

제 163회 원자력안전위원회

의안번호	제 1 호	보 고 사 항
보고일자	2022. 9. 15.	
공개여부	공 개	

신한울 1호기 운영허가 조건사항에 따른  
한국원자력연구원(KAERI) 실험 결과

제 출 자	한국원자력연구원 원장 박 원 석
제출일자	2022. 9. 15.

# || 목 차 ||

1. 개 요 .....	1
2. 경 과 .....	1
가. 배 경 .....	1
나. 추진경과 .....	1
3. KAERI SPARC 실험결과 .....	6
가. 실험개요 .....	6
나. 실험결과 .....	8
4. 고찰 .....	15
가. 해외 PAR 사례와의 비교 .....	15
나. 격납건물 건전성 관점 .....	17

[부록] PAR 실험장치

# 1. 개요

신한울 1호기 운영허가 조건사항에 따라 한국원자력연구원(KAERI) SPARC 장비를 활용하여 신한울 1호기에 설치된 PAR를 대상으로 수행한 실험 결과 보고

# 2. 경과

## 가. 배경

- 원전부품 결함 보고의무 위반 등 의혹(국민권익위 공익신고)

공익신고 주요 내용	조사 필요 항목(KINS 제안)
<ul style="list-style-type: none"><li>독일 Becker Technologies 社의 THAI 실험장치를 이용한 '수소위협 실증실험' 통해 다음 결함 확인<ul style="list-style-type: none"><li>- 세라컴 PAR 수소제거율이 구매규격에 현저히 미달(30~60% 수준)</li><li>- 세라컴 촉매가 불티가 되어 날아감</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>THAI 실험 결과 PAR 구매규격에 미달하는 수소제거율에 관한 사항</li><li>세라컴 PAR의 촉매 비산 및 연소에 관한 사항</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>원인규명을 위한 세라컴社 재실험에서 수소제거율이 구매규격에 미달</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>세라컴 재실험 결과 PAR 구매규격에 미달하는 수소제거율에 관한 사항</li></ul>

- KINS, PAR 공익신고 조사계획 보고('21.3.26, 제135회 원안위), PAR 실험계획(안) 1차 보고('21.4.23, 제137회 원안위) 및 이에 대한 원안위원회, 전문가자문단, 공익신고자의 의견을 반영한 PAR 실험계획 수정안 2차 보고(5.14, 제138회 원안위)
- 신한울 1호기 운영허가 승인과 동시에 원자력안전법 제99조에 따른 조건을 부과('21.7.9, 제142회 원안위)

신한울 1호기에 설치된 피동촉매형수소재결합기(PAR)에 대하여 2018년 9월 세라컴社 PAR에 대해 실시한 독일 THAI 시설에서의 수소제거율과 촉매이탈 등 실험과 동등·유사한 실험을 한국원자력연구원에서 조속히 실시하여 2022년 3월까지(제157회('22.5.13), 제162회('22.8.11) 원안위 회의에서 각각 6월, 8월까지로 변경) 최종보고서를 제출하되, 실험 시 신한울 1호기에 납품된 PAR와 동일한 제품을 대상으로 하고 필요시 후속조치를 이행할 것.

## 나. 추진 경과

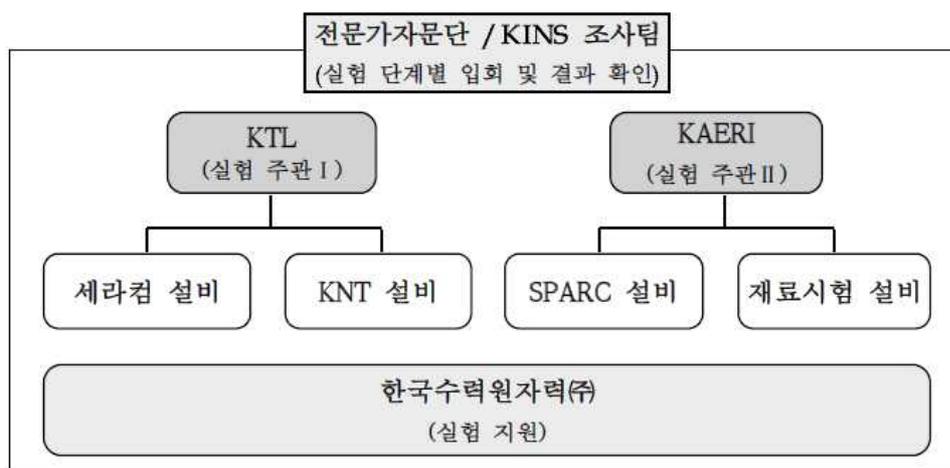
- 한수원, KAERI 용역 계약 체결 및 시행
  - 한수원, 피동형수소재결합기 공익신고 조사관련 실험계획(안)(‘21.07)
  - (‘21.08.01) KAERI, 한수원 공문(‘21.07.29)에 의한 선착수 시행
  - (‘21.10.23) KAERI, 한수원에 ‘용역체결요청’ 공문 발송
  - (‘21.11.22) 한수원, KAERI PAR 실험용역 착수 승인

- 용역내용

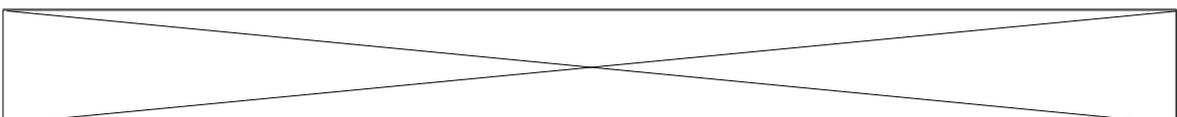
- 독일실험에서 사용한 촉매체의 파괴/비파괴 검사
- PAR 형상등의 영향 확인 및 수소제거율 관련 독립실험장비(SPARC) 실험
- 대상: 신한울 1호기 소형 PAR, 독일시험 1/2PAR, 소형 PAR

- 「PAR 실험점검 소위원회」 구성(‘21.11.12, 제149회 원안위)
  - 소위원회 위원: 하정구 위원(위원장), 이병령 위원, 진상현 위원
  - PAR 실험체계 변경

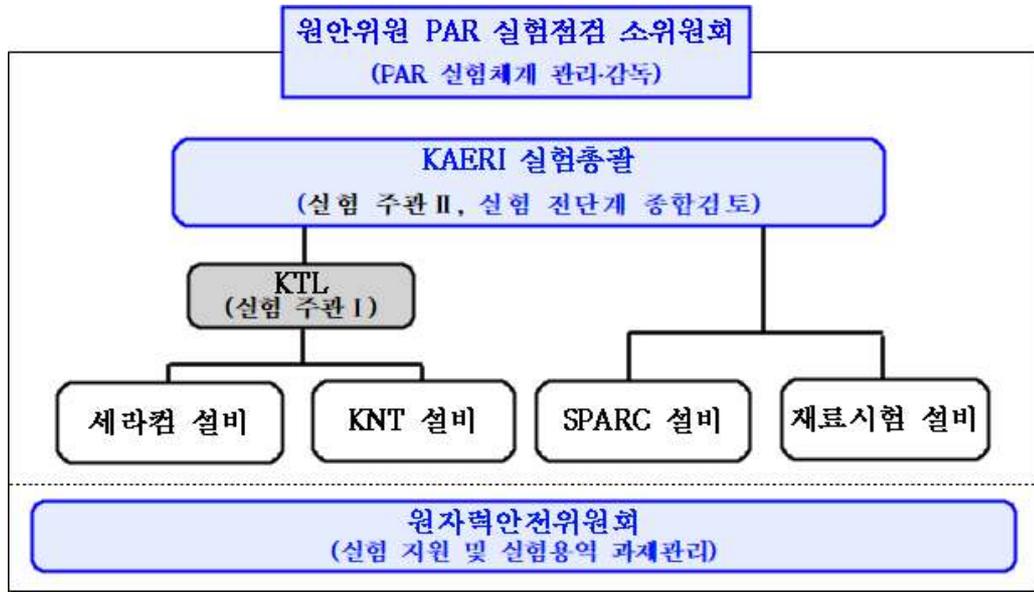
■ 변경 전 (‘21.5.14, 제138회 원안위)



<PAR 공익조사 수행 체계(변경전)>



■ 변경 후 (제149회('21.11.12) 및 제150회('21.12.17) 원안위)



○ 원안위 소위원회-KAERI-검증단 회의 경과

- KAERI, 실험목적 및 범위, 업무 추진 전략 보고('21.11.26)

시험번호(안)	주목적	조건	Skirt 유무	QA 입회
PAR-SPARC-KNT-01	표준조건 <sup>1)</sup> 수소제거율	HR-6 유사	유	○
PAR-SPARC-KNT-02	가압조건 <sup>2)</sup> 수소제거율	HR-7 유사	유	○
PAR-SPARC-KNT-03	표준조건 원형 PAR 수소제거율	HR-6 유사	무	○

1) 표준조건: 1.5 bar, 60℃, 증기 주입, 살수, 최대 수소농도 8%(건식)

2) 가압조건: 3.0 bar, 25℃, 증기 미주입, 살수, 최대 수소농도 6.5%(건식)

※ Skirt(스커트): 원형 PAR 하부에 수소농도 및 속도계측을 위해 설치하는 길이 300mm의 인공구조물

- 최종 승인 조건('22.01.21, 제152회 원안위 회의)

※ 수소농도 8 vol%에서 수소제거율 확인을 통한 구매요건 확인 필요성 제기

시험번호(안)	주목적	조건	Skirt	일정
PAR-SPARC-KNT-01	표준조건 <sup>1)</sup> 수소제거율	HR-6 유사	유	'22.02
PAR-SPARC-KNT-02	표준조건 <sup>1)</sup> 원형 PAR 수소제거율	HR-6 유사	무	'22.02
PAR-SPARC-KNT-03	고수소농도 조건 <sup>2)</sup> 수소제거율	-	유	'22.03
PAR-SPARC-KNT-04	고수소농도 조건 <sup>2)</sup> 원형 PAR	-	무	'22.03

1) 표준조건: 1.5 bar, 60°C, 증기 주입, 살수, 최대 수소농도 8%(건식)

2) 고수소농도조건: 1.5 bar, 60°C, 증기 주입, 최대 수소농도 8%(습식)

※ 최종적으로 KNT-01, KNT-02 실험 후 스킵트 영향 미미 확인으로 KNT-03 제외 후 3회 수행

- 실험준비 현황 및 계획 보고('22.01.06)

- 제작사 PAR 촉매체 반출 현황 및 계획
- 1차실험 실험검사계획서, 실험절차서, 실험계획서 검토 의견 및 수정 반영 내역

※ 촉매체 반출 절차(신한울 1호기 30개, 월성 2호기 35개)

반출계획 수립(한수원) → PAR 외함에서 촉매체 반출(원안위 지역사무소 입회, 일련번호 확인)

→ 방사선 관리구역 반출 처리(한수원, survey 결과지)

→ 촉매체 인출(KAERI 입회, 육안검사, 봉인) → 촉매체 이송 및 제작사 입고

→ 촉매체 재생(KAERI 입회, 봉인 해제, 한수원 절차 준용, 육안검사, 재봉인)

→ 촉매체 KAERI 입고(봉인) → 실험 사용전 원안위 및 KAERI QA 입회 봉인 해제

- KAERI 업무 진행보고('22.03.11)

- 1, 2차 실험결과 보고

- 3차 실험계획 보고

※ KAERI 수소주입방법 변경(연소발생 우려 방지) 고농도 수소실험 계획 보고 ('22.03.15)

→ 소위원회 반대(사유: 방법 2를 사용할 수 없고, 폭연을 확인할 수 없는 실험조건으로 판단) ('22.03.16)

→ KAERI 추가설명(방법 2 불확실성 감소를 위한 계산 구역 조정, 폭연 관찰을 위해 살수시는 기존 주입방법 전환 사용 예정 등) ('22.03.16)

→ 소위원회 최종 실험방법 결정(기존 1, 2차 실험방식 유지, 연소발생으로 8 vol%에서 수소재결합을 측정 불가시 대안으로 제작사 실험을 통해 확인) ('22.03.17)

- KAERI SPARC 실험 수행
  - ('22.02.10) KAERI, PAR-SPARC-KNT-01 실험 수행
  - ('22.02.24) KAERI, PAR-SPARC-KNT-02 실험 수행
  - ('22.03.22) KAERI, PAR-SPARC-KNT-03 실험 수행
- KAERI SPARC 실험보고서 Revision 0 발행('22.8.30)
  - 실험보고서 3종, 재료시험보고서 2종
  - 자문단 의견 6차례 총 27건 접수 및 반영('22.2.21~'22.8.26)

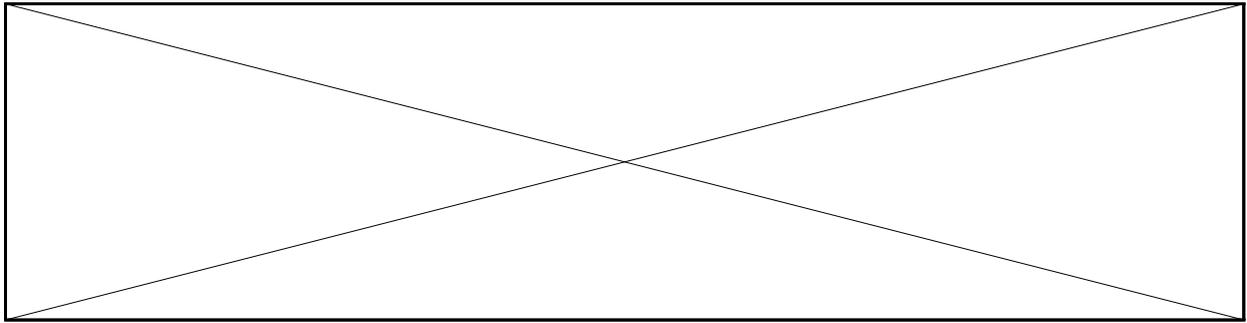
### 3. KAERI SPARC 실험결과

#### 가. 실험개요

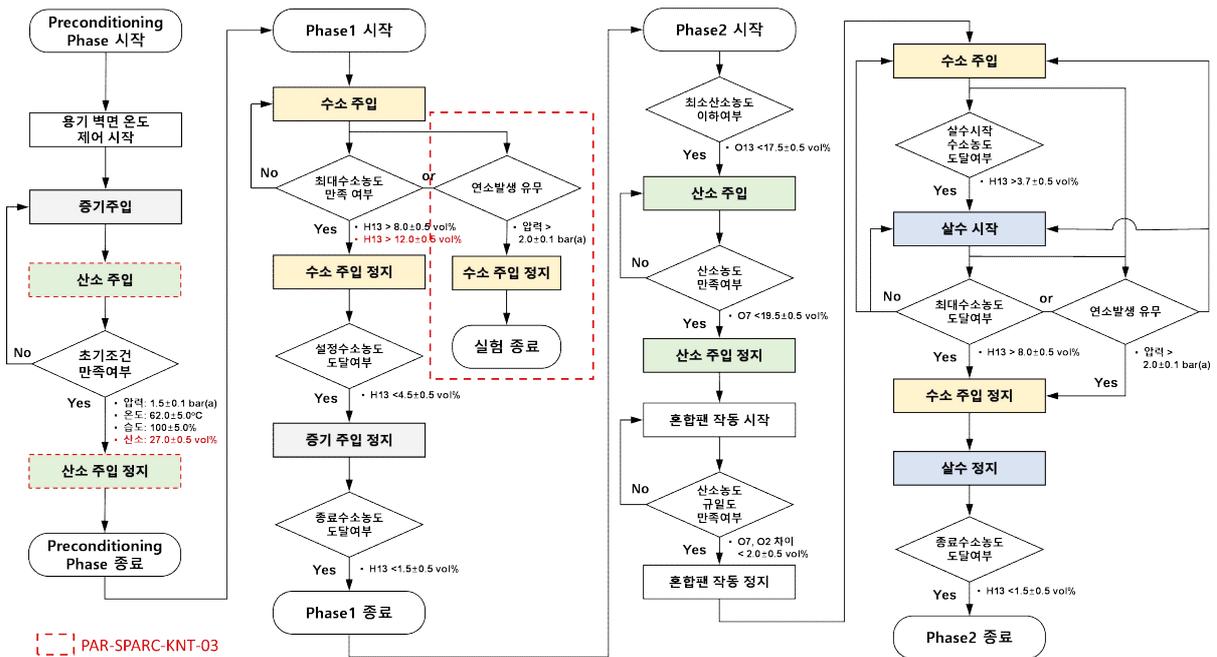
실험번호	PAR-SPARC-KNT-01	PAR-SPARC-KNT-02	PAR-SPARC-KNT-03	
실험일시	2022.02.10	2022.02.24	2022.03.22	
실험목적	- 수소농도 4vol%에서 수소재결합율 측정 - Glowing particle 관찰	- 수소농도 4 vol%에서 수소재결합율 측정 - 스킨트 유무에 따른 수소재결합율 변화 - Glowing particle 관찰	- 수소농도 4, 8 vol%에서 수소재결합율 측정 - Glowing particle 관찰	
PAR 외함 스킨트	- 스킨트* 장착	- 스킨트* 미장착	- 스킨트* 미장착	
관련 문서	실험절차서	PAR-SPARC-TP-01, Rev.1	PAR-SPARC-TP-01, Rev.1	PAR-SPARC-TP-01, Rev.2
	실험계획서	PAR-SPARC-TN-01, Rev.1	PAR-SPARC-TN-02, Rev.0	PAR-SPARC-TN-03, Rev.0
	실험검사 계획서	PAR-SPARC-ITP-01, Rev.1	PAR-SPARC-ITP-02, Rev.0	PAR-SPARC-ITP-03, Rev.0
	실험보고서	PAR-SPARC-TR-01, Rev.0	PAR-SPARC-TR-02, Rev.0	PAR-SPARC-TR-03, Rev.0
	재료시험보고서	PAR-MAT-TR-01, Rev.0 PAR-MAT-TR-02, Rev.0		-
계측	주요 계측인자	- 압력 2개 - 수소농도 14개 - 습도 14개 - 기체온도 14개 - 수소주입량 1개 - 촉매체 온도 6개 - PAR 입구 유속 1개	- 압력 2개 - 수소농도 14개 - 습도 14개 - 기체온도 14개 - 수소주입량 1개 - 촉매체 온도 6개	- 압력 2개 - 수소농도 14개 - 습도 14개 - 기체온도 14개 - 수소주입량 1개 - 촉매체 온도 6개
	보조 계측인자	- 산소농도 14개	- 산소농도 14개	- 산소농도 14개
	가시화	- PAR 관찰카메라 2개	- PAR 관찰카메라 2개	- PAR 관찰카메라 2개
참관자				
* 원형 PAR 하부에 수소농도 및 속도계측을 위해 설치하는 길이 300mm의 인공구조물				

○ 독일 THAI 실험(HR-6)과 유사한 방법으로 사전 승인된 실험절차서 및 계획서에 따라 정상적으로 수행 완료

- 독일 THAI 실험 중 PAR 수소제거 실험 개요
  - 7가지 초기조건 별 실시 (HR-1 ~ HR-7, 각 실험별 2단계로 구성)
  - 실험대상기가: 1/2 소형 PAR



- Preconditioning phase(온도, 압력조건 설정) → Phase 1(수소주입 및 정지) → Phase 2(수소주입 및 살수)



- PAR-SPARC-KNT-01, 02: Preconditioning phase → phase 1 → phase 2 (살수, 연소발생) → 종료
- PAR-SPARC-KNT-03: Preconditioning phase → phase 1(연소발생) → 종료

## 나. 실험결과

### ○ 수소 재결합율

(방법 1) PAR의 입구/출구의 수소농도 및 수소유입량을 이용한 수소제거율 환산

$$\dot{m} = (C_{H_2 in dry} - C_{H_2 out dry})(1 - C_{steam in})(1 + 1.5C_{h_2 out dry}) \frac{P_{in} \cdot v_{in} \cdot A_{in}}{R_{H_2} \cdot T_{in}}$$

C: 수소농도, P: 압력, T: 온도, R: 기체상수, v: 유속, A: 단면적

- 불확실성: 입구유속 분포에 따른 대표유속값 선정(방법 1)

(방법 2) 실험용기 내 설치되어 있는 수소농도 측정결과를 바탕으로 실험용기 전체 수소질량을 계산한 후 시간에 따른 감소율을 바탕으로 수소제거율 환산

$$\dot{m} = M_{H_2 feed} - \frac{d}{dt}(m_{H_2 in Vessel})$$

$$\int M_{H_2 feed} dt = \int M_{H_2 feed} dt - m_{H_2 in vessel} - \int M_{H_2 loss by sampling} dt$$

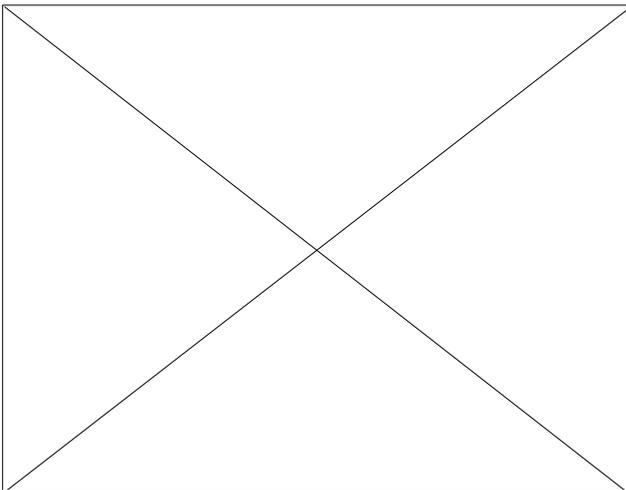
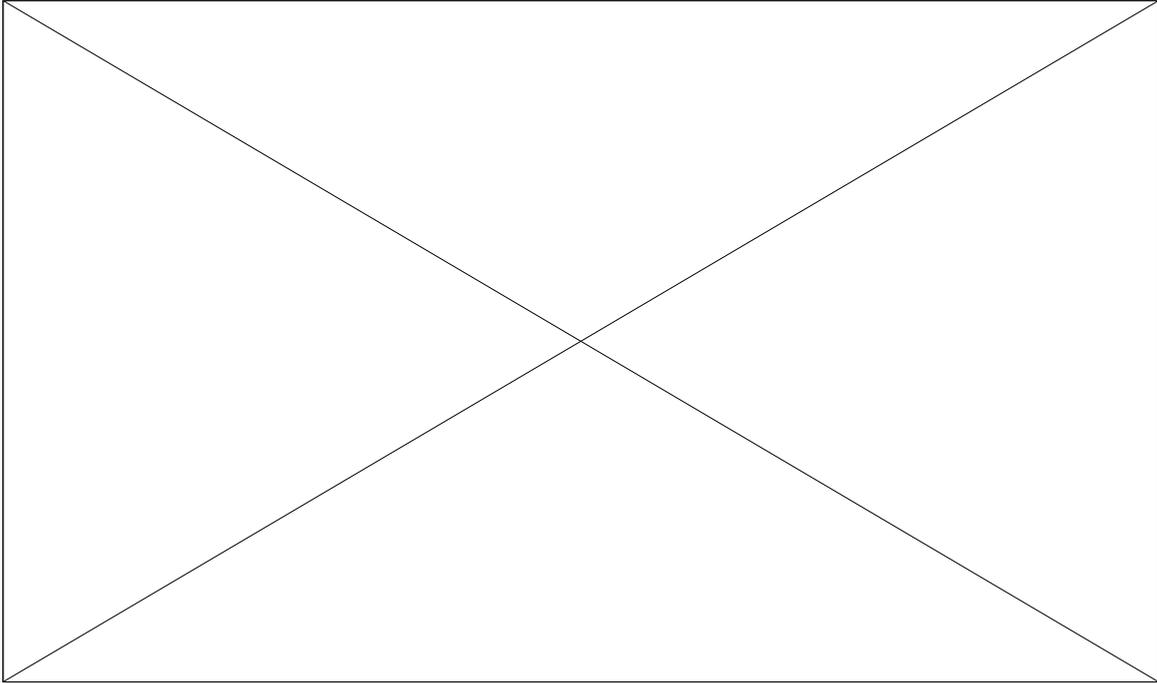
- 불확실성: 수소농도 측정위치에 따른 실험용기 내부 구역화 방법, 재결합된 수소질량 거동 예측 곡선 선정 방법, 대표 수소농도 선정 방법

- 스킵트\* 유무에 따른 수소재결합율 차이 미미
  - ※ 원형 PAR 하부에 측정을 위해 설치하는 길이 300mm의 인공 구조물
- 수소재결합율 환산 방법에 따라 상이한 값을 보이고 (방법2)가 (방법 1)에 비해 작게 예측(독일 THAI 실험과 유사)
- PAR 입구 수소농도 4 vol%에서 수소 재결합율(방법2)은 0.23 ~ 0.25 g/s 로(1.5기압, 60°C 표준조건, 표 1 참조) 구매규격(0.2g/s) 및 격납건물 해석에 사용한 값  을 초과
- PAR 입구 수소농도 8 vol% 시 수소 재결합율(방법2)은 연소발생으로 평가 불가 → 제작사 자체실험장치를 통해 실험 수행 및 평가 중
- KNT-01 실험에서 입구 수소농도 4 vol% 이상에서 수소재결합율은 (방법1)과 (방법2)에서 큰 차이를 발생(그림 1 참조).
  - (방법1)의 경우 수소재결합율이 0.5g/s(입구수소농도 6.2 vol%)까지 증가
  - (방법2)의 경우 수소주입량 차이에 따른 수소재결합율 상한값 존재   

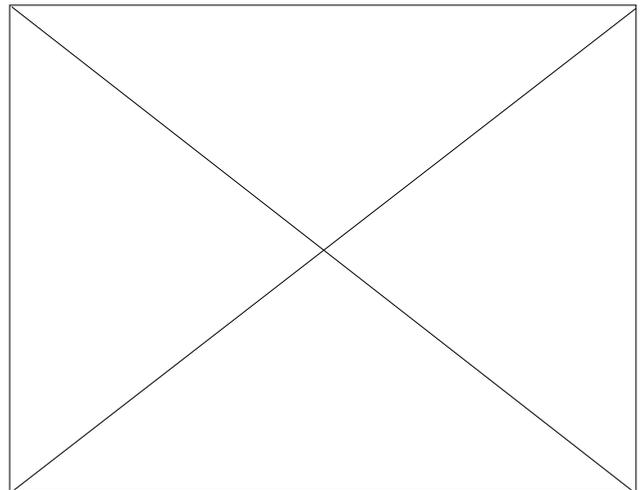

- 수소재결합율 상한값 존재에 따른 원인(실험장치 내 유동특성, PAR 수소제거용량 대비 수소주입량 등 실험방법, PAR 성능 등) 규명 필요

<표 1. PAR-SPARC-KNT-01, 02, 03 실험결과 비교>

(표준조건(1.5 bar, 60℃) 수소재결합율(g/s), 평균  $\pm 2\sigma$ )



(a) PAR-SPARC-KNT-01



(b) PAR-SPARC-KNT-03

<그림 1. 입구수소농도에 따른 시간별 수소재결합율>

○ 발광입자(glowing particle)\* 관찰

※ 가시화 결과 나타난 입자의 용어에 대해 불티(타는 불에서 튀는 작은 불똥), 불꽃(타는 불에서 일어나는 붉은빛을 띤 기운), 화염(가연기체가 산소와 반응하여 연소하면서 발광하는 부분) 등 다양한 의견이 있었음. 고온 촉매체에서 떨어져 나온 입자가 빛을 발하는 원인(단순 고온 입자 유지, 입자 자체 산화반응, 입자 주변 수소 재결합 등)이 현 시점에서 규명되지 않아 단순 관찰에 기반한 “발광입자”로 명명함. THAI 실험에서도 glowing particle로 명명함.

- 살수시 및 미살수 시 입자 다수 관찰 시점 상이

- 살수시 낮은 입구수소농도(4 vol%), 낮은 촉매체 온도(~450℃)에서 관찰  
→ 살수 액적의 촉매체 표면 증발 충격에 의한 입자 방출 추정

- 미살수시 높은 촉매체 온도(822℃)에서 관찰  
→ 고온에 의한 촉매체 표면 담체 이탈 추정

- 입자의 성분은 촉매체 표면에 코팅된 담체 및 백금으로 확인(재료분석결과)

- 실험 후 촉매체 표면 검사 결과 특이점 미발견(재료분석결과)

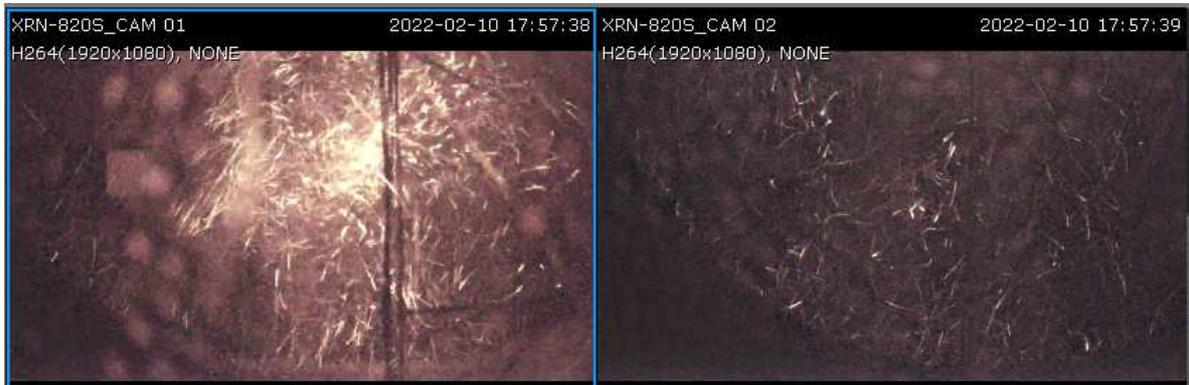
→ 충분한 두께의 촉매체 담체코팅이 존재함을 의미

<표 2. KNT PAR SPARC 실험결과(입자 관찰)>

실험번호		PAR-SPARC-KNT-01	PAR-SPARC-KNT-02	PAR-SPARC-KNT-03
기체 농도	PAR 입구 수소농도	4.01 vol%	3.93 vol%	6.52 vol%
	PAR 입구 수증기농도	9.13 vol%	8.58 vol%	31.72 vol%
	PAR 입구 산소 농도	16.5 vol%	15.94 vol%	15.48 vol%
PAR 촉매체 최대 표면온도		459 °C	452 °C	822 °C
발생 단계		Phase 2(살수)	Phase 2(살수)	Phase 1(미살수)

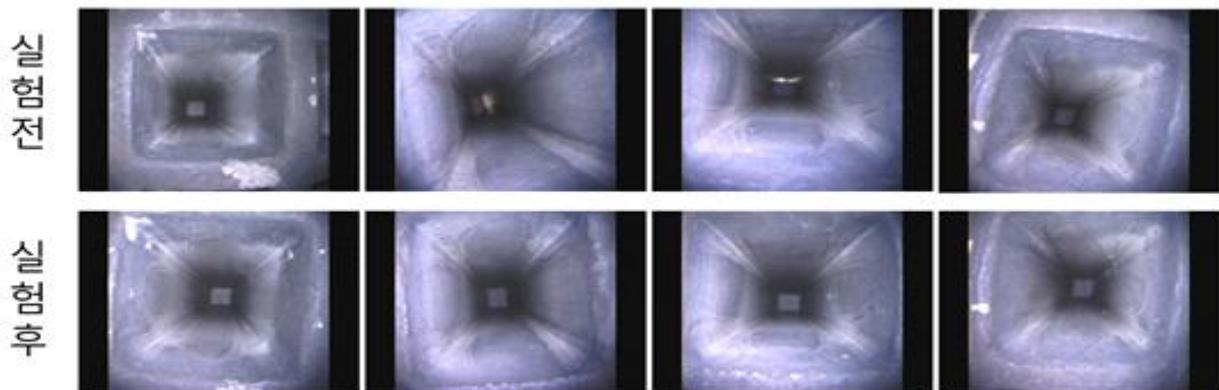


(a) 시험 시작전 사진(좌: 카메라 1, 우: 카메라 2)



(b) 녹화 시작 후 5시간 28분 11초(17:57:39) (좌: 카메라 1, 우: 카메라 2)

<그림 2. 다량의 발광입자 관찰: PAR-SPARC-KNT-01>



<그림 3. SPARC실험(PAR-SPARC-KNT-02) 전후 촉매체 셀 내부 내시경 관찰 사진>

○ 연소 관찰

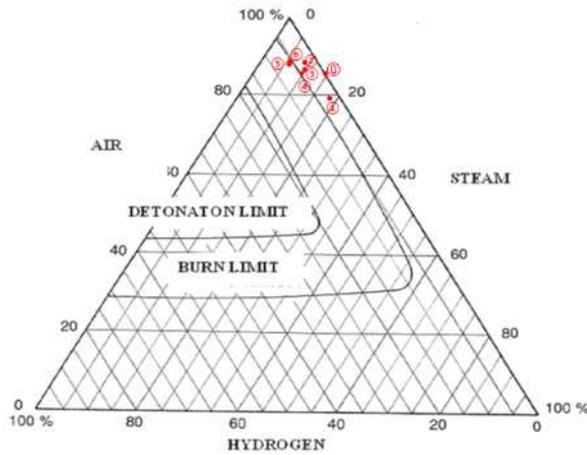
- 수소주입이 계속되면서 PAR를 우회한 잉여수소가 SPARC 용기 내 축적되면서 연소가능 영역에 도달한 순간 연소(폭연)가 발생하고, 이후 수소농도 급격히 감소
  - 용기 내부의 수소농도/수증기농도/산소농도 비와 점화원에 따라 전역 연소발생 유무가 결정
  - PAR-SPARC-KNT-01, 02의 경우 살수에 의한 낮은 수증기 농도로 연소가능 영역 도달(그림 4(a) 참고)
  - PAR-SPARC-KNT-03의 경우 높은 수증기 농도로 인해 높은 수소 농도에서 연소가능 영역 도달(그림 4(b) 참고)
- 연소 후 최대압력은 3.24 bar로써 폭연 영역에 해당
  - 연소는 폭연(deflagration)과 폭굉(detonation)으로 나누며, 폭연에 의한 압력증가는 상대적으로 낮음
    - ※ 연소 전파 속도가 음속 이하이면 폭연, 음속 이상이면 폭굉이라 불림. 폭굉 발생시 충격파로 의해 폭연보다 수십배의 압력상승 발생 가능. 중대 사고시 격납건물 내 수소농도 규제 요건 : 폭굉 방지(10 vol% 이하)

<표 3. KNT PAR SPARC 실험결과(연소발생)>

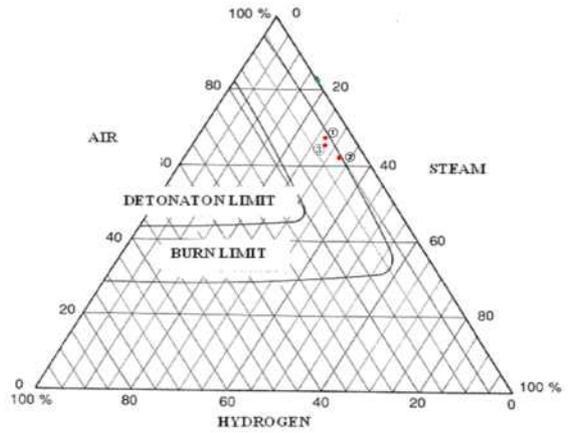
실험번호		PAR-SPARC-KNT-01	PAR-SPARC-KNT-02	PAR-SPARC-KNT-03
기체 농도 <sup>1)</sup>	평균 수소농도	5.93 vol%	6.07 vol%	6.37 vol%
	평균 수증기농도	5.19 vol%	4.27 vol%	28.28 vol%
	평균 산소 농도	13.83 vol%	13.28 vol%	16.21 vol%
PAR 촉매체 표면 최대온도 <sup>1)</sup>		637 °C	647 °C	813 °C
연소 시 최대 압력 <sup>2)</sup>		2.37 bar	2.52 bar	3.24 bar
발생 단계		Phase 2(살수)	Phase 2(살수)	Phase 1(미살수)
Shapiro Diagram 내 영역		Deflagration	Deflagration	Deflagration

1) 연소발생 직전 계측결과

2) 연소 진행 후 최대 압력

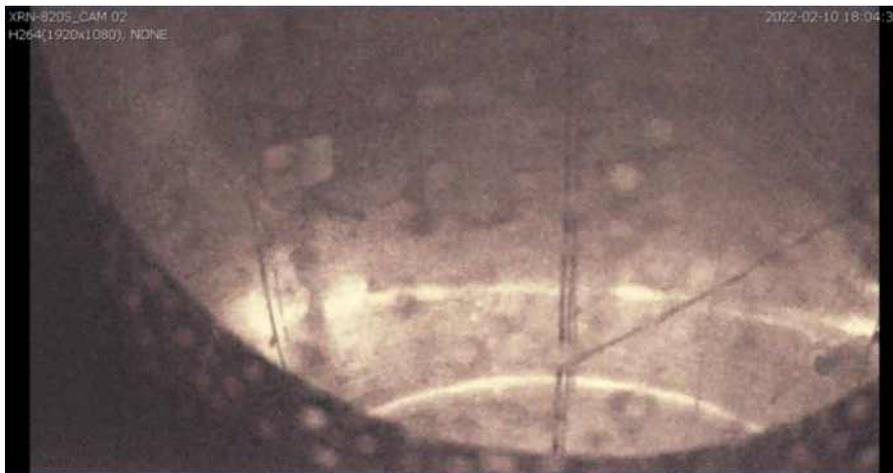


(a) PAR-SPARC-KNT-01



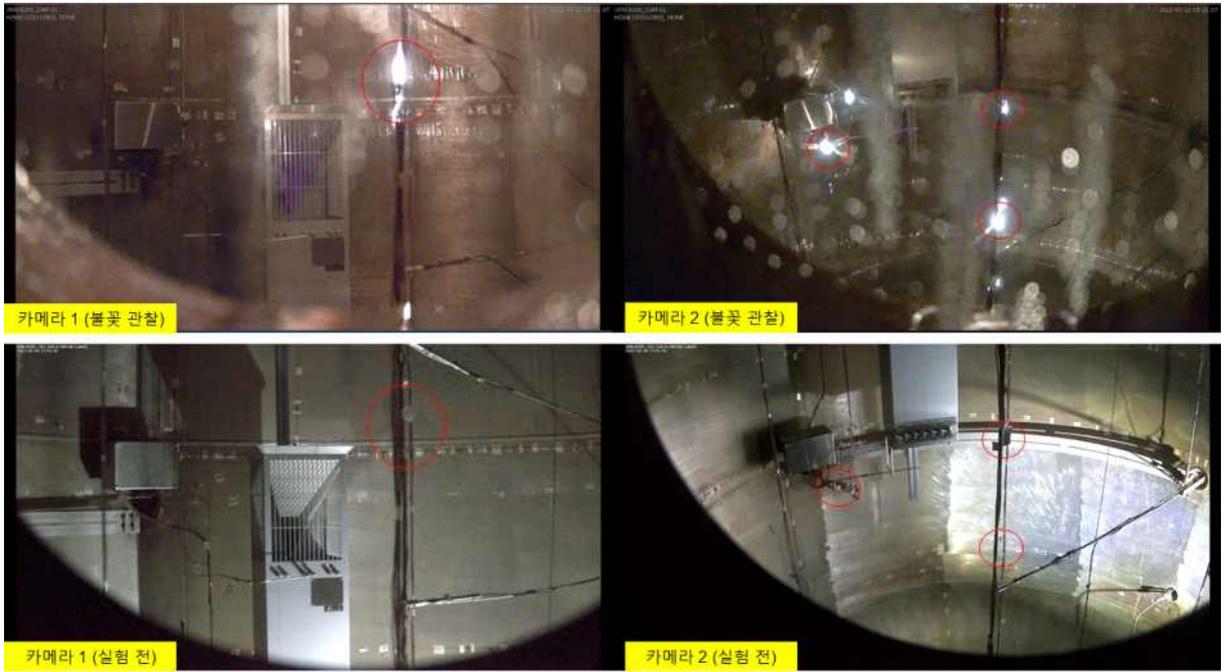
(b) PAR-SPARC-KNT-03

<그림 4. SPARC용기 내 평균혼합기체의 연소발생 가능성>



<그림 5. PAR 입구 근처에서 연소에 의한 불빛 관찰(18:04), PAR-SPARC-KNT-01>

- PAR-SPARC-KNT-03 실험에서 연소 후 두께 0.3mm 이하의 PP, PET, FEP, 종이 재질(열분해 온도 420°C이하) 등의 2차 화재 발생 → 수분 경과 후 자연 소화
  - 난연 재질에서는 2차 화재 미확인
  - 살수 조건에서는 2차 화재 미발생



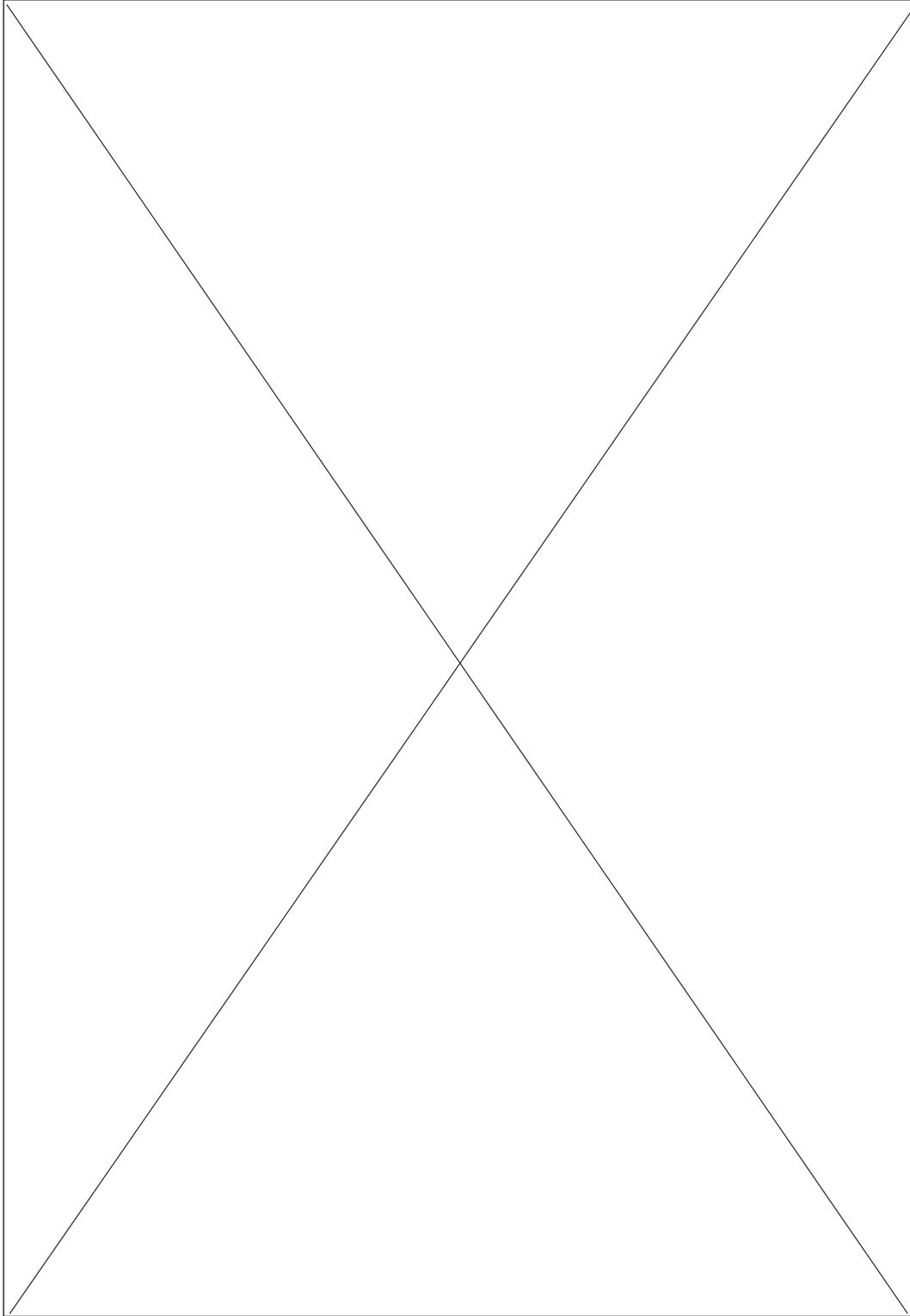
<그림 6. 수소연소 후 관찰된 2차 화염과 발생 위치(좌: 카메라 1, 우, 카메라 2)>

## 4. 고찰

### 가. 해외 PAR 사례와의 비교

- 수소재결합율 평가 기준
  - BT THAI: PAR 수소재결합율 평가를 위해 입구농도 사용, PAR 실험장치는 PAR 작동 시간 내 입구농도와 평균농도 유사, 실린더형 대형 용기
  - SNL Surtesy: PAR 수소재결합율 계산을 위해 입구 수소농도를 사용하여 평가하였으며 기체가 실험용기 내에 잘 혼합된 것을 가정함.
  - AECL LSVCTF(Large-Scale Vented Combustion Test Facility) : 수소재결합율을 수소농도 3곳의 측정치(편차 심하지 않음)를 사용한 평균농도(단순 산술평균로으로 추정)로부터 계산
    - AECL의 경우 혼합기를 사용하여 용기내 수소농도를 균일하게 유도하여 제거율 평가하는 경우도 있음
    - 입구에서의 수소농도가 평균농도보다 높은 경우 입구수소농도를 기준으로 수소재결합율 평가시 보수적
  - 객관적인 PAR 성능평가를 위해 실험방법, 수소제거율 환산, 수소제거율 평가 기준 수소농도 등 표준화 필요
- 수소재결합율
  - 입구수소농도 4 vol%, 5 vol%에서 수소재결합율은 최소 0.23g/s(요건 0.2g/s), 0.34g/s로 요건 만족 수준
  - 입구수소농도 6 vol% 이상에서는 평가 필요
- 발광입자의 발생
  - NIS PAR에서 발광입자 발생 보고
  - AREVA PAR에 대해서는 살수 시 가시화 결과 미확인
  - 발광입자의 발생정도에 대한 정량적 비교 데이터 미존재
- PAR에 의한 연소 유발

- 해외 실험결과 다수의 PAR에 의한 연소 사례 관찰
- SPARC 실험의 경우 AREVA PAR에 비해 낮은 축매체 온도
- 발광입자에 의한 연소 점화 가능성 존재



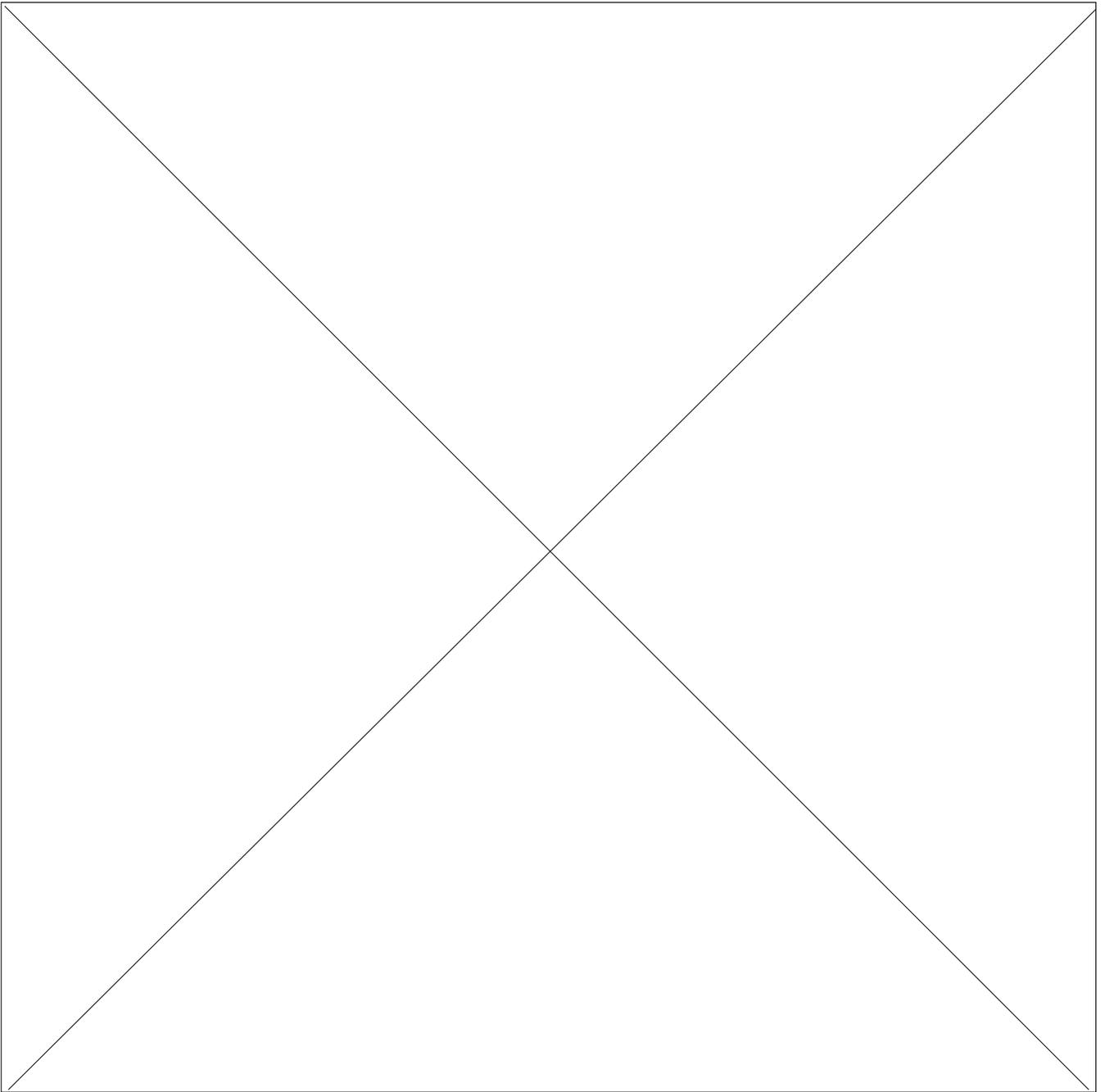
<그림 7. 해외 PAR의 연소 및 PAR 온도 사례(OECD/NEA THAI Project)>

## 나. 격납건물 건전성 관점

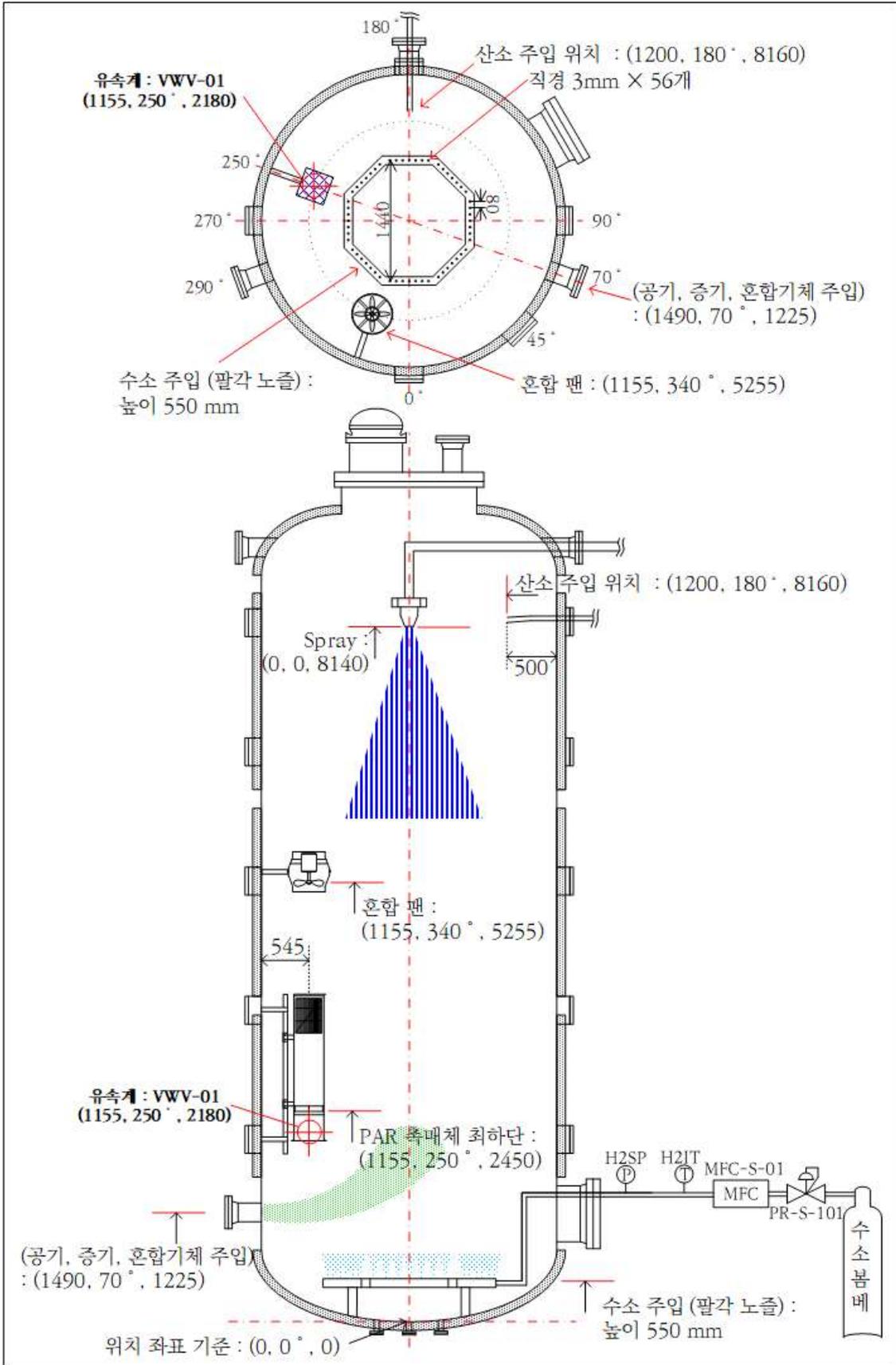
- 기존 인허가 평가 기술 기준
  - 1) 원자로건물 내 평균수소 농도가 10 vol% 이하이고,
  - 2) 가연성 기체 연소에 의한 과압이 발생하더라도 원자로건물의 방호벽 기능이 유지되어야 함.
- KAERI SPARC 실험결과 기반 기존 인허가 평가에 미치는 영향 검토
  - 1) 원자로건물 내 평균수소 농도가 10 vol% 이하이고;
    - 기존 평가 가정: 100% 핵연료피복재 금속-냉각수 반응에 증가하는 수소생성량에 대하여, 원자로 건물에 수소제어설비로서 설치한 PAR 및 점화기에 의한 수소제거만을 고려(PAR 연소에 의한 수소제거 미고려)
      - 평가에 사용된 수소재결합율 에 비해 높은 수소재결합율(수소농도 4 vol%에서 0.23 g/s)을 보이므로 보수적
      - 발광입자 발생 및 연소(폭연)를 겪은 축매체의 건전성 예비 확인 (재료분석) → 실험에 사용한 축매체를 이용한 재실험 필요
        - ※ PAR에 의한 연소를 고려하면 원자로건물 내 평균수소 농도 감소
  - 2) 가연성 기체 연소에 의한 과압이 발생하더라도 원자로건물의 방호벽 기능이 유지되어야 함.
    - 기존 평가 가정: 100% 핵연료 피복재-수증기 반응에 의해 수소가 발생하였을 때, PAR, 점화기 등에 의한 수소 제거 없이 모든 수소가 격납건물 내에 균일하게 분포한 후 일시에 '단열 등체적 완전연소 (AICC, Adiabatic Isochoric Complete Combustion)'를 시킨 후 격납건물이 받는 연소압력을 평가. 이때 수증기에 의한 원자로건물 압력 영향 고려.
      - PAR의 과열된 축매체 및 발광입자에 의해 수소가 축적되기 전 연소가 미리 발생할 경우 원자로건물의 압력상승은 한수원이 평가한 AICC 압력 이하로 추정
        - ※ 수소농도가 낮을수록 연소에 의한 압력상승 감소

- 수소성층화에 따라 높은 수소농도 영역에서 낮은 수소농도 지역으로 화염전파 시 압력 평가 필요
- KAERI SPARC 실험에서 PAR 유발 연소에 의한 2차 화재는 두께 0.3mm 이하의 PP, PET, FEP, 종이 재질(열분해 온도 420°C이하)에 국한. 실제 원자로건물에서 PAR 유발 수소연소에 의한 2차 화재 발생 가능성 및 중대사고시 기기생존성 평가 영향 확인 필요

**부록. PAR 실험장치**



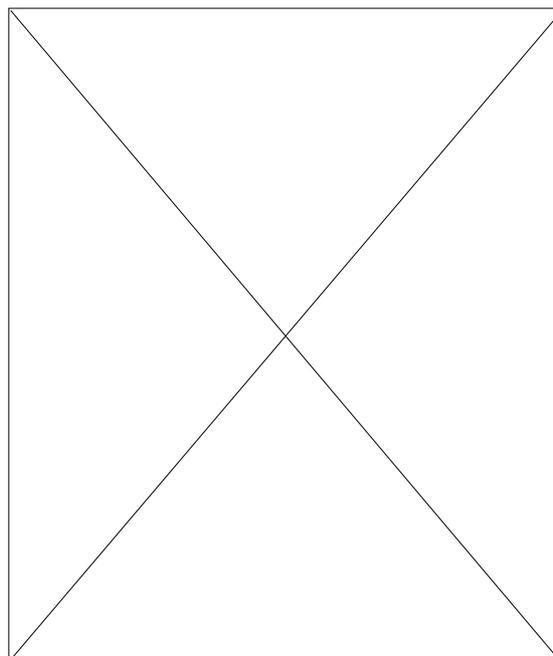
<독일 THAI 실험장치>



<KAERI SPARC 실험장치>



<PAR 사진>



<촉매체 사진>

< 안전 담당자 >

한국원자력연구원 지능형사고대응연구부	
하 광 순 부장	(042) 868-8653
홍 성 완 책임연구원	(042) 868-8997