

태양열 시스템의 효율적인 고장진단 방안

Effective Fault Diagnosis Method of Solar Thermal System

이원철* · 홍희기**†

Won-Chul Lee*, HiKi Hong**†

Abstract : Typical trouble patterns in solar thermal systems are such as circulation pump fault, working fluid leakage and freezing. A flow sensor for detecting flow and a fluid sensor for measuring electric resistance of fluid were installed in order to check the fault of solar system. The pump trouble is diagnosed by measuring signal of flow sensor; brine leakage by measuring electric resistance from fluid sensor. The present paper shows that a derived regression equation from response surface analysis successfully estimates brine concentration in order to manage and operate solar thermal system efficiently.

Key Words : 태양열 시스템(Solar system), 고장진단(Fault diagnosis), 전기저항(Electric resistance), 유체센서(Fluid sensor), 반응표면분석(Response surface analysis)

— 기 호 설 명 —

R : 열매체 전기저항 ($k\Omega$)
 T : 열매체 온도 ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a : 외기 온도 ($^{\circ}\text{C}$)
 C : 열매체 농도 (%)

1. 서 론

태양에너지는 무공해 에너지원으로 화석연료를 바탕

으로 하는 기존 에너지 생산을 대체함과 동시에 환경 문제도 해결하여 인류가 풍요롭고 쾌적한 삶을 영위하도록 도와주는 청정에너지이다.⁽¹⁾ 우리나라에서의 태양열 시스템은 1990년대부터 본격적으로 사용되기 시작했다. 하지만 국내에서는 태양열 이용분야의 기초단계인 태양열 온수기의 보급 및 정착이 원활하게 이루어지지 않고 있다. 이는 영세한 태양열 온수기 제작업체의 난립으로 성능이 검증되지 않은 제품을 만들어 보급하고, 고장시 A/S 미비 등으로 소비자들에게 외면당하면서 발생되었다. 이러한 문제점은 태양에너지 이용설비에 대한 체계적인 성능시험방법과 모니터링 및 시험데이터 분석

**†홍희기(교신저자) : 경희대학교 기계공학과
E-mail : hhong@khu.ac.kr, Tel : 031-201-2925
*이원철 : 경희대학교 대학원 기계공학과
E-mail : freeman2848@khu.ac.kr

**† Hong, Hiki(corresponding author) : Department of Mechanical Engineering, Kyung Hee University.
E-mail : hhong@khu.ac.kr, Tel : 031-201-2925
*Lee, Won-Chul : Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyung Hee University.
E-mail : freeman2848@khu.ac.kr

등이 이루어지지 않고 제품화됨으로써 발생되었다.

일반적으로 널리 사용되고 있는 태양열 시스템은 태양 복사열을 흡수하여 온수를 생산하고, 그 온수를 사용하여 건물의 냉난방이나 급탕에 활용된다. 이러한 태양열 시스템은 태양열을 집열하여 축열조에 온수 형태로 저장하였다가 필요할 때 이용하기 때문에 시스템이 다소 복잡해진다. 복잡한 태양열 시스템은 집열기, 배관 및 밸브 등에 의한 열매체 누수, 순환펌프 이상, 시스템 동파 등으로 인한 고장을 초기에 발견하기가 어렵다.⁽²⁾ 즉, 태양열 시스템의 경우 상당수의 구성요소가 옥외에 설치되어 있고, 보조히터가 설치되어 있어 고장이 발생하여도 시스템은 외관상 정상적으로 작동하는 것처럼 보여 일반 사용자가 초기에 발견하기가 대단히 어렵다. 고장이 발생한 상태로 방치되면, 시스템의 성능저하 및 수명단축을 초래하며, 장기간 지속되면 치명적인 고장으로 이어져 가동불능 상태가 된다.

따라서 본 연구에서는 사례조사 결과⁽³⁾ 대표적인 고장사례인 순환펌프 고장, 열매체 누수, 시스템 동파 등의 문제점들을 해결하기 위해 그 원인을 감지하여 관리자 및 사용자가 초기에 신속하게 대응할 수 있도록 함으로써 태양열 시스템을 효율적으로 운영·관리할 수 있는 고장진단 방안을 제시한다. 순환펌프의 고장을 진단하기 위한 유동센서와 열매체 누수 및 동파를 감지하기 위한 유체센서를 태양열 시스템에 설치하였으며, 그림 1에 나타내었다.

2. 고장진단 알고리즘

순환펌프의 고장을 진단하기 위하여 유체의 유동을 감지하는 유동센서를 집열 측 배관에 설치하였다. 그림 2에 나타낸 배타적 논리합(Exclusive OR)을 사용하여, 차온제어기에서 발생하는 순환펌프의 on/off 신호와 유동센서의 신호를 측정·비교하여 순환펌프의 고장을 진단한다. 출력 신호가 0이면 시스템은 정상이며, 1이면 순환펌프 및 유동센서 고장으로 판단한다. 각각의 상황을 표 1에 정리하였다.

유체의 수위와 농도를 진단하기 위하여 유체의 전기저항(electric resistance)을 측정하는 유체센서를 제작하여 그림 1과 같이 시스템 최상부에 설치하였다.

용액의 전기전도도는 전기저항의 역수이며, 전극의 표면적에 비례하고, 전극 사이의 거리에 반비례한다. 또한, 운반체의 수와 이동도, 원자가(valence), 용액의 농도, 그리고 측정온도에 따라 영향을 받는다.⁽⁴⁾ 제작된 유체센서를 통한 열매체의 전기저항은 온도 0~70°C, 농도 0~40% 범위에서 20.2~211.5 kΩ이며, 공기의 전기저항은 1500 kΩ 이상이다. 이를 이용하여 배관 내 열매체의 수위를 판단하여 집열기 및 배관과 손에 의한 열매체 누수와 시스템 과열로 인한 열매체 부족을 진단한다. 일반적으로 태양열 시스템에 사용하는 열매체는 겨울철 동파방지를 위한 40%의 프로필렌 글리콜을 사용한다. 하지만 사용자의 관리가 미흡하거나 부주의하여 열매체의 농도가 묽어지면, 동파의 가능성이 높아진다.

중심합성계획(central composite design)을 이용한 반응표면분석(response surface analysis)을 통해 열

표 1. 배타적 논리합 입·출력

Input		Output
Circulation Pump Signal	Flow Sensor Signal	XOR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

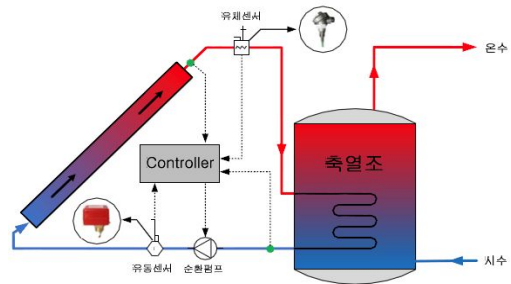


그림 1. 태양열 시스템 고장진단 개략도

매체의 전기저항과 온도, 농도와의 관계를 회귀방정식으로 도출하였다. 반응표면분석은 최적의 반응 인자의 조건을 찾을 때, 인자의 변화에 따라 반응값이 어떻게 변하는지 파악하기 위해 사용되며, 실행할 수 있는 실

험의 수, 실험에 고려할 인자의 수, 반응표면의 관심 영역에 대해 적절한 범위를 고려하여 수행한다. 반응표면 분석을 통한 회귀방정식을 도출하기 위하여 온도 0~70°C, 농도 0~40%범위에서 총 13번의 실험을 수행하였으며, 농도에 관해 다음 식 (1)과 같이 정리된다.

$$C = \frac{-aT + \sqrt{(aT)^2 - 4(bT^2 - cT - dR + e)}}{2}$$

where $a = 75.814, b = 0.609, c = 48.378, d = 27.85, e = 1438.715$

(1)

식 (1)을 통해 계산된 열매체의 농도가 20% 이하, 외기온도가 0°C 이하일 때, 동파의 위험이 있다고 판단하여, 동파를 예방하기 위해 사용자 및 관리자에게 알람을 통해 경보한다. 태양열 시스템의 고장진단 알고리즘은 그림 2에 나타내었으며, 순환펌프의 작동 여부에 따라 두 부분으로 나뉜다. 즉 순환펌프가 작동할 경우 유동센서로부터 순환펌프의 고장을 진단한다.

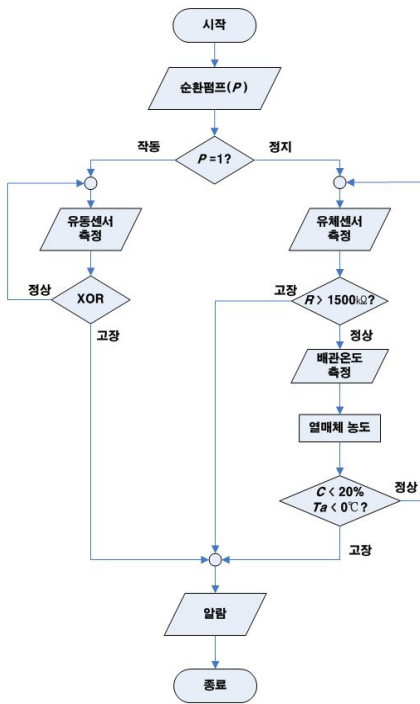


그림 2 고장진단 알고리즘

표 2 실험 조건 및 결과

실험	온도 (°C)	농도 (%)	전기저항(kΩ)	
			실험	계산
1	0	20	115.1	121.6
2	70	20	25.5	25.2
3	60	34	48.4	42.7
4	10	6	51.3	50.9
5	35	20	46.6	46.6
6	10	34	162.5	152.6
7	35	20	46.6	46.6
8	35	20	46.6	46.6
9	60	6	19.2	23.0
10	35	40	94.9	104.4
11	35	0	20.8	17.6
12	35	20	46.6	46.6
13	35	20	46.6	46.6

순환펌프가 정지되면, 유체센서에서 유체의 전기저항을 측정한다. 순환펌프가 정지상태일 때 전기저항을 측정하는 이유는 유체의 유동이 전기저항을 측정하는데 영향을 주기 때문이다. 또한, 정지상태일 때 시스템 최상단부의 유체 누설 여부를 쉽게 파악할 수 있다. 측정된 전기저항으로부터 열매체의 수위를 판단하고, 이상이 없을 경우 식 (1)을 통해 열매체의 농도를 계산하여 동파의 위험을 진단한다.

측정된 전기저항은 회귀방정식을 통해 구한 결과와 실험조건인 중심인 온도 35°C, 농도 20%에서 정확히 일치하였고, 최대오차는 9.9 kΩ이며, 실험조건인 중심에서 멀어질수록 오차가 다소 커지나 상당히 정확하게 식을 통해 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이로부터 상당히 정확하게 유체의 농도를 산출할 수 있고, 이를 토대로 열매체의 누설 여부와 동파 가능성이 높은 상태를 진단할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 태양열 시스템의 대표적인 고장사례인 순환펌프 고장, 열매체 누수, 시스템 동파 등의 문제점들을 해결하기 위해 유동센서와 유체센서를 설치하여 사용자가 초기에 신속하게 대응함으로써 태양열 시스템을 효율적으로 운영·관리할 수 있는 고장진단

방안을 제시하였다. 이를 위해 전기저항을 측정하고 농도를 산출할 수 있는 유체센서를 자체 제작하였다. 실험을 통해 측정한 열매체의 전기저항과 회귀방정식을 통해 계산된 열매체의 전기저항을 비교함으로써 식의 신뢰성을 확보하였고, 고장진단의 정확성을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

1. MOCIE and KEMCO, 2007, RD&D strategy 2030 of New and Renewable Energy(Part : Solar Heat), Report of KEMCO, pp. 4-5.
2. Baek, N. C., and Jang, C. Y., 2005, Trouble Diagnostic System of Solar Thermal System, 20-0387031, Korea Institute of Energy Research, F 24 J 2/40.
3. Solar Thermal Association of Korea, Report of Study on Activation Plan for Residential Solar System, Ministry of Knowledge Economy, 2012.11.
4. Cha, Y. D., 2008, Measurement of electrical conductivity by a dynamic temperature compensation method, MS thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea.