



# 일사량에 따른 탄소나노튜브 나노유체의 열 흡수 특성 실험연구 An Experimental Study on the Solar Radiation for heat Absorption Characteristic of CNT Nanofluids

신동욱\* · 김세동\*\* · 정효민\*\*\*†

Dong-Wook Shin\*, Se-Dong Kim\*\* and Hyo-Min Jeong\*\*\*†

(Received 30 July 2019, Revision received 29 November 2019, Accepted 02 December 2019)

**Abstract:** Recently, solar heating system has strongly been highlighted in the industry due to the carbon emission regulation. Multi walled carbon nanotubes have great heat absorption characteristics and excellent electrical conductivity in solar heating system. In this study, the distilled water and various of concentration of nanofluids have been adopted for a solar heating experiment. The difference of temperature was studied by using thermocouples in nanofluid. Furthermore, the electrical conductivity and UV light absorption of nanofluids were analyzed to evaluate their performance. The results of these analyses showed that the higher the concentration, the better heat transfer characteristics and electrical conductivity.

**Key Words :** Absorbance, Electrical Conductivity, Heat Absorption, Nanofluid, Solar Radiation

## 1. 서 론

우리나라 에너지 공급 방식은 화석연료와 원자력 발전에 의존하고 있다. 2017년 기준 World Energy Balance, IEA 보고서에 따르면 우리나라 에너지 소비규모는 세계 9위 수준이다. 산업통상자원부 조사 결과에 따르면 현재 화석연료 비중이 85% 이상으로 의존도가 높으며, 그 다음으로 원자력 발전의 비중이 10% 이상을 차지하고 있

다. 최근 화석연료 사용은 이산화탄소 배출에 대한 규제가 강화되고 있으며, 원자력 발전 사용은 폐기물 처리 및 최근 한태평양 조산대의 불의 고리라 불리는 간접영향권에 속해 지진의 영향으로 많은 위험성의 부담을 가지고 있다. 국내외적으로는 2015년 12월 12일 파리에서 열린 21차 유엔기후변화협약 당사국총회에서 195개국이 채택한 파리기후협정은 산업화 이전 수준 대비 지구 평균 온도가 2°C 이상 상승하지 않도록 온실가스

\*\*\*† 정효민(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-2011-9362) :

경상대학교 에너지기계공학과 교수

E-mail : hmjeong@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9114

\*신동욱(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-2589-0420):

경상대학교 대학원 에너지기계공학과

\*\*김세동(ORCID:http://orcid.org/0000-0003-2640-2385):

경상대학교 대학원 에너지기계공학과

\*\*\*† Hyo-Min Jeong(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-2011-9362)

: Department of Energy & Mechanical Engineering, Gyeongsang University Professor.

E-mail : hmjeong@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9114

\* Dong-Wook Shin(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-2589-0420)

: Department of Energy & Mechanical Engineering, Gyeongsang University.

\*\* Se-Dong Kim(ORCID:http://orcid.org/0000-0003-2640-2385)

: Department of Energy & Mechanical Engineering, Gyeongsang University.

배출량을 단계적으로 감축하는 내용을 담고 있으며, 2020년 이후 적용할 새로운 기후협약으로 1997년 채택한 교토의정서를 대체하는 것이며, 교토의정서에서는 선진국만 온실가스 감축 의무가 있었지만, 파리 협정에서는 참여하는 195개 당사국 모두가 감축 목표를 지켜야 하도록 파리협정을 비준하였고, 2016년 11월 4일부터 기후협정으로서 최초로 포괄적인 구속력이 적용되는 국제법으로 효력이 발생되었다. 현재 우리나라는 개발도상국으로 분류되어 온실가스에 대한 2030년의 목표연도 온실가스배출 전망치 대비 37%의 감축목표가 제출되었으며, 미래 산업 발전을 위해 대체에너지 개발이 시급한 단계이다. 추가적으로 2016년 10월에 열린 국제해사기구(IMO) MEPC 70차 회의에서는 2020년 1월 1일 부터 전 세계 모든 해역을 운항하는 선박에서 사용되는 연료유 속의 황산화물(SOx) 배출량을 현행 3.5→0.5% 이하로 낮춰야 하는 규제사항이 통과되었다.<sup>10)</sup> 이에 따른 각국의 환경오염에 대한 규제가 더욱더 강화되고 있으며, 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지 물질의 필요성이 대두되어 대체방안으로 화석연료와 원자력에너지를 대체할 신재생에너지가 각광을 받고 있다. 이러한 이유로 현재 전 세계적으로 각 국에 적합한 신재생에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 신재생에너지는 여러 가지 종류가 있다. 우리나라의 경우 부족한 지하자원으로 인하여 신재생에너지로 활용할 만한 에너지자원이 많지 않다. 신재생에너지란 신에너지와 재생에너지의 합성어이다. 신에너지의 연료전지, 수소에너지, 석탄화가스 액화에너지 등 저공해 포함 무공해의 새로운 에너지원을 포함하는 에너지이며, 재생에너지란 태양에너지, 풍력에너지, 해양에너지, 지열에너지, 폐기물에너지 등 재사용이 가능한 에너지를 말한다. 이러한 에너지 종류 중 태양에너지에는 무한한 에너지가 저장, 방출되고 있으며 지속적인 에너지를 공급해주는 태양열은 안정적인 에너지 공급원 중에 한가지이며 신재생에너지의 대표적인 에너지원으로 각광받고 있다. 태양에너지는 크게 태양광 발전에너지와 태양에너지 등의 2가지로 나뉜다. 태양광 발전

은 태양에너지를 광전효과를 이용하여 직접적으로 전기에너지로 변환시켜 활용하는 방법이며, 태양열 에너지는 태양의 복합에너지를 흡수하여 열에너지로 변환시키며, 발생된 열에너지를 활용하는 방법이다. 태양에너지는 태양이 가지고 있는 무한한 에너지자원을 활용하여 지속적으로 재생가능한 에너지이다.<sup>11)</sup> 이동원 등<sup>12)</sup>은 형판형과 진공관형 집열기를 이용하는 대규모 태양열 시스템 동작 특성 분석을 통하여 태양열 시스템의 제어 방식에 연구하였다. 손지훈 등<sup>13)</sup>은 나노유체를 적용한 태양열 집열시스템은 조홍현<sup>2)</sup>의 열전달 특성실험연구를 통하여 나노유체의 농도에 따른 열전도도가 성능이 향상되는 것을 실험결과를 얻었다. 이처럼 태양광 발전의 에너지 활용 등의 효율성은 거의 한계치 달해 있지만 태양열 에너지 활용분야는 아직 무진무궁하게 많이 남아 있다. 이러한 연구결과와 같이 일반 유체에 비해 고체의 열전도율이 상대적으로 높음<sup>1,5,8,14,16)</sup> 착안하여 나노유체를 혼합하여 열전달 효율을 극대화하기 위한 방안을 검토하게 되었다. 그중 한 가지 종류의 실험방법인 히팅에 대한 열전달 특성이 우수한 나노유체의 실험연구를 진행하게 되었다. 태양열 열전도도를 증가시킬 수 있는 인위적인 온도 상승 방법보다는 태양열의 실제 노출 적용하여 집열기 내부의 온도를 높이는 방법을 선택하였으며, 작동유체의 열 효율성이 상대적으로 우수 평가된 CNT 나노유체의 적용 타당하다고 판단되어 실험연구에 적용하고자 한다. 나노유체란 직경이 100 nm보다 작은 입자들을 분산시켜 만든 유체이다.<sup>3,4,6,7)</sup> 이처럼 나노유체에 대한 연구는 나노유체의 종류, 나노유체의 종류, 나노유체의 농도, 나노유체의 입자 크기에 따른 연구들이 주를 이루고 있으며, 이후에도 지속적으로 태양열 에너지를 이용하여 실험, 해석연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 CNT 나노유체의 농도에 따른 태양열 집열 실험을 인공태양이 아닌 실제 태양열을 적용하였을 경우 나타나는 결과에 대해서 관심을 가지고, 외부노출 상태에 실험 장치를 설치하여 실험결과를 도출하게 된 본 연구의 결과값의 의미가 크다고 하겠다.

## 2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에서 적용한 CNT와 태양열을 이용한 나노 열유체 전달의 실험장치의 개략도이다. Fig. 2에서 일사계와 데이터 로거 장비와 열전대 사이의 설치 길이는 온도에 따른 특정 전압 신호의 손실을 최소화하기 위해 각각 4가지 측정 유체와 동일한 길이인 2.5 m를 적용하였다.

비커 상부에는 Nanofluids의 침전을 최소화 하기 위해 비커 상부에 9 V, 500 mA, 325 rpm, DC 모터를 적용되었으며, 직류 공급 장치로는 220 V, 60 Hz, 0.5 A로 드론용 프로펠러를 연결 고정하여 4가지의 각각 다른 유체를 동일한 시험 조건으로 실험하는 것이므로 프로펠러 회전으로 인한 비커 내부의 유체 유동속도는 고려하지 않았다. 태양열 흡수 용기는 순수한 유체의 열 특성을 확인하기 위하여 1,000 ml 투명 비커를 사용하여 일사량 변

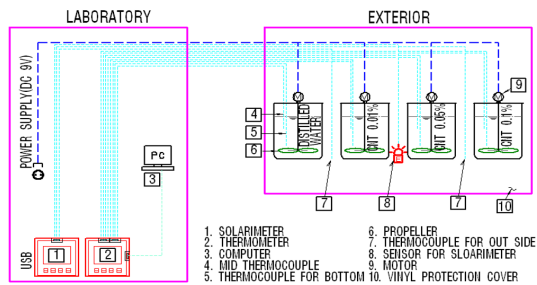


Fig. 1 schematic diagram of experimental apparatus



Fig. 2 Solarimeter & Thermocouple temperature records device



Fig. 3 The exterior of experimental apparatus

화에 따른 온도변화를 확인하기 위해 Solarimeter의 좌우측에 온도확인용 Thermocouple을 설치하였다. 열전달 확산을 비교 분석하기 위해 Distilled Water (DW)와 농도에 따른 CNT 나노유체인 0.01 wt%, 0.05 wt%, 0.1 wt%의 서로 다른 4개의 용액의 나노유체를 제조하기 위하여 초음파 분산기를 사용하였으며, 40분간의 초음파 분산을<sup>8)</sup> 통해 나노유체를 제조하였으며, 같은 조건하에 각 비커에 유체를 자연 태양열 상태로 노출 하여 유체의 열 전달 확산 결과를 연구 진행하였다.

Fig. 3에서 비커 내부에 열전대를 중간과 하단부에 설치하였으며, 온도 변화에 따른 열전달 변화 측정기간은 일주일 동안 4가지의 나노유체를 연속적인 온도 변화에 따른 열전달 특성을 분석하였다.

## 3. 나노유체의 열 특성

CNT 나노유체의 농도에 따른 성능특성을 연구하기 위한 실험으로 나노유체의 흡광율, 전기전도도와 각 나노유체 농도에 따른 온도 상승률 차이를 측정하여 나노유체의 물리적 특성을 확인하였으며, 농도가 다른 나노유체의 실험값은 다음과 같다.

### 3.1 흡광율(Absorbance) 특성

나노입자의 분산도는 기저유체 내부에 나노입자의 분산도를 확인하는 실험으로 나노입자의 분

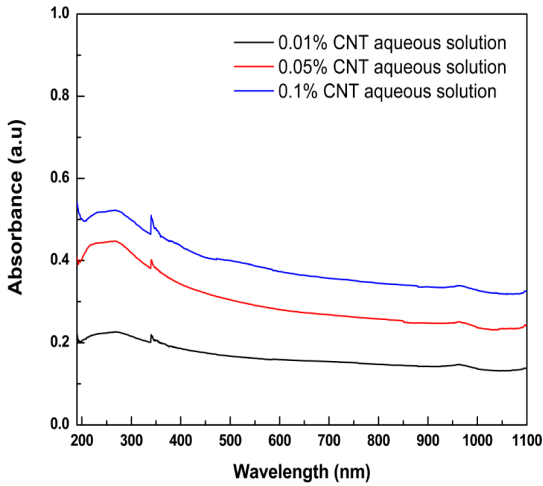


Fig. 4 Absorbance Graph of a base liquid(DW) and the nanofluids with three kind CNT concentrations

산이 잘 이루어져야 나노유체의 정량적 평가에 있어 적절한 성능을 확인할 수 있다. 본 Fig. 4의 흡광율은 UV-Spectrophotometer 장비를 통해서 확인하였으며, 순수한 Distilled Water를 0의 값으로 교정한 다음 각 분산도 값을 나타내었다.

x축의 Wavelength 200~1,100 nm는 자외선, 가시광선, 적외선 영역을 나타내며, 실험값과 같이 나노유체의 농도가 증가함에 따라 분산도가 증가함을 다음과 같이 확인할 수 있었으며, 이 실험 결과로 확인할 수 있듯이 나노유체의 분산이 농도에 따라 적절하게 잘 이루어진 것으로 Fig. 4를 통해 확인되었다.

### 3.2 전기전도도 (Electrical Conductivity) 특성

나노유체의 전기전도도 측정실험<sup>9,15)</sup>은 본 실험을 진행하기 전에 농도에 따른 전기전도도 값을 비교하는 실험값으로 Distilled Water 대비 0.01 wt%, 0.05 wt%, 0.1 wt%의 나노유체의 전기전도도는 각각 23.8%, 71.4%, 80.9%로 농도에 따라 전기전도도가 증가하는 것으로 Fig. 5와 같이 나타났다.

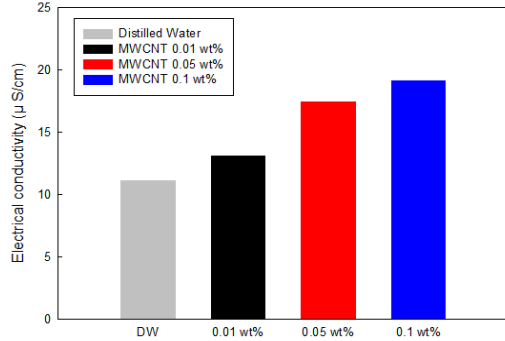


Fig. 5 Electrical Conductivity Graph of Nanofluids and a base Distilled Water

### 3.3 일사량에 따른 나노유체의 열 흡수성 평가

실험 장치를 설치하고 주간 데이터를 측정할 결과 Fig. 6과 같은 데이터값을 도출할 수 있었다. Accumulate Time은 2018년 1월 1일 0분을 0으로 지정하고 10분마다 숫자 1씩 증가하는 누적시간의 기록으로 나타낸 것이다. 41,100은 2018년 10월 9일 18시 50분을 나타내며, Fig. 6에서 네모박스 안의 값을 실험결과값으로 이용하려고 한다. 이러한 사유는 외부의 영향조건인 날씨 기후 조건 등이 본 실험 제약조건에 해당되어 비, 태풍, 등의 주위 환경조건의 영향이 많아 균등한 분포 값을 확인할 수 있었던 Fig. 6의 네모박스 결과값이 상대적으로 양호한 측정 결과값의 데이터로 신뢰할 수 있다고 판단되었다. Fig. 7, 8, 9, 10은 2018년 10월 15일 12시 40분 Sola Radiation의 최

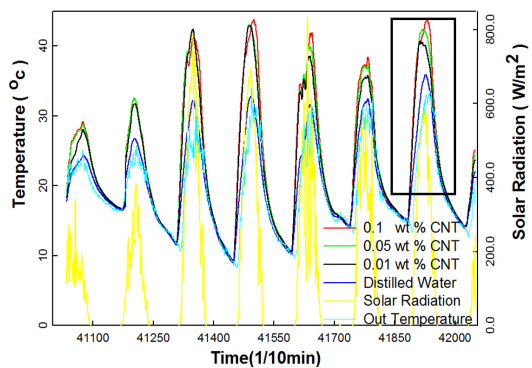


Fig. 6 Temperature & solar radiation value according to accumulate time

고점 기준값 612 w/m<sup>2</sup> 각각의 나노유체의 농도가 태양열 온도변화 따른 온도변화와 상관관계를 나타낸 그래프이다.

본 Fig. 10에서 일사량 612 w/m<sup>2</sup>일 때 CNT 나노유체 0.1 wt%는 43.0°C까지 상승함을 알 수 있

Table 1 41,890 to 41,962 days results data on temperature changes of nanofluids for solar radiation.

Data K	Distilled Water	CNT 0.01 (wt%)	CNT 0.05 (wt%)	CNT 0.1 (wt%)
$T_s$ (°C)	35.8	40.7	42.3	43.7
$T_{max}$ (°C)	18.5	21.2	21.3	22.2
$\Delta T$ (°C)	17.3	19.5	21.0	21.5
$\Delta T$ Increase Ratio (%)	0	1.12%	1.21%	1.23%

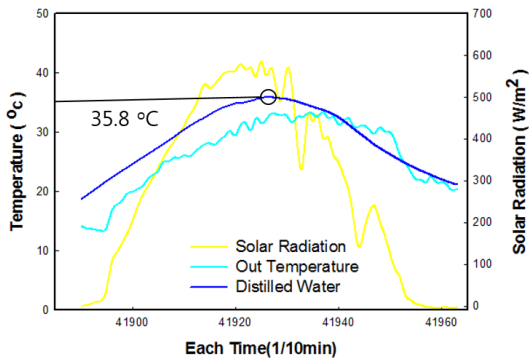


Fig. 7 Distilled Water and solar radiation value

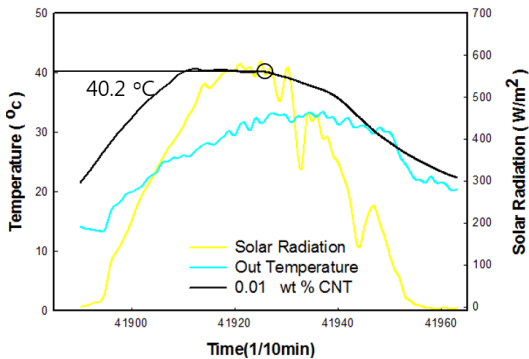


Fig. 8 0.01 wt% and solar radiation value

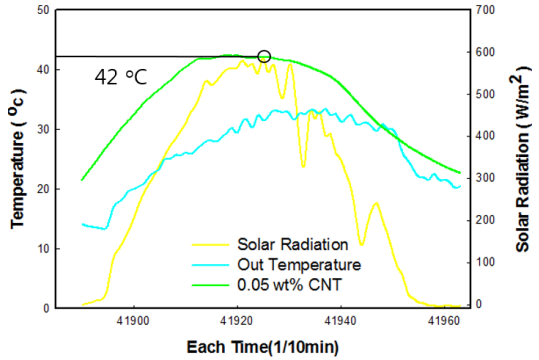


Fig. 9 0.05 wt% and solar radiation value

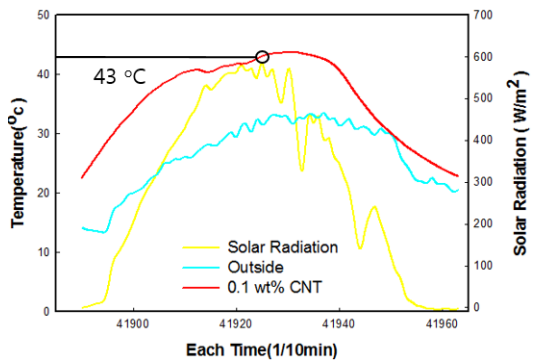


Fig. 10 CNT 0.1 wt% and solar radiation value

었고, 데이터 측정기간 2018년 10월 15일 오전 6시 30분부터 저녁 18시 30분 41,890~41,962 기간의 일사량 최고점 이후 일정 기간 후 비커 내부 온도의 최고 도달점에 도달함을 알 수 있었으며, Table 1과 같이 1일간 최고 상승온도는 43.7°C로 측정되었다.

Fig. 6, 7, 8, 9, 10의 실험 결과를 통해 CNT 나노유체의 열전도도 특성이 0.1 wt% ← 0.05 wt% ← 0.01 wt% ← Distilled Water의 특성이 0.1 wt% 일 때의 상태가 가장 우수한 값을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 실험연구에서는 태양열 집열 시스템의 성능 특성에 관한 실험연구를 위하여 Distilled Water 및 CNT 나노입자가 첨가된 고분자의 혼합 유체인

0.1 wt%, 0.05 wt%, 0.01 wt% 각각의 4가지 CNT 나노유체를 혼합 제작하여 비교 연구하였다. 실제 자연환경에서 태양열 노출실험 데이터 변화에 대한 정량적 실험결과를 통하여 나노유체의 혼합 물성 특성을 검토하였으며, CNT 나노유체 및 복합재료의 응용 분야에 확대 적용가능함이 확인되어 이번 연구실험 결과는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 가장 높은 농도인 CNT 0.1wt% 의 경우 가장 우수한 분산도를 보이는 것으로 보아 CNT의 농도가 증가함에 따라 분산 성능이 향상됨을 볼 수 있었다.

2) CNT 나노유체의 농도가 증가됨에 따른 전기 전도도가 향상됨을 보아 본 실험결과를 통하여 CNT의 농도가 증가함에 따라 전기전도도 또한 성능이 향상됨을 볼 수 있었다.

3) 2018년 10월 15일 12시 40분 일사량 최대 상승 시점 612 w/m<sup>2</sup>일 때 Distilled Water 대비 CNT 0.01 wt%, CNT 0.05 wt%, CNT 0.1 wt%의 각 나노유체의 온도 증가율은 Distilled Water 기준 13.6%, 18.2%, 22.1%로 일정량의 CNT 나노유체의 농도가 높을수록 온도상승 또한 높은 결과값을 얻을 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (No 2017R1A2B4007620).

## Author contributions

D. W. Shin and H. M. Jeong; Conceptualization, D. W. Shin. and S. D. Kim.; Data Curation, D. W. Shin. and S. D. Kim; Formal Analysis, Methodology, D. W. Shin and S. D. Kim.; Investigation, H. M. Jeong; Validation, D. W. Shin; Writing - Original Draft Preparation, H. M. Jeong and S. D. Kim; Writing - Review and Editing.

## References

1. S. I. Park and W. H. Lee, 2010, "A Study on the High Temperature Thermal Conductivity Measurement of Nanofluid Using a Two-Phase Model", *Journal of Mechanical Science and Technology* Vol. 34, No. 2, pp. 153-156. (<https://doi.org/10.3795/KSME-B.2010.34.2.153>)
2. H. M. Kim, J. H. Kim and H. H. Cho, 2014, "Analysis on Thermal Performance of an Solar Collector with Using MWCNT and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluid", *Journal of the Korean Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers*, pp. 434-437. <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06067028>
3. Y. J. Hwang, J. H. Park, H. S. Kim and J. K. Lee, 2006, "A Study on Thermal Conductivity Characteristics of Nanofluids", *Society of Air-conditioning Refrigerating Engineers of Korean*, pp. 162-167.
4. S. M. Lim, 2015, "Theoretical Analysis of Heat Pipe Thermal Performance According to Nanofluid Properties", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 39, No. 7, pp. 599-607. (<https://doi.org/10.3795/KSME-B.2015.39.7.599>)
5. S. P. Jang, 2004, "Thermal Conductivities of Nanofluids", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 28, No. 8, pp. 968-975.
6. H. L. Kwon and S. P. Jang, 2010, "Study on Thermal Conductivity of Distilled Water/Commercial Coolant based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids", *Journal of Mechanical Science and Technology*, pp. 42-45.
7. X. Wang, X. Xu and S. U. S. Choi, 1999, "Thermal conductivity of nanoparticles-fluid mixture", *Journal of Thermophysics Heat Transfer*, Vol. 13, No. 4, pp. 471-480.
8. W. J. Kim and Kim N. J. Kim, 2016, "Study on Heat Transfer and Fouling of Flow Boiling

- Systems using Oxidized Graphene Nanofluid", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 36, No. 3 pp. 63-74.  
(<https://doi.org/10.7836/kses.2016.36.3.063>)
9. S. S. Park, Y. H. Kim and N. J. Kim, 2015, "A Experimental Study on the Boiling Heat Transfer Characteristics of Nanofluids by the Size and Mixing Ratio of Graphene Particle", Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 35, No. 2, pp. 53-57.  
(<https://doi.org/10.7836/kses.2015.35.2.053>)
  10. IMO Briefing:27 28/10/2016 "IMO sets 2020 date for ships to comply with low sulphur fuel oil requirement. 2016, <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/MEPC-70-2020-sulphur.aspx>.
  11. Korea Energy Agency New Renewable Energy Department.  
[https://www.knrec.or.kr/energy/sunlight\\_intro.aspx](https://www.knrec.or.kr/energy/sunlight_intro.aspx)
  12. D. W. Lee, J. H. Heok and M. H. Kim, 2017, "Analysis of Operating Characteristics of Large-scale Solar Thermal System Using Two Types of Collectors". Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 37 No. 2, pp. 67-65.  
(<https://doi.org/10.7836/kses.2017.37.2.067>)
  13. J. H. Son, J. Y. Jung and H. J. Kim, 2013 "A Study on Heat Transfer Enhancement for Solar Collecting System by using Nanofluids". Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, pp. 304-309.
  14. B. H. Kim, 2007 "A Study on the Thermal Conductivity of Carbon-Nanotube Nanofluids", The Society of Air-conditioning Refrigerating Engineers of Korean, Vol. 19, No. 3, pp. 275-283.
  15. T. H. Cho, S. D. Park, Y. S. Lee and I. H. Baek, 2004, "Enhancing Thermal Conductivity of Nanofluids Containing Carbon Nanotubes", Korean Chem. Eng. Res, Vol. 42, No. 5, pp. 624-629.
  16. C. Pang, J. W. Lee, H. Hong and Y. T. Kang, 2014, "Heat conduction mechanism in nanofluids", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 28, No. 7, pp. 2925-2936.