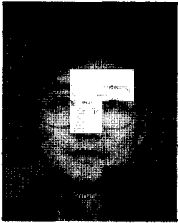


# 선박용 주기관 냉각열을 이용한 조수기 개발



김재윤

(KIMM 환경설비연구부)

- '88 - '93 서울대학교 기계공학과(학사)
- '93 - '95 서울대학교 기계공학과(석사)
- '95 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



송치성

(KIMM 환경설비연구부)

- '79 - '83 한국해양대학교 기관학과(석사)
- '83 - '87 영국 Zodiac Maritime Co.(Engineer)
- '87 - '89 한국해양대학교 선박기계공학과(석사)
- '96 - '01 서울대학교 기계공학과(박사)
- '89 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

## 1. 서론

조수기는 고온의 엔진 냉각수와 열교환을 통하여 선박운영에 필요한 청수를 공급함과 동시에 냉각수의 온도를 낮추는 역할을 수행하는 필수 보조기계이다. 최근에는 세계적으로 신규 및 교체 선박수주가 증가하고 있어, 이에 탑재될 조수기의 수요도 급증하고 있다. 또한 세계 조선시장을 선도하고 있는 우리나라의 경우 자체 선박 건조량도 매우 안정적인 상황이다. 그러나, 그동안 조수기는 대부분 유럽 및 일본제품을 사용하여 왔으며 국내업체들이 관련기술은 보유하고 있지만 실제로 상용 조수기를 제작하여 성능을 검증 받을 수 있는 기회가 거의 없었다. 그 결과 기존의 shell & tube 방식의 조수기 시장에서도 낮은 점유율을 보였던 국산제품들이 새로이 부각되고 있는 판형 조수기 시장에서는 완전히 밀려날 상황이다.

조수기에 사용되는 열교환기 기술은 선박엔진의 각종 부대장치에도 사용되고 있으며 대부분의 업체들이 이러한 설비들을 일괄적으로 수주하기 때문에 조수기 시장의 진출은 선박엔진 부대 장비 시장의 교두보 역할을 하게 된다. 또한 선박용 조수기 기술은 날로 증가하고 있는 육상의 물 부족 현상을 극복하기 위한 방법으로 부각되고 있는 담수화장치에도 적용 가능하며 육지로부터 고립된 해양시설물, 휴양지의 호텔 및 도서지방 등의 생활용수 공급용으로도 사용할 수 있다.

선박용 조수장치에는 증발식과 역삼투식 방법이 응용되고 있다. 이중, 증발식 조수장치는 선박의 엔진에서 방출되는 폐열을 이용할 수 있어 운

영비를 절감할 수 있는 장점을 지니고 있어 많이 사용되고 있다. 하지만 아직 조수기 내부의 파울링 방지기술과 열교환 성능 향상기술에 대한 국내의 기술은 미약한 편이다. 특히 장기간 운항하는 원양항해선박의 경우 안정적인 운전성능을 보장하는 것이 제일 중요하므로 파울링 방지기술에 관한 연구는 매우 시급한 과제이다.

본 연구에서는 선진외국제품의 분석을 통하여 획득한 신모델 개념을 토대로 주판기관이 보유하고 있는 조수기관 관련 기술과 참여업체의 판형열교환기 제작기술을 결합하여 설치면적과 파울링이 작고 유지, 보수가 간편한 새로운 모델의 판형 조수기를 설계, 제작하였다. 또한 장치의 성능을 검증하기 위하여 수조, 보일러, 스팀혼합기 등을 활용하여 선박상황을 모사 할 수 있는 시험성능 평가 장치를 구성하고 기초 운전실험을 수행하였다. 또한 타과제에서 개발된 초음파 파울링 방지기의 적용가능성을 검토하였다. 이와같은 연구결과를 토대로 이후에는 운전 안정성과 내구성이 검증된 선박 탑재용 조수기를 개발하여 상용화의

기반을 구축할 예정이다.

## 2. 선박용 조수기의 개요

선박용 조수기는 진공이 형성된 용기에 해수를 공급하고, 여기에 주기관 냉각수의 열을 가열하면 해수가 증발되고, 이를 응축하여 증류수를 만드는 장치이다. 일반적으로 많이 사용되는 조수 시스템의 개념도를 그림 1에 나타내었으며 시스템을 구성하는 기기의 종류와 역할은 다음과 같다.

가열기는 주기관 재킷 냉각수 (jacket cooling water)의 열을 이용하여 해수를 끓이는 장치이며 응축기는 증발실에서 올라온 수증기를 해수로 냉각시키는 장치이다. 가열기와 응축기에 사용되는 열교환기는 shell & tube 방식과 판형이 있는데 요즘은 대부분 판형을 채택하고 있는 경향이 있다. 에젝터는 증발실안의 공기나 불응축가스를 선외로 불어내고 증발되고 남은 브라인을 배출하여 증발실의 진공을 형성시킨다. 데미스터는 가

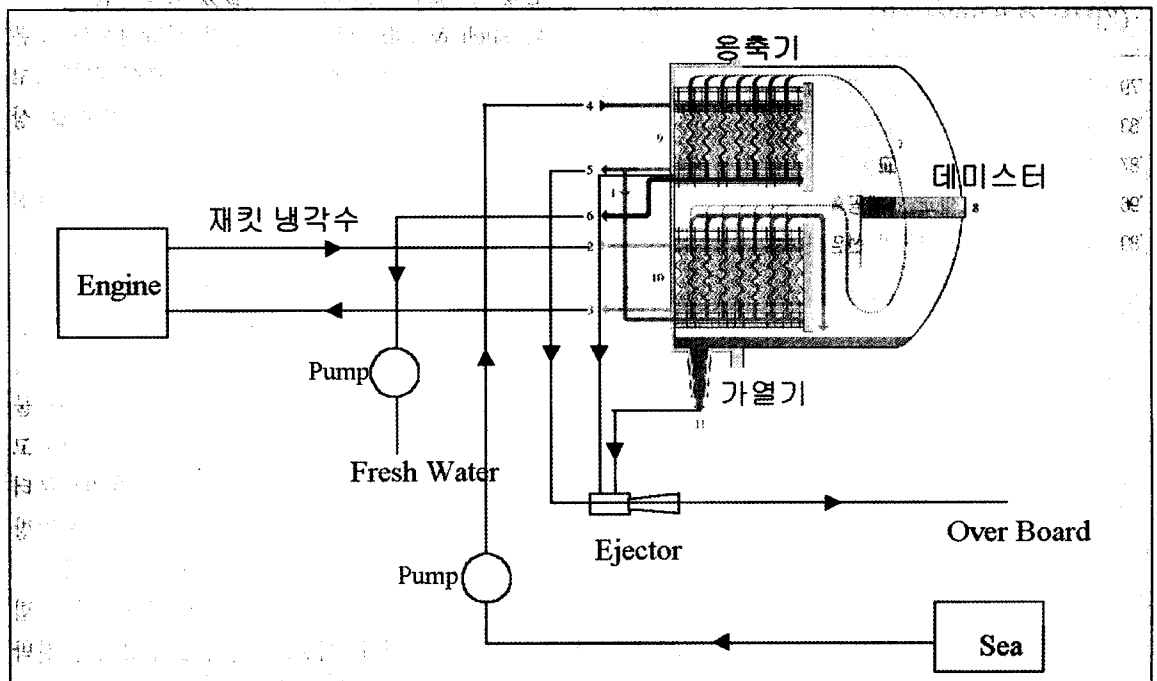


그림 1. 선박용 조수기의 전체 계통도

는 스트레인레스 스틸 철사를 엮어서 만든 거름 장치로서 물과 수증기를 분리하여 수증기만 응축기로 보내는 역할을 한다. 이외에도 에젝터를 구동하기 위한 펌프와 진공상태의 생산수를 배출하는 생산수공급 펌프가 있다.

일반적으로 요즈음 건조되고 있는 선박의 경우, 엔진 냉각수의 온도는 약 80℃ 정도이고 조수기의 진공도는 90% 정도로 운전하고 있으며 현재 세계시장은 유럽의 A사와 일본의 S사가 대부분을 점유하고 있는 상황이다.

### 3. 선진외국제품의 기술 분석

본 연구에서 분석대상으로 선정한 제품은 A사의 판형 조수기이다. 판형열교환기를 이용한 조수기는 기존의 shell & tube 방식보다 파울링이 적고 유지,보수가 용이하다는 장점을 지니고 있어서 최근들어 계속해서 점유율을 높이고 있다. 우리나라에서 제조되는 선박의 경우에도 이전에는 일본 S사 제품으로 대표되는 shell & tube 방

식이 대부분이었으나 몇 해 전부터 판형 조수기를 선호하는 추세이며, 신규선박에는 대부분 판형을 설치하고 있다. 또한 S사도 이런 추세에 밀려 판형 조수기를 개발하고 있는 실정이다.

A사에서 시판중인 판형 조수기의 외형을 그림 2에 나타내었다. 기본적인 설계조건은 엔진의 냉각수온도를 약 80℃로 맞추었고 공급해수의 온도는 약 32℃로 설정하였다. 진공 형성과 챔버내의 불응축가스 배출을 위하여 에젝터를 이용하였고, 청수의 배출을 위하여 진공에서의 석선이 가능한 펌프를 설치하였다. 스팀으로 구동할 때를 위하여 스팀과 냉각수를 혼합하는 스팀 인젝터 시스템이 장착되어 있다.

이 제품의 특징은 증발부와 응축부를 하나의 챔버안에 설치하여 장치의 효율을 높이고 설치면적을 최소화한데 있다. 이를 위하여 그림 3과같이 증발과 응축이 판과 판사이에서 직접 일어나도록 일반적인 판형열교환기를 수정하여 제작하였다.

증발부에 들어가는 공급수는 응축부에서 예열되어 약 42℃이고, 챔버 안의 진공도는 약 90%

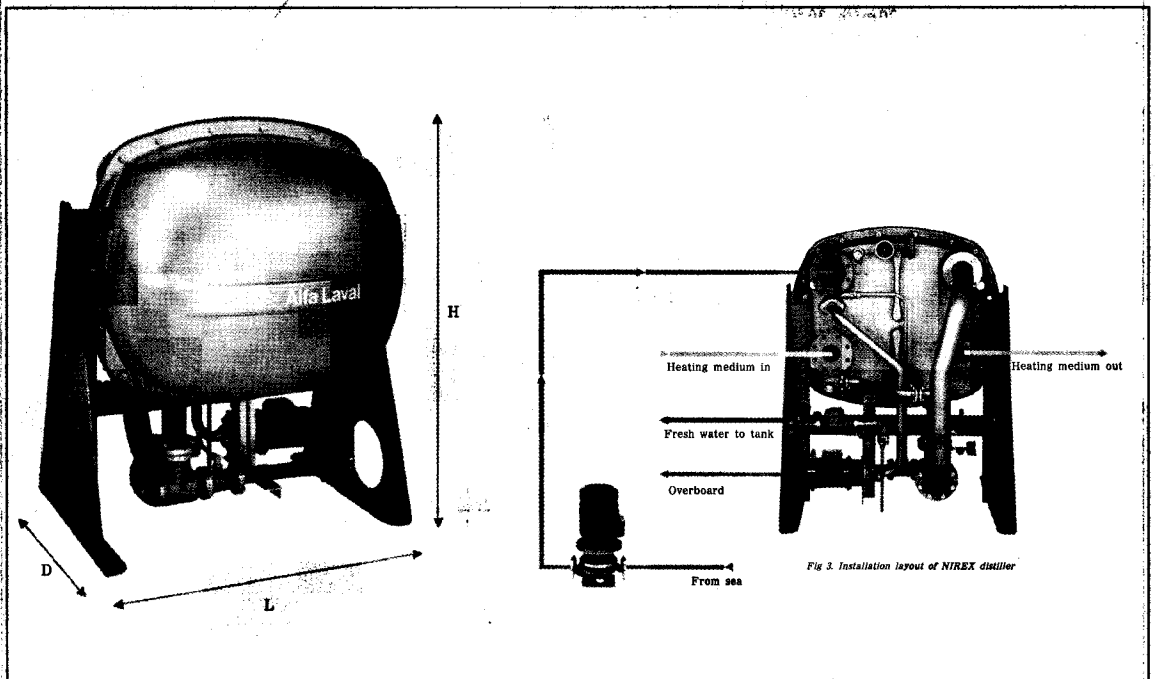


그림 2. A사의 판형열조수기 상용품

정도이다. 챔버내에는 증기와 브라인을 분리하기 위한 데미스터가 장착되어 있고, 부식이 잘되는 금속 시편을 설치하여 챔버를 보호할 수 있도록 하였다. A사의 조수기는 0.5 - 115톤 규모로 다양하게 제작되고 있으며 선박용 엔진에 대한 부대장치, 즉 유수분리기, 엔진 냉각시스템, 오일회수 및 윤활유 처리 등의 각종 제품을 일괄적으로 공급하고 있다.

또한 이러한 제품분석을 토대로 실제로 장치가 탑재된 선박에 탑승하여 조수기의 운전조건 및 상태를 직접 확인하였고 운전자들과의 면담을 통하여 애로사항 등을 파악하였다. 그 결과 조수기의 성능은 무척 안정적이었으나 열교환기의 보수나 세척을 위해서 챔버 전체를 해체해야 하는 점이 불편하다는 것을 알 수 있었다.

이상과 같은 분석 및 현장 탐방 결과를 토대로 열교환기의 보수 및 세척이 용이한 판형 조수기를 개발하고자 노력하였으며, S사에서 제안하고

있는 열교환기 외부 노출형 조수기를 변형시킨 독자 모델을 개발하였다. 또한 핵심부품인 판형 열교환기를 참여기업인 태봉산업의 제품을 사용하여 대부분의 부품을 국산화하였다.

#### 4. 판형 조수기 설계 및 제작

새로운 모델의 판형조수기 설계를 위하여, 우선 기본적인 외형설계와 전체적인 열정산을 수행하였으며 이를 기반으로 판형열교환기의 종류와 개수를 선정하고, 적합한 진공도를 형성할 수 있도록 에젝터를 설계하였다. 그리고 각종 펌프, 챔버, 데미스터 등 부대장비들을 선정, 구매하고 이를 결합하여 TBFWG - 012 시작품을 제작하였다.

##### 4.1 외형 선정

앞서 설명하였듯이 본 제품의 특징은 열교환기

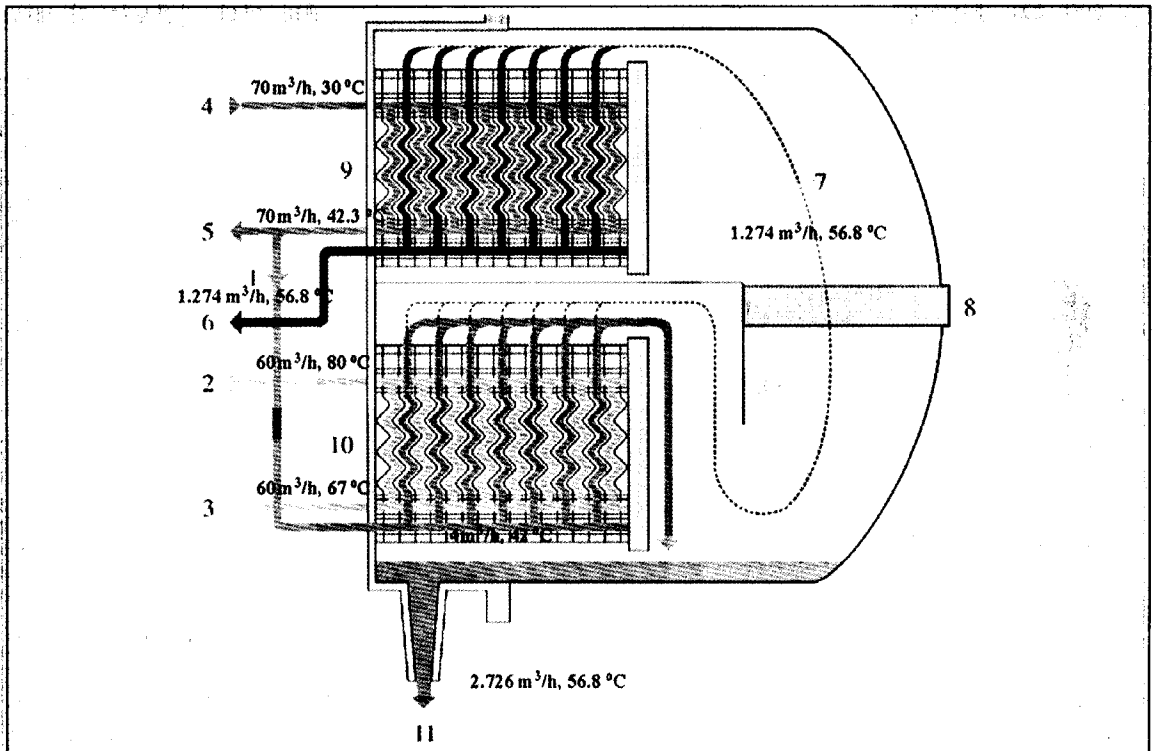


그림 3. 챔버내의 열,유동 플로우 다이어그램 (30톤/일)

의 유지, 보수를 용이하게 하기 위하여 열교환기를 외부로 유출시키고 증발 챔버를 독립시킨데 있다. 이에 대한 개념도를 그림 4에 나타내었다. 또한 이러한 개념은 S사도 제안하고 있는데, 본 연구에서는 판형열교환기의 유동방식을 그림 5와 같이 S사의 교차흐름과 다른 평행흐름을 채택하고 수직으로 설치하여 차별성을 획득하고자 하였다.

#### 4.2 열정산

조수기 설계에 있어서 가장 기본이 되는 것은

설계사양에 따른 각 부분의 열정산을 수행하는 것이다. 우선 1차년도에 계획한 설계사양은 연구원이 보유하고 있는 시험설비와 후에 선박탑재 실험을 고려하여 일일 생산용량 12톤, 판형으로 정하였다.

##### 4.2.1 중요 부품

판형 조수기는 다음과 같은 부품들로 구성된다.

- Separator vessel (chamber)
- Evaporator section (PTHE)
- Condenser section (PTHE)

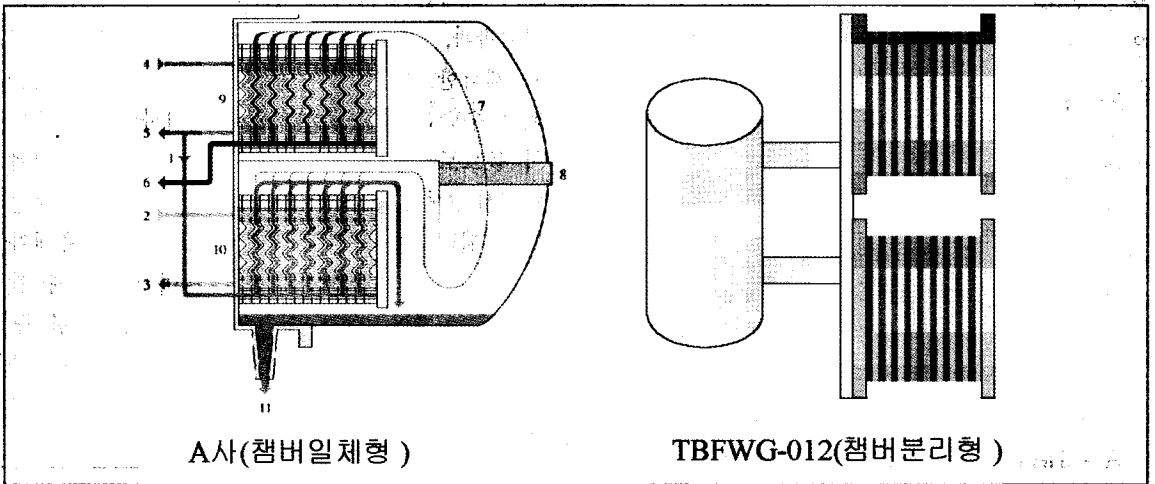


그림 4. 챔버분리형 판형 조수기 개념도

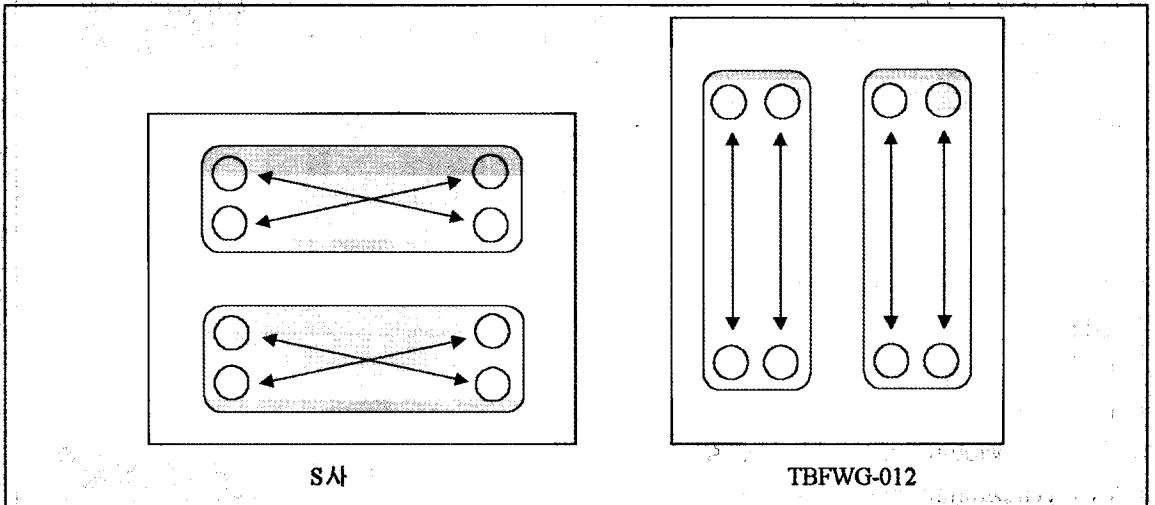


그림 5. 판형열교환기 유동방식 및 설치위치

- Combined brine/air ejector
- Steam injector
- Combined ejector/cooling water pump
- Fresh water pump
- Metal Structure
- Chemical & anti fouling system
- Control panel, Measuring instrument

4.2.2 열교환기 선정을 위한 기본 방정식

열교환기를 선정하기 위해서는 열정산을 수행해야 하며, 이를 위해서는 열부하, 각부분의 입, 출구 온도사이의 다음과 같은 열전달방정식을 풀어야 한다.

$$P = m \cdot C_p \cdot \delta t = K \cdot A \cdot LMTD$$

P = Heat load [kW]

m = Mass flow late [kg/s]

Cp = Specific heat [kJ/kg°C]

δt = Temperature difference between inlet and outlet on the side [°C]

K = Total overall heat transfer coefficient [W/m<sup>2</sup> °C]

A = Heat transfer area [m<sup>2</sup>]

LMTD = Log mean temperature difference

$$1/K = 1/a_1 + 1/a_2 + \delta/\lambda + R_f$$

a<sub>1</sub> : Heat transfer coefficient between the warm medium and surface

a<sub>2</sub> : Heat transfer coefficient between the cold medium and surface

δ : Thickness of the heat transfer surface [m]

λ : Thermal conductivity of metal [W/m °C]

R<sub>f</sub> : Fouling factor [m<sup>2</sup> °C/W]

$$LMTD = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln (\Delta T_1/\Delta T_2)$$

T<sub>1</sub> : Temperature inlet, hot side,

T<sub>2</sub> : Temperature outlet, hot side

T<sub>3</sub> : Temperature inlet, cold side,

T<sub>4</sub> : Temperature outlet, cold side

θ = Thermal length = δt

$$/ LMTD = KA/mC_p [°C]$$

이와 같은 계산식에 선박의 실제 조건들을 대입하여 증발부 및 응축부의 열정산을 수행하였으며, 이를 토대로 열교환기의 크기와 개수들을 선정하였다.

4.3 판형 열교환기

그림 6에 나타난 것과 같이 판형열교환기는 스테인레스, 티타늄 등의 금속판을 유로가 형성되도록 설계한 금형과 고압프레스로 성형하여 만든 전열판과, 각 판사이에 유체흐름과 밀봉을 위해서 제작한 특수 가스켓을 전열용량에 따라 산출된 매수만큼 양단에 설치한 프레임사이에 적층하여 볼트로 조이게 되면 전열판의 면과 가스켓에 의해서 2개의 유체가 흐를 수 있는 유로가 형성되게 된다. 이 유로를 통하여 고,저온의 유체가 통과하게 되면 강한 난류에 의하여 급속하게 열교환이 이루어지는데 판형열교환기는 이러한 구조를 완전 분해 조립식으로 설계하여 시공이 간편하고 유지보수가 편리하도록 제작한 고효율 열

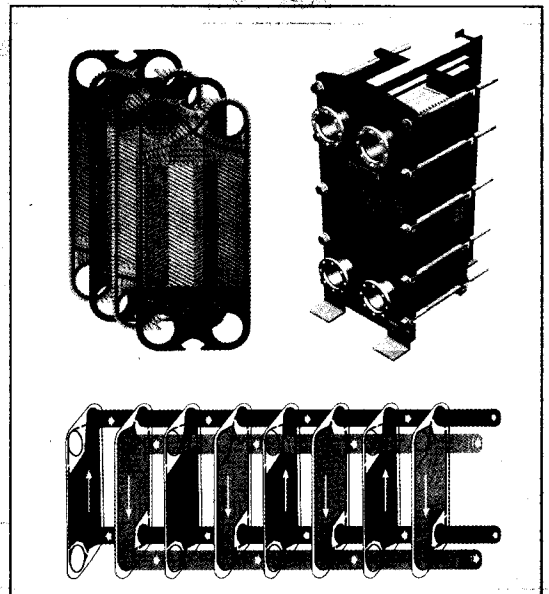


그림 6. 판형열교환기의 외형과 내부

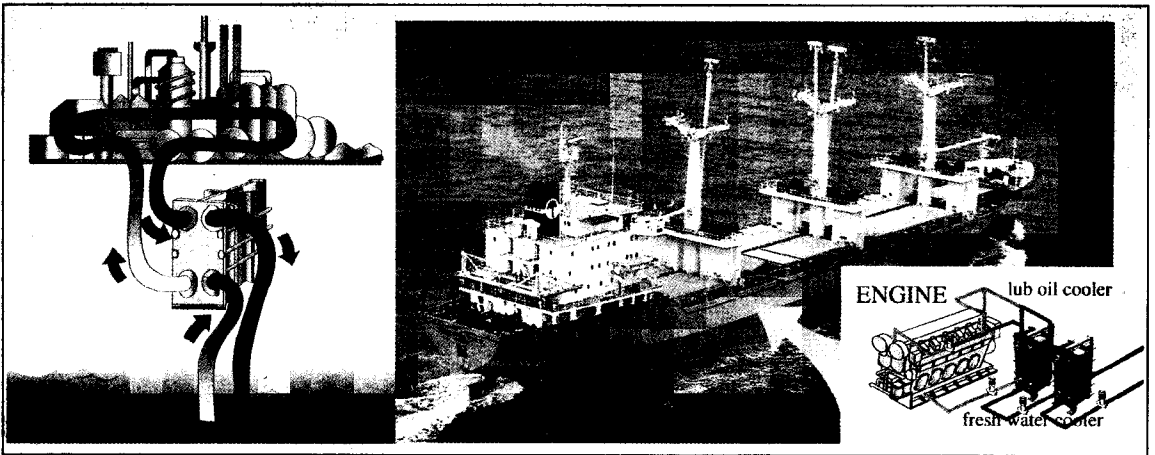


그림 7. 판형열교환기의 적용처

교환기이다. 판형열교환기는 유체가 전열면을 통과 도중 강한 난류를 형성하게 되므로 총괄 전열 계수가 튜브식 열교환기에 비해서 매우 크며 구조가 간단하고 설치면적이 작다. 또한 유체 통로에 정체부위가 없고 난류의 영향으로 파울링이 적게 낀다. 장비노후시 전열판만 교체할 수 있고 변경이나 용량증대시에도 전열판의 개수만 바꾸어주면 되므로 유지, 보수가 간편하다.

그림 7과 같이 판형열교환기는 조수기뿐만 아니라 지역난방시설, 자연냉방시설, 태양열 및 빙축열 이용시설, 폐수열 회수시설, 대형 공장과 선박용 엔진 등의 냉각시설 등 효율적인 에너지 사용이 필요한 광범위한 시설에 적용되고 있다.

#### 4.4 에젝터 및 부대장치

조수기 내부의 진공을 형성시키기 위해서 챔버 아래쪽에 고인 브라인과 응축부에 남아 있는 불응축가스를 흡입할 수 있는 에젝터를 설계, 제작하였으며 시간당 35톤이 흐르는 해수를 구동력으로 삼아 2톤/시간의 브라인과 0.15톤/시간의 불응축가스를 배출하여 챔버내의 진공도를 약 90%, 포화온도 45℃ 정도로 유지하도록 하였다.

에젝터의 각 부분은 기 개발된 설계 프로그램을 활용하여 규격을 정하였으며, 각 유입구에 조

절밸브를 설치하여 외부조건에 변동에 따라 안정적인 진공도를 형성할 수 있는 조건들을 찾아내어 이후 상용화할 때 참고자료로 활용할 예정이다.

에젝터 구동용 해수펌프로는 그룬포스사의 용량 35톤/시간, 양정 58m, 소요전력 11kW의 CRN32-3-2를 사용하였으며, 생산수 배출용 펌프로는 칼페다사의 CT61을 사용하였다. 챔버는 서스관을 활용하여 만들었으며, 데미스터는 서스메쉬를 가공하여 원형으로 제작하여 챔버내에 장착하고 탈착과 변경이 가능하도록 하였다. 파울링 방지용 화학약품 투입장치와 생산수 수질측정기 등은 추후에 추가할 예정이다.

#### 4.5 제작

이와 같은 방법으로 조수기의 각 부분을 설계 하였으며 그림 8에 제작된 시제품의 사진을 나타 내었다.

### 5. 조수기 시험성능 평가장치

#### 5.1 전체 구성도

제작된 조수기의 성능을 평가하기 위해서 시험 성능 평가장치를 구성하였다. 시험성능 평가장치

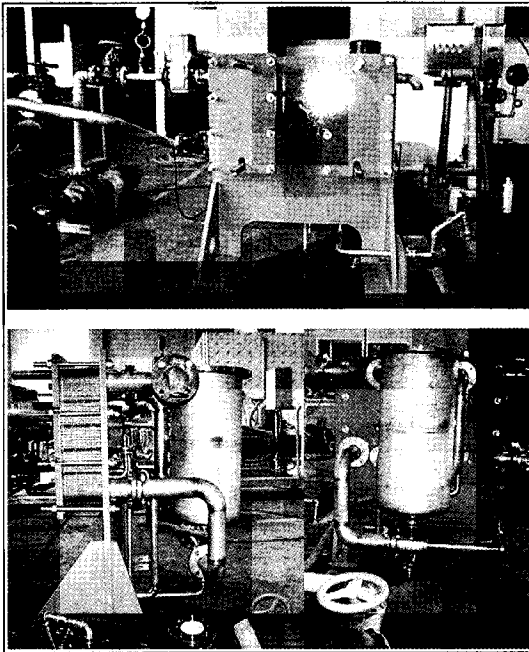


그림 8. 제작된 조수기의 정, 측, 후면 사진

는 조수기, 보일러, 수조, 항온조, 제어계측기, 초음파파울링방지기 등으로 구성되며 전체적인 구성도를 그림 9에 나타내었다.

구성도에서 알 수 있듯이 실제 선박에서의 운전조건을 모사하기 위하여 부대장비들을 활용하였다. 200톤 규모의 수조에서 펌프를 이용하여 시간당 30톤의 물을 응축부의 상단으로 공급한다. 공급된 물은 증기를 응축시키고 에젝터에 의해서 배출되어 수조로 환원된다. 엔진냉각수 대신에 보일러 스팀을 이용한 항온조를 만들었다. 이곳에서 엔진냉각수를 대신할 80℃의 물이 시간당 25톤씩 증발기의 열원으로 공급되어 공급수를 증발시킨 후, 약 67℃로 냉각된 후 항온조로 되돌아가게 하였다. 손실열량 만큼의 스팀을 보일러로부터 공급하여 항온조가 계속 일정 온도를 유지할 수 있도록 하였다. 공급수는 응축부로부터 배출되는 냉각수의 일부를 추가하여 사용하였다. 약 42℃, 2톤/시간의 공급수는 증발부

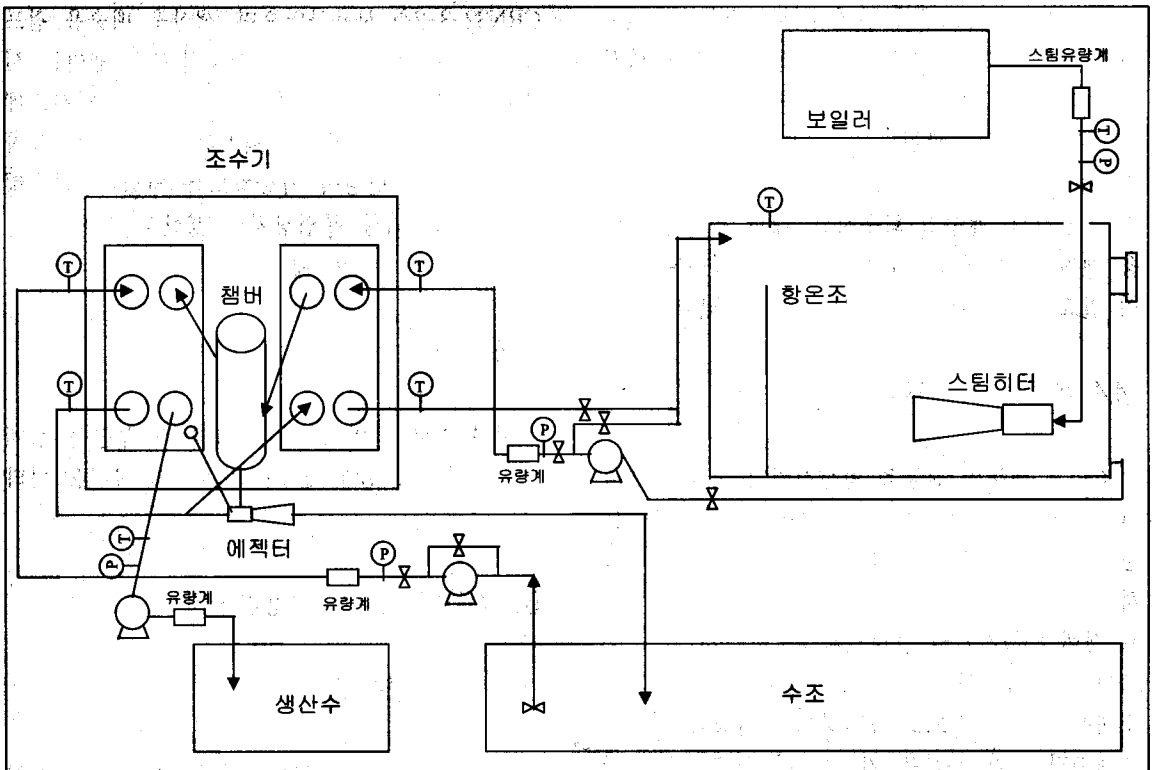


그림 9. 조수기 시험성능 평가장치의 구성도



에서 항온조의 물로부터 열을 공급받아 76mmHg 진공상태의 챔버내에서 감압 증발되어 증기부분은 응축부로 이동하고, 나머지는 챔버 아래에 고인 후 에젝터에 의해서 배출된다. 챔버내에는 증기와 물을 분리하기 위하여 데미스터를 장착하였고 각 부분의 온도, 압력, 유량 등을 측정하기 위하여 각종 센서와 데이터처리장치를 구비

하였다.

항온조에 유입하는 스팀의 양은 순환되는 물이 증발부에서 손실되는 양을 계산하여 정하였다. 본 실험의 경우 계산결과 약 400kW의 열량이 필요하므로 시간당 5-6kg의 스팀이 항온조로 공급될 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한 스팀과 물의 혼합시 최대한 맥동과 캐비테이션을 방

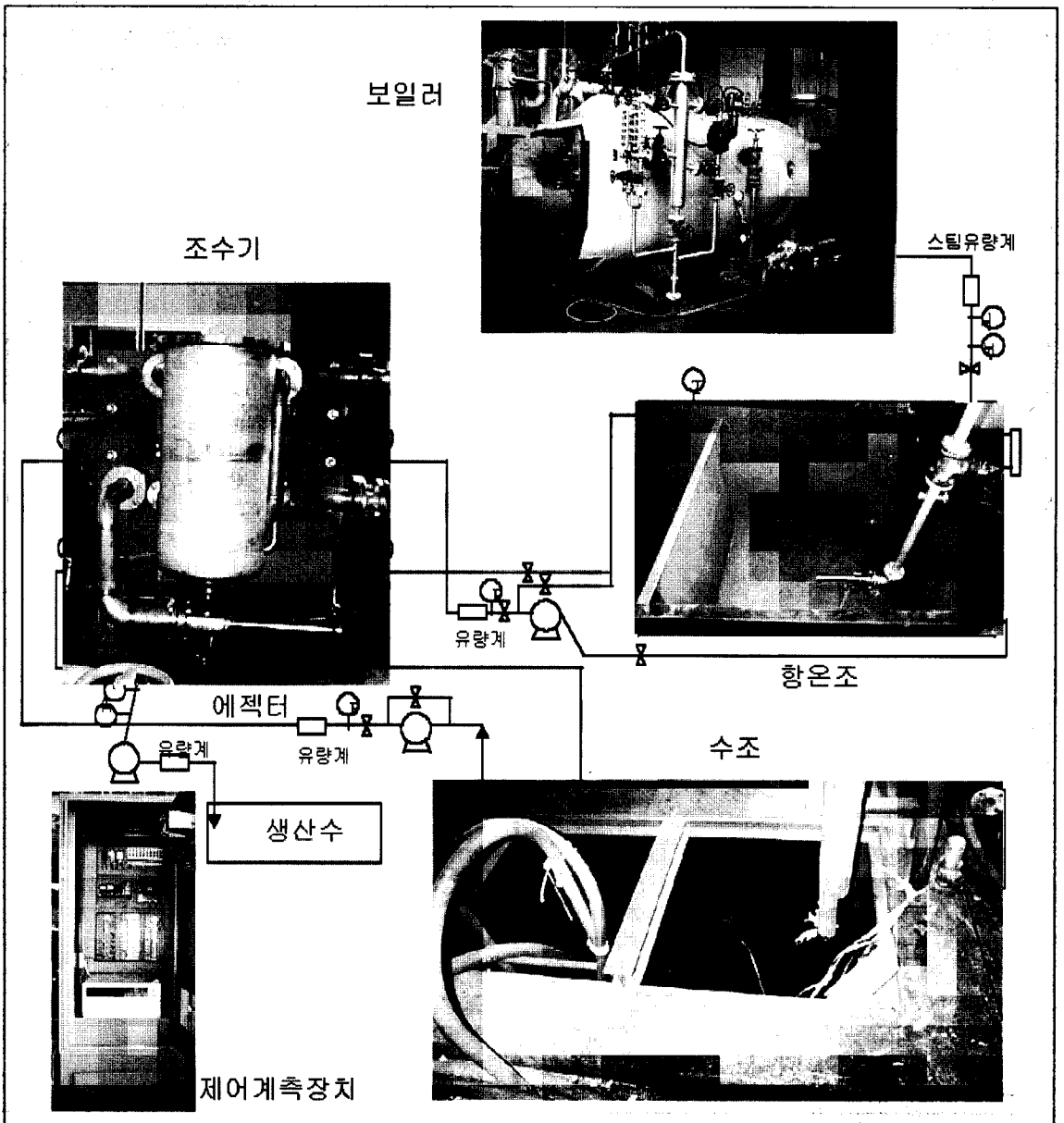


그림 10. 제작된 주요 구성품들의 사진

지하기 위해서 특별히 제작된 In-Tank Heater를 사용하였다. In-Tank Heater는 에젝터와 비슷하게 스팀이 분사되면서 주위의 물을 흡입하여 히터내에서 최대한 혼합될 수 있는 구조로 되어있기 때문에 스팀으로 인한 항온조내의 유동 불안정성을 최소화 할 수 있으며 항온조의 온도 균일성을 위한 교반기 역할도 한다. 항온조의 온도를 측정하면서 스팀량을 조절하여 원하는 온도가 유지될 수 있도록 하였다. 대부분의 배관은 서스를 사용하였으며, 가능한 부분은 플렉시블 호스도 사용하였다. 실제로 제작된 주요 구성품들의 사진을 그림 10에 나타내었다.

5.2 모니터링용 계측,제어 장치

실험을 원활하게 수행하기 위해서는 가동 중의 상황변화를 체크하고 필요한 데이터를 저장할 수 있는 모니터링 시스템이 필수적이다. 본 장치에서 주로 모니터링하여야 하는 대상은 크게 온도, 압력, 유량으로 나눌 수 있는데, 온도는 원수, 엔진냉각수, 챔버, 열원인 스팀 등의 각 유니트 입출

구에서의 상태를 모두 측정하여야 하고 챔버, 에젝터, 펌프 등의 압력이 필요하다. 또 유량은 증발부 및 응축부에 공급되는 원수, 엔진냉각수, 생산된 증류수 유량, 항온조로 공급되는 스팀의 유량이 측정대상이다. 특히 유량은 시스템의 성능을 직접적으로 모니터링하는 자료이므로 매우 중요한 요소이다. 모니터링 시스템의 전체적인 계통도는 아래의 그림 11과 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.

5.3 초음파 파울링방지

판형열교환기 뿐만아니라 모든 열교환기에서 계속적으로 문제가 되고 있는 것이 파울링에 관한 부분이다. 파울링 방지에 대한 기술은 여러 가지가 제시되고 있지만, 아직까지 확실한 성능을 보장하고 있는 기술은 없으며 다양한 실험이 진

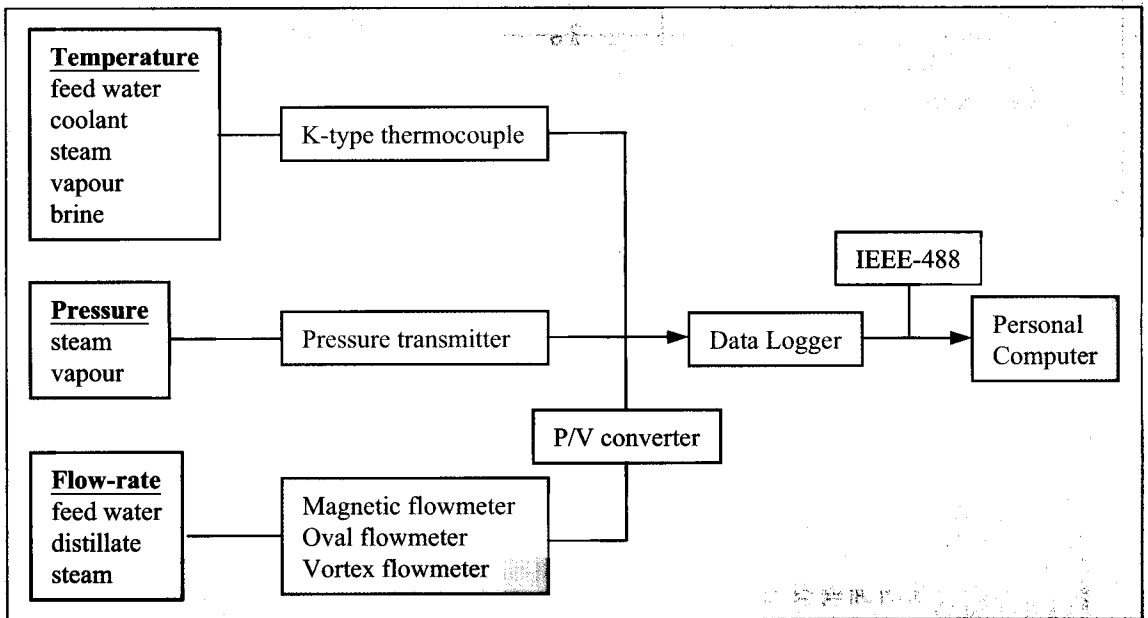


그림 11. 모니터링 시스템 계통도

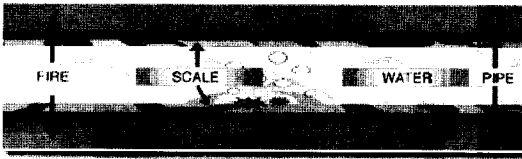


그림 12. 스케일 제거의 원리

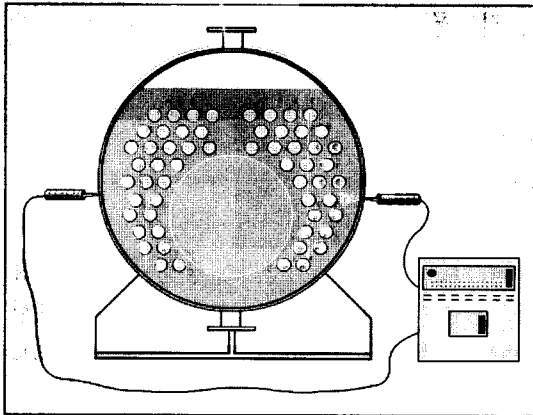


그림 13. 초음파를 이용한 관내의 스케일 제거

행되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 다른과제를 통해서 개발한 초음파를 이용한 파울리방지기를 부착하여 성능평가와 판형열교환기에 대한 적용 가능성을 검토할 예정이다. 그림 12, 13에 초음파를 이용한 파울링 방지기술의 개요를 나타내었다.

위 그림에서 나타난 초음파 에너지가 가지는 화학적, 물리적 기능의 구체적인 작용은 사과껍질을 깎듯이 벗겨내는 작용, 스케일 형성물질을 유화시키는 작용, 매질을 잘게 분산시키는 작용 등이 있으며 이러한 기능이 복합적이고도 지속적으로 일어남으로써 스케일의 생성방지 및 제거를 시키는 것으로 대표적인 원리로는 Cavitation, Acoustic Streaming, Acoustic Radiation 등이 있는데, Cavitation(공동 현상원리)은 일반적으로 Bubble이라 부르는 유체속의 기포(공기방울)발생을 의미하며, 이는 기포에 가해진 공진주파수에 의해 이 기포가 파괴되면서 얻어지는 충격파(순간온도 수만도)가 원인이 되어 스케일을 제거하는 현상으로 파괴력 및 파괴이후의 순간적인 인장력에 의하여 스케일을 흡착, 탈락시키는 현상

이 복합적으로 이루어지며, 이 기포는 유체속의 가스체를 흡수하고 팽창, 폭발을 연속적으로 반복하면서 스케일 입자를 분쇄, 탈락시킨다. Acoustic Streaming(미세유동원리)은 초음파가 전달되는 물에는 미세한 흐름으로 인한 파동이 생기는데 이는 스케일의 구성성분이 관벽에 붙는 것을 방지한다. Acoustic Radiation(음향방사원리)은 초음파의 음향에너지에너지를 이용하여, 이 음향 에너지가 방사되고 매질속에 전달되어 이의 지속적 작용으로 스케일이 탈락하는 원리를 적용함으로써 Fouling의 저감 및 제거를 할 수 있다. 이렇게 다른 방법의 제거 기술에 비해 가장 효율이 좋고 안정적인 방식으로 인정되어 보일러나 대형 발전설비를 다수 사용하고있는 러시아지역에서는 이를 이용한 방식의 Fouling 제거 장치를 개발하여 상용화 단계에 이르렀으며, 동 기술로서는 가장 최선의 기술이다.

이러한 장비를 판형열교환기에 적용하기 위해서는 초음파가 고르게 판형 각각에 전달될 수 있도록 특수 제작된 보조 지그가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 2차년도에 다양한 적용 실험을 수행하여 오랜기간동안 안정적인 성능을 보이는 조수기를 개발하는데, 초음파파울링방지를 활용할 수 있도록 할 예정이며 이를 통하여 기존의 제품들과의 경쟁에서 우위를 점할 수 있도록 노력하고자 한다.

## 6. 기본 운전 실험

1차년도에는 선진제품의 분석 및 새로운 판형 조수기의 설계, 제작과 시험성능장치의 구성에 대부분의 시간을 보냈기 때문에 본격적인 실험은 하지 못하고, 항온조의 온도 균일성, 에젝터의 진공 성능 등의 기본실험을 수행하였다. 따라서 본격적인 조수기의 성능시험은 2차년도 초에 집중적으로 수행할 예정이다.

우선 그림 14에 시간에 따른 항온조의 온도 균일성에 관한 결과를 나타내었다. 엔진냉각수를 모

사하기 위한 이 장치의 온도는 조수기의 안정적인 성능평가를 위해서 매우 중요한 요소이다. 보일러 스팀의 양을 5-7kg/hr 범위에서 밸브를 이용하여 적절히 조절하면 일정시간이후에 항온조를 포함한 순환시스템이 전체적인 열평형을 이루어  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 안정적인 온도분포를 보이고 있음을 확인할 수 있었다.

다음으로 조수기의 증첵버내에 진공을 형성시켜주는 에젝터의 성능에 대한 기초실험을 수행하였다. 열부하를 걸지 않은 상태에서 에젝터용 펌프의 압력과 유량을 조절해가면서 챔버의 진공도를 측정하였으며, 설계 압력은 진공도 90% (76mmHg)이고 압력변화는 3-5.5기압사이에서 실험을 하였다.

그 결과 그림 15와 같이 에젝터의 성능은 일정 범위에서 설계사양을 만족하고 있음을 알 수 있

었다. 하지만 실제 열부하를 걸어 주어 증발, 응축이 일어나는 상황에서도 안정적인 진공도를 유지하는가에 대해서는 추가 실험이 필요하며, 조만간 전체적인 운전실험을 수행하여 발생하는 문제점들을 보완할 예정이다.

### 7. 결 론

조수기는 선박에 필수적인 장치이며, 장기 항해에 따른 내구성과 유지, 보수 용이성이 요구된다. 또한 조선산업의 장기적인 안정성으로 인해 조수기의 수요도 꾸준히 증가하고 있다. 본 연구에서는 조수기의 국산화를 위하여 현재 운용되고 있는 선박용 조수기의 원리 및 동향에 대한 광범위한 조사를 수행하고, 이를 토대로 앞으로의 전망을 도출하여 연구방향과 모델선정에 참조

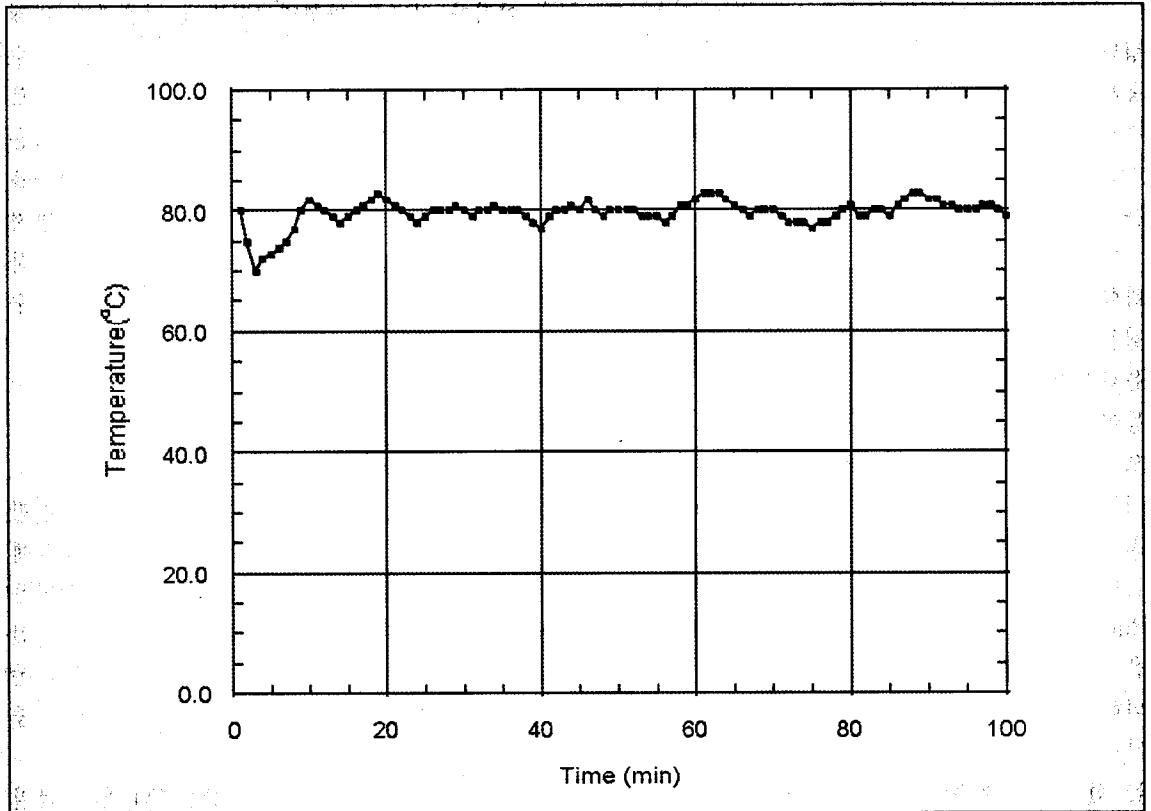


그림 14. 항온조의 시간에 따른 온도균일성 실험 (80°C 기준)

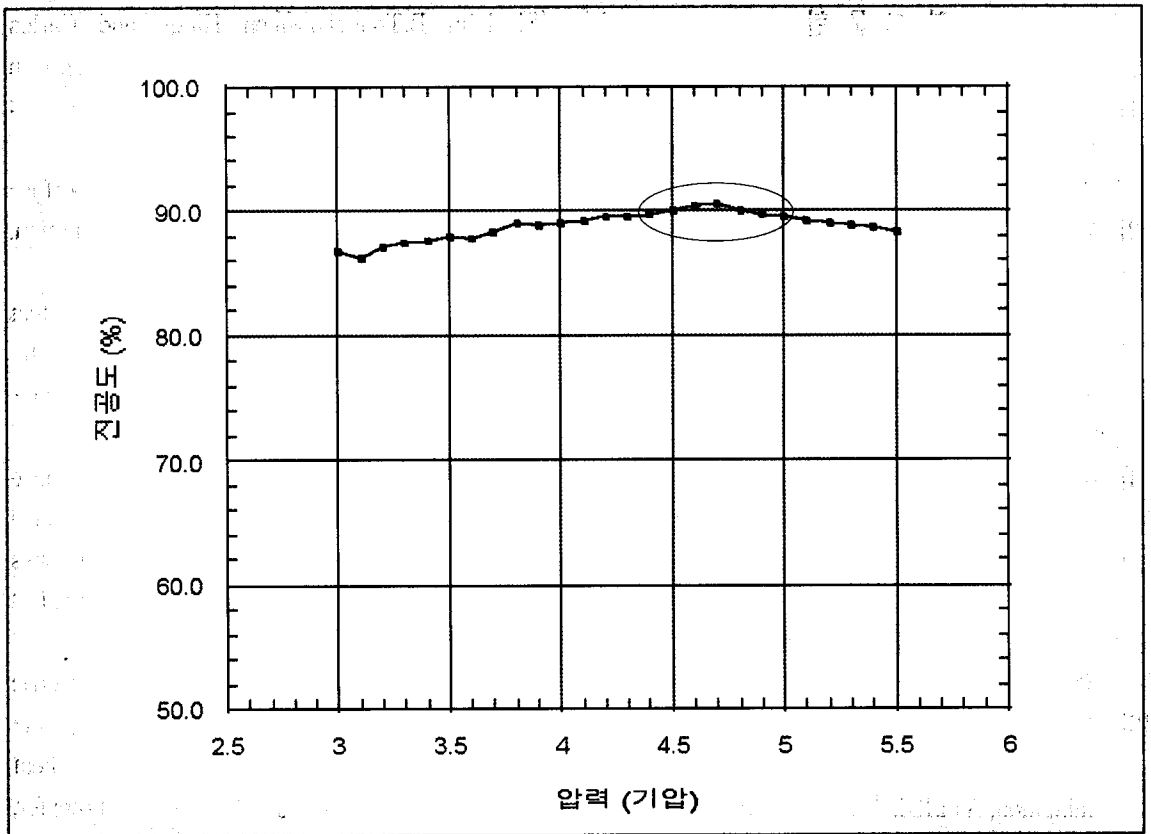


그림 15. 펌프압력에 따른 챔버의 진공도 변화

하였으며, 이후 세계 조수기 시장에서 보편적인 모델이 될 것으로 판단되는 판형 조수기를 개발하기 위하여 선진 외국 제품의 기술 분석과 운전 상황 및 애로사항들을 조사하였다. 그결과 유지, 보수가 간편한 새로운 형식의 챔버 분리형 판형 조수기를 제안하였으며, 새로운 모델의 판형 조수기를 개발하기 위하여 기본적인 열정산을 수행하였다. 설계 사양은 실험의 용이성을 고려하여 생산수량 12톤 규모로 선정하였으며 다른 조건들은 실제 선박들의 운전조건을 고려하였다.

참여기업의 설계 및 제작기술을 이용하여 핵심 부품인 판형열교환기를 국산화하였으며 에젝터, 챔버 등을 설계, 제작하여 TBFWG-012를 완성하였다. 시작품의 성능 실험을 위하여 수조 및 엔진냉각수 모사용 항온조와 스템을 제공할 보일러를 구비하였으며, 온도, 유량, 압력 등의 각종

계측기와 데이터처리장치를 구성하였으며, 초음파 파울링 방지기의 도입가능성을 검토하였다. 또한 구성된 조수기의 안정적인 운전조건을 검증하기 위하여 항온조의 온도균일성 및 에젝터의 진공생성 능력 등에 대한 기초실험을 수행하였으며, 그결과 설계 사양을 만족함을 확인하였다.

이상과 같은 1차년도 연구결과를 토대로 조수기의 운전 성능 실험을 위한 기반을 조성하였으며, 2차년도에는 설계 운전조건에 대한 조수기의 성능 실험, 열원의 온도와 열량에 따른 조수기의 성능 변화 실험, 진공도에 따른 조수기의 성능 변화 실험, 원수유량에 따른 조수기의 성능 변화 실험, 초음파 파울링 방지기의 성능 실험, 스케일업을 위한 기초실험 및 상용화를 위한 운전안정성, 내구성 실험 등을 수행하고 이를 반영하여 상용화가 가능한 조수기를 개발할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 최순호, "폐열을 이용한 비등형 선박용 조수기의 열설계에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원 논문집, 1989
- [2] 강신돌, 송치성, 최준섭, "선박용 조수장치", 한국박용기관학회지, Vol.17, No.3 : 1~11, 1993
- [3] 이종수, 강신돌, 김경근, "각종 이젝터의 국산 개발과 산업응용 시스템에 관한 연구", 한국박용기관학회지, Vol. 14, No.1 : 28~42, 1990
- [4] 김영수, 서무교, "판형 열교환기 개발 동향", 냉동,공조학회지, Vol.20, No.1 : 14~19, 2001
- [5] 서해성, 신상철 등, "판형 열교환기에 대한 전자식 스케일 완화장치의 성능평가", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, p 13~18, 2000
- [6] Osamah Al-Hawaj, "A study and comparison of plate and tubular evaporators", Desalination, Vol.136, No.1-3 : 159~168, 2001
- [7] John B.Tonner, steen Hinge and Carlos legorreta, "Plate heat exchangers-the new trend in thermal desalination, Desalination, Vol.125, No.1-3 : 243~249, 1999
- [8] John B.Tonner, steen Hinge and Carlos legorreta, "Plate-the next breakthrough in desalination, Desalination, Vol.122, No.2-3 : 235~246, 1999
- [9] C.Temstet, G.Caton, "A large high performance MED plant in Sicily, Desalination, Vol.105, No.1-2 : 109~114, 1996
- [10] H. Morsy, D. Larger, "New multi effect distiller system with compact heat exchangers, Desalination, Vol.96, No.1-3 : 59~70, 1994
- [11] Kandliker, S. G., Shah, R. K., "Multiphase plate heat exchanger-effectiveness-NTU results and guidelines for selecting pass arrangement, J. heat transfer, Vol.111 : 300~313, 1989
- [12] Cho, Y. I., Drazner, B. J., " Electric anti-fouling technology to mitigate precipitation fouling in plate and frame heat exchangers", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.41, No.17 : 2565~2571, 1998