

중수로 FM(Fuel Machine) 필터 저장용기 개발

김남천, 박태교, 김명호

케이엔디티앤아이(주)

tgpark0@nate.com

1. 서론

월성원자력발전소는 중수로형으로서 감속재 및 냉각재로 중수(D₂O)를 사용하므로 방사선작업종사자 연간 피폭방사선량의 약 1/3이 삼중수소로 인한 내부피폭이 차지한다. 이러한 이유 때문에 방사선작업종사자가 작업을 수행시 불편한 점이 많고 발생하는 방사성폐기물을 처리함에 있어서 삼중수소를 배재할 수 없는 실정이다. 계획예방정비 기간 중에는 많은 양의 필터를 교체하게 되는데 이 중에서 방사선량이 높고, 삼중수소 농도가 높은 필터가 많다. 그 중에서 대표적으로 핵연료교환기 정화필터와 냉각재 계통 축 밀봉계통 필터가 있는데, 이러한 필터들을 처리하는데 있어서 이송용기로 사용하는 2.5톤 차폐플라스크의 부족으로 인하여 작업지연, 작업인원의 과도한 투입, 삼중수소 농도 증가원인 발생 등의 문제점들이 있다. 이러한 내용들을 보완하고자 중수로 핵연료교환기 정화필터(이하 FM 필터) 저장용기를 개발하게 되었다.

2. 본론

중수로형 원자력발전소는 경상운전중 수시로 일정량의 핵연료를 교환하고 있으며 이를 위하여 핵연료교환기가 설치되어 있다. 핵연료교환기는 2대가 설치되어 있으며 핵연료교환기에는 중수가 공급된다. 공급되는 중수는 중수 공급계통내 3개의 정화필터에서 1차 정화후 핵연료교환기에 공급되기 전에 2개의 정화필터에서 각각 독립적으로 재정화후 공급된다. 이때 사용된 정화필터는 계획예방정비 중에 5개 모두가 교체된다. 냉각재 펌프 축밀봉 계통의 밀봉장치는 밀봉용 중수를 공급함으로써 냉각재가 펌프 축을 따라 흘러나오는 것을 방지하게 되는데 이 계통에 필요한 필터는 2개가 있으며 정상운전시 1대가 운전중이며 나머지는 격리되어 있다. 계획예방정비시 교체된 정화필터의 방사선량은 수백 mR/h, 삼중수소농도는 수백 DAC이며, 이는 반출에 적합하지 않아 원자로 건물내에서 장시간 보관후 반출, 저장함으로써 FM 필터(φ132×높이 1,320mm) 5개, GS 필터(φ132×높이 1,149mm) 2개 총 7개의 필터를 전량교체하기 위하여 시간이 많이 소요될 뿐 아니라 이로 인하여 핵연료교환기 전체계통의 공기를 지연하는 사례가 발생한다.

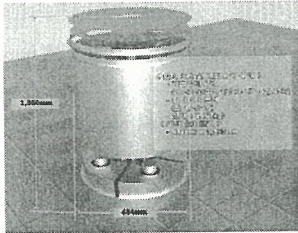
FM필터의 처리공정은 계획예방정비 기간중에 원자로건물 지하(R-012)에 위치한 FM 필터룸에서 폐필터를 인출하여 차폐플라스크에 담는다. 폐필터에 중수가 잔류하여 있으면 이송 중에 삼중수소로 인한 내부피폭 우려가 있어 원자로 건물 지하 1층 R-013앞 통로에 Air Blower를 연결하여 자연건조시키게 되는데 그 기간이 약 3일정도 소요된다. 이때 중수 건조시간이 길기 때문에 설치되어있는 Air Blower가 정상적으로 작동하지 않으면 원자로 건물 전체에 삼중수소가 확산될 우려가 있다. 중수가 완전히 건조된 것을 확인한 후 크레인홀로 폐필터가 담긴 차폐플라스크를 이동시켜 전용운반 차량에 적재후 저장고로 이송하여 저장고에 보관하게 된다. GS필터(냉각재 계통 축 밀봉계통 필터)는 원자로 건물 R-302에 위치한 필터룸에서 폐필터를 인출하게 되며 인출후의 공정은 FM 필터 처리공정과 같다. 이때 투입되는 인력은 1회 작업시 7명의 인력이 소요된다. 이 모든 작업을 수행하기 위하여 약 21일의 작업기간이 소요되게 된다.

상기 처리공정과 같이 동일한 작업을 수행함에 있어서 필터 이송 용기가 없어서 1개의 폐필터를 이송한 후 건조하여 저장고로 옮기는 동일한 작업을 수회 반복하는 단점을 보완하기 위하여 폐필터 인출 직후 저장할 수 있는 용기를 개발하게 되었다. 저장용기를 개발함에 있어서 고선량의 필터를 차폐할 수 있는 능력, 공기 중 삼중수소를 저감할 수 있는 기능, 투입인력 감소효과 및 폐필터 교체 후 잔여중수 회수에 중점을 두었다.

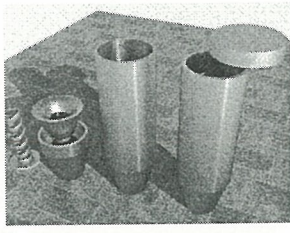
월성1발전소에서 발생된 과년도 폐필터의 방사선량은 3,000 ~ 12,000 mR/h 이다. 본 저장용기의 차폐두께는 60mm로 설계를 검토 중이며 개별저장용기의 차폐효과는 반영하지 않았다. 차폐선량을 계산하면 차폐물질인 납의 밀도는 11.3g/cm³, $\mu = 0.714\text{cm}^{-1}$ 이고, $\mu : 1.3\text{Mev}$ 광자 기준으로 가정하였

을때 $I = I_0 \times e^{(\mu t)} = 25,000\text{mR/hr} \times e^{(0.714 \times 6)} \approx 165 \text{ mR/hr}$ 으로 운반기준을 만족하게 된다.

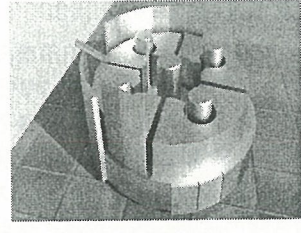
폐필터 인출 후 Air Blower를 발전소 계통인 중수증기회수계통과 연결하여 공기중 삼중수소 농도의 증가를 방지함으로써 작업자의 내부피폭을 감소 시킬 수 있다. 또한 동일한 작업을 7회 수행하여야 하므로 작업자 7명이 7회에 걸쳐 작업을 실시하는 것을 2회로 줄일 수 있어 인력에 대한 절감 효과도 기대할 수 있다.



<폐필터 저장용기 본체>



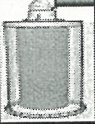





<개별필터 저장용기>



<저장용기 하부>

폐필터 저장용기는 폐필터를 인출하여 1개씩 저장하는 개별용기와 개별용기를 안착하여 건조후 이송을 위한 본체, 그리고 잔여 삼중수소 회수를 위한 배수 설비, 폐필터내에 남아있는 잔여 삼중수소를 제거할 수 있는 배기 설비로 구성되어 있다.

폐필터 저장용기 본체는 5개의 폐필터를 모두 인출하여 저장한 후 건조시키면 작업기간이 1일로 단축되어 용기개발 전에 15일 소요되던 작업을 1일에 수행할 수 있게 되었다. 건조가 완료된 후 이송용기로 허가를 득한 10톤 차폐플라스크에 넣은후 저장고로 이송하게 된다. 이는 저장용기 제작후 별도의 허가없이 저장고로 5개를 한꺼번에 전량 이송할 수있기 때문에 효율적이다. 개별필터 저장용기는 하부에 배수 설비를 설치하여 폐필터 저장용기 본체에 안착되었을 경우 자동 배수되어 중수회수 계통으로 보내지게 된다.

항목	개선전	개선후
필터개별 저장용기	 필터플라스크내 고선량필터를 직접삽입	 필터 개별저장용기 개발로 중수드레인이 가능
필터저장 용기본체	 하부드레인 설비 부재로 건조시간 증가	 하부드레인 설비 설치로 건조시간 단축
용기이동용 전동바퀴	 플라스크 자체 이동바퀴 부재에 따른 필터교체시간 증가	 용기자체에 전동 바퀴장치가 있어 교체시간 단축

<개선전후 비교>

3. 결 론

본 저장용기 개발로 인하여 계획예방정비시 공정에 상관없이 필터 교체를 희망하는 시간에 FM 필터 5개를 한꺼번에 인출함으로써 용기가 없어서 공정이 지연되는 우려를 없앨 수 있고, 또한 리터당 20만원 상당의 고가의 중수를 본 용기를 통하여 회수 가능하므로 정비기간중 약 7~10리터의 중수를 회수할 수 있다. 또한 Air Blower를 통하여 자연 건조할 경우 작업장으로 삼중수소가 확산되어 작업자의 내부피폭이 발생할수 있는데, 이를 방지하는 효과도 있다. 현재로서는 작업자가 필터 한개를 인출하기 위하여 7명이 필요하며, FM필터의 경우 동일한 작업을 5회 실시하여야 하므로 작업효율 측면에서는 약 500%의 Man-day 절감효과를 볼 수 있다.

폐필터 저장용기를 개발함으로써 작업장 주변의 공기중 삼중수소 농도 저감효과, 필터건조기간 단축으로 인한 작업공간 확보, 계획예방정비 공정 지연요소 해결등의 효과를 볼수 있었고 작업수행중 발생될 수 있는 절차위반의 우려도 없앨 수 있는 효과를 기대한다. 본연구 결과물인 '원자력 발전소 방사성 오염필터 저장용기(특허번호 : 제10-0841673호)'를 특허등록을 하였으며 2009년부터는 현장에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.