

감쇠기 및 액체질소 이송배관 극저온 냉각 장치 제작 및 성능 평가

김성균, 이동규, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

sungkyun@kaeri.re.kr

원자력연구원에서는 고방사능시설의 해체에 적합한 새로운 해체기술로 극저온 절단기술을 개발하고 있다. 극저온 절단기술은 상온에서 불활성 물질인 액체질소와 연마제를 혼합하여 초고압(300 MPa)으로 가압 분사하여 절단하는 기술을 말한다. 이 기술은 액체질소가 상온에서 쉽게 기화되어 별도로 처리 할 폐기물이 발생하지 않아 고방사능 핫셀과 같은 원자력 시설의 해체기술로 매우 적합한 기술이다. 최근 극저온 절단 장비를 설계 제작하여 성능시험을 수행하였으나 시험 과정에서 매우 심각한 문제가 발생되었다. 분사매질인 액체질소가 극저온 절단 장비를 지나는 과정에서 배관 내의 마찰열과 대기와 열교환으로 인해 극저온 절단 장비 내부에서 급속히 기화되어 절단에 필요한 충분한 압력이 형성되지 않아 절단을 수행할 수 없는 문제가 발생하였다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 극저온 절단 장비의 주요 구성품에 대한 냉각 방안을 도출하였고 CFD 열전달 시뮬레이션을 통해 적용성을 확인하였다.

본 논문에서는 전산 시뮬레이션을 통해 도출한 극저온 냉각장치의 설계 사양과 운전조건을 기반으로 감쇠기와 액체질소 이송배관의 냉각장치의 설계 및 제작에 관해 기술하였고 극저온 냉각장치의 냉각 성능 시험 결과를 기술하였다.

- 극저온 절단 장비 제작

1) 냉매 누설방지용 밀봉재료 및 진공 발생장치 제작

CFD 열전달 해석을 통해 도출한 감쇠기 및 액체질소 이송배관의 설계 사양 및 운전조건을 기반으로 장치를 제작하였다. Fig. 1은 제작한 냉각장치의 설계도면을 나타내고 있다. 극저온 냉각장치 제작 시 냉매 공급 배관의 체결부에서 냉매의 기밀 유지가 매우 중요하였다. 왜냐하면 일반적으로 사용하는 실리콘 O-ring은 극저온 액체질소와 접촉하게 되면 경화되어 쉽게 파손되어 기밀을 유지 할 수 없기 때문이다. 따라서 극저온에서도 경화되지 않고 탄력을 유지하는 재질을 찾기 위해 다양한 재료에 대한 성능시험 결과, PE 재료가 가장 우수한 성능을 보였다. PE 재료는 극저온에서도 경화되지 않고 탄력을 유지하여 극저온 밀봉재료로 매우 우수한 성능을 발휘하였다. 또한 감쇠기와 액체질소 이송배관에 진공을 발생시키기 위해 진공 유지 장치를 제작하였다. 극저온 절단 시스템은 단열을 필요로 하는 부품(감쇠기, 이송배관, 액체질소 공급 장치)이 많으므로 진공 유지 장치는 하나의 진공펌프를 이용하여 3개 이상의 부품을 동시에 진공을 걸 수 있도록 설계하였다. 진공 유지 장치에 사용되는 진공펌프는 한 번에 다수의 부품에 진공을 발생시키기 위해 0.5 마력의 모터를 사용하였고 1.3×10^{-2} torr의 진공도를 발생 할 수 있는 진공 펌프를 사용하였다. 진공 유지 장치에는 버퍼 탱크에 5개의 분배라인을 장착하여 동시에 여러 부품에 진공을 가할 수 있도록 하였다.

2) 감쇠기 및 액체질소 이송배관 냉각 장치 제작

감쇠기와 액체질소 이송 배관 외부의 1차관에는 냉매가 유입할 수 있도록 제작하였으며 2차관에는 진공 상태를 유지할 수 있도록 제작하였다. 1차 배관과 2차 배관의 재질은 냉매의 압력 및 진공에 충분히 견딜 수 있도록 SUS 304로 제작하고 배관의 두께는 약 2 mm 두께로 제작하였다. 또한 냉매의 누설 방지 및 진공상태(10^{-2} torr)를 유지하기 위해 플랜지 타입으로 고정하고, PE 오링을 이용하여 기밀을 유지하였다. 1차 배관에는 냉매가 유입 및 유출 할 수 있도록 3/8인치 포트를 제작하였고 2차 배관에는 배관 내부의 공기를 빼낼 수 있는 vent port를 장착하였다. 감쇠기 출구부에는 출구부 온도를 측정할 수 있도록 Thermocouple을 장착하였다.

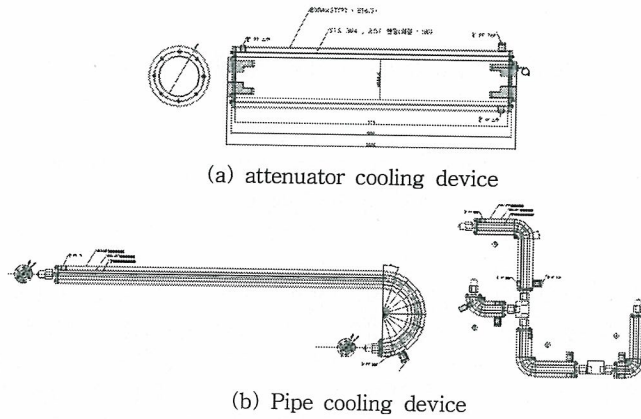


Fig. 1 CAD drawing of attenuator and pipe cooling device

- 극저온 냉각장치 성능 시험

감쇠기 및 액체질소 이송배관에 대한 극저온 유지 장치를 제작 후 장치의 성능 평가를 수행하였다. 그림 2(a)는 감쇠기 극저온 유지 장치의 출구에서 액체질소가 분사되는 모습을 나타내고 있으며, 그림 2(b)는 액체질소 이송배관의 출구에서 액체질소가 분사하는 모습을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 두 장치의 출구에서 액체질소가 잘 분사됨을 확인하였다. 감쇠기의 경우, 냉매만 공급했을 경우 감쇠기 출구에서 액체질소가 분사되는데 약 20분이 소요되었으나 냉매 공급과 진공단열 시 감쇠기 출구에서 액체질소가 분사되는데 약 10분이 소요되었다. 기존 냉각장치가 없는 경우에는 감쇠기의 경우 2시간이 지나도 감쇠기 출구에 액체질소가 분사되지 않았으나 개발된 감쇠기 극저온 유지 공정장치는 비교적 빠른 시간 내에 감쇠기 내부의 액체질소를 극저온 상태로 유지하여 기화를 방지하는 것을 확인하였다. 액체질소 이송배관의 경우 진공단열만으로도 기화방지가 충분하나 진공단열과 냉매공급을 동시에 수행하도록 제작하였기 때문에 감쇠기와 달리 액체질소 이송배관은 액상으로 전환되는 시간이 거의 소요되지 않았다.

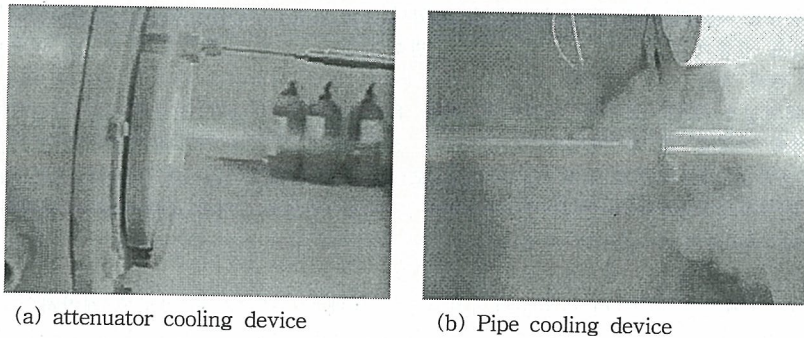


Fig. 2 Test of cryogenic cooling devices

- 결론

본 연구에서는 극저온 절단공정의 문제점인 액체질소 기화방지를 위해 감쇠기와 액체질소 이송배관에 대한 극저온 냉각장치를 설계·제작하였으며 성능 시험을 수행하였다. 성능 시험 결과 감쇠기와 액체질소 이송배관의 출구에서 액체질소가 액체상으로 잘 분사되는 것을 확인함으로써 개발한 극저온 냉각 장치의 성능이 우수함을 확인하였다.