

A/D 컨버터 확장기술을 응용한 온도제어장치 기술

박성백¹, 신훈규², 권영수^{1,a}

¹ 동아대학교 나노공학과

² 포항공과대학교 나노융합기술원

Temperature Control System Technology of Possible Output Error Detection with Expanded A/D Converting Technology

Sung-Back Park¹, Hoon-Kyu Shin², and Young-Soo Kwon^{1,a}

¹ Department of Nano Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

² National Institute for Nanomaterials Technology, Pohang University of Science and Technology, Pohang 790-784, Korea

(Received September 2, 2014; Revised September 23, 2014; Accepted September 24, 2014)

Abstract: In this study, the temperature control device was designed for the study in order to detect the output in frequency of temperature, and the study confirmed accurate temperature values treated systemically by using expanded A/D converting Technology. The control technology of functional sensor included the output error Detection. For the future study, it is necessary to implement a control device by building multiple circuits integrally with different types of sensors such as a automatically and intelligent notification function sensors.

Keywords: Output error detection, Expanded A/D converting technology, SMS notification technology

1. 서 론

일반적인 온도제어장치를 통해 히터 제어나 냉각기 제어 시 출력부에 출력이 온 (on)되면 히터 제어의 경우에는 온도가 상승하여야 하고, 냉각기 제어의 경우에는 온도가 하강하여야 한다. 이때, 히터 제어의 경우에는 출력이 온 (on)되었음에도 불구하고, 제어장치 내부의 출력부 또는 외부의 히팅 장치가 고장났을

경우, 온도가 상승하지 않을 것이다. 이러한 경우에 일반적으로는 하드웨어적인 신호를 입력받아서 고장 유무를 판단하고 있었으며, 이는 하드웨어적인 장치 추가로 이어지고 비용 증대, 추가된 장치의 고장까지 고려해야 하는 복잡한 시스템이 된다. 따라서 고장 상태를 사용자가 실시간으로 확인하여 이에 따른 신속한 조치를 취하도록 하여 효율적 운전과 피해를 최소화시킬 수 있는 시스템을 요구하게 된다. 또한, 온도를 측정함에 있어서 대개의 경우 온도센서의 아날로그 신호를 읽어 들여 그 값을 디지털 신호로 변환하는 A/D컨버팅을 이용하여 온도를 판단하고 제어신호를 보내게 되는데, A/D컨버팅에 따라 감지온도의 해상도 및 정밀도가 영향을 받게 되므로 A/D컨버팅

a. Corresponding author: yskwon@dau.ac.kr

기술 또한 온도제어장치를 개발함에 있어서 매우 중요하다.

최근의 온도제어장치는 대부분 마이컴의 형태를 띠는데, 많은 경우에 경제성, 실용성, 및 정밀도 등을 고려해서 8~10 bit 수준의 해상도를 내장한 마이컴으로 A/D컨버팅을 하여 신호처리를 한다. 좀 더 정밀한 제어를 위해서는 고해상도의 A/D컨버팅 전용 IC를 사용하면 되지만 마이컴 내장의 A/D컨버터를 이용할 때보다 추가비용이 발생하므로 경제적으로 상당히 고가로 된다. 따라서 추가적인 하드웨어의 사용은 최소한으로 줄이고 간단히 소프트웨어적으로 기존의 8~10 bit 신호처리를 개선하여 해상도를 증가시킬 수 있다면 경제적이면서도 더욱 정밀한 온도제어가 가능하게 된다.

본 연구에서는 A/D컨버팅 확장기술을 응용하여 온도센서의 안정적 운전에 필요한 별도의 추가적인 하드웨어 장치 없이 출력부의 고장을 검출하도록 하는 기술과 문자 통보가 가능한 온도제어장치를 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 A/D 컨버팅 확장기술

A/D컨버터란 Analogue to Digital의 줄임말로써 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 장치를 말한다. 따라서 A/D컨버팅이란, 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 기술을 의미하게 되는데, 이러한 신호변환에는 분해능이 중요하다. 예를 들어 0~5 V의 아날로그 신호를 입력받아서 디지털화 할 때 분해능은 0~5[V] 사이의 신호를 얼마나 세밀하게 단계를 나누는 것인가로 결정된다. 만일, 8비트로 신호처리를 한다면 0~5 V 사이의 아날로그 신호를 2^8 개의 신호, 즉 255단계로 나눈다는 뜻이며 디지털화된 숫자 1은 약 0.0196[V]를 의미한다. A/D컨버팅 한 결과 값이 10이라면 $0.01963 \times 10 = 0.196[V]$ 의 아날로그 신호를 변환한 것이고, 11일 때는 0.2156[V]이므로, 8비트 분해능을 가지는 A/D컨버터는 0.196[V]와 0.215[V] 사이의 아날로그 신호는 처리할 수 없게 된다. 이를 양자화 오차라고 하며, 신호처리를 위해 이용되는 bit수가 많아질수록 양자화 오차는 작아져서 정밀도는 높아지게 되어 더욱더 세밀하게 아날로그 신호를 디지털 숫자로 변환할 수 있다.

측정 온도 영역이 커지거나 온도센서가 출력하는

온도의 범위가 커질수록 양자화 오차는 더욱 커지게 된다. 만약 온도센서에서 읽은 아날로그 신호를 A/D컨버팅하여 -50.0도에서 90.0도까지의 온도를 소수점 첫째자리까지 표현해야 한다면 255(8비트)개의 숫자로 총 1,400(-500~900)의 범위를 표시해야 되는 것인데, 이것은 $1,400/255 = 5.49$ 이므로 컨버팅 결과값이 1 변할 때마다 표시 온도는 약 5도씩 계단식으로 표시되어 정밀한 측정과 제어가 어렵게 된다.

일반적으로 넓은 범위에서 정밀한 신호처리를 위해서는 12 bit나 14 bit 등과 같이 A/D컨버터의 분해능이 높은 IC를 사용하거나, 소프트웨어적인 확장기술을 사용하거나, 또는 소프트웨어와 하드웨어를 접목한 확장기술을 사용하여야 한다.

첫 번째로 분해능이 높은 IC의 경우 상대적으로 가격이 매우 비싸기 때문에 경제적인 관점에서 불리하다.

두 번째로 소프트웨어적인 확장기술의 경우, A/D컨버팅을 여러 번 누적해서 평균값을 산출할 때 누적회수 보다 적은 수로 누적 데이터를 나누는 방법을 이용하는데, 범위는 확장할 수 있으나 앞에서 설명한 계단형태로 변화하는 결과 값을 크게 감소시킬 수는 없다. 예를 들어 8비트 분해능의 경우 0~255의 A/D컨버팅 결과 값이 나올 수 있는데 이를 64회 동안 실시하여 합산하면 $255 \times 64 = 16320$ 의 값으로 약 14비트 분해능과 비슷한 결과 값이 나오게 되지만, 모든 아날로그 신호에는 노이즈가 포함되어 있거나, 회로 내에서 노이즈가 부가되므로 숫자의 변동이 아주 심한 상태가 된다. 이 값을 그대로 온도 등의 최종 값으로 변환하면 표시온도가 많이 흔들리게 되는 결과가 되므로 적절한 수준으로 평균값을 산출할 필요가 있다. 16320를 2로 나누면 8160이 되어 약 13비트의 분해능과 비슷한 결과 값이 되고, 4로 나누면 12비트의 분해능과 비슷하게 되고, 8로 나누면 2040로 11비트의 분해능과 비슷한 결과 값이 되어 온도 등의 최종 결과 값으로 변환해도 표시온도의 변화가 아주 적어진다.

입력신호나 회로 내 노이즈가 없다고 가정하면, 0~5 V의 아날로그 신호 중 약 1V가 입력되었을 때 8비트 분해능의 경우 디지털화 된 숫자 1은 0.0196V의 크기를 가지므로, 입력전압이 0.0196[V]만큼 변해야 디지털화된 숫자 1이 변한다는 의미가 되므로, 소프트웨어적인 확장기술을 적용하면 아래의 표와 같이 나타난다.

만약 최종 표시 데이터가 0.0~200.0도의 온도를 표시해야 한다면 41.0도나 41.2도는 표시를 할 수 없는

Table 1. A/D extended converter value by S/W.

| Input Voltage | 8 bit A/D Converter (unit) | 64 time Integration (Unit) | 12 bit Resolution Transfer (Unit) |
|---------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1.000 V | 51 | 3,264 | 408 |
| 1.005 V | 51 | 3,264 | 408 |
| 1.010 V | 51 | 3,264 | 408 |
| 1.015 V | 51 | 3,264 | 408 |
| 1.020 V | 52 | 3,328 | 416 |
| 1.025 V | 52 | 3,328 | 416 |

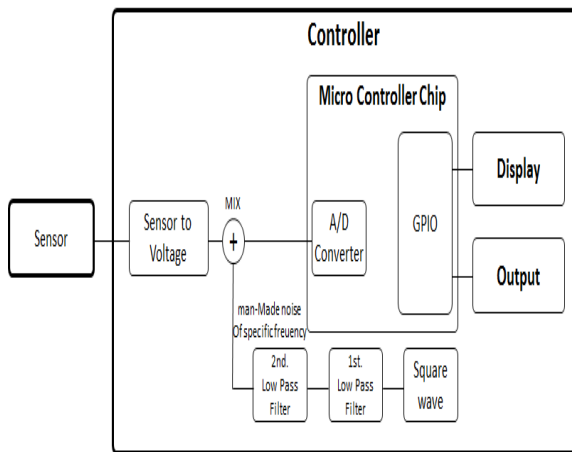


Fig. 1. Temperature control system and A/D converter concept.

상태가 된다. 따라서 A/D컨버팅 확장기술을 응용하여 온도센서의 안정적 운전에 필요한 별도의 추가적인 하드웨어 장치 없이 출력부의 고장을 검출하도록 하는 기술과 문자통보가 가능한 온도제어장치를 개발하였다.

그림 1에 본 연구에서 사용한 온도제어장치 및 A/D컨버터의 개략도를 나타내었다. 센서로부터 온도 신호를 제어기 내부로 읽어 들이는 과정에서 구형파를 이용한 특정 주파수의 커패시터 충방전 특성을 첨가하여 마이크로 컨트롤러에서 소프트웨어적인 A/D 컨버팅 확장기술을 적용하여 표시부 및 출력부에 더욱 정밀한 신호를 보내는 구조이다.

구형파 발생부와 1차 및 2차 저역통과 필터부, 그리고 센서입력 신호와 mix되는 부분의 회로도들을 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 A지점에 구형파를 인가하면 1차 RC필터 (300 KΩ 저항과 10 nF 커패시터),

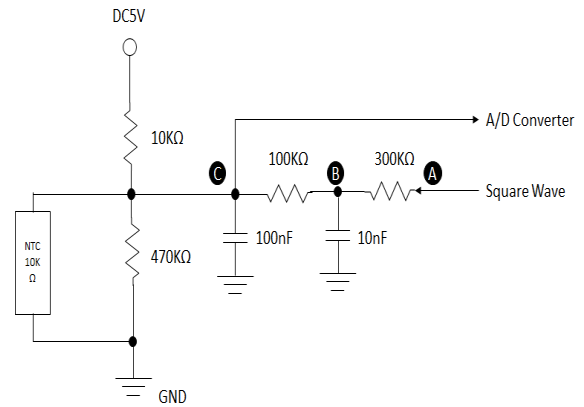


Fig. 2. Process circuit of sensor signal.

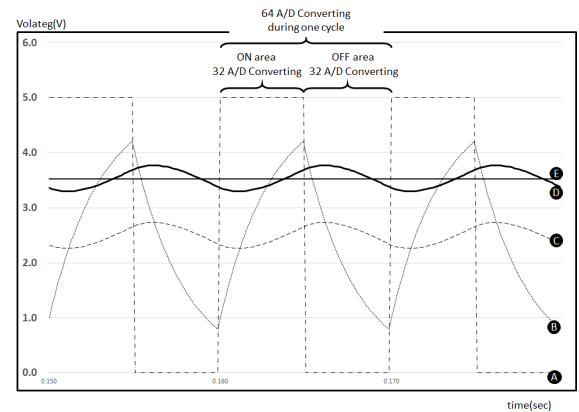


Fig. 3. Waveform of sensor signal.

2차 RC필터 (100 KΩ저항과 100 nF 커패시터)에 의하여 충방전이 될 것이다. 이때의 충방전 곡선은 아래의 공식에 의하여 그려진다.

$$v = V_F + (V_i - V_F)e^{-t/\tau}$$

- v : 출력 전압
- V_F : 목표 전압
- V_i : 초기 전압
- t : 경과 시간
- τ : 시정수($\tau = RC$)

구형파 신호는 마이컴의 GPIO (general purpose input/output pin) 포트를 이용하여 발생시키고, 1차 RC필터, 2차 RC필터를 통과 시킨 후 센서입력 신호와 mix시키고 있고, 관련된 파형의 형태를 그림 3에 나타내었다.

Table 2. Data compare of extended A/D converter.

| Sensor Input Signal | Extended A/D Converter with S/W (Unit) (extended 14 bit) | Extended A/D Converter with H/W and S/W (Unit) (extended 14 bit) |
|---------------------|---|--|
| 3.510 V | 11,456 | 11,443 |
| 3.515 V | 11,456 | 11,462 |
| 3.520 V | 11,456 | 11,475 |
| 3.525 V | 11,456 | 11,495 |
| 3.530 V | 11,520 | 11,507 |

마이컴에 의해 발생된 구형파 신호 A는 1차 RC필터를 거친 후 B와 같은 파형이 되고, 2차 RC필터를 거치면 C와 같은 파형이 된다. 여기에 센서입력 신호 E를 mix하면 D와 같은 파형이 된다. 1차 RC필터, 2차 RC필터의 저항 및 커패시터 값과 구형파의 주파수는 센서 입력신호에 따라 달리할 수 있으며, 신호에 따라 최적화시키면 된다. 이와 같이 저항소자와 커패시터와 같은 하드웨어의 첨가와 동시에 소프트웨어적으로 A/D컨버팅 확장기술을 시행하기 위해서는 여러 번의 컨버팅 결과값을 누적시켜야 하며, 누적회수 또한 센서입력 신호 또는 사용자의 경험에 의하여 최적화하면 된다.

본 연구에서는 구형파 신호의 ON구간 동안 32회, OFF구간 동안 32회로 구형파 신호 1주기 시간 동안 총 64회의 A/D컨버팅을 실시하여 누적시키는 것으로 정하였다. 이는 10 bit 해상도를 가진 A/D컨버터의 경우 64회 누적을 실시하면 약 16비트까지 확장할 수 있는 값이 되므로, 소형 마이컴 C컴파일러의 변수형 중 unsigned int (0~65535)에 맞는 크기이기 때문이다.

여기서, 하드웨어적인 추가신호의 mix없이 순수한 센서입력신호만으로 A/D컨버팅을 실시하였을 경우 전술한 양자화 오차로 인하여 마치 계단과 같은 형태로 온도가 환산되어 정밀한 제어가 어려워진다. 그러나 그림 3에서 설명한 것과 같이 커패시터의 충방전 곡선과 센서신호를 mix한 후 A/D 컨버팅하면 미약한 입력신호의 변화에도 컨버팅 결과값에 변동을 줄 수 있기 때문에 양자화 오차를 감소시킬 수 있다.

표 2 및 그림 4는 소프트웨어 확장기술만을 적용했을 경우와 하드웨어 확장기술을 함께 적용했을 경우의 결과를 비교한 결과이다. 비교 시 적용한 조건은 1차필터의 저항과 커패시터는 300 KΩ 및 10 nF, 2차필터의 저항과 커패시터는 100 KΩ 및 100 nF, 구형파의 주파수는 100 Hz, A/D컨버터의 기준전압은 5

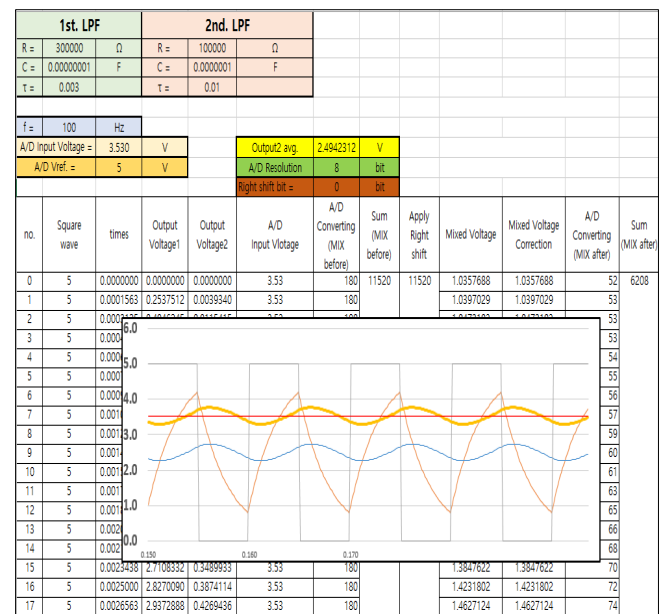


Fig. 4. MIX simulation result of H/W add signal.

V, 그리고 A/D컨버터 해상도는 8 Bit였다. 따라서 1 bit 변화 당 전압 변화는 5 V / 256 = 0.01953 V로 되어, 센서입력 신호가 0.01953 V의 변화가 있어야 A/D컨버팅 결과값이 1 변한다는 것을 의미한다.

위 결과에서 보면 3.510 V~3.525 V 구간에서 소프트웨어 확장기술만 적용한 방법에는 A/D 컨버팅 결과가 변화지 않고 동일하나, 하드웨어적인 추가 신호를 mix한 결과는 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 5에 실험장치의 모식도를 나타내었다. 본 연구에서의 온도제어는 냉각장치를 이용한다. 냉각용 창고를 간략화하여 열전소자 (펄티어소자)를 이용한 냉각장치를 제작하였다. 열전소자 (HM6040, ACETEC)는 적절한 전류를 흘리게 되면 소자의 한쪽은 차가워지고 다른 한쪽은 뜨거워지는 특성을 가지고 있고,

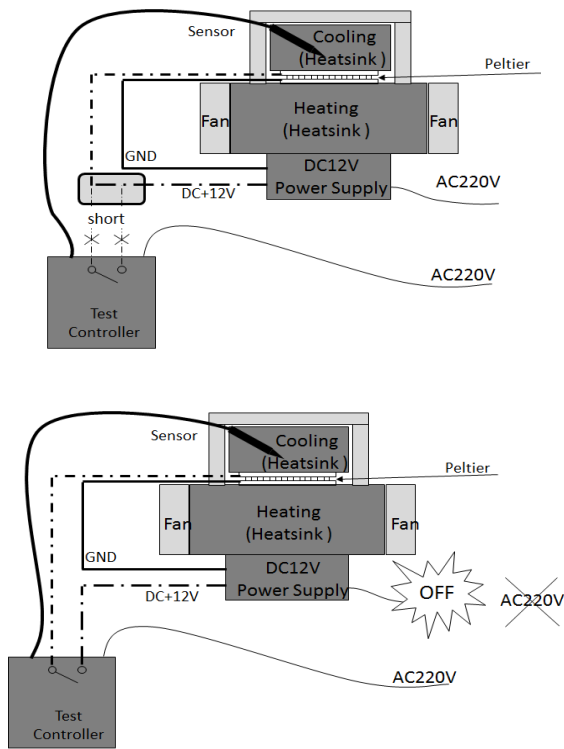


Fig. 5. Diagram of on and off state in output. (a) on state of output and (b) off state of output.

DC 12 V 전원을 연결 하였을 때 약 2~3 A의 전류가 흐른다. DC 12 V 전원장치의 제어기내부의 릴레이를 통하여 on/off하여 전류의 흐름을 제어할 수 있다. 열전소자의 뜨거워지는 부분을 충분히 식혀 주어야 차가워지는 부분이 충분히 온도가 내려가므로 방열판과 냉각팬으로 온도를 식혀주도록 하였다. 반대로 차가워지는 부분은 보냉 효과를 위하여 보냉용 스펀지로 챔버를 만들고 안쪽에 센서를 넣은 후 뚜껑을 덮어 냉기가 새어나가지 않도록 하였다.

출력부 고장의 효과를 인위적으로 가하기 위하여 아래와 같은 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째, 출력부가 계속 on인 상태의 고장으로서 제어기의 릴레이 출력을 거치지 않고 열전소자로의 DC 12 V 전원 공급이 계속되게 하는 것이다. 그림 5(a)를 참고하며 제어기의 온도상태에 의한 릴레이 출력제어와는 상관없이 계속 열전소자에 전원이 공급되므로 온도는 계속 하강할 것이다.

두 번째, 출력부가 계속 off인 상태의 고장으로서 DC 12 V 전원장치의 입력 전원을 off시킴으로써 제

어기의 릴레이 출력에 상관없이 열전소자에는 전원공급이 차단되게 하는 것이다. 그림 5(b)를 참고하며 제어기의 온도 상태에 의한 릴레이 출력 제어와는 상관없이 계속 열전소자에 전원이 공급되지 않으므로 온도는 계속 상승할 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 출력 ON/OFF 상태 온도그래프

그림 6에 출력이 계속 on인 상태로 고장인 난 경우에 대하여 온도 변화를 그래프로 나타내었다. 최초 학습이 되어 있지 않은 상태로 시작하여 수회의 출력 on/off를 반복하여 16분 30초 경 이전의 데이터를 안정한 데이터로 인식하는 학습이 완료되었고, 이후 제어기의 릴레이 출력단자에 연결된 선을 빼내어 서로 단락시키면 약 20분 경 부터 계속 온도가 하강하는 것을 관찰할 수 있었다. 출력 off 상태로 진입하는 순간 (약 21분)부터 정상상태에서의 평균적인 출력오프 시간 (41.6초) 보다 3배 많은 약 2분의 추가 시간이 흐른 23분경에 출력부 고장으로 판단하고 사용자에게 문자 전송을 시도한다.

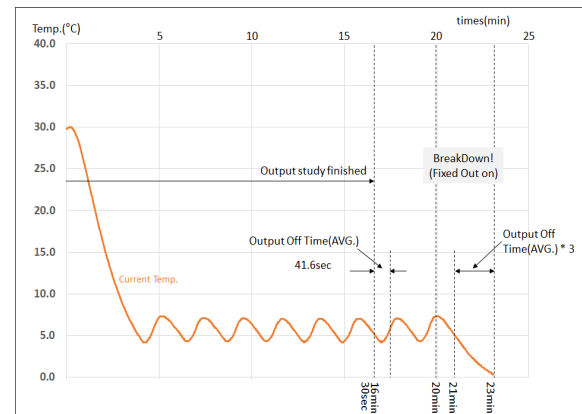


Fig. 6. Temperature graph of on state in trouble output.

그림 7에 출력이 계속 off인 상태로 고장인 난 경우에 대하여 온도 변화를 그래프로 나타내었다. 최초 학습이 되어 있지 않은 상태로 시작하여 수회의 출력 on/off를 반복하여 약 16분 20초 경 학습이 완료되었고, 이후 DC 12 V 전원장치의 입력 전원을 off하여 열전

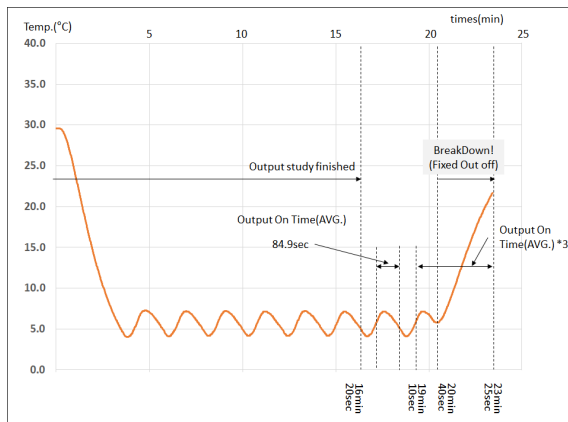


Fig. 7. Temperature graph of off state in trouble output.

소자로의 전원 공급을 차단시키면 약 20분 40초부터 계속 온도가 상승하는 것으로 볼 수 있다. 출력 on 상태가 시작된 순간 (약 19분 10초)부터 정상 상태에서의 평균적인 출력 온시간 (84.9초)보다 3배 많은 약 4분 15초만큼 추가 시간이 흐른 약 23분 25초경에 출력부 고장으로 판단하고 사용자에게 문자 전송을 시도한다.

3.2 출력부 고장감지

출력부의 고장 감지는 위 실험 결과처럼 학습 완료가 이루어지면 평균적인 출력 온시간과 출력 오프시간이 저장되어 있을 것인데, 비정상 상태에서의 출력 온 또는 오프시간이 정상 상태에서의 평균적인 출력 온 또는 오프시간보다 3배수 길어질 때 고장으로 판단한다. 예를 들어 출력이 on으로 고정되어 있는 상태로 고장이 발생했다면, 냉각기에서 지속적으로 냉기가 나와서 설정온도 이하로 현재 온도가 충분하게 하강하게 되고 제어기는 출력을 off할 것이다. 제어기 출력이 off이지만 출력부 고장으로 계속 냉각기가 가동되므로 정상 상태에서의 평균적인 출력 오프 시간 (ex. 10분)보다 3배 시간 (ex. 30분)이 흐른 후 출력부 고장으로 판단한다.

반대로 출력이 off로 고정되어 있는 상태로 고장이 발생했다면, 냉각기가 가동되지 않으므로 지속적으로 현재온도가 상승하여 설정 온도를 넘어서게 되고 제어기에서는 설정 온도보다 현재 온도가 높기 때문에 출력을 on할 것이다. 제어기 출력이 on이지만 출력부 고장으로 냉기가 나오지 않으므로 정상 상태에서의

평균적인 출력 온시간 (ex. 5분)보다 3배 시간 (ex. 15분)이 흐른 후 출력부 고장으로 판단한다.

3.3 문자 통보

출력부에서 고장이 발생했다고 판단되면 온도제어 장치로는 더 이상 온도를 제어할 수 없는 상황이 된다. 따라서 이러한 경우에는 가능한 빠른 시간 안에 사용자에게 고장임을 알려야 한다. 본 연구에서는 출력부에서 고장이 발생하면 유선전화 라인을 이용한 단문 메시지 (SMS) 전송을 위하여 제어기 내에 모뎀 기능을 추가하였고, 이를 통해 사용자의 휴대전화로 정보 상황을 전송할 수 있도록 하였다.

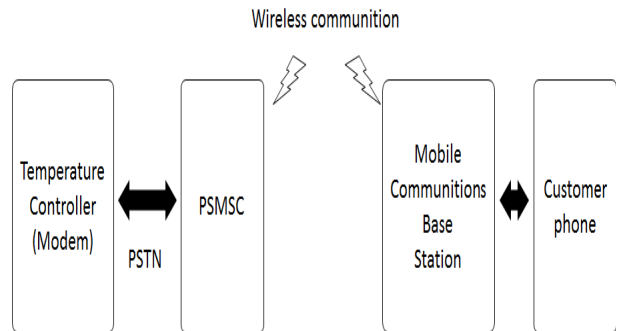


Fig. 8. Transmission environment of SMS (short message service).

PSMSC (PSTN short message service center)는 공중 유선전화망에서 문자메시지를 전송할 수 있도록 하는 서비스센터로서, 단말기와 지정된 통신규약에 의하여 문자메시지 송수신 서비스를 수행하고 있다. 단말기로부터 수신한 문자메시지는 해당 이동통신사의 기지국을 통하여 사용자 휴대전화로 전송되게 되어 있고, 이로써 사용자는 제어기의 출력고장 상태를 인지하고 즉각적으로 유지보수 작업을 수행하여 재산상의 손해를 줄일 수 있다.

4. 결론

본 연구는 출력부 고장감지 및 비상조치로서 문자 통보가 가능한 온도제어장치에 관한 것으로서, 출력부에 출력 온 (on)-신호 또는 오프 (off)-신호를 송출한 후, 정상 상태에서의 평균적인 지정된 고장감지

시간 이내에 출력의 상태가 변동되지 않을 경우에 고장으로 판단하여 사용자 단말기로 고장 문자메시지를 전송하여 신속한 조치가 가능하도록 하는 출력부 고장감지 및 문자 통보가 가능한 온도제어 장치를 개발하였다. 별도의 추가적인 하드웨어 장치 없이 출력부의 고장을 실시간으로 검출할 수 있게 되어 추가 설치비용이 들지 않는 효과를 제공하게 되며, 설치 현장 상황에 맞게 고장감지 시간을 설정할 수 있어 현장에 따라 유연한 대처가 가능하게 되는 기술이다. 특히 A/D컨버팅 확장기술은 온도센서에서 뿐만 아니라 다양한 신호처리에도 응용이 가능한 핵심기술이다. 이러한 기능의 확보는 온도제어 기술에서 매우 중요한 요소기술이며, 온도센서의 실용화기술에서 가장 핵심 결과이다.

REFERENCES

- [1] W. Namgoong, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **2**, 502 (2003).
- [2] B. D. Gronholz, M. A. Temple, R. F. Mills, W. H. Mims, and T. D. Niedzwieck, *2005 International Conference on Wireless Networks, Communications, and Mobile Computing*, 1071 (2005).
- [3] J. Hou, C. Wu, J. Tan, Q. Wang, and Y. Zhou, *International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops*, **8**, 554 (2005).
- [4] C. L. Tseng, J. A. Jiang, R. G. Lee, F. M. Lu, C. S. Ouyang, Y. S. Chen, and C. H. Chang, *Computers and Electronics in Agriculture*, **53**, 45 (2006).
- [5] M. De Volder, J. Coosemans, R. Puers, and D. Reynaerts, *Sensors and Actuators A: Physical*, **141**, 192 (2008).
- [6] M. Musallam, P. P. Acarnley, C. M. Johnson, L. Pritchard, and V. Pickert, *Control Engineering Practice*, **16**, 1438 (2008).
- [7] X. J. Zhang, C. Y. Yu, S. Li, Y. M. Zheng, and F. Xiao, *Applied Thermal Engineering*, **31**, 3653 (2011).
- [8] W. I. Hussein, K. Hasan, and A. A. Jaradat, *Diabetes Research and Clinical Practice*, **94**, e24 (2011).
- [9] E. B. Liebow, J. H. Derzon, J. Fontanesi, A. M. Favoretto, R. A. Baetz, C. Shaw, P. Thompson, D. Mass, R. Christenson, P. Epner, and S. R. Snyder, *Clinical Biochemistry*, **45**, 979 (2012).
- [10] H. Wakadha, S. Chandir, E. V. Were, A. Rubin, D. Obor, O. S. Levine, D. G. Gibson, F. Odhiambo, K. F. Laserson, and D. R. Feikin, *Vaccine*, **31**, 987 (2013).
- [11] C. Falconi, *Sensors and Actuators B: Chemical*, **179**, 336 (2013).
- [12] N. Festin, C. Plesse, P. Pirim, C. Chevrot, and F. Vidal, *Sensors and Actuators B: Chemical*, **193**, 82 (2014).