

USN을 위한 CAN 기반 적외선 온도감시 시스템

(Infrared Temperature Monitoring System based CAN for USN)

김영동* · 오금곤 · 정원태 · 강원찬**

(Young-Dong Kim · Guem-Kon Oh · Won-Tae Jeong · Won-Chan Kang)

요 약

고제철설비 같은 매우 가혹한 환경 조건에서 뜨거운 철판의 온도를 측정하는 적외선 온도측정시스템을 개발하였다. POSCO 광양제철소 철판 압연공정에서 3개월간의 현장 테스트를 수행하였다. 현장 시운전에서 개발된 시스템의 신뢰성을 확인하였다.

A2TPMI 센서의 비선형 방정식을 풀기위해 커브핏 방법을 통해 보정하고, 각 레인지당 1[°C]이하의 정밀도로 25[msec]처리 속도를 확보하였다. 실험에서는 POSCO에서 받은 시험성과 USN 기반에서 폴링방식을 통한 트래픽 모니터링을 통해 효과적인 온도감시 시스템임을 확인하였다.

Abstract

RWe have developed an infrared temperature monitoring system to measure the temperature of hot iron plate in very harsh environmental conditions as iron making equipment. We performed extensive field test for 3 months at the front side of iron plate rolling process of POSCO in Gwang-Yang. From the experimental test, we have confirmed the reliability of the developed system.

We adjust the curve fit method to solve the non-linearity equations of A2TPMI sensor, and establish the under 1[°C]precision ratio and 25[msec] process speed each range.

As experimental, we have confirmed the reliability of an infrared temperature monitoring system, as POSCO test result and CAN network traffic monitoring of polling method.

Key Words : Infrared thermometer, Radiation thermometer, CAN, USN

1. 서 론

제철공정에서는 고온을 일정한 온도로 유지해야 한다. 이를 위해서 지속적으로 온도를 모니터링 해야 하는데 가장 적합한 센서는 적외선 온도계이다. 그러나 일반적인 제품은 핸디형으로 공정 모니터링의 적용을 위해선 특정 네트워크 기반에 묶여 모니터링을 수행하고, 측정된 온도에 따른 대응모델을

* 주저자 : 조선대학교 정보 제어계측공학부 교수
** 교신저자 : 조선이공대학 전기과 겸임교수
Tel : 062-230-7032, Fax : 062-230-7106
E-mail : ydkim@mail.chosun.ac.kr
접수일자 : 2006년 11월 17일
1차심사 : 2006년 12월 5일
심사완료 : 2007년 1월 2일

USN을 위한 CAN 기반 적외선 온도감시 시스템

시스템에서 유기적으로 실현할 수 있는 시스템이 필요하다[1].

본 연구에서는 최근에 알려지고 있는 USN(Ubi-quitous Sensor Network) 기반 구현을 위해 CAN(Controller Area Network)를 통해 적외선 센서의 온도 값을 모니터링하고, 이를 시스템에 전송하여 온도 조절을 함으로서 양질의 철을 생산할 수 있도록 시스템을 구현한다[2-7]. 특히 이 시스템은 단일 서버에서 최고 4096노드의 클라이언트의 온도 감시를 수행함으로써 효율적인 공정관리를 하도록 지원하는 시스템이다

특히 제철공장의 소결공정에서 소결광은 대차 아래에 있는 밸브에서 나오는 미스트(mist)로 냉각되면서 서서히 이동된다. 미스트는 소결광의 충전층사이로 통과시켜 소결광 온도를 저하시킴으로써 소결광 생산량을 증대시킨다. 개발된 적외선 온도 감시 시스템을 설치하여 폭방향으로 소결광의 폭방향 온도분포를 모니터링 하는 동시에 아날로그 출력을 이용하여 미스트를 발생하는 밸브를 자동으로 컨트롤할 수 있다. 미스트는 소결광 충전층사이로 통과하여 소결광 온도를 저하시킴으로써 소결광생산량을 극대화 할 수 있다[8].

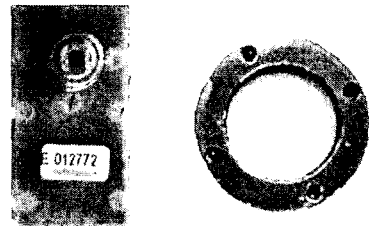
이와 같이 적외선 온도계는 제철공정에서 핸디형이 아닌 네트워크화된 설치형 방식이 필요함으로 새로운 시스템의 개발이 필요하였고, 본 연구에서는 100~200[°C]정도의 온도 분포를 갖는 재료들을 측정하기 위한 용도이므로 USN 네트워크를 구성할 수 있는 단말용 감지기 형태로 설계되었다[9]. 또한 적외선의 경우 방사율 특성을 많이 받게 되므로 같은 철이라도 약간씩 상이한 특성을 지니므로 이를 매뉴얼 방식으로 방사율 조절을 할 수 있는 기능을 추가하여 정확한 온도 측정을 확립할 수 있었다.

그러나 2미터 이상의 거리와 15도 이상의 각도를 벗어날 경우 허용오차 $\pm 2[^\circ\text{C}]$ 를 초과한 부적합한 결과를 나타내므로 집광필터를 부착하여 해결할 수 있었고, 100[°C] 이하에서는 편차가 1[°C]미만이지만 200[°C]이상에서는 편차가 5[°C]이상 나타나는 경우가 생기므로 여기에 보정 데이터 테이블을 구성하여 이를 해결하였다. 이 방법은 센서의 응답속도가 25[msec]임을 고려할 때 매우 빠른 시스템을 구현할

수 있다. 완전한 USN 네트워크를 구성하여 네트워크상에서 테스트를 해야 하지만, 실험목적상 단지 몇 개의 감지기에서만 온도 모니터링을 한 결과를 정리하였다.

2. A2TPMI 센서

그림 1은 Perkin Elmer사에서 제작된 A2TPMI 적외선 온도센서로서 -20~300[°C]의 온도 범위를 지니는 모델로 적외선 센서의 파장은 5.5~13.5[μm]이나 여기에 편광필터를 적용하여 7.5[μm]를 사용하도록 주문 제작하였다[10].



(a) A2TPMI 센서 (b) 편광필터

그림 1. A2TPMI 센서
Fig. 1. A2TPMI sensor

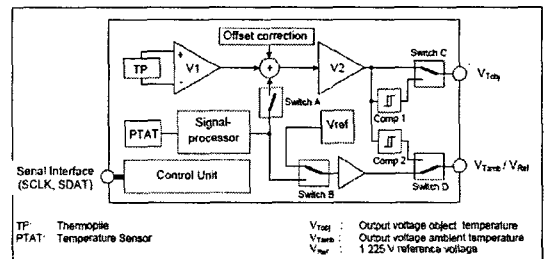


그림 2. A2TPMI 블록도
Fig. 2. A2TPMI block diagram

그림 2는 A2TPMI 센서 내부에 신호처리 회로가 들어가 있어 기존의 센서처럼 외부에 복잡한 증폭 및 필터회로를 구성할 필요가 없으며, 외부와는 I2C 통신을 통해 검출된 값을 외부 회로에 디지털로 전송한다. 내부 신호처리 레지스터는 8비트 분해능을 지니고 있다. 다만 이 센서는 직선거리 2[m]가 적정 거리이며, 기본 $\pm 15[^\circ]$ 의 각도 내에서 정확한 측정을

할 수 있다. 다른 영역은 FOV(Field of View) 영역의 50[%] 출력을 내기 때문에 유의해야 한다.

3. 적외선 온도감시 시스템의 구성

3.1 감지기 설계

본 연구에서 사용된 적외선 센서는 자체 내에 I2C 통신에 의해 감지된 값을 마이크로프로세서에 의해 디지털로 직접 받아 볼 수 있지만 본 연구에서는 분해능을 높이기 위해 아날로그 값으로 출력되는 값을 12비트 분해능을 가진 MCP3202 A/D 컨버터에서 신호를 변환하여 마이크로프로세서 모듈에 전송을 하도록 구성하였다. 사용된 적외선 센서의 응답속도는 25[ms]이다. 따라서 이 처리속도는 고가의 마이크로프로세서를 사용하지 않더라도 처리가 가능하기 때문에 저가로 RISC 구조에 안정성이 높은 Atmel사의 AVR시리즈인 Atmega163을 사용하여 감지기를 설계 제작하였다.

공정에서는 DC24[V]를 사용하기 때문에 이를 5[V]로 전압변환을 위해 정전압 레귤레이터 7805를 사용하여 전류를 0.1[A]내에서 사용하도록 설계하였다.

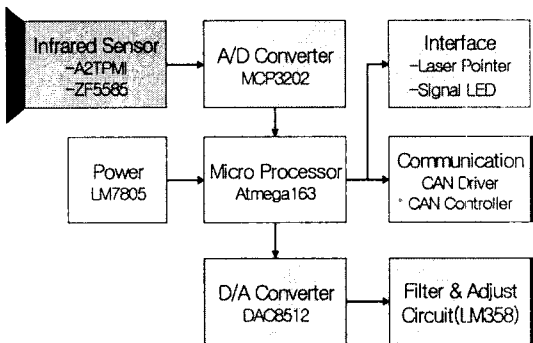


그림 3. 적외선 센서 구동 블록도
Fig. 3. Infrared sensor driving block diagram

공정에서 요구사항은 USN 네트워크를 구성하기 위한 CAN을 구성하고, 현장에서 직접 조작 및 모니터링이 가능해야 하기 때문에 현장 표시용 7-세그먼트 출력, CAN 네트워크 출력, 아울러 PLC에 연동하기 위한 아날로그 출력 3가지를 요구하였다.

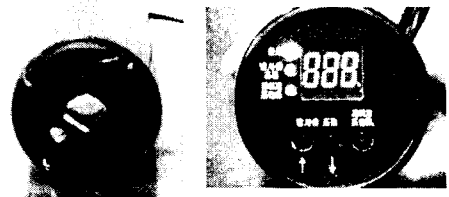
따라서 12비트 분해능의 아날로그 출력을 위해 DAC8512를 사용하여 PLC에 연결하여 모니터링할 수 있도록 필터 및 조정 회로를 내장하였다. 특히 USN을 위해 고유 ID 설정 및 원격 모니터링 기능을 추가함으로써 공정제어에 USN을 구성할 수 있는 기본 감지기 역할을 수행할 수 있도록 하였다.

특히 적외선 온도감지기는 측정하고자 하는 곳에서 2[m]정도 떨어진 거리에서 수직으로 입사되는 파장을 측정하는 것이 일반적이다. 따라서 측정하는 위치를 지정하도록 레이저 포인터를 통해 지시하게 한다. 본 시스템에서는 레이저를 쏘면 5초 후에 자동으로 꺼지도록 설계하였다.

그림 4에 실제 제작한 감지기의 사진을 보인다. 전면에는 편광필터를 통해 적외선이 입사하도록 하였고, 뒷면에 방사율 조정 스위치와 레이저 포인터를 조절할 수 있는 S/W를 배치하였다. 세그먼트에는 측정되는 온도를 지속적으로 모니터링 할 수 있도록 하였고, 통신선을 통해 PLC 및 USN에 접속할 수 있는 케이블이 준비되었다.



(a) 제작된 감지기 모형



(b) 전면

(c) 후면

그림 4. 적외선 온도감시용 센서
Fig. 4. Sensor for infrared temperature monitoring system

3.2 감지기 프로그램

감지기에서 아날로그 전압을 입력받아 온도를 산출하는 프로그램을 제작해야한다. 이를 위해 회사에서 제공하는 데이터 시트를 통해 변환 함수를 제작해야 한다. 일반적으로는 MatLAB이나 수치해석 기법을 사용하지만 본 연구에서는 간편하게 이들 해법을 이용하여 다차원 함수를 뽑아주는 커브핏(curve fit)프로그램을 이용하여 변환함수를 찾았다.

A2TPMI 센서는 본래 그림 5의 reference처럼 선형 출력으로 보정되어 있지만 표준 온도센서를 통해 실측한 결과(그림 5의 real)와 비교해 볼 때 약간의 오차를 포함하고 있는 것을 알 수 있었다. 그림 5는 150 [°C]전후의 강판 온도 측정을 위해 보정을 한 특성 곡선을 나타낸다. 이 특성 곡선은 평균 3.73[°C]의 편차를 지니고 있으며, 저온보다 고온일수록 편차가 더 크게 나타난다. 따라서 이를 보정하여 정밀하게 측정하도록 수정한 특성 곡선을 그림에 나타내었다[10].

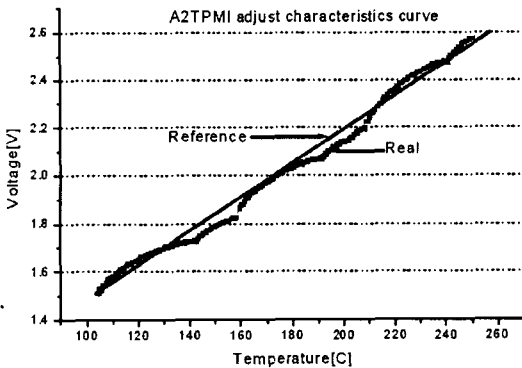


그림 5. A2TPMI 특성곡선
Fig. 5. A2TPMI characteristics curve

그림 5의 특성곡선에서 2차 함수를 구하면 식 (1)과 같다. 물론 고차식일수록 정확하겠지만 마이크로 프로세서에서의 계산시간 지연으로 인한 손실이나, 아니면 테이블에 의한 방법의 경우 메모리를 많이 소비하는 단점 등이 있다.

$$y = a + bx + c/x^2 \quad (1)$$

여기서 a=48.220069, b=89.751602, c=-182.2941의 값이 산출되었다.

$$F(x) = Rad*(y - tp) + tp \quad (2)$$

출력할 온도는 방사율을 보정해야하는데 식 (2)와 같이 방사율 Rad, 현재온도 tp 등을 이용하여 보정된 출력 값을 표시하면 된다. 단 여기서는 철의 방사율로 0.35를 적용하였다.

적외선은 물체의 방사율에 따라 상당한 차이를 나타낸다. 따라서 적외선 온도 감지기를 설계할 때는 측정대상물체가 무엇인가가 이 때문에 중요하다 [11]. 그렇지만 일반적인 적외선 온도계의 경우는 이 설정을 자유롭게 변경하기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 대상체가 주로 강철판이지만 성분에 따라서도 차이가 있기 때문에 수동적으로 방사율을 설정하는데도 개발 목적이 있었다. 방사율을 자유롭게 설정할 수 있는 본 감지기는 그렇기 때문에 더 정확한 온도를 측정할 수 있게 하였다.

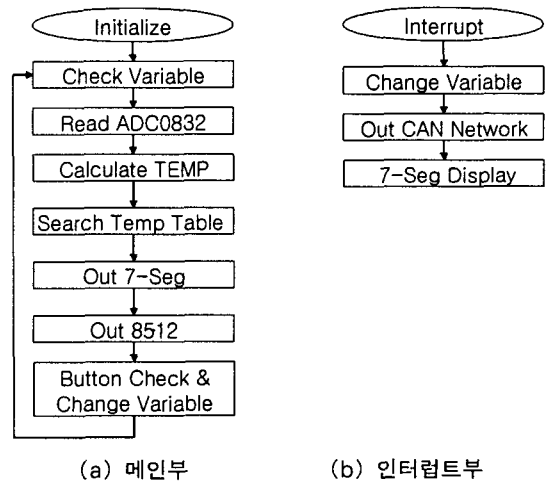


그림 6. 메인 프로그램 순서도
Fig. 6. Main program flow chart

그림 6은 앞서 보정된 온도 데이터를 45~203[°C] 범위에서 테이블에 만들어 넣고, 이 데이터를 앞서 제시한 식 (2)에 의해 계산하여 그 결과를 테이블에서 찾아서 출력 하도록 프로그래밍하였다. 이는 식에 의해 계산할 경우보다 고속으로 처리가 가능하며

정확성도 높다. 이는 출력할 데이터가 그리 많지 않기 때문이기도 하다.

USN 네트워크에 연결하고자 할 경우 인터럽트를 통해 시스템에 파라미터 변경과 현재 온도데이터를 요청할 수 있도록 하였고, 각기 ID는 출하시 설정하도록 하였다. 또한 서버에서 4096개 노드 이상을 제어할 수 있도록 하였다. 다만 서버 프로그램은 앞으로 개발예정이나 클라이언트인 감지기는 이 서버의 요청을 수행할 수 있도록 준비하였다. 차후 USN 서버프로그램에서 다중 센서를 감시할 수 있는 시스템으로 발전이 가능하다.

자동차 설계시 CAN 네트워크는 4계층을 우선순위를 고려하려 설계하나 본 연구에서는 우선순위를 고려하지 않고 단일 서버에서 4계층을 구분하여 동시에 USN 노드들을 컨트롤하도록 설계하였다. 그림 7은 본 논문에서 제안한 USN 구성 블럭도를 나타내었다. 실험에서는 단일 레이어에 4개의 센서를 부착하여 데이터를 측정하였다.

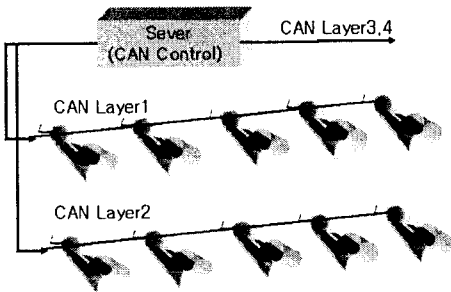


그림 7. USN의 블럭도
Fig. 7. Block diagram of USN

4. 실험 및 고찰

4.1 온도 보정 실험

그림 5에 나타난 보정 곡선을 산출하기 위해 본래의 데이터 시트에서는 센서가 선형적으로 출력한 것으로 예상했지만 여러번의 실험결과 모든 구간에서 선형 출력을 나타내지 않았다. 따라서 그림 8에서처럼 적색의 직선 보간, 청색의 9차 폴리피트를 적용한 결과와 비교했을 때도 100[%]로 데이터가 일치하지

않음을 알 수 있었다[10].

따라서 여러번의 보간 및 실측결과 흑색의 보간점을 얻을 수 있었다. 이 보간점을 테이블화 하여 정확한 온도를 측정할 수 있었다. 또한 이 보간 테이블을 통해 고속으로 온도가 산출됨으로 인해 적외선 센서의 측정주기가 25[ms]이지만 임베디드 시스템의 처리속도가 50[us]이면 계산이 가능함을 확인할 수 있었고, 이는 보다 더 성능을 개선할 수 있는 여지를 남겨 놓고 있다.

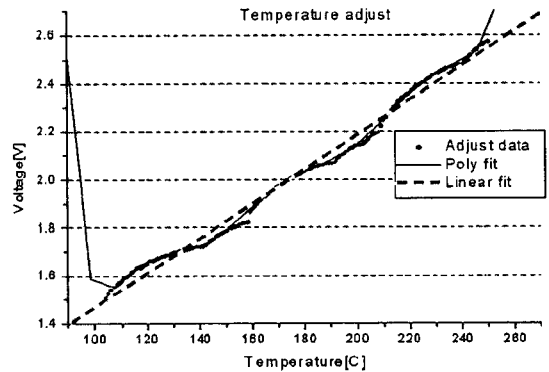


그림 8. 온도 보정
Fig. 8. Temperature adjust

표 1의 데이터는 포스코 광양 제철소에서 검정한 데이터로서 100, 155, 203, 244[°C]의 표준 온도 패널을 2[m]거리에서 3가지 종류의 적외선 감지기를 통해 온도를 측정한 검정결과이다. 이 감지기가 적용될 공정에서는 대부분 이 범위의 온도에서 모니터링을 수행하기 때문이다.

1번 감지기는 직경 10[mm] 편광렌즈를 부착한 센서이고, 2번 감지기는 동일하나 수직으로 받지 않은 상태이다. 3번 감지기는 직경 20[mm] 편광렌즈를 부착한 시스템이다. 온도가 높을수록 편차가 벌어지는 이유는 A/D분해능에 기인한다.

따라서 본 결과까지 반영한다면 더 정확한 온도를 측정할 수 있으나, 오차가 일어나는 원인은 온도센서 내부의 컨트롤러가 8비트 분해능을 가지고 처리하므로 이런 부정확한 결과가 내포하고 있음을 의미한다. 더나가 분해능 높은 센서로 교체시 보다 정확한 감지기를 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 측정 데이터

Table 1. Measurement data(단위: [°C])

No. 1 (10φ Lens)			No. 2 (10φ Lens)			No. 3 (20φ Lens)		
지시 온도	센서 온도	편차	지시 온도	센서 온도	편차	지시 온도	센서 온도	편차
103.7	102	-1.7	103.5	117	13.5	103.4	102	-1.4
157.5	155	-2.5	157.5	175	17.5	157.5	155	-2.5
207.7	203	-4.7	207.7	229	21.3	207.7	203	-4.7
248.7	243	-5.7	248.7	250	1.3	248.7	242	-6.7

(단, 250[°C]이상은 Range Over 상태임)

4.2 USN 네트워크 실험

본 실험은 PC의 CAN 보드를 통해 감지기 4개의 온도 값을 모니터링한 결과이다. 그림 9의 감지기 1,2,3은 같은 곳을 가리키고 있으며, 감지기 4는 측정점에서 약 30[Cm]떨어진 곳의 온도를 측정하였다. 측정 방법은 표준 온도측정 패널에 103[°C] 온도를 설정하고 서서히 가열하면서 이때의 온도를 CAN 네트워크를 통해 지속적으로 모니터링하였다. CAN 방식은 인터럽트 방식대신 PC에서 폴링방식으로 측정하였고, 측정결과 감지기 1,2,3은 거의 1[°C] 미만의 온도 편차내에서 측정되고 있음을 실험을 통해 확인하였다. 그렇지만 감지기 4는 다른 측정점을 지시하고 있으므로 별도의 결과를 나타내고 있다.

본 실험에서 사용한 감지기 노드 수는 4개임으로 충분히 예상된 결과를 판단할 수 있으나 차후 노드 수가 1000개 이상에서는 폴링 방법으로는 제한되므로 인터럽트 방식으로 전환해서 실험할 필요가 있다.

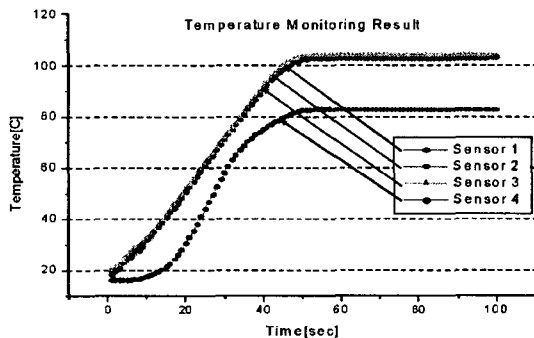


그림 9. 온도 감시 결과

Fig. 9. Temperature monitoring result

5. 결 론

본 연구에서는 최근에 알려지고 있는 USN 기반 구현을 위해 CAN를 이용해 적외선 센서의 온도 값을 모니터링하고, 이를 시스템에 전송하여 온도 조절을 함으로서 양질의 철을 생산할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 특히 이 시스템은 단일 서버에서 많은 노드의 클라이언트의 온도 감시를 수행함으로써 효율적인 공정관리를 하도록 지원하는 시스템이다. 실험에서는 폴링 방식의 CAN 네트워크를 사용하여 실험을 수행했으며, 차후 인터럽트 방식으로 1000개 이상의 노드에 적용할 수 있을 것이다.

특히 제철공정에서는 100[°C] 이상의 고온을 측정해야 함으로 접촉식보다는 비접촉식 적외선 온도센서를 사용한다. 이를 위해서 지속적으로 온도를 모니터링해야 하는데 가장 적합한 센서는 적외선 온도계이다. 그러나 일반적인 제품은 핸드형으로 공정 모니터링의 적용을 위해선 특정 네트워크 기반에 묶여 모니터링을 하고, 측정된 온도에 따른 대응모형을 시스템에서 유기적으로 실현할 수 있는 시스템이 필요하다. 따라서 제안된 시스템은 PLC에 직결할 수 있도록 표준 아날로그 출력을 통해 PLC에서 제어프로그램을 할 수 있도록 설계하였으며, 현장 측정도 가능하다. 앞서처럼 USN 네트워크를 구축할 수 있는 기반도 갖추고 있으므로 공정제어에 매우 적합한 구조이다.

본 시스템은 전 측정범위에서 3.75[°C] 각 레인지당 1[°C]이내의 정확도를 지니고 있으며, 분해능 높은 센서로 교체시 현재 발생하는 오차를 더 개선할 수 있다. 따라서 좀 더 정확하거나 빠르게 수행을 위해서는 센서의 교체등 약간의 연구로 공정제어 응용할 수 있는 우수한 시스템이다.

이 논문은 2003년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

References

- [1] 안병준, "열간 사상 압연 공정 시스템의 모델링 및 장력 제어", 부산대학교 박사학위논문, 2005. 8.
- [2] Wook-Heon Kim, Seung-Ho Hong, "A Study on the Implementation of CAN in the Distributed Control System of Power Plant", KIEE, Vol. 48, No. 6, pp.760-772, 1999.
- [3] Joonhong-Jung, Sooyoung Choi, Kiheon Park, "A Study on the Power System Control and Monitoring Technique Using CAN", KIEE, Vol. 52, No. 5, pp.268-276, 2003.
- [4] Byong-Hoon Lee, Hong-Ryeol Kim, Dae-Won Kim, "Development of an Extended EDS(Earliest Deadline Scheduling) Algorithm for the CAN-Based Real-Time System", KIEE, Vol. 51, No. 7, pp.294-301, 2002.
- [5] Keon-Young Yi, "An Implementation of the Position Controller for Multiple Motors Using CAN", KIEE Vol. 51, No. 2, pp.55-60, 2002.
- [6] Jong-Man Jeon, Dae-Won Kim, "Analysis of Response Characteristics of CAN-Based Feedback Control System Considering Message Time Delays", KIEE, Vol. 51, No. 5, pp.190-196, 2002.
- [7] Dae-Won Kim, Hwan-Soo Choi, "Performance Analysis of a Network System using the CAN Protocol", KIEE Vol. 51, No. 5, pp.218-225, 2001.
- [8] 이준식의, "적외선 가열로에서 가열되는 유리 패널의 온도분포 해석", 대한기계학회, pp. 278-283, 2003.
- [9] 김영동외, "유비쿼터스 환경을 위한 소방시스템", 대한전기학회, Vol. 54P, No. 3, pp. 141-147, 2005. 9. 1,
- [10] A2TPM1 datasheet, Perkin Elmer Inc. <http://www.perkin-elmer.com>
- [11] 김남오외, "센서의 기초", 태영문화사, 2002. 2.

◇ 저자소개 ◇

김영동 (金永洞)

1944년 11월 28일생. 1968년 조선대학교 공대 전기공학과 졸업. 1984년 명지대학교 대학원 졸업(석사). 1993년 일본 애지 공업대학교 객원 연구원. 현재 조선대학교 정보공과대학 정보제어계측공학과 교수.

오금곤 (吳金坤)

1946년 1월 17일생. 1968년 조선대 전기공학과 졸업. 1994년 동신대학교 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동대학원 전기전자공학부 졸업(박사). 현재 조선대학교 공대 전기공학과 교수.

정원태 (鄭元太)

1967년 5월 12일생. 2000년 광주대학교 공대 컴퓨터공학과 졸업. 2002년 조선대 일반대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 현재 조선대학교 제어계측공학과 박사과정.

강원찬 (姜園贊)

1970년 12월 23일생. 1993년 조선대학교 공대 제어계측공학과 졸업. 2000년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(박사). 현재 조선이공대학 전기과 겸임교수.