

냉동차량을 위한 온도 측정 시스템

Temperature Measurement System for Refrigerated Vehicle

임 용 진*, 김 정 환*, 임 준 홍*

Yong-Jin Lim*, Jung-Hwan Kim*, Joon-hong Lim*

Abstract

The food service industry has been grown due to improvement of living standards. In addition, the demand for frozen food delivery is increasing day by day at online/offline and the refrigerated vehicles are used in most of these food distributions. One of the most important factors in a refrigerated car is to measure the temperature accurately. Conventional temperature recording systems are generally connected directly to temperature sensor modules. Since the temperature data are transmitted to the temperature recorder by using the electric wire, there is a disadvantage that the resistance error must be compensated according to the cable length. In this paper, we propose a method to correct errors due to cable resistance using digital processing and CAN (Controller Area Network) communication. We use PT-1000 platinum sensor to increase the accuracy of the temperature measurement.

요 약

최근 생활수준의 향상으로 외식문화가 발전하고 있고 온라인과 오프라인으로도 냉동식품의 택배수요가 날로 증가하고 있다. 현재 이러한 식품유통의 대부분은 냉동차량에 의해서 이루어지고 있다. 냉동차량에서 가장 중요한 요소 중에 하나는 정확한 온도를 측정하는 것이다. 기존의 상용 온도 기록 시스템은 일반적으로 온도 센서 모듈을 기록계에 직접 연결하는 형태이다. 이러한 기존의 방법은 전선을 사용하여 기록계에 온도 데이터를 전송하기 때문에 케이블의 길이에 따라 저항 오차를 보상해야 한다. 본 논문은 케이블 내의 저항으로 인해 발생하는 오차를 극복하기 위해서 디지털 처리와 CAN (Controller Area Network) 통신을 사용하는 것을 제안한다. 또한 온도 측정의 정확도를 높이기 위해서 백금 센서인 PT-1000을 사용한다.

Key words : temperature measurement, refrigerated vehicle, PT-1000 sensor, CAN, Cold chain system

1. 서론

신선식품업체들은 운송 과정 중에 온도를 일정하게 유지시켜주는 콜드 체인 (cold chain) 시스템을 구축해서 신선도를 관리 하고 있다. 이 가운데 온도 측정과 제어는 중요한 부분 중 하나이다. 상용

온도 기록 시스템들은 저가의 센서 사용, 센서 채널 수 제한을 둔 것이 대부분이다. 이러한 시스템은 구성이 간단 하지만 저가 센서의 비선형성과 케이블 저항의 오차, 센서 채널의 제한 및 사용자 인터페이스 부족으로 인해 다채널의 온도를 확인하기 어려운 단점이 있다.

* Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University

★ Corresponding author

E-mai : jhlim@hanyang.ac.kr, Tel : +82-31-400-4043

※ Acknowledgment

This research was supported in part by Strengthening Competitiveness of Industrial Cluster through the Korea Industrial Complex Corporation funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy.

Manuscript received Mar. 8, 2019; revised Mar. 23, 2019; accepted Mar. 26, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 CAN 통신과 PT-1000 센서를 사용하여 온도 측정 시 오차를 최소화하는 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 온도 기록 시스템의 블록다이어그램은 그림 1과 같다.

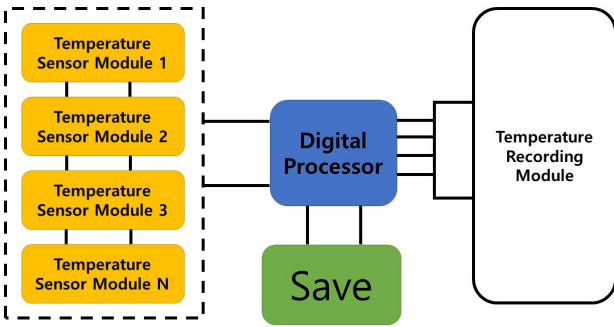


Fig. 1. Block diagram of temperature recoding system.
그림 1. 온도 기록 시스템의 블록 다이어그램

II. RTD 측정 회로 설계

온도 센서는 사용 목적에 따라 선정하는 것이 중요하다. 그림 2는 서모커플, 서미스터, RTD(Resistance Temperature Detector) 온도 센서의 저항과 전압 특성을 보여준다. 서모커플의 장점은 넓은 온도 범위에서 측정 가능하다는 것이다. 단점으로는 비선형성 특성을 가지는 것과 냉점 보상이 필요하다는 것이다. 서미스터는 빠른 응답과 높은 출력을 갖는다는 장점이 있는 반면 비선형특성과 온도 측정 범위가 좁은 단점이 있다. 이러한 문제 때문에 열전대와 서미스터를 사용하여 정확한 온도 기록 시스템을 개발하는 것은 어려움이 있다. RTD 센서의 경우, 저항 변화가 작기 때문에 디지털 처리를 수행하기가 어렵다. RTD 센서가 저항 변화의 단점을

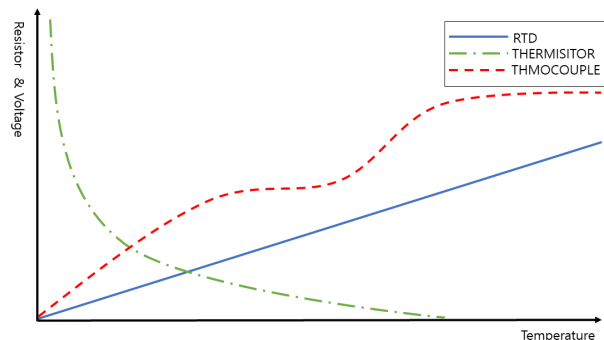


Fig. 2. Comparison of temperature sensor characteristics.
그림 2. 온도 센서 특성 비교

극복한다면, 선형적이고 안정된 특성을 가지기 때문에 정확한 온도 센서로 사용될 수 있다[1].

RTD 측정에는 정전류 여기(constant current excitation) 방법과 정전압 여기(constant voltage excitation) 방법이 가장 많이 사용된다[2]. 본 논문에서는 회로의 복잡성을 줄이기 위해서 정전압 여기 기법을 사용한다. 3 와이어 RTD에 대한 일반적인 정전압 여기 다이어그램은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 R_{WIRE1} 은 측정 오차의 원인이 된다. 하지만 2 와이어 구성에 비해 리드 와이어로 인한 오차는 약 절반으로 감소한다. 회로에 아날로그 스위치를 추가함으로써 측정 정밀도를 더욱 향상시킬 수 있다. 이 경우 ADC는 여기 신호 출력에서 전압(V_X)을 측정하고 R_{WIRE1} 에 대한 값을 얻는다. R_{WIRE1} 이 R_{WIRE3} 와 거의 동일하다는 가정 하에 R_{WIRE3} 를 뺄 수 있다. 전압 여기 구성도에서, I_{RTD} 는

$$I_{RTD} = \frac{(V_{REF} - V_X)}{R_{REF}} \tag{1}$$

와 같이 구할 수 있다. RTD 저항값 R_{RTD} 는

$$R_{RTD} = \frac{R_{REF} \times (2V_{(ADCinput)} - V_X)}{V_{REF} - V_X} \tag{2}$$

와 같이 나타낼 수 있다.

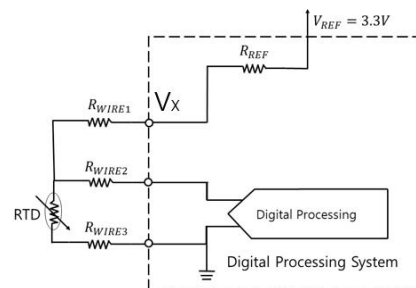


Fig. 3. 3 WIRE RTD Temperature Sensor Constant voltage Excitation Composition diagram.

그림 3. 3 와이어 정전압 여기 다이어그램

측정에 사용되는 정전압 여기 휘트스톤 브리지 회로는 그림 4와 같다.

RTD 센서는 높은 선형성과 안정성 그리고 정확도를 갖춘 온도 센서이다. 하지만 온도에 따라 변화하는 저항 변화율이 작다는 단점이 있다.

본 논문에서 사용된 STM32F103T6은 12bit A/D 컨버터의 기능을 가지고 있다. 여기서 STM32F103T6

의 내장 컨버터는 소수점을 계산할 수가 없다. 그러므로 RTD 센서의 저항 변화율이 작다면 온도의 분해능이 작아진다는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 A/D 변환을 통한 온도 측정의 분해능을 높이기 위해서 그림 5와 같은 증폭 회로를 설계한다.

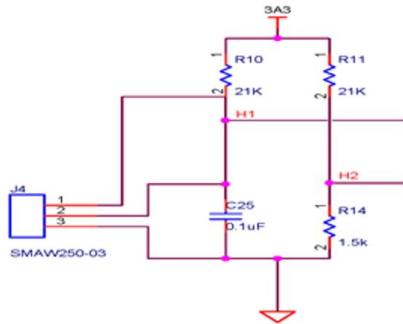


Fig. 4. Constant Voltage Excitation Wheatstone Bridge Circuit.
그림 4. 정전압 여기 휘스톤 브릿지 회로

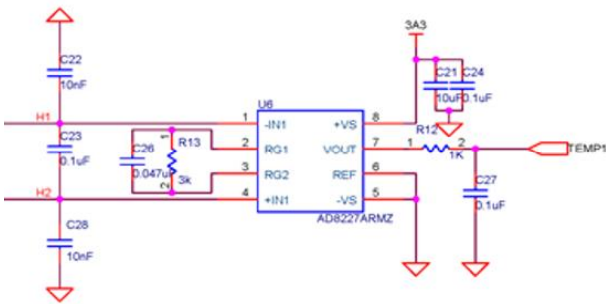


Fig. 5. Amplified Circuit.
그림 5. 증폭회로

그림 5의 증폭 회로에서 증폭이득 G 는

$$G = 5 + \frac{80K\Omega}{R_G} \quad (3)$$

와 같이 구할 수 있다. RTD 센서의 저항 변화가 작으므로 A/D 변환을 수행할 때 오류가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 RTD 센서의 저항 변화율은 OP 앰프에 의해 증폭된다. 여기에 사용된 연산 증폭기는 AD8227이다. 그림 5의 회로에서 증폭이득 값 G 는 32이다. 이때 A/D 변환 값은 0에서 3972까지 사용할 수 있으므로 정확한 온도를 측정할 수 있다.

III. 온도 기록 시스템

제안된 회로를 사용하여 RTD 저항을 측정된 후 룩업 테이블과 Callendar-Van Dusen 방정식을 사용

하여 RTD 저항 값을 온도로 변환한다. 온도 범위가 -55°C 에서 0°C 일 때 PT-1000의 저항 값 R_T 는

$$R_T = R_o \times (1 + A \times T + B \times T^2 + C \times (T - 100^{\circ}\text{C}) T^3) \quad (4)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 온도가 $0^{\circ}\text{C} \sim 155^{\circ}\text{C}$ 일 때 저항 값은 R_T 는

$$R_T = R_o \times (1 + A \times T + B \times T^2) \quad (5)$$

와 같이 표현할 수 있다. 여기서 R_T 는 온도 T 에서의 저항이다. R_o 은 0°C 에서의 저항 값이다. 온도 계수는 각각 A 는 $3.9083 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, B 는 $-5.775 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$, C 는 $-4.183 \times 10^{-12} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-4}$ 이다. 그림 6은 온도 기록 시스템에 대한 CAN 통신의 예를 보여준다.

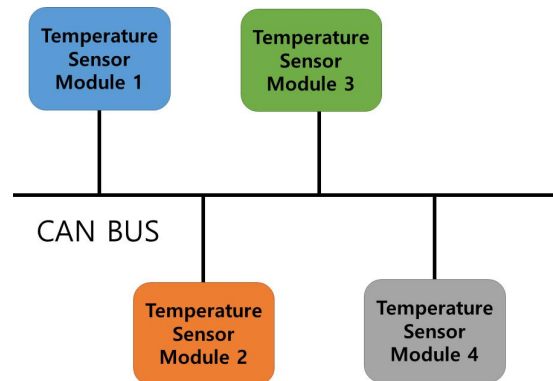


Fig. 6. example of CAN communication for the temperature recording system.

그림 6. 온도 기록 시스템 연관된 CAN 통신 예

본 논문에서는 온도 측정의 정확도를 높이기 위해서 CAN 통신을 사용한다. 일반적으로 상업용 온도 기록 시스템은 온도 센서가 기록계에 긴 선으로 직접 연결되어 있다. 이론적으로 전선 저항 1 ohm 당 약 2.6°C 의 오차가 발생하기 때문에 보상이 필요하다.

CAN 통신을 사용하는 온도 측정은 와이어 저항을 고려할 필요가 없으며 온도 보상 과정을 거칠 필요가 없다. 즉, 상용 온도 기록 장치는 센서와 본체 사이의 와이어 길이를 변화시킴으로써 와이어의 저항 값이 변하기 때문에 공급된 와이어를 그대로 사용하는 것이 요구된다[3-5]. 그러나 본 논문의 온도 기록 시스템은 센서 데이터를 디지털 값으로 전송하기 때문에 임의로 절단하거나 늘릴 수가 있

으며 이론적으로 거리는 최대 1km까지 가능하다. 또한 센서 수는 최대 256개까지 가능하다.

IV. 실험

본 논문에서 개발된 온도 기록계는 그림 7에 (a)와 같다. (b)는 CAN 통신이 가능한 데이터 전송 센서 모듈이고 (c)는 PT-1000 온도 센서이다.

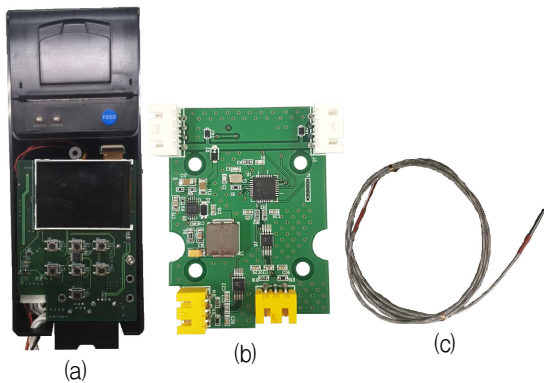


Fig. 7. (a) Temperature recorder, (b) sensor moduel, (c) PT-1000.

그림 7. (a) 온도기록계, (b) 센서 모듈, (c) PT-1000



Fig. 8. Temperature acceleration chamber.

그림 8. 온도 가속 챔버



Fig. 9. 4-channel temperature recording system.

그림 9. 4-채널 온도 기록 시스템

Table 1. Experimental conditions.

표 1. 실험 조건

Item	Temperature(℃)	Experiment time(min)
Temperature Experiment	25	5
	25 → 5	10
	5	15
	5 → 0	2
	0	15
	0 → -5	2
	-5	15
	-5 → 25	15
	25	5

성능평가에 필요한 실험 조건은 표 1과 같다. 온도 기록에 대한 신뢰성 테스트는 온도 챔버 내에서 실험하는 것으로, 그림 8의 온도 가속 챔버를 사용한다. 4채널 온도 기록 시스템은 그림 9와 같다.

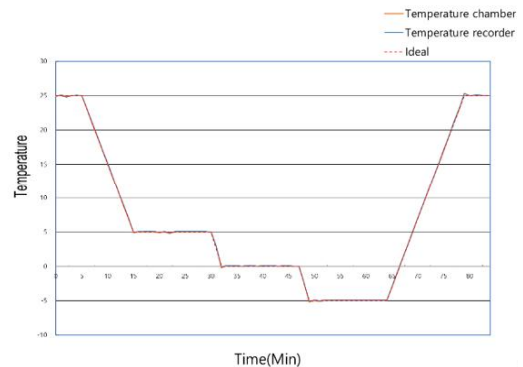


Fig. 10. Temperature measurement result.

그림 10. 온도 측정 실험 결과

```

temperature Experiment data - 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
DATE : 19 october 2018
COMPANY NAME : Z
CAR's NUMBER : P814yK 199
FILE SIZE : 2872,2872

Voltage : 23.5 V
[HH:MM] >> [CH1] [CH2] [CH3] [CH4] [CH5] [CH6] [CH7] [CH8]
[08:48] >> POWER ON
[08:55] >> 25.0 25.0 25.0 25.0 None None None None
[08:56] >> 25.0 25.0 25.0 25.0 None None None None
[08:57] >> 24.8 24.8 24.8 24.8 None None None None
[08:58] >> 25.0 25.0 25.0 25.0 None None None None
[08:59] >> 25.1 25.1 25.1 25.1 None None None None
[09:00] >> 25.0 25.0 25.0 25.0 None None None None
[09:01] >> 23.1 23.1 23.1 23.1 None None None None
[09:02] >> 21.1 21.1 21.1 21.1 None None None None
[09:03] >> 19.1 19.1 19.1 19.1 None None None None
[09:04] >> 17.1 17.1 17.1 17.1 None None None None
[09:05] >> 15.2 15.2 15.2 15.2 None None None None
[09:06] >> 13.1 13.1 13.1 13.1 None None None None
[09:07] >> 11.0 11.0 11.0 11.0 None None None None
[09:08] >> 9.1 9.1 9.1 9.1 None None None None
[09:09] >> 7.1 7.1 7.1 7.1 None None None None
[09:10] >> 5.0 5.0 5.0 5.0 None None None None
[09:11] >> 5.1 5.1 5.1 5.1 None None None None
[09:12] >> 5.1 5.1 5.1 5.1 None None None None
[09:13] >> 5.1 5.1 5.1 5.1 None None None None
    
```

Fig. 11. The recording data using CAN communication.

그림 11. CAN 통신을 사용한 기록 데이터

온도 측정 실험 결과는 그림 10과 같이 나타난다. 온도 기록 데이터는 그림 11에서 확인할 수 있다. 챔버와 함께 개발된 시스템 온도를 비교하면 ± 0.1℃의 오차가 발생하는 것을 볼 수가 있다.

V. 결론

본 논문의 온도 기록 시스템은 효율적으로 냉동 시스템을 운전할 목적으로 개발되었다. 개발 과정에서 중요한 점은 센서 저항 측정 방법을 선택하는 것과 RTD의 낮은 저항 변화율의 단점을 해결하는 것이다. 본 논문에서는 정전류 여기 방법보다 단가 측면에서 우세한 정전압 여기 방법을 사용하였다. 저항 변화율이 작은 단점은 증폭기 회로 설계를 통해서 해결하였다. 또한 기존 온도 기록 시스템은 온도 센서와 기록 모듈이 서로 직접 연결되어서 도선의 저항 값 때문에 오차가 발생하여 온도 보상 과정이 필요한 단점이 있다. 본 논문에서 이러한 단점을 보완하기 위해서 CAN 통신과 디지털프로세싱을 사용하였다.

제안한 방법의 온도 기록 시스템은 정확한 온도 기록이 가능하여 정밀한 냉동 시스템이 실현 될 수 있다. 또한 냉동 시스템의 공간 온도 편차를 최소화하기 위하여 다중 센서 모듈을 이용한 냉각 시스템의 개발에 관한 추가 연구가 수행될 필요가 있다.

References

- [1] Hyoungpyo Kim, and Sekwang Park, "Temperature Sensor Design and Fundamental Experiment Using RTD," *Proceedings of 1991 STRC Meeting on Sensor Technology*, Vol. 2, pp. 132-136, 1991.
- [2] Edval J. P. Santos and Isabela B. Vasconcelos, "RTD-based Smart Temperature Sensor: Process Development and Circuit Design," *2008 26th International Conference on Microelectronics*, pp. 333-336, 2008. DOI: 10.1109/ICMEL.2008.4559289
- [3] Janhvi Chauhan, and Prof. Usha Neelakantan, "An experimental approach for precise temperature measurement using platinum RTD PT1000," *International Conference on Electrical, Electronics and Optimization Techniques*, pp. 3213-3215, 2016. DOI: 10.1109/ICEEOT.2016.7755297
- [4] EDarold Wobschall and Wai Sing Poh, "A Smart RTD Temperature Sensor with a Prototype IEEE 1451.2 Internet Interface," *ISA/IEEE Sensors for Industry Conference*, pp. 183-186, 2004.

DOI: 10.1109/SFICON.2004.1287157

[5] Zhu Qishen, Zhu Dongmei, and Su Xunwen, "Distributed Remote Temperature Monitoring and Acquisition System Based on CAN Bus," *2010 Prognostics and System Health Management Conference*, pp. 1-4, 2010.

DOI: 10.1109/PHM.2010.5413439

BIOGRAPHY

Yong-Jin Lim (Member)



2015 : BS degree in System Control Engineering, Hoseo University.

2017~current : MS degree course in Electronic Engineering, Hanyang University.

Jung-Hwan Kim (Member)



2013 : BS degree in System Control Engineering, Hoseo University.

2015 : MS degree in Electronic Systems Engineering, Hanyang University.

2016~current : PhD degree course in Electronic Engineering, Hanyang University.

Joon-hong Lim (Member)



1979 : BS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1981 : MS degree in Electrical Engineering, KAIST.

1986 : PhD degree in Electrical and Computer Engineering, University of Iowa.

1986~1989 : Assistant Professor, Dept. of Electronic Engineering, Korea Aerospace Univ.

1989~current : Professor, Dept. of Electronic Engineering, Hanyang Univ.