

해상 플랜트용 담수화장치 기술개발

김재윤*, 박상진*, 송치성*

Desalination technology for a barge mounted plant

Jae Yun Kim, Sang Jin Park, Chi Sung Song

* 한국기계연구원 환경설비연구부

Abstract : In the paper, desalination technology for a barge mounted plant is presented. Desalination system on a barge needs high efficiency, smaller space, and stability. Therefore 4-effect distillation system (capacity of 50ton/day) is designed and constructed. During operation, detailed investigation of different operation parameters is carried. This paper discusses about product water flowrate and recover ratio with different steam flow rate and feed water rate

Key words: Desalination system(담수화장치), Barge mounted plant(해상플랜트), Recover ratio(회수율)

1. 서론

우리나라의 경우 인구에 비해 가용부지는 매우 좁은 편이지만 3면이 바다로 둘러싸여 있고 인구 밀집 지역이 주로 해안선을 따라 분포하며 도서 지역이 많다는 점에서 해양공간의 활용에 있어 유리한 조건을 갖추고 있다. 그리고 NIMBY현상의 심화, 지가의 상승 등에 따라 해상플랜트 기술에 관한 관심이 높아지고 있다.

또한 해상플랜트의 경우 공업용수 및 생활용수 등은 해수 담수화장치를 이용하여 해결하는 것이 경제적이며, 담수화의 원수로 쓰이는 양질의 해수를 공급하기가 쉽고 브라인 처리 및 냉각수라인이 간단하다는 장점을 지니고 있다. 그러나 육상용 담수화장치와 달리 해상플랜트에서는 진동 및 바지운동에 따른 영향이 있어 이를 설계시에 고려해 주어야 한다. 특히 해상 플랜트에서는 설치면적 및 공간이 한정되어 있으므로 고효율화 및 소형화가 매우 중요한 설계요소이다.^[1-3]

본 연구는 해상플랜트에 적합한 담수화 기술개발을 위하여 소형화, 안정화, 고효율화 기술개발에 초점을 맞추었다. 이를 위하여 그동안 축적된 기반기술들을 적용하여 실제로 4중효용방식의 증발식 담수화장치를 설계, 제작하였으나 전체 과제

사정상 실제 해상부유물의 제작이 불가능하여, 성능시험은 본 연구원에서 담수로 진행하였다. 이를 통하여 스팀유량 및 원수공급유량에 따른 생산수 유량의 변화를 계측하여 장치의 성능을 검증하고 문제점등을 파악하였다.

2. 담수화 시스템 구성

본 연구는 해상플랜트과제의 일부로 진행되었기 때문에 플랜트에 계획되었던 소각로의 폐열이용이 용이하고 설치공간이 비교적 적게 필요한 다중효용방식의 담수화장치를 설계, 제작하였으며 그림 1에 전체 계통도를 나타내었다.

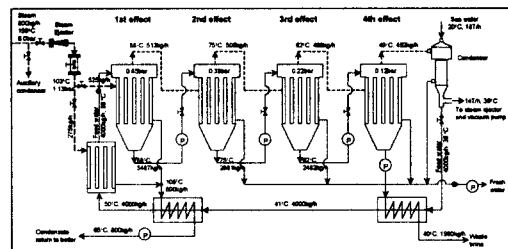


그림 1 해상 플랜트용 담수화장치의 시스템 계통도

2.1 기본 사양

담수화장치의 사양은 원래 해상플랜트 계획의 소각로 폐열과 설치장소를 고려하여 4중효용방식의 일일 담수생산용량 50톤 규모로 하였고, 증발기 방식은 하향액막식으로 선정하였다. 제작된 기본 설계사양을 표 1에 정리하였다.

표 1 기본 설계 사양

항 목	제 원
담수화 방식	다중효용증발식(MED)
생산 용량	50톤/일
효 용 수	4중효용
증발기 형식	하향액막식
회수율	50%
스팀사용량	800kg/h
진공생성기구	스팀에젝터
최대 허용 경사각	± 4°

2.2 증발관 설계

우선 각 효용의 증발온도를 지정한 후, 이를 토대로 수직실린더에서의 증발, 응축열전달계수^[4,5]에 관한 관계식을 trial error방법으로 계산하여 필요한 전열면적을 도출하고 증발관의 규격 및 개수를 정하였다.

2.3 배관 설계

각 효용에서 발생한 증기는 데미스터(Demister)에서 액적이 제거된 후 다음 효용의 응축부로 가서 응축된다. 이때 감압된 상태로 유동을 형성하므로 비체적이 상압에 비하여 매우 커져 유속이 빨라지므로 이송관의 직경을 잘 선정하여야 한다.

일반적인 증기관 설계에서는 최대평균유속이 50 m/s를 넘지 않도록 하고 있는데, 본 장치에서도 이 기준을 적용하여 선정하였다.

또한 냉각수, 원수의 배관은 유속을 고려하여 마찰저항에 의한 수두손실이 0.1m/m 이하가 되도록 선정하였다.^[6]

2.4 액막 형성기구

액막식 증발기에서는 증발기의 상부에서 어떤 방식으로 액막을 형성하느냐가 매우 중요한 요소이다. 액막을 형성시키는 방법은 여러 가지가 있지만 본 장치에서는 자체 개발한 액막형성용 슬릿형 노즐을 적용하였다. 이 장치의 원리를 개략

적으로 나타내면 그림 2와 같다.

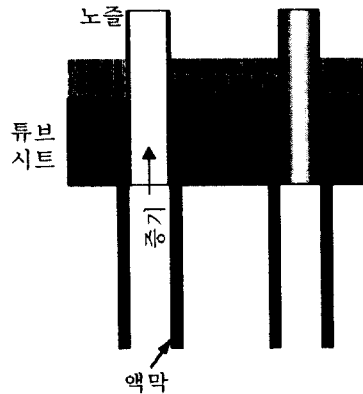


그림 2 액막노즐의 개념도

2.5 부대 장비

증발식 담수화장치의 부대장비는 원수, 냉각수, 브라인을 이송하기 위한 펌프류와 진공을 생성하기 위한 에젝터, 외부로 배출되는 현열을 회수하기 위한 열교환기 등이다. 청수배출은 펌프나 에젝터를 모두 사용할 수 있는데 본 장치의 경우 설치공간(해상 플랜트)의 제약 때문에 충분한 압력회복을 위한 높이를 확보할 수 없어 수 에젝터를 사용하여 배출하는 것으로 결정하였다.

3. 성능 시험 장치

이와 같이 설계되어 제작된 장치의 성능을 시험하기 위하여 본 연구원에 성능시험장치를 구성하였으며, 이를 그림 3에 나타내었다.



그림 3 성능시험장치 전경

3.1 수조 및 보일러

장치의 성능실험을 위해서 본 연구원이 보유하고 있는 200톤 규모의 수조를 활용하였으며 스팀 공급을 위해서 10 kgf/cm², 최대 스팀생산량은 1,000 kg/h의 스팀보일러를 설치하였다. 또한 증발기 헤드 등의 개폐작업을 용이하게 하기 위하여 장치상부에 수동 크레인을 설치하였다.

3.2 모니터링 시스템

모니터링 시스템의 전체적인 계통도는 그림 4와 같다. 온도, 압력, 유량센서에서 나오는 아날로그 신호(전압, 펄스, 전류)는 데이터로거에서 디지털 신호로 변환되어 GPIB Interface (IEEE-488)를 거쳐 개인용 컴퓨터로 전송된다. 컴퓨터에서는 각 측정치를 실시간으로 디스플레이하고 필요시 그 값을 저장한다. 또한 기기성능의 주요 지표인 GOR(Gained Output Ratio), RR(Recovery Ratio)를 실시간으로 계산하여 출력한다.

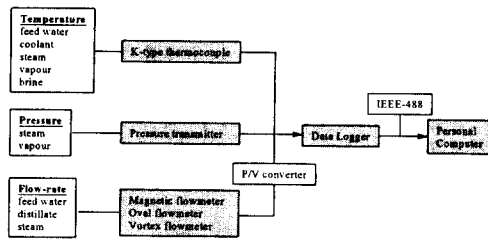


그림 4 모니터링 시스템 계통도

4. 실험 및 고찰

그림 5는 스팀유량을 증가시킬 때의 생산수 유량의 변화를 나타내고 있다. 생산수 유량은 스팀 유량이 증가하면 함께 증가하다가 일정한 값에 수렴한 후 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 즉 최대값이 존재함을 알 수 있다. 초기에 증가하는 이유는 제1효용의 증발온도가 상승하고 에젝터의 감압성능이 설계유량에 가까워지면서 각 효용에서의 온도차가 커져 각 효용의 증발량이 증가하기 때문이고 스팀량을 지나치게 증가시키면 제1효용의 증발온도는 상승하지만 스팀입의 저하와 에젝터 성능의 포화로 증발기내의 적정 진공도를 유지하지 못하고 각 효용간의 온도차가 매우 작아지기 때문이다.

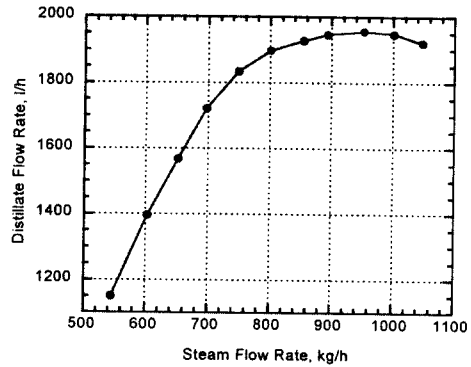


그림 5 스팀유량에 따른 생산수 유량의 변화

증발식 담수화 시스템의 중요한 성능지표인 회수율(RR)은 원수유량에 대한 생산유량의 비로 정의하는데, 일반적으로는 높을수록 좋지만 브라인 염도 증가에 따른 후단에서의 스케일문제와 배출 브라인의 농도규제 때문에 통상 50%로 설계하고 있다. 스팀유량에 따른 회수율의 변화는 다음의 그림 6과 같은데 저 스팀유량 범위에서는 스팀량에 비하여 원수의 주입량이 많기 때문에 회수율이 설계치에 비하여 매우 낮음을 알 수 있다. 그러나 설계유량 이상에서는 설계시에 설정한 바와 같이 회수율이 50% 정도를 보였다.

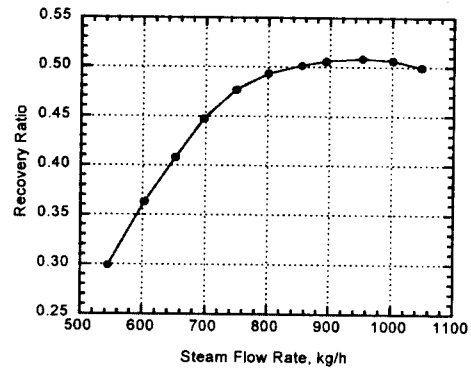


그림 6 스팀유량에 따른 회수율(RR)의 변화

한편, 제1효용에 공급되는 원수의 유량변화에 따른 담수화 시스템의 성능변화는 그림 7과 그림 8에 도시하였다. 이때 스팀유량은 801±5 kg/h, 냉각수온도는 27~29°C 로 일정하게 유지하였다.

우선 생산수 유량의 변화를 살펴보면 그림 7에 나타난 바와 같이 원수유량에 따라 증가하다 다시 감소하였다. 원수유량이 설계치 보다 많아지면 현열회수기에서 충분히 예열되지 않은 상태에서 제1효용으로 들어가게 되고 또 증발관 안에서의 액막이 두꺼워지므로 열저항이 커져 응축부에서 증발부로의 열전달율이 감소하므로 생산량의 저하를 가져온다.^[7] 반면에 원수유량이 과도하게 감소할 때는 스팀량은 설계치로 일정하게 공급되고 있으므로 생산량이 줄게된다. 특히 이 상태에서는 후단에서 브라인의 유량이 충분치 않아 액막의 형성이 균일하게 이루어지지 못하기 때문에 생산량의 감소 뿐 아니라 스케일의 급격한 형성도 우려된다. 그러나 증축의 최대, 최소값의 범위가 협소하므로 실제 생산수 유량의 변화폭은 최대 13% 정도이므로 원수유량변화가 생산수량에 미치는 영향은 스팀유량변화에 비하여 매우 작은 것을 알 수 있다. 따라서 실제 운전상황에서 원수유량은 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다.

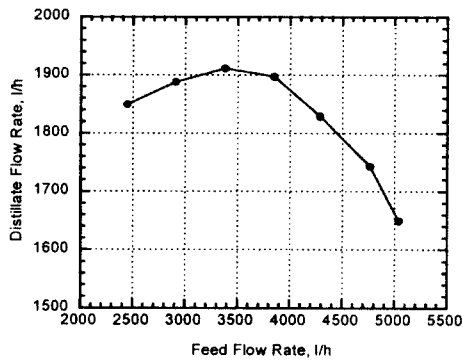


그림 7 원수유량에 따른 생산수 유량의 변화

그림 8은 회수율의 변화를 나타낸 것으로 원수유량이 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소하고 있음을 보여주고 있다. 회수율의 변화폭은 생산량의 변화폭에 비하여 상당히 큰 값을 나타내고 있다. 즉 회수율을 주요 제어대상으로 하는 시스템에서는 운전시 원수유량의 조절이 매우 중요한 제어대상임을 의미한다. 본 장치에서는 앞서 언급한 여러 가지 요인에 의하여 회수율을 45~50%로 설정하였기 때문에 실제 적용 가능한 원수유량 범위는 3800~4200 l/h 로 비교적 협소한 결

과를 보이고 있다. 하지만 스팀량을 원수유량과 연계하여 조절할 수 있다면 보다 넓은 범위에서의 정상운전이 가능할 것으로 판단된다.

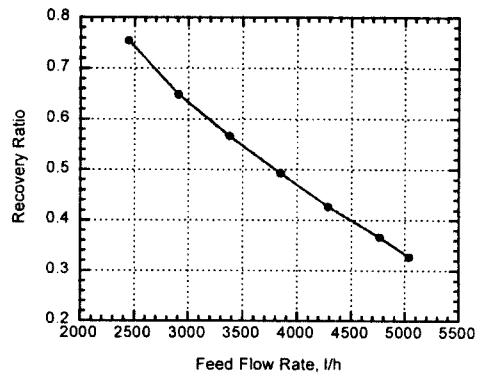


그림 8 원수유량에 따른 회수율(RR)의 변화

5. 결론

이상의 시험결과를 토대로 고찰한 결과, 본 실험장치의 이상적인 운전범위는 스팀유량 700~800 kg/h, 원수유량 3800~4200 l/h 인 것으로 나타났다. 이 조건 내에서는 시스템의 열효율, 스케일 방지, 생산량 등에서 가장 우수한 성능을 발휘하였다. 설계조건과 비교할 때 스팀유량은 5% 정도의 오차를 보였고 원수유량은 거의 일치하였다. 한편 장치의 내구성 면에서는 본 시험이 약 3개월간에 걸쳐 수행하였는데 초기와 시험후의 설계점에서의 성능을 시험한 결과 운전조건 및 생산수량이 2% 범위 내에서 일치하였다. 따라서 그 기간 동안 스케일의 형성이나 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 추론할 수 있었다. 해상부 유구조물에 탑재하여 실제로 진동 등에 대한 영향을 확인하지 못한 점이 아쉬움으로 남으며 보다 정확한 자료를 얻기 위해서 추가 시험이 이루어질 계획이다.

본 연구는 과학기술부에서 시행한 특정연구개발사업의 결과이며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 김병덕 등, 해상 Barge용 담수화 기술개발, 한국기계연구원, 1998.
- [2] 한국 건설 기술 연구원, 해상 및 담수화 플랜트의 기술과 현황, p188~195, 237~243, 1985
- [3] 한국수자원공사, 해수의 담수화 방안 연구 보고서, p89~97, 1995. 12
- [4] Grigoreva, N. I., and Nakoryakov, V. E., "Combined Heat and Mass Transfer During Absorption in Drops and Films," *J. Eng. Phy.*, Vol. 32, No. 3, pp. 243-247, 1977.
- [5] Howe, E. D., *Fundamentals of Water Desalination*, Marcel Dekker Inc., New York, 1974.
- [6] Khan, A. H., *Desalination Processes and Multistage Flash Distillation Practice*, Chap. 8, Elsevier, Amsterdam, 1986
- [7] Porteous, A., *Desalination Technology*, Applied Science Publishers London and New York, p240~246, 1983