

낙농의 자동화 시스템 구성 I  
- 체온 감지 온도센서의 선정 -

The Design of an Automatic System for Dairy Cattle Breeding I  
- The Choice of Temperature Sensor for Body Temperature  
Measuring -

김형주\* 정길도\* 한병성\* 김용준\*\* 김동원\*\*\* 김명순\*\*\*\*

H. J. Kim K. T. Chong B. S. Han Y. J. Kim D. W. Kim M. S. Kim

ABSTRACT

In this paper the automatic system for dairy cattle has been designed such as body temperature measuring unit, feed supplying unit and temperature control unit. Since the disease is strongly related to the body temperature of cattle, early detection of the abnormal temperature would prevent the severe problems which may occur in dairy farms. An electronic component AD590J is used as a temperature sensor for the system. The device is highly robust against the noise since the output signal is the current, so it can be applied to a long distance sensing. The resolution of signal is 0.1℃ and the current is 10mA. Also 12-bit A/D converter is designed for interfacing the sensor with a one-chip microprocessor. A temperature measuring experiment using the developed system has been done for measuring the temperature of human beings and the system was proven to be useful for measuring the body temperature of dairy cattle properly. A geared AC motor is used for the feed supplying unit. The heater and fan are used as temperature control unit. The feed supplying unit and temperature control unit are well operating in the laboratory experiment.

**주요용어(Key Words):** automatic temperature measuring system, temperature sensor, disease, feed supplying unit, temperature control unit

---

\* 전북대학교 전기전자제어공학부

\*\* 전북대학교 수의학과

\*\*\* 전북대학교 산업공학과

\*\*\*\* 우석대학교 생물학과

## 1. 서 론

최근 우리 나라에 대한 개방화의 요구가 날로 확대되고 있다. 농업은 자연조건과 인적 자원 및 자본 기술 수준에 따라, 국제간의 분업화 현상이 뚜렷해질 것으로 전망되고 있다. 정부는 이에 따라, 우리의 경지 면적 및 기술발전 등을 감안하여, 우리 나라를 자본과 기술이 집약된 고능률의 농업을 실현하는, 자본기술집약형의 농업국가로 탈바꿈시키려 하고 있다(박, 1994).

또한 갈수록 큰 폭으로 상승되고 있는 인건비는 제품의 원가를 상승시키는 주요 요인으로 작용되고, 우리 나라의 주요 산업분야는 물론 낙농업의 경쟁력을 약화시키고 있는 실정이다.

따라서 우리의 낙농업이 국제 경쟁력을 갖기 위해서는, 기계화 및 자동화 장비의 확대 도입으로 노동 투입량을 낮춤으로써 생산 단가를 저감시켜야 할 것이다(장, 1995).

최근 전자공학의 발달과 각종 센서의 발달로 농업 및 낙농업에 있어서 자동화 기술을 확대시키고 있으며, 고감도 센서와 컴퓨터 시스템에 의한 동식물의 집단 진단, 농산물 품질 상황 판단을 가능하게 하고 있다.

질병에 의한 경제적 손실을 최소한도로 줄이기 위해서는 질병의 조기 발견, 조기 치료가 가장 중요하다. 일반적으로 가축의 체온측정은 동물용 수은 체온계를 직장 내에 삽입하여 측정하는데, 측정 시간이 오래 걸릴뿐만 아니라, 측정시간 또는 체온계를 읽는 위치에 따라 오차가 발생하기 쉽다. 또한 이러한 체온 측정 방법은 대단히 번거롭고 가축에게 스트레스를 주게 되어 바람직하지 못하다.

따라서 본 연구에서는 온도센서를 이용하여 젖소의 체온을 착유시 자동으로 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다.

현재 산업체에서는 주로 열전쌍, 서미스터, 백금 저항 측온체, 그리고 다이오드 온도계를 온도 센서

로 이용하고 있다. 이들 대부분은 외부에 장착된 선형화 회로를 필요로 하고 그것을 통하여 선형화 출력을 얻을 수 있다.

그러나 최근 센서와 선형 회로를 일체화한 집적회로(IC) 온도 센서가 개발되었다. 집적회로 온도 센서 중에서도 특히 AD590J는 전류 출력이므로, 직렬로 수백 오옴( $\Omega$ )의 저항을 연결하여도 오차가 거의 발생하지 않는 특성을 가지고 있어 원거리 체온 측정 시스템을 개발하기 위해서 많은 장점을 지니고 있다.

본 연구에서는 센서에 의한 자동 계측 및 제어 장비를 활용하여 자동 체온 측정 시스템, 자동 급이 시스템과 자동 온도 조절 시스템의 젖소 사육의 자동화 시스템을 설계하였다.

또한 이 시스템이 가축에 이용될 수 있는지를 알아보기 위하여 사람 체온을 측정하여 사용 가능성을 알아보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 온도 센서

본 연구에서는 여러 가지 온도센서중 반도체 IC 온도센서인 AD590J를 사용하였으며, 반도체 온도센서의 원리를 살펴보면 다음과 같다.

트랜지스터에 일정한 컬렉터 전류가 흐를 경우 베이스-에미터간 전압이 온도에 비례하는 원리를 이용한 온도 센서이다. 베이스-에미터간 전압  $V_{BE}$ 는 다음 식과 같이 표시된다(Sedra, 1991).

$$V_{BE} = V_0 - (kT/q) \ln(KT \gamma / I_c)$$

여기에서  $V_0$ :  $T=0K$ 일 때  $V_{BE}$ ,  $k$ : 볼츠만 상수,  $q$ : 전자의 전하량,  $I_c$ : 컬렉터 전류,  $K$ ,  $\gamma$ : 트랜지스터에서 결정되는 상수  $V_0$ ,  $k$ ,  $q$ ,  $K$ ,  $\gamma$ 는 미리 알 수 있으므로  $V_{BE}$ 와  $I_c$ 를 알면 온도  $T$ 가 결정된다.

반도체 온도센서의 특징은 온도에 대한 전압 변화가 크고 감도가 양호하다. 또한 보정회로나 정전압,

정전류 회로를 동일 칩상에 탑재하여 온도센서 IC를 구성할 수 있다. AD590J는 보정회로와 정전류회로를 동일 칩상에 내장한 IC 온도센서이고 2단자 온도 변환기이다.

2 단자 IC 온도 센서의 원리를 살펴보자. 트랜지스터의 에미터 전류밀도 방정식은 다음과 같다.

$$J_e = (1/\alpha) J_s (e^{qV_{be}/kT} - 1)$$

여기에서  $J_e$  : 에미터 전류밀도,  $J_s$  : 에미터 포화 전류밀도,  $\alpha$  : 공통 베이스 전류 이득,  $V_{be}$  : 베이스-에미터 전압,  $q$  : 전자의 전하,  $k$  : 볼츠만 상수,  $T$  : 절대 온도이다.

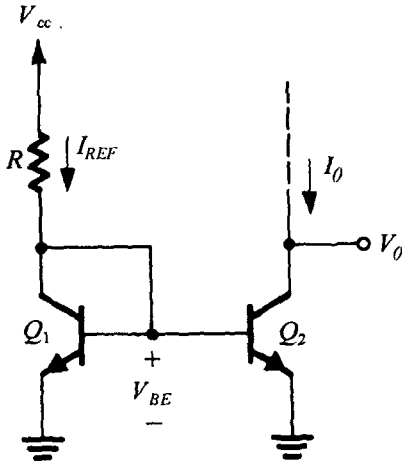


Fig. 1 Current mirror with two matched transistor  $Q_1$  and  $Q_2$ .

그림 1은 매치된 트랜지스터 회로를 나타낸다. 만약  $J_s$ 값이  $J_s$ 값에 비해 극히 작고, 베이스가 서로 연결되어 있으며, 에미터 전류밀도가 각각  $J_{e1}$ 과  $J_{e2}$ 인 2개의 트랜지스터가 연결된 회로일 때  $V_T$ 의 값은 다음과 같이 표시된다.

$$V_T = V_{be1} - V_{be2} = (kT/q) \ln \frac{\alpha_1 J_{e1} J_{e2}}{\alpha_2 J_{e2} J_{e1}}$$

여기서

$V_{be1}$  : 트랜지스터  $Q_1$ 의 베이스-에미터 전압

$V_{be2}$  : 트랜지스터  $Q_2$ 의 베이스-에미터 전압

$\alpha_1$  : 트랜지스터  $Q_1$ 의 공통 베이스 전류이득

$J_{e1}$  : 트랜지스터  $Q_1$ 의 에미터 포화 전류밀도

$J_{e1}$  : 트랜지스터  $Q_1$ 의 에미터 전류밀도

$\alpha_2$  : 트랜지스터  $Q_2$ 의 공통 베이스 전류이득

$J_{e2}$  : 트랜지스터  $Q_2$ 의 에미터 포화 전류밀도

$J_{e2}$  : 트랜지스터  $Q_2$ 의 에미터 전류밀도 이다.

위의 식에서  $V_T$ 가 절대온도  $T$ 에 비례하기 위해서는 자연로그 항이 상수이어야만 한다.

만약  $\alpha_1 = \alpha_2$ 이고  $J_{e1} = J_{e2}$ 이며,  $J_{e1}/J_{e2}$ 가 상수  $\gamma$ 라고 하면  $V_T = (Tk/q) \ln \gamma$  이다.

따라서  $V_T$ 는 절대온도  $T$ 에 비례한다.

다음은 트랜지스터를 이용한 전류거울(current mirror)에 대해서 알아보자. 전류거울(current mirror)은 IC의 전류원과 전류조종(current-steering)회로의 가장 기본이 되는 요소이다. 전류거울은 같은  $V_{BE}$ 값을 가지고, 베이스단과 에미터단이 같이 연결되고,  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$ 가 같고, 또한  $J_{e1}$ 과  $J_{e2}$ 의 값이 같은 두 개의 트랜지스터  $Q_1$ 과  $Q_2$ 로 그림 1과 같이 구성된다.

트랜지스터  $Q_1$ 은 베이스와 컬렉터를 단락 시킴으로서 다이오드처럼 연결된다.

공통 에미터의 전류이득  $\beta$ 가 상당히 크고, 베이스 전류는 무시할 수 있을 만큼 작다면, 입력전류  $I_{REF}$ 는 다이오드처럼 연결된 트랜지스터  $Q_1$ 을 통해서 흐르고,  $I_{REF}$ 의 값에 의하여 트랜지스터  $Q_1$ 의 컬렉터-에미터(베이스-에미터)간의 전압차가 발생한다. 이 전압은 트랜지스터  $Q_2$ 의 베이스와 에미터 사이의 전압으로 나타난다. 트랜지스터의 컬렉터 전류와 베이스-에미터간 전압 관계식은 다음과 같다.

$$i_c = I_s e^{qV/V_T}$$

여기에서

$i_c$  : 컬렉터 전류,  $I_s$  : 포화 전류,  $V_T$  : 열 전압 (thermal voltage,  $V_T = kT/q$ ) 이다.

베이스 전류  $i_b$ 는 다음과 같다.

$$i_B = i_C / \beta$$

또한, 에미터 전류  $i_E$ 는 다음과 같다.

$$i_E = i_C / \alpha$$

트랜지스터  $Q_1$ 과  $Q_2$ 에서  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$ 가 같고, 또한  $J_{Q1}$ 과  $J_{Q2}$ 가 같기 때문에  $Q_2$ 의 에미터 전류는  $I_{REF}$ 와 같은 값을 갖게 된다. 거울 동작은 트랜지스터  $Q_3$ 가 액티브(active) 상태이기만 하다면 전압  $-V_{EE}$ 의 값에 관계없이 작동하게 된다.

지금까지 살펴본 원리, 즉 트랜지스터의 온도에 대한 베이스-에미터간의 전압과의 관계와 전류 거울을 응용한 가장 기초적인 회로는 그림 2와 같다.

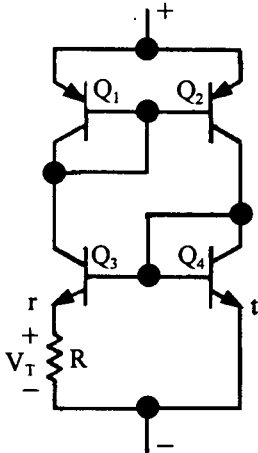


Fig. 2 Elementary example of PTAT (proportional to absolute temperature) generating circuit.

트랜지스터  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 전류 거울에 의해 트랜지스터  $Q_3$ 와  $Q_4$ 의 컬렉터 전류가 같게 흐르게 한다.  $Q_3$ 와  $Q_4$ 의 에미터 면적비가  $\gamma$ 이므로  $V_T$ 값은 다음과 같게 된다.

$$V_T = (kT/q) \ln \gamma$$

$V_T$ 는 저항 R에 나타나는 전압이고 트랜지스터  $Q_3$ 의 에미터에 흐르는 전류 I는 전류 거울에 의해 트랜지스터  $Q_4$ 의 에미터에 흐르는 전류와 같게 되고 전류 I는 다음과 같다.

$$I = V_T / R = (kT/q) (\ln \gamma / R)$$

저항 R이 제로(zero)의 온도계수를 가진다면 이 회로에 흐르는 총 전류는 절대 온도에 비례한다. 이러한 원리를 이용한 온도센서가 AD590J이다.

자동 체온 측정 시스템에 사용된 온도 센서는 아날로그 디바이스사의 AD590J를 사용하였다. AD590J는 IC 온도센서로써 외부에서 선형화를 하지 않고 편리하게 사용할 수 있도록 개발된 센서로써, 온도의 변화에 상응하는 전류 변화를 출력하는 온도센서로, 직렬로 수백  $\Omega$ 의 저항이 존재하더라도 오차가 거의 발생하지 않는 특성을 가지고 있어, 원거리 체온 측정시스템 개발에 사용하기 적합한 온도센서이다. AD590J는 보통 25°C에서 298.2 $\mu$ A의 전류를 출력하도록 되어있고, 1 $\mu$ A/°C의 특성을 가지고 있다.

#### 나. 자동 온도 측정 시스템 구성

자동 온도 측정 시스템은 AD590J 온도센서를 사용하여 그림 3과 같이 구성하였다. 온도변화에 비례하는 전류변화를 출력하는 AD590J의 특성을 이용하

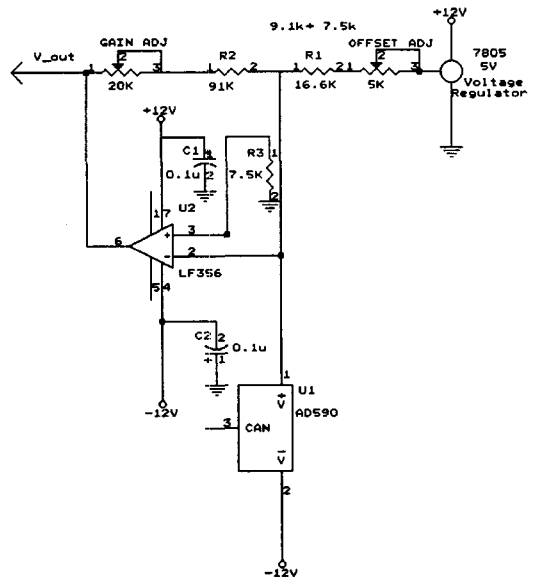


Fig. 3 Automatic temperature sensing system.

여 오프앰프(Op-amp)를 사용하여 전류변화를 전압으로 변환하였다. 오프셋 조절은 그림 3의 오프셋 조절 저항으로 25℃에 298.2 $\mu$ A의 전류를 출력하도록 조절한다. Gain ADJ 저항은 출력되는 전압이 25℃에서 V<sub>out</sub>이 2.5V의 전압출력이 되도록 조절하는 저항이다.

체온을 측정하기 위해 착유기에 부착하는 방법은 그림 4와 같이 부착할 수 있다.

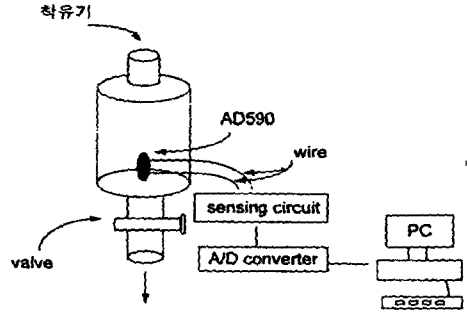


Fig. 4 The adherent method of AD590J in a milking machine.

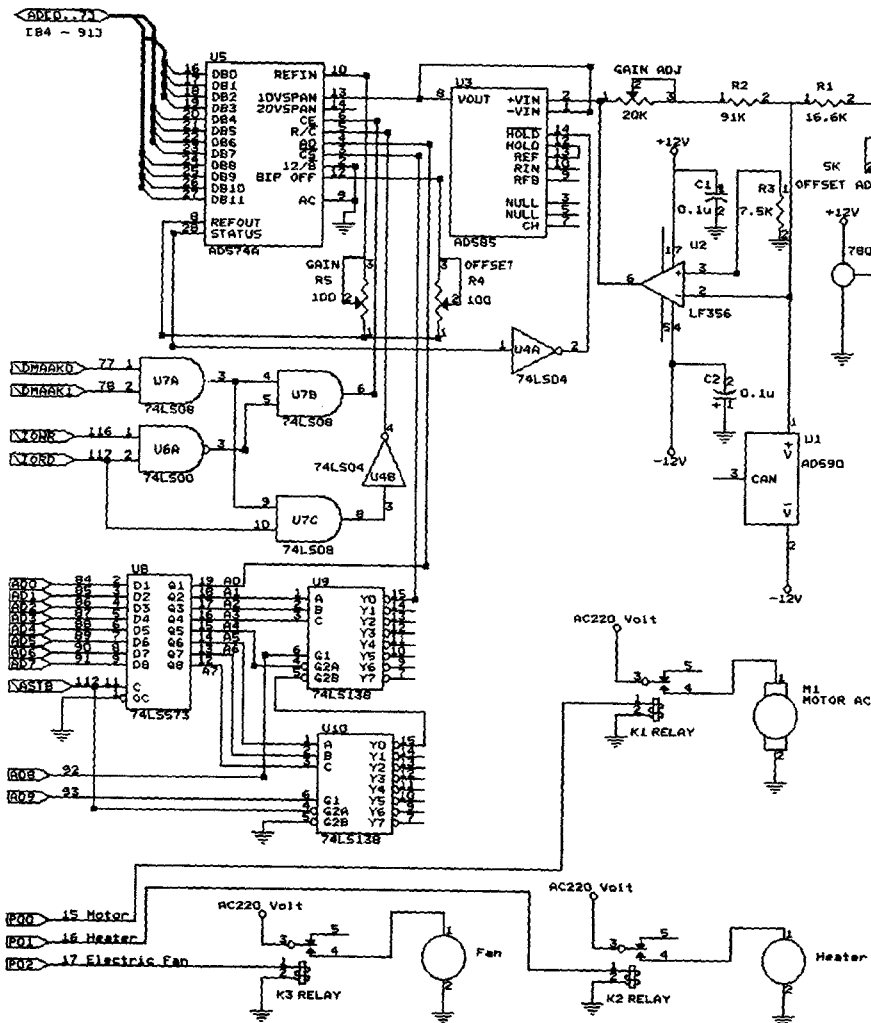


Fig. 5 Automatic control system for dairy cattle.

Table 1 Body temperatures measured by AD590 and the commercial digital thermometer in 10 men

Thermometer	Individual man				
	A	B	C	D	E
Digital thermometer (°C)	36.49	37.31	36.77	37.18	35.91
AD590J output voltage (°C)	3.64~3.65	3.74~3.75	3.67~3.69	3.69	3.63~3.64
AD590J temperature (°C)	36.45	37.45	36.7	36.9	36.3
Difference	0.04	-0.14	0.07	0.28	-0.39

Thermometer	Individual man				
	F	G	H	I	J
Digital thermometer (°C)	36.98	37.58	35.45	36.44	36.65
AD590J output voltage (°C)	3.71	3.72~3.76	3.56~3.57	3.66~3.67	3.67~3.68
AD590J temperature (°C)	37.1	37.6	35.6	36.6	36.7
Difference	-0.12	-0.02	-0.15	-0.16	-0.05

다. A/D 변환기

그림 5는 0.1 °C당 10mV의 전압변화를 출력하는 시스템 구성으로 10V의 레퍼런스 전압에서 1 bit당 2.44mV의 분해능을 갖도록 12bit의 A/D 변환기인 아날로그 디바이스의 AD574를 사용하였다. 레퍼런스와 클럭을 내장한 12 bit A/D 변환기 AD574는 8비트와 16비트 마이크로프로세서와 곧 바로 인터페이스할 수 있도록 3-state output buffer회로를 내장하고 있다. 자동 온도 측정 시스템과 A/D 변환기로 구성된 시스템은 그림 5와 같이 설계하였다.

라. 자동 급이 시스템과 온도 조절 시스템의 구성

자동 급이 시스템은 Geared AC 모터(10rpm, 30kg·cm)를 사용하여 릴레이를 통한 ON/OFF 제어를 하였다.

AC 모터에 모터의 회전과 공급되는 사료의 양이 비례 되도록 하는 급이 시스템을 설계한다면 AC 모터의 회전수로 공급되는 사료의 양을 조절할 수가 있을 것으로 본다.

온도 조절 시스템은 히터(Heater, 950W)와 송풍기(fan, 68W)를 사용하여 릴레이를 통한 ON/OFF제어를 하였다. 설정된 온도 범위를 유지하기 위하여, 설정된 온도 범위보다 낮으면 히터가 가동되어 온도를 상승시켜 주고, 높으면 선풍기가 작동되어 온도를 낮추어 준다.

자동 체온 측정 시스템, 자동 급이 시스템과 자동 온도 조절 시스템을 포함한 전체 시스템의 회로도도 그림 5와 같이 설계하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 온도 측정

그림 5에서 구성된 온도 센서회로가 실제 온도를

정확하게 측정할 수 있는지 검증하는 단계로 일반적으로 이용되는 온도계의 교정방법을 이용하였다. 즉 AD590J를 얼음(0℃)에 넣고 온도를 측정한 결과 출력전압이 0V가 측정되었다. 아울러 AD590J 온도 측정시스템을 가축에 이용할 수 있는지 알아보기 위한 예비임상실험으로 건강한 10명의 사람을 대상으로 하여 체온을 측정하였으며, 동시에 현재 사람 체온 측정에 이용되고 있는 디지털 체온계를 이용하여 체온을 측정하여 비교한 결과는 표 1과 같다.

10명의 체온 측정 결과에서 기준 디지털 온도계로 측정했을 때 10명의 체온 범위는 35.45℃~37.58℃였으며, AD590J를 이용한 체온 측정에서는 35.6℃~37.6℃의 체온 범위를 보였다.

이때 기준 디지털 온도계와 AD590J 시스템의 체온 측정 온도의 차이를 살펴보면, -0.39℃~0.28℃의 오차가 있었다. 그리고 평균 오차는 0.142℃를 나타내었다.

건강한 소의 체온은 일반적으로 37.5℃ ~ 39.0℃이며, 38.5℃ 전후가 가장 많다(김, 1987).

질병에 걸린 소의 체온 범위는 일반적으로 39.5℃~42℃와 37.5℃ 이하로 나타난다. 따라서 건강한 소의 체온 범위 38.5℃에서 ±1.0℃ 이상 벗어나면 질병에 걸린 것으로 생각할 수 있으며, AD590J를 이용한 자동 체온 측정 시스템을 이용한 젖소의 체온 측정을 통해 질병을 조기에 발견할 수 있을 것으로 판단한다.

본 연구에서 AD590J 온도 센서의 검증을 위해 얼음(0℃)에 넣고 온도를 측정한 결과 0℃에 해당하는 출력전압 0V가 측정되었고, 아울러 인체에 적용한 결과 체온 36.5℃를 나타내는 전압인 0.365V에 근접한 출력 전압이 측정된 것은 AD590J를 인체 및 가축의 온도 측정에 사용할 수 있다.

또한 AD590J를 이용하여 10명의 인체 체온 측정 임상 실험을 통해 0.142℃의 평균 오차가 발생됨을 알 수 있었는데 이 오차는 AD590J를 착유기에 설치했을 때 오차를 현격히 줄일 수 있을 것으로 본다.

#### 나. A/D 변환기

12비트 A/D변환기 AD574는 1비트당 2.44mV의 분해능을 가지고 있다. A/D 변환기를 통한 온도는 대략적으로 0.2℃~0.6℃의 오차가 발생하였다. 이러한 오차는 A/D 변환기의 오프셋 조절시 미세한 조정의 오차에 의한 것이다. 이런 오차는 분해능이 좋은 계측기기를 사용하여 줄일 수 있다. 또한 프로그램 상에서 선형 구간의 범위를 설정하여 줌으로써도 가능하다고 본다.

#### 다. 자동 급이 시스템과 자동 온도 조절 시스템

설정 온도를 25℃~28℃를 유지하는 실험을 한 결과 거의 정확하게 이 온도를 유지하도록 히터와 송풍기가 제대로 ON/OFF 제어되었다.

또한 설정된 시간에 자동 급이 시스템이 작동하는지를 실험한 결과 마찬가지로 정해진 시간동안 Geared AC 모터가 일정한 회전을 하였다.

따라서 AC 모터에 모터의 회전과 공급되는 사료의 양이 비례되도록 하는 급이 시스템을 설계한다면 AC 모터의 회전수로 공급되는 사료의 양을 자동으로 조절할 수가 있을 것으로 본다.

### 4. 요약 및 결론

축산 자동화를 위해 자동 온도 측정시스템, 자동 급이 시스템과 자동 온도 조절 시스템을 구성하였다. 가축 질병의 초기에 체온 변화를 통하여 조기에 발견하는 것은 경제적 손실을 미리 예방할 수 있다. 본 연구를 통하여 젖소의 건강 관리의 기초 자료인 체온을 측정하기 위해 AD590J 집적회로 온도 센서를 이용하여 착유시에 자동으로 측정할 수 있는 시스템을 설계하였다. 설계한 자동 체온 시스템의 작동 여부와 신뢰성을 검증하기 위해 물의 어는점

(0℃)과 사람 10명에 대한 디지털 체온계와 AD590J 시스템으로 측정된 체온을 비교시 0.142℃의 오차를 얻음으로써 시스템이 정확히 작동됨을 검증하였다.

따라서 본 연구를 통해 개발한 자동 체온 측정 시스템을 착유기에 설치함으로 젖소의 질병을 조기에 발견 할 수 있을 것으로 판단한다.

또한 자동 급이 시스템과 자동온도조절 시스템을 설계하였다. 축사의 온도조절에 자동온도 조절 시스템을 적용할 수 있다고 본다. 또한 자동 급이 시스템으로 일정량의 사료를 정해진 시간에 일정량을 공급 하므로써 노동량을 줄일 수 있을 것으로 본다.

## 5. 후 기

본 연구는 농립수산 특정과제의 연구비로 수행되었으며 관계자에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 김상진. 1993. 자동화를 위한 센서. 연학사, 213-247.
2. 김영해. 1987. 센서인터페이싱(I). 기전연구사, 181-193.
3. 김종은. 1987. 젖소 질병의 진단과 치료. 고문사.
4. 노병욱. 1995. 센서공학. 동일출판사.
5. 박원규. 1994. 국제화시대의 농업기계화 현황과 발전방향. SIEMSTA(농수축산박람회) 심포지엄, 31-44.
6. 이승규, 민영봉, 김태규. 1991. 축산자동화를 위한 가축의 생체정보 무선계측 장치의 개발(II). 한국농업기계학회지. 제16권 제6호:267-271.
7. 장동일. 축산 기계화 현황과 발전 방향. SIEMSTA(농수축산박람회) 심포지엄, 103-131.
8. Sedra, A. S., Smith, K. C. 1991. Microelectronic Circuits, 3th ed. Saunders College Publishing, 116-281.
9. Timko, M. P. A Two Terminal IC Temperature Transducer. IEEE Journal Of Solid-State Circuits 1976; Dec Vol SC-11: 784-788.
10. Thomas G Beckwith, Roy D Marangoni, John H Lienhard, Mechanical measurements, 5th ed. Addison Wesley. 1993:659-730.