

중형가스루프용 헬륨정화계통 설계개요

김중호, 이태훈, 이기영, 김용완
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진대로 1045
ihkim5@kaeri.re.kr

1. 서론

헬륨 가스는 열전달 성질이 우수하고, 원자로 운전 온도 범위 내에서 응축되지 않으며 화학적으로도 매우 안정하며 중성자 활성화 정도가 심각하지 않으므로 고온가스로의 냉각재로 사용되고 있다. 헬륨 가스는 고온가스로의 원자로 계통을 순환하고 있으므로 원자로 운전 중에 화학적 불순물 또는 핵반응 결과 방사성 물질이 생성 내지 축적될 수 있다. 대표적인 불순물로는 삼중수소, 산소, 수분, 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 질소, 산화질소, 유황성분, 오일 기타 유기화합물 등을 꼽을 수 있다.

헬륨 가스 내 존재하는 불순물은 계통의 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 계통 내 구조물의 수명을 단축시키는 부영향을 주는 주요 인자라고 할 수 있다. 따라서 헬륨정화 계통은 고온 가스로의 경제성 및 안전성 확보를 위해서는 반드시 필요한 설비라 할 수 있다. 헬륨정화 계통은 정상 운전 시에는 물론 긴급 정지, 핵연료 교체 등 원자로 운전과 관련된 전 과정에서 작동 가능하도록 설계되어 있다.

본 논문은 원자력연구원에서 개발 중인 중형가스루프에 설치하여 중형가스루프의 순환재로 사용되는 헬륨 가스의 공급 및 정화 역할을 수행하고 있는 헬륨정화계통에 관하여, 각국의 기술 개발 현황을 기초로 하여 중형가스루프에 적합한 헬륨정화계통을 개발하고, 그 설계를 개괄하고자 함에 그 목적이 있다.

2. 중형가스루프용 헬륨정화계통설계

2.1 설계요건

헬륨정화계통은 원칙적으로 2계열로 설계되어, 하나의 계열이 상시 운전되고 있으며, 운전되던 계열의 유지, 보수, 기간 동안 나머지 하나의 계

열을 운전하도록 되어 있다. 본 논문에서 제시하는 중소가스루프용 헬륨정화계통은 한국원자력연구원 개발 중인 중형가스 루프의 부속 계통으로 설치하여 운전 될 예정으로 하나의 계열로 되어 있다. 중형가스 루프용 헬륨정화 계통의 운전 조건은 온도 ~400℃, 압력 30~40 bar 이며, 정화계통 입구와 출구에서 불순물의 농도는 Table 1. 과 같다.

Table 1. Design specification of the helium purification system for the medium scale gas loop

	입구	출구
미세입자	< 10 ppm	< 1.0 ppm
수소	< 10 ppm	< 1.0 ppm
일산화탄소	< 10 ppm	< 1.0 ppm
수증기	< 100 ppm	< 1.0 ppm

2.2 개요

중형가스루프를 순환하고 있는 헬륨 가스는 고압, 고온 상태이므로 일차적으로 감압, 냉각된 후 헬륨정화계통으로 유입된다. 중형가스루프의 경우 헬륨가스 내에 존재하는 불순물 중 미세입자, 수소, 일산화탄소, 수증기 제거를 목표로 하였다. 미세입자는 필터를 통하여 우선적으로 제거된다. 수소와 일산화탄소는 산화촉매반응을 거쳐 각각 수증기와 이산화탄소로 전환된다. 그 후 수증기는 냉각, 응축되어 분자체 충전탑에서 흡착 제거된다. 이때 이산화탄소, 질소 산화물 등도 흡착, 제거된다. 마지막으로 초저온 활성탄 충전탑에서 질소, 산소 등 불순물들이 제거되어 최종적으로 정화된 헬륨 가스를 얻게 된다. 중형가스루프용 헬륨정화 계통도를 Fig. 1. 에 나타내었다.

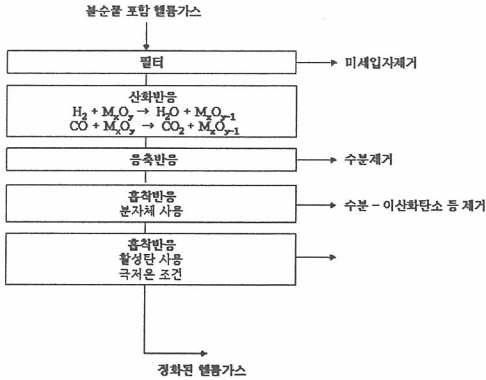


Fig. 1. Schematic diagram of helium purification system for the medium scale gas loop

3. 단위공정 개요

3.1 미세입자제거공정

헬륨정화 계통으로 유입되는 고온부에는 고온용 필터와 칼럼으로 침착된 흡착탄을 흡착제로 사용하는 충전탑을 설치하여 미세입자를 제거하도록 설계하였다.

3.2 수소 제거공정

수소는 일차적으로 300℃로 유지되어 있는, 산화구리 촉매로 충전된 흡착탑에서 산화되어, 수분을 생성하면서 제거된다. 잔존하는 수소는 수소 게터물질로 사용하는 고온의 티타늄 스폰지로 충전된 흡착탑에서 이차적으로 완전하게 제거된다. 헬륨가스의 온도를 촉매탑 운전온도까지 상승시키기 위하여 수소제거 이코노마이저를 설치하였다.

3.3 수증기제거공정

산화구리 흡착탑에서 발생된 수증기는 냉각, 응축된 후 분자체로 충전된 흡착탑에서 흡착, 제거된다.

4. 성능검증

개발 완료된 헬륨정화 계통은 한국원자력연구원에서 개발 중에 있는 중형 헬륨가스 루프에 부착하여 헬륨정화 계통의 출구 요구 조건을 만족시키는지 여부를 확인할 예정이다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력 R&D 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] S. Strausberg, "Helium Purification Subsystem Design Description," DOE-HTGR-86-103, GAT, 1987.
- [2] M. S. Yao, R. P. Wang, Z. Y. Liu, X. D. He and J. Li, "The Helium Purification System of the HTR-10," Nuclear Engineering and Design, Vol. 218, pp. 163-167, 2002.
- [3] N. Sakaba, T. Furusawa, T. Kawamoto, Y. Ishii and Y. Oota, "Short Design Descriptions of Other Systems of the HTTR," Nuclear Engineering and Design, Vol. 233, pp. 147-154, 2004.
- [4] Y. Inagaki, et al., "Cooling Performance of Helium-gas/water coolers in HENDEL," Nuclear Engineering and Design, Vol. 146, pp. 301-309, 1994.
- [5] A. Berjon, F. Dechelette, O. Gastaldi, "Helium Technological Loop for High Temperature Gas Cooled System Technology Development," Proceedings of ICAPP '05, Seoul, KOREA, May 15-19, paper 5413, 2005.