

태양열에너지 시스템용 부동액 농도 제어 장치의 개발

서충길*, 원종운
호원대학교 자동차기계공학과

Development of Antifreeze Concentration Control device for Solar Heat Energy System

Choong-Kil Seo*, Jung Wun Won

Division Department of Automotive & Mechanical Engineering, Howon University

요약 화석연료를 사용하는 내연기관에서 배출되는 가스는 환경오염, 지구온난화와 인체에 유해하여 많은 사회적인 문제를 야기시키고 있다. 최근에는 신재생에너지의 수요가 증가하고 있으며, 정부의 정책적인 지원과 연구개발 또한 활발하다. 가정에서 많이 사용되는 태양열에너지 시스템의 집열부는 열매체로 프로필렌글리콜 부동액이 물과 50% 고정된 값으로 혼합되어 영하온도에서도 집열부에 열을 전달한다. 그러나 집열부 내의 열매체에 누수가 발생되면 태양열시스템 특성상 보충수를 태양열 집열부에 공급하는데, 이로 인하여 보충수 내의 급수로 인하여 부동액 농도가 낮아지게 된다. 이에 따라 태양열 집열 부위의 온도가 저하되어 동파를 야기하게 되는데 태양열에너지 시스템 정비·보수를 위해서 비용 부담이 증가하여 많은 문제점을 증가시킨다. 이 연구는 태양열에너지 시스템에 발생하는 동파 방지를 위하여 온도 저하에 따라 자동으로 부동액 농도를 제어가능한 장치를 개발하는 것이다. 물 성분이 프로필렌글리콜보다 전기전도도가 크며, 온도가 저온으로 내려갈수록 저항값이 증가하였다. 프로필렌글리콜 농도 제어 목표값 40, 50 및 60% 값은 39.6, 50.7 및 60.1%의 프로필렌글리콜 농도값으로 보정을 통하여 제어를 해야 한다.

Abstract The gases emitted from internal combustion engines using fossil fuels are causing many social problems, such as environmental pollution, global warming, and adverse health effects on the human body. In recent years, the demand for renewable energy has increased, and government policy support and research and development are also active. In the collecting part of a solar energy system, which is widely used at home, propylene glycol (PG) (anti-freeze), as a heating medium, is mixed with water at a fixed value of 50%, and the heat is transferred to the collecting part at subzero temperatures. On the other hand, when leakage occurs in the heat medium in the heat collecting part, supplemental water is supplied to the solar heat collecting part due to the characteristics of the solar heat system, so that the concentration of antifreeze in the replenishing water becomes low. As a result, the temperature of the solar heat collecting part is lowered resulting in a frost wave, which causes economic damage. The purpose of this study was to develop a device capable of controlling the antifreeze concentration automatically in response to a temperature drop to prevent freezing of the heat collecting part generated in the solar energy system. The electrical conductivity of the H₂O component was larger than that of PG, and the resistance increased with decreasing temperature. The PG concentration control values of 40, 50, and 60% should be controlled through calibration with a PG concentration of 39.6, 50.7, and 60.1%.

Keywords : Antifreeze, Energy, Geothermal, Solar heat, Propylene Glycol

본 논문은 중소기업청에서 시행하는 산학연협력 기술개발사업(C0453424)지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Choong-Kil Seo(Howon Univ.)

Tel: +82-63-450-7215 email: ckseo@howon.ac.kr

Received January 25, 2018

Revised (1st March 16, 2018, 2nd April 5, 2018)

Accepted April 6, 2018

Published April 30, 2018

1. 서론

화석연료를 사용하는 내연기관에서 배출되는 가스는 환경오염, 지구온난화와 인체에 유해하여 많은 문제를 야기시키고 있다[1]. 신재생에너지[2-11]가 각광을 받고 있으며 그 중 태양열[8,9]지열에너지[2,6]시스템에 대한 실용화와 연구개발이 지속되고 있다. 가정에서 많이 사용되는 태양열에너지 시스템의 집열부(Collection part)는 열매체로 프로필렌글리콜(Propylene Glycol) 부동액이 물(H₂O)과 50% 고정된 값으로 혼합되어 영하온도에서도 집열부에 열을 전달한다. 그러나 집열부의 배관 및 주변장치에 열매체 유체(50%PG+50%H₂O)가 리크되면 태양열시스템 특성상 보충수 탱크(50%PG+50%H₂O)에 열매체 유체를 태양열 집열부에 공급한다. 보충수 탱크의 유체의 양이 감소하면 급수펌프가 작동하여 보충수 탱크에 물을 공급하므로 결국은 부동액 농도가 낮아지게 된다. 이에 따라 태양열 집열 부위의 온도가 저하되면 동파를 야기하게 하여 태양열·지열용 시스템 정비·보수를 위한 비용 부담이 증가하여 많은 문제점을 야기하고 있다. 국내·외를 통틀어 태양열에너지 시스템용 열매체인 유체에 대해 부동액 농도를 제어하는 장치는 전무하며, 이 연구개발을 통하여 태양열에너지 시스템의 에너지 전달 효율증가와 더불어 하자보수에 대한 비용을 큰 폭으로 저감시킬 수 있어서 이에 대한 연구개발은 의의가 있고 중요하다.

이 연구는 태양열에너지 시스템의 동파 방지를 위하여 온도 저하에 따라 자동으로 부동액 농도를 제어하는 장치를 개발하여 특성을 파악하는 것이다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 태양열에너지 시스템용 부동액 농도제어장치의 개략도이다. 집열부 및 시스템에 장착되어있는 온도센서(SEWON/OKE-2002)의 온도 저하에 따라 부동액 프로필렌글리콜(우성케미칼, PG-SOL302)[12]이 동결되지 않도록 정량펌프(KEMPION, AX1-13-PFC-HWS-K)로 공급한다. 보충수 탱크에 주입되는 열매체를 하단에 있는 밸브와 연결되어있는 순환펌프(Wilo, PB-138MA)를 이용하여 부동액 농도센서(ATAGO, CM-800α-PG)[13]를 통과하게 한다. 부동액 농도에 따라 부동액 농도 센서

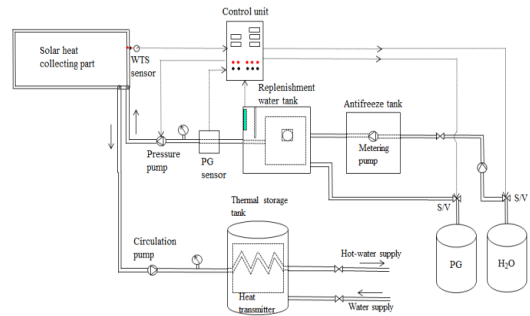


Fig. 1. Schematic diagram of antifreeze concentration control devices for solar energy system

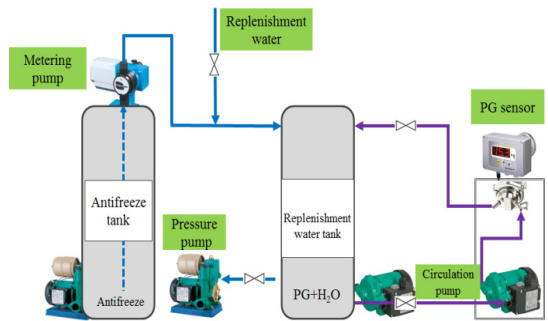


Fig. 2. Major composition diagram of antifreeze concentration control devices

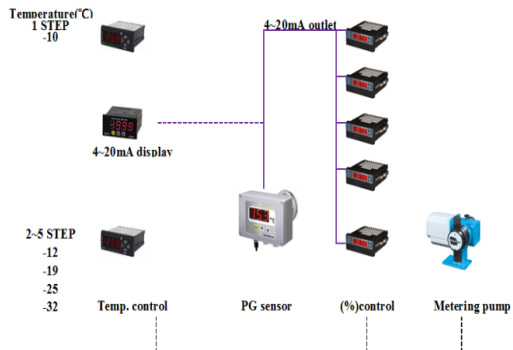


Fig. 3. Configuration diagram of sequence control

의 출력 전류(mA)값이 변동이 되며, 이 값은 부동액 농도제어장치로 입력이 된다. 부동액 농도값에 따라 캘리브레이션 되어 있는 값을 시퀀스 제어를 이용하여 보충수 탱크에 PG 100% 원액을 보충하게 하며 부동액 농도가 제어 가 되면 PG와 H₂O 공급을 차단하게 하는 원리이다.

Fig. 2는 부동액 농도 제어장치의 주요 구성도이며 보충수 탱크 내에 있는 열매체 유체는 순환펌프에 의해 PG 농도계를 경유하여 보충수 탱크에 유입된다. 부동액 탱크에는 PG 100%의 원액이 들어있고 정량펌프는 컨트롤 유닛에 의해 프로그램화되어 있는 PG 농도에 이르기 까지 작동하여 부동액 농도를 맞춘다.

Fig. 3은 부동액 농도 제어장치의 sequence 제어장치의 구성 회로도를 나타내고 있다. 실생활에 사용되는 엘리베이터나 신호등 등은 간편하면서도 실용화 측면에서 비용 절감 효과가 있는 sequence 제어가 이용되고 있다. 이 연구에서도 외기온도와 부동액 농도계에서 출력되는 입력 신호(4 ~ 20mA)를 기준으로 정량펌프 및 급수펌프를 가동시켜 부동액 농도를 제어하는 원리를 이용하였다. 외기 온도의 범위는 -10 ~ -32℃까지를 설정하여 동결되지 않는 조건으로 PG 농도를 제어하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부동액 프로필렌글리콜의 물성

태양열에너지 시스템에 사용되는 열매체중 부동액은 프로필렌글리콜(PG)이 친환경적이므로 주로 사용되며, PG의 동결 기초특성을 파악하는 것은 부동액 농도 제어 전략을 수립하기 위한 중요한 요소가 된다. Fig. 4는 1atm, 냉동고 온도 -50℃ 조건에서 50%PG+50%H₂O 샘플과 100%PG 샘플을 대상으로 동결시켰다. PG 농도가 50%인 샘플은 동결되었다. 태양열에너지 시스템이 이와 같은 분위기일 경우 동파 및 시스템에 악영향을 미칠 우려가 발생되므로 온도저하에 따른 부동액 농도제어가 꼭 필요하다. Fig. 5는 부동액 PG 물성을 파악하기 위하여 온도에 따른 냉각수온센서(WTS)의 저항특성을 나타내고 있다. 1atm, 냉동고 온도 -10 ~ -60℃ 동결조건(24hr)에서 부특성을 갖는 냉각수온센서의 저항값을 나타내고 있다. PG농도 100%인 샘플은 50%PG가 함유된 유체 샘플보다 저항값이 크다. 이는 H₂O 성분이 PG 성분 보다 전기전도도가 크기 때문이다. 또한 온도가 저온으로 내려갈수록 저항값이 증가하는데 이는 저온으로 갈수록 물 질내의 원자들의 활성이 저하되기 때문이다. Fig. 6은 1atm, 냉동고 온도 -10 ~ -50℃ 조건 (24hr)에 따른 부동액 PG 농도에 따른 동결특성을 나타내고 있다. -50℃ 동결조건인 경우 PG 50% 비율은 완전 동결되었으나 PG

100% 조건은 동결되지 않았으나 유체가 너무 굳어짐에 따라 이 정도의 액체수준으로는 열매체 역할을 할 수 없으리라 판단된다. -30℃ 이하 온도에서는 동결되지 않았고 적절하게 액상을 유지함에 따라 태양열에너지 시스템의 열매체는 -30℃ 이상까지는 PG 50% 비율로 작동될 수 있다.

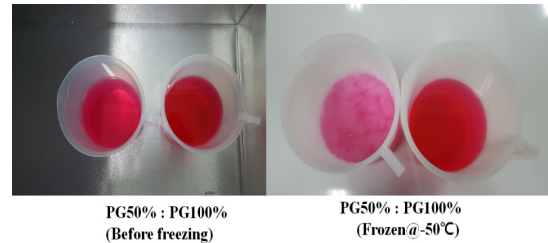


Fig. 4. Freezing characteristics according to temperature of PG(-50℃)

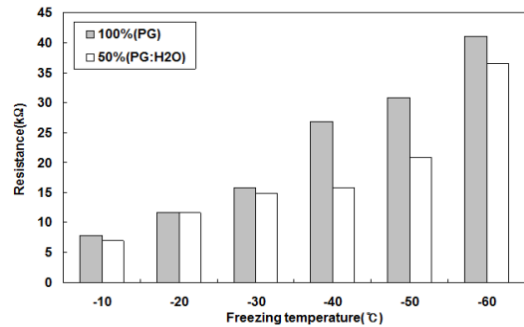


Fig. 5. Resistance characteristics of water temperature sensor

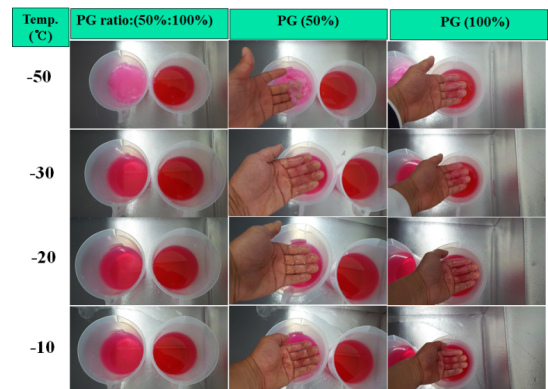


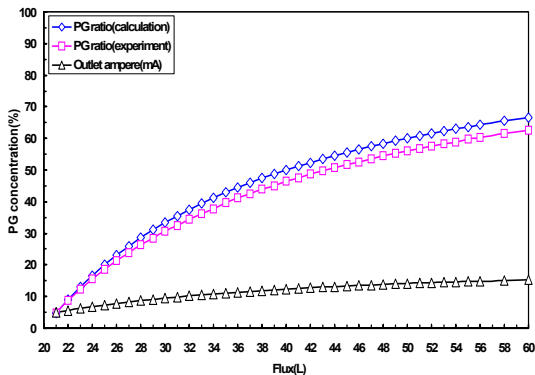
Fig. 6. Freezing characteristics according to temperature of PG concentration

3.2 부동액 농도센서의 정밀도 평가

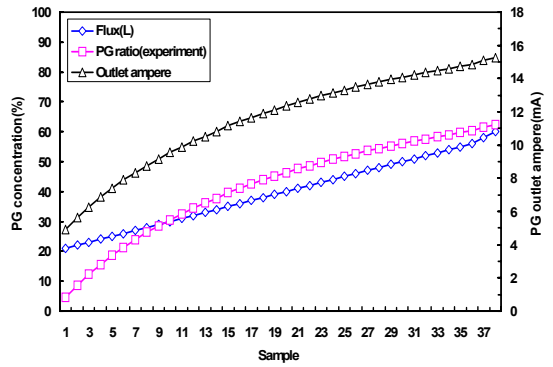
태양열에너지 시스템의 부동액 농도제어장치 개발의 핵심 부품은 부동액 PG 농도계이다. 일본에서 개발한 제품이 유일하며 이를 이용하여 부동액 농도제어장치 개발을 위하여 농도계의 정밀도 측정은 필요하다.

Fig. 7은 PG 농도에 따른 농도계의 정밀도를 나타내고 있다. Fig. 7(a)는 물(20L)에 부동액 PG 원액을 1 ~ 40L를 주입하면서 이론적인 PG 농도값과 실험값을 비교하였다. PG 농도계는 이론값에 비해 실험값이 평균 6.87% 낮게 나타났으며, 유량이 증가할수록 오차가 크다. Fig. 7(b)는 PG 농도에 따른 부동액 농도계의 출력 전류값을 나타내고 있다. PG 농도 센서는 PG 농도가 0 ~ 80% 일 경우에 4 ~ 20mA의 출력전류를 나타내는 사양이다. PG 농도가 4.7 ~ 67%일 때 출력 전류값은 4.93 ~ 15.25mA를 나타냈으며, 유량이 증가할수록 출력 전류값도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 전반적으로 국내의 겨울온도는 -30℃ 이하 기온을 유지하는 경향을 살펴볼 때 태양열에너지 시스템의 PG 농도는 40 ~ 65% 수준으로 정밀제어 될 필요가 있으며 부동액 농도 제어장치의 실용화를 위해서는 부동액 농도계의 오차부분을 보정 인자를 도출하여 제어장치를 개발할 필요가 있다. 국내에서 아직까지 PG 농도계를 개발하지 못한 상황이며, 국내공인기관에서는 수요 및 기타 여건을 고려하여 부동액 농도계의 검·교정을 실행하지 못하는 상황이다.

Fig. 8은 부동액 프로필렌글리콜의 농도 측정용 자동 측정 센서와 수동 농도 측정기와의 농도값의 비교를 나타내고 있다. 상온조건에서 프로필렌글리콜의 농도(12.3 ~ 60.2%)에 따라 부동액 센서에서 출력되는 디지털 값과 수동 계측기의 좌측 안쪽 농도값과는 거의 일치하고 있다.



(a) Comparison of theoretical and experimental value of PG concentration



(b) Outlet ampere according to PG concentration

Fig. 7. Measurement accuracy according to antifreeze PG concentration

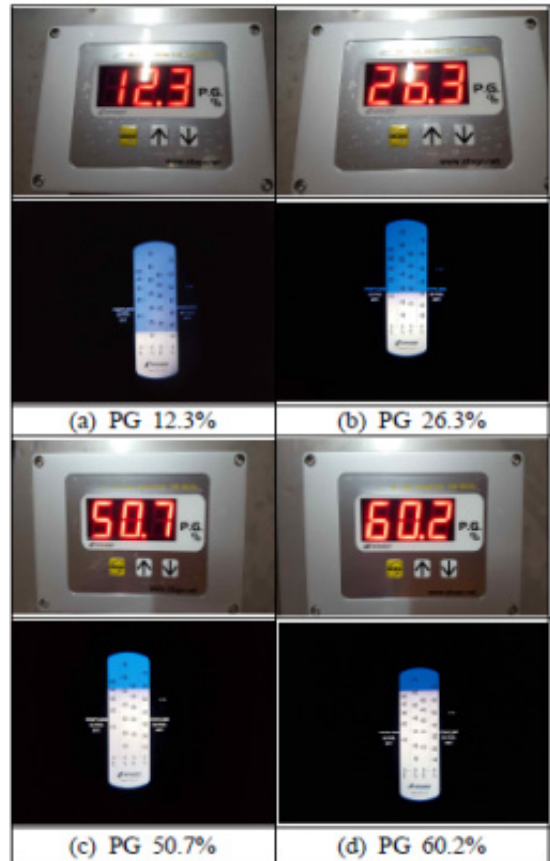


Fig. 8. Comparison of automatic and manual a measuring instrument for measuring PG concentration

3.3 온도에 따른 부동액 농도제어

Fig. 9는 PG 농도에 따른 동결점과 보충수의 열매체인 유체가 동결되지 않도록 제어전략 그래프를 나타내고 있다. Fig. 9(a)의 PG 농도에 따른 동결특성을 살펴보면 -7°C에서 -40°C에 이르기까지 PG 20 ~ 60%:H₂O 80 ~ 40% 조건일 때 동결된다. PG 농도는 온도저하에 따라 $y=-0.80362x+2.5179x+83.5$ 함수값으로 근사하게 동결되는 특성을 가지고 있다. 부동액 PG 농도의 동결되는 근사치의 함수를 알게 되면 이를 토대로 H₂O:PG 농도에 따른 부동액 특성의 함수를 알 수 있어서 제어전략을 수립하기가 용이하다. 현재 태양열에너지 시스템에 사용되는 PG는 물과 50%로 고정으로 주입이 되어 있다. Fig. 9(b)는 Fig. 9(a)에서 PG 농도에 따른 동결되는 특성을 고려하여 PG가 동결되지 않도록 대응이 가능한 제어전략이다. Fig. 9(a)에서 PG:H₂O가 외기온도에 따라 동결되는 PG 농도를 알고 있으므로, Fig. 9(b)는 각각의 외기온도에 따라 PG 농도를 5 ~ 10%를 추가로 공급하여 열매체인 PG:H₂O는 동결되지 않는다. 이는 외기 온도에 따라 적극적으로 대응이 가능하여 태양열에너지 시스템의 효율을 증대시킬 수 있다.

Fig. 10은 부동액 농도제어 전략 수립을 위한 유체의 동결 특성을 나타내고 있다. -20°C에서 H₂O:PG 비율이 60%:40% 조건은 동결이 되었고, 50%:50% 조건은 동결이 되지 않았다. -7 ~ -32°C 온도 조건에서 PG 함량에 따라 동결점이 다르며 부동액 농도 제어장치는 동결점을 기준으로 PG 함량을 추가로 공급하여 동결을 방지하여 에너지 효율을 극대화해야 한다.

Table 1은 개발된 부동액 농도제어장치의 PG 농도 제어값이다. -12, -19 및 -25°C의 PG 제어 목표값은 40, 50 및 60%로써 3회 실험을 통하여 39.6, 50.7 및 60.1%의 PG 농도값을 정밀 제어할 수 있었다.

Fig. 11은 PG 농도계의 온도에 따른 PG 농도 정밀도 측정을 실시하였다. 1atm, 10.2°C에서 PG 농도는 65.4%(25L)로 맞춘 후 -40°C의 냉동고 분위기에서 24hr 동결시켰다. -25 ~ 7°C까지 보충수 탱크내의 유체를 순환시키면서 온도변화에 따른 PG농도를 측정하였다. 10.2에서 65.4%의 PG 농도값은 부동액 온도가 -25°C 까지 저하될 경우 72.2%로 농도값이 증가하였다. 이는 PG 센서 시스템의 유체가 들어가는 챔버의 체적(약 600cc)에 부동액 온도가 저하 될수록 PG 입자의 밀도가 증가함에 따라 실제적으로 PG 센서에서 측정되는 농도

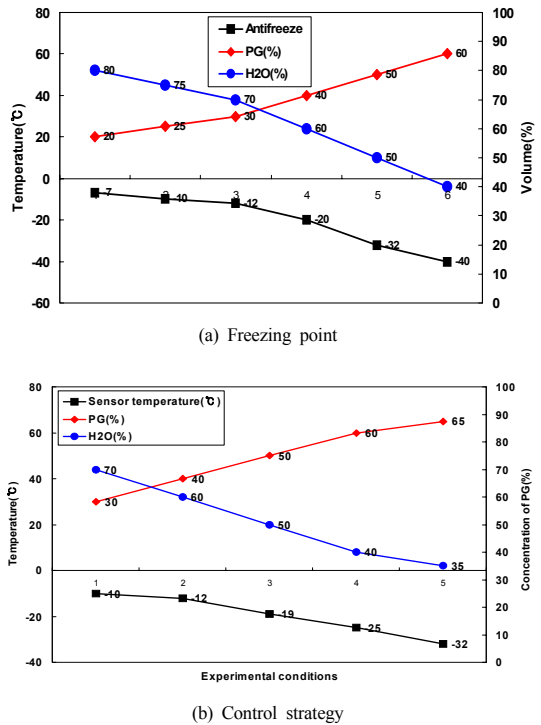


Fig. 9. Freezing point of PG and control strategy of antifreeze concentration

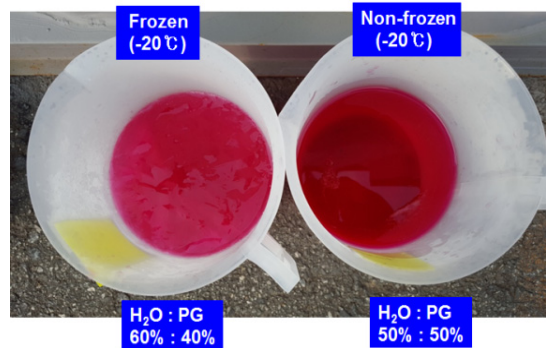


Fig. 10. Freezing characteristics for control strategy of antifreeze concentration

Table 1. Concentration Control of PG according to temperature

Temperature (°C)	Target PG (%)	Control PG (%)
-12	40	39.6
-19	50	50.7
-25	60	60.1

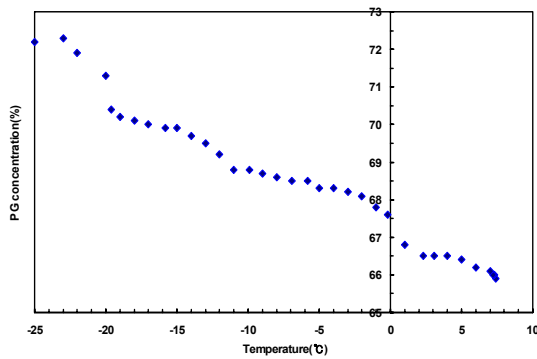


Fig. 11. Antifreeze concentration according to temperature change at 10.2°C, PG 65.4%

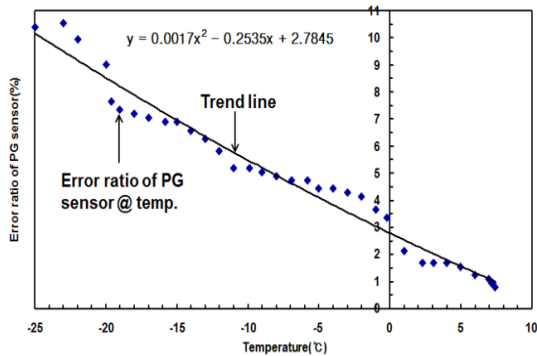


Fig. 12. Error ratio of measurement of PG concentration sensor

가 증가하였기 때문이다. 부동액의 동결 온도에 따른 PG 센서의 농도 측정값은 저온일 때 PG 센서의 농도값은 증가하였고, 온도가 올라갈수록 PG 센서 농도값은 저하되는 경향을 나타내었다. Fig. 12는 온도변화에 따른 PG 농도계의 측정 에러율을 나타내고 있다. 7 ~ -25°C까지의 온도 따른 측정 에러율은 0.76 ~ 10.4%이다. PG 농도 센서의 측정 에러율은 $y=0.0017x^2-0.2535x+2.785$ 함수 값을 근사적으로 나타내고 있다. 온도가 저하됨에 따라 에러율이 약 10% 이하가 발생되는데 이 에러율 만큼 PG 농도를 추가적으로 공급할 수 있도록 프로그램하여 보정하면 실용화가 되리라 본다.

4. 결론

태양열에너지 시스템의 부동액 농도 제어장치 의 연구개발을 통하여 얻은 결과는 아래와 같다.

- 1) H₂O 성분이 PG 성분보다 전기전도도가 컸고 온도가 저온으로 내려갈수록 저항값이 증가하였으며 물질내의 원자들의 활성이 저하되기 때문이다.
- 2) 부동액 농도 증가에 따른 이론적인 값과 실험값을 비교해 볼 때, PG 농도계는 이론값에 비해 실험값이 평균 6.87% 낮게 나타났고, 유량이 증가할수록 오차가 컸다.
- 3) -12, -19 및 -25°C의 PG 농도 제어 목표값은 40, 50 및 60%로써 39.6, 50.7 및 60.1%의 PG 농도값을 정밀 제어할 수 있었다.
- 4) 상온 10.3°C에서 60.4%의 PG 농도값은 부동액 온도가 -25°C까지 저하될 경우 72.2%로 농도값이 증가하였고, PG 농도계의 챔버 체적에 PG 입자의 밀도가 증가하였기 때문이다.
- 5) 7.4 ~ -25°C까지의 온도 따른 측정 에러율은 0.76 ~ 10.4%이었고, PG 농도 센서의 측정 에러율은 차후 보정을 통하여 제어해야 한다.

References

- [1] C. K. Seo, "Research on Improvement of CH₄ Reduction Performance of NGOC for CNG Bus", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 5, pp. 708-715, 2017. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.5.708>
- [2] C. K. Seo, J. W. "Flow and Electricity Power Characteristics of Hydraulic Turbine for Power Generation with Geothermal Energy System", *Won, Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 24-30, 2015. DOI: <https://doi.org/10.9726/kspse.2015.19.1.024>
- [3] M. Bravi, R. Basosi, "Environmental Impact of Electricity from selected Geothermal Power Plants in Italy", *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, no. 2, pp. 301-308, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.015>
- [4] H. Hofmann, S. Weides, T. Babadagli, G. Zimmermann, I. Moeck, J. Majorowicz, M. Unsworth, "Potential for Enhanced Geothermal System in Alberta, Canada", *Energy*, vol. 69, no. 6, pp. 578-591, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.053>
- [5] J. L. Fannou, C. Rousseau, L. Lamarche, K. Stanislaw, "Experimental analysis of a direct expansion geothermal heat pump in heating mode" *Energy and Buildings*, vol. 75, no. 4, pp. 290-300, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.026>
- [6] J. S. Kim, C. K. Lee, "A Study of the Influence of Condensing Water Temperature on Low Temperature Geothermal Power Generation", *Korea Society of Geothermal Energy Engineers*, vol. 3, no. 7, pp. 17-23,

2017.

- [7] K. W. Choi, D. H. Ahn, J. H. Boo, "Influence of temperature gradient induced by concentrated solar thermal energy on the power generation performance of a thermoelectric module", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 10, pp. 777-784, 2017.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.10.777>
- [8] M. S. Hye, S. S. Jik, "A Fundamental Study of BIPV System Functioned as Sollar Collector for Buildings Application", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 27, no. 1, pp. 91-98, 2007.
- [9] B. N. Choon, L. J. Kook, Y. C. Kyun, Y. E. Sang, Y. J. Ho, "A Study on the Operating Characteristics of Solar Collecting System in Solar Thermal/Geothermal Hybrid System with Facade Integrated Solar Collector", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 30, no. 5, pp. 69-76, 2010.
- [10] S. Y. Lim, S. Y. Park, S. H. Yoo, "The Economic Effects of the New and Renewable Energies Sector", *Journal of Energy Engineering*, vol. 23, no. 4, pp. 31-40, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2014.23.4.031>
- [11] J. H. Lee, H. Oh, J. S. Kim, D. W. Kim, W. S. Park, "Development of geothermal exchanger for efficiency improvement of solar cell module", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 4, pp. 2966-2970, 2015.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2966>
- [12] <http://woosungchemical.com>.
- [13] <http://www.core21.co.kr>.

원 종 윤(Joung Wun Won)**[정회원]**

- 2014년 8월 : 서남대학교 전자전기공학과 (공학박사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 호원대학교 자동차기계공학과 조교수

<관심분야>

신재생에너지공학, 자동차튜닝공학

서 충 길(Choong-Kil Seo)**[정회원]**

- 2012년 2월 : 전남대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2012년 8월 : 자동차부품연구원 친환경하이브리드연구센터 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 호원대학교 자동차기계공학과 부교수

<관심분야>

연소공학, 배기후처리공학, 신재생에너지