

동파방지 발열선용 온도제어기 개발 및 전기에너지 절감 효과 분석

(Development of an Anti-Freezing Heating Cable Temperature Controller and Its Power Saving Effects Analysis)

이기홍* · 이재진**

(Kihong Lee · Jaejin Lee)

Abstract

Although anti-freezing heating cable has been widely installed in most residential boiler pipe, there were excessive energy consumption and fire risk due to inadequate temperature control. In this paper, a new energy saving fire risk-free controller was developed by using microprocessing operation which include detection of not only boiler room temperature but also pipe surface one. Its actual effect has been verified to save more than a half of the energy consumption comparing to conventional controller through temperature and humidity chamber experiment.

Key Words : Anti-Freezing Heating Cable, Controller, Microprocessor, Pipe, Boiler, Energy Consumption

1. 서 론

1.1 연구의 배경

주택 난방용 보일러의 급수배관은 겨울철 낮은 온도에서 동파되기도 하므로, 이를 방지하기 위하여 배관을 보온재로 감싸거나 발열선을 설치하기도 한다. 발열선은 전기에너지를 공급하면 발열하는 장치로서 배관 표면에 설치하여 배관의 동파를 방지하는 데 효과

적으로 활용되고 있다. 일반적으로 발열선은 주위 온도가 일정온도 이하로 내려가면 발열하기 시작하며, 온도가 상승하여 일정온도에 이르면 전원이 차단되어 발열이 정지하게 된다[1]. 그러나 정밀하지 못한 이러한 운전패턴은 불필요한 전력에너지 소비를 초래함으로써 에너지의 효율적 사용을 위한 운전방안의 모색이 필요하다. 또한 배관에 발열선을 중첩으로 설치하거나 노후화되면 과도하게 열이 발생하여 화재가 일어날 수 있다.

따라서 에너지의 효율적 소비와 화재 방지를 위한 실용적인 동파방지용 발열선의 제어기 개발이 필요하다.

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구에서는 주택 보일러배관의 동파방지용 발열선의 합리적인 에너지소비와 화재를 방지하기 위한

* 주저자 : 한국토지주택연구원 미래기술연구실 실장

** 교신저자 : (주)텔트론 대표이사

* Main author : Manager of Advanced technology
Dept, Land & Housing Institute

** Corresponding author : CEO of Teltron Inc.

Tel : 042-360-2001, Fax : 042-360-2010

E-mail : jjlee@teltron.com

접수일자 : 2014년 9월 4일

1차심사 : 2014년 9월 6일

심사완료 : 2014년 9월 23일

온도제어기를 개발하고 개발된 온도제어기의 적용 효과를 분석하는 데 그 목적이 있다.

발열선의 제어기 동작 알고리즘과 하드웨어를 개발하여 이를 온·습도 챔버 속에 설치하고 그 동작과 에너지절감 효과를 분석하였다.

2. 발열선 개요 및 운영현황

2.1 발열선 개요

배관 동파방지용으로 설치하는 발열선은 주로 정온 전선으로 불리는 가열 케이블이 사용되며, 이는 기존의 히팅 케이블과는 달리 금속 발열선이 아니라, 카본이 함유된 플라스틱 반도체에 의해 발열되는 제품으로 PTC(Positive Temperature Coefficient) 특성을 지니고 있다.

PTC 특성이란 일종의 자연현상으로 주위 온도 변화에 따라 발열량이 자동으로 증감하는 현상을 나타내는 정온전선이다. 이는 도전성 고분자를 이용하여 연속적 병렬회로 구조를 갖는 특수한 발열체로서 주위 온도변화에 따라 내부저항을 스스로 제어하여 발열량을 자동으로 증감시키도록 설계된 정온 발열 케이블(Self-Regulating Heating Cable)이다[2-3].

그림 1과 같이 정온전선은 절연체의 고유저항을 변화시키는 반도체성 폴리머의 특성을 이용한 제품으로 온도 변화에 따라 내부저항이 변화하여 발열량을 자동으로 조절한다.

또한 병렬회로로 구성되어 단위 길이 당 열량이 항상 일정하다. 그러나 온도변화에 따라 내부저항이 신속하게 변화하지 못하므로 정확한 온도를 유지하기 위해서는 별도의 온도제어기가 필요하다[4-5].

2.2 발열선 운용현황

발열선은 사용현장에서 용도에 따라 절단, 연결시공이 아주 간편하므로, 주로 상하수도, 수도 계량기, 각종 배관의 동결 또는 동파방지용으로 많이 사용된다.

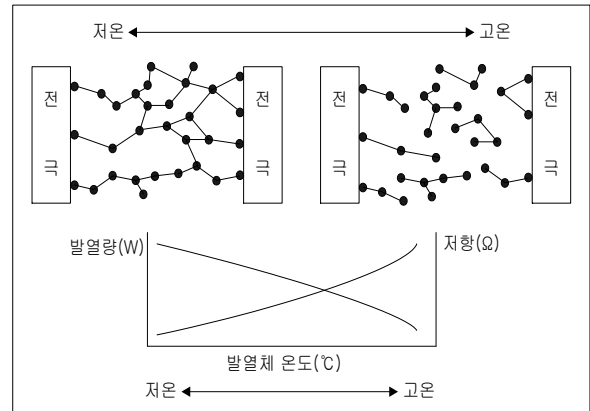


그림 1. 정온 발열케이블의 동작 개념
Fig. 1. Operation concept of self-regulating heating cable

그림 2는 발열선을 보일러배관에 설치하는 사례를 보여주고 있다. 발열선은 자동온도조절 기능이 있으므로 온도제어기 없이 발열선 자체만으로 사용하는 경우도 있지만, 일반적으로 보일러 배관에는 보일러실 온도를 감지하는 온도센서(바이메탈)와 함께 설치된다.



그림 2. 발열선과 발열선 설치방법
Fig. 2. Heating Cable and its heating cable installation method

보일러 배관에 설치하는 발열선의 온도센서 스위치는 보일러실 내부 온도가 2°C 이하가 되면 동작하여

발열선에 전기에너지를 공급하고, 보일러실 온도가 약 15°C에 이르면 전력공급이 차단하는 단순한 동작 유형을 가진다.

그러나 보일러 배관 표면의 온도를 감지하지 않고, 단지 보일러실의 내부온도만을 감지하여 그 온도가 15°C에 이를 때까지 발열선이 동작하는 것은 에너지가 불필요하게 소비되고 있음을 의미한다.

또한 발열선이 노후화되었거나 중첩하여 설치되면 과열되어 보온재가 가열되고 결국은 화재가 발생할 수 있다. 표 1은 한국소비자원에서 집계한 연도별 발열선에 의한 화재 발생 건수를 보여주고 있다.

따라서 배관의 동파방지에 필요한 최소한의 에너지만 소비되도록 하고 과열에 의한 화재를 방지하기 위해서는 배관표면 온도를 감지하여 발열선의 동작을 On-Off 시키는 제어기의 개발이 필요하다.

표 1. 동파방지용 발열선에 의한 화재 발생 건수
(출처 : 한국소비자원)

Table 1. The number of fires caused by anti-freezing heating cable

[단위 : 건]

년도	2010	2011	2012	2013
화재 발생 건수	23	63	50	5

3. 발열선온도제어기의 개발

3.1 발열선온도제어기의 구성과 제어알고리즘

3.1.1 발열선 제어기의 구성

기존의 발열선 제어기(바이메탈에 의한 단순 온도 제어)에는 보일러실 내부온도만을 감지하여 발열선의 동작을 제어한다. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 발열선 제어기는 보일러실의 내부온도감지와 함께 배관의 표면온도를 함께 감지하는 시스템으로 구성된다.

그림 3은 개발하고자 하는 발열선 제어기의 구성도를 나타낸다. 실제 제어기 제작에서는 배관의 표면온

도를 한 지점만 측정하도록 제작하였다.

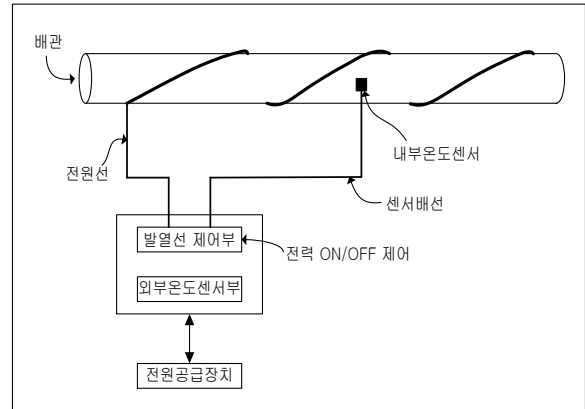


그림 3. 발열선 온도제어기 구성도
Fig. 3. Anti-freezing heating cable temperature controller configuration

3.1.2 발열선 제어기의 동작 알고리즘

발열선 제어기는 그림 3에서 외부온도센서(보일러실 온도)가 0°C 이하이면서 내부온도센서(배관 표면온도)가 2°C 이하로 감지되면 발열선에 전원이 투입되고 배관의 표면온도가 10°C에 이르면 전원이 차단되는 동작 알고리즘을 가지도록 하였다[6].

이는 보일러실의 온도가 0°C를 초과하면 배관이 얼지 않기 때문이다. 또한 급격히 외부온도가 저하될 경우 배관표면 온도가 빙점온도까지 내려가기 전에 충분한 열에너지를 공급하기 위하여 2°C에서 전원을 투입하도록 하였고 10°C에서는 동파의 우려가 없고 과열에 의한 화재를 방지할 수 있으므로 전원 차단 온도로 설정하였다.

발열선 제어기의 형태는 기존 발열선의 외부온도 감지센서 장치와 동일 또는 유사한 상태를 유지하여 개발하였다. 전원공급과 온도센서(외부온도센서, 내부온도센서)의 동작 상태를 확인할 수 있는 램프 기능도 갖도록 하였다.

3.1.3 기존 발열선온도제어기와 개발된 발열선 온도제어기의 비교

기존 발열선 온도제어기와 개발된 발열선 온도제어기를 항목별로 비교하면 표 2와 같다.

표 2. 기존발열선 온도제어기와 개발된 발열선온도 제어기의 비교

Table 2. The Comparison of a conventional temperature controller and a developed temperature controller for anti-freezing heating cable

	기존 제어기	개발된 제어기	
온도센서위치	보일러실	보일러실	배관표면
전원공급온도	2℃	0℃	2℃
전원차단온도	15℃	-	10℃
ON/OFF제어	단순 ON/OFF	위상제어(트라이악)	

3.2 발열선제어기의 하드웨어 제작

개발하고자 하는 발열선 제어기의 블록도는 그림 4와 같으며, 제어기에는 8bit 마이크로 컨트롤러(ATMEGA48PA)를 사용하였고 위상제어(Triac)를 통하여 On-Off시 전류가 급격하게 흐르지 않도록 하였다. 센서는 외부온도센서(보일러실 온도)와 발열선의 배관표면 온도를 측정하는 센서로 구성하였다 [7-9].

LED표시 기능은 전원공급과 발열선 동작, 외부온도센서와 발열선 온도센서의 불량을 알리는 기능을 갖도록 제작하였다.

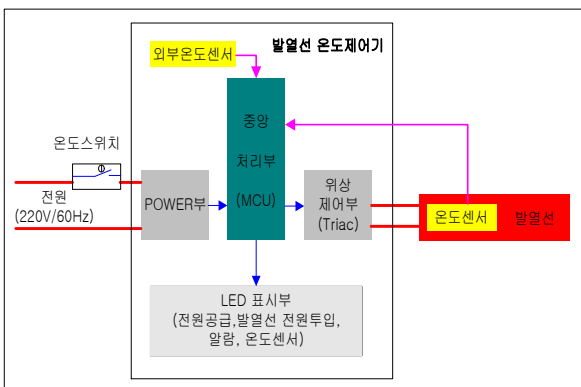


그림 4. 동파방지 발열선용 온도제어기 블록도
Fig. 4. Anti-freezing heating cable temperature controller block diagram

사진 1은 최종적으로 제작 완성된 제어기의 내부 모습을 보여주고 있다.



사진 1. 개발된 온도 제어기 내부 사진
Photo 1. Inside photo of anti-freezing heating cable temperature controller developed

4. 발열선제어기의 적용효과 분석

4.1 실험방법

4.1.1 실험체 구성

개발된 발열선제어기의 적용효과를 분석하기 위해 온습도 챔버를 이용한 실험을 하였다. 기존의 발열선장치(외부온도센서스위치+발열선)와 개발된 발열선장치(제어기(외부온도센서+배관온도센서)+발열선)를 그림 5와 같이 수돗물을 채운 실험체 배관(길이 1m, 배관내경 15mm)에 각각 설치하고 하나의 챔버에 같이 넣은 후 하루의 온도를 시간별로 가변시키면서 두 발열선 장치에서 소비되는 전력을 비교하였다[10].

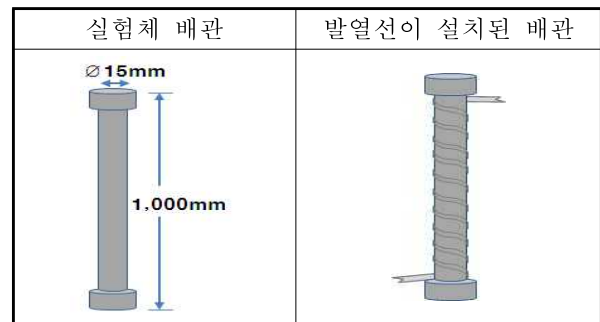


그림 5. 실험체 배관 개념도
Fig. 5. Experimental piping implementation

사진 2는 하나의 챔버 속에 기존 발열선장치와 개발된 발열선장치를 함께 넣고 온도를 가변시켜 가면서 실험하는 장면을 보여주고 있다.



사진 2. 챔버실험 배치도
Photo 2. Experimental chamber arrangement

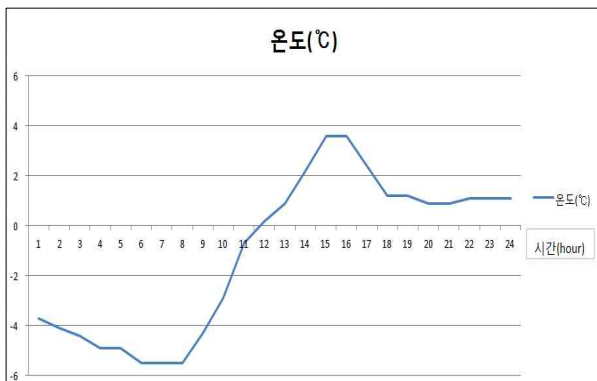
4.1.2 실험조건

실험은 2013년 겨울의 서울 외기온도에서 서로 다른

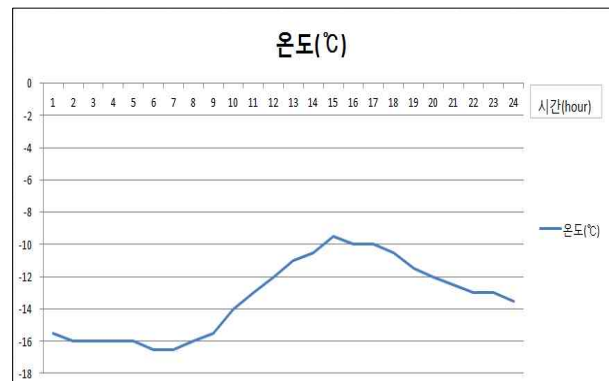
4가지의 하루 기온 유형을 실험 조건으로 설정하였다. 하루의 기온 변화패턴을 챔버에 입력하고 상대습도 90 %인 상태에서 1,000시간 동안 실험하였다. 세부적인 각 조건은 그림 6과 같다.

4.2 실험결과

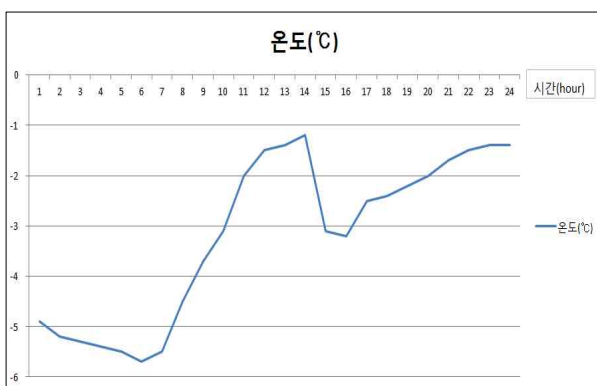
실험 조건별로 발열선에서 소비한 전력을 측정할 결과, 표 3과 같이 하루 중 온도가 영상에 머무르는 시간이 많은 수록 개발한 제어기의 전력에너지 절약효과가 큰 것으로 측정되었다. 이러한 결과는 동과방지를 위한 온도설정을 최적화함으로 예상되는 현상으로 볼 수 있다. 따라서 본 실험은 실제의 상황을 잘 반영한 실험으로 판단된다.



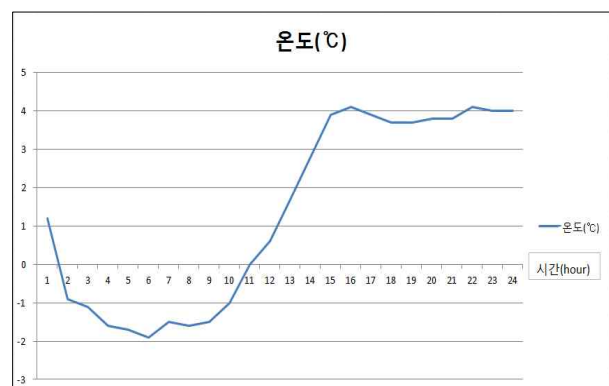
(a) 조건 1 : 2013.12.01, 서울 외기온도



(b) 조건 2 : 2013.01.03, 서울 외기온도



(c) 조건 3 : 2013.02.03, 서울 외기온도



(d) 조건 4 : 2013.01.20, 서울 외기온도

그림 6. 조건별 챔버 온도 프로파일

Fig. 6. Chamber temperature profile according to each condition

표 3. 실험 조건별 발열선 소비전력 측정결과
Table 3. Energy consumption results according to each condition

	발열선 소비전력량(kWh)		소비전력 비교 (1)/(2)
	기존 발열선 시스템(1)	개발 발열선 시스템(2)	
조건 1	2.4 kWh	0.6 kWh	4.0 배
조건 2	2.1 kWh	1.4 kWh	약 1.5 배
조건 3	2.0 kWh	0.8 kWh	약 2.5 배
조건 4	1.5 kWh	0.1 kWh	약 15.0 배

5. 결 론

본 연구에서 개발한 보일러배관 동파방지용 발열선 제어기는 전기에너지의 합리적 소비가 이루어지고 있음을 확인하였으며 이는 과열에 의한 화재도 방지할 수 있다. 이러한 기능은 보일러실 내부의 온도만을 이용하여 동작을 제어하였던 기존의 발열선제어기에 비해, 개발된 발열선제어기는 보일러실 내부의 온도와 함께 배관 표면의 온도를 검출하여 발열선의 동작을 합리적으로 제어함으로써 가능하게 되었다.

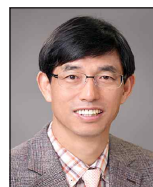
개발된 발열선제어기는 보일러실 온도가 야간에는 영하로 유지되다가 낮에는 영상을 유지하는 온도변화 유형에서 에너지 절약효과가 큰 것으로 확인되었다. 이러한 발열선 제어기는 보일러의 배관뿐만 아니라 소방시설배관 등 다양한 배관의 동파를 방지하는데 활용[11]할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] Heat trace, Handbook of Industrial Electric Heat Tracing, pp12-13, Heat trace Limited, 2014.
 [2] Raychem XL-Trace System: Installation and Operation Manual for Pipe Freeze Protection and Flow Maintenance. Pentair. March 2013. Retrieved 3 August 2014.
 [3] James Bilbro et al, Electric trace heating -state of the art, Paper 69 TP 20-IGA, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY AND GENERAL APPLICATIONS, JULY/AUGUST pp 476-480, 1969.
 [4] Erickson, C. James, "Jim, For developments in the use of electrical heating in the pipeline industry.. Heating of Pipelines with Self-Regulating Heating Cables, 1972.
 [5] Ted Hammack and Stephen Kucklinca, Self-Limiting Electrical Heat Tracing: New Solution to Old Problems ,

IEEE Transactions on Industry Applications March/April, 1977.
 [6] Derek Brooks et al, Reducing the total Cost of Ownership of Electric Heat Tracing Systems in Northern Alberta IEEE Paper No. PCIC-2000-16, 2000.
 [7] James Bilbro et al, Electric trace heating -state of the art, Paper 69 TP 20-IGA, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY AND GENERAL APPLICATIONS, JULY/AUGUST pp 476-480, 1969.
 [8] Paul R. Smith, ed. Facilities engineering and management handbook : commercial, industrial, and institutional buildings, McGraw Hill, 2001 ISBN 0-07-059323-X chapter 5 pp 5-198 through 5-201.
 [9] D. Bourgault, S. Pavard, R. Tournier, L. Porcar, N. Caillault, and L. Carbone, "Current limitation capability of bulk Bi2223 material," ser. Physica C (Netherlands), vol. 372-376. Netherlands: Elsevier, pp. 1598 - 1601. 2002.
 [10] M. S. Colclough, J. S. Abell, G. E. Gough, J. Rickets, T. Shields, F. Wellhofer, W. F. Vinen, N. M. Alford, and T. Button, "Pulsed critical current measurements on BYBCO wires and screen-printed films," Cryogenics, vol. 30, pp. 439 - 444, 1990.
 [11] Chet Sandberg et al, Electrical Heat Tracing: International Harmonization Now and in the Future, IEEE Industry Standards Magazine, May/June pp 50-56, 2002.

◇ 저자소개 ◇



이기홍 (李起弘)

1962년 11월 17일생. 1988년 충남대 공대 전기공학교육과 졸업. 1990년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 한국토지주택공사 토지주택연구원, 연구위원. 미래기술연구실 실장. 한국조명·전기설비학회 국제이사, 편수위원. IEC TC 37/SC 37A/WG 3 & 4 국제위원(Member). IEC TC 37 국내전문위원회 위원장. IEC TC 64 & 81 국내전문위원. 2013 APL(아시아태평양 피뢰 국제 컨퍼런스) 조직위원장.
E-mail : lkh21@lh.or.kr



이재진 (李載珍)

1953년 9월 1일생. 1975년 2월 공주사대 졸업. 1986년 2월 동국대 졸업(박사). 1986~2000년 한국전자통신연구원. 현재 (주)텔트론 대표이사.