

## 해설논문

# 양식장용 해수열원 히트펌프의 개발 및 연구 동향 Research and Development of Sea Water Heat Pump



권 오 경

Oh-Kyung Kwon

- 한국생산기술연구원 수석연구원
- kwonok@kitech.re.kr



설 원 실

Won-Sil Seol

- (주)이엠이 대표이사
- wsseol@hanmail.net

## 1. 서 론

에너지 해외 의존도가 높고 이산화탄소 배출저감에 post 교토의정서의 선진국 적용 기준이 확실시 되고 있는 우리나라로서는 폐열 또는 신·재생 에너지를 적극적으로 활용할 수 있는 시스템 개발이 매우 중요하다고 할 수 있다. 우리나라는 하천 및 호수와 해양의 미활용 에너지가 풍부하므로 그 인근에는 냉난방·급탕 등 열수요가 많은 업무용 및 상업용 빌딩과 어류 양식을 위한 냉수 및 온수가 필요한 육상수조양식장이 약 2,000여가 존재하고 있다.

현재 대부분의 해수 및 담수 육상수조양식장의 급수온도조절은 수온이 저하하면 보일러를 사용하고 수온이 상승하면 뚜렷한 대책 없이 양식장의 사정에 따라서 액체질소, 얼음 및 지하수를 이용하여 일시적으로 수온을 저하시키고 있다. 그러므로 유류보일러 사용에 의한 석유에너지 다소비 및 수입 증가, 공해 및 환경오염, 하절기 수온 상승에 의한 양식어의 폐사 및 저성장 등 국가적

차원의 에너지 절약 및 환경보호와 양식어 생산성 향상을 위해서는 연중 수온을 자동 조절시킬 수 있는 시스템이 긴급함에도 불구하고 이에 대한 대책과 연구개발이 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 항상 양식수조의 적정 수온을 유지시키고 에너지 다소비형인 기존의 유류보일러보다 에너지 비용이 저렴하면서 수온을 자동 조절시킬 수 있는 폐열 및 미활용에너지를 이용한 고성능 히트펌프 개발이 절실히 필요하다.<sup>1-4)</sup>

양식장의 경우 Fig. 1과 2의 양식장 해수흐름 계통도에 나타난 것과 같이, 양식장 수조의 물이 폐열회수기를 거쳐 해수용 히트 펌프로 들어가게 되는데, 이때 양식어의 배설물, 사료 찌꺼기 등이 함께 히트펌프로 유입되어 열교환기를 오염시킨다. 그러므로 양식장에 사용되는 해수용 히트펌프는 오염속도가 매우 빨라 양식장 조건에 따라서는 1주일 정도 운전하면 성능이 급격히 저하하여 양식장 급수 설정온도로 가열 및 냉각이 불가능할 뿐만 아니라 시스템 작동이 불가능하게 된다. 특히 판형열교환기의 경우에는 오염속도가 더욱

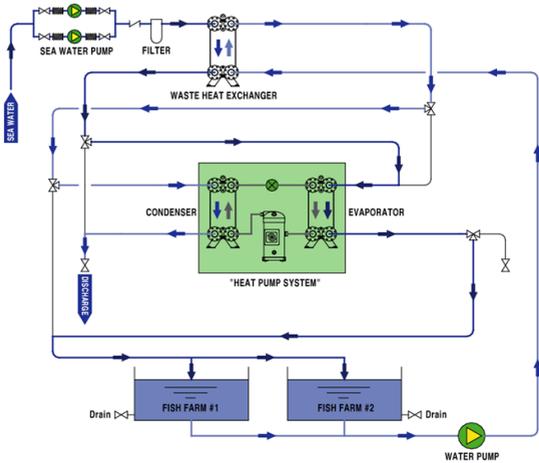


Fig. 1 양식장용 히트펌프 개략도(냉수 제조)

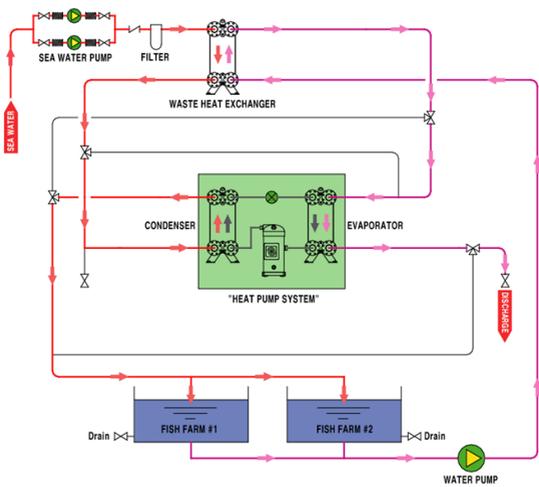


Fig. 2 양식장용 히트펌프 개략도(온수 제조)

더 빨라서 열교환기의 막힘 현상에 의해 히트펌프 시스템을 가동할 수 없다. 특히 금년부터는 ‘농어업 에너지이용효율화사업’의 일환으로 농림수산식품부에서 양식장에 히트펌프 및 폐열회수기 설치지원 사업을 시행하므로 육상수조양식장용 해수히트펌프 설치가 급격하게 증가할 것으로 예상되고 있다.

해수 및 담수 육상수조양식장용 히트펌프는 압축기, 열교환기(응축기&증발기), 유분리기, 팽창변 등으로 구성되며 이 중 장치 성능에 가장 큰 영향을 미치는 것이 열교환기이다. 해수용 히트펌프

에 사용되는 열교환기로는 티타늄 이중관형 열교환기, 티타늄 판형열교환기, 셀엔튜브형 열교환기가 있으며, 주로 간접 냉각/가열 방식에 사용되고 있는 셀엔튜브형은 이미 (주)이엠이에서 개발하여 판매하고 있다. 해수와 직접 접촉하며 열교환하는 방식에서는 티타늄 이중관형과 티타늄 판형열교환기가 사용되고 있으나 국내외에서 개발된 사례가 거의 없다.

열교환기 성능은 판형열교환기가 이중관형에 비해 우수한 것으로 평가되고 있으나 판형열교환기는 판(plate)과 판 사이 간격이 매우 좁아(2~4mm) 오염(fouling)이 잘 생성되어 운전 중 성능이 급속히 떨어지는 단점이 있으므로 대부분의 해수용 히트펌프에는 주로 이중관형 열교환기가 많이 적용되고 있다. 해수용 히트펌프에 판형열교환기를 사용할 경우, 전열성능이 이중관형보다 매우 우수하므로, 열교환기 오염 문제만 해결되면 히트펌프 성능을 상당히 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 고에서는 미활용에너지인 해수열원 및 양식장에서 버려지는 폐열을 이용하여 현재 육상수조양식장 급수가열시스템으로 사용하고 있는 유류보일러를 대체하고, 히트펌프의 열교환기로 이용되는 이중관형 및 티타늄 판형 열교환기의 오염 자동제거 기능을 가진 육상수조양식장용 고효율 해수히트펌프를 소개하고자 한다.

## 2. 양식장 해수히트펌프 특징 및 오염상황

### 2.1 해수히트펌프 특징

해수펌프에 의해 취수된 해수(약 5℃)는 폐열회수기를 거치면서 약 18℃로 가열된 후 해수 히트펌프에서 어류양식에 적합한 온도(약 22℃)로 가온되어 양어장 수조로 공급된다. 양어장 수조에 공급된 해수는 양어장 내 수질 유지를 위해 조금씩 배수되며 배수된 만큼 히트펌프에서 가온된 해수가 공급되는 방식으로 되어 있다.

배수된 물(약 22℃)은 배수조에 모여 배수펌프에 의해 폐열회수기로 보내져서 바다에서 취수된



Fig. 3 육상수조 양식장의 모습



Fig. 4 양식장용 해수히트펌프의 모습

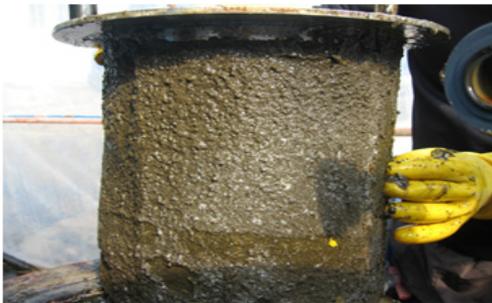


Fig. 5 필터의 오염사진



Fig. 6 판형열교환기 오염사진

해수(5℃)와 열교환하여 약 9℃ 정도가 된다. 이 물은 아직 바다 원수(5℃) 보다는 온도가 높으므로 다시 히트펌프 증발기의 열원수로 활용되기 위해 해수히트 펌프로 들어간다.

해수히트펌프에서는 약 9℃의 배수를 열원으로 하여 폐열회수기를 거쳐 5℃에서 약 18℃로 가온된 해수를 응축기에서 다시 양식장 어류양식에 적합한 온도(22℃)로 가온된다. Fig. 3과 4는 육상수조 양식장과 해수히트펌프의 모습을 나타낸 것이다.

## 2.2 열교환기의 오염 상황

어류양식수조에서 사용된 배수가 열교환기에 공급되므로 배수에 포함된 어류사체, 사료찌꺼기 및 지방질, 고기분비물, 고기배설물 등의 영향으로 열교환기 내 오염 양상이 육상의 담수나 일반 해수가 흐를 때와 판이하게 다르며, 오염속도가 매우 빠르다. 예를 들면 육상 담수 열교환기의 경우 1~2년에 1회 세관하는 정도이지만, 배수가 흐르는 열교환기의 경우 15~30일 간격으로 세관하여야 성능이 유지된다. Fig. 5와 6은 필터와 판형열교환기의 오염사진을 나타낸 것이다.

## 3. 양식장용 해수히트펌프 시스템

### 3.1 열교환기 자동세정장치

셀엔튜브형 열교환기 세정의 경우 국내에서는 A사가 이스라엘 CQM사로부터 스펀지 볼 타입의 장치를 수입 보급하고 있고, 또한 B사도 브러쉬 타입의 장치를 수입 보급하고 있다. 보급대수 면에서 볼 때 스펀지 볼 타입이 많고, 설치현장에서의 성능평가도 스펀지 볼 타입이 성능이 우수할 뿐만아니라 신뢰성 면에서 우수하다는 평가를 받고 있다.

국내에서 (주)이엠이가 독창적으로 스펀지 볼 타입의 셀엔튜브형 열교환기 자동세정장치를 개발하여 특허 등록하였으며, 현재 현대자동차, 하이닉스반도체 등 대기업을 중심으로 보급되고 있다. 현재까지 국내외에서 티타늄 판형 및 이중판형 열교환기의 자동오염제거기능을 갖는 히트펌프 개발은 전무한 실정이다.

열교환기 자동세정장치 작동원리는 Fig. 7 및 8 과 같이 볼핸들링 유니트(ball handling unit) 내의 볼회수기에 스펀지 볼(이중관형)과 세라믹 볼(판형)을 넣고 마이크로 컨트롤러(micom controller)를 조작하여 이젝터 구동펌프(ejector motive pump)를 구동하면 이젝터(ejector)의 흡인력에 의해 볼 투입 및 회수가 가능하다.

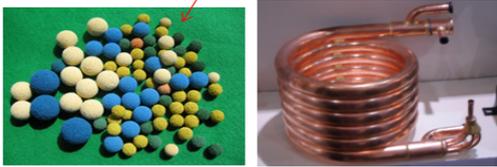
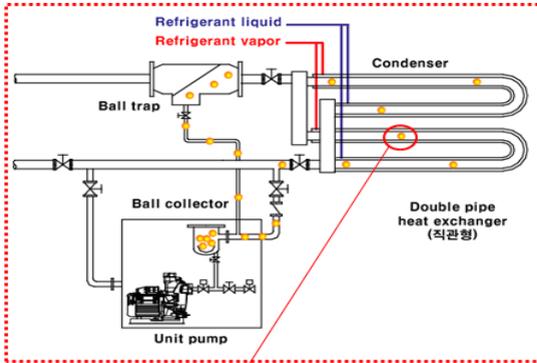


Fig. 7 이중관형열교환기 자동세정장치 개략도

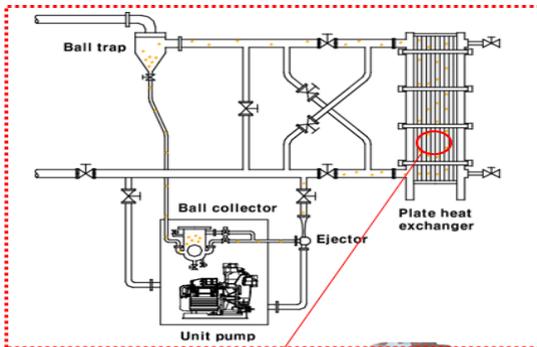


Fig. 8 판형열교환기 자동세정장치 개략도

투입된 스펀지 볼은 냉각수 흐름에 휩쓸려 열교환기 튜브 내를 통과하게 되며, 이때 튜브 내부를 깨끗이 세정(洗淨)하게 된다. 열교환기를 통과해 나온 볼은 볼분리기에서 냉각수와 분리되어 다시 이젝트의 흡인력에 의해 흡입되어 다시 열교환기로 투입된다. 전체적인 작동과정은 대기공정-투입공정-순환공정-회수공정 순으로 작동하게 된다.

### 3.2 열교환기 자동세정장치 부착 히트펌프

일반적으로 사용되는 육상용 냉동기에서는 응축기와 관계되는 냉각수 계통은 개방사이클(open cycle)이므로 응축기에는 오염이 많이 발생하지만, 증발기를 순환하는 냉수는 폐사이클(close cycle)을 형성하고 있기 때문에 오염이 거의 발생하지 않는다. 따라서 응축기에는 세정장치를 설치하더라도 증발기에는 설치하지 않으며, 경우에 따라 설치하더라도 효과가 미미하다.

그러나 양식장용 해수히트펌프의 경우에는 열원수(오염 일으키는 물)가 겨울철에는 증발기로 들어가고, 여름철에는 응축기로 들어가기 때문에 증발기/응축기 모두 오염이 많이 발생하므로 증발기/응축기 모두에 세정장치를 설치할 필요가 있다.

Fig. 9는 이중관형 및 판형열교환기 자동세정장치가 부착된 양식장용 해수히트펌프의 개략도를 나타낸 것이다. Fig. 10은 이중관형 열교환기 자동세정장치가 부착된 30RT급 해수히트펌프의 정면과 측면의 사진을 나타낸 것이다.

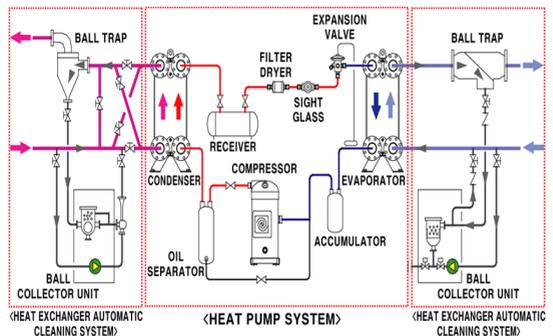


Fig. 9 열교환기 자동세정장치 부착 히트펌프 개략도



Fig. 10 열교환기 자동제정장치 부착 히트펌프

## 4. 국내외 해수열원 히트펌프 적용사례

### 4.1 국내 적용사례

국내 양식장에서 해수열을 이용한 양식장용 히트펌프는 전남대학교 오종택 교수팀이 1999~2001년 사이 2년간 연구를 수행한 바 있으며, 개발 시스템은 전남 여수의 서남해수어류 양식수산업협동조합 소속의 어민 양식장(해원수산) 점농어 중요생산에 가동시켜 기존 급수가열장치인 경유보일러 시스템과 에너지소비량을 비교하였다. 용량 40RT의 히트펌프시스템으로 동절기 4개월 동안 저온해수(5.1~13℃)를 양식수조에 알맞은 온도(13~19℃)로 가열 급수시킨 결과 경유보일러 시스템보다 에너지비용이 10.3배(90.4%) 정도 절약되었으며, 히트펌프시스템의 하절기 냉각 가동율은 동절기 가동율의 50% 정도로 충분히 적정 급수온도를 조절할 수 있다는 연구결과를 발표하였다.<sup>5,6)</sup>

### 4.2 국외 적용사례

국외의 경우 일본 나고야항 수족관의 풀 수온조절을 위해 설치된 해수히트펌프 적용사례를 소개하고자 한다. 나고야항 수족관의 수온조절 히트펌프시스템의 개략도는 Fig. 11과 같다. 이 시스템에서는 나고야항의 해수를 열원수와 냉각수로 이용하고 있으며, 히트펌프 열교환기측에 해생생물부착방지를 위해 오존방오장치를 적용하고 있다.<sup>7)</sup>

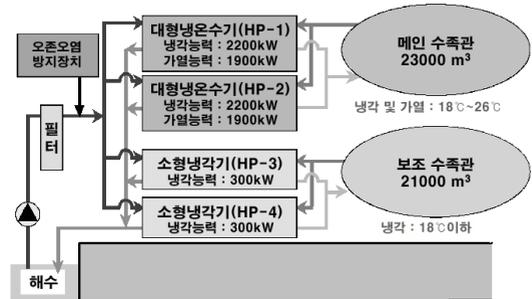


Fig. 11 수족관 히트펌프시스템의 개략도



(a) 대형 냉온수기



(b) 소형 냉각기

Fig. 12 수족관에 적용된 해수히트펌프

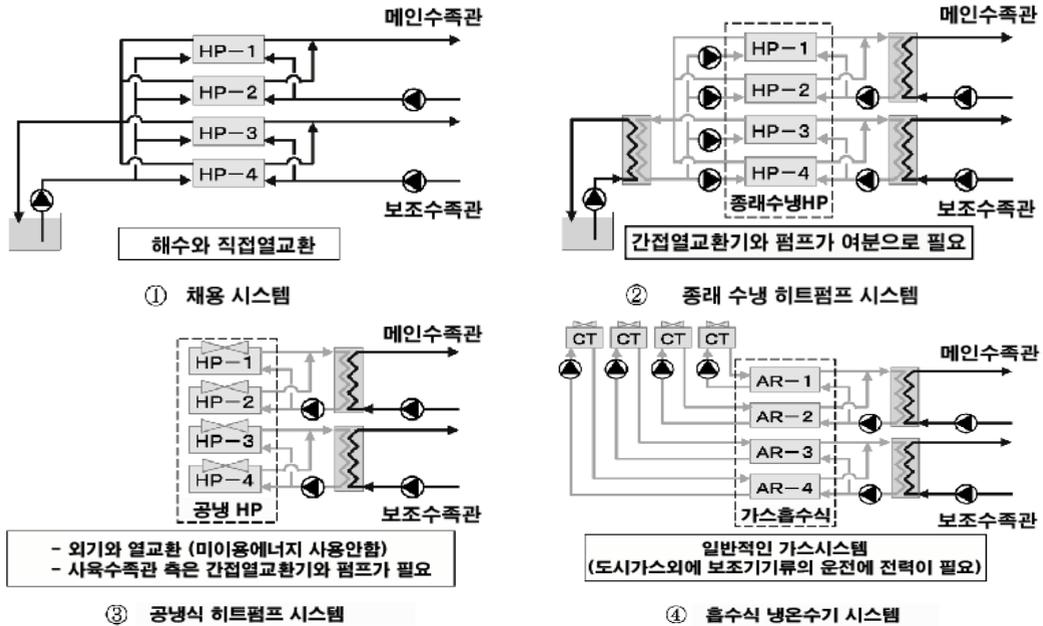


Fig. 13 수족관에 채용된 히트펌프시스템과 비교시스템

Fig. 12는 수족관에 적용된 해수히트펌프의 사진을 나타낸 것으로서 히트펌프는 메인 수족관에 대형 냉온수기(냉각능력 : 2200 kW, 가열능력 : 1900 kW급) 2기, 보조 수족관에 소형냉각기(냉각능력 : 300 kW) 2기가 적용되었다.

운전은 2001년 4월부터 2005년 3월까지 4년간의 운전데이터를 획득하여 메인 수족관의 경우 에너지소비효율을 나타내는 시스템 COP는 냉각시에 8.37, 가열시에 8.49, 보조 수족관의 경우 시스템 COP는 7.60이었다. 시스템 전체의 일차에너지 환산 COP(전력을 일차에너지로 환산한 값, 주간전력 10050 kJ/kWh, 야간전력 9310 kJ/kWh로 환산)는 2.36이고, 지역냉난방 플랜트의 일차에너지 환산 COP의 일본 전국평균이 0.88이라는 점을 감안했을 때 에너지효율이 대단히 높다는 것을 확인하였다.

또한 동일한 기상·열부하조건하에서 적용된 현 시스템과 동일열량을 생산하는 비교결과를 제시하였다. 비교대상으로 삼은 시스템은 Fig. 13에 보는 바와 같이 종래 수냉히트펌프 시스템, 공냉히트펌프 시스템, 흡수식 냉온수기 시스템이다.

채용된 시스템에 비해 종래 전기식 시스템(②와 ③)의 에너지소비량은 30~40% 크고, 가스흡수식 시스템은 약 2배 이상 크게 나타났다. 이러한 결과로부터 채용된 시스템이 에너지절약성이 우수한 것을 확인하였다.

## 5. 결론

본 고에서는 미활용에너지인 해수열원 및 양식장에서 버려지는 폐열을 이용하여 현재 육상수조 양식장 급수가열시스템으로 사용하고 있는 양식장 해수히트펌프의 특징 및 오염상황을 살펴보았다. 또한 해수열원 히트펌프의 열교환기로 이용되는 이중관형 및 티타늄 관형 열교환기의 자동세정장치와 오염 자동제거 기능을 가진 육상수조양식장용 고효율 해수히트펌프에 대하여 살펴보았다. 국내외 해수열원 히트펌프 적용사례를 살펴본 결과 국내의 경우 용량 40RT의 히트펌프시스템으로 동절기 4개월 동안 저온해수(5.1~13℃)를 양식수조에 알맞은 온도(13~19℃)로 가열 급수시킨 결과 경유보일러 시스템보다 에너지비용이 10.3배

(90.4%) 정도 절약되었으며, 히트펌프시스템의 하절기 냉각 가동율은 동절기 가동율의 50% 정도로 충분히 적정 급수온도를 조절할 수 있다는 결과를 확인하였다.

국외의 경우에는 일본 나고야항 수족관의 폴수온조절을 위해 설치된 해수히트펌프 적용사례를 살펴본 결과 메인 수족관의 경우 에너지소비효율을 나타내는 시스템 COP는 냉각시에 8.37, 가열시에 8.49, 보조 수족관의 경우 시스템 COP는 7.60이었다. 시스템 전체의 일차에너지 환산 COP(전력을 일차에너지로 환산한 값, 주간전력 10050 kJ/kWh, 야간전력 9310 kJ/kWh로 환산)는 2.36이고, 지역냉난방 플랜트의 일차에너지 환산 COP의 일본 전국평균이 0.88이라는 점을 감안했을 때 에너지효율이 대단히 높다는 것을 확인하였다. 이러한 결과로부터 향후에도 지속적으로 해수열원 히트펌프의 연구개발 및 보급확대가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 20112020100120)

## 참고문헌

1. J. D. Kim, 2009, "An Experimental Study of Operating Characteristics on Fouling Auto Removal Apparatus of Multi Pass Type Heat Exchanger using Ejector", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 63-69.
2. S. K. Han, K. H. Chae and D. K. Hwang, 2011, "A Design Case Study on Sea and River Water Source Heat Pump", 2011 Summer Annual Conference SAREK, pp. 1212-1217.
3. S. M. Baek, W. J. Choi, J. I. Yoon and W. S. Seol, 2010, "Characteristics of Decrease Effect in Fouling on Plate Heat Exchanger using Air

Bubble", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 22-26.

4. Y. P. Lee and S. W. Kang, 2001, "The Effect of Fouling Reduction by the Cleaning System in Compressed Type Refrigerator", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 482-489.
5. K. I. Choi, K. Y. Yoon, Y. S. Son, J. T. Oh and H. K. Oh, 2001, "Effect Saving Energy of High Efficient Heat Pump System using Exhaust Energy in Land Base Aquaculture System", 2001 Summer Annual Conference SAREK, pp. 1505-1510.
6. K. I. Choi, J. T. Oh and H. K. Oh, 2003, "Performance Test for High Efficiency Heat Pump System using Seawater Heat Source and Exhaust Energy", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 12, pp. 979-986.
7. D. Hayashi, 2007, "Pool Water Temperature Adjustment System of the Port of Nagoya Public Aquarium by Heat Pump System that Utilizes Seawater as Heat Source", Refrigeration, Vol. 82, No. 951, pp. 41-44.