

A Study on Energy Saving System Utilizing Sewage Tank Heat Source

Sang Haw Baek[†], Gye Woon Choi

Department of Civil and Environmental, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

Abstract

A reason for not using the heat source of waste water despite the high temperature of life is that a lack of economic efficiency and a lack of trust in the system. This study has been studied so that problems in the existing system can be supplemented and applied to the heating and cooling system of buildings using a waste water source. The structural problems of the existing waste water heat exchange system, Slime and Scale, show a lot of difficulties. Because of these difficulties, this study suggested other innovative methods. It proposed a heat recovery technique called water casing and a heat accumulator called combined heat source heat accumulator water tube. It also found a correlation with ambient air temperature by using a special condition of heat source by life sewage. Through these studies, we will convert the amount of small, unused energy such as living sewage that we have throw away throw away throw awaythrowed out into effective energy by accumulating heat. Also, not only do we change our perception of energy recycling, but also apply it as a heating and cooling system. We believe that these efforts can contribute to the mandatory certification of zero-energy buildings and the mandatory installation of new and renewable facilities.

Key words: unused energy, water casing, heating and cooling system, zero-energy building

1. 서론

우리가 생활하는 건물에는 많은 양의 생활 오폐수가 존재하고 있다. 우리나라에 발생하는 생활 오폐수는 환경부고시 제2018-153호 기준으로 아파트, 연립주택, 다세대주택, 다가구주택, 기준으로 1인당 1일 200L가 발생되고 있다. 전 국민이 배출하는 오폐수량을 계산하면 약 10,339,243,200L가 발생되며 무효의 에너지로 버려지고 있다. 버려지는 생활 오폐수는 16.5℃~20℃의 고온이다. 여기서 1℃의 온도만 회수하여도 일

1,200만KW/일의 에너지를 얻을 수 있는 양으로 화력 발전소 500MW/h급 1기를 건설하지 않아도 되는 막대한 에너지로 언제 다가올지 모르는 에너지 위기에 대처 할 수 있는 방법이다. 이처럼 생활 오폐수에는 막대한 열이 존재하고 있으나 우리나라에서는 일부의 연구팀이 관심을 가지고 있어 기술의 실용화가 지체되고 있다.

생활 오폐수 열원이 고온임에도 불구하고 활용하지 않은 이유에는 경제성 부족과 시스템에 대한 신뢰성 부족 등이 있지만 국가정책적인 문제가 크다고 본

[†] Corresponding author: Sang Haw Baek, Tel. +82-32-468-6063, Fax. +82-32-468-6063, e-mail. bsh6902@hanmail.net

다. 우리나라 신재생에너지법을 조사해 보면 생활 오페수 열원은 신재생에너지 열원으로 인정되지 않고 있다. 하지만 가까운 나라 일본에서는 미활용에너지 이용기술개발 지원제도를 통해 많은 기술적 성과를 이루고 있는 것을 볼 수가 있다.

우리나라에는 열원 회수하여 사용하는 방법으로 여러 종류의 냉·난방 시스템이 개발되어 있고 비약적으로 발전해 왔다. 그중 온실용 복합열원 냉난방 시스템은 생활 오페수의 보유상태, 존재 위치, 수량, 열원의 원도 등을 고려하면 유사성이 깊다. 이에 오페수 열원 회수 시스템과 복합열원 축·열 수조를 적용하였을 경우 경제성과 시공성이 우수할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 이를 적용하기 위해서 선행 연구된 시스템 일부를 변경하거나 기존 시스템의 문제점을 보완하여 건축물의 냉난방 시스템으로 적용성이 우수하도록 개발하여 제시하였다.

그중 하나가 건물 내 생활 오페수 열원을 회수방법과 다중 열원을 회수하여 축전하는 기술의 시스템이며, 기존 시스템과 융 복합 기술이다. 이러한 기술이 지하수 과다사용이라는 기존 시스템의 문제점을 일부 해결하였다. 또 기존 오페수 열 교환 시스템의 구조적인 문제점인 Slime과 Scale에 대하여 자유롭게 열원을 회수할 수 있게 되었으며 그 효율성을 실증시험을 통해 증명하였다. 또 가정용 생활 오페수라는 특수한 환경에서 외기온도가 열원회수에 미치는 영향에 대해 상관관계를 밝혔다.

II. 연구방법

본 연구는 크게 4가지로 나누어 III장은 복합 열원 냉·난방시스템 사례 분석으로 선행 연구된 온실용 복합열원 냉·난방시스템을 검토하고 기존 복합열원 냉·난방 시스템의 한계점을 분석하였으며 생활 오페수의 적용 성을 검토하였다. IV장은 생활 오페수 열원의 난방시스템 적용 방안으로 복합열원 축·열 수조를 개발하였으며 생활 오페수 열원 회수장치를 개발

하였다. 또 개발된 회수 시스템과 기존 온실용 복합열원 난방시스템과의 융합을 완성시켰다. V장은 현장 적용을 통한 실증시험을 하였으며 실증시험을 위한 테스트베드 선정하고 개발된 시스템을 가동하면서 계측과 분석을 실시하였다. 실증시험은 계측관리 내용, 방법, 계측관리 취합하여 관측기간 중 열 회수 온도 분석과 열원 취득 중 오수 정화조의 온도변화 분석, 오페수 열원과 외기온도와 상관관계 분석을 하였으며 실증시험을 통한 워터케이싱 열교환기의 열량회수를 검증하였으며 복합열원 축·열 수조의 열 보관능력을 검증하였다. 또 회수된 열량으로 시스템을 가동하여 온실난방과 더불어 토마토 시범재배를 실시하였다. 그리고 본 연구에서의 실증시험의 한계성에 대하여 설명하였다. 마지막 VI장은 연구내용을 요약하였으며 결론을 유도 하였다.

III. 지열 이용한 냉·난방시스템의 사례 분석

시스템은 온실 내 잉여 태양열을 낮 동안 저수탱크로 축·열하였다가 밤에 난방용으로 사용할 수 있는 기능이 있다. 본 연구에서 필요로 하는 기능이 바로 이 축·열 기능이다. 즉, 생활 오페수 열원을 저수탱크로 축·열만 할 수 있다면 활용성과 시스템의 효율성이 증가 할 것이다. <Figure 1>은 온실용 복합열원 냉난방 시스템과 지열냉난방 시스템의 모식도이다. (a)는 땅속에 열교환용 파이프를 관입 또는 매설하지 않고 시설농가에서 작물 재배용으로 사용하고 있는 지하수를 이용하며 저수탱크와 연계하여 에너지 화하며 기존 지하 관정 시설이 없는 곳에는 지하 50~150m 깊이로 관정을 설치하고 ha당 1~3공을 천공하여 지하수를 저수탱크에 유입시켜 열원을 사용하는 방식으로 되어 있다.

(b)는 땅속에 지열을 이용하기 위한 시스템으로 땅속 150~200m 깊이로 여러 개의 구멍을 뚫거나 지하 2~3m 깊이로 수많은 열교환용 파이프를 매설하는 방법으로 (a) 방법과는 많은 차이가 있는 것으로 보인다.

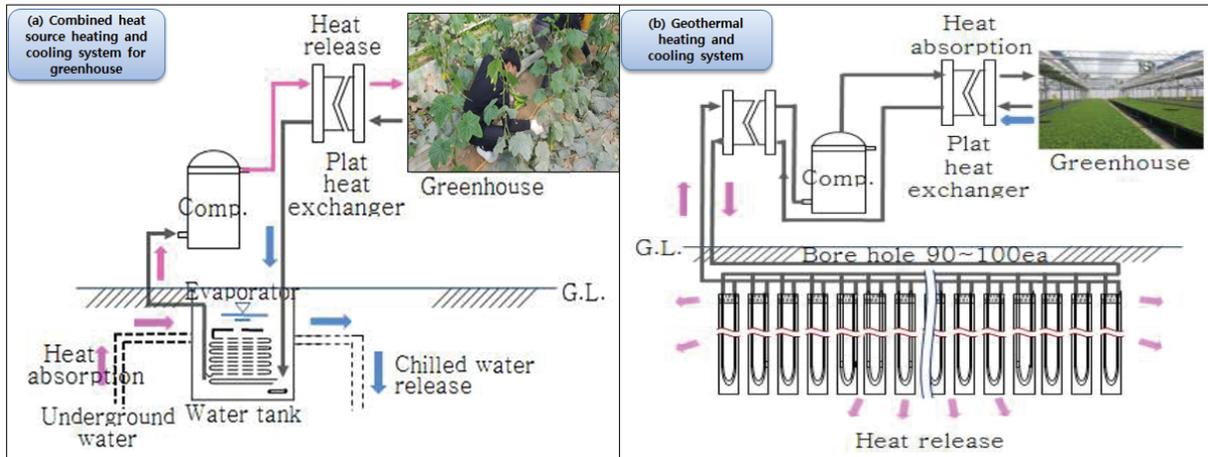


Figure 1. A mime diagram on the complex heating and cooling system and geothermal heating system for greenhouse

본 연구에 적용될 모델을 적용하기 위해 시스템의 성능과 경제성을 고려하였다. 특히 온실용 복합열원 냉·난방 시스템을 현장실증시험 결과에 의하면 평균 난방 성능계수(COP)는 지역별, 작물별 차이는 있으나 3.4~3.7로 나타났으며, 냉방성능계수(COP)는 2.6~2.9로 나타났다. 난방에너지 절감효과에서는 지역과 작물(고온성, 중온성, 저온성 작물)에 따라 차이는 있으나 관행적으로 사용되고 있는 면세 경유 난방기대비 약 76~91% 난방비가 절감되는 것으로 나타났으며 수평 밀폐형과 수직밀폐형 지열시스템 대비 10,000m²당 설치비용은 기존 시스템에 비해 30~46% 절감되는 것으로 나타났다. 또 시스템 설치에 따른 소요면적은 10,000m²당 수평형 시스템 11,286m², 수직형 시스템 2,820m² 그리고 개발된 시스템 600m²로 나타나 개발된 시스템의 설치 소요면적이 79~94% 감소되는 것으로 나타났으며 지반에 열교환용 파이프를 매설하지 않으므로 시공기간을 크게 단축시킬 수 있다는 점과 A/S가 용이하다는 점이다. 또한 농림축산식품부에서 2018년부터 시설원에 농가 보급사업으로 시행중에 있어 냉난방시스템으로 검증된 시스템이라는 점과 지역별로 설치된 시범농가의 의견수렴결과 타 시스템에 비해 우수하다고 평가하고 있다. 하지만 농업용 냉난방 시스템으로 국한되어있다. 또 지하수 과다사용을 우려하고 있다. 또 기존 오·폐수 열 회수 시스템은 오폐수를 시스템 속으로 받아들이는 방식을 취함으로써

오폐수의 특성상 Slime과 Scale 및 기타 성분으로 열 회수 시스템의 잦은 고장과 부식은 물론 성능저하로 이어지고 활성화 되지 못하고 있는 것이 현실이다. <Figure 2>은 폐수열원 열·교환 시스템의 Scale 현황 및 청소상태로 오폐수의 특성상에서 오는 자연적인 현상이다. 이러한 현상을 방지하기위해 불 세척장치, 브러쉬 세척장치, 역 세척장치, 공기압축 세척장치, 초음파 세척장치 등을 개발하여 운영하고 있으나 시스템은 기대 수명이하로 떨어지고 막대한 경비가 발생되고 있다.



Figure 2. Scale status and cleaning condition of sewage heat source heat and exchange system

본 연구는 생활 오폐수의 보유 수량, 존재의 위치, 생활 오폐수 보유 상태 등을 고려하면 온실용 복합열원 히트펌프 냉·난방 시스템의 열원 사용형식과 유

사성을 가지고 있다는 것이다. 생활 오폐수를 온실용 복합열원 냉·난방 시스템(전종길, 2016)을 적용하면 효율적으로 열원을 활용할 수 있을 것으로 판단되나 이 시스템은 오폐수 열을 회수할 수 있는 기술은 없다는 것 그리고 열원을 회수하여도 축적할 수 있는 장치가 없을 뿐만 아니라 모든 열원을 지하수에 의존해서 열 교환시키는데 반해서 도심 건축물에서 지하수를 취득하기 어렵다는 것이 현실이다. 그렇다면 스스로 열을 보유하고 있는 생활 오 폐·수조를 활용하여 열원만 취득하여 온실용 난방시스템에 보급만 할 수 있다면 효율성 높은 난방 시스템 구현 할 수 있다고 사료되어 연구방향을 설정하고 생활 오폐수 현황을 연구하였다. 대부분 생활 오폐수는 도시의 대규모 빌딩과 같은 건축물은 건물의 최 저층에 위치하고 있으며 위치적으로 지하에 있어 외기온도 변화에 따른 오폐수 온도 변화는 없는 편이다, 소규모 상가나 단독주택 같은 경우에는 옥외 지하에 매설되어 있어 외기 온도 변화에 따른 오폐수 온도 변화는 있으나 대규모 빌딩에 비해 온도변화가 큰 것으로 관측 되었다. 건축물에 존재하는 오수의 보유 상태를 살펴보면 건물의 지하층 특정 구역에서 저수조 형태로 보관되고 있거나 건물의 일부구역 땅속에서 오수조라 탱크형식의 구조물 형태로 매설되어 있다. 생활 오폐수는 여기에 집수되었다가 매일 배출되고 있다. 도심건축물 소규모 상가와 대규모 빌딩의 생활 오폐수 보유상태로 온실용 복합열원 냉난방 시스템의 지하수 열원을 저장하는 저수조와 구조적으로 유사함을 알 수가 있다.

IV. 생활 오폐수 열원을 난방시스템 적용 방안

1. 생활오폐수 회수장치 개발

모든 오폐수열 열교환기의 문제점으로 Slime, Scale 이다. 본 연구의 개발한 방법은 복합 열원 축·열 수조에 접목한 축적방식을 고안하였으며 간접 열 교환 방식을 채택하였다. 오폐수 수조에 관입된 열 회수기 속에 물이 오폐수 열을 흡수하여 복합열원 축·열 수조

로 이동 후 수조 내로 나와서 수조 내 물과 섞이면서 수온을 상승 시키도록 창안 하였다. 실정시험을 위한 소규모 상가를 조사한 결과에 의하면 규격 20ton급 생활 오·폐 수조 온도는 기상조건에 상관없이 9.7~26.2℃로 관측 되었으며 평균온도는 16.7℃로 확인할 수 있었다. <Figure 3>은 생활 오폐수 열원 취득 시스템 개발 모식도를 보면 오·폐수 조에 관입된 워터 케이싱에 물을 채운다. 그 속에 열 교환 코일을 삽입시키고 복합 열원 축·열 수조와 열·교환 코일 사이에 연결배관을 설치하여 순환 펌프를 이용하여 열·교환 시키는 방법이다.

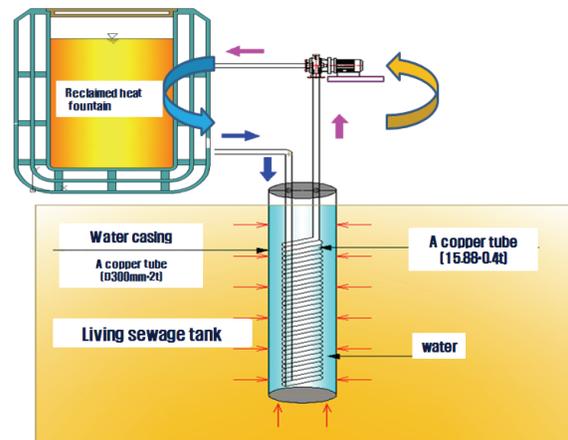


Figure 3. A mime diagram on the Development of a System for Obstructed Water Source in life

본 연구에서 오·폐수 열원을 회수하여 냉난방시스템에 적용할 수 있는 사유로 온실용 복합열원 냉난방 시스템의 구조적인 특성에서 볼 수 있다. <Figure 4>은 워터케이싱 열교환기 개발 설계도이다. 그림을 보면 열원수가 복합 열원 축·열 수조에서 출발하여 축·열 회수 관을 따라 오폐수 열 교환기로 들어가 오폐수의 열원을 얻어 다시 축·열 수조에 들어와 가지고 있던 열을 풀어놓고 다시 오폐수 열교환기로 들어가는 형식이다. 이때 사용하는 동력은 순환펌프 300W 급이고 양수 량은 18LPM 이다. 이때 오폐수 열교환기의 냉매는 복합 열원 축·열 수조에 있는 물이다. 기존 오폐수 열 교환 장치의 냉매는 프레온계 냉매나 암모

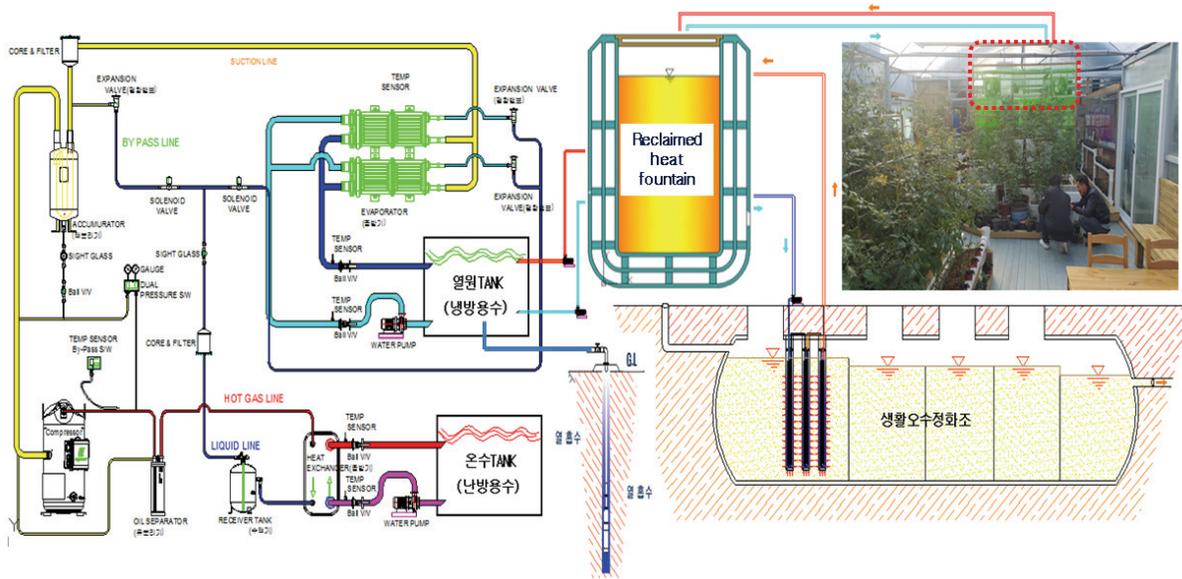


Figure 4. System diagram of convergence between existing technology and waste water heat source

니아를 사용하여 순환하는 동작유체로서 상변화 (phase change)에 의해 저온부(증발기)에서 열을 흡수하여 고온부(응축기)로 방출 시키며 열을 운반한다. 상대적으로 오·폐 수조에 들어있는 열교환기 외부는 급격한 변화로 열교환기 외부에 Scale이 발생하여 열교환기 성능을 저하시킨다. 하지만 본 연구에 적용되는 열·교환 방식은 복합 열원 축·열 수조에 물이 열교환 매체가 되므로 자연 순화 적으로 열을 취득하는 지열 루프방식이므로 고체폐열, Gel상태의 토질이나, 가축의 분뇨, 등 악조건에서도 열을 취득 할 수 있는 장점이 있다.

2. 복합열원 축·열 수조 개발

복합열원 축·열 수조는 생활 오폐수 열원을 회수하여 개발된 축·열 수조에 오폐수 열원을 축전 시키거나 주변의 다양한 수열인 우수, 하천수, 해수, 등의 열원을 저장하여 두었다가 기존 저수탱크에 열원이 부족하면 그동안 축적해둔 복합 열원 축·열 수조에서 열원을 흡수하는 방식을 말한다. <Figure 6>은 복합 열원 축·열 수조의 열 회수 계략도이다.

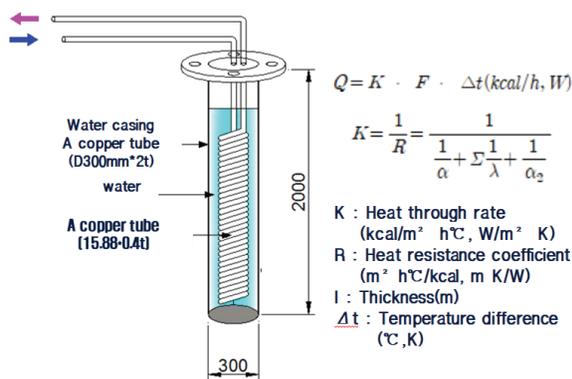


Figure 5. Developmental Blueprint of Water-Casing Heat Exchanger

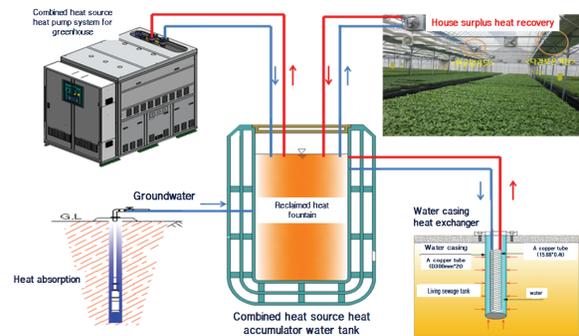


Figure 6. Schematic diagram of heat recovery of complex heat source heat accumulator water tank

본 연구는 기존 시스템 온실용 복합열원 히트펌프 냉·난방시스템에 복합 열원 축·열 수조와 생활 오수 열원을 융·복합하여 기존 시스템을 건축물의 난

방용으로 활용하는데 목적이 있다. 그래서 시스템 적으로 융합이 필요하며 오수정화조에서 이송된 열원은 복합 열원 축·열 수조에서 축전 되었다가 기존시스템 냉 수조에 열원이 모두 소진될 때 시스템은 냉 수조 열 흡수를 중단하고 복합 열원 축·열 수조의 열을 흡수하는 방식이다. 또 복합 열원 축·열 수조에서 열원이 모두 소진되면 시스템은 복합 열원 축·열 수조의 열 흡수를 중단하고 온 수조나 냉수조의 열을 흡수하여 시스템을 가동하는 방식으로 효율적인 열원을 이용할 수가 있다. <Figure 4>은 기존기술과 생활 오폐수 열원을 융합한 냉·난방 시스템의 계통도이다.

V. 현장적용을 통한 실증시험

1. 실증시험을 위한 테스트베드 선정

본 연구의 실증시험은 크게 4가지로 나누어 실시하였다. 첫째는 생활 오폐수 열원의 보유상태 및 수량, 온도를 관측하여 열원회수가 가능한가를 조사하였다.

둘째는 열 회수 시스템을 만들어 오폐수라는 열악한 환경에서 열원 회수시스템이 정상적으로 가동되어 열원회수가 얼마나 되는지를 관찰하였으며 또 열원회수가 외기온도의 변화에 따른 상관관계를 조사하였다.

셋째는 회수된 열원이 복합열원 축·열 수조에서 얼마나 안정적으로 온도를 보관하고 있는가에 대해서 저장능력을 조사하였다.

마지막으로 회수된 열원으로 온실을 가온하여 식물을 직접재배 하는 방식으로 실증 실험 하였다.

실증시험은 두 곳을 선정하여 연구하였다.

하나는 대규모 빌딩으로 부산 중구 중앙동에 위치한 한화빌딩으로 건물의 연면적은 6,864m²로 지상14층 지하4층 규모로 생활 오폐수 보유량은 415ton 규모이다. 이곳에서는 동절기 1개월(2018년 12월 20일 ~

2019년 1월 10일) 동안 외기온도에 대한 오폐수의 실제 온도를 관측하였다.

이 관측 자료는 생활 오폐수의 발생량과 보유량을 통해 본 연구의 필요성과 생활 오폐수를 재활용해야 하는 연구방향의 정당성을 보주는 자료로 활용하며, 이번 연구는 우리 주위에 에너지원으로 존재하나 경제성 등 여러 가지 이유 때문에 실용화되지 못하고 있는 많은 저급한 미활용-에너지를 이용하여 유용한 건물의 난방 열원으로 이용하는데 있다.

그래서 인천 서구 소규모 상가에서 발생하는 생활 오폐수 정화조를 대상으로 실증시험 대상으로 선정하였다. 건물 총면적 240m²로 1층은 180m²일반음식점을 운영하고 2층은 60m²주택으로 이용하고 있다.

생활 오폐수 정화조 규격은 20ton급이 건물 옥외 주차장 지하에 매설되어있는 구조이다. 이곳에서는 생

Table 1(a). Research system demonstration test site

Sortation	large scale building	small scale building
Place	Jungang-dong, Jung-gu, Busan	Yeonhui-dong, seo-gu, Incheon
building picture		
Building size	14 stories above ground and 4 stories below ground level	the second floor above the ground
Building area	6,864m ²	240m ²
Building use type	efficiency apartment	a regular restaurant
the size of the sewage system	450ton	20ton
Occurrence of sewage		
range of study	A Study on the temperature variation and the amount of wastewater retention with various ambient air temperature	Validation of heating efficiency and plant cultivation using heat source recovery system of wastewater

Table 1((b). Research system demonstration test site

Sortation	Demonstration test	
Place	Yeonhui-dong, seo-gu, Incheon	
building picture		A small commercial is located at a distance of 30 meters from the water source.
Building size	Facility house total area:133m ² machine room area :26m ² storage area :12m ² a field for seedlings area : 95m ²	
Building use type	Urban Agricultural Facility House	
growing item		cherry tomatoes, ginseng
range of study	Greenhouse heating temperature and the growth of Greenhouse	

활 오폐수의 보유상태 및 수량, 오폐수의 온도, 외기 온도와 오폐수온도의 상관관계, 생활 오폐수 열원 회수장치의 능력 확인, 복합열원 축·열수조의 활용 및 회수된 열원 보관능력에 대해 관측하고 계측 하였다. 또 각종 실증된 자료를 바탕으로 온실용 복합열원 히트펌프 냉난방시스템과 연계시켜 시스템을 검증하였다. 또 검증된 오폐수 열원으로 온실 하우스 난방 시스템을 가동하여 도시 농업의 한 품목인 토마토를 시범 재배를 시행하였다.

2. 실증시험 분석결과

1) 관측기간 중 오수정화조 열 회수온도 분석

그래프에서 보는 것과 같이 관측기간 중 축·열 수조 에서 나가는 온도와 오수정화조를 경유해서 축·열 수조로 들어오는 온도의 편차를 관측하고 평균온도와 최고온도 및 최저온도를 그래프로 나타내었다. <Table 2>는 열 회수 온도를 분석한 결과이며, <Figure 7>은 열 회수 온도변화이다.

Table 2. The analysis of heat recovery temperature

Number of observations	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10	case11	case12	case13	case14	case15	sum(°C)	observed average(°C)
recovery average temperature(°C)	2.0	0.7	1.4	1.5	1.8	1.3	1.6	1.2	1.4	1.2	1.5	0.8	1.4	2.1	1.6	21.2	
Number of observations	case16	case17	case18	case19	case20	case21	case22	case23	case24	case25	case26	case27	case28	case29	case30		
recovery average temperature(°C)	1.1	1.6	1.5	3.0	1.5	1.6	1.0	0.4	0.8	1.4	1.2	1.5	1.5	1.7	0.9	20.7	
Number of observations	case31	case32	case33	case34	case35	case36	case37	case38	case39	case40	case41	case42	case43	case44	case45		
recovery average temperature(°C)	1.1	1.8	1.3	1.6	1.2	1.6	2.3	1.3	4.0	1.7	4.3	1.4	2.5	1.5	4.5	31.9	
sum(°C)																73.8	1.64

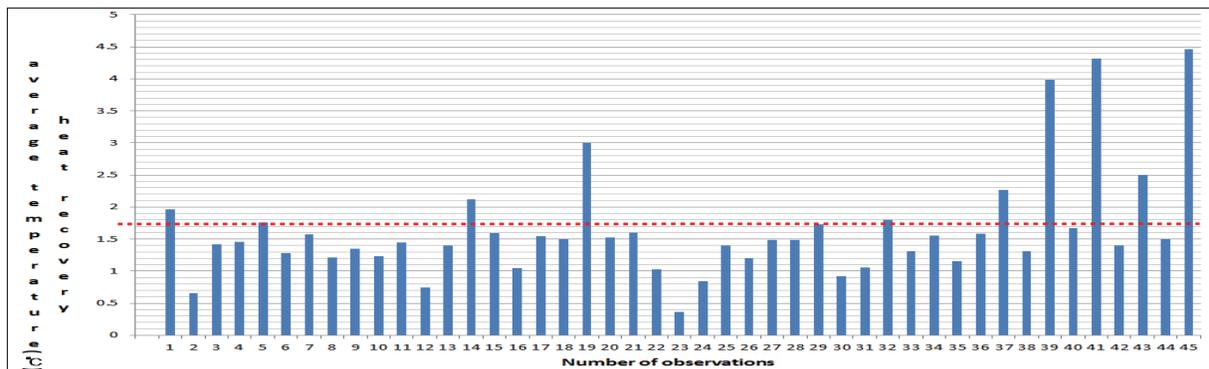


Figure 7. The graph of heat reclamation temperature variation graph

Table 3. The analysis of table of temperature variation of the waste water purification tank during heat source acquisition

Number of observations	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10	case11	case12	case13	case14	case15	sum	Other
recovered calorific value and flow rate(°C)	14.9	15.8	13.5	13.2	17.6	14.4	14.2	18.1	13.6	17.6	19.4	19.9	14.9	18.9	20.3	246.3	
ambient air temperature(°C)	7.7	7	4	4	9	3.6	7.2	8.4	2.8	6.2	7.5	6.4	4.3	6.4	9.3	93.8	
Number of observations	case16	case17	case18	case19	case20	case21	case22	case23	case24	case25	case26	case27	case28	case29	case30	sum	average temperature(°C)
recovered calorific value and flow rate(°C)	14.1	16	17.2	22.9	18.7	20.5	17.2	16.8	16	17.7	18.9	23.8	18.9	17.5	19.5	275.7	
ambient air temperature(°C)	4.1	7.4	12.2	13.8	12.8	11	10.1	9.4	12.1	14.5	15.4	16	15	11.5	15.1	180.4	
Number of observations	case32	case33	case34	case35	case36	case37	case38	case39	case40	case41	case42	case43	case44	case45	case46	sum	
recovered calorific value and flow rate(°C)	19.7	24.5	20.8	23.5	20.2	15.6	16.6	19.2	23.1	17.2	21.1	15.1	17.3	18	21.1	293	18.1
ambient air temperature(°C)	18.7	20.8	20.3	18.8	18.4	5.2	6.1	9.9	10.9	7.4	9.6	5.8	7.3	9	7.9	176.1	10.0

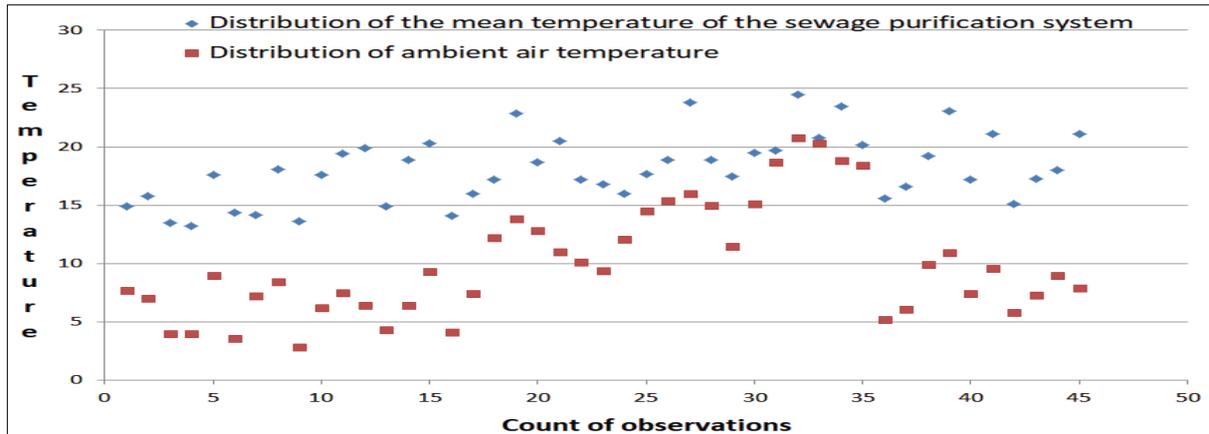


Figure 8. The graph of temperature variation of the waste water purification tank during heat source acquisition

2) 열원 취득 중 오수 정화조의 온도와 외기온도와와의 관계
 열원 취득 중 오수 정화조의 온도 변화는 10.9°C ~ 26.2°C로 분포 하였고 오수 정화조 평균온도는 18.1°C로 지하수 평균온도 13.0°C 보다 5.1°C가 높은 온도였다. 이 때 외기온도는 0.8°C ~ 21.4°C분포하였고 외기 평균온도10°C로 관측되었다. <Table 3>은 오·폐수조 열원 취득 중 정화조 온도변화 분석표 이고 차수별 평균값을 적용하였다. <Figure 8>은 열원취득 중 오·폐수 정화조의 평균온도 분포도 이다.

3) 소규모 건물 내 외기온도와 오폐수 수조 열원회수의 상관관계
 워터케이싱 열 교환 시스템으로 오·폐수열 회수는 최저9.7°C에서 최대26.2°C 취득하고 있으며 평균회수 온도는 17.6°C로 관측되었다. 표층 지하수의 평균 온도는13°C로 관측되었으며 상가 상수도 사용량은 거의 일정하게 사용되고 있었다. 외기 온도 0.8°C~21.4°C로 분포하여 외기온도가 오폐수열원 취득에 미치는 영향을 상관관계를 분석하니 $y=0.4239x + 12.674$ 가 나

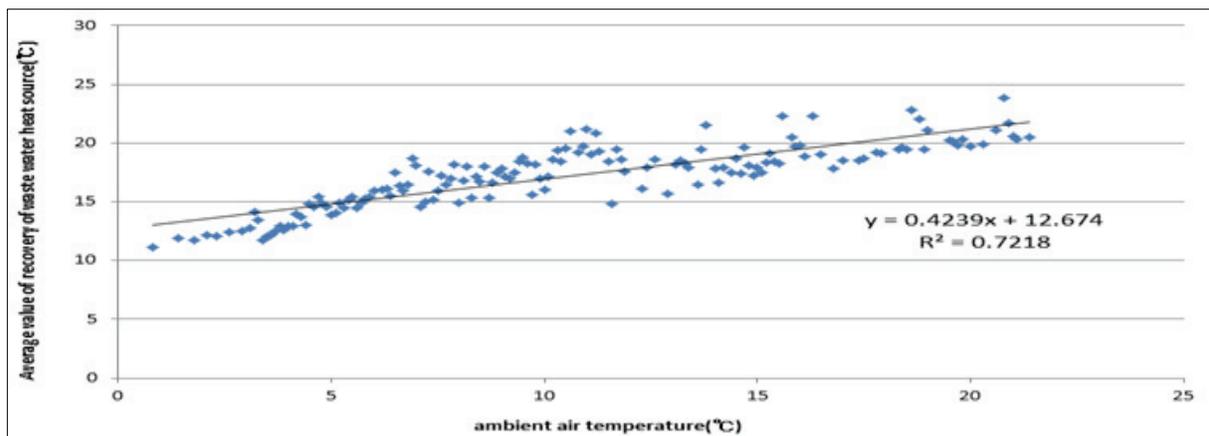


Figure 9. The correlation analysis graph of Heat source of sewage and ambient air temperature

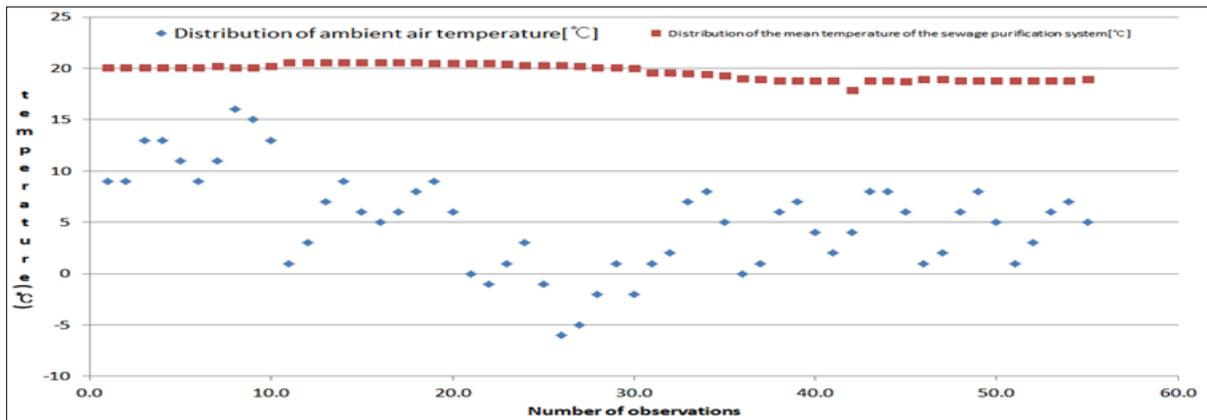


Figure 10. The correlation analysis graph of Heat source of sewage and ambient air temperature

왔으며 결정관계 수는 $R^2=0.7218$ 이라는 결과가 나왔다. 즉 소형 상가 건물의 오폐수 정화조의 열원은 외기 온도가 열원취득에 미치는 영향이 있는 것으로 사료되며 이러한 사유는 정화조의 설치위치가 옥외이고 지하에 설치되는 깊이에 따라 변하는 것으로 사료된다. 추후 건축 설계 시 오수 정화조의 안정된 열원을 사용을 예상한다면 오수정화조의 설치 깊이를 충분히 고려하여야 한다. <Figure 9>는 오폐수 열원과 기타 열원과 결정계수 분석한 분포도이다. 결정계수란 R-squared라고 하는데 R^2 으로도 표현한다. 식은 회귀모형의 설명력을 표현하는 것으로 P-value와 같이 0과 1사이의 값으로 나타나며 0에 가까울수록 설명력이 낮고 1에 가까울수록 높다고 해석할 수 있다. 식 (1)은 SST와 SSR이 얼마나 비슷한지, SST와 SSE이 얼마나 다른지에 따라 R-squared 값이 높아짐을 알 수가 있다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (1)$$

여기서 SSR은 회귀식과 평균값의 차이를 의미하며, SST는 편차의 제곱 합이며, SSE는 회귀식과 실제값의 차이를 의미한다.

본 실증시험을 통해 얻은 결과를 적용하면 외기 온도가 오폐수열원 취득에 미치는 영향을 결정계수를 분석하면 $y=0.4239x + 12.674$ 가 나왔으며 결정계수는 $R^2=0.7218$ 이라는 결과가 나왔다는 의미는 설명력이 높다는 의미로 볼 수 있다.

4) 대규모 건물 내 외기온도와 오폐수 수조 열원회수의 상관관계 분석

건축물 연면적이 6,864m²되는 도심의 대규모 빌딩의 오·폐 수조의 열원을 관측하였다. 위치는 부산광역시 중구 중앙대로91 환화빌딩이며 관측기간은 2018년 12월 20일 ~ 2019년 01월 07일까지(14일) 실시하였으며 조사항목은 외기온도와 오폐수 정화조 온도이며 관측시간은 주간 06시부터18시까지 일 5회를 실시하였다. 건축물 연면적이 6,864m²되는 도심의 빌딩의 오폐 수조의 열원을 관측하였다.

대규모 빌딩 건축물에서 외기온도와 오폐 수조 온도관측 분포도 <Figure 10>을 보면 오폐수 온도는 일정하나 외기온도 분포도는 산발적으로 분포하고 있다. 즉 외기온도와 오폐 수조 온도와는 연관성이 없다는 것을 증명해준다. 그렇다면 오폐 수조 평균 온도가 19.7°C를 유지한다는 말은 건축물 상주하는 사람들이 고온의 생활 오폐수를 사용하고 버려진다는 뜻이며 또 하나 오폐수 시설이 외부환경에 노출되지 않는 곳에 설치되었다고 사료된다. 도심의 대형 건축물에는 이러한 우수한 열들을 보유하고 있음에도 불구하고 이제까지 무효의 에너지로 버려진 것이다.

5) 회수 유량에 대한 열량 분석

<Figure 11>은 실증시험으로 관측한 회수 유량과 열량을 관측한 자료이며 생활 오·폐 수조에서 회수

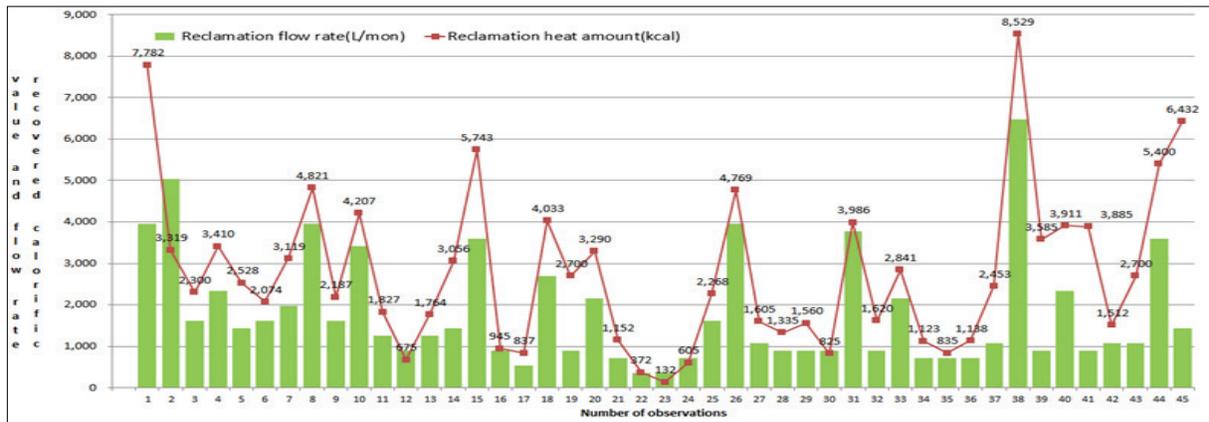


Figure 11. The analysis graphs of reclamation flow and thermal

한 유량 계산은 열원회수용 구동 모터의 능력을 적용하였다. 열량(Q) 산출방법은 회수된 유량(L)×온도차(Δt)로 구할 수 있으며, 회수유량과 열량을 분석한 그래프이다. 여기서 유량은 구동모터의 기기능력으로 18LPM으로 분당 18L를 회수하므로 관측기간 중 총 82,080L를 회수하였으며 회수 온도차는 약 1.53℃이다. 총 관측시간은 4,560분을 가동하였으며 총 회수 열량은 125,189.6kcal이다.

6) 회수된 열원을 적용한 시스템 가동
 생활 오폐수 열원 취득기술을 이용한 온실용 복합 열원 냉난방 시스템으로 온실의 난방상태 결과를 보면 <Table 4>와 같은 성과를 얻었다. 외기온도 최저 4.1℃에서 최고 20.8℃로 분포하고 관측 평균 외기온도는 10℃일 때 온실의 온도는 최저 14.1℃에서 최고 33.4℃를 유지하고 있으며 온실의 평균온도는 23.2℃로 토마토가 자장 잘 자라는 환경을 만들어내고 있는

Table 4. The result of heating condition in greenhouse

Sortation	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case 10	case 11	case 12	case 13	case 14	case 15	relative height
ambient air temperature(°C)	7.7	7.0	4.0	4.0	9.0	3.6	7.2	8.4	2.8	6.2	7.5	6.4	4.3	6.4	9.3	Observed count a total of 45 times
greenhouse temperature(°C)	22.0	15.3	14.2	15.4	27.9	15.1	20.5	27.8	15.4	24.9	28.4	23.3	16.8	23.7	30.9	
Sortation	case	case	case	case	case	case	sum									
ambient air temperature(°C)	4.1	7.4	12.2	13.8	12.8	11.0	10.1	9.4	12.1	14.5	15.4	16.0	15.0	11.5	15.1	
greenhouse temperature(°C)	14.8	18.3	27.8	30.5	28.9	14.6	21.3	18.2	23.7	27.3	27.9	28.7	26.9	18.2	21.0	10.0
Sortation	case	case	case	case	case	case	1,045.0									
ambient air temperature(°C)	18.7	20.8	20.3	18.8	18.4	5.2	6.1	9.9	10.9	7.4	9.6	5.8	7.3	9.0	7.9	
greenhouse temperature(°C)	29.0	32.3	33.4	32.7	30.3	14.1	17.1	27.5	30.6	21.3	28.2	15.3	19.9	25.5	18.1	23.2

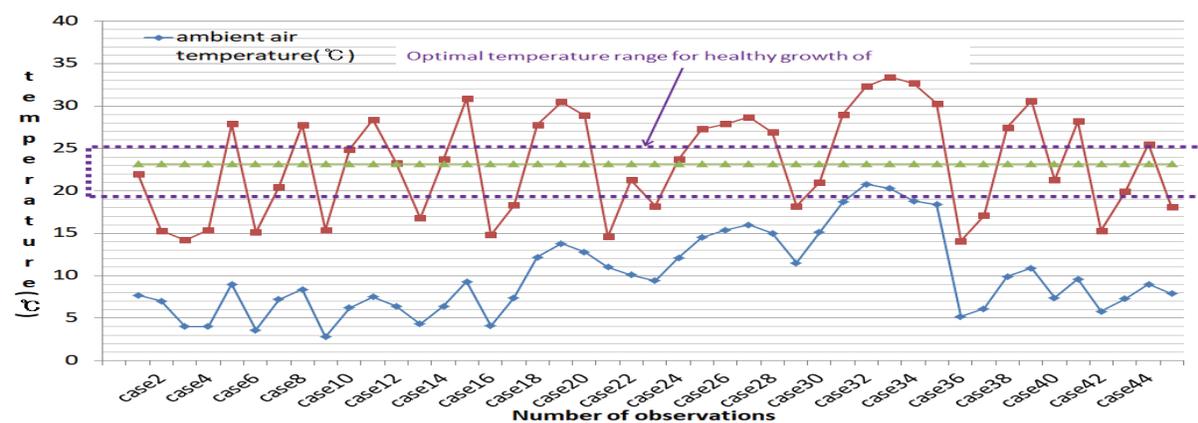


Figure 12. The graphs of heating condition management of Greenhouse

것을 볼 수 있다.

<Figure 12>는 온실의 난방상태 관리 그래프를 보면 외기온도와 무관하게 온실의 온도관리 상태는 토마토가 건강하게 잘 자라기 위한 적정온도 범위인 실온 20~26℃의 범위에서 관리되고 있다. 즉, 생활 오폐수 열원 취득 시스템을 적용한 온실용 복합열원 난방 시스템이 동절기 실정시험과 토마토 시범재배를 통해 효율성을 증명하고 있다.

VI. 결론

하나, 소규모 상가 건축물 연면적 240m²건물의 오수정화조 규격은 20ton으로 10.9~26.2℃의 열원이 존재하고 있으며 외기평균온도 9.3℃일 때 오·폐수조 평균온도 18.1℃이며, 도심 대형 건축물 연면적 6,864m²건물의 오수정화조 규격은 415ton으로 17.9~20.6℃의 열원이 존재하고 있으며 외기온도 5.1℃일 때 오·폐수조 평균온도 19.7℃이다. 소규모 상가의 경우 지하수 평균온도 13℃ 보다 5.1℃가 높으며 도심 대형 건축물은 지하수 온도 보다 6.7℃가 높은 우수한 열원을 보유하고 있다.

둘, 외기 온도가 오수정화조의 열원에 미치는 영향을 검토한바 부산과 같은 도시의 대규모 빌딩의 경우는 오·폐수의 보관상태가 지하 저층에 존재하여 외기온도 미치는 영향은 없는 것으로 조사 되었으며 인천과 같은 소규모 상가와 같이 옥외 지하에 매설된 경우는 외기온도의 영향이 비교적 크게 작용하였다. 또 생활 오·폐수조에서 작용하는 주 열원은 상가 건물에서 일상적으로 버려지는 생활오수가 고온의 상태에서 배출 된다는 것을 알 수가 있었다.

셋, 실증시험을 통해 오수정화조에서 취득할 수 있는 열량은 관측 평균을 기준으로 1,647.2kcal/h가 흡수할 수가 있으며 39,533kcal/일의 열량을 보조 열원으로 사용가능하다는 결론이 나왔다. 즉 실증 시험실에 설치된 온실용 복합열원 히트펌프 냉난방시스템의 난방용량은 199,200kcal/일이다. 여기서 39,533kcal/일 생활

오폐수 열원으로 충당한다면 약 20%의 난방 연료비를 절감할 수 있다는 결론이 나왔다.

넷, 온실용 복합열원 히트펌프 냉·난방시스템에 복합열원 축·열 수조를 통한 생활 오·폐수열원 융·복합 시스템의 성능 시험한 결과를 보면 소규모 상가 오수정화조의 최저온도 13.1℃를 열원을 적용해서 성능 시험한 결과 난방 COP 3.84로 검증되었고 평균온도 15.4℃의 열원을 적용해서 성능검사 한 결과 COP 3.9로 검증 되었으며 오수정화조 최고온도 20℃의 열원적용해서 성능 시험한 결과는 COP 4.14로 나왔다. 이번 연구를 통해 밝혀진 도심지 대규모 빌딩의 생활 오수 평균온도 19.7℃를 가지고 성능 시험한다면 COP는 약 4.08이 되는 것으로 추정할 수 있다. 또 기존 시스템은 냉·난방 복합이므로 냉방 열원으로 사용할 경우 지하수 열원에만 의존해야 하며 지하수 온도 13.1℃를 적용하여 성능 시험한 결과 냉방 COP 5.78로 검증되어 시스템의 우수성을 볼 수 있었다.

본 연구로 이제까지 무용의 에너지로 취급해왔던 건축물의 생활 오·폐수를 에너지화가 되면 생활 주변에서 존재하는 미활용 에너지 (태양열, 빗물저수조, 하천 수, 해수, 오수관로, 상수도관로, 등)에도 관심을 가지게 될 것이다. 또 이러한 에너지로 신재생 설비 설치 의무화 제도에 기여 할 수 있으며, 도시농업과 에너지 제로 화 건물의 냉난방 시스템으로 활용성이 넓어 질것으로 사료된다. 끝으로 “오수 정화조는 에너지다”라는 신념으로 연구시작 하였으며 우리나라 최초로 생활 오·폐수열을 이용해 도시농업 시설하우스 온실에서 토마토를 재배 수확한 최초의 성공사례로 실증시험을 통해 증명하였다.

References

- Jeon, jong gil. 2016. Development of the Heat Pump System Using Combined Heat sources for Greenhouse. Ph.D. Dissertation. Graduate School of Kyungbook University
- Kim, sang hun, Kim, dong jin, Choi, dong gyoo. 2009. A Study

on the Applicability of District Heating Using Sewage Heat Sources. *Korea Association of Facilities Engineering a summer journal of academic presentations*. 25(6): 928-933

Korea Institute of Industrial Technology Evaluation. 2008. Analysis of the Status of Japan's New Energy Industrial Technology Development Organization and Similar Cases of Small and Medium-sized Enterprises' Technology Innovation Projects. Small and Medium-sized Enterprises

Lee, yong hwa, Shin, hyun joon, Yong, hee chuel, Park, hyeon gun. 2007. Heating and Cooling System Using the Sewage Source Absorption Refrigeration and Heat Pump Cycle. *Journal of the Korean Society of Solar Energy*. 27(4): 19-26.

Lee, young soo. 2008. Feasibility Study on Sewage Water by District Energy Heat Source. *Korean Society of Facilities Engineering Journal of Summer Conference*. 6: 690-695.

Lee, Yeoung mi, 2004. Tomata. *KIMYEONG INC*. 9: 69-74.

Park, sang woo. 2016. Technology Trend for Energy Recovery of Sewage Heat Difference. *Korea Environmental Industry Institute*. 056(11-12): 1-12

Park, joon taek. 2010. Utilization of Sewage Heat in Foreign Countries and Major Cases. *Future Environment*. (5)

Korean References Translated from the English

김상훈, 김동진, 최동규. 2009. 하수열원을 이용한 지역난방 적용성 검토. 대한설비공학회 2009년도 하계학술발표대회 논문집. 25(6): 928-933.

박상우. 2016. 하수열 온도차에너지 회수 기술 동향. 한국환경산업기술원. 056(11-12): 1-12.

박준택. 2010. 해외 하수열 이용현황 및 주요 사례. 미래환경. (5).

이용화, 신현준, 윤희철, 박현건. 2007. 하수열을 이용한 냉난방 시스템에 관한 연구. 한국태양에너지학회. 27(4): 19-26.

이영수. 2008. 집단에너지 열원으로서의 하수열이용 타당성 검토. 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집. 6: 690-695.

이영미. 2004. 토마토. 김영사. 9: 69-74.

전종길. 2016. 온실용 복합열원 히트펌프 냉난방시스템 개발. 경북대학교 박사학위논문.

한국산업기술평가원. 2008. 일본 신에너지 산업기술종합개발 기구 현황 및 중소기업 기술혁신 사업 유사 사례조사 분석. 중소기업혁신단.

Received: Mar. 3, 2019 / Revised: Mar. 20, 2019 / Accepted: Mar. 25, 2019

오수 정화조 열원을 활용한 에너지 절감 시스템 연구

국문초록 생활 오폐수 열원이 고온임에도 불구하고 활용하지 않은 이유에는 경제성 부족과 시스템에 대한 신뢰성 부족이다. 본 연구는 기존 시스템의 문제점을 보완하여 오폐수열원을 이용하여 건축물의 냉난방 시스템으로 적용될 수 있도록 연구하였다. 기존 오폐수 열 교환 시스템의 구조적인 문제점인 Slime과 Scale에 대하여 많은 어려움을 보여주고 있으며 본 연구는 다른 획기적인 방법을 제시하였다. 그것은 워터케이싱 이라는 열 회수기술과 복합열원 축·열 수조라는 열 축전 방식을 제안하였다. 그리고 생활 오폐수라는 특수한 조건의 열원을 사용하면서 외기온도와의 상관관계를 밝혀내었다. 이러한 연구를 통해 이제까지 버려왔던 생활 오폐수와 같은 소규모 미활용에너지를 축·열하여 유효의 에너지로 변환시킴으로써 에너지 재활용에 대한 인식 변화는 물론 냉난방시스템으로 적용함으로써 제로에너지건축물 인증 의무화 제도 및 신재생 설비 설치 의무화 제도에 기여할 수 있다고 본다.

주제어 : 미활용에너지, 워터케이싱, 냉난방시스템, 제로에너지 건축물

Profiles **Sang Haw Baek** : He is a Ph.D. course of the Department of Civil & Environmental Engineering at Incheon National University. And He has been attending BEAK SANG engineering Inc, since 2012. His interesting subject and area of research are hydraulics, hydrology and water distribution system(bsh6902@hanmail.net).

Gye Woon Choi : He received his Ph.D. degree from Colorado State University, United States of America in 1991. He is a professor of the Department of Civil & Environmental Engineering at Incheon National University, in which he has taught since 1996. His interesting subject and area of research are water resources, hydraulics, hydrology and environmental engineering(gyewoon@inu.ac.kr).