



온배수 활용을 위한 시스템 구성 및 열수요 추정

김동선 · 정용현[†]
(부경대학교)

Study on Formation of System Utilizing Thermal Effluents as Heat Source and Evaluation of Heat Demand

Dong-Sun KIM · Yong-Hyun CHUNG[†]
(Pukyung National University)

Abstract

It is studied on utilization systems of thermal effluents from Power station. Those systems are composed of district heating, fish farm, floricultural pot, swimming pool using thermal effluents as heat source. We calculated heat loads of utilization systems near the power station which have sufficient potential as heat source. If we use 0.5% of thermal effluents from the power station we can supply 109,500[Gcal/year] to utilization systems. It is sufficient to cover heat loads of the proposed systems. Simulation study for heat load was done to calculate the amounts of energy saving and environmental effect to the floricultural pot as the utilization systems of thermal effluents. There is differences in 6.3% between calculating and real value of the heat loads of the green house.

Key words : Utilizing systems, Thermal effluents, Heat loads, Energy saving, Environmental effect

I. 서론

에너지 사용과 관련된 지구규모의 문제는 지구 온난화, 산성비, 생태계영향, 자원감소 등의 환경영향으로 나타나고 있다. 이러한 영향 가운데 지구 온난화 문제는 기후변화로 인한 해수면 상승, 이상기온, 물 부족 등의 문제를 야기하고 있어 이를 해결하기 위한 수단으로 지속가능한 형태의 에너지 기술개발이 화두가 되고 있다. 이러한 기술 개발에는 직접에너지를 생산하는 방법이나 생산과정에서 발생되는 열의 형태의 에너지를 활용하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

직접에너지 생산에서는 자연적인 형태의 흐름

을 이용한 풍력이나 태양열을 활용하는 방법이 대표적인 방법으로 제시되고 있다. 이를 통해 직접적으로 필요한 열을 생산하거나 전기를 생산하는 장치의 개발은 지속적으로 그 효율이 개선되고 있다. 직접적인 전기 생산과 달리 생산할 등을 통하여 버려지거나 남는 열을 사용하거나, 이를 열원으로 활용하여 기계적인 효율을 높이는 형태로 활용하는 방법의 연구도 있다. 이러한 형태 가운데 하나는 에너지를 계단식 형태로 활용하는 방법이 있다. 하지만 계단식 이용이 가능한 온도와 열량 또는 열 수요의 패턴을 가진 기업 등의 수요처들이 계획적으로 입지되어 있지 않다. 그 주변에 열을 균형 있게 이용할 수 있

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

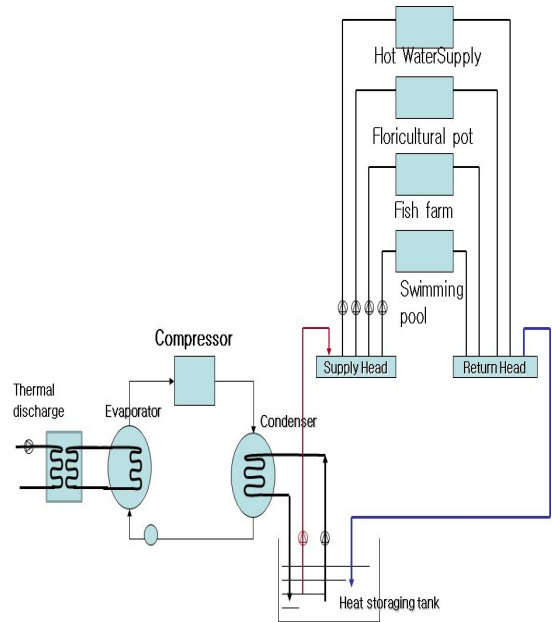
* 이 논문은 2008년도 부산지역환경기술개발센터의 연구사업비 지원(08-1-50-54-2)을 받아 연구되었음.

는 수요처가 있어야 한다. 따라서 계단식 이용을 위해서는 도시계획의 토지사용과 관련된 공장입지 단계에서 부터 설비와 관련된 히트펌프나 축열 시스템 혹은 열병합 이용 등의 기술적인 대응이 필요하다. 이를 성공적으로 수행하기 위해서는 열수요가 많은 민생시설의 확보가 필요하며, 이는 지역발전을 위한 공생차원의 공공시설에 대한 수요 창출 등이 필요하다. 이러한 활용방법 가운데 열원으로 활용하기 위하여 온배수를 미활용에너지로의 활용하는 방법이 연구되고 있다 (Park, Mi-Lan · Ryoo, Yeon-Su · Kim, Jin Wook · Lee, Yong-uk · Bae, sung-don and Chae, Kap-Byung, 2014; Kim, Dong-Kyu · Kang, Dae-Seok · Chung, Yong-Hyun, 2009). 하지만 구체적인 활용량을 알기 위하여 부존량과 이용 가능량을 분석하고 있으나 이는 가상적인 량으로 실제 수요측의 히트펌프를 고려한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 대표적인 수요처로 예상되는 시스템을 구성하고 열원으로 충분한 효과가 있는지에 알아보기 위하여 온배수를 열원으로 활용하는 온배수 활용 시스템을 구성하였다. 이에 따른 열 수요량을 추정하고 온배수 활용에 대한 에너지 절약량, 환경부하를 파악하는 것을 목적으로 하고 있다(Kim, Dong-Kyu · Kang, Dae-Seok · Chung, Yong-Hyun 2009; Chung, Yong-Hyun, 2013). 따라서 우선 본보에서는 발전소 인근의 지역주민이 활용 가능한 수요측 대상 시스템을 구성하고 구체적인 대상 시스템으로 온실난방시설에 대한 열부하를 평가하는데 목적이 있다.

II. 온배수 활용 대상 시스템

온배수를 활용하는 시스템 구성은 온배수를 직접 활용하는 경우, 승온 활용하는 방법이 있다. 승온 활용 방법에는 열 교환하여 승온하는 경우와 승온한 후 열 교환하는 방법을 고려할 수 있

다. 온배수를 활용하는 열 공급 시스템을 도입함에 따른 효과를 파악하기 위하여 대상 지역의 온배수 활용 시스템의 구성은 [Fig 1]과 같다. 이는 열교환후 승온하여 열 수요처에 공급하고 열원기기는 온배수 활용을 고려한 수 열원 히트펌프로 이루어진 온배수 활용시스템 계통도이다.



[Fig.1] Utilization system schematic diagram.

또한 온배수를 열원으로 활용하는 열 수요측 대상으로는 발전소 인근에 설치 가능한 화훼단지, 양어장, 수영장, 지역난방을 선정하였다. 구성된 시스템의 설비조건이나 운전조건 등을 고려하여 기존의 시스템과 온배수를 활용하는 경우의 환경 부하를 검토하고 에너지 절약량을 계산하기 위한 선제 조건으로 대상지역에서의 온실시스템에 대한 열수요량을 산정하였다.

1. 열수요량 추정

온배수를 이용하는 시스템에 대한 온배수 활용 가능량을 알아보기 위하여 지역난방, 양어장, 화훼단지, 주민시설인 수영장을 대상으로 열 수요

량을 추정하였다.

지역난방을 고려한 열수요 추정은 Chung, Yong-Hyun(2013)을 통하여 얻은 결과를 요약하였으며, 양어장, 화훼단지, 주민시설인 수영장은 열수요 추정을 위한 설비시설, 사용조건을 나타내었다. 양식장의 경우 겨울철에 활용된 온배수량은 56(l/s), 봄,가을 28(l/s)이며, 난방시간 24hr/d, 동계, 봄, 가을 각각 90일 활용하는 것으로 하였다. 화훼단지의 경우 온실면적 3000평, 난방열량으로 평당 500kcal/h, 난방시간 16h/d, 연간 평균 부하율 75%이며, 수영장은 신고리 주민 편의 시설을 기준으로 하루 8hr, 365일 운전하는 것으로 하였다. 또한 기존 시설의 열부하량을 산정하기 위하여 증기보일러, 공기조화기, 방열기, 가열기의 소요부하를 계산하여 수영장 열부하를 산정하였다. 이에 따라 지역난방, 수영장, 화훼단지, 양어장에 요구되는 열 수요량은 94,422Gcal/년 이었다.

고리 지역 온배수 발생량 및 온도에 따라 정상적으로 운용되는 3,4호기의 기준으로 유량을 계산한 결과 87460 [l/s]로 발생하고 있으며, 취수구와 배수구 온도차 8℃, 유량의 0.1% 활용했을 때의 온배수 열량은 2,505,600 [Kcal/h], 연간 활용하는 경우에 약 21,900[Gcal/년] 이었다.

이에 따르면 현재 고리원자력 발전소에 배출되는 온배수의 0.5%를 활용하면 109,500 [Gcal/년]에 해당하여 기존에 제시된 규모의 시설물들에 대한 열 요구량 94,422 [Gcal/년]를 공급할 수 있는 양에 해당되며, 온배수의 사용비율에 따라서 더 많은 양의 열이 활용 가능 할 것으로 판단된다.

2. 활용 시스템의 온실난방부하

온실의 난방계획 시 가장 먼저 고려하여야 할 것은 재배지역과 재배작물의 온도환경에 따른 난방부하를 결정하는 것이다(Rural development administration 2008). 난방부하 산정에 미치는 요

인은 피복재를 통한 방열, 천장과 벽면을 통한 방열, 토양전열, 작물의 현열과 잠열, 공간에는 태양열, 난방기 작동시는 난방열이 온실의 열수지에 관련되는 인자이다. 온실에서 방열되는 열량과 정상적인 작물성장조건에 적합한 온도환경을 제공하기 위하여 소요되는 열량이 온실 난방시 소요되는 난방부하이다. 온실 난방부하 산정에 영향을 미치는 요인에 대하여 아래의 식으로 나타내었다.

가. 난방부하

난방부하는 작물재배 난방기간 중 최저기온 시간대의 필요 난방 열용량으로 다음의 식으로 계산된다.

$$Q_g = [A_g (q_t t + q_v) + A_s \cdot q_s] \cdot f_w \quad \dots\dots (1)$$

Q_g : 난방부하량[kcal/h]

q_t : 피복면적당 관류전열손실량[kcal/m²h]

q_v : 단위 피복면적당 투새환기열손실량[kcal/m²h]

q_s : 단위 바닥면적당 토양전열량[kcal/m²h]

A_g : 온실피복면적[m²]

A_s : 온실바닥면적[m²]

f_w : 풍속보정계수(일반지역의 온실 1.0, 강풍지역 온실 1.1)

1) 관류전열 손실량

온실의 내부에서 복사 및 대류 열전달에 의하여 피복재 내표면에 전달된 열이 전도 열전달에 의하여 피복재를 통과한 후 피복재 외표면에서 다시 복사 및 대류 열전달에 의해 외기로 방열되는 것을 관류전열손실이라 하고 다음 식으로 계산된다.

$$q_t = h_r (T_s - T_d)(1 - f_r) \quad \dots\dots\dots (2)$$

온배수 활용을 위한 시스템 구성 및 열수요 추정

h_p :관류열전달계수[kcal/m²h^oC]

f_p :보온피복의 열절감률

T_s :난방설정온도[^oC]

피복재별 관류열전달계수 및 열절감율은

T_o :설계 외기온도[^oC]

<Table 1>, <Table 2>와 같다.

<Table 1> Perfusion heat transfer coefficient of cladding materials

cladding materials	Perfusion heat transfer coefficient [kcal/m ² h ^o C]	cladding materials	Perfusion heat transfer coefficient [kcal/m ² h ^o C]
1 layer glass	5.0-5.4	2 layer glass	2.6-3.0
1 layer plastic	5.5-5.8	1 layer glass, 1layer thermal screen	2.6-3.0
2 layer acrylic	2.6-3.0	2 layer plastic, 1layer thermal screen	1.9-2.1
2 layer plastic, 1 layer polyethylene	3.4-3.8	-	-

<Table 2> Heat saving rate of Cladding materials

Heat insulation method	Cladding materials	Heating load coefficient[kcal/m ² h ^o C]		Heat saving rate[%]	
		glass	plastic	glass	plastic
1 layer Cladding		5.3	5.7	-	-
2layer Cladding	glass, PVC film	3.2	3.4	35	40
	PE film	3.3	3.5	30	45
1 layer thermal screen	PVC film	3.7	4.0	35	40
	PE film	3.3	4.0	30	35
	nonwoven fabric	4.0	4.3	25	30
	Film mixed with aluminium	2.9	3.1	40	45
	aluminum metalized film	2.7	2.9	50	55
2 layer thermal screen	2layer PE film	2.9	3.1	45	45
	PE film+aluminum film	1.9	2.0	65	65
sheath of Cladding	Fiber	2.1	2.3	60	-

2) 틈새환기 열손실량

틈새환기에 의한 열손실은 온실내의 공기 엔탈피차와 환기율에 비례하나 난방설계시 엔탈피를 고려하게 되면 설계조건이 복잡하게 되므로 틈새환기 열손실 산정에는 환기전열계수(h_v)를 이용하여 계산한다.

$$q_v = h_v(T_s - T_d) \dots\dots\dots (3)$$

h_v :환기전열계수[kcal/m²h^oC]

3) 토양 전열량

일반적으로 야간의 토양 열전달은 주간의 일사에 의하여 토양 내부에 저장된 열량 때문에 토양 내부로부터 표면으로 전달된다. 난방온실의 경우 야간에도 실내온도가 높아지면 표면으로의 열전달이 억제되거나 반대로 역류하는 경향을 나타낸

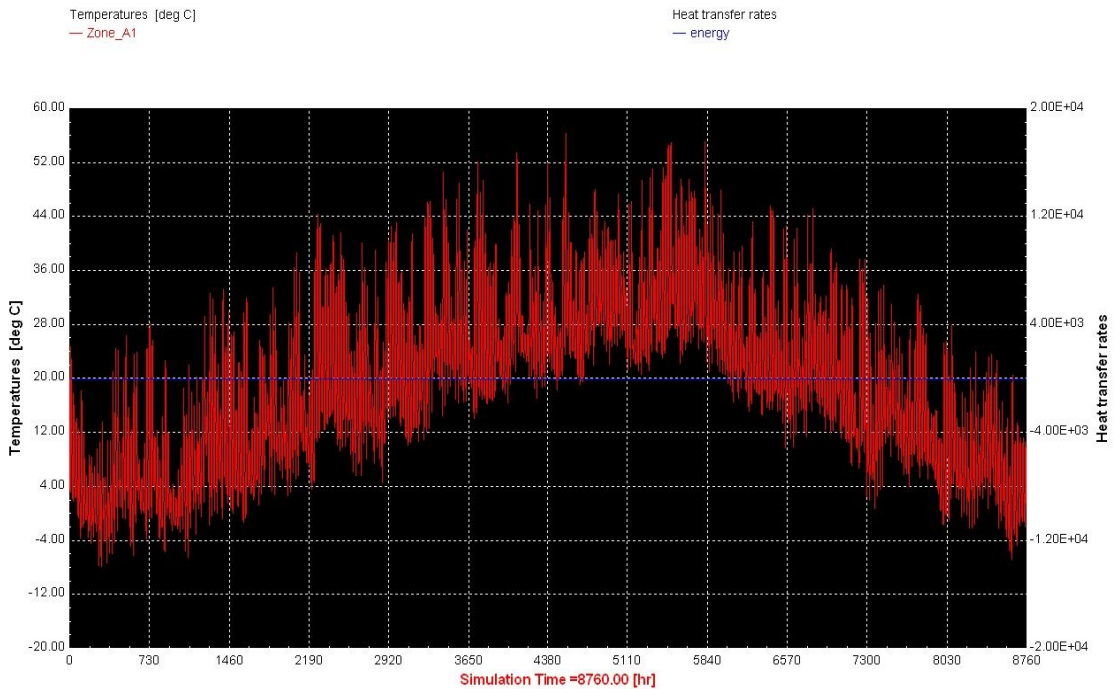
다. 열전달이 하향(온실 내 열이 토양을 가열)일 때는 정(+), 상향(토양의 열이 온실을 가열)일 때는 부(-)의 부호를 나타낸다. 토양 전열계수는 보온피복의 유무와 내외 기온차를 고려하여 설정하였다.

3. 시뮬레이션 조건

시뮬레이션을 위한 유리온실 모델은 가로 100m, 세로 30m, 높이 3m로서 면적은 3000m²(약 910평)이고, 재배작물은 타 작물에 비해 상대적으로 고온인 장미재배를 가정하였다. 시뮬레이션을 위한 온실의 설정조건들을 <Table 3>에 나타내었고, 이에 따른 열부하의 시간별 계산은 TRANSYS를 활용하였다.

<Table 3> Condition for Simulation

Division		Condition
Heat transmission coefficient of glass		5.85W/m ² K, Single
Glass ratio per outside and roof area		95%
Setting temp. for greenhouse	day	06-18: 27°C (optimum temp. :23-27°C)
	night	18-06:15°C (optimum temp. :15-18°C)
Indoor thermal load	man	Occupants(10), sensible heat 100W, latent heat 205W
	lighting	5W per floor area
calculation time		8760hr (365day)
infiltration		0.8 time per hr
natural ventilation		1 time per hr
target area		Ulsan(meteorological data)

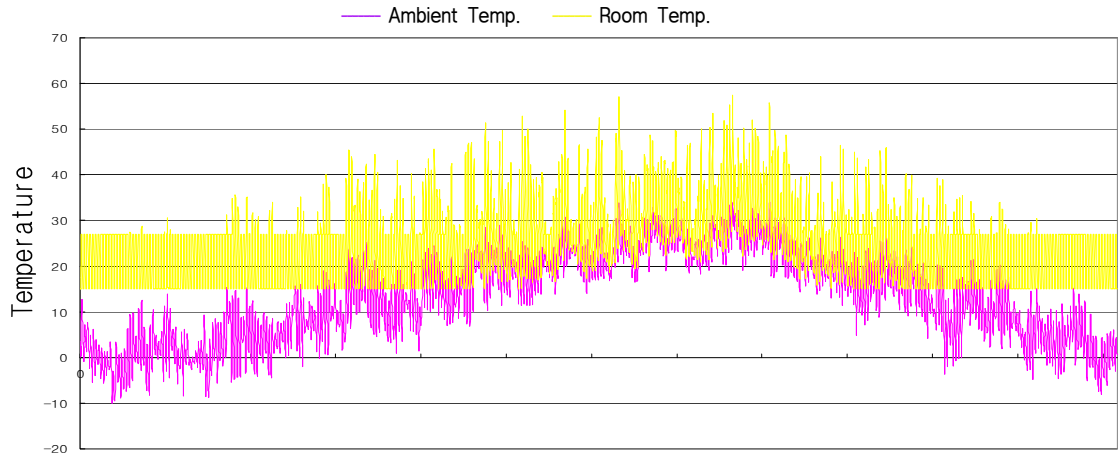


[Fig. 2] Room temperature in green house without heat supply

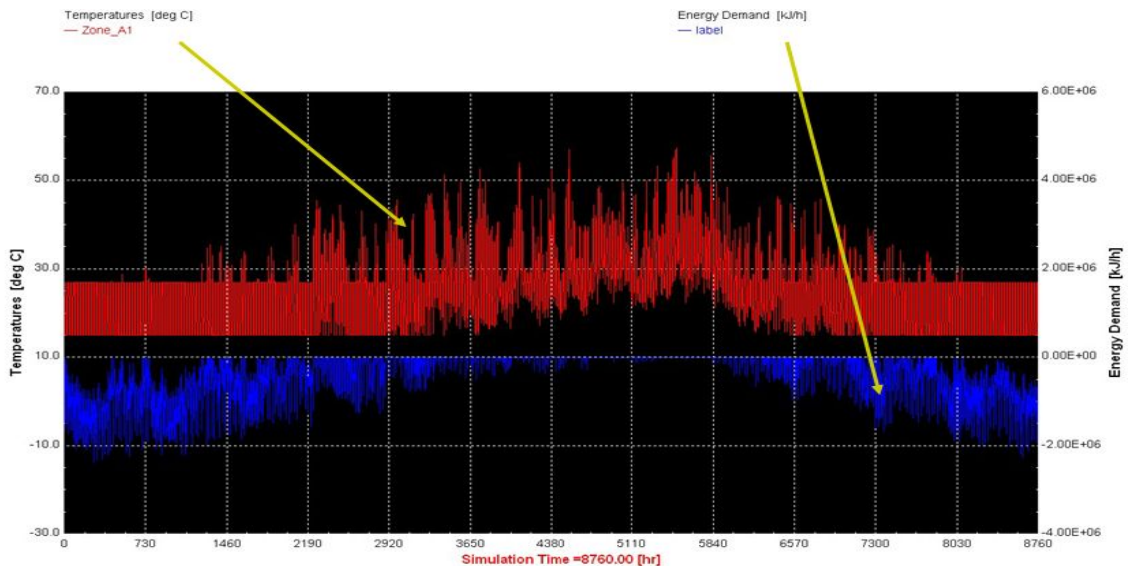
4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 기간은 365일을 가정하였고, 온실 내 설정온도는 장미 재배를 위한 주야간 적온을 고려하여 주간에는 27℃, 야간에는 15℃로 설정하였다. 시뮬레이션을 위해 TRNSYS 에서 기본적으로 제공하는 기상자료로, 고리원전 인근에 위치하고 있는 울산지방의 기상자료를 사용하였다.

[Fig. 2]는 유리온실 내부의 자연실온을 나타낸 것이다. 자연실온은 온실내부에서 난방 및 냉방 장치를 가동하지 않는 상태에서의 온실내부 온도를 의미한다. 유리온실의 특성상 여름에는 과도한 일사의 영향으로 50℃를 초과하고, 겨울철의 경우 최저온도는 약 -4℃정도를 나타냈다.

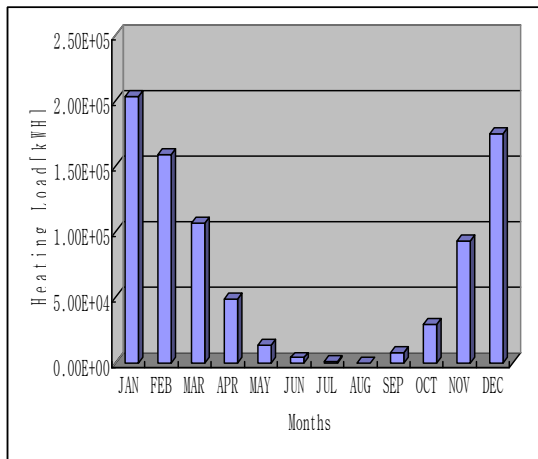


[Fig. 3] Ambient temperature and Room temperature in green house with heat supply for winter season



[Fig. 4] Room temperature in green house and energy demand for winter season

[Fig. 3]은 온실 내부를 설정온도에 따라 난방을 하는 경우의 외기온도와 온실 내부 온도를 나타냈다. 온실내부 온도는 주간 27℃, 야간 15℃의 범위에서 변화하고 있으며, 여름철의 경우에는 별도의 냉방을 설정하지 않은 관계로 인하여 자연실온과 같은 변화양상을 나타냈다. [Fig. 4]는 유리온실 내부의 실내온도와 실내온도를 유지하기 위해 투입하는 난방열량을 나타냈다. 난방열량은 겨울철에 대부분을 차지하지만, 여름철에도 다소 나타남을 알 수 있다.



[Fig. 5] Heat load

[Fig. 5]는 월별 난방부하를 나타낸 것이다. 연간 난방부하의 적산값은 845,000kWh이었으며, 이상의 결과로부터 유리온실 3000㎡의 경우 난방부하는 연간 726,700,000kcal로 나타났고, 1㎡당 연간 난방부하는 242233 kcal로 나타났다.

시뮬레이션 결과에 대한 정도를 비교하기 위하여 “시설원에 에너지절감 가이드 북”(Rural development administration 2008)의 유리온실 연간 난방 연료소요량 자료와 비교하였다. 비교대상은 남부 지역의 경남 밀양의 장미 재배시 990㎡에 소요되는 연료소모량은 28,274L이었으며, 이를 경유난방기 사용기준 (발열량, 9050kcal/L)으로 발열량을 계산하여 비교하였다. 계산 대상의 유리온

실의 면적이 3000㎡이므로, 3000㎡으로 환산하여 비교한 결과 약 6.3%의 차이를 나타내었다.

Ⅲ. 결론

온배수 활용을 목적으로 발전소 인근의 지역주민이 활용 가능한 시스템을 구축하였다. 이는 열교환후 승온하여 지역난방, 화훼단지, 양어장, 수영장과 같은 열 수요처에 공급하고 열원기기는 온배수 활용을 고려한 수 열원 히트펌프로 이루어진 온배수 활용시스템을 구상 하였다.

온배수 활용시스템에서의 온배수 활용 가능량을 추정하였으며, 양식장의 경우 겨울철에 온배수 90일 활용하는 것으로 하였으며 화훼단지의 경우 온실면적 9900㎡, 난방열량으로 3.3㎡당 500kcal/h조건, 수영장은 하루 8hr, 365일 운전하는 조건으로 기존 시설의 열부하량을 산정하였다. 이에 따라 지역난방, 수영장, 화훼단지, 양어장에 요구되는 열 수요량은 94,422Gcal/년 이었다.

고리 지역 온배수 발생량 및 온도에 따라 정상적으로 운용되는 3,4호기의 기준으로 유량을 계산한 결과 87460 [l/s]로 발생하고 있으며, 취수구와 배수구 온도차 8℃ 기준으로 계산한 결과 현재 고리원자력 발전소에 배출되는 온배수의 0.5%를 활용하면 109,500 [Gcal/년]에 해당하여 기존에 제시된 규모의 시설물들에 대한 열 요구량 94,422 [Gcal/년]를 공급할 수 있는 양에 해당되며, 온배수의 사용비율에 따라서 더 많은 양의 열이 활용 가능 할 것으로 판단된다. 또한 온배수 활용에 대한 에너지 절약량, 환경부하를 파악하기 위하여 온실난방시설을 대상으로 하여 열부하를 평가하였다. 기상자료는 대상지역을 고리원전에 가까운 울산으로 설정하였다. 각각의 조건을 선정하여 온실 내부에서의 현상을 계산한 결과, 유리온실의 내부는 냉난방 장치의 가동하지 않는 상태에서 여름철 50℃를 초과하고 겨울철의

경우 최저온도로 약 -4°C 정도를 나타냈다. 또한 설정조건에 따라 난방을 한 경우에는 온실내부 온도는 주간 27°C , 야간 15°C 의 범위에서 변화하고 있으며, 난방을 위해 투입하는 열량은 겨울철에 대부분을 차지하고 있었다. 월별 난방부하의 결과, 1m^2 당 연간 난방부하는 242233 kcal 로 나타났다. 이는 실제 유리온실 연료 소모량과 비교한 결과 6.3% 의 차이를 나타내었다. 따라서 유리온실의 환경성 평가를 위한 열부하에 대한 계산결과를 통하여 환경성 및 에너지 절약성을 계산하기 위하여 적정한 시뮬레이션과 조건을 확인할 수 있었다.

References

- Chung, Yong-Hyun(2006). Study on Evaluation Method of Thermal Potential of Unused Energy, Journal of Environmental Sciences, 15(5), 493~501
- Chung, Yong-Hyun(2013). Study on Evaluation of Heat Demand and GIS Mapping in Coastal Area, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 25(1), 192~197
- Kim, Dong-Kyu · Kang, Dae-Seok · Chung, Yong-Hyun (2009). Basic study on Eco-industrial Park utilizing thermal effluents as heat source, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 21(3), 400~408
- Park, Mi-Lan · Ryoo, Yeon-Su · Kim, Jin Wook · Lee, Yong-uk · Bae, Sung-don and Chae, Kap-Byung (2014). A Study on Analysis of Reserves and Available Capacity of Unutilized Energy in Rural Community, Journal of the Korean Solar Energy Society, 34(6), 1598~6411.
- Rural development administration (2008). Energy saving Guide book for horticultural facility

-
- Received : 25 October, 2017
 - Revised : 09 November, 2017
 - Accepted : 23 November, 2017