

## 원자력 발전소내 수소제어설비(PAR) 적용 세라믹 허니컴 촉매의 수소제어 특성

강연석, 서필원\*, 이승현\*, 김기왕, 홍성창  
 경기대학교, 수원시 영통구 의의동 산94-6  
 \*(주)세라컴, 충남 아산시 득산동 312-26  
[schong@kyonggi.ac.kr](mailto:schong@kyonggi.ac.kr)

### 1. 서론

원자로 내의 냉각재 상실 사고(LOCA)가 발생하면 물의 방사분해 및 금속의 부식 등과 함께 고온에서( $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ) 핵연료피복재로 사용되는 부식방지용 지르칼로이(zircaloy)의 산화반응으로 인해 대량의 수소가 발생하게 된다. 이렇게 발생된 수소는 원자로 건물내에 농축되며, 발생된 수소를 제어하는 방식으로 기존의 열재결합기 및 수소 점화기가 사용되어 왔다. 이러한 기존의 수소 제거 방식은 지속적인 에너지 공급이 되어야만 기능이 원활하게 지속된다. 하지만 최근 발생한 후쿠시마 원전사고의 경우에는 대규모 지진으로 인해 비상시 가동되어야 할 전원 공급이 작동하지 못해 수소가 농축되었으며 농축된 수소의 폭발로 격납건물이 무너졌으며 이로 인해 방사선의 외부 노출로 이어진 것이다. 이러한 문제점으로 인해 프랑스, 독일 등지의 유럽에서는 원전내의 수소를 제어하기 위한 설비로 피동 촉매형 재결합기(Passive Auto-catalytic Recombiner)을 많이 도입하고 있는 실정이다.

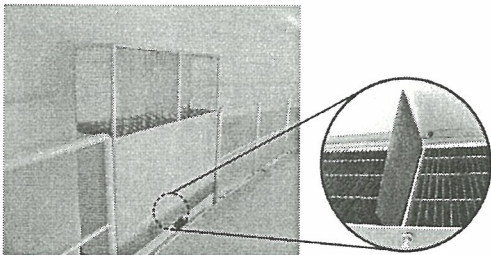


Fig. 1. AREVA-design PAR: Implementation and detailed view on catalyst section.

Fig. 1.은 기존 상용 PAR설비로써 AREVA사의 제품이다[1]. PAR은 촉매반응을 이용하여 원전에서 설계기준사고(DBA) 및 중대사고(SA) 발생시에 상온에서 자발적으로 수소와 산소를 재결합시키며 이때 발생하는 열로 자연대류를 일으킴으로써 별도의 전원이 불필요한 장점을 가지고 있어

수소폭발을 방지하기 위한 효과적인 수단으로 평가되고 있다. 이에 본 연구에서는 PAR설비에 적용 가능한 코팅용 촉매 슬러리를 제조 후 이를 코팅한 세라믹 허니컴을 이용하여 다양한 조건 변화에 따른 수소제거 실험을 실시하여 적용가능성을 기술하였다[1,2].

### 2. 본론

#### 2.1 제조방법

본 연구에 사용된 촉매는 일정비의 활성물질과 비표면적이 높은 담체를 혼합하여 제조된 슬러리를 통기성이 우수하며 표면적이 넓은 다공성 세라믹 허니컴에 일정량을 코팅한 후 열처리 과정을 통하여 제조하였다. 촉매의 코팅 전후의 사진을 Fig. 2.에 나타내었다.

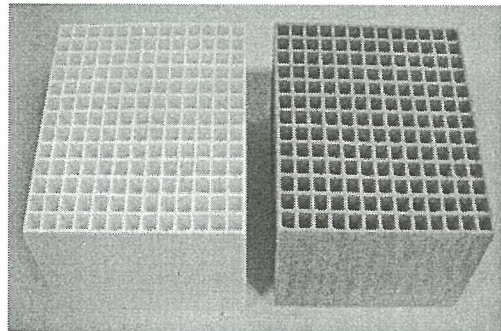


Fig. 2. Picture of raw honeycomb(Left) and catalyst coated honeycomb(Right).

#### 2.2 실험방법

반응기는 연속 흐름형 고정층 반응기로 내경 20 mm 석영관(quartz pipe)으로 제작하였으며, 촉매 층을 고정하기 위하여 quartz tape을 허니컴에 감싸서 촉매를 고정하였다. 반응기에 공급되는 가스는 각 실린더로부터 MFC (Mass Flow controller, MKS Co.)를 사용하여 공급유량을 조절하였다. 반응 물질의 구성은  $\text{H}_2$  vol. 4%,  $\text{O}_2$  20 vol. %, vapor R.H. 100% $\pm$ 5 (1bar & 25 $^{\circ}\text{C}$ ) 와

Balance 가스는 N<sub>2</sub>를 사용하였다. 실험장치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다.

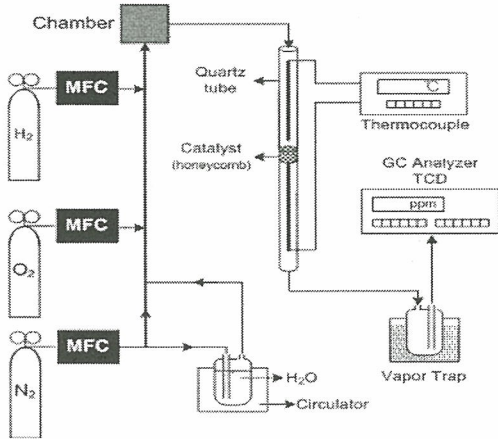


Fig. 3. Schematic diagram of H<sub>2</sub> oxidation reactor.

### 2.3 결과 및 고찰

Park[3]에 의하면 수소제거율은 압력이 증가할수록 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다고 보고하고 있다. 이에 본 실험에서는 1.5 bar보다 낮은 1.0 bar에서 실험을 하였으며, 또한 실내의 온도는 일반 상태인 25 °C를 적용하여 실험을 실시하였으며 실험결과는 Table 1에 표기하였다.

Table 1. Experimental Results.

S.V.(hr <sup>-1</sup> )	Hydrogen Conv. Rate (%)	Outlet Gas Temp. (°C)
100000	93.7	281
70000	98.5	265
60000	99.0	252
50000	99.3	236
35000	100.0	197

Table 1.에 나타난 것과 같이 공간속도가 감소할수록 수소의 전환율은 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 촉매 절대량 및 선속도의 감소에 기인한 것이라 판단된다.

본 실험은 별도의 단열장치 없이 실시되었기 때문에 기상으로의 열 손실이 매우 큰 실정이었음에도 불구하고 반응시작 온도인 25 °C에서 반응 후 촉매층 후단의 온도는 실험 공간속도 전 범위에서 197 °C 이상이 되는 것을 확인 할 수 있었다. 주입 수소 농도가 4 %로 고정된 상태에서 유량을 달리 하여 실험한 결과 공간속도 100000hr<sup>-1</sup>에서 가장 높은 281°C로 측정되었다. 공간속도가 증가 할수록 단위시간당 많은 양의 수

소가 산화됨으로 인해 최대온도 또한 증가 하지만 일정 유량 이상에서는 다량의 불활성 가스의 주입과 수소 전환율의 감소 및 고온으로 올라감에 따른 승온의 방해로 인해 최고온도의 증가 추세는 감소하는 것이라 판단된다. 이처럼 최고온도의 차이는 존재 하지만 위와 같은 온도 차이는 실제 공정에 적용될 경우 자연대류(natural convection)를 일으켜 수소제거율(g/sec)을 향상시킬 수 있으리라 판단된다.

### 3. 결론

본 실험은 실제 공정에서 처리해야 될 수소의 단위 시간당 질량을 고려하여 실험 조건을 수립 하였으며, 실제 원자력 발전소내의 환경조건보다 약조건인 상압, 상압에서 실험한 결과 세라믹허니컴에 코팅된 촉매는 수소제거합 실험에 있어 높은 수소 전환율을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 수소와 산소의 결합시 발생하는 발열로 인하여 실제 공정에서 별도의 에너지원 공급 없이도 자연대류가 가능하리라 판단된다.

### 4. 참고문헌

- [1] S. Kelm, L. Schoppe, J. Dornseiffer, D. Hofmann, E. A Reinecke, F. Leistner, S. Juhe, "Ensuring the long-term functionality of passive auto-catalytic recombiners under operational containment atmosphere conditions-An interdisciplinary", Nuclear Engineering and Design, 239, pp. 274-280 (2009).
- [2] 김종태, 홍성완, 김상백, 김희동, "APR1400의 급수완전상실사고 시 격납건물 내에서 수소와 수증기의 3차원 거동에 대한 수치해석", 한국전산유체공학회지, 10(3), pp. 9-18 (2005).
- [3] 박재원, "허니컴 피동촉매수소제거합기의 성능에 관한 실험 및 해석", 박사학위논문, 서울대학교, 서울, 대한민국 (2011).