

## 중수로 원전 개량형 FARE(Flow Assist Ram Extension) 기구 개발

이선기, 이한희, 이상국, 이육륜, 홍승열  
 한전 전력연구원 대전 유성구 문지동 103-16  
 sunlee@kepri.re.kr

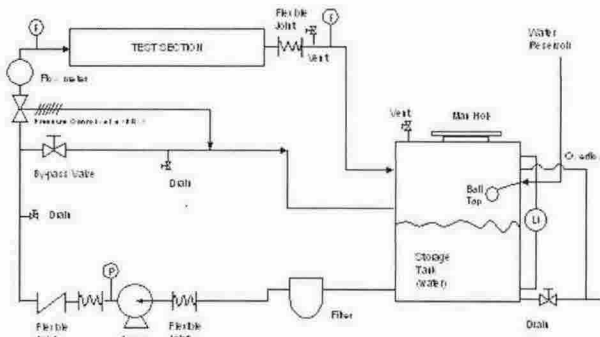
### 1. 서론

중수로 원전은 380 개의 핵연료 채널로 구성되어 운전 중 핵연료 교체가 이루어진다. 핵연료 교체는 각 핵연료 채널을 흐르는 유체의 힘을 이용하여 상류측의 핵연료가 하류로 흘러가면서 이루어진다. 그러나 380 개의 원형으로 이루어진 핵연료 채널의 외각 1,2 열은 핵연료 채널로 흐르는 유량이 작아 유체 자체의 힘만으로 핵연료를 밀어낼 수가 없어서 핵연료 교체 보조 기구인 FARE(Flow Assist Ram Extension) 기구를 사용하고 있다. 그러나 이때 FARE 채널에서 저유량 트립 신호가 발생하고 있다. 발전소는 저유량 트립 신호가 동시에 2 회 발생하면 자동 정지되도록 설계되어 있으므로 원전의 운전 여유도 확보 차원에서 이의 개선이 필요하다.

본 논문은 FARE 채널에서 발생하는 저유량 현상 발생 원인을 FARE 채널 내부 유동 분석 및 실측 실험으로 규명하였으며, 또한 저유량 현상이 발생하지 않는 개량형 FARE 기구 개발에 대하여 소개한다.

### 2. FARE 채널 저유량 발생 원인 분석

그림 1 에 핵연료 교체 모사 실험장치를 나타낸다. 장치는 중수로 원전의 핵연료 교체기를 모사하여 FARE 기구의 삽입 및 제거가 원격 조정 가능한 장치로써 FARE 기구 삽입 속도 제어 및 FARE 기구의 현 위치를 정확하게 알 수 있다. Test Section 에는 FARE 기구 Drive System 및 압력측정 센서가 설치되어 있다.



<그림 1> 핵연료 교체 모사 실험장치

그림 2 는 FARE 채널에서 기존의 FARE 기구 삽입 시 유량변화를 측정한 실험 결과이다. FARE 기구가 핵연료 채널 내부로 들어오는 초기

단계에서는 유량의 변화가 거의 없으며 FARE 기구의 위치 8cm 에서 1 단계로 유량이 감소하기 시작한다. 이 위치는 FARE 기구의 선 단이 핵연료 채널 Linear Tube Hole 의 둘째 열을 통과 할 때이며, 이 후 조금 씩 감소하고 있다. 2 단계로 유량이 감소하는 FARE 위치는 72cm 부근이다. 이 위치는 FARE 기구의 링 오리피스가 Linear Tube Hole 의 첫째 열을 통과 할 때이며, 이후 링 오리피스가 Liner Tube Hole 의 끝 단을 지날 때 까지 지속 된다.

이와 같이 FARE 채널의 저유량 현상은 FARE 기구의 선 단이 Linear Tube Hole 을 지날 때부터 링 오리피스가 Linear Tube Hole 의 끝 단을 지날 때 까지 지속되며 이 시간은 현장에서 핵연료 교체시 발생하는 저유량 트립 신호 시간(약 1 분 50 초간)과 거의 일치하고 있다.

이상으로부터 FARE 채널에서 발생하는 저유량 현상은 FARE 기구가 Linear Tube Hole 을 통과 할 때 과도한 압력 손실이 발생하는 것이 직접적인 원인임을 알 수 있다.

FARE 유량 실험

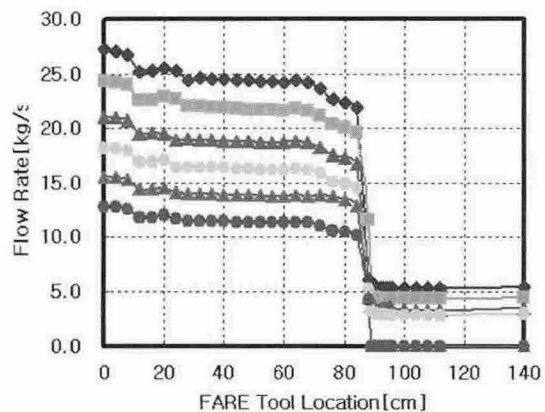


그림 2>FARE 채널 저유량 발생 모사 실험 결과

### 3. 저유량 현상 개선을 위한 FARE 기구 설계변경

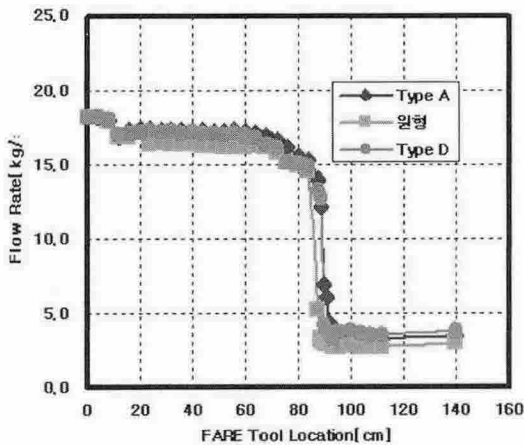
앞에서 기술한 바와 같이 FARE 채널에서 발생하는 저유량 현상은 FARE 기구가 Linear Tube Hole 을 통과 할 때 과도한 압력 손실이 발생하는 것이 직접적인 원인이다. 이의 개선책으로써 (1) FARE 기구 선 단의 치차

모양의 돌출 부위를 변경하여 흐름을 원활히 하는 방안, (2)FARE 기구 몸통의 Hole 수 증가, (3)FARE 기구의 오리피스 스프링 상수 변경 등 3 가지 방안에 대해서 실험적인 검토를 수행하였다. 그 결과 FARE 기구 선단 치차부 및 오리피스 스프링의 설계 변경은 저유량 현상 해소에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 한편, FARE 기구의 몸통부에 Hole 수를 증가한 결과, 유량이 감소하는 위치는 변화는 없으나 유량이 감소하는 양에서는 상당한 개선 효과를 나타내고 있어 몸통부의 Hole 수 증가는 FARE 채널에서 발생하는 저유량 해소에 유효하다.

4. 개량형 FARE 기구 최적설계

FARE 기구의 설계문서에 의하면 실제 원전의 FARE 채널 유량은 최소 11kg/s 에서 최대 21kg/s 사이 이며 핵연료 교체를 위해서는 최소유량 11 kg/s 에서 FARE 기구에 작용하는 힘은 200 kgf 이상이 요구 된다. 기존 FARE 기구는 FARE 채널 최소유량 11 kg/s 에서 370kgf 로 설계되어 있다.

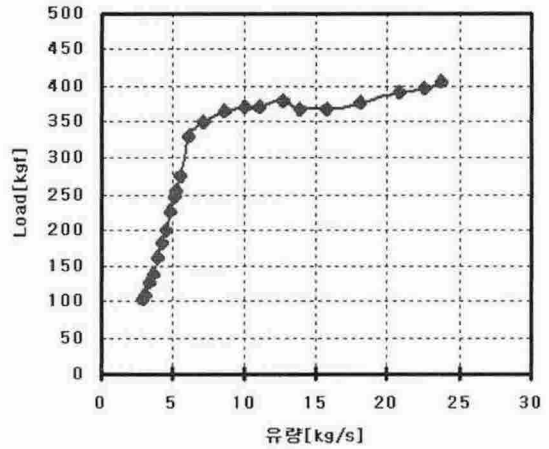
본 연구에서는 FARE 기구 몸통부 Hole 수 및 크기가 다른 5 개의 Type 에 대하여 검토하였으며 제작측면, 구조 건전성측면을 고려하여 그림 3 의 Type D 를 개량형 FARE 기구로 선정하였다. 그림에서 원형의 FARE 기구보다 유량 저하가 상당히 개선되고 있음을 알 수 있다.



<그림 3> FARE 기구 설계변경에 대한 실험결과  
 그림 4 에는 상기 Type D 의 FARE 기구에 작용하는 힘을 유량에 대해서 나타내었다. 그림에서 FARE 채널 최소유량(11kg/s)에서 약

360kgf 를 나타내고 있어 요구조건을 충분히 만족하고 있음을 알 수 있다.

소구멍 다 hole



<그림 4> 개량형 FAR 기구 유량-유체력 실험결과

5. 결론

본 연구에서는 FARE 채널에서 발생하는 저유량 현상 발생원인을 내부 유동 검토 및 실측실험으로 규명하였으며 개선책으로써 개량형 FARE 기구를 개발하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) FARE 채널에서 발생하는 저유량 현상은 FARE 기구가 Linear Tube Hole 을 통과 할 때 과도한 압력 손실이 발생하는 것이 직접적인 원인이다.
- (2) FARE 기구의 설계 변경으로 FARE 채널에서 발생하는 저유량 현상의 해소가 가능한 개량형 FARE 기구를 개발하였다.

참고문헌

1. I.,Namgung, S.K.Lee, "FARE device hydraulic characteristic of Wolsong NPP," 13th PBNC Conference, Shenzhen, China, Oct. 2002.
2. Wolsong NPP - Flow Assist Ram Extension (FARE) Tool Design Manual, 1994
3. Wolsong NPP Primary Heat Transport System Design Manual, 1995
4. Wolsong NPP Fuelling Machine Head Design Manual, 1995
5. Wolsong NPP - FARE device drawings, 1994
6. I. Namgung, "Analysis of Fuelling Sequence and Fatigue Life for 4-Bundle Shift Refuelling Scheme in CANDU6 NPP", Journal of KNS, Vol.34, No.2, 2002