

중수로형 원자력발전소의 중수증기 회수기술

손 순 환
전 력 연 구 원
원자력발전연구실/선임연구원

1. 머리말

우리나라의 월성원자력발전소와 같은 가압중수로형(Pressurized Heavy Water Reactor) 원자력발전소는 핵연료로 천연 우라늄을 사용하고 있어 냉각재(Coolant)와 감속재(Moderator)로 중수(Heavy Water : D_2O)를 사용한다. 냉각재는 전기생산에 필요한 스팀을 만들기 위해 핵분열에서 나오는 열을 전달하는 역할을 하며, 감속재는 핵분열시 나오는 중성자를 연쇄반응에 이용할 수 있는 중성자로 감속시키는 역할을 한다.

중수로에 사용되는 중수는 99.8% 이상의 순도를 가져야 하나, 자연에 존재하는 물은 대부분 경수(H_2O)이며, 중수는 0.015% 정도 존재하므로 고순도의 중수는 가격이 매우 비싸다. 또한 냉각재와 감속재는 핵분열시 나오는 중성자의 조사를 계속해서 받게 되므로 중수중의 중수소가 중성자와 반응하여 삼중수소가 된다. 삼중수소는 중수중에 DTO 형태로 아주 극미량 존재하지만 베타선을 방출하는 방사성 물질로서 발전소 운전원 및 보

수원들에게 방사선 피폭을 줄 수 있으므로 이에 대한 철저한 관리가 필요하다.

중수로형 원자력발전소의 경우, 운전중이나 정지, 보수시 기기 및 설비로부터 미량의 중수가 누설되므로써 원자로 건물내 공기가 방사성 물질인 삼중수소로 오염될 수가 있다. 원자로 건물내 공기중에 수증기 상태로 존재하는 중수는 삼중수소를 함유하고 있으므로 중수증기를 회수하여 공기중 삼중수소 농도를 떨어뜨리고 인접 지역으로의 확산을 방지하여 발전소 운전원 및 보수원을 보호하는 한편 고가인 중수를 재사용하여야 한다. 이를 위해 중수가 누설될 가능성이 비교적 큰 지역에 중수증기를 회수할 수 있는 중수증기회수계통이 설치되어 있다.

본고에서는 중수로 원자력발전소의 독특한 설비인 중수증기회수계통에 의한 증기회수 원리를 살펴보고 계통의 기능, 설계기준 및 구성에 관해 살펴보고자 한다.

2. 중수증기 회수 원리

중수증기회수는 흡착제를 이용하여 공기중에 증기상태로 존재하는 수분을 흡착시켜 제거하고, 흡착된 수분을 가열, 탈착시켜 회수하는 공정으로 이루어진다. 수분이 제거된 흡착제는 재사용한다.

2.1 흡착공정

흡착공정은 기체 및 액체를 고체상의 흡착제와 접촉시키므로써 용질이 선택적으로 흡착되는 성질을 이용한 것이다. 일반적으로 흡착된 용질을 회수하고 흡착제를 재사용하기 위해서는 탈착공정이 수반된다.

기체와 흡착제를 접촉시키기 위해서는 일반적으로 고정층(Fixed Bed)을 이용하는데, 기체가 고정층의 상부로부터 하부로 통과하는 하향식과 그 반대인 상향식이 있다. 하향식은 흡착 및 여과를 동시에 하고자 할 때 사용되지만 상향식에 비해 압력손실이 크고 채널링(Channelling)의 가능성이 있다. 따라서 특별히 여과가 필요없는 경우는 일반적으로 상향식을 사용하게 되는데, 작은 입자의 흡착제를 사용하여 흡착속도를 증가시키므로써 흡착탑의 크기를 줄일 수 있다.

수증기가 흡착되는 과정은 다음과 같다.

- ① 외부에서 흡착제 표면으로의 물질전달
- ② 흡착제 표면에서의 흡착
- ③ 흡착제내 거시 기공에서의 내부 물질전달
- ④ 흡착제내 미시 기공에서의 내부 물질전달

흡착과정은 그림 1에 나타난 바와 같이 물질전달영역(Mass Transfer Zone)이라고 부르는 포화흡착층의 전단에서 이루어지며 이보다 앞부분에서는 흡착이 일어나지 않는다. 그림에서 볼 수 있듯이 흡착이 진행됨에 따라 물질전달영역이 이동되는데 흡착탑내의 공기

의 선속도에 비해 아주 낮은 속도로 이동한다. 흡착탑이 포화되는 시점은 물질전달영역이 흡착탑의 끝에 도달될 때이며, 이 시점에서 흡착탑의 흡착효율은 급격히 떨어진다.

그림 1에서 시간에 따른 흡착탑 출구농도의 변화를 파과곡선(Breakthrough Curve)이라 하는데, 흡착탑의 설계 및 운전조건에 따라 이 파과곡선의 모양이 변한다. 파과곡선의 모양에 영향을 미치는 인자들은 공기중의 습도, 흡착제의 특성(흡착속도 및 입자크기), 흡착제층의 높이 및 기체의 유속 등이다. 그림 1에서 Break Point는 흡착제의 사용한계를 의미하는데 일반적으로 흡착제에서 Break Point에 도달되는 시간은 입자의 크기, 공기중의 습도와 기체 유속이 증가할수록 감소하고, 흡착제층의 높이에 따라 증가한다.

흡착탑을 설계하기 위해서는 공기중의 습도, 흡착제의 종류에 따른 파과곡선 및 Break Point를 반드시 구해야 하므로 위와 같은 인자들에 대한 실험과 해석이 수반되어야 한다.

2.2 흡착제의 특성

일반적으로 수분의 흡착에는 실리카겔, 활성 알루미늄 및 Molecular Sieve가 사용되고 있다. 적절한 흡착제를 선정하기 위해서는 반드시 공기의 온도와 수증기압의 영향을 고려하여야 한다. 이에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

수분의 흡착이 1차 속도식을 따른다면, 흡착속도식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dA}{dt} = K \cdot C \cdot (A_m - A) \quad (1)$$

여기서 A_m 은 흡착제의 최대흡착용량($\text{mmol}/\text{m}\ell$), A 는 수분의 흡착량($\text{mmol}/\text{m}\ell$), C 는 공기중 수분의 농도($\text{mmol}/\text{m}\ell$), K 는 흡착속도상수($\text{m}\ell/\text{mmol}\cdot\text{min}$)이다.

만약 $A_m \gg A$ 라면, 수분 흡착량 A 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = K \cdot A_m \cdot C_0 \cdot \exp\left[-\frac{K \cdot A_m}{v} \cdot l \cdot t\right] \quad (2)$$

여기서 C_0 는 공기중 수분의 초기농도이며, v 는 공기의 선속도, l 은 입구로부터의 거리이다. 위 식으로부터 수분 흡착량은 흡착층 길이에 따라 지수적으로 감소하며, 겉보기 흡착속도상수는 $\frac{K \cdot A_m}{v}$ 임을 알 수 있다.

만약 흡착속도상수가 수분의 농도에 무관하다면 어떤 주어진 시간 후에 길이별로 수

분의 흡착량을 계산할 수 있다. 파과시간 (Breakthrough Time) t 와 흡착탑 길이 l 사이의 관계는 다음과 같다.

$$t = \left(\frac{A_m}{v \cdot C_0}\right) \cdot l - \frac{v}{2 \cdot K \cdot A_m} \ln \frac{C_0}{C_b} \quad (3)$$

여기서 C_b 는 흡착탑 출구에서의 공기중 수분 농도이다. 위 식에서 파과시간 t 는 최대흡착용량(A_m)과 흡착속도상수(K)가 클수록 증가한다. 결과적으로 최대흡착용량이 흡착속도상수보다 큰 영향을 미치므로 이 값이 흡착제 선정의 주요 인자가 된다.

표 1에 흡착제의 종류별 특성이 나타나 있으며, 표 2에 온도에 따른 최대흡착용량이 나타나 있다.

표 1. 흡착제의 특성

흡착제	Mesh	비표면적(m^2/g)	충전밀도(g/m^3)
실리카겔	60/80	490 ± 10	0.65
활성 알루미늄	30/60	210 ± 10	0.69
Molecular sieve 5A	30/60	400 ± 50	0.73
Molecular sieve 13X	60/80	450 ± 50	0.71

표 2. 온도에 따른 흡착제의 최대흡착용량($\text{mmol}/\text{m}\ell$)

온도($^{\circ}\text{C}$)	실리카겔	활성 알루미늄	Molecular sieve 5A	Molecular sieve 13X
25	16.0 ± 0.4	14.8 ± 1.7	10.0 ± 0.9	9.6 ± 0.6
40	6.2 ± 0.1	6.9 ± 0.4	7.5 ± 0.2	7.4 ± 0.5
55	4.1 ± 0.2	5.6 ± 0.1	6.7 ± 0.2	6.8 ± 0.1
70	3.0 ± 0.2	4.6 ± 0.2	6.2 ± 0.2	6.3 ± 0.1
80	2.6 ± 0.1	4.2 ± 0.2	5.4 ± 0.2	5.8 ± 0.4

표 2에서 볼 수 있듯이 모든 흡착제의 최대흡착용량은 온도에 영향을 받으며 온도가 증가함에 따라 감소한다. 특히 실리카겔과 활성 알루미나의 흡착특성은 온도 의존성이 매우 큼을 알 수 있다. 반면에 Molecular Sieve(5A, 13X)는 상대적으로 온도의 영향을 덜 받는다. 따라서 최대흡착용량이 주요 인자로서 작용하는 경우, 30℃ 이하에서는 실리카겔과 활성 알루미나가 우수한 흡착제이나, 40℃ 이상에서는 Molecular Sieve가 더 우수한 흡착제이다. 80℃에서 실리카겔의 최대흡착용량은 Molecular Sieve의 약 1/2 정도이다.

흡착제의 최대흡착용량은 온도뿐만 아니라 공기중의 수증기압에도 영향을 받는다. 그림

2는 흡착탑의 온도가 25℃인 경우, 공기의 상대습도에 따른 흡착제별 최대흡착용량의 변화를 보여준다. 상대습도가 낮을 때 Molecular Sieve의 흡착용량이 다른 흡착제에 비해 큼을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 적절한 흡착제를 선정하기 위해서는 반드시 운전조건을 고려하여야 하고, 온도가 30℃ 이하이며, 수증기압이 20mmHg(상대습도 60%) 근처에서는 실리카겔과 활성 알루미나를 사용하고, 높은 온도와 낮은 수증기압에서는 Molecular Sieve를 사용한다. 이는 Molecular Sieve가 다른 흡착제에 비해 온도와 수증기압의 변화에 영향을 덜 받기 때문이다.

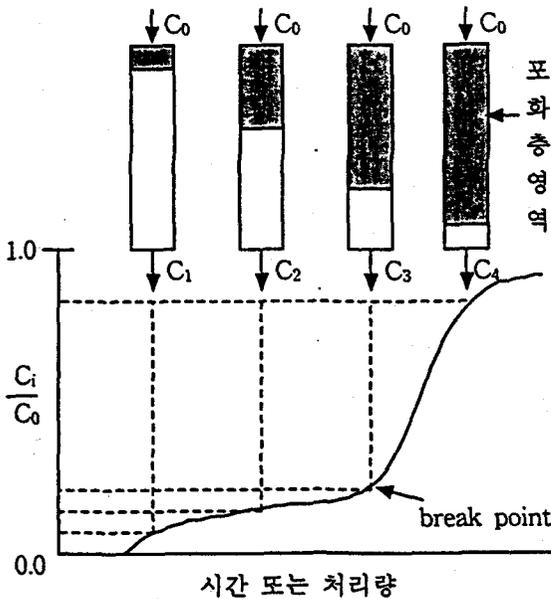


그림 1 고정층 흡착탑의 파과곡선

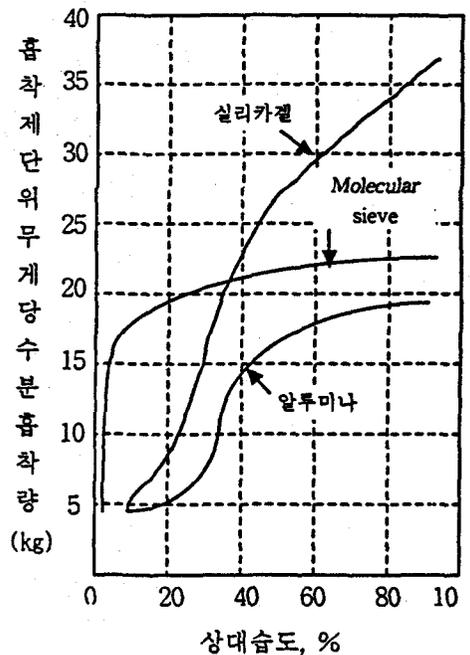


그림 2 흡착제의 등온흡착 특성

2.3 Molecular Sieve의 흡착특성

흡착제로 널리 이용되는 있는 Molecular Sieve는 일명 Zeolite라고도 하며 기공(pore)의 직경이 0.3~1.0nm인 일정한 결정성의 알루미노규산염이다. Zeolite의 구조는 SiO_4 와 Al_2O_3 의 3차원 구조로 되어 있으며 구조식은 $M_j(\text{AlO}_2)_y(\text{SiO}_2)_z \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 M은 교환가능한 양이온을 나타내며 j, y, z, n은 정수이다. 이들 값에 따라서 여러 가지 형태의 Zeolite가 가능하다.

Molecular Sieve의 흡착메카니즘은 흡착제 내의 수많은 cage 내부에 존재하는 양이온에 의한 정전기력에 의하여 수증기가 흡착되는 것이다. 이러한 메카니즘은 Langmuir 흡착모델을 이용하여 다음과 같은 평형흡착 관계식으로 표현할 수 있다.

$$q(\text{H}_2\text{O}) = \frac{A \cdot B \cdot C(\text{H}_2\text{O})}{1 + B \cdot C(\text{H}_2\text{O})} \quad (4)$$

윗 식에서 Molecular Sieve 5A인 경우 $A = 12\text{mol/kg}$, $B = 18\text{mol/kg}$ 이며, Molecular Sieve 4A인 경우 $A = 10.68\text{mol/kg}$, $B = 735\text{mol/kg}$ 정도인 것으로 알려져 있다.

흡착효율은 주로 흡착제의 잔여 함수량에 의하여 결정된다. Molecular Sieve는 다른 흡착제들 보다 잔여 함수량이 크지만 그림 2에 나타난 바와 같이 습도에 대한 의존성이 작아 낮은 습도에서도 일정한 값을 유지한다.

2.4 흡착제의 재생

흡착제를 재사용하거나 혹은 흡착물을 회수하기 위해서 뜨거운 공기를 흡착 방향과는 반대로 주입하여 흡착물을 탈착시키는 과정

을 재생이라 한다. 수분의 탈착과정은 흡착과정의 역순이 된다.

흡착제의 재생에는 가열재생법(Thermal Swinging procedures) 또는 진공 재생법(Pressure Swing Procedures)이 이용된다. 흡착제의 종류별 재생온도는 실리카겔이 150~300°C, 활성 알루미나는 175~300°C, 그리고 Molecular Sieve는 200~350°C이다. 흡착제의 흡착능력은 재생 횟수에 따라 아주 경미하지만 감소하는 것으로 알려져 있다.

Molecular Sieve의 재생 특성은 일정한데 이것은 수분이 점진적으로 탈착하는 것이 아니라 흡착제의 온도가 임계점에 도달하게 되면 갑자기 탈착을 하는 특성이 있기 때문이며, 이러한 특성으로 인해 수분의 회수가 용이하다.

3. 증수증기회수계통

원자력발전소는 크게 원자로 건물과 보조 건물로 구분된다. 원자로 건물은 돔형의 콘크리트 구조물로서 핵분열시 나오는 열을 이용하여 스팀을 만드는 부분까지를 포함하며, 보조 건물은 스팀을 이용하여 전기를 생산하는 지역이다. 원자로 건물에는 원자로를 비롯하여 여러 가지 기기 및 계통들이 설치되어 있다. 각 계통에는 경수 또는 증수가 들어 있으며 여기에는 방사성 물질들이 함유되어 있다.

원자로 건물에는 운전중이나 원자로 정지, 보수시 계통내 경수 혹은 증수가 수증기나 액체 상태로 누설될 가능성이 있으며 이로 인해 건물내 공기가 방사성 물질인 삼중수소

로 오염될 수 있다. 원자로 건물에는 사람이 상주하지는 않지만 필요시 운전원 및 보수원이 출입하는 곳으로 건물내의 오염물질을 제거하여 운전원 및 보수원의 건강을 보호하여야 한다. 이를 위해 중수 누설 가능성이 비교적 큰 지역에 방사성 물질인 삼중수소를 제거하고 고가의 중수를 회수하기 위한 중수 증기회수계통이 설치되어 있다. 중수회수계통은 국소환기 개념으로서 흡착제(Molecular Sieve)가 들어있는 건조기(Dryer)를 이용하여 오염물질을 함유한 중수증기를 흡착, 제거하여 오염물질이 인접지역으로 확산되지

않도록 한다.

3.1 원자로 건물 구역 분리

원자로 건물내 각 지역은 오염원의 농도(중수의 순도 및 삼중수소의 농도)가 각기 다르며 각 지역의 출입요건이 각기 다르기 때문에 그림 3과 같이 4개의 지역으로 분리하여 공기중 오염을 관리한다. 이러한 국소환기개념을 적용하므로써 회수되는 중수의 불필요한 저등급화(경수가 혼합되어 중수의 순도가 떨어짐)를 막고, 오염물질의 확산을 방지할 수 있다.

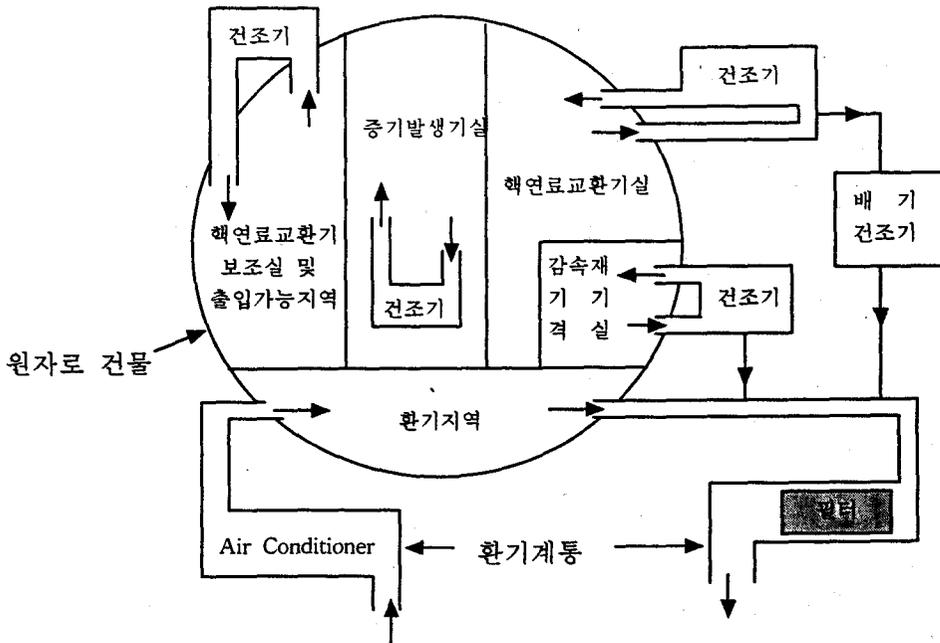


그림 3 중수증기 회수계통과 환기계통

(1) 핵연료교환기실

원자로 정지시 출입이 가능하며 냉각재 계통 중수가 누설될 가능성이 있는 주요 지역으로 핵연료교환기 운전실과 감속재실이 있다. 이 지역에서 누설된 중수의 저등급화를 최소로 하면서 중수를 회수하기 위해서는 인접 지역에서 공기와 수증기의 유입을 최소화하여야 한다. 이를 위해 인접한 출입가능지역과 통하는 문 및 관통부분에 적절한 밀봉을 하여야 한다. 이 지역에서 누설된 삼중수소가 출입가능지역으로 확산되는 것을 방지하기 위하여 부압(Negative Pressure)을 유지하는 것이 필요하다. 즉 각종 계기에 공급되는 압축공기의 누설로 인해 이 지역의 압력이 상승하는 것을 방지하기 위하여 공기의 배기가 필요하며 이는 원자로 건물 환기계통을 통해 이루어진다.

(2) 핵연료교환기 보조실 및 출입가능지역

원자로 정상 운전시 접근 가능지역으로서 핵연료교환기 보수실, 핵연료교환기 보조설비실, 냉각재와 감속재 계통의 계측기기실 및 감시실이 있다. 이들 지역중 특히 핵연료교환기 보수실은 삼중수소 농도를 방호복 미착용 지역 수준으로 유지시켜 방호복 착용으로 인한 작업의 불편함을 제거하여 작업시간을 단축하므로써 작업자의 방사선 피폭을 낮게 유지할 수 있다.

(3) 감속재 기기 격실

감속재 기기로부터 누설된 중수는 냉각재 계통에서 누설되는 중수에 비해 삼중수소 농도가 높다. 따라서 이 지역은 앞의 두지역에 비해 부압이 유지되어야 한다.

(4) 증기발생기실

이 지역은 인접 지역과 분리되어 있는 격

실로 되어 있으며, 운전중에도 출입이 가능하여야 한다.

3.2. 중수증기회수계통의 기능

중수증기회수계통의 주요기능은 다음과 같다.

- ① 각 지역에서 누설된 중수를 회수하여 중수의 손실을 최소화한다.
- ② 각 지역의 오염물질인 삼중수소의 농도를 줄이고, 출입가능지역으로의 삼중수소 오염확산을 방지하여 운전원 및 보수원의 방사선 피폭(내부피폭)을 최소화한다.
- ③ 사소한 계통의 고장, 일시적으로 누설율이 커지는 경우 또는 원자로 정지 및 일상적인 정비전에 각 지역을 폐회로로 형성시켜 기체 방사능을 제거한다.
- ④ 공기 유입과 경수누출로 인해 회수되는 중수의 순도가 저하되는 것을 방지한다.
- ⑤ 냉각재 상실사고시 원자로 건물의 압력을 대기압으로 낮추어 원자로 건물의 누설율을 최소화하므로써 안전보조계통으로서의 역할을 한다.
- ⑥ 증기발생기실의 출입을 가능케 한다.

3.3 중수증기회수계통 설계기준

3.2에 기술된 주요기능을 충족시키기 위하여 갖추어야 할 각 계통별 설계요건은 다음과 같다.

(1) 핵연료교환실 중수증기회수계통

정상운전시 또는 누설율(경수 및 중수를 합한 값)이 14kg/hr인 조건하에서 실내 노점 온도를 -17.8°C 로 유지시켜야 한다. 누설을

이 커지면 실내 노점온도도 높아지는데 최대 누설율이 72kg/hr로 증가하여 실내 노점온도가 3.3℃가 되는 조건하에서도 연속적으로 실내를 건조시킬 수 있는 능력을 갖추고 있어야 한다.

(2) 핵연료교환기 보조실 및 출입가능지역 중수증기회수계통

이 지역은 평상시 운전원 및 보수원의 출입이 가능한 지역이다. 핵연료교환기실과 보수실을 차단시키는 차폐문이 닫혀 있고 핵연료교환기 보수실의 중수누설율이 0.125kg/hr인 조건하에서 노점온도를 -17.8℃에서 -34.4℃로 낮출 수 있어야 한다.

또한 총 중수 누설율이 1kg/hr인 경우, 실내 노점온도를 -34.4℃로 연속적으로 유지시킬 수 있어야 한다.

(3) 감속재 기기 격실 중수증기회수계통

이 지역으로부터 누설되는 중수의 삼중수소 농도는 다른 지역에 비해 상대적으로 높기 때문에 인접 지역으로의 삼중수소 확산을 방지하기 위하여 감속재 관련 기기를 격리할 수 있는 격실을 설치하고 별도의 중수증기회수설비가 필요하다. 즉 다른 지역과 격리된 방을 연속적으로 건조시킬 수 있어야 하고 다른 중수증기회수계통과 독립되어 있어야 한다.

이를 위해 누설율이 2.5kg/hr인 조건하에서 실내 노점온도를 -17.3℃로 유지시킬 수 있어야 한다.

(4) 증기발생기실 중수증기회수계통 증기발생기실을 위한 별도의 중수증기회수

계통이 필요하다. 냉각재 계통의 삼중수소 농도가 2Ci/l 이고, 중수 누설율이 175cm³/일인 조건하에서 증기발생기실과 핵연료교환기실과의 공기흐름을 차단하여, 공기중 삼중수소 농도가 최대 2MPCa가 되도록 실내노점온을 -38℃로 유지하여야 한다.

3.4 중수증기회수계통의 구성

원자로 건물 각 지역의 공기를 건조기로 보내어 수분을 제거하고 건조된 공기를 다시 되돌려 보내기 위해 건조기(dryer), 멤퍼 및 덕트가 설치되어 있다. 그림 4에 중수로형 원자력발전소의 전형적인 중수증기회수계통도가 나타나 있다.

각 건조기에는 흡착공정을 위한 송풍기, 흡착제 및 흡착 송풍기가 있으며, 재생공정을 위한 재생 송풍기, 가열기 및 냉각기가 설치되어 있다. 여기에 사용되는 흡착제는 Molecular Sieve이다.

송풍기로 습한 공기를 건조기로 보내며, 공기중 수증기는 건조기내의 흡착제에 흡수된다. 건조된 공기는 각각의 지역으로 되돌아간다. 노점을 측정하여 흡착제가 물로 포화되면 뜨거운 공기를 주입하여 흡착된 중수를 회수하는데 가열기를 통한 뜨거운 공기가 건조기를 통과하면서 중수를 취하게 되며 이 공기를 냉각기에서 응축시킨 후 액체를 중수수집탱크로 보낸다.

표 3에 경수로형 원자력발전소인 월성원자력발전소의 각 지역별 중수증기회수계통의 용량 및 운전조건이 나타나 있다.

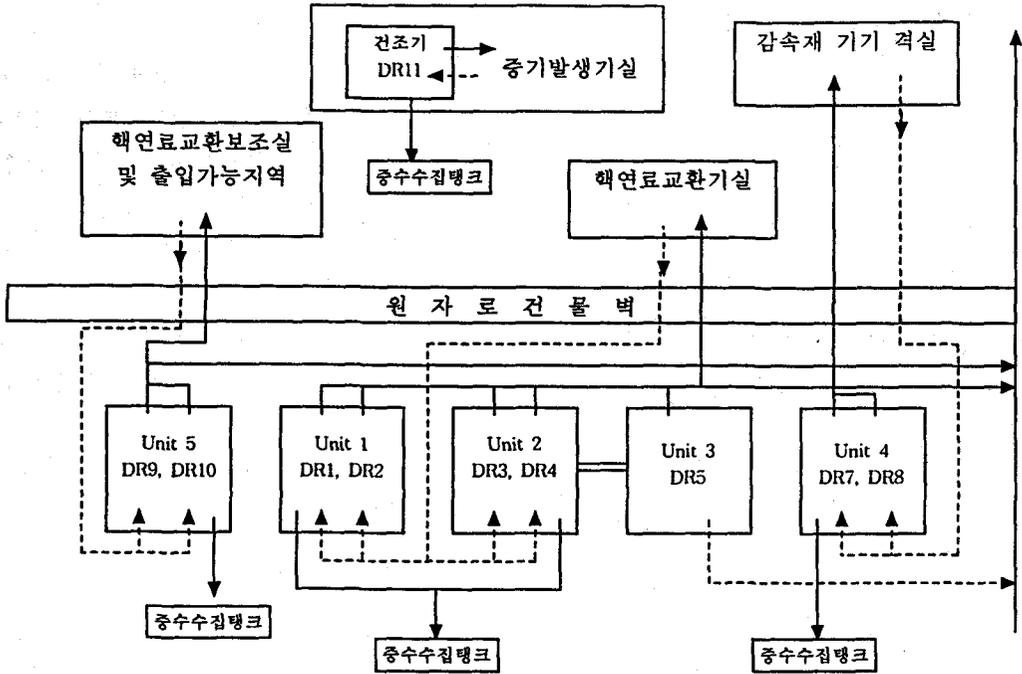


그림 4 중수증기회수계통도

표 3. 월성원자력발전소의 중수증기회수계통 용량 및 운전변수

구 분	핵연료교환기실	핵연료교환기 보조실 및 출입가능지역	감속재 기기 격실	증기발생기실
건조기 수량 (건조기 번호)	5대 (DR1, DR2 DR3, DR4 DR5(기체배기용))	2대 (DR9, DR10)	2대 (DR7, DR8)	1대 (DR11)
건조기 용량(m ³ /hr)	6,800 1,050(DR5)	6,800	3,400	1,050
수분회수속도(kg/hr)	14	1	2.5	
노점온도(℃)	-18	-34	-18	-37
가열기 용량(W)	5×40 1×40(DR11)	5×40	3×40	1×40
냉각기 유량(ℓ)	2.27	2.27	1.36	0.45

(1) 핵연료교환기실 건조기

이 지역의 중수회수는 그림 5와 같은 4대의 단일탑 건조기(Single Bed Dryer)에 의해 이루어지며, 흡착용량은 6,800m³/hr이다. 건조기는 37.8℃의 포화습윤공기가 정해진 유량으로 흐를 때 최소한 1시간내에 5.6℃의 노점을 감소시킬 수 있어야 한다.

또한 삼중수소의 확산을 최소화하기 위하여 출입가능지역보다 압력을 낮게 유지시키기 위한 별도의 850m³/hr의 이중탑 건조기(Twin-Bed Dryer)가 설치되어 있다. 이 설비는 온도 변화나 압축공기 누설로 인한 가압을 방지하기 위해 핵연료교환기실이나 출입가능지역으로부터 삼중수소가 제거된 기

체를 배기하는 역할을 한다. 배기 기체는 방사성 입자 및 방사성 요오드를 제거하기 위하여 원자로 건물 환기배출필터를 경유하여 배출된다.

(2) 핵연료교환기 보조실과 출입가능지역 건조기

핵연료교환기 보수실은 핵연료를 교환하는 동안에 핵연료교환기실과 통하게 되므로 핵연료교환기의 보수가 필요한 경우 작업자가 핵연료교환기 보수실에 들어갈 수 있도록 밀폐문으로 차단시키고 건조기를 이용하여 신속하게 이 지역의 삼중수소 오염을 제거한다.

이곳에는 2대의 단일탑 건조기가 설치되어 있으며 용량은 각각 6,800m³/hr이다.

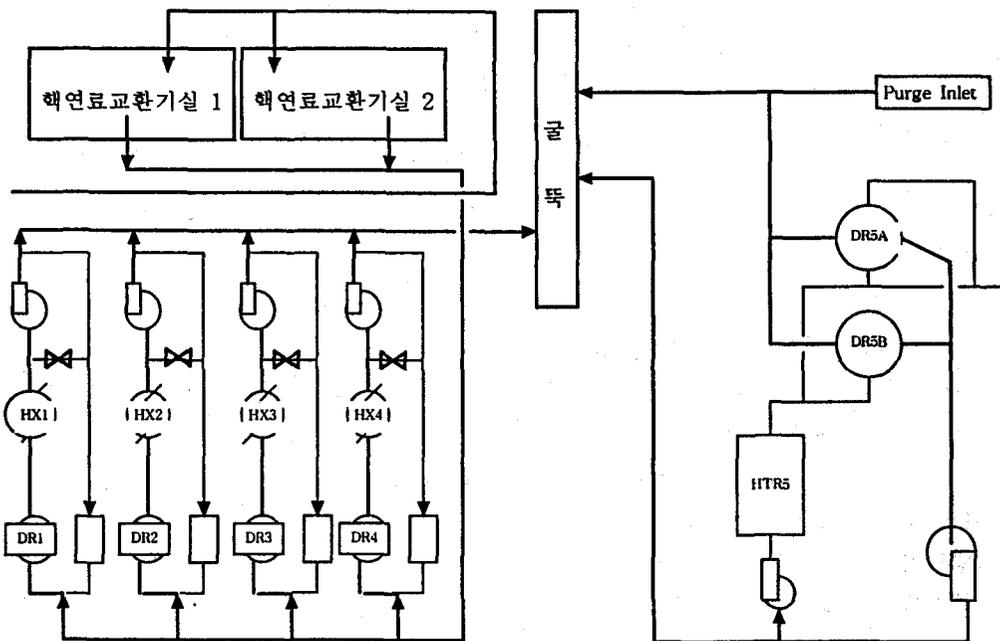


그림 5 핵연료교환기실 건조기

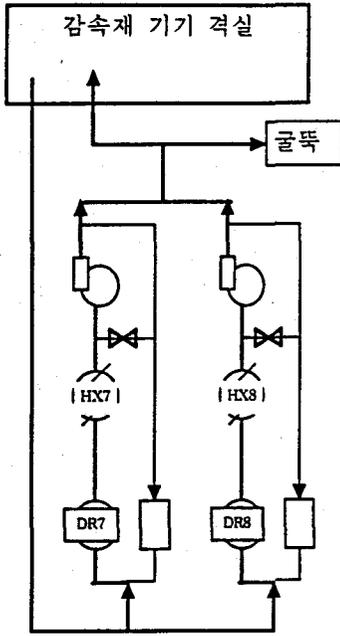


그림 6 감속재 기기 격실 건조기

(3) 감속재 기기 격실

감속재 기기 격실에는 그림 6과 같은 독립된 2대의 단일탑 건조기가 설치되어 있으며 용량은 각각 $3,400\text{m}^3/\text{hr}$ 이다. 건조기는 37.8°C 의 포화습윤공기가 정해진 유량으로 흐를 때 최소한 1시간내에 5.6°C 의 노점을 감소시킬 수 있어야 한다. 이 지역은 삼중수소 농도가 가장 높은 곳으로서 고농도의 삼중수소를 포함한 회수 중수와 저농도의 삼중수소를 포함한 회수 중수가 혼합되지 않도록 별도의 중수수집탱크가 있다.

(4) 증기발생기실

증기발생기실은 인접 지역과는 공기흐름이 차단되어 있으며 운전중 출입이 가능하도록 공기중 삼중수소 농도를 유지시킨다. 이 지

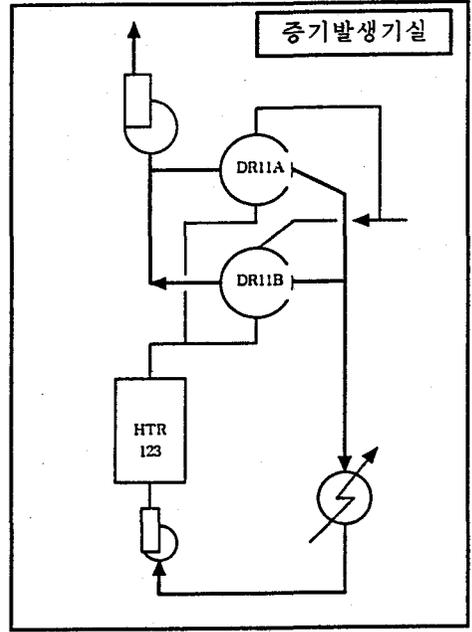


그림 7 증기발생기실

역의 중수 누설율은 비교적 작으므로 그림 7과 같은 $850\text{m}^3/\text{hr}$ 의 이중탑 건조기(Dual Tower Medium Bed Dryer) 1대가 설치된다.

또한 증기발생기실 건조기의 총 수분 흡착율이 $350\text{cm}^3/\text{일}$ 이고 실내 노점온도를 -52°C 로 유지하여야 한다.

4. 맺음말

지금까지 중수로형 원자력발전소에서 원자로 건물내의 공기중 오염을 제거하여 운전원 및 보수원을 보호하고 고가의 중수를 회수하여 재사용할 목적으로 설치된 중수증기회수계통의 원리, 기능 및 구성에 대해 살펴보았

다. 중수증기회수계통은 원자로 건물을 4개 지역으로 구분하여 공기중 오염을 제어하는 국소환기개념을 적용하고 있다. 이 계통은 기본적으로 흡탈착공정을 이용하고 있어 공정의 설계 및 운전을 위해서는 흡착공정에 대한 이해를 필요로 한다. 중수증기를 회수하는 건조기는 흡착제로 온도와 습도의 영향을 덜 받는 Molecular Sieve를 사용하고 있으며 흡착제가 수증기로 포화되면 재생과정을 통해 수분을 회수하고 재사용한다. 중수증기회수계통은 발전소 운전중이나 원자로 정지, 보수시 비교적 중수의 누설 가능성이 높은 지역에 설치되며, 인접 지역으로의 삼중수소 확산을 방지하고 중수의 저등급화를 가능한 줄이기 위해서 삼중수소 농도가 높은 지역을 부압으로 유지시키는 역할을 한다.

중수회수계통은 중수로형 원자력발전소에 만 설치된 매우 독특한 설비이며 삼중수소에 의한 방사선 피폭으로부터 운전원 및 보수원을 보호하기 위한 필수 설비이다. 핵연료교환기 보조실 및 출입가능지역의 삼중수소 농도를 방호복을 착용하지 않아도 되는 수준으로 유지시키면, 방호복 착용에 따른 작업의 불편함이 줄어들어 작업시간을 단축할 수 있으므로 방사선 피폭을 줄일 수 있으며, 방사선 방호에 소요되는 추가비용을 절감할 수 있다. 또한 원자로 건물의 환기계통을 통해

환경으로 방출되는 삼중수소 양을 줄일 수 있어 주변 환경을 방사능 오염으로부터 보호할 수 있다.

- 참고문헌 -

1. 신상운 외, 월성원자력 1호기 삼중수소 저감화 방안 연구, 1989
2. 한국전력공사, 월성 원자력 2,3,4호기 최종 안전성분석보고서, 제 7권
3. 한국전력공사, 월성 원자력 2,3,4호기 최종 안전성분석보고서, 제 8권
4. H.G.Ostlund and F. Wener, "Tritium in Physical and Biological Science", IAEA, Vol. 95, 1982
5. AECL Proprietary, "Reactor Building D2O Vapour Recovery System", DM-59-3810/63831
6. AECL Proprietary, "Dryers for D2O Recovery in Nuclear Power Stations", TS-59-38317-1
7. AECL Proprietary, "Reactor Building Ventilation System", DM-59-73120/67312
8. "Management of Tritium at The Nuclear Facilities", IAEA/TR/D/10/234, 1984