

## 침지형 중공사 여과막 처리공정의 막 교체 편의성 제고 설계기술 개발

조항래, 이지훈, 박종길

한수원중앙연구원, 대전광역시 유성대로 1312번길 70

hang@khnp.co.kr

### 1. 서론

액체방사성폐기물처리계통의 이온교환수지 탈염기 또는 역삼투(RO) 공정의 처리효율 향상과 2차 폐기물 저감을 위해 지난 10년 동안 Wolf Creek 등 미국의 여러 원전에서 튜브형 한외여과(UF)막, 카트리지 필터, 활성탄 여과기 등의 전처리 공정을 적용하였다[1]. 국내 원전의 경우에도 폐액증발기를 대체하기 위해 도입된 이온교환수지 탈염기의 처리성능 개선을 위하여 고농도의 입자 및 이온성분을 사전에 제거하고자 정밀여과(MF)막과 역삼투(RO)막을 이용한 전처리설비를 개발·적용하였다[2]. 부유고형물 농도가 높은 폐액 처리에 유리한 침지형 중공사 형태의 정밀여과막을 적용하여 처리성능의 우수성을 확인하였으나, 고액분리 수조내부에 침지된 여과막을 교체하는 과정에서 작업자의 작업환경 및 방사선 피폭 관리 차원에서 설비개선의 필요성이 대두되었다. 따라서 본 논문에서는 침지형 정밀여과 공정의 막 교체 경험과, 막 교체 편의성 제고와 작업자 피폭 저감을 위해 개발한 설계기술에 대해 논하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 침지형 중공사 정밀여과막 교체 배경

전처리설비의 장기 운전에 따라 정밀여과 공정의 중공사막의 공극 폐색율이 증가하고, 막 표면의 고형물 부하가 증가하여 흡입 진공도가 상승된 상태에서 운전이 지속되었다. 침지형 중공사막의 주기적 흡입과 역세운전으로 정압과 부압상태가 반복되어 PP(Polypropylene) 재질의 막 헤드 부위에 피로가 누적되어 상부에 균열이 발생하였다. 흡입 운전시 부압에 의해 헤드 부분이 수축될 때 균열 부위가 함몰되어 수조 내에 농축되어 있던 부유고형물이 균열부위를 통해 흡입되어 여과수의 탁도가 일시적으로 증가하여 기준치(1 NTU)를 초과한 것을 시료채취 및 실험실 분석을 통해 확인하였다. 따라서 막 공급사와의 협의 과정을 거쳐 장기간 운전을 고려한 헤드 부위 운전성

확보를 위해 내약품성과 내충격성이 강화된 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) 재질의 새 막으로 교체하였다.

#### 2.2 침지형 정밀여과막 교체 작업 수행

장기간 운전으로 손상된 정밀여과막을 교체하기 위해 정비 작업자의 산업안전 및 방사선 피폭관리 관점에서 작업계획을 수립하였다. 먼저 작업 하루 전에 수조 내 농축수를 배수하여 농축수 저장탱크로 이송하였다. 탈염수를 공급하여 침지형 막이 완전히 잠기게 한 후, 막 하부의 폭기용 노즐을 통해 공기를 공급해 막 표면과 수조 내벽을 세척하여 배수하였다. 약 1시간 정도 공기를 계속 공급한 후 작업 당일까지 약 15시간 동안 자연 건조시켜 폐막과 수조 내벽의 표면선량과 폐막의 무게를 크게 저감시켰다. 세척 및 건조 전·후 수조 내부 공간선량과 수조 외부 표면선량, 폐막의 무게 변화는 다음과 같다(Table. 1).

Table 1. Comparison of the dose rates, weights before and after cleaning, drying membranes and basin.

항 목	세척/건조 전	세척/건조 후
수조내 공간선량(μSv/hr)	350~400	약 100
수조 외부 표면선량(μSv/hr)	300~350	약 100
폐막 무게(kg)	25~30	15~17

작업 당일 작업전 회의(Pre-job Meeting)을 통해 방사선안전관리 방안과 자재 및 인력(5명)의 조달 상태를 확인하고, 작업 편의성과 안전성을 보완하기 위해 수조 상부 맨홀에 횡단 발판을 설치하였다. 신속한 폐막 철거를 위하여 먼저, 막을 고정하고 있는 와이어를 해체하고 여과수 흡입모관으로부터 연결된 흡입관과 공기 공급관을 절단하여 15개의 폐막을 모두 철거하였다(10분 소요). 그 다음 폐 연결기 분리 및 수조내부 정리 작업을 수행한 후(5분 소요), 새 막을 수조내로 반입하여 공기 공

급관을 연결하고 막의 정렬 및 초빌 고정 작업을 수행하였다(20분 소요). 여과수 흡입라인을 흡입 모관의 노출에 연결하고 고정 와이어의 텐션 조절을 수행한 후(60분 소요), 마지막으로 역세운전을 통해 각 연결 부위의 누설 여부를 확인하였다(10분 소요). 폐막 철거에서 새 막 설치 완료까지 총 1시간 45분이 소요되어 예상보다 빠른 시간 내에 작업이 완료되었으나, 새 막 연결 작업에 많은 시간이 소요되어 공간 선량을 증가 시 작업자의 과다 피폭과 상부 맨홀을 통한 폐막 철거 작업 시 안전 사고의 우려가 있었다. 따라서 막 교체 작업의 신속성과 안전성을 확보하기 위해 설치방법 개선 방안을 모색할 필요성이 대두되었다(Fig. 1).

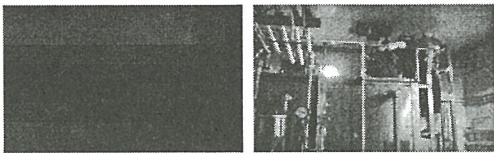


Fig. 1. The views of replacement work of spent immersed hollow fiber membranes.

### 2.3 침지형 증공사막 교체 편의성 제고 설계기술 개발

전처리설비 정밀여과(MF) 공정의 침지형 증공사막 정밀여과막의 교체 편의성 증진을 위하여 안전한 작업위치 확보와(1) 수조 외부에서의 신속한 교체 작업으로 작업자 방사선 피폭 저감(2)이라는 두 가지 관점에서 침지형 증공사막의 설치방법 개선방안을 모색한 결과, 막을 수조 측면에 일자형으로 배치하는 대신 환형으로 배치하여[Fig. 2 (a)], 방사선 차폐체가 설치된 수조 측면의 해치형 도어를 통해 막이 연결되는 흡입모관을 회전시키면서 막을 하나씩 신속하게 교체할 수 있도록 하였다[Fig. 2 (b)]. 따라서 납 두께 10mm, 차폐효율 50%, 작업시간 60% 단축을 가정하면 작업자 피폭선량을 약 80% 저감할 수 있을 것으로 예상된다.

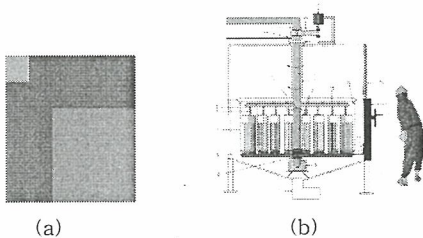


Fig. 2. Design concept of immersed hollow fiber membranes installation for easier replacement work.

이에 따른 부수적 효과로서 흡입모관을 환형으로 구

성함으로써 모관의 길이가 원주율만큼 길어져 동일 공간에 막을 약 3배 정도 더 많이 설치할 수 있어 공정의 처리용량 증대도 가능하다. 또한 흡입 모관과 공기 공급 모관의 동시 회전이 가능하도록 막의 부과수 흡입 수직배관을 에어 자켓 형태의 이중관으로 설계하여 내측은 흡입 모관과 통하고, 외측은 공기 공급 모관과 통하도록 하였으며, 막을 지지하는 하부 지지판의 상하 조정이 가능하도록 하여 막의 규격(높이) 변경에 대응이 가능하고 별도의 고정 장치 없이 하부 지지판의 조정으로 막을 쉽게 고정할 수 있도록 하였다. 이러한 설계 기술을 특허 출원하였다.

### 2.4 고찰

침지형 정밀여과막과 역삼투막을 적용한 액체 방사성폐기물 전처리설비의 운전 및 정비 경험을 통해, 새로운 기술 적용 시 초기 투자비용이 다소 증가하더라도 장기적 관점에서 현장 여건을 반영하고 정비요원의 안전과 편의성을 고려한 치밀한 설계개발이 중요하다는 것을 알 수 있다.

### 3. 결론

전처리설비의 정밀여과 공정에 적용된 침지형 증공사막의 운전 및 정비 경험을 통해, 침지형 막의 운전 특성상 취약 부위를 확인하여 설계상 보완 필요성을 도출하였다. 막 교체 시 작업자의 안전한 작업위치 확보와 수조 외부에서의 신속한 교체작업을 통한 작업자 피폭저감을 위하여 증공사막을 환형으로 배치하는 막 교체 편의성 제고 설계기술을 개발하여 특허 출원하였으며, 막 교체 시 작업자 피폭선량을 약 80% 저감할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 기술의 설계 검증과 보완 과정을 거쳐 침지형 여과막 처리공정의 소형화와 모듈화를 통해 이동식 복합공정 개발의 기반이 될 수 있을 것으로 보인다.

### 4. 참고문헌

[1] EPRI International Low-Level Waste Conference Paper, Reverse Osmosis Applications for PWR Liquid Radwaste Processing, 2008.  
 [2] 방사성폐액 전처리 최적화를 통한 액체방사성 폐기물 처리시스템 성능개선 연구(울진1발, 영광3발,울진3발) 최종보고서, 2009