

극저온 절단장비 감쇠기 내부 액체질소 기화 방지 방안 설정

김성균, 이동규, 이근우

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

sungkyun@kaeri.re.kr

원자력연구원에서는 고방사능시설 해체절단 기술 개발의 일환으로 극저온 절단기술을 개발하고 있다. 극저온 절단기술은 액체질소와 같은 극저온 물질과 연마제를 혼합하여 초고압(300 MPa)으로 분사하여 대상물을 절단하는 기술을 말한다. 이 기술의 특징은 다른 해체절단 기술에 비해 2차 폐기물량이 거의 발생하지 않고 대상의 재질에 상관없이 절단이 가능하며 열이 발생되지 않아 화재에 민감한 재료의 절단에 적용이 가능하다. 그러나 액체질소를 이용한 극저온 절단 기술의 문제점은 액체질소를 초고압으로 분사하는 과정에서 배관내의 마찰열과 대기와의 열교환으로 인해 분사 시스템 내부에서 급속히 기화된다는 점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 액체질소가 노즐로 분사될 때까지 액체상태로 유지하기 위한 공정장치가 필요하게 되었다. 극저온절단장비에서 냉각이 필요한 부분은 크게 액체질소 이송배관과 감쇠기 이다. 액체질소 이송 배관은 가압된 액체질소를 노즐까지 이송하는데 필요한 배관을 말하며, 감쇠기는 가압공정장치에서 발생된 액체질소의 불규칙한 맥동과를 제거하여 균일한 압력으로 분사하게 해 주는 역할을 하는 장치이다.

본 연구에서는 Fluent 프로그램을 이용하여 감쇠기 내부 액체질소 기화 방지를 위한 단열방안과 기술사양을 도출하였다.

- 감쇠기 냉각 방식

액체질소는 상온상태에서 액체상태를 유지하기 위해서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 대기압 상태에서는 $-210 \sim -190 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 사이의 온도를 유지해야 하며 극저온 절단 시스템과 같이 약 300 MPa의 고압 상태에서는 $-160 \sim -120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 사이의 온도를 유지해야 한다. 만약 감쇠기에 냉각 장치가 없다면 외부와의 온도차가 $-200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 큰 온도차가 생기므로 감쇠기 내부의 액체질소의 온도는 급속하게 상승하여 노즐로 나가기 이전에 대부분 기화되어 절단을 수행할 수 없게 된다. 이러한 기화방지를 위해 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 감쇠기 냉각공정장치를 개념설계하였다. 먼저 감쇠기 외부를 이중배관으로 감싸고 감쇠기 내부의 온도상승을 방지하기 위해 냉매인 액체질소를 공급하고 냉매가 지나가는 배관 외부에는 진공상태로 유지하여 외부와의 전도 및 복사 열전달을 차단하였다.

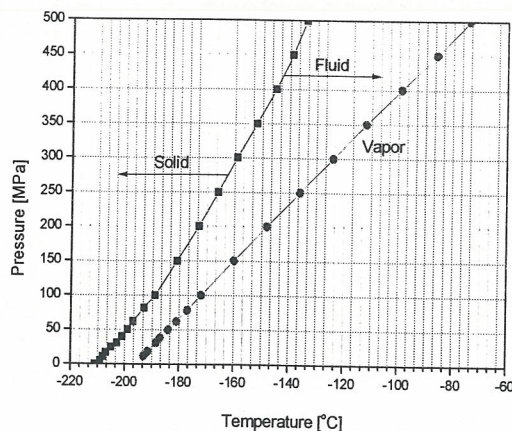


Fig. 1 temperature vs. pressure diagram for liquid nitrogen

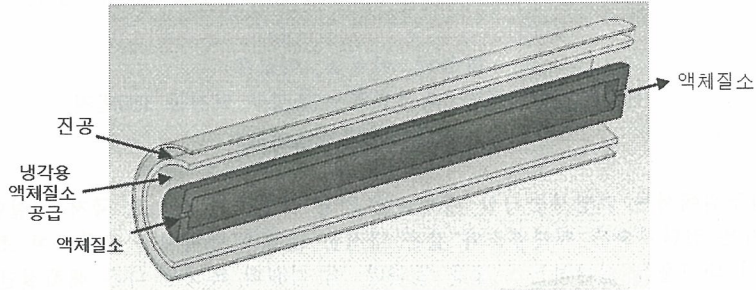


Fig. 2 cooling system of attenuator

- 해석결과

감쇠기 냉각공정 장치의 전산해석은 유동 해석 프로그램인 Fluent를 이용하여 해석을 수행하였다. 그림 3은 감쇠기의 정상상태(Steady state) 해석을 나타내고 있으며 그림에서 보는 바와 같이 감쇠기 내부에 흐르는 액체질소는 온도가 입구에서 출구까지 온도 상승 없이 유지됨을 확인하였다. 또한 감쇠기 외부를 직접 냉각하기 위해 사용한 냉매도 냉매가 지나가는 배관 외부를 진공 단열함으로써 외부와의 열을 차단함으로써 출구까지 온도변화 없이 액체상태로 유지됨을 확인하였다.

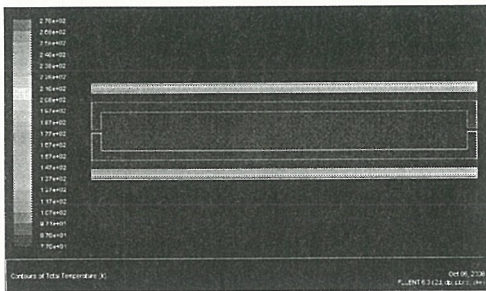


Fig 3. temperature diagram at the steady state of attenuator cooling system

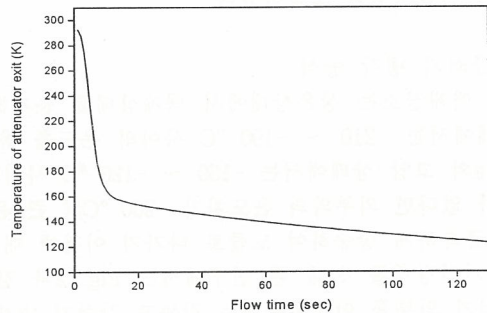


Fig 4. temperature variation of attenuator exit with respect to flow time

그림 4는 과도 열전달 해석(Transient analysis)을 통해 시간에 따른 감쇠기 출구부의 온도 변화를 나타내고 있다. 시간이 지남에 따라 상온 상태에서 온도가 감소하여 액체질소의 액상조건인 $-160 \sim -120 \text{ }^\circ\text{C}$ 사이인 120 K에 도달함을 확인하였고 이 시간까지 도달하는데 약 120 sec의 시간이 소요됨을 확인하였다.

- 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 극저온 절단공정의 문제점인 감쇠기 내부에서의 액체질소 기화방지를 위해 감쇠기 냉각공정 장치를 개념·설계하였고, 설계의 적합성을 파악하기 위해 유체 열전달 해석을 통해 감쇠기 출구에서 액체질소가 액체상으로 존재함을 확인함으로써 설계의 타당성을 확인하였다. 향후계획으로 열전달 해석결과를 기반으로 감쇠기 냉각공정 장치를 제작하여 성능시험을 수행할 예정이며 냉각공정 장치가 완료되면 극저온 절단 공정장치에 장착하여 각종 절단변수의 변화에 따른 절단 성능 실험을 수행할 예정이다.