

선박용 탈기기에 관한 연구

홍 성 희*, 김 창 수*, 김 두 현*

The Study on the Marine Deaerator

Sung-Hee Hong*, Chang-Soo Kim*, Doo-Hyun Kim*

* (주) 동화엔텍

Abstract: As the makeup water entering the boiler feed water cycle usually contains corrosive gases, particularly oxygen and carbon dioxide, so the corrosive gases should be eliminated by a deaerator. While the other domestic companies have made a deaerator for land industrial field, our company has developed and is able to produce a spray & scrubber type deaerator for marine to maintain below the level of 7ppb of dissolved oxygen in the condensate.

In this paper, we describe the principle, design technique and experimntal results of the spray & scrubber type deaerator.

Key words: Spray, Scrubber, Deaerator, Corrosive gases

1. 서 론

담수(청수)를 공업용수 및 냉각수로 사용하는 보일러 급수계통에서 부식에 의한 손상이 발생하여 누설사고가 심각한 문제점으로 부상하고 있다. 용존산소 및 용존염화물에 의한 각종 설비의 부식 및 스케일 등에 대한 철저한 사전 검토를 거친 후에 설계되어 시공·운영되어야 하지만, 이러한 과정을 소홀히 하면 다음과 같은 심각한 문제점이 발생하게 된다⁽¹⁾.

가) 부식을 고려하여 지나친 내식성의 고가 재료를 사용함에 따른 과잉설계로 인한 재료비와 공정비 등의 시설 자본금이 증대된다.

나) 부식손상으로 인한 운전의 정지 및 이로 인한 산업체의 생산성이 저하되고, 선박의 경우에는 운항정지 또는 어선의 경우에는 조업이 정지될 수 있다.

다) 부식 손상은 수개월에서 수년의 단기간이나 장기간에 일어나고, 전면적으로 부식이 진행

되고 나서야 눈에 보이는 피해를 인식한 때에는 이미 설비나 장치의 전체가 부식으로 인한 손상을 입고 있기 때문에 근본적인 대책이 어렵게 된다.

라) 부식으로 인한 기계효율 저하, 부식생성물에 의한 스케일이 부착하게 됨으로써 열전달율이 저하되고, 순환펌프의 부하가 증대되기 때문에 보일러, 냉난방 공조시스템 및 각종 열교환기 등의 에너지 소비량이 증가하게 된다.

위와 같은 심각한 문제가 발생하므로 용존기체들의 제거가 반드시 필요하며 이 필요성에 따라 탈기기(Deaerator)가 보일러 급수계통에 설치의 필요성이 요구된다.

또한 일반적으로 육상의 발전시스템에 사용되는 탈기기는 국내의 유수 기업들이 현재 설계·제작하고 있으나 선박에 사용되는 탈기기는 해양의 특수성의 인해서 그 구조가 육상용과 달리해야 하며 이에 대한 연구는 외국에 비해 희박한 상태이므로 국산개발이 절실한 실정이다. 본 논문에서는 탈기기의 원리, 종류 및 선

박용 탈기기에 대한 실험결과에 대해서 토의하고자 한다.

2. 탈기기의 주요기능 및 탈기방식에 따른 분류

2.1 탈기기의 주요기능

- 가) 응축수나 급수에 녹아 있는 산소나 이산화탄소를 제거하여 시스템내의 열교환기 표면에서 발생하는 부식을 최소화시킨다.
- 나) 보일러 급수를 예열하는 기능을 가진다.
- 다) 비정상 상태에서 저장탱크의 역할을 하기 때문에 시스템의 운전을 원활히하게 한다.
- 라) 보일러 급수펌프(BFP)에 적당한 흡입헤드(Suction head)를 제공한다.

2.2 탈기 방식에 따른 분류

대량의 담수를 처리하는대는 기계적인 탈기법이 사용되는데 이 원리는 헨리의 법칙(Henry's law)과 달톤의 법칙(Dalton's law)이 주로 쓰이고 있다. 이론적으로는 물이 포화온도까지 가열되었을 때, 모든 기체들은 용해되지 않으므로 용존기체들은 물로부터 분리되어 제거된다. 따라서 이러한 이탈을 용이하게 하기 위하여 용존기체들은 물의 전표면으로 만드시 확산되어야 하며 주위의 물입자들과의 표면경계면을 극복할 수 있어야 한다.

2.2.1 Spray & tray 형 탈기기

Fig.1과 같이 탈기기 내에 트레이 조립체를 일정한 형태로 쌓아 물과 가열 증기의 접촉면적 및 시간을 증가시켜 탈기 작용을 유발시키는 방식이며 주로 육상용으로 사용되는 탈기기이다⁽²⁾.

Spray & tray 형 탈기기 내에서의 탈기는 크게 두 단계로 나뉘어 진다.

첫째 단계는 급수가 스프레이 밸브(Spray valve)를 통과하면서 수막을 형성하여 가열 증기와 접촉하는 스프레이 영역(Spray section)으로 이 단계에서 급수는 탈기기 운전 온도의 약 2~3℃ 이내의 온도까지 가열되며 급수 내의 불응축 기체 중 90% 이상이 탈기된다.

두 번째 단계는 여러 층의 트레이 조립체로 구성된 트레이 영역(Tray section)으로 이 단계를 통과하면서 급수는 가열 증기와 계속적으로

접촉, 포화 온도까지 가열되며 또한 급수 내의 잔여 기체도 최종적으로 탈기된다. 트레이 영역에서의 온도 상승이나 탈기량은 스프레이 영역에 비해 상대적으로 낮은 비율을 보이지만 탈기기의 최종적인 성능에 직접적인 영향을 미치는 부분으로 고효율의 탈기기에는 필수적으로 적용된다⁽³⁾.

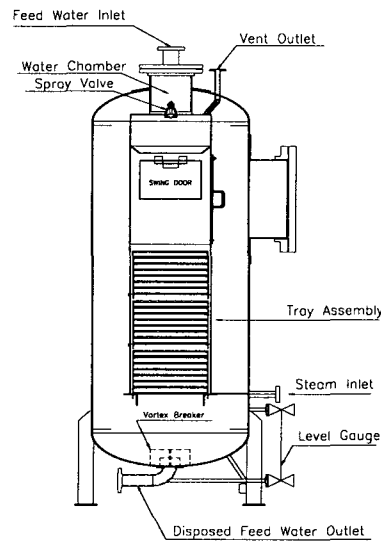


Fig.1 Schematic diagram of spray & tray type deaerator

2.2.2 Spray & scrubber 형 탈기기

Fig.2와 같이 탈기기 내에 물과 가열 증기를 병류로 접촉할 수 있는 스크러버(Scrubber)를 설치하여 탈기 작용을 유발시키는 방식이며 해양의 특수성을 고려한 구조이기 때문에 선박용으로 주로 사용된다. 탈기순서를 요약하면 다음과 같다.

가) 스프레이 밸브에서 분사된 미세한 물입자는 First heating chamber에서 포화온도 근처로 상승하면서 첫 번째 탈기작용이 이루어진다.

나) 그리고 난 다음 스프레이 밸브와 스크러버 사이에 설치되어 있는 유동 조절판(Flow control baffle)를 흘러내리면서 두 번째 탈기작용이 생긴다.

다) 유동조절판에서 흘러내린 물은 다시 Hollow cone plate에서 간접접촉에 의한 세 번째 탈기작용이 일어난다.

라) Jet-mixing chamber에서 스팀과 급수가 병류로 인하여 강한 접촉작용을 통해 네 번째 탈기작용이 일어난다.

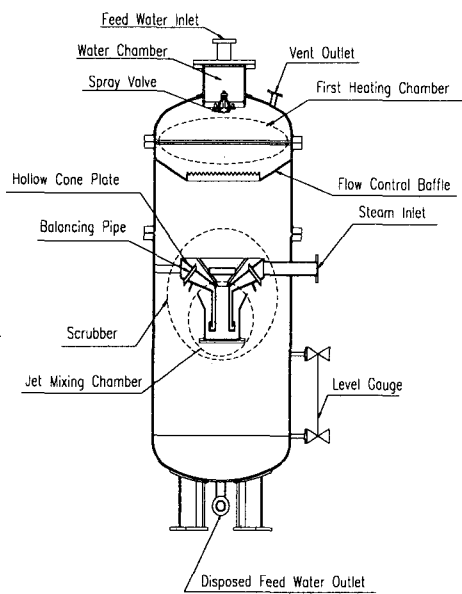


Fig.2 Schematic diagram of spray & scrubber type deaerator

3. Spray & scrubber type 탈기기에 대한 설계조건 및 열평형 방정식

3.1 설계조건

보일러급수에 용산산소의 O₂ 체적에 대한 이론적 값은 Fig.3과 같다. 급수 온도가 어느 압력에 해당하는 포화온도에 도달할때 물속에 녹아있는 O₂의 값은 영이된다. 다음의 5가지 조건이 용존산소도를 최소로 하는데 고효율 탈기기를 설계하는데 중요하다.

가) 용존가스 체적을 최소화하기 위해서, 탈기

기내의 물온도는 작동압력하에서 포화증기 온도이상으로 도달하여야 한다.

나) 탈기기내의 물온도를 끓는점으로 가져오기 위해서는 First heating chamber에서 불응축가스의 분압이 반드시 낮게 유지되어야 한다. 급수는 초기에 First heating chamber에서 탈기된다.

다) 스프레이 밸브에서 분사된 급수는 표면적을 넓히기 위해서 가능한한 미세해야 한다. 그래서 물은 한순간에 열이 가해지고 탈기기내의 스팀이 물표면과 쉽게 접촉하여 결과적으로 가스분리가 가속화된다.

라) 불응축가스를 분리하고 다시 결합하는 것을 막기 위해 분리된 가스는 반드시 물로부터 빨리 제거되어야 하며, 가스-증기 혼합물은 지속적으로 배출되어야 하며 완전히 탈기기내에서 제거되어야 한다. 탈기된 물은 다시 변동하는 압력하에서 가스가 다시 용해되기 전에 반드시 빨리 저장탱크로 안내되어야 한다.

마) 가스분리에는 충분한 시간이 요구되어진다. 탈기실에서 제한된 공간은 분사된 물이 가능한한 긴 유로를 통과할 수 있도록 효과적으로 이용되어야한다.

위와 같은 설계조건을 만족하여 탈기기의 출구온도가 포화온도에 도달하여 용존산소도가 7ppb 이하가 되도록 성능을 만족하여야 한다⁽²⁾.

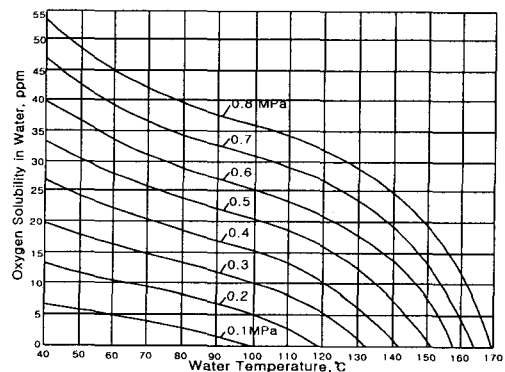


Fig.3 Solubility of oxygen in water as a function of the total pressure (air plus water vapor) and temperature

3.2 열평형방정식

탈기기가 정상상태로 운전될 때는 Fig.4와 같이 검사체적(Control volume)을 적용할 수 있으며 배출구(Venting hole)로 나가는 불응축가스가 제거되는 질량 및 에너지손실은 아주 미세하므로 고려하지 않았다.

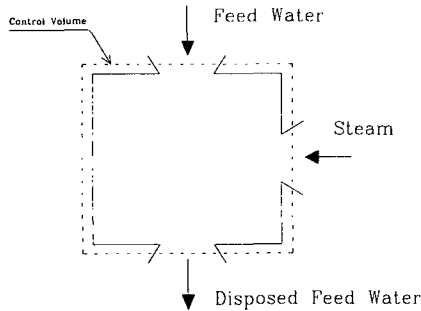


Fig.4 Schematic diagram of deaerator

가) 질량 보존법칙

Fig.4에서 적용한 검사체적에 대해서 질량 보존법칙을 적용하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_f + \dot{m}_s = \dot{m}_d \quad (2)$$

여기서,

\dot{m}_f 는 Mass flow rate of feed water(kg/hr)이고,

\dot{m}_s 는 Mass flow rate of steam(kg/hr)이고,

\dot{m}_d 는 Mass flow rate of disposed feed water (kg/hr) 이다.

나) 에너지 보존법칙

Fig.4에서 적용한 검사체적에 대해서 에너지 보존법칙을 적용하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \quad (3)$$

$$\Rightarrow \dot{m}_f h_f + \dot{m}_s h_s = \dot{m}_d h_d \quad (4)$$

여기서,

h_f 는 Enthalpy of feed water (kcal/kg)이고,

h_s 는 Enthalpy of steam (kcal/kg)이고,

h_d 는 Enthalpy of disposed feed water (kcal/kg)이다.

4. 실험모델 및 실험장치도

Spray & scrubber형 탈기기를 실험하기 위해서 스프레이 밸브 한 개를 실험모델의 급수 입구에 부착하였으며 스프레이 밸브와 스크러버사이의 간격을 각각 750mm(CASE 1), 1280mm(CASE 2)로 설정하여 제작하였다. 탈기기 내의 계측위치는 Fig.5에서 알 수 있듯이 번호로 표시하였다. 탈기기내의 온도를 측정하기 위해서는 열전대(우진, model: T-type)를 사용하였으며 탈기기내의 작동압력을 측정하기 위해서는 Pressure Transmitter(HISCO SENSOR, model: P200D-0005KGAA)를 사용하였다. 또한 탈기기의 급수유량 및 출구유량을 측정하기 위해서는 용적형 유량계(MEINEKER, model: WP 50)를 설치하여 측정하였으며 탈기기에서 처리된 급수의 용존산소도를 측정하기 위해서는 용존산소계측기(TOA Electronics Ltd, model: DO-32A)를 사용하였다. 이상의 온도, 압력, 유량, 용존산소도의 신호처리는 Λ/D 변환기(CHINO, model: LE 2000)를 거쳐 PC로 온라인 처리되거나 조정되며, 추출된 자료의 분석은 오프라인 프로그램에 의해서 일괄 처리되도록 하였다. 이상의 측정시스템의 개략도는 Fig.6과 같다.

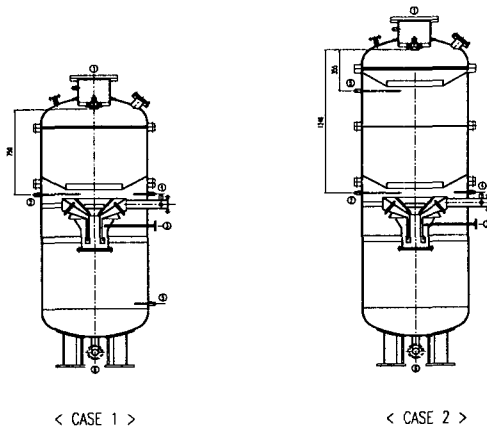


Fig. 5 Experiment models of spray & scrubber type deaerator

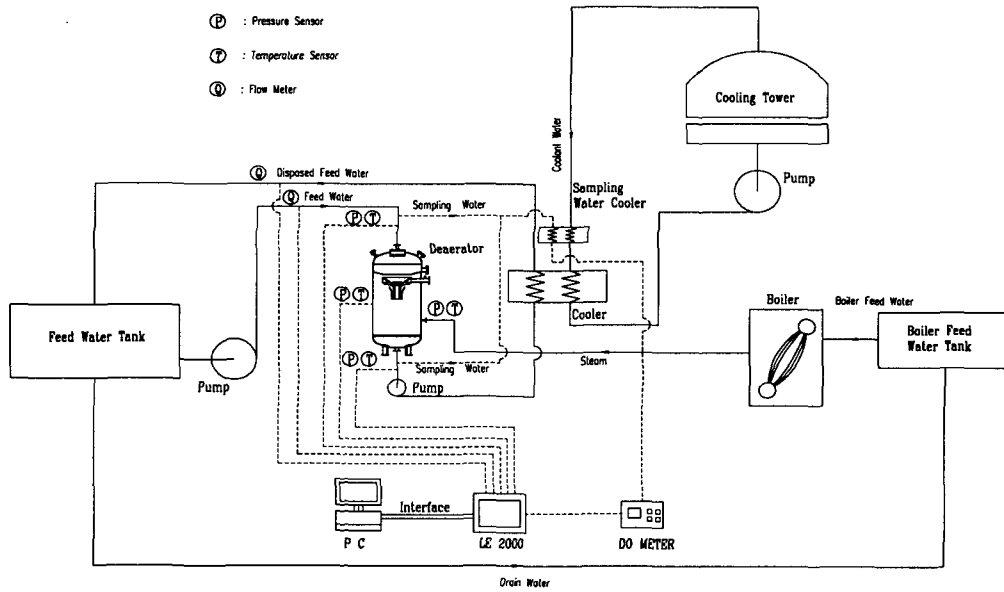


Fig. 6 Schematic diagram of data acquisition system

5. 실험결과

탈기기입구측 급수의 용존산소도는 약 300ppb, 온도는 약 50~60 °C로 일정하게 유지하고 급수유량을 0~12 m³/hr 로 조정하면서 탈기기 내의 온도, 압력 및 용존산소도를 측정하였다.

우선 CASE 1에 대한 실험결과를 살펴보면 스프레이 밸브에서 분사된 급수는 탈기기내의 작동압력에 해당하는 포화온도로 급격히 도달함을 Fig. 7에서 알 수 있다. 급수 유량이 적을수록 스프레이 영역에서의 포화도는 증가하나 급수유량이 2 m³/hr 이하에서는 용존산소도는 증가함을 알 수 있다. 이는 스프레이 밸브에서 분사된 물 입자는 포화온도에 도달하지만 스크리버에서의 탈기작용이 원활하게 작용하지 않으므로 용존산소도가 증가하였다고 판단된다.

CASE 2에 대한 실험에서는 전반적으로 CASE 1의 경우보다 스프레이 밸브에서 분사된 물입자에 대한 포화도($= \frac{T_2 - T_1}{T_4 - T_2}$)는 증가하였음을 Fig. 8에서 알 수 있다. 급수유량이 약 10 m³/hr 일 때 CASE 1과 CASE 2를 비교해

보면, CASE 1의 경우는 스프레이 영역에서의 포화도는 90%, CASE 2의 경우는 포화도는 95%로 나타났다. Fig.9에서 알 수 있듯이 CASE 2의 경우도 CASE 1과 동일하게 급수유량이 2 m³/hr 이하일 때는 탈기기 출구의 용존산소도는 7 ppb이상으로 증가하였다.

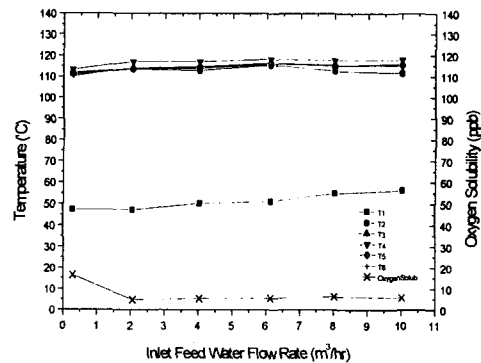


Fig. 7 Temperature distributions in deaerator and oxygen solubility of the disposed water with feed water flow rate changes(CASE 1)

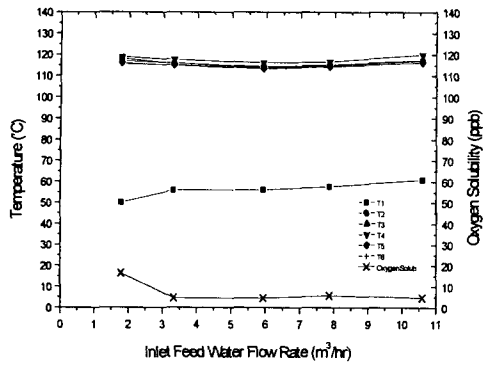


Fig. 8 Temperature distributions in deaerator and oxygen solubility of the disposed water with feed water flow rate changes (CASE 2)

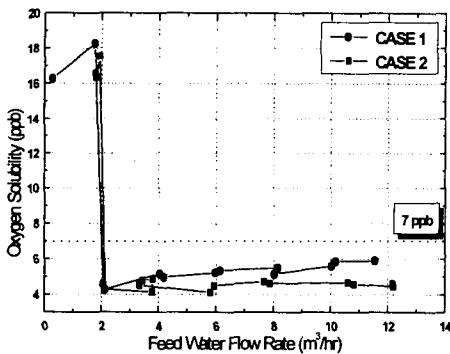


Fig. 9 Performance curve of spray & scrubber type deaerator

6. 결론

선박용 탈기기의 주요 탈기구조는 스프레이 밸브와 스크러버와 구성되어 있으며 성능 실험 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 스프레이 밸브에서 분사된 유량이 약 2~12 m^3/hr 인 경우에는 탈기기를 통과한 급수의 용존산소도는 실험모델 CASE 1, CASE 2 모두

7ppb이하로 처리되었다.

2. 스프레이 밸브에서 분사된 유량이 약 2~12 m^3/hr 인 범위에서는 CASE 2의 경우는 Case 1의 경우보다 탈기된 급수의 용존산소도가 약 1ppb 적게 나타났으며 급수유량이 2 m^3/hr 보다 적은 경우는 탈기기를 통과한 급수의 용존산소도가 7ppb보다 증가하는 경향을 나타내었다.

참고문헌

- [1] 임우조, “부식억제를 위한 용존산소의 제거 기술,” 박용기관학회지, 제 25권, 제 2호, pp.25-30, 2001
- [2] Kansas City Heater Company, The Permutit Company, Inc., Stickle Specialties Company, “Standards and Typical Specification for Deaerators,” Heat Exchange Institute, Inc. 5th Edition, 1992
- [3] www.cjport.com