

핵연료 교체에 따른 LZC 수위변화 예측에 관한 연구

윤문영*, 권오환*, 김용배**, 염충섭*

* 고등기술연구원

** 한국전력연구원

중수로의 가장 큰 특징중의 하나는 운전 중 온라인으로 핵연료를 교체하는 것으로서, 노심관리 측면에서 교체 핵연료 채널 선정 및 핵연료 교체에 따른 노심 제어는 매우 중요한 업무중 하나이다. LZC(Liquid Zone Controller)는 중수로 노심에서 노심의 핵연료 교체에 따른 국부 또는 전체 출력을 미세 제어하는 제어장치로서, 핵연료 교체를 위한 교체 채널 선정시 LZC 수위의 예측은 중요한 고려 요소가 된다. 본 연구에서는 이러한 LZC 수위 변화 예측 모델 구현을 위해 월성 1 호기의 운전 이력을 이용하여 그 타당성을 검토하고자 월성 1 호기의 핵연료 교체에 따른 LZC 수위변화 이력자료를 분석하고, 이를 현재 업무에 참조하고 있는 Gentilly-2 의 경험자료와 비교하였다. 또한 평형상태의 원자로에서 특정 핵연료를 교체한 경우의 LZC 수위 변화량을 알아보기 위해 RFSP 코드를 수행, 그 결과를 월성 1 호기 이력자료와 비교, 검토하였다.

본 연구를 위해 핵연료 교체 전후 LZC 수위변화량을 기록하기 시작한 1998 년 4 월부터 2004 년 4 월까지 약 6 년간, 총 3596 회의 핵연료교체 자료를 수집하였다. 2-way ANOVA 분석을 통해 교체핵연료가 속하는 zone 과 LZC 변화량을 측정하는 zone 간에 교호작용이 있는 것을 확인하였고, 따라서 교체핵연료가 속하는 zone 에 따라 자료들을 구분하여 분석하였다. 1-way ANOVA 를 사용하여 측정 zone 별로 LZC 수위변화의 차이가 유의한 것을 확인하였고, 구체적인 차이를 알아보기 위하여 t-test 및 Sheffer 의 다중 비교법을 이용, 유의한 차이(유의수준 5%)가 있는 zone 을 [그림 1]과 같이 색깔로 구분하였다.

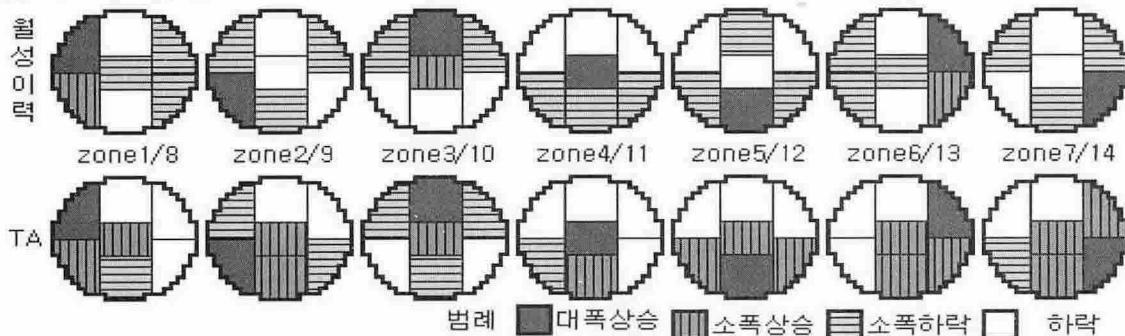
월성 1 호기 핵연료 교체업무에 참조자료로 사용되고 있는 Gentilly-2 의 경험자료 역시 같은 방법으로 분석한 결과, [그림 2]에서 보는 바와 같이 월성 1 호기 이력과 거의 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다.

원자로 평형상태에서 특정 핵연료 교체 결과가 LZC 수위 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 100% TA(Time-Averaged) burnup 을 가정, RFSP time average 모듈을 수행하였다. TA 수행 결과에서 나타난 LZC 수위 변화 편차는 월성 1 호기 이력자료에 비해 크기가 상대적으로 적게 나타났다. 따라서 이 둘의 측정 zone 에 따른 추세를 비교하기 위해 최대치를 기준으로 TA 수행 결과를 조절하였다. [그림 1], [그림 2]에서 보는 바와 같이 TA 수행 결과에 따른 측정 zone 별 LZC 수위변화는 월성 1 호기 이력자료와는 다소 차이를 나타내었다. 교체핵연료가 속하는 zone 의 LZC 수위가 큰 폭으로 상승하거나 반대편 zone 의 LZC 수위가 하락하는 경향은 비슷하나, 가운데 위치한 zone4/zone11 의 등락 경향이 다른 것으로 나타났다. 월성 1 호기 이력자료 분석결과에서는 zone4/zone11 의 LZC 수위가 소폭 하락하는 경향을 나타낸 반면, TA 수행 결과에서는 대부분의 경우 상승하는 것으로 나타났다.([그림 1] 참조) 그 결과, zone4/zone11 에 속하는 핵연료를 교체한 경우를 제외하고는 TA 수행결과와 월성 1 호기 이력자료가 서로 다른 양상을 나타내었다.([그림 2] 참조)

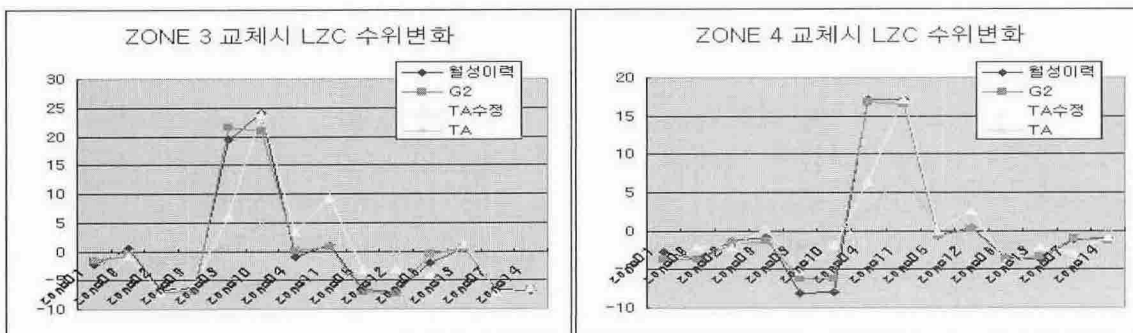
이와 같이 TA 수행 결과 및 월성 1 호기 이력자료에 차이가 나타나는 이유로는 우선 측정 시간에 따른 자료의 부정확함을 들 수 있다. TA 의 경우는 핵연료 교체 이후 원자로가 충분히 안정된 경우를 가정하고 계산하나, 실제로는 전후 다른 핵연료 교체 일정 때문에 교체 이후 원자로가 안정될 때까지 걸리는 충분한 시간을 확보하기가 어렵다. 또 RFSP TA 모듈은 100% TA burnup 을 가정하나, 실제로 교체된 핵연료들은 그렇지 않다는 점도 이유가 될 수 있다. 또한 원자로 바깥 FARE zone 에 속하는 핵연료들은 FARE tool 을 사용하여 교체하게 되는데, 스테인레스스틸 재질인 FARE

tool 이 노내 중성자 및 LZC 수위변화에 영향을 미치는 점도 들 수 있다.

핵연료 교체에 따른 LZC 수위변화는 중수로 노심관리에 있어 중요한 부분을 차지한다. 본 연구에서는 핵연료 교체에 따른 LZC 수위변화를 1)월성 1 호기 이력자료 및 2)업무 참조로 사용되는 Gentilly-2 경험자료, 3)이상적인 모델로서의 RFSP Time-Average 모듈 수행 결과라는 세가지 관점에서 분석하였다. 그 결과 월성 1 호기 이력자료 및 Gentilly-2 경험자료는 비슷함을 확인하였으며, TA 의 경우는 zone4/11 을 제외하고는 다른 양상을 나타내는 것을 알 수 있었다. 향후 설계모델 및 참조자료로서 TA 결과를 고려한 핵연료 교체에 따른 LZC 수위변화 자료에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.



[그림 1] 교체핵연료가 속한 ZONE에 따른 LZC 수위변화(월성이력 및 TA모델)



[그림 2] zone3, zone4에 속하는 핵연료 교체시 LZC 수위변화 비교