

온배수 활용을 위한 온실 난방 시설의 에너지 평가

김동선 · 김동규 · 정용현†
부경대학교(교수)

Energy Evaluation of Horticultural Facilities Using Thermal Effluent

Dong-Sun KIM · Dong-Kyu KIM · Yong-Hyun CHUNG†
Pukyung National University(professor)

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the energy savings and environmental loads on horticultural facilities utilizing thermal effluents, which utilizes hot water drainage as a heat source, in order to find out whether the effect is sufficient as a heat source for a representative greenhouse system. A heat pump is required to use low temperature heat sources such as thermal effluents, sea water, river water and sewage treatment water. In order to grasp the energy savings, it is necessary to understand the characteristics of the device, and a model was created for this. This was used to evaluate the energy savings and environmental load of the greenhouse system. The energy savings were compared with conventional boilers, heat pumps utilizing hot water drainage, and general heat pumps. As a result, compared to the boiler, general heat pump showed an energy saving of 30% and the heat drain heat source heat pump of 59%. In the case of environmental load, when using thermal effluents as a heat source, it was found that the amount of carbon dioxide generated was reduced by about 50% compared to a boiler.

Key words : Thermal effluents, Heat source, Unused energy, Green house

I. 서론

금세기 들어서 환경 문제는 지역 규모의 환경 문제에서 지구 규모의 환경 문제로 나타나고 있다. 그 결과는 지구온난화, 오존층파괴, 자원고갈 등의 다양한 영향으로 나타나고 있다. 이러한 가운데 지구 온난화를 비롯한 환경영향 범주의 문제를 해결하기 위한 수단으로 지속가능한 형태의 에너지 기술 개발에 대한 관심이 고조 되고 있다. 이러한 노력은 자연적 상태인 해수, 하천수나 인위적인 활동에 의해 배출되는 온배수, 하수처리수를 열원으로 하여 에너지를 생산하는 기계적

인 장치의 개발로 이어지고 있으며, 이는 저온 열원을 활용하는 측면에서 매우 중요한 과제로 여겨진다(Kim, 2015). 특히 생산 등을 통하여 버려지거나 남는 열을 직접 사용하거나, 열원으로 활용하여 기계적인 효율을 높이는 형태로 활용하는 방법으로 연구되고 있다. 열을 시스템적 활용하고자 하는 경우에는 에너지를 계단식 형태로 활용하는 방법이 있다. 이는 고온 프로세스에서 저온 프로세스로의 연결이 필요하며 이용이 가능한 열량 또는 열 수요가 요구되는 수요처가 필요하다(Jin and Hong, 2013). 따라서 기술적 대응과 열 수요자의 확보가 중요하다. 기술적인 대응으

† Corresponding author : 051-629-6543, chungyh@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의연구비(2019)에 의하여 연구되었음

로는 계단식으로 열을 활용하기 위해 다양한 열원기기에 따른 히트펌프나 축열 시스템의 기술적인 대응이 필요하고, 열의 수요처의 확보를 위해서는 공장, 민생시설, 공공시설의 정비 등 열 수요 창출에 있어서 열 수요가 많은 시설을 확보하여야 한다(Oh, 2015). 따라서 본 연구는 대표적인 수요처로 인근 온실 시스템을 대상으로 하여 열원으로 충분한 효과가 있는지에 알아보기 위하여 온배수를 열원으로 활용하는 온배수 활용 온실 난방시설을 설정하여 전보에서는 시간에 따른 열 부하량을 나타내었고(Kim and Chung, 2017), 본보에서는 열원기기의 COP 모델을 설정하여 온배수 활용에 따른 온실 난방 시설의 에너지 절약량과 환경부하를 파악하였다.

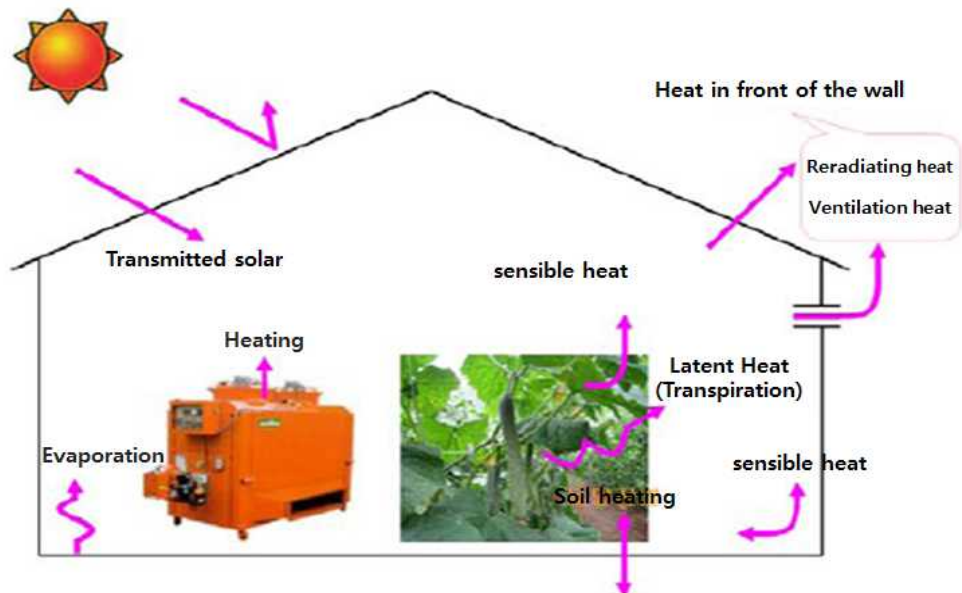
II. 연구 방법

[Fig. 1]은 온배수를 활용하는 열 공급 시스템을 도입함에 따른 효과를 파악하기 위하여 화취단지(Rural Development Administration, 2008)를 대상으로 전보에서는 에너지 부하량을 계산하였다

(Kim and Chung, 2017). 본보에서는 구성된 시스템의 설비조건이나 운전조건 등을 고려하여 기존의 시스템과 온배수를 활용하는 히트펌프의 특성을 통하여 에너지 절약량을 계산하고 이를 통하여 환경 부하를 검토하였다.

1. 열원기기의 모델

온배수, 해수, 하천수, 하수처리수와 같은 저온의 온도차 에너지는 직접에너지원으로 이용하기 곤란하여 통상 히트펌프가 필요하다. 에너지 절약성을 파악하기 위하여서는 기기의 특성파악이 절대적인 요소이다. 부존량이나 이용 가능량의 계산에서 온도에 따른 COP는 평균값을 이용하여 기기의 효율에 대한 차이를 나타내고 있으나 열원온도에 따른 성능변화를 적절히 표현할 수 있는 열원기기모델이 필요하다. 따라서 본 연구에서 작성한 열원기기에 대한 효율 모델화는 도시에 존재하는 열원을 평가하는 경우에 중요한 요소이고, 일반적이며 간편한 모델을 만들기 위하여 온도차 효율모델을 활용하였다.



[Fig. 1] Greenhouse model

이를 통하여 현장에서 측정된 실측치와 모델식의 COP값을 비교하여 검증하였다. 열원기기는 전동식 증기 압축식 히트 펌프이고, 냉동기, 히트 펌프의 경우와 마찬가지로 COP의 이론상 최대치는 역 카르노사이클이며, 역 카르노사이클의 COP와 실제 COP의 비를 효율 η 식으로 나타내었다. 실제 히트펌프 성적계수는 카르노사이클 성적계수와 차이가 존재한다.

원인으로는 역 카르노사이클은 사이클의 각 과정이 가역과정이어야 하나 현실적으로는 가역과정을 달성하기가 어려운 점 때문이다. [Fig. 2]와 같이 고온 측, 저온 측의 열교환기의 냉매와 열매 간에 온도차, 압축기에서 냉매에 일을 할 때에 일어나는 기계적 손실, 냉동사이클 자체에서의 응축 등의 불가역과정을 포함하고 있다. 이로 인하여 히트펌프 성능과 역 카르노사이클의 COP 차는 크게 두 가지 요인으로 설명할 수가 있다. 주로 각 열교환기에서 열매와 물 혹은 공기와의 온도차에 의한 부분(ΔT)과 압축기 등 주로 기계적 효율에 의한 부분(η)에 의하여 설명할 수 있다. 따라서 히트펌프에서 이를 고려한 이론적인 성적계수의 최대치는 역 카르노사이클로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$COP = \eta \times COP_{car}(\Delta T) \dots\dots\dots (1)$$

COP : 실제의 COP

η : 효율

ΔT :온도차

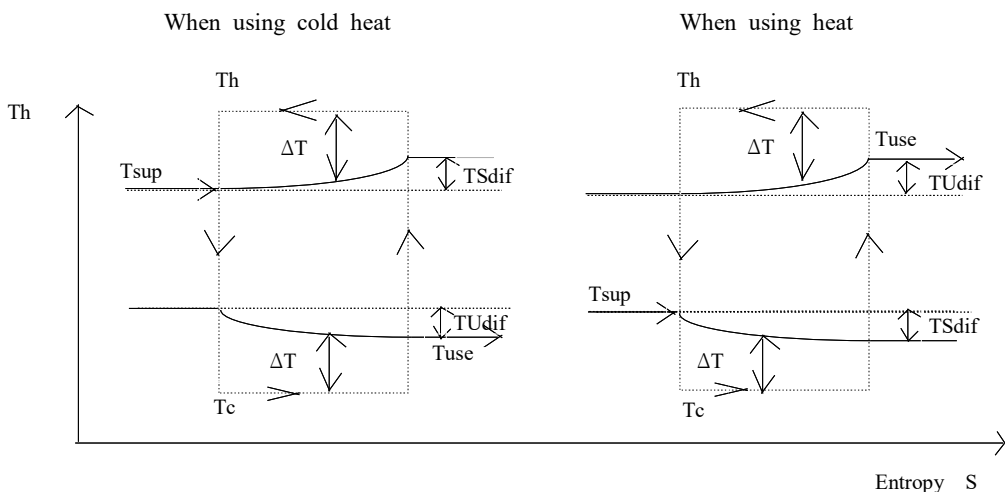
$COP_{car}(\Delta T)$:온도차를 고려한 카르노 COP

$$COP_{car} = \frac{T_c}{(T_h - T_c)} \text{ (Cold) } \dots\dots\dots (2)$$

$$COP_{car} = \frac{T_h}{(T_h - T_c)} \text{ (Hot) } \dots\dots\dots (3)$$

온도차로 열원 측, 이용 측의 평균온도로 하였고, 이 평균온도와 냉매와의 온도차를 열교환기에서의 온도차 ΔT 로 하였다. 이는 열원기기의 이용계획 단계에서 열교환기의 고온 측, 저온 측에서의 열원과 냉매와의 온도차 ΔT 를 고려하여 일반적인 열원온도나 이용온도를 표현할 수 있다. ΔT 는 열원 측, 이용 측에서의 출입구 평균온도와 냉매의 온도차로 여기서는 여러 종류의 실제 기기의 자료에 대하여 가장 높은 상관관계를 보이는 값으로 정하였다.

따라서 T_h, T_c 에 대하여 계산은 다음과 같다.



[Fig. 2] Heat Pump Model.

온도차 고려 후의 카르노 COP, $COP_{car}(Th, Tc, \Delta T)$ 는 아래의 식으로 표현되고 ΔT 가 열교환기에서 냉매와 공기, 물 사이의 온도차와 완전히 일치한 경우에 냉매 응축온도(Th)와 증발온도(Tc)에서 작동하는 역 카르노사이클의 COP와 일치하게 됨으로, 냉매 응축온도와 냉매 증발온도에 대한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

(Cold)

$$COP_{car} = \frac{T_c}{(T_h - T_c)} \dots\dots\dots (4)$$

$$T_h = T_{sup} + \Delta T + \frac{TSdif}{2} \dots\dots\dots (5)$$

$$T_c = T_{use} - \Delta T + \frac{TUdif}{2} \dots\dots\dots (6)$$

(Hot)

$$COP_{car} = \frac{T_h}{(T_h - T_c)} \dots\dots\dots (7)$$

$$T_h = T_{use} + \Delta T - \frac{TUdif}{2} \dots\dots\dots (8)$$

$$T_c = T_{sup} - \Delta T - \frac{TSdif}{2} \dots\dots\dots (9)$$

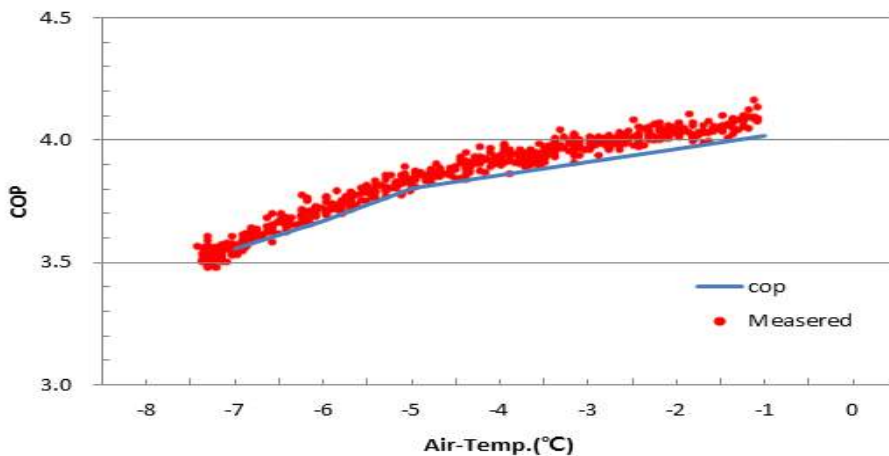
[Fig. 2]에서는 열교환기에서의 냉매 응축온도와 냉매 증발온도를 구하기 위하여 출입구

T_{use} : 이용 측 온도

T_{sup} : 열원 온도

$Tdif$: 열교환기 출입구 온도차

열원기기 모델에서 모델 식을 평가하기 위하여 종축에 ΔT 를 고려한 카르노 COP 값을, 횡축에 실제 COP 값을 두면 (1)식에서의 효율 η 는 원점을 지나는 직선이 된다. 따라서 ΔT 값에 따른 계산을 실시하여 실제 COP값을 원점을 지나는 직선에 근사했을 때 얼마나 잘 일치하는지를 비교하여 판단 할 수 있다. 각 수 열원 및 공기열원 전동 히트펌프와 냉동기 등의 온도특성을 파악하기 위하여 열원온도와 이용 측 온도에 의한 냉방, 난방용량, 소비전력에 대한 조사를 통하여 ΔT 를 결정한 후, 온도특성 data(이용 측 온도, 열원측 이용측 출입구온도차), 에서 온도차 카르노 COP를 구하고 실제 COP와의 관계를 통하여 최소자승법으로 η 를 구하고, 상관계수를 구하여 일치성을 확인하였다. 열원기기에 대한 상관계수를 확인한 결과 $\Delta T=10^\circ C$ 이상에서 상관계수의 변화가 없었으며, $\Delta T=12.5^\circ C$ 부근에서 매우 높은 상관관계를 나타내었으며, 이용 측 출구온도는 온열 이용 시 $45^\circ C$, 열원 측, 이용 측 각각 출입구온도차 $5^\circ C$ 로 정하여 실측치와 모델식에 따른 COP의 값을 비교한 결과 [Fig. 3]과 같이 계산치가 0.1정도 낮은 값을 보이고 있는 것으로 판단된다.



[Fig. 3] COP values and measured values according to model equations.

2. 에너지 소비량 산정 및 환경부하

온배수 에너지 시스템과 기존 시스템에 대한 에너지 소모량을 계산하기 위하여 열 공급 시스템 에너지 소비량에 대한 흐름도를 [Fig. 4]에 나타냈다.

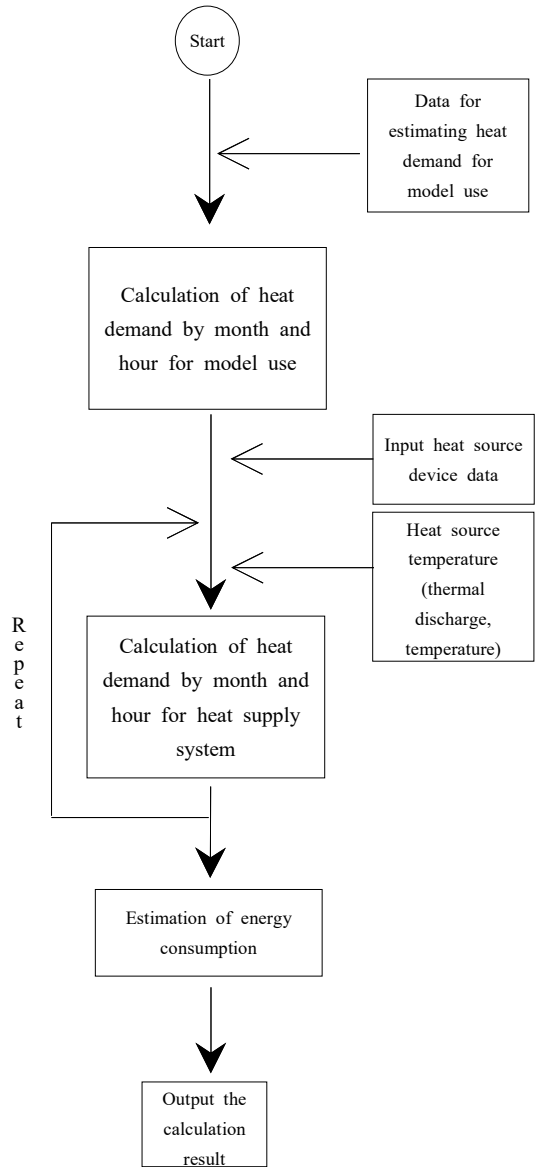
Ⅲ. 연구 결과

1. 에너지 절약량

모델 시스템을 이용한 에너지 절약량의 평가는 [Fig. 1]에서 설정된 대상시스템에 대한 열 부하를 시간별로 계산하였다. 열 부하에 대한 난방 설비 기기는 기존의 보일러 이용 방법과 히트펌프를 도입하여 외기온 또는 온배수를 열원으로 활용하는 모델을 설정하였다. 열 수요에 대한 보일러와 히트펌프에서 소모되는 에너지량을 계산하고 이에 따른 에너지 절약량을 비교 검토하였다. 히트펌프의 에너지 소모량은 열원기기의 모델에서 열원 온도에 따른 열원기기의 COP를 계산하여 에너지 소모량을 시간별로 계산하고 누적한 결과를 월 단위로 [Fig. 5]에 나타내었다. 월별 열 수요량은 온배수를 열원으로 활용함으로써 COP의 향상에 따른 열 수요량이 감소됨을 알 수 있다. 온배수를 열원으로 활용하는 경우 기존의 보일러에 비하여 59%의 열 수요량이 감소하는 것으로 파악되었다([Fig. 6]). 이는 우리나라의 에너지 기본법 제5조 제1항 관련한 에너지 열량환산 기준으로 경유 1L당 총발열량 9050kcal로 환산한 결과로 <Table 1>에 나타냈다. 온배수를 활용함에 따라 기존의 보일러 활용에 비하여 경유 50,605L가 절감되는 것으로 평가되었다.

2. 환경부하 평가

온배수를 열원으로 활용하는 경우 환경보전 효과에 대하여 여기서는 환경부하(NOx, SOx, CO₂)의 배출량을 검토하였다.



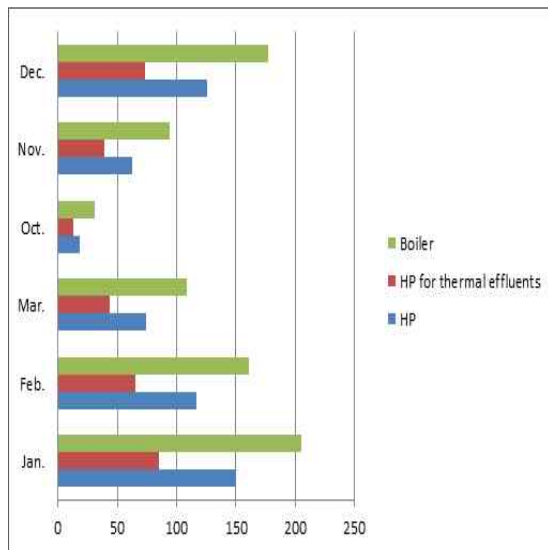
[Fig. 4] Energy consumption calculation flow of Heat supply system.

환경부하물질의 저감량은 기존 보일러 활용에 따른 환경부하 물질의 배출량에 대하여 온배수를 열원으로 활용하는 경우의 환경부하 물질 배출량을 각각 구하였다. 에너지 사용량에 대한 환경부하 물질의 원단위는 경유를 기준으로 IPCC(2006)에서 만든 배출계수를 적용하였으며, CO₂의 경우

<Table 1> Energy consumption by heat source device

	HP for thermal effluents	HP	Boiler
Energy Consumption (Gcal/six months)	319	547	777
NOx Generation (g)	80,338	137,844	195,804
SOx Generation (g)	220,110	377,440	204,930
CO ₂ Generation (kgC)	26,979	46,262	65,714

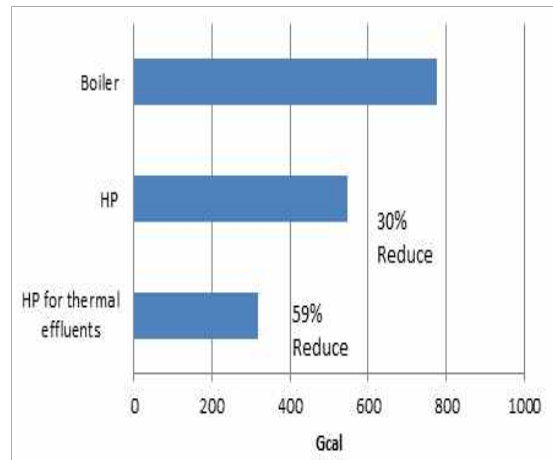
0.08457336 gC/kcal, NOx, SOx의 경우에는 0.000252g/kcal, 0.00069g/kcal를 활용하였다. 3000m²의 화훼단지에 대한 난방 연료 소모에 따른 환경 부하량은 <Table 1>과 같다. 기존 보일러의 경우 65,714kg 정도의 이산화탄소 발생량을 나타내었으며, 온배수를 열원으로 활용하는 경우에는 보일러에 비하여 약 41%정도 발생하는 것으로 나타났다.



[Fig. 5] Monthly heat demand by heat source equipment.

이는 m²당 약 13kgC 줄일 수 있는 것으로 파악되었다. 2007년 강원지방 소나무 대상 산림조사 후 수확표를 기준으로 작성된 우리나라 산림

의 이산화탄소흡수량에서 20년생 신갈나무의 연간 탄소 흡수량 0.43kgC/m² (National Institute of Forest Science, 2012)와 비교한 결과 온배수 활용에 따른 m² 당 이산화탄소 절감량은 약 30배에 해당되었다.



[Fig. 6] Comparison of monthly heat demand by heat source device.

IV. 결론

화훼단지의 온실을 대상으로 하여 온배수를 활용하기 위한 열 공급 시스템의 효과를 파악하기 위한 에너지 평가 및 환경성 평가에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 열원기기에 대한 모델

열원을 활용하는 열원기기로 히트펌프를 활용하였으며, 온도에 따른 열원 기기의 성능의 변화를 파악하기 위하여 온도차 효율 모델을 활용하여 현장에서 측정된 실측치와 모델식의 COP값을 계산하여 검증하였다. 열원기기에 대한 상관계수를 확인한 결과 $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$ 이상에서 상관계수의 변화가 없었으며, $\Delta T=12.5^{\circ}\text{C}$ 부근에서 매우 높은 상관관계를 나타내었으며, 이용 측 출구온도는 온열 이용 시 45°C , 열원 측, 이용 측 각각 출구온도차 5°C 로 정하여 실측치와 모델식에 따른 COP의 값을 비교한 결과, 계산치가 0.1 정도의 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다.

2. 에너지 절약량 및 환경부하 평가

온실에 대한 에너지 절약량을 평가하기 위하여 난방설비 기기는 기존의 보일러, 히트펌프를 도입하여 외기온 또는 온배수를 열원으로 활용하는 것으로 설정하였다. 열 수요에 대한 보일러와 히트펌프에서 소모되는 에너지 량을 계산한 결과, 온배수를 열원으로 활용하는 경우 기존의 보일러에 비하여 59%의 열 수요량이 감소하는 것으로 파악되었다. 이에 따른 환경부하에 대한 영향으로 온배수를 열원으로 활용하는 경우에는 보일러에 비하여 약 41% 정도 발생되는 것으로 나타났다.

References

- IPCC(2006). 2006 IPCC Guidelines ofr National Greenhouse Gas Inventoris
- Jin SH, Hong EJ(2013). The Feasibility Analysis of Urban Unused Energy, Journal of KIEAE, 13(1), 17~28
- Kim DS and Chung YH(2017). Study on formation of system utiiling thermal efflents as heat source andevaluation of heat demand, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 29(6), 2030~2037.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.6.2030>
- Kim ST(2015). News and Information for chemical engineers, 33(6), 670~674
- National Insititute of Forest Science(2012). Forest technical Hand Book, 1580~1581
- Oh JY(2015). Energy diagnosis technique to discover unused energy, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 44(10), 56~67
- Rural Development Administration(2008). Horticultural facilities Energy Saving Guidebook, 11~12.

-
- Received : 19 March, 2020
 - Revised : 09 April, 2020
 - Accepted : 16 April, 2020