

대형 터빈시스템의 고효율 배압시스템 개발에 관한 연구(Ⅱ)

김경근* · 민우홍* · 윤석훈**

A Study on the Development of a High Efficiency Vacuum System for a Large Steam Turbine(Ⅱ)

K.K.Kim, W.H.Min, S.H.Yoon

< 목 차 >

Abstract	그림의 개발
1. 서론	4.1 응축부의 설계
2. 진공 누입공기량의 산정을 위한 전산프로그램의 개발	4.2 오염계수(Fouling factor)의 산정
3. 고진공용 증기이젝터 설계용 전산프로그램의 개발	4.3 전산지원설계용 프로그램의 개발
3.1 이론해석	5. 시제품 개발 및 성능시험
3.2 전산지원설계용 프로그램의 개발	5.1 성능시험장치의 제작
4. 고성능 주복수기 설계용 전산프로	5.2 종합성능시험
	6. 결 론
	참 고 문 헌

Abstract

The pollution of atmospheric environment becomes serious problem according to the growth of usage of fossil fuel like the coal and the petroleum oil. The demand of clean energy, like the liquefied natural gas(LNG), increases suddenly because it generates few polluting substances when it is burned and it generates relatively less CO₂ gas than the other energy sources. LNG transportation method of our country is marine transportation by ships because the LNG producing place is so far away from our country. All LNG ship use the steam turbine as a main engine, and the vacuum system of steam turbine is a important system for a thermal efficiency of the steam turbine. In this study, a high efficiency vacuum system of steam turbine is developed and accomplished the performance test of this system.

* 한국해양대학교 기관공학부

** 한국해양대학교 운항시스템공학부

1. 서 론

LNG선은 척당 건조단가가 2,000억원을 상회할 뿐만 아니라 고부가가치의 첨단기술이 요구되므로 현재 미국, 프랑스 및 일본 등의 몇몇 선진국만이 독자적인 기술력을 보유하고 있는 실정이며, 우리나라에서도 이에 대한 연구개발노력이 계속적으로 진행되고 있다¹⁾.

LNG선의 LNG는 압력 1.1kg/cm², 온도 -162℃의 초저온 액체상태로 수송되므로 수송중에 다량의 LNG가 증발하게 된다. 그러나 이를 재액화하여 수송하기 위하여는 복잡한 냉각장치가 필요하여 비경제적이므로 항해중에 발생하는 LNG는 재액화하지 않고 보일러의 연료로 사용되며, 이러한 보일러에서 발생한 증기는 증기터빈을 구동하여 LNG선의 추진동력으로 이용되고 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 LNG선용 고효율 증기터빈계통의 배압유지시스템은 증기이젝터와 복수기가 2단으로 구성되는 시스템이며, 이러한 배압유지시스템은 전체의 구성이 매우 복잡하고 그 핵심부품들은 높은 신뢰성이 요구되므로 이의 국산개발은 증기플랜트의 효율향상과 우리나라 조선업의 국제경쟁력 향상을 위해서도 매우 필요하다고 할 수 있다.

증기터빈계통 배압유지시스템의 핵심부품인 증기이젝터에 관한 연구는 2차대전 후 미국에서 시작되었으며, 일본에서는 동경대학 植田교수에 의하여 이론적 연구^{2)~5)}가 수행되었고, 현재는 외국의 여러 전문회사에서 증기이젝터를 제작하고 있으며, 우리나라에서도 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^{6)~12)}.

증기터빈의 배압유지시스템을 개발하기 위해서는 전문적인 요소기술의 개발과 시스템의 신뢰성을 확보하기 위한 대규모의 실험장치가 필요하지만 현재까지 국내에는 이러한 실험장치가 전혀 확보되어 있지 않은 상태이다.

본 연구의 연구대상이 되는 LNG선은 용량이 약 2300 - 2600 m³인 LNG탱크 4 - 5개를 탑재하는 선박으로서, 증기터빈의 출력은 36,000마력이고, 배압시스템에 의하여 배제되어야 할 불응축가스는 약 25.5 kg/hr, 습증기량은 56 kg/hr, 증기터빈의 배압은 -722 mmHg이다. 그러므로 -722 mmHg 상태에서 이와 같은량의 불응축가스를 효과적으로 배출하여 증기터빈의 배압을 일정하게 유지할 수 있는 시스템을 개발하는 것이 본 연구의 최종 목표이다.

이를 위하여 1차년도에서는 고압증기 구동/ 고진공 흡입용 증기이젝터와 복수기의 전산지원설계를 위한 이론적 연구를 행하였으며, 이에 수반되는 증기물성치의 전산수식화에 관한 연구를 수행하였다. 또한 1:1 크기의 성능실험을 위하여 보일러, 모의증기발생장치, 냉각계통 및 온라인 고속계측시스템을 갖춘 실험장치를 설계하였다¹³⁾.

그리고 2차년도인 본 연구에서는 1차년도의 연구결과를 이용하여 고진공용 증기이젝터와 고성능 복수기의 전산지원설계용 S/W를 개발하였다. 또한 이를 이용하여 상세설계·제작한 증기이젝터와 복수기의 성능실험을 위한 실험장치와 온라인 성능평가시스템을 개발하여 성능실험을 수행하였으며, 이러한 실험을 통하여 본 연구에서 개발한 증기터빈계통 배압유지시스템의 성능이 매우 우수함을 확인하였다.

본 연구에서 개발한 증기터빈용 배압시스템은 LNG선 뿐만 아니라 열병합발전소를 비롯한 비교적 소규모의 화력발전용으로 이용될 수 있으며, 기술축적의 정도에 따라서는 대규모 화력발전소용 및 비등형 원자력발전소 비상용 증기터빈의 배압유지시스템의 국산화에도 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 진공 누입공기량의 산정을 위한 전산프로그램의 개발

증기터빈시스템에서 터빈의 출구압력을 매우 낮은 설계압력으로 일정히 유지하기 위해서는 여러 경로를 통하여 시스템으로 누입되어 주복수기에 유입하는 불응축가스를 연속적으로 제거해야 하며, 이러한 불응축가스의 누입경로는 다음과 같다.

- ① 보일러 급수중의 용존산소
- ② 배관 연결부에서의 누입
- ③ 기기 및 관로에 설치된 각종 밸브의 밸브스템을 통한 누입
- ④ 안전밸브 및 진공브레이커를 통한 누입
- ⑤ 싸이트 그래스(sight glass), 레벨 게이지(level gauge) 및 게이지 콕(gauge cock) 등을 통한 누입

이와 같이 다양한 경로를 통하여 증기터빈계통에 누입하는 불응축가스는 배압시스템의 증기이체터 설계시 흡입부하결정에 중대한 영향을 미칠 뿐만 아니라 복수기의 유효응축전열면적을 감소시키며, 관내의 기액이상류의 흐름양상에도 큰 영향을 미치므로 불응축가스의 효과적인 제거가 매우 중요하다.

본 연구에서는 배압시스템의 신뢰성을 고려하여 Fig.1과 같은 전형적인 2단의 배압시스템을 연구 대상으로 하였으며, 복수기는 운전 및 유지보수상의 신뢰성을 고려하여 현재 가장 널리 이용되고 있는 각-관열교환기(shell and tube type heat exchanger)를 사용하였다.

Fig.1의 주복수기에 누입하는 불응축가스는 제1증기이젝터(1st Steam Ejector)에서 흡입하여 제거해야 증기터빈 출구단의 배압이 설계치로서 일정히 유지될 수 있으며, 이 불응축가스량이 바로 제1증기이젝터의 설계조건이 된다.

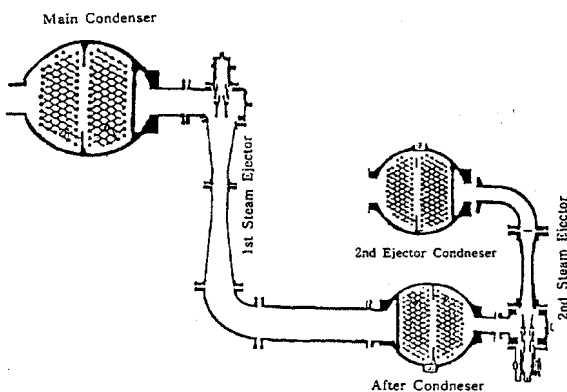


Fig.1 A Vacuum System for LNG Carrier Steam Turbine

또한 제1증기이젝터의 구동노즐과 나사부 흡입실의 연결부, 디퓨저목 및 후방복수기(After Condenser) 사이의 배관계통을 통한 누입공기와 제1증기이젝터의 구동증기에 포함된 불응축가스가 후방복수기에 유입된다.

후방복수기에서 증기는 응축되고 불응

Table 1 Dissolved Oxygen Rate in Water

	0℃	20℃	40℃	60℃	80℃	100℃
Oxygen	0.029	0.019	0.014	0.012	0.011	0.011

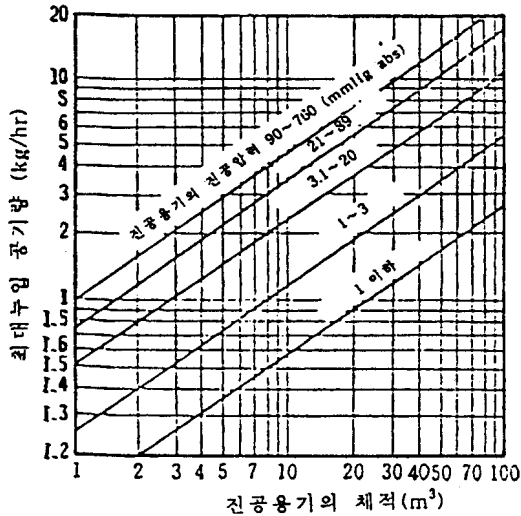


Fig.2 Air Leakage Rate in Vacuum Chamber

Table 2 Output Data of Air Leakage Rate into Vacuum Vessel

System Volume	200.00 m³
	7062.96 ft³
Absolute pressure	50.00 mmHg
	1.97 inchHg
Air Leakage Rate	24.60 kg/hr
	54.25 lb/ft

기로의 누입공기량과 누입공기중에 혼입된 포화증기량의 계산을 위한 전산프로그램을 개발하였다. Table 2는 본 프로그램에 의하여 계산된 누입공기량을 나타낸다.

3. 고진공용 증기이젝터 설계용 전산프로그램의 개발

3.1 이론해석

증기이젝터는 흡입실, 노즐, 디퓨저의 3부분으로 나누어지는 일종의 펌프이다. 작동원리는 구동증기가 구동노즐을 통과함으로써 보유하는 열에너지가 속도에너지로 변환하며, 이에 따라 흡입실내에 진공을 형성시켜 유체를 흡입하게 된다. 흡입실에 도달한 흡입기체는 디퓨저의 입구부에서 구동증기와의 속도차에 의한 마찰항력, 즉 흡인력에 의하여 가속된다. 이렇게 하여 양 유체는 디퓨저의 축

축가스만이 제2증기이젝터로 유입되며, 이 불응축가스량이 제2증기이젝터가 흡입하여야 할 흡입부하가 된다. 또한 제2복수기(2nd Steam Condenser)에서 증기는 모두 응축되며 불응축 가스는 대기로 방출된다. 일반적으로 물중에는 물의 온도에 따라 일정량의 산소가 용존하고 있으며, 보일러 급수의 경우에도 급수의 온도에 따라서 용존산소량이 결정된다. 급수의 온도에 따른 용존산소량을 Table 1에 나타낸다. 단, 이 표의 값은 대기압의 물 1cm³ 중에 용존되어 있는 산소의 체적을 대기압 상태의 체적으로 환산한 값으로 단위는 cm³ 이다.

복수기내의 포화증기에 혼입되어 있는 공기량은 분압의 법칙으로부터 구할 수 있다.

또한 복수기와 같은 진공용기에는 관 연결부, 패킹, 볼트 또는 나사부를 통하여 대기로부터 공기가 누입한다. 이 경우의 누입량은 대기압과 용기내 진공압력과의 차압 및 누입부의 면적에 비례하게 되며, ASME Code에서는 Fig.2를 이용하여 진공용기로의 누입공기량을 구할 수 있도록 하였다.

이상에서 기술한 방법으로 LNG선의 증기터빈 배압시스템에서의 흡입불응축가스량을 계산할 수 있으며, 본 연구에서는 이를 이용하여 복수

소부를 지나면서 운동량이 교환되며, 구동증기는 감속, 흡입증기는 가속되어 디퓨저 목부에 이르게 된다. 디퓨저의 목부에서는 양 유체가 완전히 혼합되어 거의 균일한 속도분포를 갖는 흐름으로 안정된 후, 유로면적이 점차 커지는 디퓨저의 확대부를 지나면서 다시 운동에너지의 일부가 압력에너지로 환원됨으로써 흡입기체의 토출이 가능하게 된다.

이러한 유동과정을 거치는 구동증기 및 흡입기체에 의한 각부의 손실 및 엔탈피의 변화 등을 정확히 이론적으로 해석하는 것이 필요하며, 이에 대한 연구는 전보¹³⁾에서 수행하였으므로 자세한 내용은 생략한다.

3.2 전산지원설계용 프로그램의 개발

3.2.1. 전산지원설계용 프로그램

Fig.3은 본 연구를 통하여 얻어진 증기이젝터 설계용 전산프로그램의 흐름도를 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 본 증기이젝터 설계용 전산프로그램은 구동압력 P_m , 구동증기유량 G_m , 흡입압력 P_o , 흡입기체 유량 G_a , 토출압력 P_o 의 설계조건을 입력하여 구동증기의 주요 물성치를 계산한 다음 디퓨저 입구부 치수와 흡입기체유량을 적절히 가정한다. 이렇게 하여 구동증기와 흡입기체에 대하여 디퓨저 흐름방향의 미소간격에 대한 흡인력을 계산하고 최소가능흡입유량을 계산하여 이 값이 설계요구치와 같을 때까지 반복계산을 수행한다. 이렇게 계산하여 얻어진 흡입유량에 대한 등압조건 여부를 판별한 다음, $G_a = G_m$ 를 만족하지 못할 경우에는 흡입기체유량을 반복계산하며, 흡입기체유량이 결정되면 이에 적합한 주요치수를 계산한다.

3.2.2 전산설계 결과

Table 3은 본 연구에서 개발한 증기이젝터 전산설계프로그램의 설계입력조건을, Table 4는 프로그램 실행상의 설계조건에 대한 입출력 데이터를 나타내고 있다. 또한 Fig.4는 Table 3의 설계조건에 따라 계산된 결과를 출력한 것이며, Fig.5는 구동노즐출구로부터 흐름방향의 흡입가능유량을 출력한 결과이다. 앞에서 기술한 바와 같이 계산에

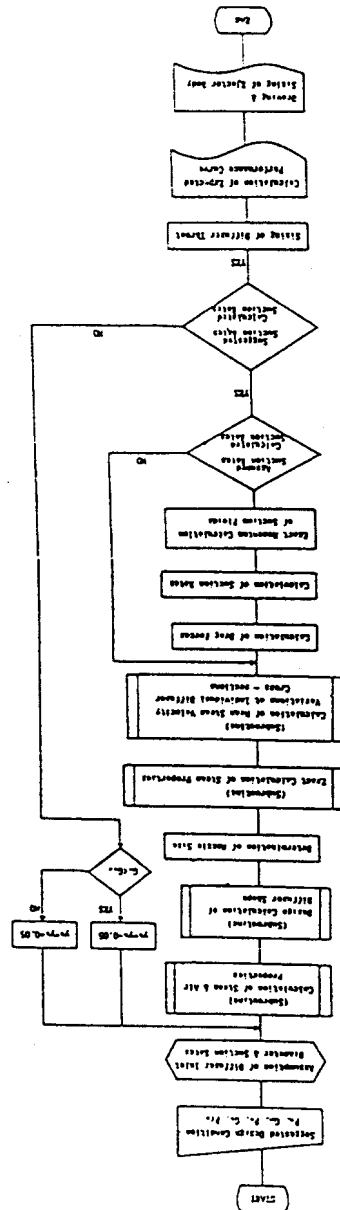


Fig.3 Flow Chart for the Design of Steam Ejector

Table 3 Input Design Data(1st Stage)

Input Data		
Driving steam pressure	(kg/cm ² abs.)	15
Driving steam consumption	(kg/hr)	220
Suction pressure	(mmHg)	38
Suction steam rate	(kg/hr)	56
Suction air rate	(kg/hr)	25.5
Discharge pressure	(kg/cm ²)	0.245
Shape determination degree		48
Reference factor		- 2
Bell inlargement		1.8

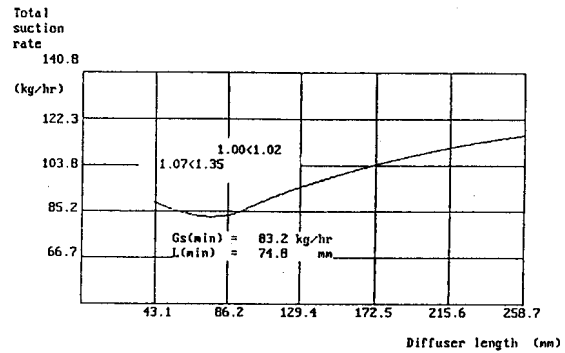


Fig.5 Variation of Possible Suction Rate along the Diffuser Length (1st Stage)

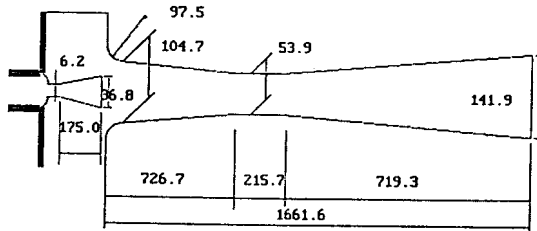


Fig.4 Designed Main Dimensions of Steam Ejector by CAD Program (1st stage)

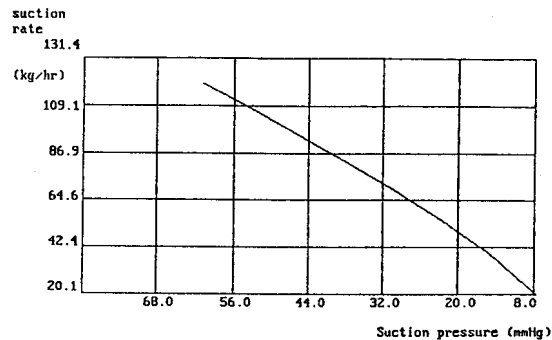


Fig.6 Variation of Total Suction Rate to the Suction Pressure(1st Stage)

Table 4 Specification of Steam Ejector by CAD Program(1st Stage)

Design Condition	Driving steam pressure		15.000 kg/cm ²	
	Driving steam consumption		220.000 kg/hr	
	Suction pressure		38.000 mmHg	
	Total suction rate		81.500 kg/hr	
	(1) steam rate		56.000 kg/hr	
	(2) air rate		25.500 kg/hr	
	Discharge pressure		0.245 ata	
Computed Results	Reference factor		- 2.000 mm	
	Shape determination degree		54.635 degree	
	Suction start distance		37.967 mm	
	Nozzle - Inlet distance		90.035 mm	
	Bell center position		3.288 mm	
	Efficiency		11.996 %	
	Nozzle	Throat diameter		6.150 mm
		Outlet diameter		36.769 mm
		Outlet length		(174.992 mm)
	Diffuser	Bell rad.		97.488 mm
Inlet diameter		104.667 mm		
Inlet length		726.658 mm		
Throat diameter		53.900 mm		
Throat length		215.664 mm		
Outlet diameter		141.887 mm		
Outlet length		719.284 mm		
Outlet velocity		34.144 m/sec.		

의한 최소흡입가능유량은 설계조건의 흡입유량 이상인 것을 확인할 수 있다.

Fig.6은 이론적으로 계산한 증기이젝터의 흡입가능유량을 진공압력에 대하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 흡입압력 38 mmHg일 때 흡입가능유량이 약 83.2 kg/hr 이상으로서 설계 요구치인 81.5 kg/hr보다 크므로 설계조건을 만족시키는 것을 알 수 있다.

4. 고성능 주복수기 설계용 전산프로그램의 개발

4.1 응축부의 설계

Fig.7은 응축부 전열관에서의 열전달 모델을 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 관의 외측에는 포화상태의 증기가 응축되며, 관내부에는 냉각해수가 흐른다. 그러므로 열전달은 관 외측의 응축 열전달, 벽을 통한 열전도 및 관 내부의 강제대류 열전달로 구성된다. 복사 열전달량을 무시하면 열전달량 Q 와 동심 원통관에서 관 외측의 오염계수를 무시한 열관류율 U 는, 각각 식 (2)와 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$Q = UA (T_s - T_i) \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{D_o \ln(D_o/D_i)}{2k} + F_{fi} \frac{D_o}{D_i} + \frac{1}{h_i} \frac{D_o}{D_i}} \quad (3)$$

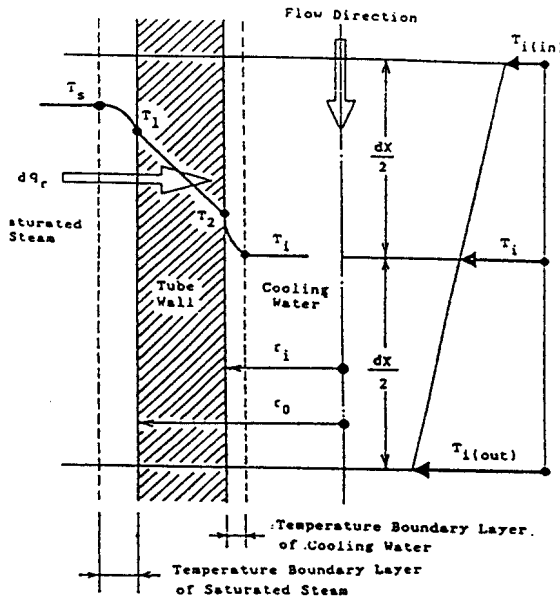


Fig.7 Diagram of Heat Balance and Temperature Profile in Condensing Tube

단, 위식에서

h_i, h_o : Heat Transfer Coefficient

k : Thermal Conductivity of Tube Wall

F_{fi} : Fouling Factor

D_i : Inside Diameter of Tube

D_o : Outside Diameter of Tube

열교환기의 이론해석을 위하여 Fig.8과 같이 내경이 r_i , 외경이 r_o 인 원통형 관의 경우, 내부 발열량이 없고 반경방향으로만 열전달이 일어나는 1차원 정상상태의 조건을 가정하면 온도 T 는 변수 r 만의 함수라고 볼 수 있으므로 원통좌표계 열전도방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(kr \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (4)$$

관중심으로부터 r 만큼 떨어진 지점에서의 열

평형식을 적용하면, 전열량 Q는 Fourier의 법칙에 의하여 다음과 같다.

$$Q = -k A \frac{dT}{dr} = -k (2 \pi r L) \frac{dT}{dr} \quad (5)$$

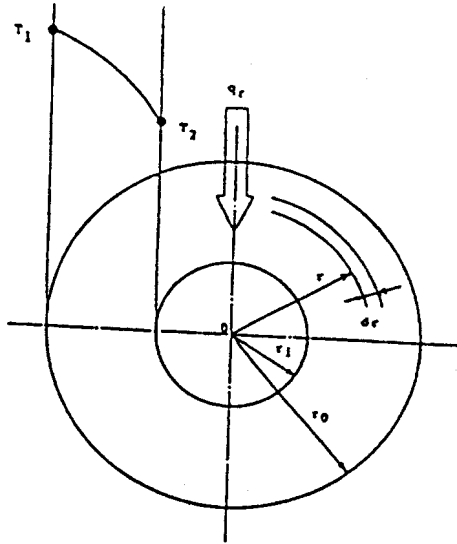


Fig. 8 One Dimensional Heat Flow in a Circular Tube

식(4)에서, 열전도계수 k가 일정하다고 가정하면,

$$\frac{d}{dr} (r \frac{dT}{dr}) = 0 \quad (6)$$

경계조건 $r=r_1 ; T=T_2$

$r=r_0 ; T=T_1$

식(6)에 경계조건을 적용하여 정리하면 온도분포는,

$$T(r) = \frac{(T_2 - T_1)}{\ln(r_0 / r_1)} \ln\left(\frac{r}{r_1}\right) + T_1 \quad (7)$$

위 식을 미분하여 식(5)의 열평형식에 대입하면, 반경방향으로 흐르는 열량은 다음과 같이 된다.

$$Q = 2\pi k L \frac{(T_2 - T_1)}{\ln(r_0 / r_1)} \quad (8)$$

따라서 식(8)은 응축부 관벽을 통하여 전달되는 열 전달량으로 응축부내의 포화증기가 포화수로 되는데 필요한 잠열량과 같아야 한다.

또한 수평관의 표면에서 층류막 응결에 대한 평균열전달율은 다음과 같이 된다.

$$h_m = 0.725 \left[\frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) h_{fg} k_l^3}{\mu_l (T_g - T_w) D} \right]^{1/4} \quad (9)$$

4.2 오염계수(Fouling factor)의 산정

열교환기를 장시간 사용하면 전열면 표면에 불순물이 부착되어 열관류율이 현저히 저하하며, 이를 나타내는 척도인 오염계수(Fouling Factor)는 유체의 종류 및 사용온도 범위, 불순물의 함량, 운전시간등에 의하여 달라지게 된다. 따라서 열교환기 설계시에는 이러한 불순물에 의한 영향을 반드시 고려해야 하며, 본 연구에서는 Table 5의 값을 사용하였다.

Table 5 Fouling Factor of Heat Exchanger

Temperature of Fluid	Below 115 °C		115 ~ 200 °C	
Temperature of Water	Below 50 °C		Above 50 °C	
Velocity of Water	Below 0.9 m/sec	Above 0.9 m/sec	Below 0.9 m/sec	Above 0.9 m/sec
Evaporated Water	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Sea Water	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
Treated Water	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004

4.3 전산지원설계용 프로그램의 개발

본 연구에서는 배압시스템의 핵심부품인 복수기설계용 전산프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 설계한 증기복수기를 제작하고 성능실험을 수행하여 본 설계프로그램의 우수성을 확인하였다.

5. 시작품 개발 및 성능시험

5.1 성능시험장치의 제작

본 연구에서 개발하고자 하는 증기이젝터를 이용한 배압시스템의 기본배치도를 Fig.9에 나타내며, Fig.10은 실험장치의 전체배치도이다. Fig.10에서 보는 바와 같이 실험장치는 구동증기발생용 보일러, 흡입기체 발생장치, 실험용 증기이젝터, 복수기 등으로 구성되어 있다.

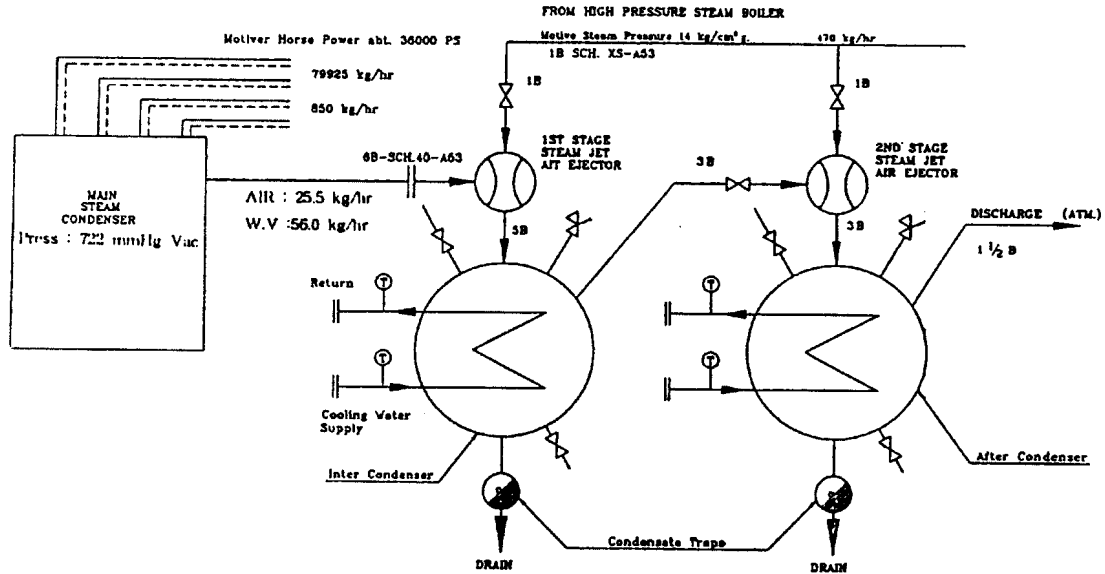


Fig.9 Steam Ejector Vacuum System for LNG Carrier

Fig.10의 보일러에서 발생된 고온, 고압의 증기는 감압밸브에서 일정한 압력으로 조절된 후에 실험용 복수기로 유입된다. 또한 흡입기체 발생장치에는 외기로부터 오리피스 유량계에 의하여 유량이 측정된 공기가 유입하며, 구동증기 발생용 보일러로부터의 증기가 기수혼합형 이젝터에서 증기 발생장치내의 물과 혼합되어 발생증기량을 조절할 수 있도록 되어 있다. 실험용 이젝터에 의하여 흡입기체 발생장치에 형성된 증기와 공기의 온도가 측정된 후, 실험용 복수기에 유입하도록 되어 있다. 복수기에 유입된 혼합기체는 응축수와 불응축가스로 분리되며, 응축수는 매스실린더(Mass cylinder)에서 그 유량과 온도가 측정되고, 불응축가스는 유량측정 후 대기로 배출된다. 구동증기를

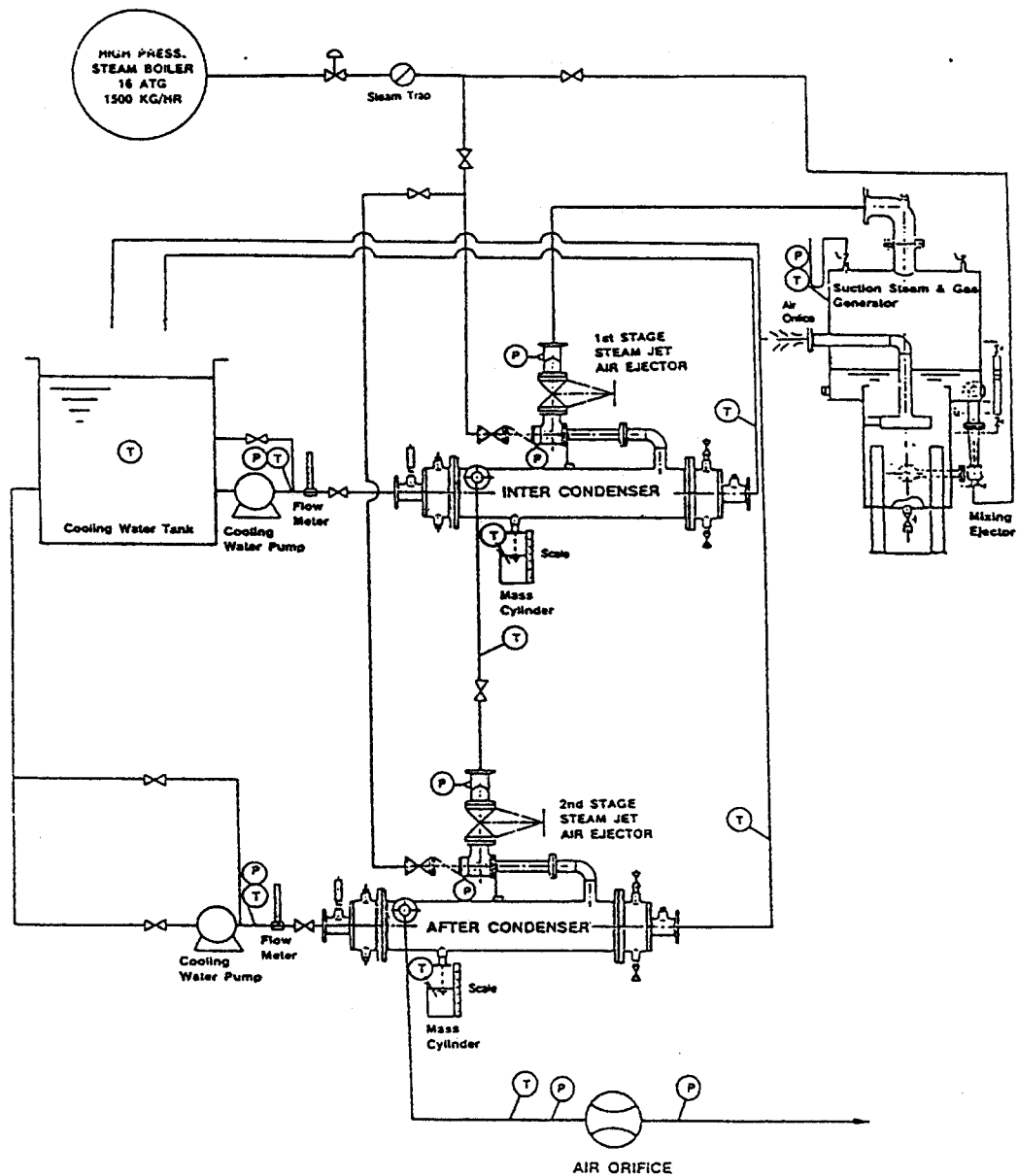


Fig.10 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

발생시키는 보일러는 고압수관식으로, 자동급수조절기와 자동연소제어장치를 갖추고 있다. 이 구동 증기발생용 보일러의 주증기관에 설치되어 있는 기수분리기는 구동증기에 함유된 수분을 제거하기 위하여 이중나선형 구조로 되어 있으며, 감압밸브를 이용하여 발생증기의 압력변동에 관계없이 구동증기를 임의의 압력으로 조정할 수 있도록 되어있다.

5. 2 종합성능시험

Photo. 1은 본 연구에서 개발한 LNG선용 배압시스템의 시작품이다. 이것은 본 연구에서 개발한 증기이젝터 설계용 전산프로그램에 의하여 설계한 제1단 증기이젝터와 제2단 증기이젝터, 그리고 증기복수기용 전산프로그램에 의하여 설계한 후방복수기와 중간복수기로 구성되어 있다.

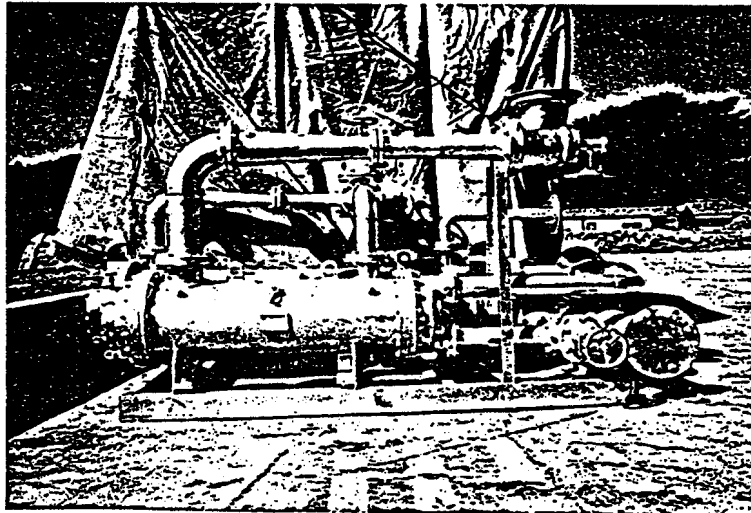
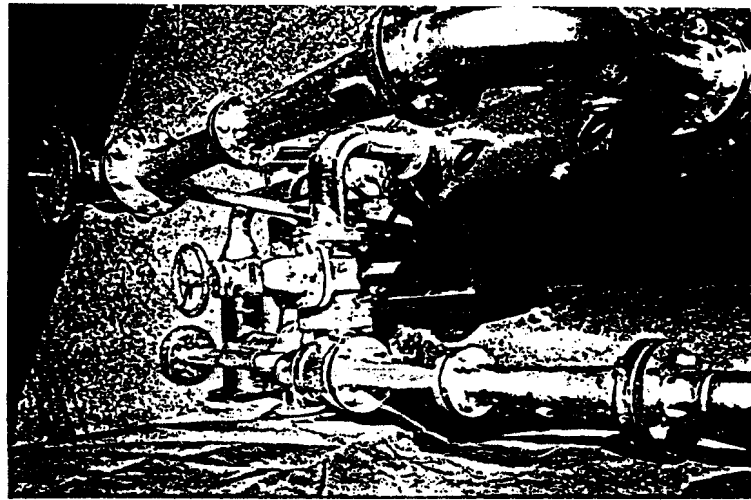


Photo. 1 2 - Stage Ejector Vacuum System for LNG Career

Fig. 11에 ASME Code에 맞도록 기술된 종합성능시험결과를 나타낸다. 본 시스템의 복수기의 진공압력은 -722 mmHg, 흡입증기량은 22.5 kg/hr인데 성능곡선에서 알수 있는 바와 같이 훨씬 높은 진공압력이 형성되어 만족할 만한 결과를 얻고 있음을 확인할 수 있었다.

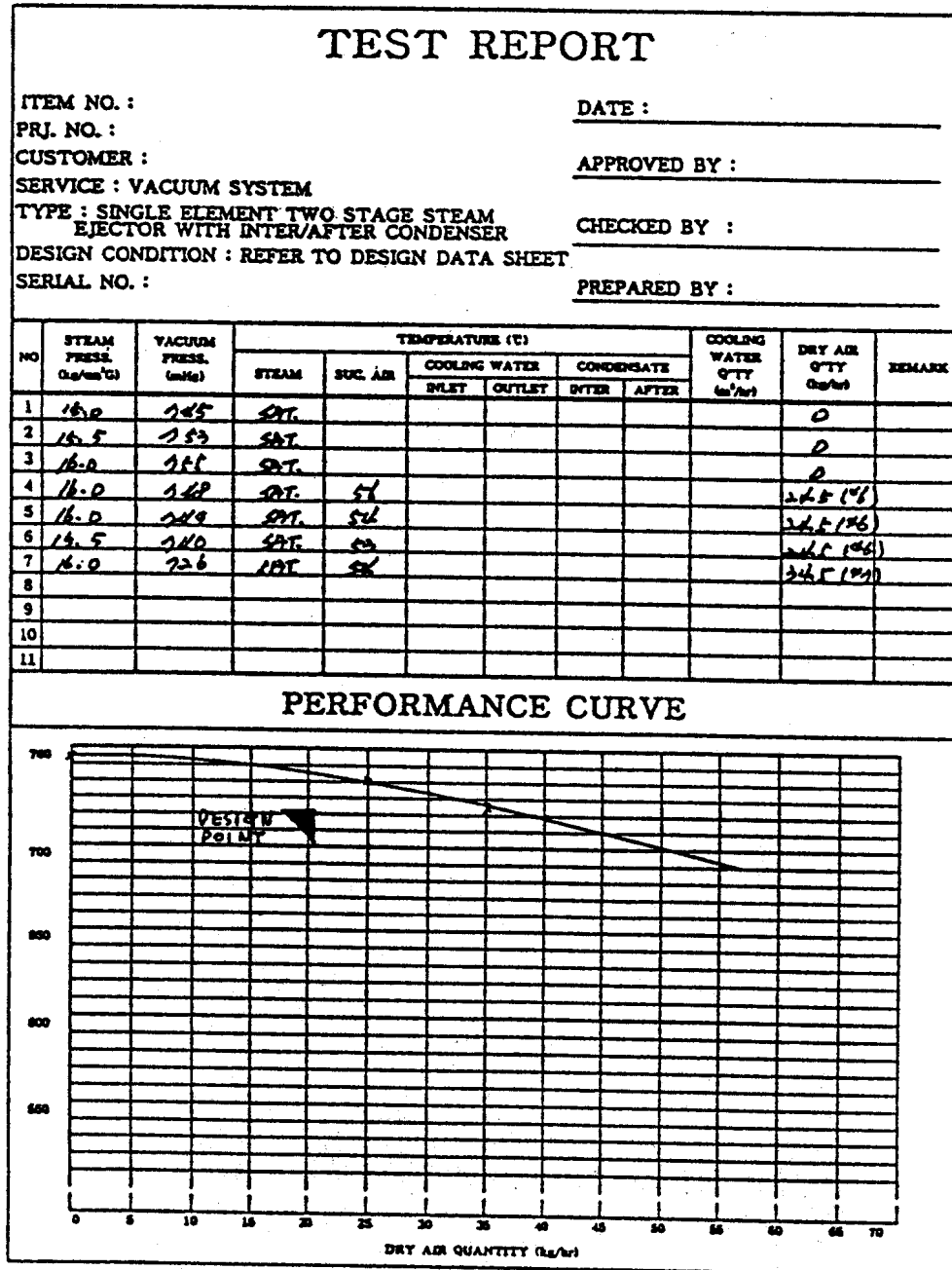


Fig.11 Final Test Results of S/Ejector Vacuum System

6. 결 론

『대형 터빈계통의 고효율 배압시스템 개발에 관한 연구』의 2차년도인 본 연구를 통하여 다음과 같은 연구개발결과를 얻었다.

- 1) 증기터빈 배압시스템으로의 누입공기량 산정을 위한 전산프로그램을 개발하였다.
- 2) 증기이젝터와 복수기설계용 전산프로그램에 의하여 제작된 이젝터와 복수기를 이용한 성능 실험을 통하여 본 연구에서 개발한 전산프로그램의 신뢰성을 확인할 수 있었다.
- 3) 증기발생용 보일러, 흡입증기 모의발생장치, 각종 펌프류 및 배관계통을 포함한 증기이젝터 배압시스템의 종합성능시험장치를 개발하였다.
- 4) 본 연구의 목표인 LNG선용 증기터빈의 주복수기 배압을 일정히 유지하기 위한 2단 증기이젝터 배압시스템의 시작품이 성공적으로 개발되었음을 종합성능시험을 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

- 1) 천병일, MRV형 LNG선의 선체온도분포 및 증발율 산정에 관한 연구, 한국해양대학교대학원 석사학위 논문집 (1994.2)
- 2) 植田, 蒸氣エセ"クタに關する研究(第1報), 日本機械學會誌, 第18卷, 第67號, pp.97~102(1952)
- 3) 植田, 蒸氣エセ"クタに關する研究(第2報), 日本機械學會誌, 第18卷, 第67號, pp.103~112(1952)
- 4) 植田, 蒸氣エセ"クタに關する研究(第3報), 日本機械學會誌, 第18卷, 第72號, pp.56~60(1952)
- 5) 植田, 蒸氣エセ"クタに關する研究(第4報), 日本機械學會誌, 第19卷, 第80號, pp.31~37(1953)
- 6) 金京根, 金明煥, 高相喆, 液體이젝터의 컴퓨터 支援設計 및 實驗에 관한 研究, Energy R&D, 動力資源研究所, 第10卷, 第1號, pp.24~34(1988.3)
- 7) 金京根, 小型 콤팩트한 廢熱 利用式 造水器 開發, 1次 報告書, 科學技術處 研究 報告書(1987.3)
- 8) 金京根, 小型 콤팩트한 廢熱 利用式 造水器 開發, 2次 報告書, 科學技術處 研究 報告書(1988.3)
- 9) 金京根, 金鎔模, 金明煥, 姜信丕, 蒸氣이젝터의 컴퓨터 支援設計用 電算프로그램의 開發, 大韓機械學會誌, 第8卷, 第12號, pp.717~720(1987)
- 10) 김경석, 이종수 김원녕, 김경근, 증기이젝터의 성능특성에 관한 실험적 연구, 한국박용기관학회논문집, 제15권, 제5호, pp.358~365(1991.12)
- 11) 李宗洙, 姜信丕, 金京根, 各種이젝터의 國產開發과 産業시스템에 關하여, 韓國舶用機關學會誌, Vol.14, No.1, pp.28~42(1990.2)
- 12) 김경석, 김원녕, 김경근, 김용모, P.C.를 이용한 물과 증기 열물성치의 전산수식화에 관한 연구, 한국박용기관학회 논문집, 제16권, 제4호, pp.88~101(1992.11)
- 13) 김경근, 윤석훈, 김용모, 김종현, 김철환, 대형 터빈계통의 고효율 배압시스템개발에 관한 연구(Ⅰ), 한국박용기관학회 논문집, 제18권, 제4호, pp.367~378(1994.11)

