

스팀 에젝터에 의한 강제 증발 방식의 냉각 특성에 관한 연구 Study on Cooling Characteristics of Forced Evaporation by using Steam Ejector

손호재 · 정호민 · 이윤환 · 김영근

H. J. Son, H. M. Jeong, Y. H. Lee and Y. G. Kim

Key Words : Steam driven ejector(스팀 구동 에젝터), Jet condenser(제트 콘덴서), Latent heat of evaporation(증발잠열)

Abstract : This study shows a water cooling system by using a steam ejector and jet condenser to drop the temperature of the water by about 5°C from 25°C or higher. In this research, to replace the present water cooling system, we focused on a water cooling system by latent heat of evaporation, thus this system needs a vacuum pressure to evaporate the water in enclosed tank. The water cooling effects are depended on the vacuum pressure in the enclosed tank, and the cooling water is generated by latent head of evaporation. As the experimental results, the absolute vacuum pressure obtained was about 5~8 mmHg using a steam driven ejector with jet condenser.

1. 서 론

우리나라의 양식 산업에 있어서 광어나 조피볼락은 고급 어종으로 고수익을 올릴 수 있어 육상 양식장에서 많이 양식되고 있다. 육상 양식장에서 질병에 강하면서도 치어들을 빠르게 성장시키기 위해서는 각 어종에 따른 최적의 환경을 유지하여야 하며, 환경 요소들 중에 온도는 중요한 비중을 차지하고 있다. 그래서 육상 양식장에서는 온도를 제어하기 위한 냉·난방 설비가 요구된다. 일반적으로 육상 양식 설비는 해수를 순환시키는 타입(Open Type)과 순환시키지 않는 타입(Closed Type)으로 나뉜다. Closed Type은 해수가 수조 탱크 내부에서 계속 순환하는 시스템이며, Open Type의 경우 해수는 양식장 수조를 지나 다시 바다로 방출된다. 첫 번째 시스템은 고가의 설비를 필요로 하지만, 겨울철 동안 양식장 물의 가열 에너지를 절약할 수 있다.

양식장에서 양식 어류를 위한 많은 중요한 요인들이 존재한다. 몇몇 이런 요인들은 생물학적 요인

외에도 해수의 온도와 같은 것들이 있다. 좋은 품질의 어류를 양식하기 위해 특히 중요한 것은 최적 양식온도를 유지하는 것이다. 여름철 해수의 온도가 약 25°C 이상이 될 경우 어류의 성장 상태가 나빠지며, 질병이 퍼지게 된다.

본 연구는 육상수조의 해수 온도를 25°C 또는 그 이상의 온도로부터 약 5°C 정도 떨어뜨리기 위해 스팀에젝터를 이용한 해수 냉각 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 현재의 냉각 시스템을 대체하기 위해 본 연구는 밀폐 탱크 내부에서 물의 진공 증발을 이용한 증발잠열에 초점을 두었다. 물의 냉각 효과는 밀폐 탱크의 진공도에 의존하며 냉각수는 증발작용에 의해 발생된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig 1은 본 실험장치의 사진을 나타낸다. 실험 장치는 제트 콘덴서와 이를 구동하기 위한 모터 그리고 물탱크, 스팀 에젝터와 이를 구동하기 위한 스팀 보일러, 진공 탱크, 보일러, 데이터를 취득하기 위한 데이터 로그, 데이터를 저장하기 위한 PC로 구성되어 있다. 실험 장치는 물탱크의 물이 모터에 의해 제트 콘덴서를 통과한 후 외부로 배출되며, 스팀 보일러에서 생성된 스팀은 스팀 에젝터를 통과한 후

접수일 : 2006년 4월 8일
정호민(책임저자) : 경상대학교 기계항공공학부 · 해양산업연구소
E-mail : hmjeong@gnu.ac.kr Tel. 055-640-3184
김영근, 이윤환 : 경상대학교 정밀기계공학과
손호재 : 거제대학 메카트로닉스계열

제트 콘덴서를 거쳐 외부로 배출되는 시스템으로 이루어져 있다.

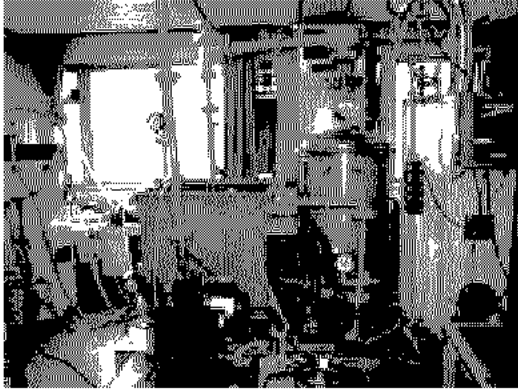


Fig. 1 Photograph of experimental setup

2.2 실험 방법

시스템 각부의 온도측정은 RTD-Type 열전대를 사용하였으며, 측정지점은 진공 탱크 내부 6곳, 진공 탱크 내부의 열교환기 입 출구 온도로서 총 8곳을 측정하였다. 실험 변수로는 진공 탱크 내부의 수위와, 진공 탱크 내부의 열교환기의 유량을 변수로 두었다. Table 1은 본 실험의 실험 조건을 나타낸 표로써 진공 탱크 내부 물의 량을 0l, 50l, 100l, 150l로 변화를 주었으며, 각각의 수위에 대하여 열교환기의 유량은 0l/min, 4l/min, 4.5l/min. 로 주었다. 따라서 총 변수는 7개로 10가지의 실험을 진행하였다.

Table 1 실험 조건

	진공 탱크 내부 물의 량 (l)	열교환기의 유량 (l/min)
Type 1	0 l	0 l/min
Type 2	50 l	0 l/min
Type 3	100 l	0 l/min
Type 4	150 l	0 l/min
Type 5	50 l	4 l/min
Type 6	100 l	4 l/min
Type 7	150 l	4 l/min
Type 8	50 l	4.5 l/min
Type 9	100 l	4.5 l/min
Type 10	150 l	4.5 l/min

실험전 모든 온도는 거의 동일하게 유지하였으며, 스팀 에젝터는 진공 탱크 내부의 압력이 제트 콘덴서를 사용하여 60 mmHg에 도달하였을 때 스팀 보일러의 밸브를 개방하여 작동하였다. 또한, 열교환기로 유입되는 물의 온도는 25℃ 를 유지하기 위해 보

일러를 사용하여 제어하였다. 실험 시간은 물탱크의 물이 다 소진 될 때까지 하였으며, 물탱크에 유입되는 물의 양이 매일 일정하지 않아 각 실험마다 실험 시간은 같지 않다.

3. 결과 및 고찰

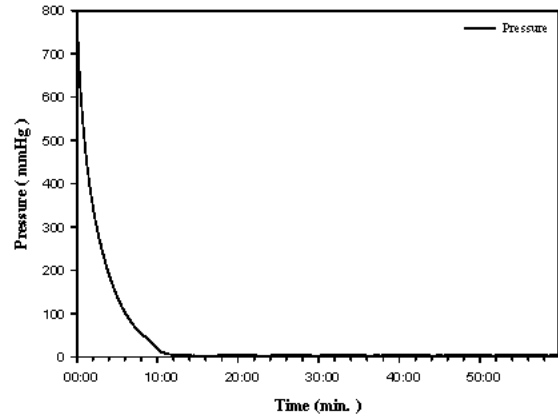


Fig 2. Vacuum pressure of Type1

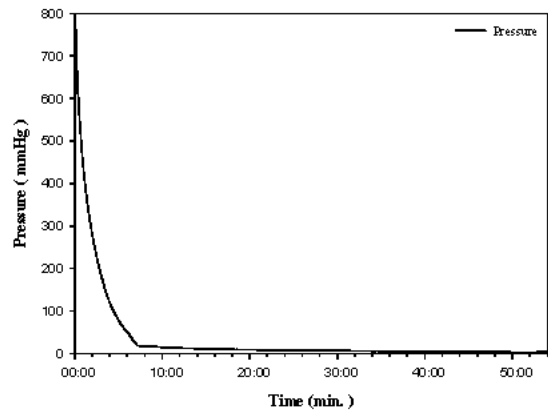


Fig 3. Vacuum pressure of Type2

Fig. 2, 3, 5, 7은 Type 1, 2, 3, 4일 때의 진공 탱크 내부의 압력을 나타내고 있다. 실험 시작 15~20분 경과후 압력은 거의 정상 상태에 도달하였으며, 압력 값은 5~8 mmHg.abs 정도였다. Fig. 4, 6, 8은 Type 2, 3, 4 일때의 진공 탱크 내부의 온도 분포를 나타내고 있다. Type 2에서는 탱크 내에서는 T5와 T6는 물에 잠긴 상태이며 나머지는 공기와 접촉하고 있다. 탱크 내부의 온도는 스팀 에젝터를 가동함과 동시에 공기와 접촉하고 있는 T1~T4는 온도가 조금 상승하다 서서히 하강하였으며 물에 잠겨있는 T5와 T6는 급격한 변화 없이 서서히 온도가 하강한 반면 T1~T4는 서서히 하강하다 약 48분경 급격히 하강하다 다시 상승하는 경향을 보였다. Type 3에서는 T1~T3는 공기와 접촉하고 있으

며 나머지는 물에 잠긴 상태이다. 탱크 내부의 온도는 스팀 에젝터를 가동하자 공기와 접촉한 T1~T3는 온도가 잠시 급상승후 서서히 하강하였으며 나머지 온도는 스팀 에젝터 가동후 서서히 하강하였다. Test 3에서는 앞 실험과는 달리 스팀 에젝터 가동후 모든 온도가 서서히 하강하는 경향만을 보였다.

Type 4에서는 T1 만이 공기와 접촉하며 나머지는 물에 잠겨 있는 상태이다. 스팀 에젝터를 가동후 공기와 접촉하고 있는 T1 만이 온도가 급상승후 서서히 하강하였으며 나머지 온도는 스팀 에젝터 가동후 서서히 하강하였다. 각각의 타입에서 ΔT는 약 10℃ 정도였으며, 온도 압력에 관한 실험 그래프를

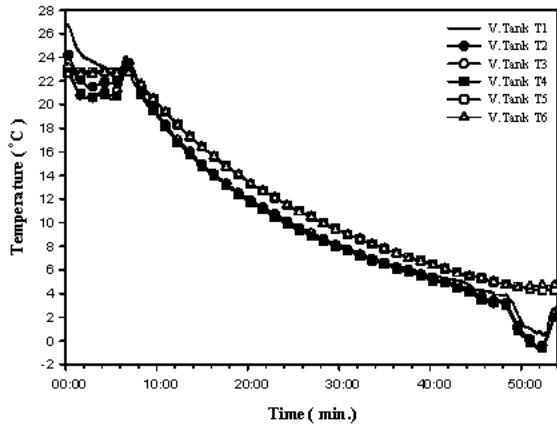


Fig 4. Temperature distributions in enclosed tank of Type2

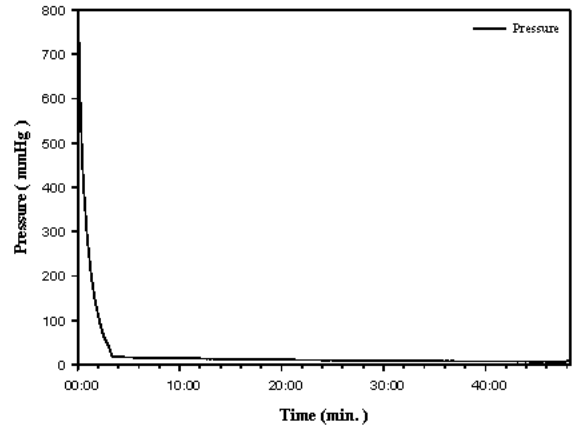


Fig 7. Vacuum pressure of Type4

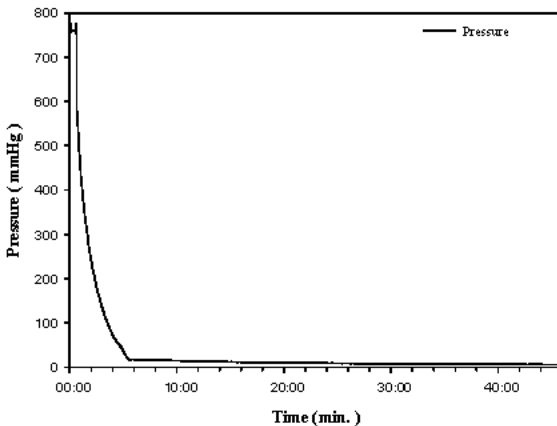


Fig 5. Vacuum pressure of Type3

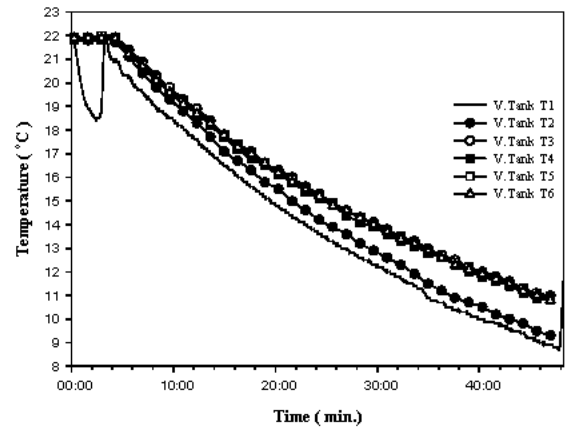


Fig 8. Temperature distributions in enclosed tank of Type4

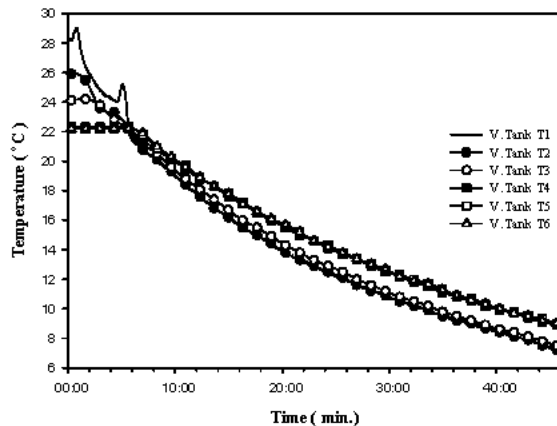


Fig 6. Temperature distributions in enclosed tank of Type3

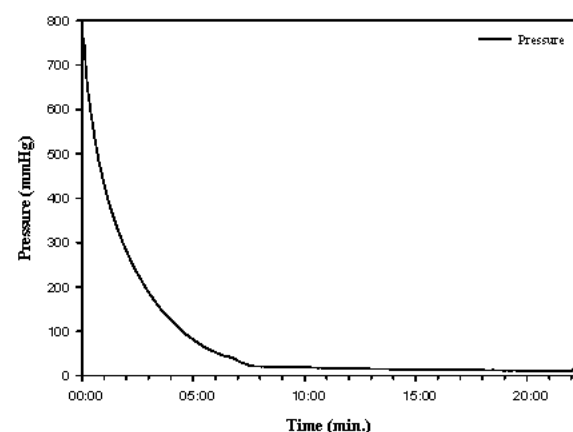


Fig 9. Vacuum pressure of Type5

통해 이 시스템이 타당함을 알 수 있다.

Fig. 9, 11, 13은 열교환기의 유량이 4 l/min 일 때 진공 압력을 나타내고 있으며, 약 5~8 mmHg.abs 정도에서 정상 상태에 도달하였다.

Type 4,5,6 모두 탱크 내부의 온도는 스팀 에젝터 가동 후 공기와 접촉하고 있는 부분은 온도가 급격히 상승후 서서히 하강하였으며 물과 접촉하고 있는 부분은 서서히 하강하는 경향을 보였다. 열교환기의 출구온도 또한 스팀 에젝터 가동 후 서서히 하강하는 경향을 보였다.

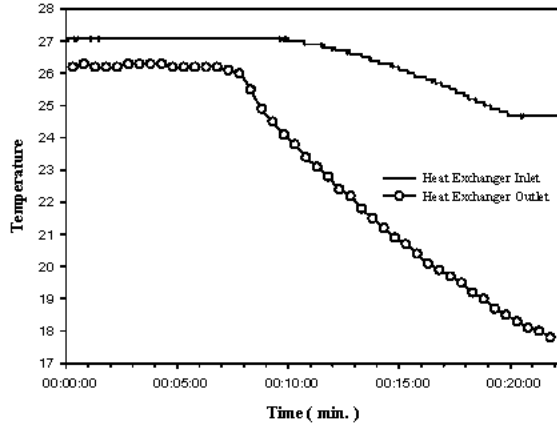


Fig 10. Temperature distributions in enclosed tank of Type5

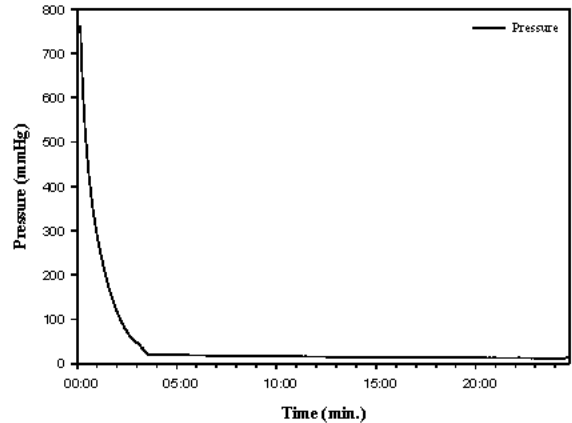


Fig 13. Vacuum pressure of Type7

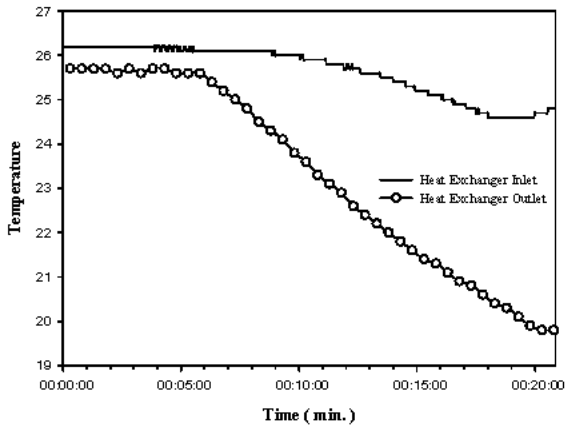


Fig 12. Temperature distributions in enclosed tank of Type6

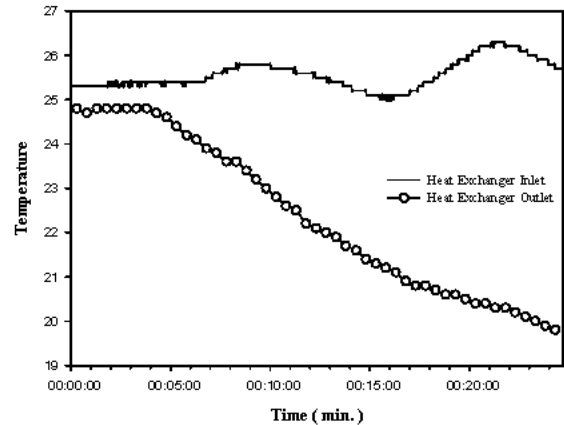


Fig 14. Temperature distributions in enclosed tank of Type7

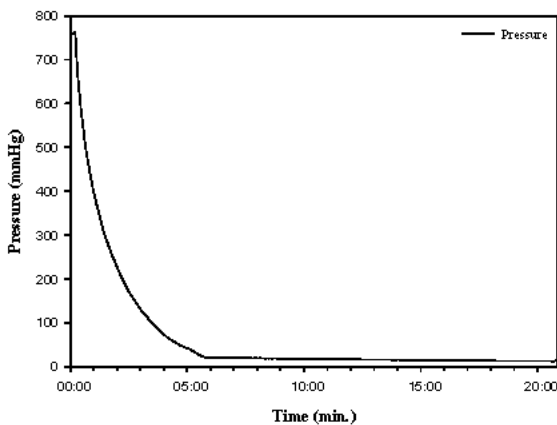


Fig 11. Vacuum pressure of Type6

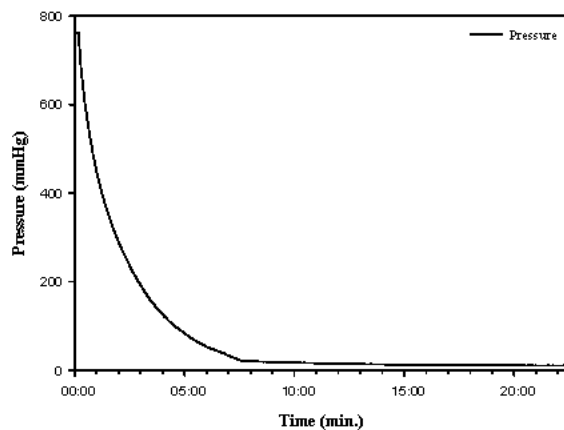


Fig 15. Vacuum pressure of Type8

Fig. 10, 12, 14는 열교환기의 입 출구 온도차를 나타내고 있다. Type 5, 6, 7의 열교환기 입 출구 온도차는 각각 7℃, 5℃, 5.5℃였으며, 열교환 양은 스팀 에젝터 가동 후 서서히 증가하여 Type 5에서는 최대 27 Kcal/min를, Type 6에서는 22 Kcal/min를, Type 7에서는 24Kcal/min를 나타내었다.

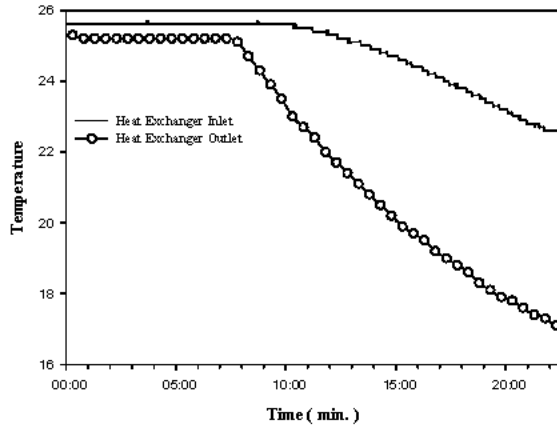


Fig 16. Temperature distributions in enclosed tank of Type8

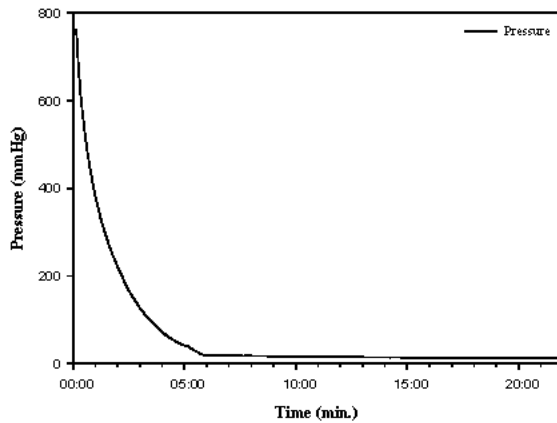


Fig 17. Vacuum pressure of Type9

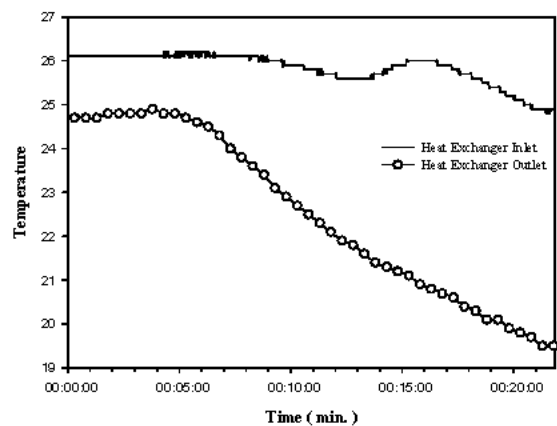


Fig 18. Temperature distributions in enclosed tank of Type9

Fig. 15, 17, 19 는 열교환기의 유량이 4.5 ℓ/min 일 때 진공 압력을 나타내며, 약 5~8mmHg.abs 정도에서 정상 상태에 도달하였다. Type 8,9,10 모두 탱크 내부의 온도는 스팀 에젝터 가동 후 공기와 접촉하고 있는 부분은 온도가 급격히 상승후 서서히 하강하였으며 물과 접촉하고 있는 부분은 서서히 하강하는 경향을 보였다. 열교환기의 출구온도 또한 스팀 에젝터 가동 후서서히 하강하는 경향을 보였다.

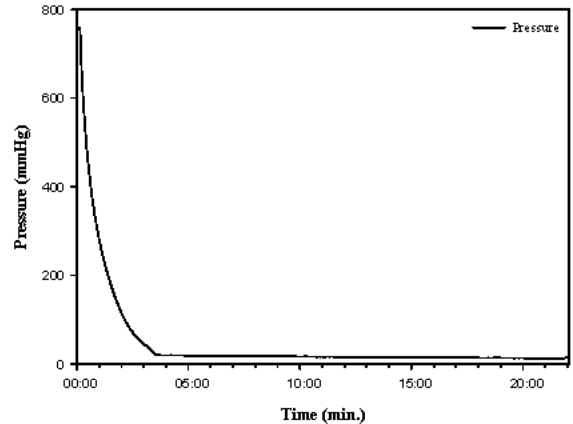


Fig 19. Vacuum pressure of Type10

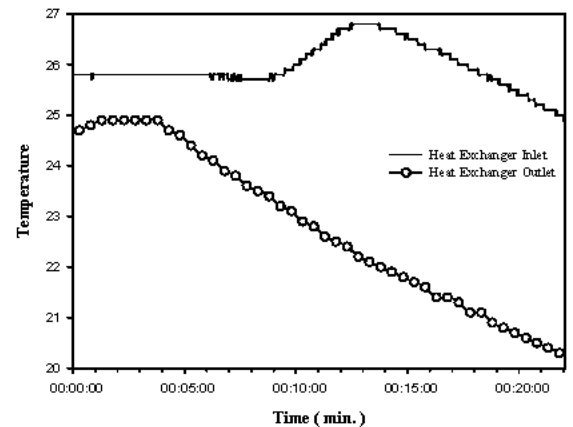


Fig 20. Temperature distributions in enclosed tank of Type10

Fig. 16, 18, 20은 열교환기 입 출구 온도를 나타내고 있으며, Type8, 9, 10의 열교환기 입 출구 온도차는 각각 5.5℃, 5.5℃, 5.5℃였으며, Type 8에서는 최대 24 Kcal/min를, Type 9에서는 최대 24 Kcal/min를, Type 10에서는 최대 21Kcal/min를 나타내었다. 열교환기의 유량이 4 ℓ/min, 4.5 ℓ/min일 때 열교환기 입 출구 온도 그래프를 비교해 보면 유량이 적을수록 온도차는 더 크게 나타남을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에 이용한 스팀 구동식 에젝터를 이용한 냉각기용 열교환 실험장치의 성능 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 본 연구의 실험장치의 설계에 있어서 증발압력인 20 mmHg.abs 이하의 압력을 유지하였으므로 제트 콘덴서와 스팀 에젝터의 설계가 적합함을 실험을 통해 알 수 있었다.
- 2) 진공 탱크 내부의 온도는 스팀 에젝터 가동시 공기와 접촉된 부분의 온도가 급상승하지만 이는 고온의 스팀에 의한 일시적인 현상으로 열교환기의 성능에는 영향을 미치지 않음을 실험을 통해 알 수 있었다.
- 3) 진공 탱크 내부의 열교환기 입 출구 온도는 스팀 에젝터 가동 시점부터 서서히 하강하며, 조건에 따라 편차는 있지만 모든 실험에 있어서 $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ 이상의 성능을 보였다.
- 4) 열교환 양에 있어서 최고의 성능을 나타낸 것은 Type 5의 경우로 1620 Kcal/hr 였으나, 나머지의 경우는 평균적으로 1440 Kcal/hr 의 성능을 나타내었다.

후 기

본 연구는 해양수산부 KSGP 과제와 경상대학교 2단계 BK21 사업단의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Jeong, H. M. and Chung, H. S. ,1998, "Study on Fluid Flow Characteristics of Aquarium for Optimum Environment", Air-Conditioning and Refrigeration Engineering., Vol. 10, No. 1, pp. 108~117.
2. Kang, W. J., Cho, S. S., Huh, H. and Chung, D. T. 1998, "Identification of Dynamic Behavior of Sheet Metals for an Auto-body with Tension Split Hopkinson Bar", SAE 981010, pp115-119.
3. Kim, H. G. 1997, "Recent Harmful Algal Blooms and Mitgatio Stategies in Korea", Ocean Research, Vol. 19, No. 2, pp. 185~192.
4. Lee, J. S., 1994, "Hydraulic Studies on

- Recirculating Aquaculture Basin", J. Korean Fish. Soc, Vol. 27, No. 2, pp. 173~182.
5. Sannomiya, N. and Matuda, K., 1987, "Least Squares Estimation in Fish Behavior Model", Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., pp. 1951~1957.
6. Partridge, B. L., 1989, "The Structure ad Function of Fish School", Sci. Am., pp. 90~99.
7. Tomonori Hiraishi, Karsuaki Nashimoto, Thutomu Takagi, Kengo Suxuki and Keiichiro Moromatu, 1995, "Stationary Ability of Bastard Halibut Paralichthys olivaceus and Longsnout Flounder Limanda punctatissima to Water Current at the Bottom of a Net Cage", Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, Vol. 61, No. 3, pp. 363~368.