# 한빛 5,6호기 격납건물 수소제어계통 개선 연구

**송정석**[1], 이경진[2*]
[1]한수원㈜한빛본부, 전라남도 영광군 홍농읍 홍농로 846
[2]조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309번지
suttonboy@naver.com

## 1. 서론

일본 대지진(2011.3.11.)으로 인한 후쿠시마 원전 사고 이후 우리정부에서 일본 원전사고에서와 같이 설계기준을 초과하는 자연재해 상황에서도 원전 안전성을 확보할 수 있도록 46개의 장·단기 개선사항을 요구하였다. 이 중 한 가지가 발전소 정전사고 시에도 격납건물내의 수소를 제거할 수 있는 수소 제어설비의 설치이다. 한빛 5,6호기는 설계기준사고(DBA)용으로 수소열재결합기를, 중대사고 대비용으로 수소 점화기를 설치 운영해왔다. 그러나 두 설비 모두 발전소 정전시에는 이용 할 수 없다. 이에 전원이 불필요한 피동형수소재결합기(PAR : Passive Autocatalytic Recombiner) 24개를 격납건물 안에 설치하였다. 본 연구는 중대사고시 피동형수소재결합기(PAR) 작동에 의한 격납건물 내에서 수소 제어 능력 평가 결과를 기술하였다.

## 2. 본론

### 2.1 격납건물 수소제어설비

2.1.1 수소열재결합기(Thermal Reconbiner)

한빛원전본부에 설치된 2개의 수소재결합기는 한빛본부 6개 호기에서 공용으로 사용하고 있다. 사고시 격납건물 수소 농도가 3.5 v/o 에 도달하기 전에 한 대의 수소재결합기를 운전하여 격납건물 내의 수소농도를 4 v/o 이하로 유지 할 수 있도록 설계되있다. 산소, 질소, 기타 습분과 5v/o 정도까지의 수소를 포함하는 70 scfm(1.98 $m^3$/min) 유량을 처리할 수 있는데, 가열기를 이용 약 650℃에서 재결합반응을 통해 수소를 제거하는 방식이다.

2.1.2 수소점화기(Ignitor)

수소 점화기는 격납건물내 20여개가 설치되며 설계기준사고를 초과 하는 중대사고시 격납건물 내 평균 및 국부 수소농도를 10 v/o 이내로 유지 하는 기능을 한다. 격납건물 내부의 수소가 4 v/o를 초과하면 미리 수소를 연소켜 높은 농도에서 발생하는 수소의 폭발 또는 연소천이현상(DDT) 등에 격납건물의 건전성이 저해되지 않도록 하는 목적을 갖고 있다. 수소 점화기는 가연성 기체 혼합물에 충분한 열이나 화학반응 물질을 공급함으로써 연소를 자활적으로 유발 시킨다.

2.1.3 피동형수소재결합기(PAR)

PAR는 금속상자안의 하단부에촉매재로 코팅된 카트리지가 수직으로 장착되어 있다. 카트리지에서 생성된 반응열의 온도구배에 의한 부력으로 하단부로부터 원활한 기체유입이 이루어지며, 유입된 기체는 PAR의 카트리지를 통과하여 상단부로 배출된다. 한빛5,6호기는 격납건물안 24개의 중대사고용 PAR가 설치되어 있다.

Table 1. Hydrogen control system(Korea NPP)

| 개선 | 종류 \ 호기 | 고리 1 | 고리 2,3,4 | 월성 1 | 월성 2,3,4 | 한빛 1~4 | 한빛 5,6 | 울진 1,2 | 울진 3~6 | 신고리 1~4 신월성 1,2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 개선 이전 | PAR | O | | | | | | | | O |
| | IG | | | | O | | O | | O | O |
| | TR | | O | | | O | O | O | O | |
| 개선후 설치 | PAR | | O | O | O | O | O | O | O | |

* IG:수소점화기, TR:수소열재결합기

### 2.2 중대사고시 피동형수소재결합기 성능 분석

2.2.1 수소 분석 방법론

가연성기체제어계통 관련 규제요건인 10 CFR 50.34(f) 및 10 CFR 50.44의 수소생성량 관련 요건을 준용하되, 요건에서 제시하는 유효 핵연료피복재 75% 및 100%에 상응하는 수소발생량보다 더 보수적으로 총 150% 금속-물 반응(MWR, Metal-Water Reaction)에 상응하는 수소발생량을 고려하였다. 한편 PAR의 수소제거율 관점에서는 PAR 성능특성의 불확실성을 고려함과 동시에 공급자별로 제시하는 PAR의 수소제거율을 포괄적으로 대표할 수 있는 NUKEM PAR 상관식을 적용하였다. 또한, PAR 성능의 75%만을 적용하여 25%의 성능저하를 기본적으로 적용하였다.

2.2.2 격납건물 노드화

본 분석에서는 총 26개의 제어체적, 58개의 유로 그리고 70개의 열침원으로 격납건물을 모델링하였다. 격납건물 일반 배치 도면에 MAAP 노드 모델을 표기하여 Fig. 1에 제시하였다.

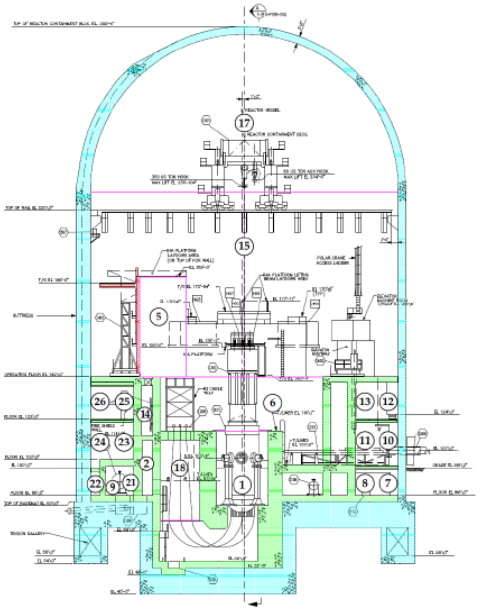


Fig. 1. Containment node model.

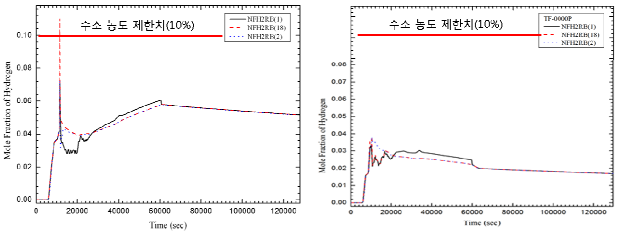
2.2.3 분석대상 중대사고 사고경위

사고경위는 1단계 확률론적 안전성 평가에서의 사고경위별노심손상빈도 및 2단계 내부사건에 기초하여 다음의 6개 대표 사고경위를 선정하였다. 또한, 각 사고경위에 대해 살수계통의 작동 여부, PAR 작동 여부, 안전주입탱크 작동 여부, 안전감압계통(SDS)의PORV 수동 개방 여부 등을 고려하여 분석대상을 선정하였다.

- Large Break LOCA, LBLOCA
- Medium Break LOCA, MBLOCA
- Small Break LOCA, SBLOCA
- Total Loss of Feedwater, TLOFW
- Station Blackout, SBO
- Steam Generator Tube Rupture, SGTR

2.2.4 수소 농도 분석

중대사고 수소분석 결과 모든 사고경위에서 방출격실을 포함한 전 격실의 평균수소농도가 원자로용기 파손 이전에는 최대 6 v/o를 넘지 않으며, 원자로용기 파손 이후 150% MWR에 상응하는 수소 발생량 시점까지는 2.5 v/o 이하이고, 사고 후 1 일 시점의 격납건물 평균 수소농도는 2.0 v/o 미만으로서 장기적으로 점차 수소농도는 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 수소 방출 격실 중 원자로공동과 원자로배수탱크격실, 그리고 원자로배수탱크격실과 인접한 환형구역의 경우, SBO 및 TLOFW와 같은 고압 과도사고경위에서 가압기안전밸브 개방 시점에 순간적으로 10 v/o를 넘는 수소 농도가 나타났다. 그러나 이러한 격실에는 수소뿐만 아니라 함께 방출되는 다량의 수증기로 인해 산소가 매우 희박하여 수소연소가 불가능한 불활성화 상태가 된다. 또한 수소방출격실을 포함한 인접 격실들에 대해 OECD 최신기술보고서의 방법론에 근거한 화염가속 및 연소폭발천이 지수 평가를 수행한 결과, 모든 사고경위, 모든 격실에서 화염가속 및 연소폭발천이 발생 가능성이 없음을 확인하였다.




<PAR 미작동시 수소농도> <PAR 작동시 수소농도>

Fig. 2. Mole fraction of hydrogen : TLOFW.

상기의 TLOFW와 같은 과도사건의 중대사고 사고경위에 대하여 안전감압계통(SDS)의 PORV 수동개방운전조치가 이루어지는 경우에 대하여 분석한 결과, 원자로배수탱크격실(RDT)로 방출되는 경우와는 달리, 가압기격실 상단 외부벽면에 위치한 SDS 파열판을 통해 원자로건물 상부격실로 직접 방출되어, 국부적인 높은 수소농도는 전혀 나타나지 않고 상대적으로 낮은 안전한 상태의 원자로건물내 수소농도를 보여주었다.

## 3. 결론

결과적으로 피동안전특성을 확보한 가연성기체 제어를 위한 PAR를 설치함에 따라, 한빛 5,6호기의 중대사고시 격납건물 내 수소농도를 규제요건인 10 v/o 미만으로 유지하고 국부 지역에서의 화염가속 및 연소폭발천이가 일어나지 않도록 하여 격납건물의 건전성을 유지하기 위한 수소제어능력을 충분히 확보한 것으로 나타났다.

## 4. 참고문헌

[1] 국내 원전 안전점검 결과 보고서, 한국원자력안전기술원, 안전점검단, (2011).
[2] 김봉건, 중대사고에서의 격납건물 수소 제어에 관한 연구, 한국전력공사(2000).
[3] 중대사고 수소분석 안전성평가 보고서(영광5,6호기) 한수원,한전기술(2012).