

## 탈기기술을 이용한 원자로 계통수 관리 방안

김승일, 강덕원, 황인호, 성진현, 김현기  
 한국정수공업(주), 경기도 시흥시 정왕동 1281-2  
 dharmas@haji.co.kr

### 1. 서론

원자력발전소에서는 감속재, 냉각재 및 차폐재의 용도로 다량의 물을 사용하고 있으며, 여러 단계의 수질 정화공정을 거친 초순수를 사용하고 있다. 이러한 계통수의 수질관리를 위하여 pH, 용존산소, 염소 및 황산이온 등 다양한 인자에 대해 관리하고 있다. 특히, 용존산소는 산화현상에 의한 배관부식의 근본 원인이 될 뿐만 아니라 냉각재 계통에 용존산소가 높은 물이 공급되면 계통 배관에 부착되어 있는 부식성 생성물인  $\text{CoNiFe}_2\text{O}_3$  중의 Co가 산소와 반응하여  $\text{CoO}$ 로 만들어지면서 원자로 계통의 방사선량을 증가시키는 것으로 알려져 있고 이를 제거하기 위하여 가열탈기법, 감압탈기법, 환원제 투입, 고분자촉매수지법 및 탈기막법 등 다양한 방법들을 이용되고 있다.

본 논문에서는 원전의 수질관리기법 중 장치의 소형화가 가능하면서 효율적으로 용존기체를 제거할 수 있는 장점이 있어 그 사용이 늘고 있는 탈기막식 용존산소 제거장치(MORS: Membrane based Oxygen Removal System)를 이용한 계통수의 수질관리방안에 대하여 고찰하여 보았다.

### 2. 본론

#### 2.1 탈기막 및 탈기모듈

막을 이용한 분리기술은 여과, 증류, 추출 및 흡착과 같은 기존의 분리기술에 비해 에너지 소비를 최소화하면서 고효율의 분리효과를 얻을 수 있는 장점이 있어 최근에는 관련기술 및 응용분야가 주목받고 있다. 탈기막은 고분자 소재로 만들어진 중공사 형태의 분리막으로 액체 속에 존재하는 용존기체성분(산소, 질소, 이산화탄소 등)을 분리하는 막으로써 현재 국내 원전에서는 미국 Membrana사에서 제조한 탈기막을 사용하고 있다. Fig. 1.에는 Membrana사 탈기막의 SEM사진을 나타내었고, Fig. 2.는 Membrana모듈의 내부구조 및 물의 흐름 모식도를 나타내었다.

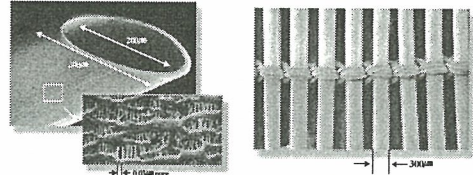


Fig. 1. SEM pictures of degassing membrane.

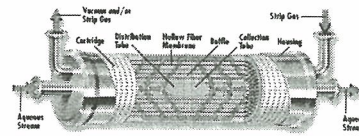


Fig. 2. Inner structure of membrane module.

#### 2.2 용존기체 제거원리 및 탈기시스템

탈기막을 이용한 용존기체의 제거는 중공사막 양쪽 매질의 기체분압(농도)차를 이용한다. 즉, 소수성인 중공사의 외벽쪽으로 물을 흘려주고 내벽쪽으로는 진공 또는 sweep gas를 흘려주게 되면 탈기막의 미세공에서 접촉면이 생성되고 이 접촉면 양쪽의 기체분압(농도)차에 의해 분압이 높은 쪽에서 낮은쪽으로 기체가 이동하게 되는 원리이다. Fig. 3.에 용존기체 제거원리를 그림으로 나타내었다.

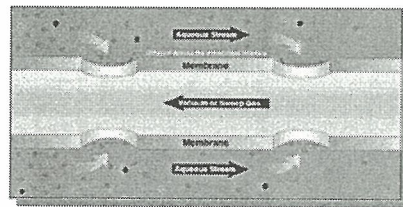


Fig. 3. Degassing mechanism of MORS.

탈기시스템은 탈기막모듈과 진공펌프가 핵심부품이며, 통상적으로 시스템의 원활한 운용을 위한 부대설비가 포함되어 제작되나 구조는 비교적 단순하다.

2.3 원전 계통에서의 용존산소의 영향

계통내의 용존산소는 CoO의 생성과도 연관이 있고 계통 수화학 환경을 산화성 분위기로 변화시켜 부식생성물의 형성을 촉진함으로써 방사성 크러드 발생량을 크게 증가시키는 역할을 할 뿐만 아니라, 최근 현안 사항이 되고 있는 축방향 출력 불균형(Axial Offset Anomaly)의 원인이 되기도 한다. 원자로보충수탱크의 경우는 외부 공기의 유입을 막기 위해 설치되어 있는 고무막(Rubber Membrane) 접합부위의 노화로 인한 공기유입으로 용존산소농도가 증가되고 있다. 일부 원전에서는 공기의 유입을 막기 위해 탱크 상층단에 Cover Gas로 질소로 사용하는 곳도 있으나 질소중의 일부는 용존되어 계통으로 유입되면서 원자로내의 중성자속에 의해 중성자와의 반응인  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  반응을 통해 원치 않는 다량의 방사성 탄소( $^{14}\text{C}$ )가 계통 내에서 생성되게 된다. 또한, 수중에 존재하는 용존산소( $^{17}\text{O}$ ) 또한 중성자와의 반응인  $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$  반응을 통해 방사성탄소( $^{14}\text{C}$ )가 생성되게 된다. 특히, 2012년부터는 원전 배기구(stack)에서 방출되는 방사성탄소를 감시, 분석하여 규제기관에 보고하도록 의무화되어 있다.

2.4 국내 원전 설치사례 및 응용 방안

2.4.1 설치사례

국내원전의 경우 월성원전 양단차폐계통에서 최초로 MORS를 설치한 이후 고리1호기 및 2호기 PM탱크와 울진1발전소 2차측 순수저장탱크의 용존산소제거 및 영광2발전소의 이동형 탈기시스템 설치 등 점차 그 수요가 증가되고 있다.

설치 사례로 울진원자력발전소에서 운용중인 탈기장치의 Flow-diagram을 Fig. 4에 나타내었다.

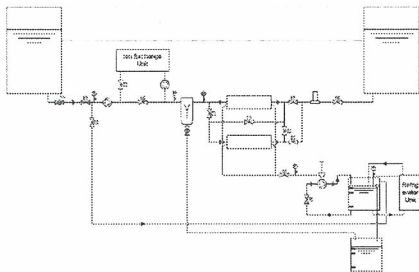


Fig. 4. Flow diagram of MORS in Ul-jin nuclear power plant.

표준용량이 30m<sup>3</sup>/hr인 탈기모듈 2개가 장착되

어 실시간으로 측정되는 용존산소농도에 따라 자동밸브를 이용하여 1Train, 2Train(직렬) 및 2Train(병렬)운전이 자동으로 변환되도록 설계되었다. 또한, 탱크내의 예기치 않은 수질변화에 대처하기 위해 설비 내에 이온교환수지탑을 설치하여 필요에 따라 By-pass형식으로 처리가 가능하도록 구성되었다.

울진원전에서는 가동초기 500ppb수준이었던 2차측 순수저장탱크(1,400m<sup>3</sup>)용존산소농도가 2개월간의 시험운전 후 50ppb이하로 감소되었고, MORS내에 설치한 이온교환수지를 통과하면서 2.5ppb였던 황산이온의 농도도 0.5ppb 수준으로 감소된 것으로 보고하고 있다.[1]

2.4.2 응용방안

MORS설비는 용존산소제거라는 고유한 기능으로 순수제조설비의 일부분으로 사용할 수 있고, 울진원전과 같이 원자로보충수탱크의 용존산소 및 불순이온제거용으로 사용될 수 있으며, **붕산재생시스템**(Boric acid recovery system)의 응축수중의 용존산소 및 용존질소 제거, **양단차폐계통**수중의 용존산소제거에 이용되는 등 원전 계통내에서 물을 사용하는 대부분의 설비에서 효과적으로 활용가능하다.

3. 결론

MORS설비의 가장 큰 장점은 장치의 소형화 및 무인운전이 가능하고, 부대설비의 장착에 따라 용존기체 제거기능 이외에 다양한 기능을 부여할 수 있다는 점이다. 전기탈이온설비(MDI®) 또는 이온교환수지를 추가로 장착하여 불순이온을 제거하거나 한외여과막 및 UV를 장착하면 탱크내에 존재하는 황산염박테리아와 같은 미생물도 동시에 제거할 수 있는 장점 등 정수처리가 끝난 물처리실 후단에서의 예기치 않은 수질오염에 대비하여 계통으로 유입되기 전의 최종 수질 정화 수단으로 응용할 수 있다.

4. 참고문헌

[1] 울진 1,2호기 순수생산설비 용존산소제거장치 시험운전 결과, 제21회 원전화학관리기술 워크샵, 2008.