

수소생산용 고온가스로 헬륨정화계통 설계(1)

김중호, 권진경, 이태훈, 이기영, 장중화
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진대로 1045
 jhkim5@kaeri.re.kr

1. 서론

헬륨가스는 열전달 성질이 우수하고, 원자로 운전 온도 범위 내에서 응축되지 않으며 화학적으로도 매우 안정하며 중성자 활성화 정도가 심각하지 않으므로 고온 가스로의 냉각재로 사용되고 있다. 헬륨 가스는 고온 가스로의 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.

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

본 논문은 원자력연구원에서 개발 중인 수소생산용 고온 가스로서 냉각재로 사용되는 헬륨가스의 공급 및 정화 역할을 수행하고 있는 헬륨정화계통에 관한 각국의 기술 개발 현황을 기초로 하여 표준화된 헬륨정화계통을 설계하고자함에 그 목적이 있다.

2. 헬륨정화계통

가. 개요

원자로계통을 순환하고 있는 헬륨가스는 일차적으로 감압, 냉각된 상태에서 헬륨정화계통으로 유입된다. 유입된 헬륨가스 내에 존재하는 불순물 중 미세입자는 필터를 통하여 우선적으로 제거된다. 헬륨 내 존재하는 불순물 중 수소와 일산화탄소는 산화촉매반응을 거쳐 각각 수증기와 이산화탄소로 전환된다. 그 후 수증기는 냉각, 응축되어 분자체 충전탑에서 흡착 제거된다. 이때 이산화탄소, 메탄 및 질소 산화물 등도 흡착, 제거된다. 마지막으로 초저온 활성탄 충전탑에서 질소, 산소 및 그 밖의 방사성 불순물들이 제거되어 최종적으로 정화된 헬륨가스를 얻게 된다. 전형적인 헬륨정화계통도를 그림 1에 나타내었다.

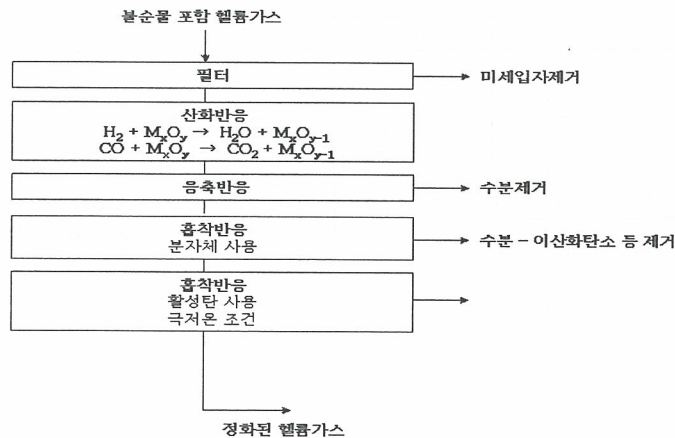


그림 1. 헬륨정화계통 개략도

나. 설계요건

헬륨정화계통은 한국원자력연구원이 개발 중인 중형가스 루프의 부속 계통으로 설치하여 운전될 예정이다. 중형가스 루프를 순환하는 헬륨가스의 정제에 사용될 헬륨정화계통으로부터 정제되어 나오는 헬륨가스 내 존재하는 불순물의 농도는 수소농도 < 1.0 ppm, 산소농도 < 1.0 ppm, 수분농도 < 1.0 ppm을 만족하여야 한다.

3. 고찰

가. 단위공정 개발

헬륨정화계통에 존재하는 불순물을 제거하는 단위공정은 제거 대상 불순물에 따라 장치 구성 및 운전 조건을 달리한다. 따라서 수소, 산소, 수분 등을 제거하는 고유의 단위공정을 설계하고, 각 단위공정의 운전온도, 운전압력 등을 고려하여 상호간의 처리 순서를 결정하여야 한다.

나. 최적화된 단위공정개발

단위공정의 불순물 제거 효율에 영향을 미치는 여러가지 변수를 선정하여, 이들의 영향을 살펴보고 이 결과로부터 특정 불순물을 제거하기 위하여 필요한 최적화된 단위공정을 개발하여야 한다. 이렇게 최적화된 단위공정을 연결하여 최종적으로 최적화된 헬륨정화계통을 개발할 수 있다.

다. 헬륨가스 내 불순물 농도분석

불순물 포함 헬륨가스는 가스제조 인증을 획득한 업체에 의뢰하여 제조한다. 헬륨정화계통을 거쳐서 나오는 정제된 헬륨가스 내에 포함된 불순물의 농도는 가스크로마토그래피 분석 결과를 이용하여 결정한다.

라. 성능검증

개발 완료된 헬륨정화계통은 한국원자력연구원에서 개발 중에 있는 중형 헬륨가스 루프에 부착하여 헬륨정화계통의 출구 요구 조건을 만족 시키는지 여부를 확인할 수 있다.

마. 부속설비

일차계통을 순환하고 있는 헬륨은 고온, 고압이므로 헬륨정화계통으로 유입되기 위해서는 헬륨정화계통의 운전온도, 압력 만큼 냉각, 감압되고, 헬륨정화계통에서 정화된 후 다시 일차계통으로 돌려보내기 위해서는 일차계통 순환가스의 운전온도, 운전압력 만큼 가열, 승압시켜야 하므로 이를 위한 가열기와 냉각기, 컴프레샤 등의 설비가 필요하다.

바. 공정모사기를 이용한 모사

설계 완료된 헬륨정화계통은 중형 헬륨가스 루프에 부착한 상태에서 각 불순물에 대한 제거 효율을 살펴보고, 이로부터 특정 불순물의 제거 실험 결과와 공정모사기를 사용한 모사 결과를 비교, 분석하여 불순물제거 메커니즘에 대한 타당성을 평가할 예정이다.

후기

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

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.