

증기압력 변화에 따른 증기 이젝터의 성능에 관한 연구

전 유 신[†], 신 유 식*, Jin Zhen Hua*, 정 효 민**, 정 한 식**

*경상대학교 대학원 정밀기계공학과, **경상대학교 기계항공공학부, 해양산업 연구소

A Study on the Performance of Steam Ejector by Variation of Steam Pressure

You Sin Jun[†], You Sik Shin*, Zhen Hua Jin*, Hyo-Min Jeong**, Han-Shik Chung**

*Graduate School, Department of Mechanical and Precision Engineering, Gyeongsang National University, 445 Inpyeong-dong, Gyeongsang-namdo 650160, Korea

**School of Mechanical and Aerospace Engineering, the Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, 445 Inpyeong-dong, Gyeongsang-namdo 650160, Korea

ABSTRACT: This paper describes a study on the performance of steam ejector by variation of steam pressure. Water temperature is especially important for good quality of fish in an inland aquafam. In summer season, the water temperature increases above 25°C, but for good quality breeding or fish is the maintenance of optimum aquafam temperature by about 20°C. Therefore it is needed to drop the water temperature to provide suitable conditions of fish growth. There are many kinds of cooling system, in this study using steam ejector. After cooling the water in vacuum tank with the steam ejector then circulate this water to inland aquafam. In this way to minimizes fish stress that it is caused by water temperature. The objective of research confirms the difference of the case which there is no water in the vacuum tank and has water in the vacuum tank. The purpose of this paper is to examine the effects on the performance of steam ejector by variation of steam pressure.

Key words: Inland aquafam(육상 수조), Steam driven ejector(스팀 구동 이젝터)

1. 서론

최근 많이 양식하고 있는 어류의 경우 최적온도가 약 15~25°C이기 때문에 이온도를 유지해 주기 위해서는 겨울철의 경우 보일러 등을 이용하여 가온 해수를 유입시켜 온도를 유지할 수 있으나 여름철의 경우 해수온도가 25°C 이상이 되면 어류

의 성장 속도가 느려지고 각종 어병이 발생한다. 하계철의 경우에는 현재의 대다수의 양식장에서는 취수구의 해수온도를 기준으로 1일 환수량으로 하여 양식장에 해수를 공급하고 있다. 환수량이 상대적으로 많아지면 수조내의 해수의 온도 불안정, 오염물질의 유동성 증대, 펌프 등의 운용 장비의 과부하, 운용인력의 수시 제어 등의 필요로 많은 문제점이 노출되고 있는 실정이며 특히 육상 양식장내의 해수유동이 상대적으로 빨라져 양식어의 자기피로로 인한 폐사 혹은 생육에 큰 지장을 주고 있다. 따라서 보다 현실적인 하계철 육상 양식장의 환경 유지를 위하여 일부 냉동기

†전유신, 경상대학교 대학원

Tel.: +82-55-646-4766; fax: +82-55-644-4766

E-mail address: yousin0j@daum.net

시스템에 의한 냉수 보급방안으로 대처하거나 극단적인 방법으로 대형 얼음을 직접 수조 안에 투입하여 활용하고 있다. 이러한 방법들은 근본적인 대처가 될 수 없는 실정으로 육상양식장의 특성을 파악하고 해수의 온도를 적정상대로 유지할 수 있도록 설치비용이 현저히 적고 대용량의 냉수 발생이 가능한 시스템의 개발이 우선되어야 한다. 이를 위하여 Kim¹⁾ 의한 선행연구에서 CFD를 이용한 해석과 열교환기의 유량, 진공탱크내의 수위를 변수로 한 실험을 통하여 증기 이젝터를 이용한 저압 증발형 육상 양식장용 냉수기에 대하여 연구를 진행하였다. 본 연구의 목적은 진공탱크를 부착한 이젝터에서 유입되는 증기의 압력변화에 대한 진공탱크 내의 압력과 온도의 변화에 있어서 최적의 상태를 알고자 하였고, 진공탱크내의 공기 또는 물이 존재하는 경우에 대하여 증기의 압력을 변수로 하여 압력이 증기 이젝터의 성능에 미치는 영향의 정도를 실험을 통하여 알고자 하였다.

2. 실험방법



Fig. 1 Photograph of experimental apparatus

본 연구에 사용된 실험 장치는 저압 증발시의 증발잠열(Latent Heat of Evaporation)을 이용하여 냉각수를 생성시키는 시스템으로서 증기 구동식을 채택하였고 Fig.1은 실험에 사용된 실험 장치의 구성을 사진으로 나타내었다. Fig. 2는 본 실험 장치의 구동순서를 나타내는 개략도이다. 실험에서 증기의 발생은 스팀 보일러에 의하여 생성되며 이 증기는 1차적으로 스팀 이젝터를 통과하게 된다.²⁻³⁾ 이때에 증발에 소요되는 일시적

인 압력이 유지되며 이 이젝터를 통과한 스팀은 재차 제트콘덴서(Jet Condenser)를 통과하면서 증발기 내부를 증발 가능한 압력까지 저하시킨다. 그리고 제트콘덴서의 구동은 별도로 설치된 물 공급 탱크에서 펌프를 통하여 구동시키는 시스템으로 구성된다. 증발기에서 증발 잠열에 의하여 냉각된 물은 저장탱크에서 재 가열시켜 증발기로 유입되게 된다. Fig. 3은 실험에 사용된 진공탱크를 개략적으로 나타낸 것이다. 실험에 사용된 탱크의 재질은 SUS-304, 두께는 5mm, 최대 용량은 200ℓ이다. 그리고 시스템 각부의 온도측정을 위하여 RTD-Type 열전대를 사용하였으며, 측정지점은 진공 탱크 내부 6곳을 측정하였다. 실험 변수로는 진공 탱크 내부에 100ℓ의 물을 넣었을 때와 공기만 있을 때의 증기 이젝터에 유입되는 증기의 압력을 변수로 하여 실험을 진행하였다. 또한 실험은 각 Type당 1시간 동안 진행하였으며 실험한 Data를 얻기 위하여 Data Logger를 이용하여 2초당 데이터를 취득하였다.

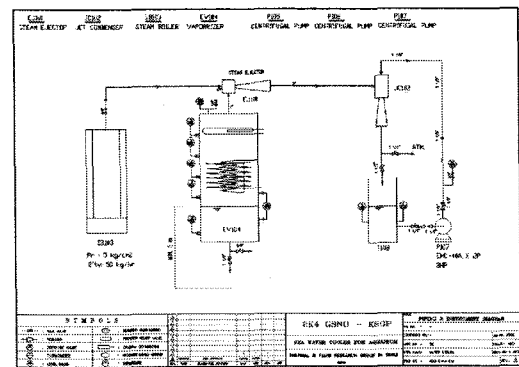


Fig. 2 Schematic diagram of device

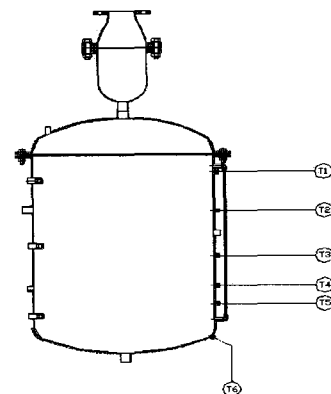
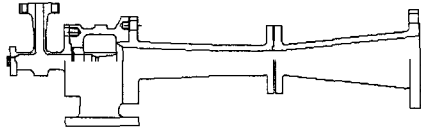


Fig. 3 Schematic diagram of Vacuum tank



(a) Photo of Steam ejector



(b) Schematic diagram of Steam ejector

Fig. 4 schematic diagram of Steam ejector

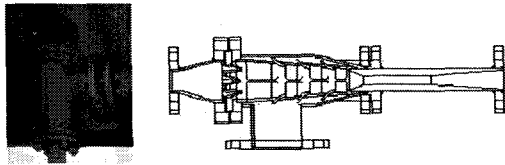


Fig. 5 Photo and schematic diagram of jet condenser

Fig. 4는 이젝터(Ejector)란 고압의 유체를 노즐로 분출시켜 유속을 빠르게 하고 압력을 낮추어서 그 주위의 기체와 운동에너지를 이용하여 저압을 얻는 장치로서 작동유체가 증기인 증기 이젝터의 사진과 개략도를 나타내었다. Fig. 5는 제트콘덴서의 사진과 개략도를 나타낸 것으로 이 장치의 역할은 1차적인 저압 형성을 이젝터에서 행하고 2차적인 저압은 제트콘덴서에서 행하게 되는데 내부에는 수개의 노즐이 형성되어 있어 최소 온도가 약 20°C에서 증발하기 위해서는 최소한 20mmHg의 압력이 될 수 있도록 하기 위하여 다단의 노즐로 설계되어 있다.⁴⁻⁵⁾ Table 1과 Table 2에는 실험에 사용된 제트펌프(Jet pump)와 스팀보일러(Steam boiler)의 제원을 나타내었다. Table 3은 실험 변수로서 진공 탱크 내부에 100ℓ의 물이 존재할 때와 공기가 존재할 경우의 증기 이젝터의 내부로 유입되는 증기 압력을 나타낸 것이다. 최고 및 최저 압력의 편차는 ±0.5이다. 압력에 대하여 편차를 준 것은 증기 보일러의 압력 스위치의 자체 보호회로의 작용에 의하여 발생하는 것이다. 따라서 총 변수는 4개로 8가지의 실험을 진행 하였다. 실험 전 모든 온도는 거의 동일하게 유지 하였으며, 고온고압인 증기 이젝터는 이젝터의 특성상 빠른 응축으로 효율을 좋게 하기 위해서 진공 탱크 내부의 압력이 제트 콘덴서를 사용하여 60 mmHg 에 도달하였을 때 스팀 보일러의 밸브를 개방하여 작동하였다.

Table 1 Specification of jet pump

	H (m)	Q ₀ (ℓ/min)	H _s (m)	H _p (m)	W (kW)
Specification	9	400	8m	24m	2.6

Table 2 Specification of steam boiler

	Q _R (kg/h)	A (m ²)	P _{max} (kg/cm ²)	H ₀ (%)	C _m (kg/h)
Specification	80	3.2	7	80	2.9-5.0

Table 3 Experimental condition of Pressure

	W _t	P _R	P _{max}	P _{min}	P _{max} -P _R	P _R -P _{min}
Model 1	0	2	2.5	1.5	+0.5	-0.5
Model 2		3	3.5	2.5		
Model 3		4	4.5	3.5		
Model 4		5	5.5	4.5		
Model 5	100	2	2.5	1.5	+0.5	-0.5
Model 6		3	3.5	2.5		
Model 7		4	4.5	3.5		
Model 8		5	5.5	4.5		

3. 결과 및 고찰

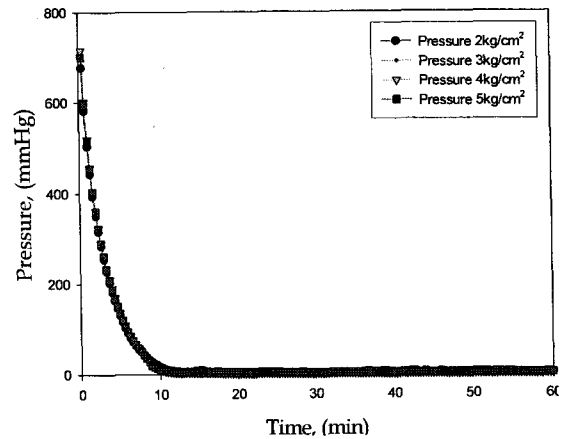
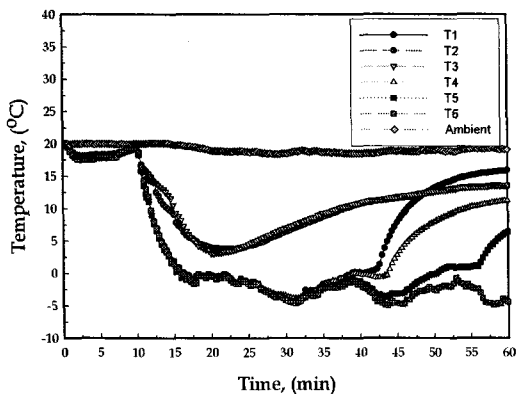


Fig. 6 Pressure distribution in vacuum tank of model 1 ~ 4

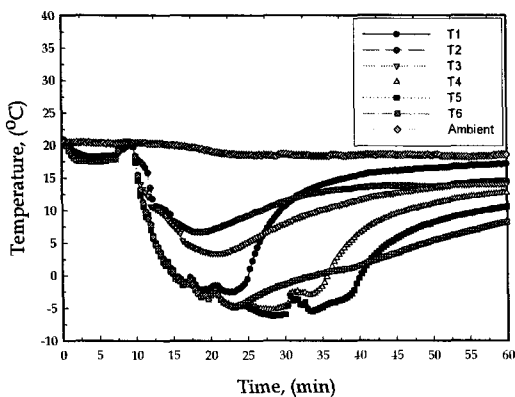
Fig. 6은 탱크 내에 공기만을 넣고 실험을 했을 때 2~5kgf/cm²까지의 증기압력의 변화를 나타낸 것이다. 대기압에서 진공으로 떨어지는 압력의 양상은 똑같음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 Fig. 6의 진공탱크 내에 공기만 존재할 때 온도 측정부의 온도의 변화들이다. (a)초기 가동 후 약 10분 뒤에 전체적인 온도의 하강을 보였으나 T2와 T3은 다른 온도 보다 늦은 온도의 하강을 보였으며 약 20분경과 후 온도는 상승하는 양상을 보였다. 약 40분 이후로 점차 T6을

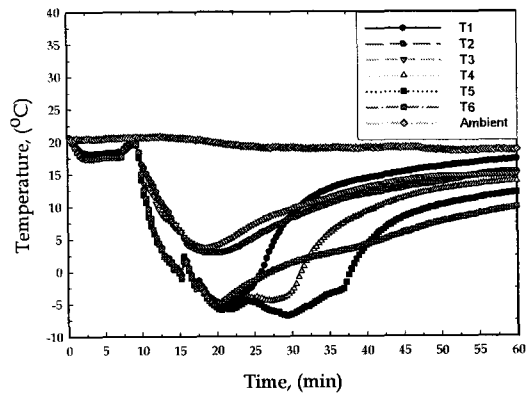
제외한 다른 온도들은 점차 상승하는 그래프를 보였다. (b)역시 (a)와 같이 온도의 하강은 약 10분 후에 하강을 하였으며 T2와 T3은 역시 다른 온도측정부와 다른 양상을 나타냈다. (a)와는 달리 약 20분에서 30분 사이에 모든 온도들이 상승하였다. (a)와는 달리 T6의 온도는 약 20분에서 25분 사이에 상승하였다. 또한 T1은 다른 그래프에서와 달리 빠른 온도의 상승이 나타났다. (c)도 약 10분 뒤에 온도의 하강이 발생 후 약 20분에서 30분 사이에 전체적으로 온도의 상승이 발생하였다. (d)도 다른 그래프와 마찬가지로 온도의 하강은 약 10분 뒤에 생기며 약 35분 뒤에 온도의 상승이 발생하였다. 전체적으로 특이한 사항은 다른 온도들보다 T2와 T3은 적은 하강과 빠른 상승의 현상이 발생되었다. 온도는 중심부에서 측정되었는데 다른 측정부와는 달리 윗부분과 아랫부분은 낮은 온도를 보이거나 중심부는 다른 부에 비하여 온도가 높은 편이었다. (a)와 (d)는 (b)와 (c)에 비하여 최저 온도가 높은 편이다.



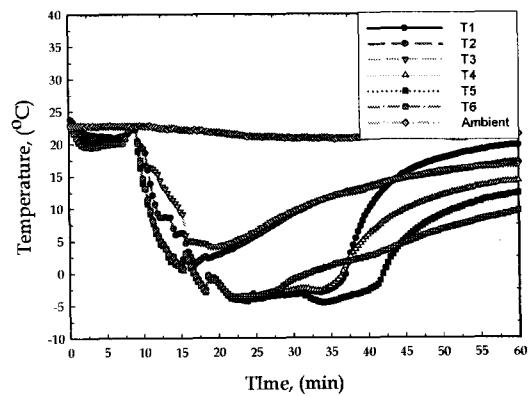
(a) steam pressure of 2 kgf/cm²



(b) steam pressure of 3 kgf/cm²



(c) steam pressure of 4 kgf/cm²



(d) steam pressure of 5 kgf/cm²

Fig. 7 Temperature distribution in vacuum tank of model 1 ~ 4

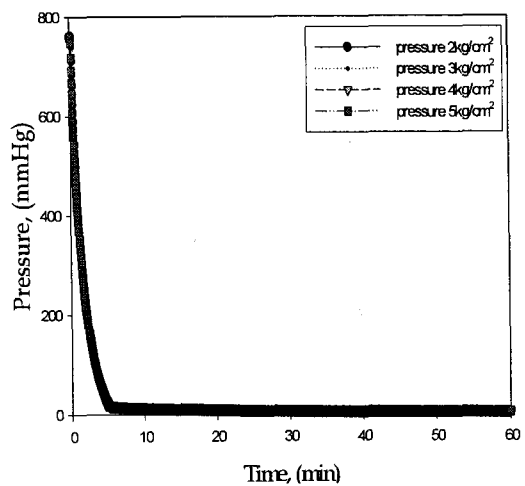
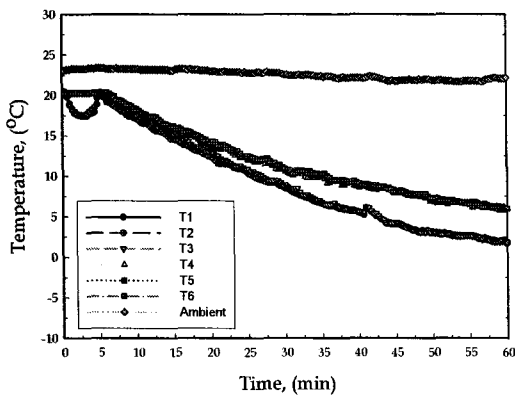
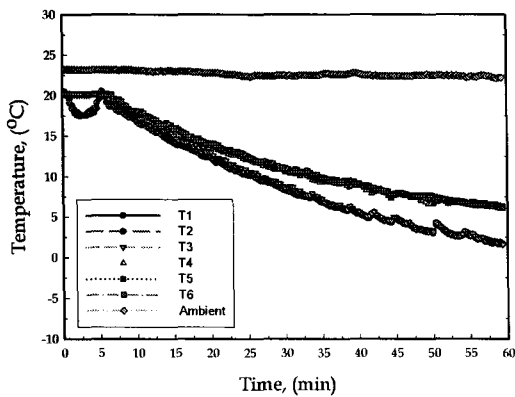


Fig. 8 Pressure distribution in vacuum tank of model 5 ~ 8

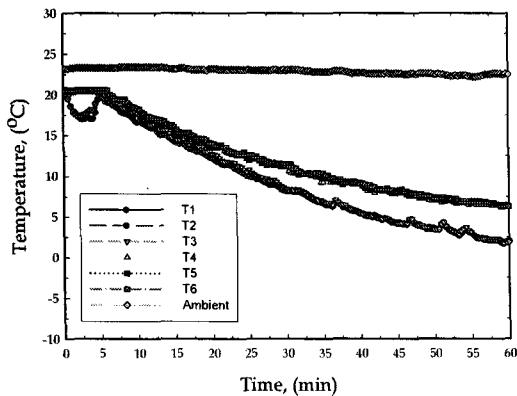
Fig. 8은 탱크 내에 물 100ℓ을 넣고 2~5kgf/cm²까지의 증기압력의 변화를 나타낸 것이다. 대기압에서 진공으로 떨어지는 압력의 양상은 공기만이 존재할 경우와 같은 양상을 보여주고 있다.



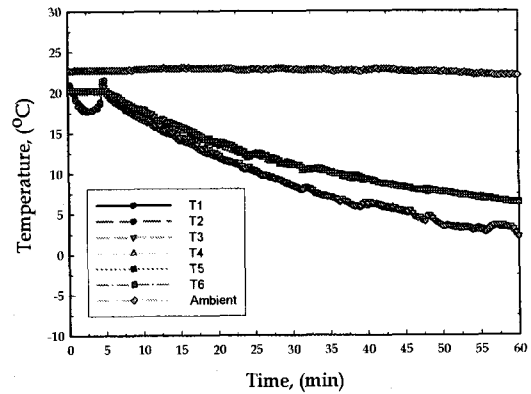
(a) steam pressure of 2 kgf/cm²



(b) steam pressure of 3 kgf/cm²



(c) steam pressure of 4 kgf/cm²



(d) steam pressure of 5 kgf/cm²

Fig. 9 Temperature distribution in vacuum tank of model 5~8

Fig 9는 Fig. 8의 진공탱크 내에 물이 존재할 때 온도 측정부의 온도의 변화들이다. 수온의 변화는 약 5분 뒤부터 하강하기 시작한다. T1과 T2는 초기 5분 이전에 약 17정도 까지 하강 후 다시 상승하여 5분 후부터 점차적으로 다른 수온들과 마찬가지로 하강하는 양상을 보였다. 그 이유는 초기의 온도 하강은 탱크에 물을 채웠을 때 T1과 T2는 물에 잠겨 있지 않은 부분인 수위 위에 있기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 약 15분 뒤부터는 물에 잠기지 않은 공기 부분, 표면에 증발 잠열이 발생하는 부분과 잠긴 부분의 두 온도의 양극화 현상이 발생하였다. (a)와 마찬가지로의 양상이나 특이한 것은 오히려 T1과 T2의 온도가 약간 수온 보다 더 상승하는 양상을 보였다.(c)의 그래프는 오히려 (b)의 그래프와는 달리 (a)의 그래프에 더 가까운 양상을 보였다. 약간의 다른 점은 T1의 온도가 (a)와는 약간 다르게 약 4분 까지 더 하강 후 상승하는 현상을 보였다. (d)는 (b)와 같은 현상이나 오히려 공기부분의 온도는 더 많은 상승의 현상이 발생되었다. 온도의 변화만으로는 수온일 경우는 압력의 변화에 관계없이 거의 같은 형상을 나타내었다.

Fig. 10과 Fig. 11은 증기 압력의 변화를 알기 쉽게 나타내기 위하여 10mmHg 이하로 하여 압력의 변화를 나타낸 것이다. 증기의 압력이 2~4 kgf/cm²인 경우진공의 상태에 가까운 경우에 압력의 변동 폭이 적은 상태이나 5kgf/cm²인 경우에는 압력의 변동 폭이 크게 나타났다. 진공탱크 내에 공기만 있을 경우에는 거의 진공의 상태까지 진행이 되었다. 진공탱크의 내부에 100ℓ의 물이 채워진 경우에는 2~5kgf/cm²의 압력에 상관없이

모두 균일한 압력의 변동 폭이 생성 되었다. 그러나 공기만 있을 경우와는 달리 빠른 진공의 상태까지는 도달하지 않고 장시간의 작동 시 거의 가까운 곳까지 도달하리라 생각된다.

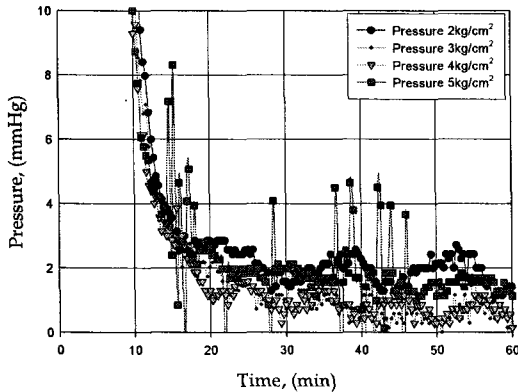


Fig. 10 Pressure distribution in vacuum tank of model 1 ~ 4 (in magnified Y axis)

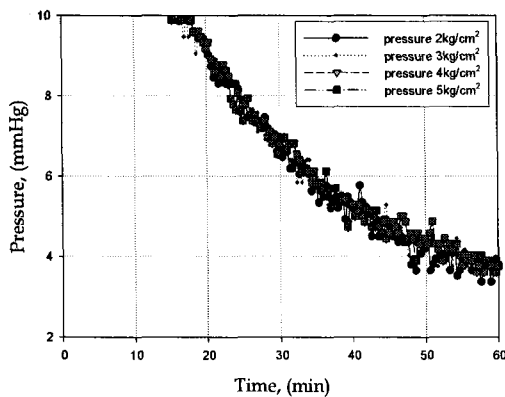


Fig. 11 Pressure distribution in vacuum tank of model 5 ~ 8 (in magnified Y axis)

4. 결론

본 실험장치는 육상수조 양식장의 냉각을 위하여 제작된 시스템으로 내부의 열교환기를 사용하여 열 교환을 하거나 또는 해수를 탱크내로 입수하여 직접 냉각하여 순환하는 장치이다. 여기에서 증기의 소모량을 감안하였을 때 증기가 2kgf/cm²이나 3kgf/cm², 4kgf/cm², 5kgf/cm²에서 비교하였을 때 많은 차이점이 없는 걸로 판단되었다. 이는 적은 양의 증기를 사용하여도 충분한 냉각이 가능하단 생각된다. 본 장치에서는 해수를 냉각하

여 순환하는 시스템의 구조상 많은 증기를 발생시켜 냉각 하는 것보다 적은 증기를 사용하여도 가능하기 때문에 효율상이나 연료 소모성에서 좀 더 나은 현상이 발생되었다.

후 기

본 연구는 해양수산부(KSGP)와 경상대학교 2단계 BK21의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Bo -Han Kim, 2006, "A Study on the Flow Characteristics of a Land Aquaculture Tank", A Doctor's Thesis, Department of Mechanical and Precision Engineering Graduate School, Gyeongsang National University.
3. R. Royds and E. Jonson, The fundamental principles of the steam ejector, Proceeding institution of mechanical engineers, Vol. 145, pp.193-209(1941)
4. L.F. Whitney, The mercury ejector refrigerator, Refrigerating engineering, Vol. 24, pp.134-146(1931)
5. S.S Eichacker and H. Hoge, Jet-compression efficiencies as influenced by the driving gases, Journal of the aerospace sciences, Vol. 27, pp.636-7(1960)
6. J.H Keenan, E.P. Neumann, and F.Lustwerk, An investigation of ejector design by analysis and experiment, Journal of applied mechanics, Vol. 17, pp. 209-309(1950)