

냉중성자원 수소계통의 수소가스 배기

한재삼, 김민수, 조성환, 최효영, 이문, 허순욱, 안국훈, 손우정*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*고려공업검사(주), 서울특별시 용산구 서계동 224-21

ishan@kaeri.re.kr

1. 서론

냉중성자원연구시설(CNRF, Cold Neutron Research Facility)은 하나로 반사체 영역에 설치된 냉중성자원(CNS, Cold Neutron Source)에서 열중성자가 액화수소에 의해 그 에너지를 잃어 감속된 냉중성자를 이용하여 나노 및 바이오 구조연구 등 다양한 기초과학 연구를 수행할 수 있도록 설계되었다.

CNS 수소계통내 수소가스의 순도를 높이기 위해 기존에 수소계통에 충전되어 있던 수소가스 약 378 g을 계통에서 배기하고 순도가 높은 새 수소가스로 재충전하였다. 배기한 수소가스중 약 355.62 g은 수소저장장치(MHU: Metal Hydride Unit)에 저장하였고, 계통내 잔류한 약 22.38 g은 원자로실로 배기하였다.

한편 MHU에 저장된 수소는 원자로실 환기계통의 굴뚝을 통해 모두 배출하였다. 이번 배기 작업은 안전상의 문제를 상세히 검토하여 수행하였고, 이를 확인하기 위해 원자로실 배기유로 내부의 수소가스 농도를 연속적으로 측정하였다.

본 논문에서는 원자로실 배기유로를 통한 수소가스 배출의 안전성 확인 방법과 배출과정을 정리하였다. 또한 수소가스 중 존재하는 미량의 삼중수소의 수량에 대하여 정리하였다.

2. 본론

2.1 MIU내 수소가스의 특성

MHU에 저장되어 있던 수소가스는 하나로써 총 누적 출력량 10.7 GWD 동안 CNS계통의 IPA에서 중성자에 조사되었다. 따라서 CNS계통의 수소가스에는 미량의 삼중수소(H-3)가 포함 되어 있다.

Fig. 1은 H-3의 규제면제 농도와 수량 및 CNS 계통에서 생성될 수 있는 H-3의 이론적인 계산 값과 실제 측정값을 나타낸다. 수소가스 378 g에서 H-3에 의한 방사능 농도는 $1.16 \times$

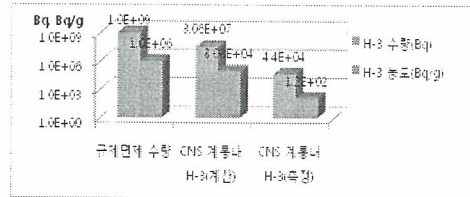


Fig. 1. Concentration and quantity of H-3 in hydrogen gas in CNS.

10^2 Bq/g이며, 총 방사능량은 4.40×10^4 Bq이다. 이 양은 원자력법에서 정한 H-3의 규제면제 농도(1×10^6 Bq/g)의 8,620분의 1, 규제면제 수량(1×10^9 Bq)의 약 22,700분의 1에 해당하여 법적으로 규제면제 대상이다. H-3 수량 4.40×10^4 Bq이 원자로실 배출풍량 30,000 [m^3/h]에 3시간 동안 모두 배출될 경우 삼중수소의 농도는 평균 약 $0.46 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 증가될 것으로 계산되었고, 평상시 배출 농도(1×10^1 Bq/ m^3)에 비하면 그 양이 미미하다. MHU에 저장된 수소가스에 미량이지만 방사성물질인 H-3가 포함되어 있으므로 이를 연속 감시하면서 배출하기 위해 계측기가 설치된 원자로실 배기유로를 통해 배기 하였다.

Table 1. Data of exhaust characteristic.

배기유로 배출 풍량	2000(최중 30,000) [m^3/h]
MHU의 수소 량	355.62 g
최대 허용 배출 율	$\leq 13.3 \text{ Nm}^3/\text{minute}$
최소 허용 배출 시간	0.3 분

2.2 배기유로 내 수소가스의 농도

Table 1과 같이 하나로 원자로실 환기계통 중 수소가스를 배기할 지점의 풍량은 약 2,000 m^3/h 이고 중간에 배기유로가 함유되어 최종 풍량은 약 30,000 m^3/h 이다. 계산에 의하면 MHU 내의 수소가스 약 355.62 g이 최소 0.3 분 이상 일정하게 배출되면 배기유로 내부의 수소가스 농도는 4 %를 넘지 않게 된다. 실체는 전체 수소가스를

약 3시간에 걸쳐 배출하므로 풍량이 2,000 m³/h 인 지점에서 수소가스 농도는 약 0.07 % 이하, 풍량이 30,000 m³/h인 지점에서 수소가스 농도는 약 4.4×10⁻³ % 이하 이며, 이는 수소가스의 관리기준 농도인 4 %의 각각 60분의 1과 900분의 1에 해당 한다.

2.3 수소가스 배기 작업수행 결과

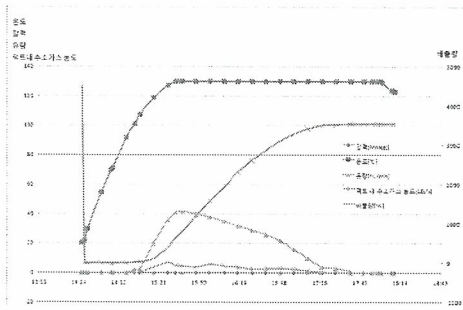


Fig. 2. Exhaust hydrogen gas of MHU.

Fig 2.는 MHU를 가열하여 수소가스를 배출하면서 측정한 MHU 내부의 온도, 압력, 수소가스의 유량 그리고 배기유로 내의 수소가스농도 등을 나타낸다. 수소가스를 배기하기 위해 MHU의 가열기를 켜 후 약 1시간 만에 MHU 내부의 온도가 130 ℃에 도달하였다. 수소가스의 배출율은 최대 42 NL/min 이었고, 배기유로의 풍량 2,000 [m³/h]에서 측정한 수소가스농도는 최대 0.2 % (=5.1 LEL%)이었다. 그리고 유량과 배출량을 확인 한 결과 가열기를 켜 후 약 3시간 만에 MHU의 수소가스는 모두 배출되었음을 확인하였다.

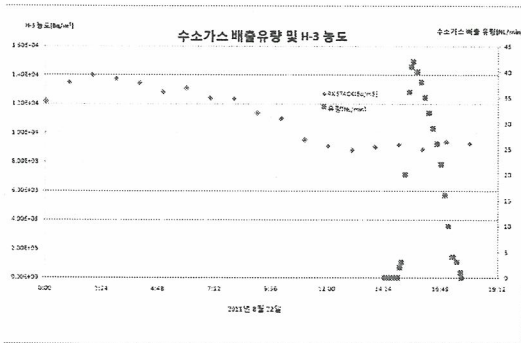


Fig. 3. Compare Flow rate of hydrogen gas with air concentration of H-3.

한편 Fig. 3은 수소가스의 배출율과 원자로실 굴뚝 감시기에서 측정한 삼중수소의 농도이며, 수

소가스를 배출하는 중에도 삼중수소 농도는 약 1 X 10⁴ Bq/m³ 이하로 유지되어 변화가 없었다. 1 X 10⁴ Bq/m³의 삼중수소 농도는 원자로실 굴뚝감 시기의 유도방출 한도(5.067×10⁶ Bq/m³)의 약 500분의 1에 해당하여 H-3의 농도 변화에 미치는 영향이 미미하였음을 알 수 있었다.

3. 결론

CNS 수소계통의 수소가스에 포함된 H-3의 수량은 약 4.40×10⁴ Bq 이었다. 이 수소가스는 최종적으로 약 30,000 CMH의 원자로실 배기덕트 풍량에 희석되었고, 3시간동안 배기하는 중에 H-3의 농도는 평균 약 0.46 Bq/m³ 증가된 것으로 계산되었다. 실제 수소가스 배출 중 원자로실 굴뚝 감시기에서 측정한 H-3의 농도도 1×10⁴ Bq/m³ 이하로 정상시대로 유지되어 그 영향이 미미하였음을 알 수 있었다.

수소가스를 배기하는 중 원자로실 배기유로 내부의 풍량이 2,000 [m³/h]인 지점에서 수소가스 농도는 3 시간 평균 0.07 % 이하를 유지 할 것으로 예측 하였다. 실제 측정한 수소가스의 농도는 완만하게 증가하다 감소하였으며 최대 0.2 % (관리기준 4 %의 20분의 1)로 안전에 영향이 없었다.

4. 참고문헌

- [1] 2011년 하나로 심포지엄, CNS 내 삼중수소 농도변화 고찰, 2011.
- [2] 한국원자력연구원, 냉중성자 연구시설 운영절차서, HAN-TAP-05-OD-COP-OP-002(수소계통), 2009.
- [3] 한국원자력연구원, 냉중성자 연구시설 운영절차서, HAN-TAP-05-OD-COP-OP-007(수소 저장설비), 2011.
- [4] 한국원자력연구원, 하나로 안전성분석 보고서, 12 장 방사성폐기물 관리, 2010.