

제 166 회 원자력안전위원회

의안번호	제 3 호	보 고 사 항
보고일자	2022. 11. 17.	
공개여부	공개	

신한울 1호기 운영허가 조건사항 관련  
PAR 중대사고 기기생존성 평가 유효성 검토 결과

제 출 자	한국원자력안전기술원장
제출일자	2022. 11. 17.

# ■ 목 차 ■

1. 개 요 .....	1
2. 기존 기기생존성 평가의 유효성 검토 내용 .....	2
3. 기존 기기생존성 평가 유효성 검토 결과 .....	7
[붙임#1] 신한울 격납건물 내부 중대사고대처설비 목록 및 현장 사진 .....	8
[붙임#2] SPARC 실험 후 발광입자 손상 흔적 점검 결과 ...	10
[붙임#3] SPARC 실험 장치 내부 가연성 물질 .....	11
[붙임#4] 격납건물 내부 케이블 화염시험 .....	12

# 1. 개요

- 신한울1호기 운영허가 조건 사항에 대한 164회 원안위 보고 내용 중 ‘4. 발광입자 및 유발점화 관련 기기생존성 확인’ 관련하여,
  - KAERI의 KNT社 PAR 실험 과정에서 발생된 발광입자 및 유발 점화로 인한 환경조건이 기존 신한울 1호기 중대사고 대처설비 기기생존성 평가\* 조건에 포괄되는지 검토함

\* 기기생존성 평가

- (IAEA TECDOC-1818) 중대사고 대처설비가 중대사고 환경조건에서 요구되는 기간동안 의도된 기능을 수행할 수 있음을 합리적 수준으로 보증하였는지 확인
- (KINS 안전심사지침) 중대사고 대처를 위해 사용되는 설비들은 작동되어야 할 중대사고 환경에서 필요한 기간 동안 운전될 수 있어야 함

- KAERI SPARC 3회의 실험(‘22.2~3월)에서 수소농도 및 살수 여부에 따라 발광입자 발생 정도, 수소연소 발생 위치, 2차 연소 발생 여부 등에 차이

표 1. KAERI SPARC 실험 조건에 따른 발광입자 및 수소연소 현상

No	실험 조건		발광입자 발생시 상태			수소연소 발생시 상태					
	최대 수소농도	살수 여부	입구 수소농도	측매체 하부 최고온도	발생 여부	평균 수소농도	측매체 하부 최고온도	연소 발생위치	2차연소 (tag 등)	용기 내부 최대 온도	용기 내부 최대 압력
1	약 7.5%	○	4.01vol%	459℃	○	5.93vol%	637℃	PAR 하부	X	320.3℃ (SPT08)	2.39bar
2	약 8%	○	3.93vol%	452℃	○	6.07vol%	647℃	PAR 하부	X	354.1℃ (SPT08)	2.55bar
3	약 9.5%	×*	6.52vol%	822℃	○**	6.37vol%	813℃	챔버 상부	○	572.7℃ (SPT12)	3.26bar

\* 살수(Phase-2) 이전, 수소제거율 시험 단계(Phase-1)에서 연소 발생

\*\* 발광입자 : 1, 2번 실험에서는 살수 시점부터 연소 시점까지 지속적으로 다량 발생 / 3번 실험에서는 수소농도 증가에 따라 소수 관찰되다가 연소 직전 1회 발생

□ SPARC 실험에서 관찰된 현상 중 격납건물 내부 중대사고 대처설비의 기기생존성에 영향을 미칠 가능성이 있는 다음 현상을 검토함

- ① PAR 유발점화에 의한 수소연소
- ② 축매체에서 발생한 발광입자(glowing particle) 현상
- ③ 수소연소 직후 계측기 신호선 인식표(tag) 등에 발생한 2차 연소

## 2. 기존 기기생존성 평가의 유효성 검토 내용

□ 평가 대상 설비 : 격납건물 내부 중대사고 대처설비 [붙임#1 참조]

※ 중대사고 전용 설비(PAR, 수소점화기 등), 각종 밸브, 온도/압력/방사선감지기 등

□ PAR 유발점화(수소연소)로 인한 환경조건 영향 검토

○ 기존 기기생존성 평가의 온도 및 압력 환경조건 분석

- 100% MWR(금속-물반응)에 의한 수소생성량 ██████████
- 수소점화기에 의한 수소 제거시 연소열에 의한 격실 온도 상승
- PAR 수소 제거 반응열에 의한 격실 온도 상승

※ 기존 평가에서는 PAR 수소연소에 따른 열은 미고려

- 수소점화기 유무와 관계없이, 모든 격실에 대하여 격실 온도 1,200K 또는 수소농도 9% 도달시 완전 연소에 의한 격실 온도 상승
- 격실별로 도출된 온도 및 압력 환경조건을 포괄할 수 있는 기기생존성 온도 곡선 및 압력값 ██████████을 설정
- 격실 내 설비의 기기생존성 시험 결과 등이 이를 포괄하는지 확인

○ (재분석 수행) PAR로 인한 수소연소(유발점화)를 반영하여 기존 분석을 수행한 설계사(KEPCO E&C)에서 환경조건 재분석\* (22.9~10)

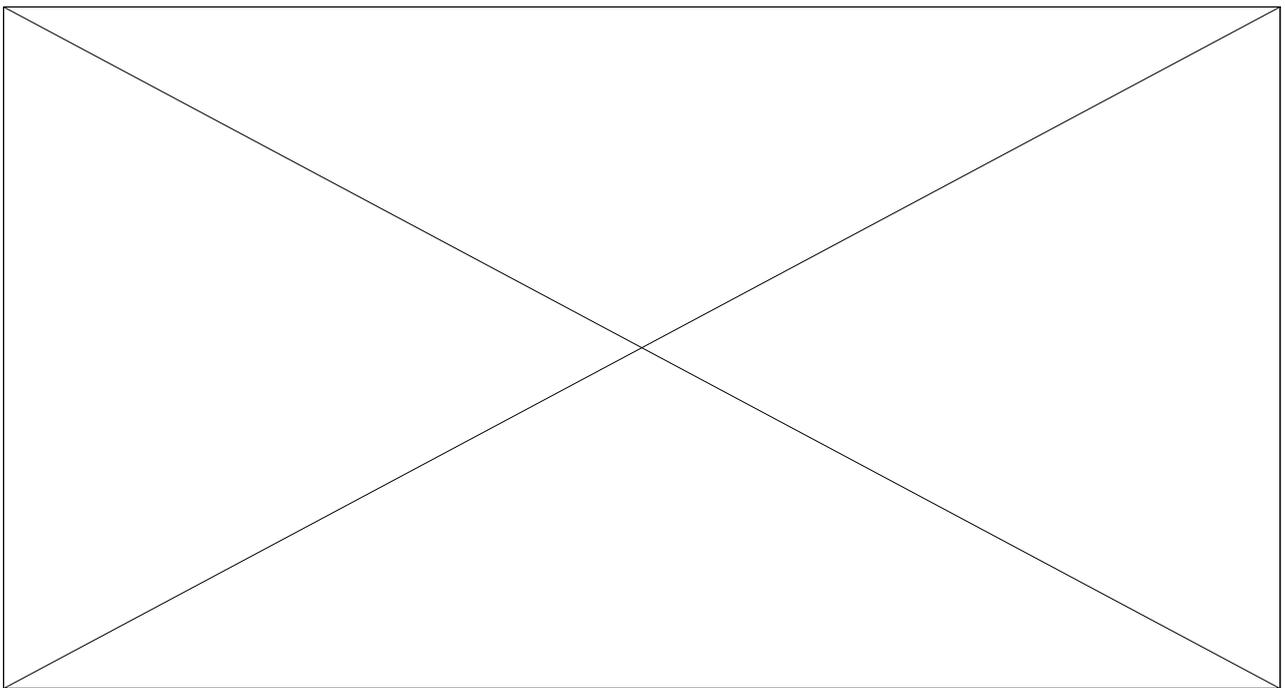
\* ① PAR가 설치된 격실의 수소농도, 산소농도, 증기농도 등이 수소연소 조건에 도달할 경우 연소(유발점화)가 발생하는 것으로 설정

② 기존 분석대상 사고경위들에 대해 모든 격실의 온도 및 압력 재계산

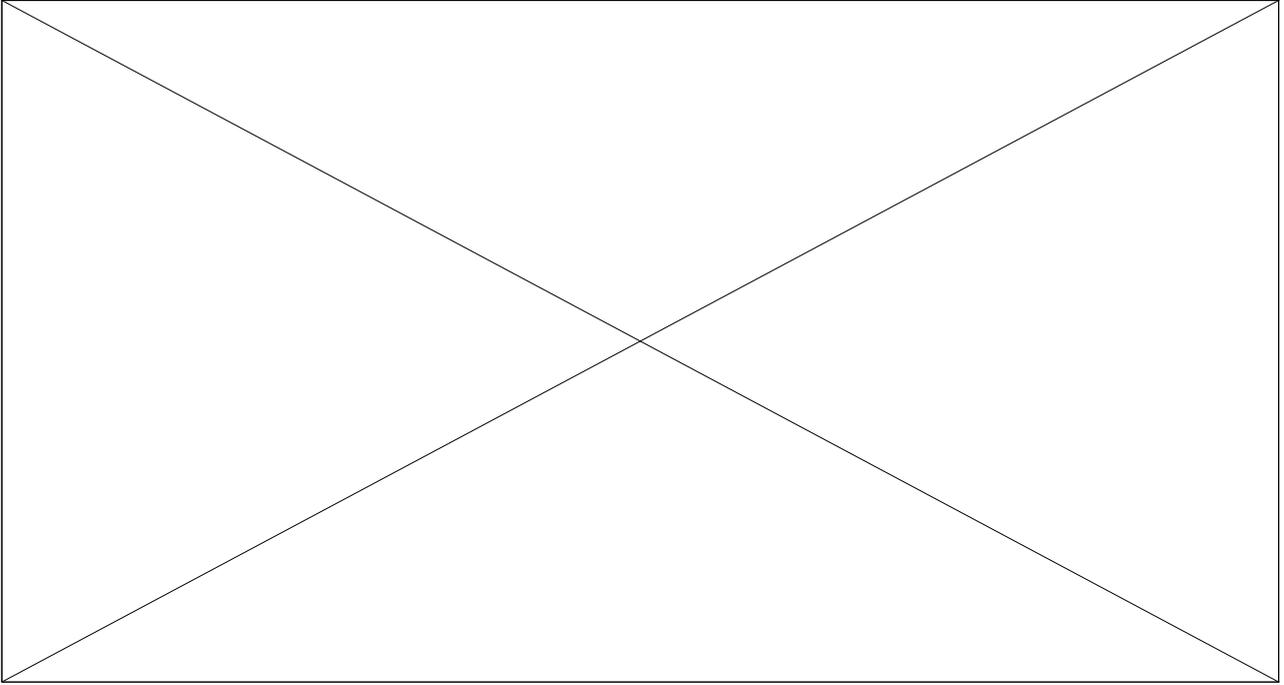
○ (결과 검토) 유발점화를 반영한 환경조건 재분석 결과 검토

- (온도) 모든 격실에서 최대 온도 측면에서 큰 차이가 나타나지 않고 기 설정된 기기생존성 온도 곡선에 포괄됨을 확인

\* PAR 유발점화(수소연소)로 인한 연소열이 추가로 발생하나, 수소가 연소를 통해서도 제거되므로 높은 농도에서 연소되는 경우가 감소하여 전체적으로 큰 차이가 발생하지 않음



[그림1. 기존 기기생존성 평가 온도환경 및 기기생존성 온도 곡선 예시 (돔구역)]

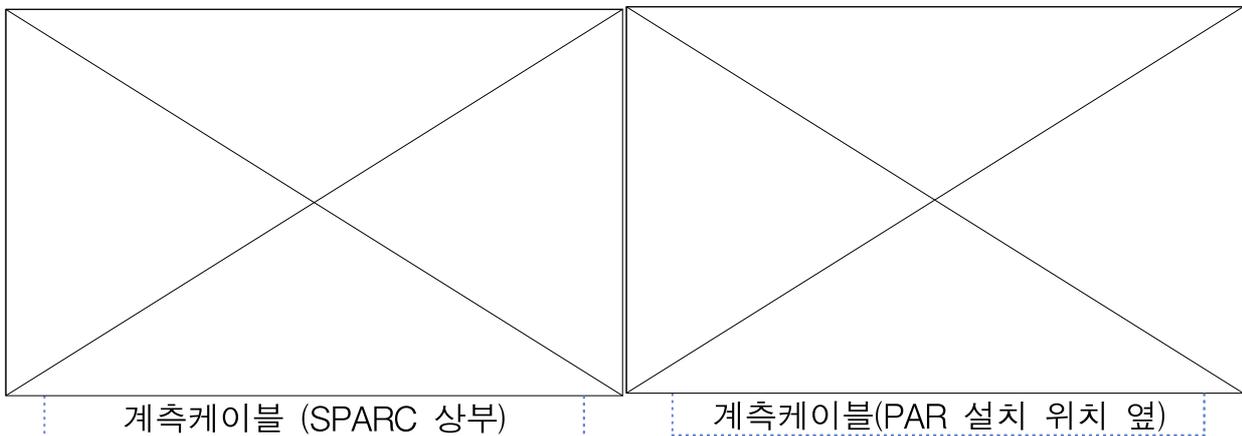


[그림2. 유발점화를 반영한 온도환경 재평가 결과 예시 (돔구역)]

- (압력) 모든 격실에서 최대 압력 측면에서 큰 차이가 나타나지 않고( $\Delta 0.4\text{psia}$ ) 기 설정된 기기생존성 압력값에 포괄됨을 확인

□ 촉매체에서 발생한 발광입자(glowing particle) 현상 검토

- 발광입자가 수소연소(유발점화)를 발생시키는 것 외에, 직접 중대 사고 대처설비에 부착되어 손상을 야기할 수 있는지 검토함
- 발광입자는 4%실험(2회), 8%실험 등 총 3회 실험에서 모두 발생
- SPARC 내부 실험 설비 및 계측케이블 등을 점검한 결과,
  - 8%실험 과정에서 발생한 수소연소로 인한 화재 손상 외에 발광 입자가 각종 기기에 부착되어 발생한 손상 흔적(점상의 흔적 등)이 없음을 확인 [붙임#2 참조]
- 따라서, 발광입자가 직접 기기에 부착되어 기기생존성에 영향을 미칠 가능성이 없음을 확인함



## □ 2차 연소 발생 가능성 검토

- 중대사고시 격납건물 내부에서 SPARC 8%실험시 발생한 2차 연소와 같은 현상이 발생할 수 있는지 검토함
  - 2차 연소는 열전대 인식표(tag) 등에서 발생 [붙임#3 참조]
- 격납건물 내부에는 관련 요건\*에 따라 가능한 불연성 물질 및 내열 재료를 사용하며, 가연성 물질인 케이블에 대해서는 화염시험\*\*을 통해 난연 성능을 확인함 [붙임#4 참조]
  - \* 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제14조(화재방호에 관한 설계기준 등)
  - \*\* 수직으로 배열한 케이블의 하단에 20분 동안 화염을 가한 후, 자연소화 여부와 탄화길이(1.5m 이하)를 확인
  - 격납건물 내부에는 SPARC 실험에 사용된 것과 같은 가연성 물질이 사용되지 않음
- 격납건물 내부에서는 실험에서 관찰된 수소연소로 인한 2차 연소 가능성이 없음을 확인함

### 3. 기존 기기생존성 평가 유효성 검토 결과

---

SPARC 실험에서 관찰된 발광입자 및 유발점화 현상이 기존 기기생존성 평가의 환경조건에 미치는 영향이 없고, 2차 연소 가능성이 없음을 확인함.

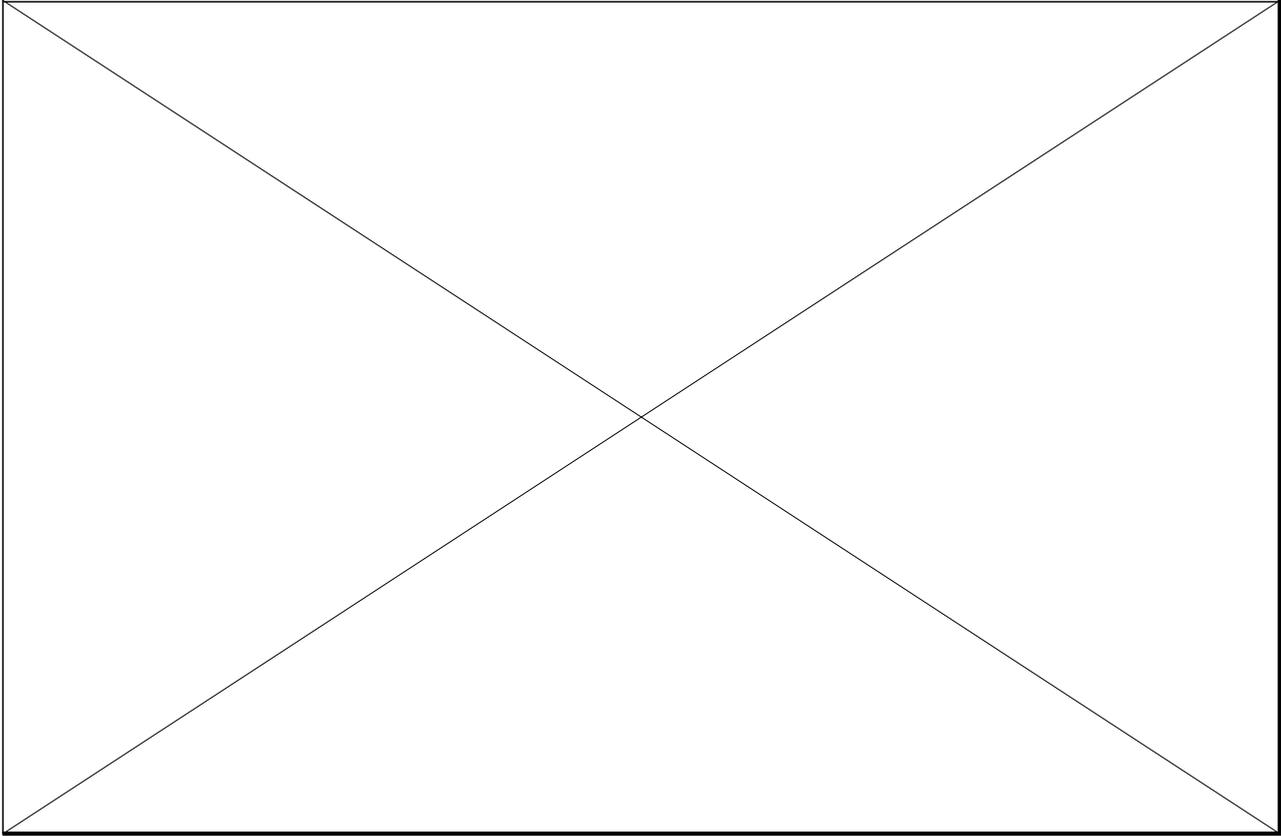
이에 따라, 기존 신한울 1호기 기기생존성 평가 결과가 유효함

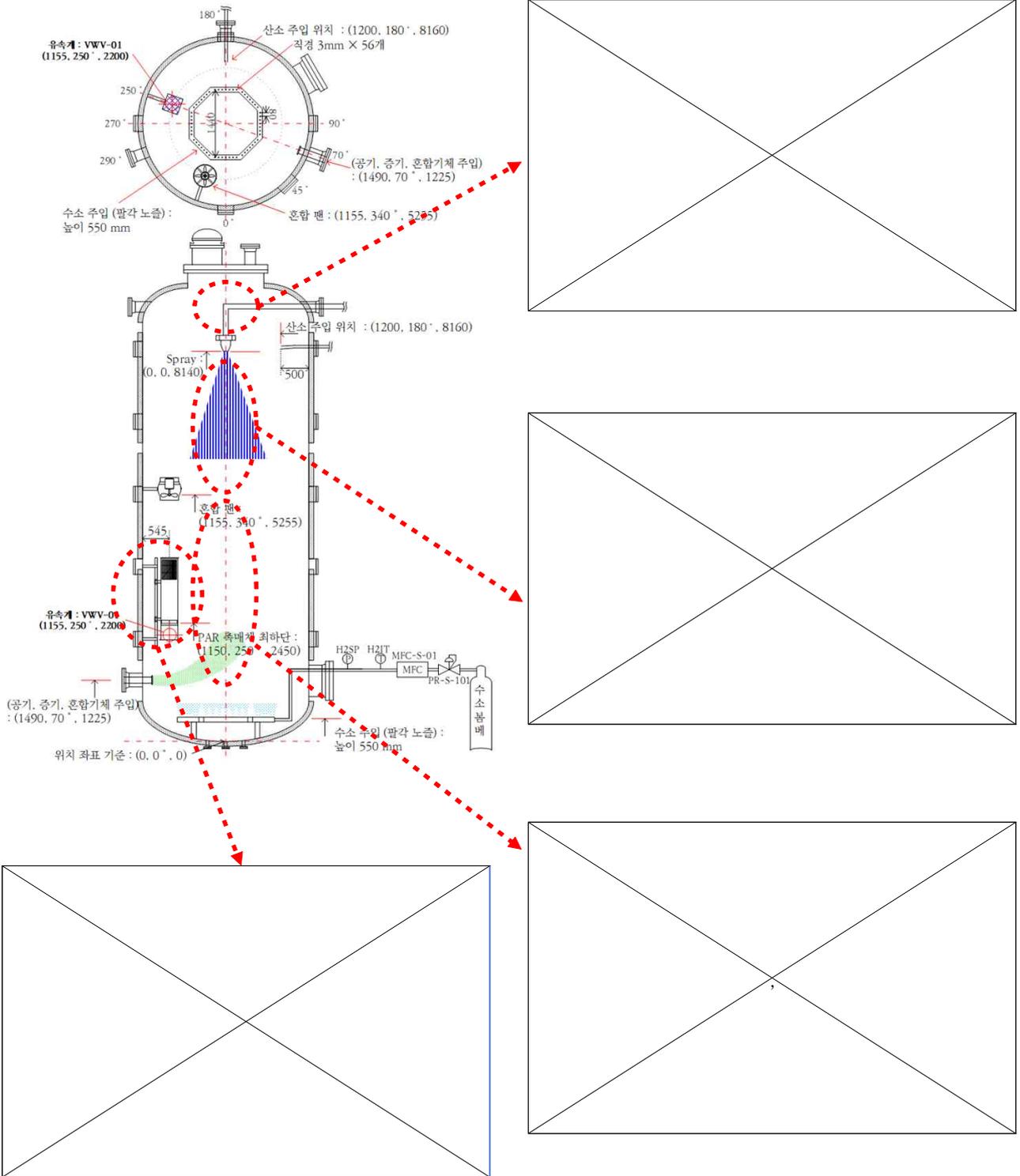
**붙임#1**

**신한울1 격남건물 내부 중대사고대처설비 목록 및 현장 사진**

계 통	기기 및 계기
X	

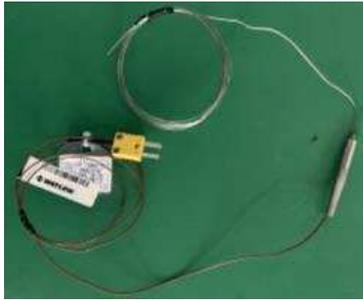
현장 사진 (예시)





### 붙임#3

### SPARC 실험 장치 내부 가연성 물질



- (a) 열전대
- 제조사: WATLOW
  - 모델: AFBC0FQ780U4030
  - Sheath 외경: 0.02인치
  - Sheath 길이: 78인치
  - 리드선 길이: 3 ft
  - 용도: 온도 측정



- (b) 보상도선
- 절연체: 네오플론 PFA
  - 최대온도: 260 °C
  - 용도: 열전대 Sheath선 연장



- (c) Glass Cloth Tape
- 제조사: DUCKSUNG HITECH
  - ITEM NO: 220B
  - 용도: 열전대 고정용



- (d) 알루미늄 테이프
- 제조사: (주)해성테이프
  - 용도: 열전대 고정용



- (e) CABLE TIES
- 사용 온도: -25 ~ 85 °C
  - 용도: 보상도선 묶음용



- (f) 전기테이프
- 재질: PVC
  - 용도: 습도계 고정용 보조물품



- (g) 라벨지
- 제조사: EPSON
  - 용도: 습도계 라벨

**□ 케이블 화염시험 요건 (IEEE 1202)**

## ○ 목적

- 화재의 확산을 최소화하기 위한 케이블의 난연성능\*을 확인하기 위함

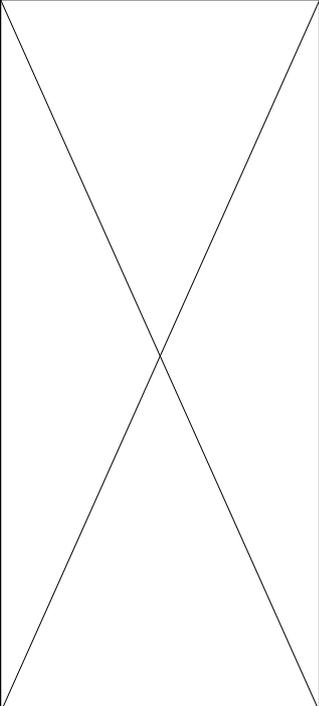
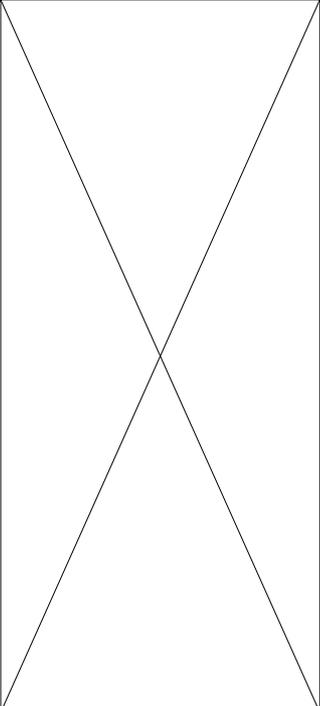
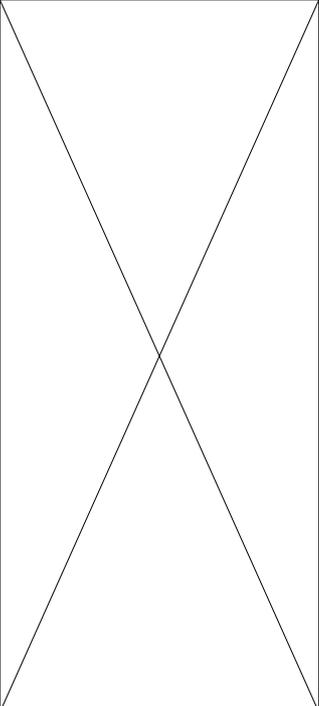
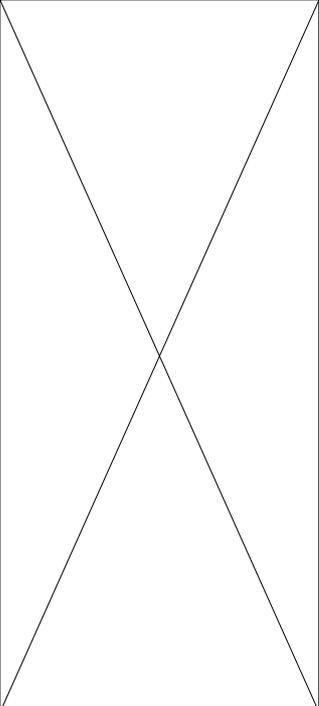
\* 불에 잘 타지 아니하는 성능

## ○ 주요 세부 기준

- 케이블 시편길이 : 2,400 mm
- 화염원(버너) / 화염인가 시간 : 20 kW(70,000 Btu/hr) / 20분
- 허용기준 : 자연소화 후 손상길이 1,500 mm 이하

**□ 신한울1,2호기 케이블 화염시험 결과**

- 신한울1,2호기에는 General Cable社 등 3개 제조사의 케이블 사용
- 각 제조사는 자사 케이블에 대해 화염시험 수행(2012~2017년)
- 시험 결과 손상길이 :

			
〈시험 전〉	〈시험 중〉	〈시험 후〉	〈손상길이〉

〈 안전 담당자 〉

한국원자력안전기술원 안전평가단	
김 민 철 단장	(042) 868 - 0566
장 동 주 실장	(042) 868 - 0772