

PTC 태양열 집열기를 이용한 슬러지 열탈수 연구

Study on Thermal Dewatering of Sludge Using the Parabolic Through Collector(PTC) Solar Collector

이정언
Lee Jung-Eun

(Submit date : 2014. 4. 28., Judgment date : 2014. 4. 28., Publication decide date: 2014. 6. 23.)

Abstract : A flat-plate or vacuum tube solar collector have been mainly used for hot water supply of house because of some being difficult to get uniform energy density, so little applied into industrial field. This study is to apply the PTC(parabolic trough collector) solar collector into industrial field such as sludge dewatering system for energy reduction. The real scale system which composed of PTC Solar Collector and Thermal Dewatering (TDW) is established. PTC solar collector is designed to produce a hot water with 80°C of temperature. And size of TDW is 630×630 mm. Hot water produced from PTC solar collector is supplied into heating plate of TDW, and sludge like waterworks or wastewater is dewatered. PTC solar collector with 10m²of area produce energy of average 5,618 kcal. As according to results from real scale performance, solar collector takes charge 94 % of the amount that TDW consume energy which is so large part if compare with boiler. It means that PTC solar collector is useful to apply industrial field under the condition of sufficient solar radiation. And it is analyzed that TDW by PTC solar collector has an economical validity.

Key Words : PTC(Parabolic trough collector), PTC 태양열 집열기(PTC solar collector), 열탈수 장치(Thermal dewatering), 에너지 절감(Energy reduction), 열수(Hot water)

기 호 설 명

w/m² : 일사량
wt% : 함수율
℃ : 온도
kcal : 열량

1. 서 론

국내에서는 평판형, 진공관형, 집광형 등 다양한 종류의 태양열 집열기를 설치 운용되고 있다. 이들 집열기는 생산되는 열원의 온도 분포에 따라 다양하게 사용되고 있다. 평판형과

이정언(교신저자) : 부산대학교 기계기술연구원
E-mail : jelee@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-7376

Lee Jung Eun(corresponding author) : RIMT, Pusan National University.
E-mail : jelee@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-7376

진공관형 집열기 주로 온도가 80 ℃이하의 저온의 열원 생산에 많이 사용되고 있는데, 주로 가정용 온수급탕용의 열원으로 활용되고 있다. 반면에 집광형 태양열 집열기는 80 ℃이상의 고온의 열원을 생산이 가능하다. 집열기가 고온의 열을 생산하면 산업체에 사용가능한 것으로 평가된다.

본 연구는 집광형인 PTC(parabolic trough collector)형 태양열 집열기로부터 열원을 확보하여 슬러지 탈수장치에 적용함으로써, 에너지를 절감하고자 하는 연구이다. 하수 또는 폐수 처리장으로부터 발생하는 오폐수로부터 발생하는 슬러지의 함수율을 줄여야 경제적인 처리가 가능하다. 슬러지의 함수율을 줄이기 위해, 진공압, 압착력, 원심력 등의 다양한 방법들이 적용되고 있지만 최근들어 열압착력에 의한 탈수 방법이 개발되어 오고 있다.^{1,2)} 하지만 열압착력에 의한 탈수 방법인 열탈수는 에너지소모량이 큰 단점이 있어 범용적으로 확대되는데 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해서는 소요 에너지 비용을 최소화 하는 방법이 고려되어야 한다. 이를 위해 PTC 태양열 집열기로부터 열원을 확보하여 열 탈수기(Thermal Dewatering)에 적용하는 방법을 구축하고자 하는 것이다.

반사판을 이용하는 PTC태양열 집열기의 열원 생산 특성에 대한 최근 연구 동향을 보면, 100 ℃이상의 열원 생산 가능한 것으로 분석된다.^{3,4)} 즉 PTC 태양열 집열기는 반사판에서 반사된 빛을 흡수부에서 50배 이상 집광하여 중고온의 열원을 확보하는데 효율적이다. 약 100 ℃정도의 열 생산이 가능하기 때문에 열탈수에 설치하여 운용하면 매우 경제적일 것으로 분석된다. 기존의 태양열 집열기가 대부분 온수 보일러의 열원 확보에 치중되었기 때문에 적용 영역이 확대되지 못한 것 또한 사실이다.^{6,7)} 하지만 본 연구에서는 태양열 집

열기를 슬러지 탈수장치에 적용하여 저함수 탈수 케이크를 생산하는데 적용하고자 한다. 태양열 집열기를 통한 열원을 확보하여 열 탈수시스템을 운영하였을 경우와 기존 보일러에 의한 열 확보를 통한 열탈수 운영시의 에너지 절감 효과를 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 1은 태양열 집열기를 이용한 슬러지 탈수 시스템 공정도를 나타낸 것이다. 시스템크게 태양열 집열기와 열탈수 장치로 구성되어 있다. 태양열 집열기로부터 열수를 생산하여 열탈수장치로 공급한다. 열탈수장치에서 사용하는 열수는 보일러와 태양열 집열기에서 열원을 공급 받도록 구성되어 있는데, 낮에는 태양열 집열기로부터 열원을 확보하고 밤이나 흐린 날은 보일러로부터 열원을 확보할 수 있도록 설계하였다. 본 연구의 시스템 설계에서 주안점을 둔 것은 열탈수장치 운영시 태양열 집열기에 의한 에너지 절감 효과를 확보하고자 하는 것이다. 열 탈수장치에서 필요한 열수의 온도는 약 80 ℃ 정도이다.

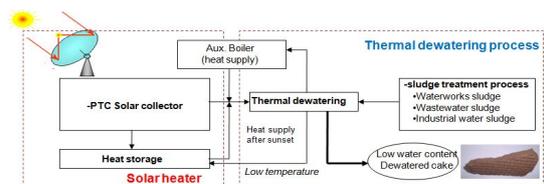


Fig. 1 Sludge dewatering process using PTC solar collector

Fig.2는 열탈수장치에서 필요한 열수를 생산하기 위한 태양열 집열기의 구조 및 사진을 나타낸 것이다. PTC 집열기는 반사판과 흡수기로 구성되어 있으며 면적은 10m²이고 집광 비율은 반사판의 굴곡각도, 재질, 표면 정밀도 등을 고려하여 50 SUN이 되도록 설계하였다. 설

계에 의한 최대 초점 온도는 300 °C이며, 최대 운전 온도는 약 250 °C이다. 그리고 흡수기는 진공관 Tube 내에 흡수 체와 U자관을 장착하여 반사판으로부터 반사된 태양빛을 흡수하여 열매체유에 열원을 전달한다. 열매체유는 열교환기에서 열을 전달하고 다시 진공관 Tube로 순환한다. 열교환기에서 열을 회수한 열수는 열탈수기로 공급되어 사용되어 진다.

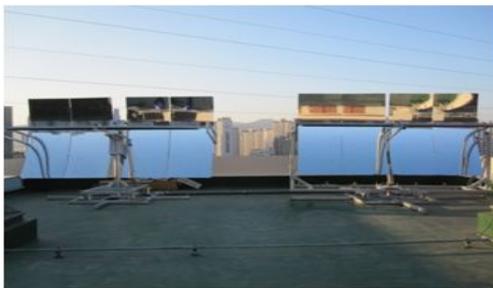
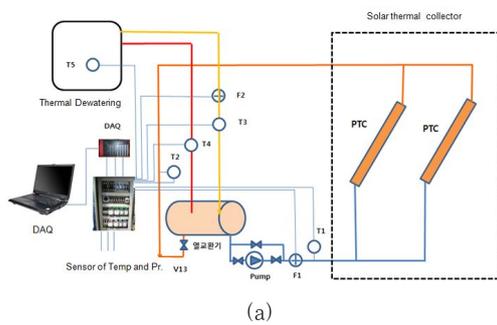


Fig. 2 Schematic diagram and photograph of PTC solar collector: (a) structure of solar collector, (b) photo of solar collector

Fig.3은 PTC 태양열 집열기로부터 열을 받아 슬러지의 함수율을 낮추는 탈수장치의 작동 원리와 사진을 나타낸 것이다. 슬러지로부터 물과 입자를 분리하는 것이 탈수공정이다. 고액 분리의 효율을 향상시키기 위해서는 압착력과 열판을 가열하여 슬러지층 내의 열응력을 슬러지 층에 작용시킨다. 이때 탈수장치의 열판 가열을 위해 열원이 필요한데, 이를 위해 태양열 집열기로부터 열원을 확보하여 공급하는 것이

다. Fig 3(a)에서 설명하고 있는 바와 같이 열판에 공급되는 열은 보일러로부터 공급되는 것과 PTC 태양열 집열기의 열교환기로부터 공급되는 것 2가지이다. 전자의 경우는 흐린 날 또는 밤에 탈수기에 열원을 공급하기 위한 것이고, 후자는 일사량 600 w/m²이상에서 집열기로부터 열수를 생산하여 공급하기 위한 것으로 설계 제작하였다. 태양열 집열기에서 생산된 약 80 °C인 열수는 열수 탱크(Hot Water Tank)로 공급되고, 순환펌프에 의해 pumping되어 열탈수장치의 열판으로 공급된다. 열수는 열판을 가열한 후 다시 열수탱크로 return되어 재차 열을 공급받아 열판으로 공급되면서 순환한다. 본 연구에서 핵심은 태양열 집열기로부터 온도 80 °C의 열수를 생산하여 공급하는 것이다. 이를 통해, 보일러 대체 에너지 절감을 평가함으로써, PTC 태양열 시스템 적용 여부를 평가하고자 하는 것이다.

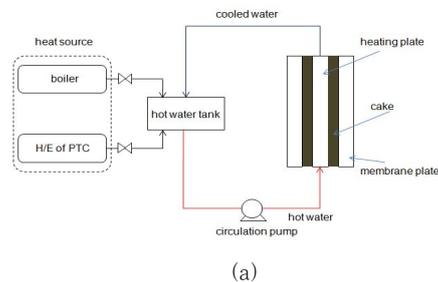


Fig. 3 Schematic diagram and photograph of thermal dewatering: (a) working method of thermal dewatering, (b) photo of thermal dewatering

2.2 실험 방법

전 절에서 설명한 바와 같이 본 실험장치는 태양열 집열기(PTC Solar collector)와 열탈수장치(Thermal Dewatering; TDW)로 구성되어 있는 실증장치이다. 즉 Fig. 2 설명한 PTC 태양열 집열기를 Fig. 3의 열탈수장치에 장착하여 시스템을 구축하였다. Table 1은 본 시스템의 운전 및 설계 조건을 나타낸 것이다. 태양열 집열기의 집열 면적은 10 m²이며 집광비율은 50 SUN으로 설계하였다. 이때 집열기에서 발생하는 최대온도는 약 300 °C이며, 열교환기를 통해 탈수기에서 필요로 하는 80 °C의 열수를 생산한다. 열탈수장치의 크기는 보통 열판으로 크기와 필터 챔버의 두께에 의해 결정되는데, 본 장치의 열판 크기는 630 mm x 630 mm로 하였고 필터 챔버의 두께는 26 mm로 하였다. 그리고 열에너지 사용에 대한 비교 실험을 위한 보일러는 시간당 50 kg의 스팀을 생산규모로 설치하였다. 본 실험장치를 통해 일사량이 500 w/m²이상인 날에 현장 실증 실험을 수행하였다. 하루 중 보일러를 사용한 시간과 집열기를 사용한 시간을 도출함으로써 태양열 집열기의 유효성을 확보하였다.

Table 1. Operating and design conditions of experiment equipment

Parameter		Specification
PTC Solar Collector	Area of solar collector	10 m ²
	Concentrate light ratio	×50
	Max. Temp of focus	300°C
	2-axial solar tracking	±0.1 degree
TDW system	Filter plate size	630mm x 630mm
	Filter area	0.6 m ² /chamber
	Filter volume	7.8 m ³ /chamber
	Filter thickness	26 mm/chamber
	Filter cloth	PP-1800-Denia
	Heating plate	630mm x 630mm
	Electric boiler(kg/hr)	50
Heat exchange	150A x 600L	

실증 실험은 3가지로 진행되었다. 우선 태양열 집열기를 통해 시스템의 열수 탱크에 열원을 확보하는 정도를 평가하였다. 그리고 하루 동안 열탈수장치를 5회 운전하면서 태양열 집열기로부터의 열량 확보를 측정하였으며 보조 보일러와의 에너지 담당 정도를 조사하였다. 그리고 마지막으로 5회 운전 자료를 기반으로 태양열 집열기의 운전에 따른 열탈수장치의 에너지 절감 효과를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PTC 태양열 집열기의 집열량 평가

Fig. 4와 Table 1은 하루 4회에 걸쳐 면적 10m²의 PTC 태양열 집열기를 운전하여, 열탈수장치에 공급할 열원 확보 현상을 파악한 실험 결과를 나타낸 것이다. 1회 운전시 일사량은 13,068 kcal(54,885 kw)이고, 이때 열수 탱크에서 회수한 열량은 5,483 kcal로 측정되어 집열회수 효율이 42 %로 분석되었다. 오후 5시까지 4회 측정된 결과 1일 평균 일사량은 12,328 kcal(51,777 kw) 이고, 태양열 집열기로부터 생산한 평균 열량은 5,618 kcal로 조사되었으며 평균 집열효율은 46%로 분석되었다.

본 열탈수장치가 1 cycle 운전하면서 소비하는 열량은 약 5,500 kcal정도 이므로, 10 m²의 PTC 태양열 집열기로 열 탈수 공급 열량 확보가 가능할 것으로 분석되었다. 실제 열탈수는 보일러로 스팀을 생산하여 사용하는데, 이를 경우 에너지 비용이 높아 경제성이 떨어진다. 다른 탈수장치에 비하여 열탈수는 저함수를 탈수 케이크를 생산하는 장점이 있지만 에너지를 많이 사용하는 단점으로 인해 현장 적용에 어려움이 있다. 하지만 태양열 집열기로부터 열을 확보하여 공급함에 따라 이와 같은 문제를 해결할 수 있다. 그래서 실증장치를 구축하여 태양열

집열기로부터 열원을 확보를 통한 운전시 경제성을 평가하였다. 이를 통해 태양열 집열기의 산업 분야 현장적용 가능성을 평가하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 실제 열탈수장치 운전에서 보일러를 기동하는 온도는 70 °C이며, 정지하는 온도는 75 °C인데, 일사량이 확보되는 오전 10시 55분부터 오후 5시 20분까지 보일러를 기동하는 시간이 거의 없는 것으로 측정되었다.

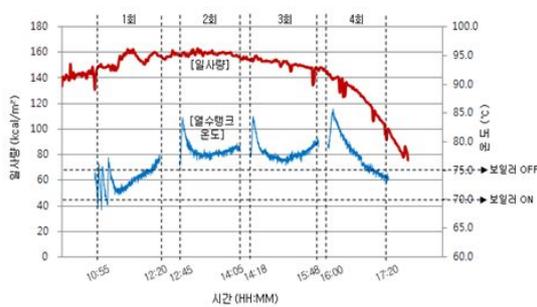


Fig. 4 Properties of solar collector during one day

Table 2. Collecting properties and efficiency of solar collector

No.	solar radiation (kcal)	solar collect (kcal)	collect efficiency (%)
1	13,068	5,483	42
2	12,715	5,834	45
3	13,574	6,379	47
4	9,956	4,776	48
average	12,328	5,618	46

3.2 태양열 집열기의 열원을 이용한 열 탈수 장치 성능 평가

PTC 태양열 집열기가 장착된 열탈수 시스템을 부산 소재 D 상수처리장에 설치하여 일사량이 500 w/m² 이상인 1일 중 시간대 별로 5회 운전하였다. 이를 통해 태양열 집열기로 열원 확보 특성을 파악하였다. 일사량은 하루 중 시간대 별로 차이가 있다. 그래서 시간대 별로 구분하여 집열기로부터 열을 확보 및 열탈수 실험

을 수행하였다. 집열기로부터 확보한 열이 부족할 경우에는 보일러로부터 열을 보충하였다. 열탈수 실험 수행의 온도 및 열량 분포 특성을 Fig. 6에서 그림 10까지 나타내었고, 각 실험의 에너지 사용 열량 및 함수율은 표 3에 나타내었다. Fig. 5는 오전 9시부터 10시 25분까지 실험을 수행한 것으로 열판에 유입되는 열수의 온도는 약 70°C를 유지하고 있다. 열 탈수장치에 공급되는 열량은 약 50 kcal/min 정도이다. Table 3에서 보는 바와 같이 오전 중에는 PTC 집열기로부터의 열원 확보가 부족하여 보일러에서 약 30 %의 보조 열원을 이용하였다. 열수의 온도가 70 °C를 유지해야 열 탈수기가 탈수를 효율적으로 할수 있는데, 이때 공급되는 열은 PTC 태양열 집열기와 보일러에서 공급된다. Fig. 6은 오전 10시 40분에서 12시 까지 운전한 결과를 나타낸 것이다. 열판의 열수 입구온도는 약 80 °C를 유지하고 있으며 소요 열량은 50 kcal/min 정도로 유지하고 있다. 이때 열탈수기에서 사용한 총 열량은 5,178 kcal인데, 전량 태양열 집열기로부터 공급된 것이다. Fig 7, 8, 9는 각각 12시 20분, 오후 2시 그리고 오후 3시40분에 실험을 수행한 결과인데, 열판에 유입되는 열수의 온도는 80 °C를 유지하고 있으며 이때 소비되는 열량은 40~60 kcal/min정도이다. 전기보일러를 전혀 사용하지 않고 전량 태양열 집열기로부터 확보된 열원을 이용한 것이다. 태양열 집열기로부터 열원을 확보하여 열탈수기를 운전하여도 온도 및 열량 분포가 균일하였다. 통상적으로 태양열과 같은 신재생에너지를 에너지 밀도가 낮고 또한 에너지 분포가 불균일하여 산업체에 사용하기 부적합 것으로 평가되는 경향이 있다. 하지만 일사량이 충분히 확보되면 본 실험에서 보는 바와 같이 균일한 에너지를 확보할 수 있는 것으로 평가된다.

열탈수를 운전하는데 총 에너지량은 26,593

kcal이며, 이중 보일러를 이용하여 확보한 에너지는 1,625 kcal로 전체 사용한 에너지의 6%이다. 오전 9시 일사량이 부족할 때 보일러를 가동하였을 뿐, 하루 종일 태양열 집열기만으로 열 탈수기를 가동하였다. 이때 생산한 탈수케이크의 함수율은 평균 51.8 wt%로 파악되었다. 기존의 탈수장치에서 생산한 탈수케이크의 함수율이 70 wt%이상 인 점을 고려하면 탈수효율이 매우 우수한 것으로 평가된다. 즉 태양열 집열기 장착한 실증 열탈수장치에 대한 실험을 수행한 결과 태양열 집열기가 담당한 에너지 부하는 약 94%이며, 태양열로부터 확보된 에너지의 분포도 균일한 것으로 평가되어 경제적 유효성이 있는 것으로 판단된다.

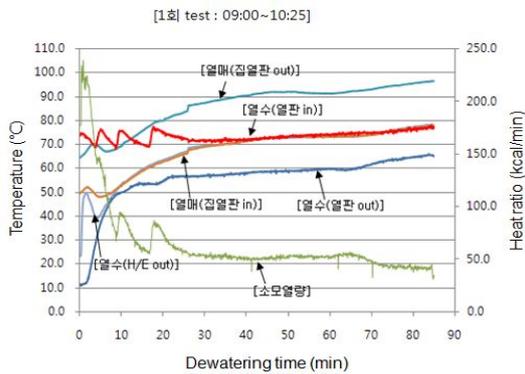


Fig. 5 Thermal dewatering operating test at 09:00~10:25

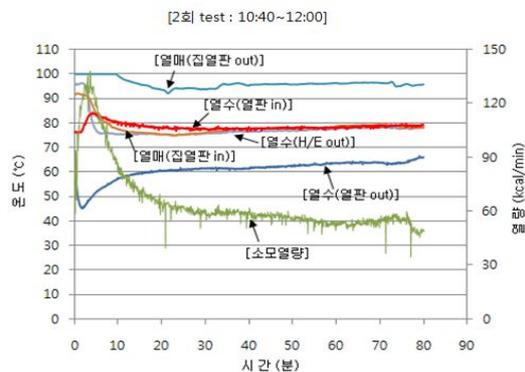


Fig. 6 Thermal dewatering operating test at 10:40~12:00

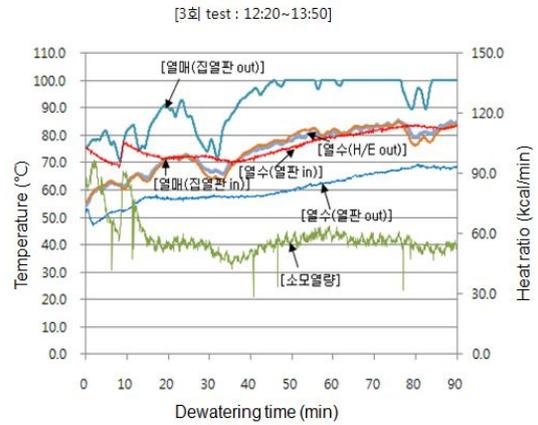


Fig. 7 Thermal dewatering operating test at 12:20~13:50

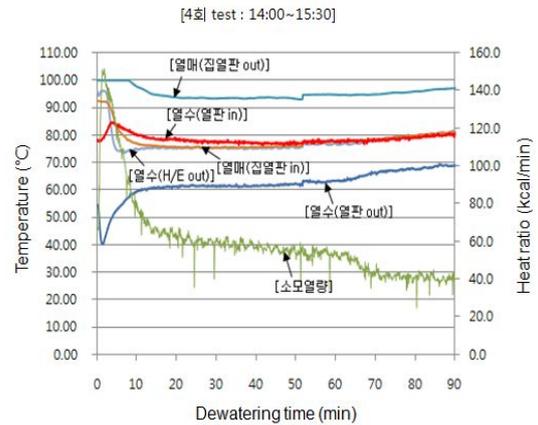


Fig. 8 Thermal dewatering operating test at 14:00~15:30

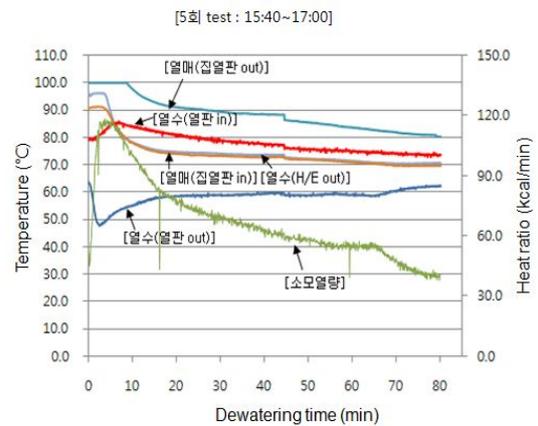


Fig. 9 Thermal dewatering operating test at 15:40~17:00

Table 3. Energy consumption by solar thermal dewatering system

No.	Time (HH:MM)	consumed heat value (kcal)	water content of dewatered cake(wt%)	charge ratio of energy(%)	
				solar	boiler
1	09:00~10:25	5,417	52.3	70	30
2	10:40~12:00	5,178	51.6	100	0
3	12:20~13:50	5,247	51.0	100	0
4	14:00~15:30	5,351	51.8	100	0
5	15:40~17:00	5,400	52.3	100	0
total	-	26,593	-	(24,968 kcal)	(1625 kcal)
average	-	5,319	51.8	94	6

4. 결 론

PTC 태양열 집열기를 열탈수장치에 장착하여 집열기로부터 확보한 에너지를 열탈수 운전애 사용함으로써, 기존의 전기보일러 사용에 따른 에너지를 절감할 수 있는 방안을 강구하고자 하였으며, 실증장치의 성능평가를 통해 경제적 유효성을 확보하였다.

- (1) 태양열 집열기(PTC Solar collector)와 열탈수장치(Thermal Dewatering; TDW)로 구성된 크기 630×630 mm의 실증장치를 구축하였으며, PTC태양열 집열기로부터 약 온도 80 °C 정도 열수를 생산하여 열탈수장치에 공급함으로써 탈수 공정을 수행하였다.
- (2) 면적 10 m²의 PTC 태양열 집열기에 대한 1일 성능평가를 수행한 결과, 평균 일사량은 12.328 kcal (51,777 kw) 이고 태양열 집열기로부터 생산한 평균 열량은 5,618 kca로 조사되었으며 평균 집열효율은 46 %로 분석되었다.

- (3) 열탈수 실증장치를 운전하는데 필요한 1일 총 에너지량은 26,593 kcal이며, 이중 태양열 집열기가 담당한 열량은 24,968 kcal로 약 94 %를 담당(보일러 6% 담당)하였다. 오전 9시 일사량이 부족할 때만 보일러를 사용하였을 뿐 다른 시간대에는 PTC태양열 집열기만으로 열탈수장치를 운전하였다.
- (4) 일사량이 충분할 경우 PTC 태양열 집열기는 에너지 밀도가 균일한 열원을 생산할 수 있기 때문에 탈수공정과 같은 산업 분야에 적용 가능한 것으로 평가된다.

후 기

이 논문은 2013년도 산업통상자원부 에너지기술개발사업의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

Reference

1. Lee, J.E., Thermal Dewatering (TDW) to Reduce the Water Content of Sludge, Drying Technology, 2006, Vol.24, No.10, pp.225-232.
2. Lee, J.E., Kim, D.S., A study for Heating Filter Press Dewatering Technology, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 15, No. 3, pp. 38-45, 2006
3. Kim, I.H., Hur, N.S., Kim, M.S., Lee, J.E., The Comparative Study on Performance of PTC and Flat-plate Solar Collector PTC, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.30, No.6, pp.28-33, 2010.
4. Kang, M.C., Kang, Y.H., Yoon, H.K., Yoo, S.Y. A Characteristic Analysis on the Thermal Performance of the Dish Type Solar Concentrating System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.26, No.1, pp.7-12, 2006.

5. Choi, E.Y, Kim, Y., Seo, T.B., Effects of Absorber Tube Shape and Operating Conditions on Thermal Performance of All-Glass Evacuated Tube Solar Collectors, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.25, No.1, pp.19-25, 2005.
6. Han, Y., Park, Y.C., Performance Prediction of a Hot Water Supply and Panel Heating System with Solar Energy, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No.5, pp.11-17, 2012.
7. Lee, K.D., Performance Evaluation of Selective Coatings for Solar Thermal Collectors, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No.4, pp.43-50, 2012.
8. Duffie, J.A., Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, Jhon Wiley & Sons Inc., New York, 1991.