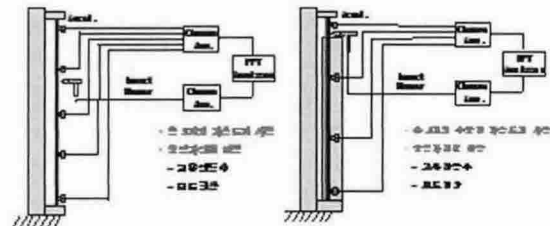


그림 1. 모의 연료채널 진동시험 개념도

2.2 연료채널 진동 및 해석결과 비교

모의 연료채널의 질량과 해석에 사용된 모델 질량의 비는 1.0: 1.021 이며 수중 고유진동 해석의 유체부가 질량(added mass)은 상온에서 물의 밀도 1,000kg/m³을 사용하였다.

해석용 입력 모델의 타당성을 확인하기 위해 해석과 시험에서 모두 경계조건에 대한 영향이 없는 자유-자유 경계조건에 대한 시험과 해석을 수행하고 이 결과의 비교를 그림 2에 나타내었다.

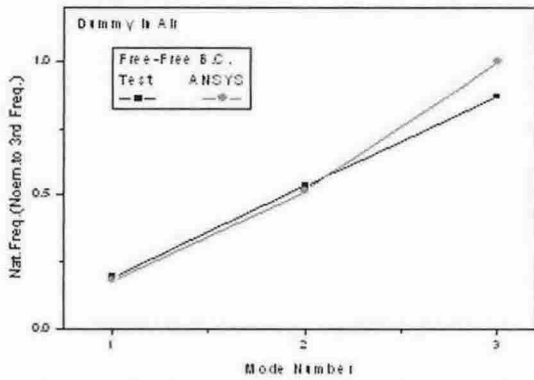


그림 2. 공기 중 모의 연료 진동시험 및 해석결과

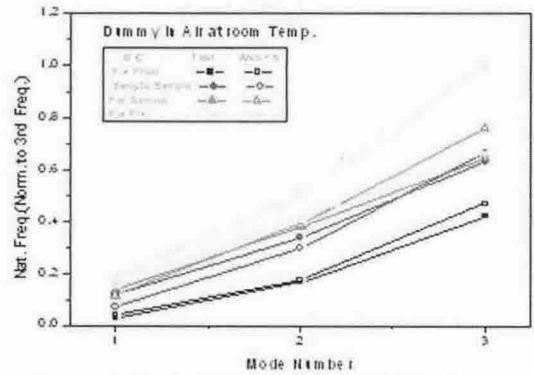


그림 3. 모의 연료채널 경계조건에 따른 공기 중 진동수 비교

그림 2 에서 보는 것과 같이 자유-자유 경계조건의 두 결과는 1 차 및 2 차 모드에서 각각 약 7%, 4%의 편차를 보이고 있다. 연료채널이 제조 특성상 근원적으로 가지고 있는 비선형성, 즉, 나사체결, 제조 시 조립방법, 부품간의 간격 등의 특성을 감안할 때 이 정도의 편차는 허용할 수 있는 정도라고 판단된다. 그림 2 에서 보는 것과 같이 대체로 해석과 시험의 결과는 상호 접근된 진동수를 보이고 경향에서 유사함을 보이므로 3 차 모드까지의 제한적이기는 하지만, 시험결과에 근거하여 해석모델은 타당하다고 판단된다. 그림 3 에는 해석 및 시험결과의 비교로서 경계조건에 따른 모의 연료채널의 공기 중 고유진동수를 보이고 있다. 그림 4 에는 수중시험에서 얻은 고유진동수를 나타내었다. 그림 3 에서 보면 상부 고정, 하부 자유인 경우와 고정-단순지지의 경우는 시험과 해석에서 유사한 결과를 보이며, 3 차 모드에서는 1 차와 2 차 모드에 비하여 공기 중에서의 마찬가지로 편차가 커짐을 보인다. 양단 단순지지의 경우는 이와는 반대로 1 차 모드에서 시험과 해석결과의 편차가 크고, 2 차, 3 차 모드에서 보다 접근하는 결과를 나타낸다. 반면 양단 고정의 경우 다른 경계조건에 비하여 2 차, 3 차 모드로 갈수록 두 결과의 차이가 현격히 커짐을 보인다. 이는 완전한 고정경계조건을 구현하는 해석의 경우와는 달리 실제 시험에서는 고정경계라고 하더라도 이론적인 고정의 경우보다 고정이 불완전한 데서 기인한다고 볼 있다. 그림 4 의 수중 진동 시험과 해석의 결과도 고정경계를 갖는 고정-단순 경계조건 보다는 단순-단순 경계조건에서 두 결과가 보다 잘 맞고 있음을 보인다.

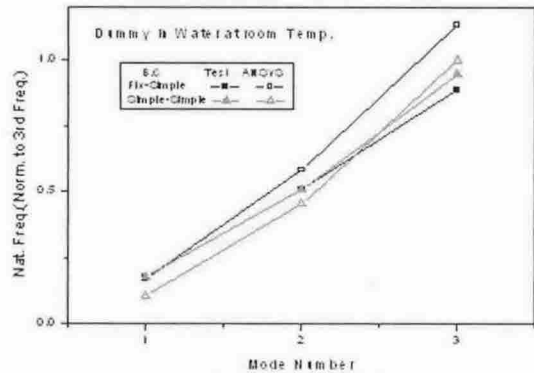


그림 4. 모의 연료채널 경계조건에 따른 수중 진동수 비교

3. Conclusion

모의 연료채널을 이용하여 수행된 시험과 해석으로부터 얻어진 고유진동수 비교결과 3 차까지 얻어진 진동시험 범위 내에서 연료채널의 동적 해석에 적용할 경계조건은 단순-단순 지지 경계조건이 시험에 보다 접근한다고 할 수 있지만, 시험에서 구현하지 못하는 고정경계조건의 완전성을 고려할 때 실제적인 동적 해석의 경계조건은 양단 단순지지 경계조건과 고정-단순지지의 혼합된 경계조건이 타당할 것으로 판단된다.

REFERENCE

[1] 김재훈, 연료집합체 및 연료채널 굽힘 및 진동특성시험, KAERI/CM757/2004

Acknowledgements

The authors would like to express their appreciation to the MOST for the support of this work through the mid- and long-term nuclear R&D Project.