

급탄관 온도 측정시스템의 특성 비교분석에 관한 연구

A study on the Characteristic Comparison of Systems which measure the Temperature of Coal Powder in Feeder Lines of Boiler

°오 면 택, 이 복 규, 이 원 빈

전력연구원 전력계통연구실 정보통신그룹(Tel: 042-865-5497; Fax: 042-865-5404)

Abstracts This study has compared the two types of systems which measure the temperature of coal powder in feeder lines of boiler and analyzed operating data. We used RTD(Resistance Temperature Detector) and optic sensors to measure the temperature. From the characteristic comparison of data, field test and system operation, we confirm that the latter is more efficient than the former.

Keywords Optic sensor, RTD sensor, Temperature measuring system, Feeder lines of boiler, Optical fiber

1. 서론

온도를 측정하는 방법에는 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있으며, 접촉식에는 전기식 측정방법과 광학적 측정방법이 있고, 비접촉식에는 광학적 측정방법이 있는데 적외선 등을 이용하여 온도를 측정한다.

전기식에 의한 온도 측정방법에는 서머커플(Thermocouple), 더미스터(Themister) 및 RTD를 사용하여 온도 변화에 따른 기전력 발생과 전기저항의 변화를 이용하여 온도를 측정한다. 이러한 방식의 장점으로서는 비교적 저렴하고 시스템 구성이 용이한 반면에 단점으로는 전자장, 전자유도, 노이즈에 의한 영향을 받아서 정밀한 온도 측정은 어려운 편이다.

광학식은 높은 절연성과 전자 무유도, 원격 계측성 등의 특성을 가지고 있어 전기식 온도 측정시스템이 안고 있는 전자기적 잡음의 영향을 받지 않는 장점이 있어, 다양한 형태의 광온도 센서가 개발되고 있는데 적외선 방식, 광루미네스스 온도 센서 및 형광잔광(Flourescence) 온도센서 등이 그것이다. 이러한 센서들은 현재 개발 단계로 고가이며, 시스템구성이 비교적 어렵다.

본 논문에서는 급탄관 온도를 측정하는 RTD를 이용한 방법과 형광잔광 온도센서 방법을 현장실측과 2년여 운용 결과를 토대로 24시간 운용 데이터 분석 및 운용의 편리성 등을 조사하여 비교 분석하였다.

2. RTD를 이용한 온도 측정시스템

2.1 원리

일반적으로 금속의 전기저항은 온도의 변화에 따라 일정한 관계를 유지하면서 증감하기 때문에 저항을 알면 온도를 측정할 수 있다.

이러한 원리를 이용하여 온도를 측정하는 온도 소자를 축온 저항체라고 부르며, 축온 저항체의 소선 재료로는 백금, 동, 니켈 등이 사용되고 있다. 이중 백금선은 온도의 변화에 따라 전기 저항치가 세밀하게 변하므로 온도와의 관계가 매우 정확하며 안정성, 재현성이 우수하고 균일한 소선의 제작이 용이하므로 가장 많이 사용되고 있다. 그런데 RTD는 열전대에 비해서 응답특성은 떨어지나 정밀도가 좋아 특히 저온 범위에서의 온도 검출용으로 많이 사용되고 있다.

온도 변화에 따라 금속의 전기저항 변화를 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$R = R_0 (1 + \alpha(\Delta T))$$

여기서 R : 임의의 온도에서 저항

R₀: 기준온도(0°C)에서 공칭 저항

α : 금속의 전기저항 온도계수

ΔT : 임의의 측정 온도와 기준 온도와의 차

이다.

RTD로 사용되는 금속별 온도계수는 동 = 0.0038(Ω/Ω°C), 니켈 = 0.0067 및 백금 = 0.00392 등으로 산업표준은 0.00392(Ω/Ω°C) 이하로 적용하고 있으며, 0.00385(Ω/Ω°C)를 주로 사용하고 있다.

2.2 시스템 구성

시스템 구성은 RTD 센서와 센서를 보호하기 위한 웰(Well)이 급탄관에 설치되어 있고 센서에서 센싱한 신호는 일반 케이블을 이용하여 전송되고 디지털 멀티 레코드를 통해 출력되도록 되어 있다. 감시 포인트 수는 호기당 40개로 RTD는 100Ω의

저항을 갖는 Pt 100Ω을 사용하고 있으며, 온도측정 범위는 -200 ~ 500℃이다. 급탄관에 설치된 RTD 센서와 광학센서의 설치 모습은 그림 1과 같다.



그림 1. 센서 취부 상태

RTD 및 보호용 웰은 처음 설치 당시는 정확한 온도 측정을 위해서 급탄관 깊숙히 박히도록 설치되었으나 급탄관에 공급되는 미세한 석탄가루에 의해서 웰과 센서가 Cutting되는 사례가 발생하여 현재는 급탄관 내벽과 수평을 이루도록 설치되어 운용되고 있어 Cutting 현상은 없었으나 정확도는 다소 떨어지고 있다.

디지털 멀티 레코더는 RTD 센서들로 부터 입력신호를 Scanner에 설정된 속도로써 순차 전환되면서 읽어들이고 데이터는 미리 설정되어 있는 Range에 따라서 증폭, A/D 변환, Scaling이 수행되어 메모리부에 기록된다. 기록된 데이터량이 측정을 개시하여 메모리의 한배가 되면 이전의 메모리 데이터는 Trend 기록에 써넣기 측으로 옮겨가서 출력하고, 동시에 다시 한조는 메모리부에 데이터의 기록을 계속한다.

3. 형광물질을 이용한 온도 측정시스템

3.1 온도 측정원리

Flourescence를 이용하는 온도센서 시스템은 형광물질에 빛 (λ_1)을 입사하면 형광물질은 그 빛 에너지를 흡수했다가 다시 안정된 상태를 유지하기 위해 특정파장(λ_2)의 빛을 방출하는데, 이 빛은 지수함수적으로 감소하게 된다. 이것을 잔광 시간이라 하는데 잔광시간이 온도에 반비례하는 원리를 이용하여 온도를 측정하는 것으로 이 방식은 다른 방식에 비해 자기의 세기변화와 광섬유의 굴곡과 같은 주위 환경에 영향을 적게 받고 비교적 광학계의 구성이 용이하며 정확한 온도 측정이 가능하다는 장점이 있다. 형광물질 내에서의 Electron-hole 생성과 재결합 과정은 그림 2와 같다.

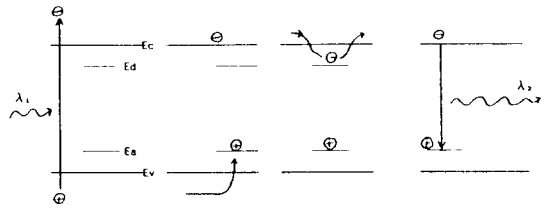


그림 2. 형광물질 내에서의 Electron-hole 생성과 재결합 과정

형광 유지시간(Life time)은 아래와 같이 표현된다.

$$\text{형광유지시간} \approx Q \exp [(Ec - Ed) / kT]$$

여기서 $Q : 10^{-8}$ sec

Ec : Conduction band

Ed : Donor band

k : Boltzman 상수(1.38×10^{-23} JK⁻¹)

T : 절대 온도

이다.

위 식에서 형광 유지시간은 주위온도에 반비례하는 특성을 가지고 있어, 형광 유지시간을 측정함으로써 상대적인 온도를 알 수 있다.

3.2 광온도 측정시스템의 전체 구성

이 시스템은 크게 광학부와 전자회로부로 나눌 수 있으며, 전자회로부는 아날로그 회로부와 디지털 회로부로 구분되는데, 아날로그 회로부(Analog part)는 광신호를 전기적 신호로 변환하는 회로(Photo detector)를 비롯하여 이 전기적으로 변환된 신호에 포함되어 있는 온도 정보를 찾아내는 아날로그 회로로 구성되고, 디지털 회로부는 아날로그 회로부에서 찾아낸 온도정보를 온도로 환산하기 위한 카운터 회로 및 이 값을 저장하는 버퍼(Buffer)로 구성된다. 그밖에 전원공급 장치 및 구동장치들이 있다. 아래의 그림 3은 광온도 시스템의 블록 다이어그램을 보여주고 있다.

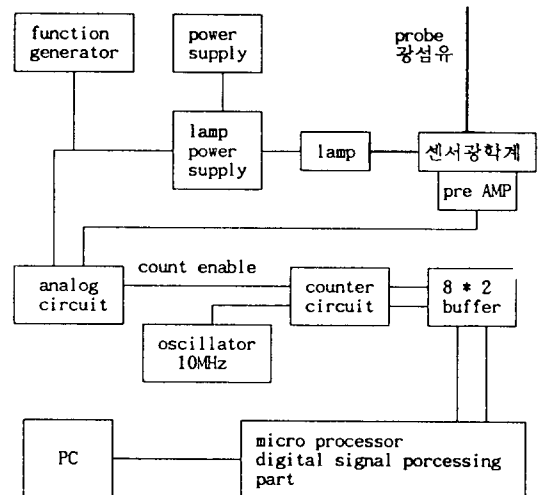


그림 3. 광온도 계측시스템의 블록 다이어그램

광학계 구성은 그림 4와 같이 램프 광학계와 센서 광학계로 나누어 진다.

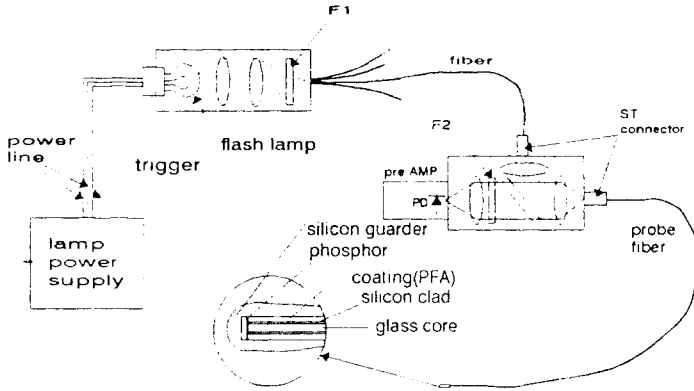


그림 4. 광학계 구성

램프에서 출력된 광은 집광용 렌즈의 조합에 의해 광섬유로 집속하게 되며, 이때 청색투과 필터(F1)에 의해 여기에 필요한 청색광만 통과하게 된다. 광섬유를 진행한 청색광은 콜리메이팅 렌즈(Collimating lens)에 의해 평행광이 되고, 빔분할기(Beam splitter)를 통해 광섬유로 보내진다. 이 광은 집속 렌즈에 의해 센서 광섬유로 집속되며, 센서 광섬유 끝에 있는 센서물질(형광물질)에 입사하여 파장이 다른 광(적색)으로 형광되게 된다.

형광된 광은 센서 광섬유를 통해 센서 광학계로 입사되어 파장 분할기를 거쳐 수광소자 쪽으로 보내지며, 이때 적색 투과 필터(F2)을 통해 순수한 적색광만을 통과시킨다. 이 적색광이 원하는 신호이며, 적색광의 잔광시간을 측정함으로써 상대적인 온도를 알 수 있게 된다.

디지털 회로부는 두 부분으로 나눌 수 있는데 비교기 출력을 받아 신호 레벨이 High 상태인 동안 카운트하는 부분과 이 카운트된 신호를 저장하는 버퍼부분이다. 카운터는 보다 정확한 잔광시간을 측정하기 위해 10Mhz Oscillator를 사용하였는데, 그림 5는 한주기에 대한 전체시스템의 타이밍 다이어그램을 보여 주고 있다.

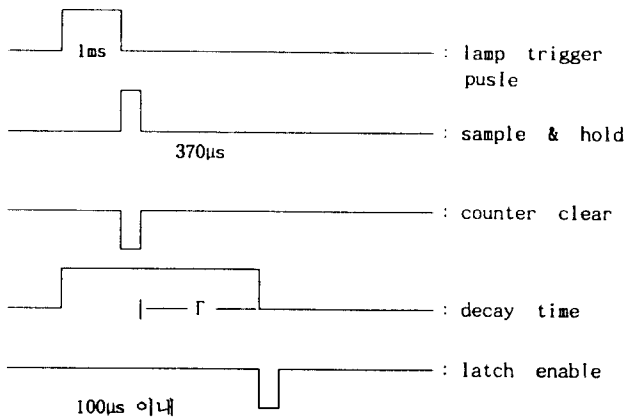


그림 5. 타이밍 다이어그램

램프 트리거 펄스의 폴링에이지에서 폭이 약 370µs인 서로 반전된 두 개의 펄스를 만들어 그 하나는 샘플인앰드(Sample & hold) 신호와 카운터 클리어(Counter clear) 신호로 사용한다.

그림 5에서 처음 우리가 얻고자 하는 잔광시간은 비교기 출력 신호의 High 상태 중에서 카운터를 클리어하고 난 이후 동안의 시간이 된다. 한편 비교기 출력신호의 폴링에이지에서 폭이 100µs 이하의 짧은 펄스를 만들어 버퍼의 래치 인에이블(Latch enable) 신호로 사용하여 측정된 잔광시간을 저장한다. 이 저장된 잔광시간은 마이크로프로세서에서 필요한 시기에 읽어들이 소프트웨어에 의해 온도로 환산되는 중요한 데이터가 된다.

4. 특성 비교 및 분석

두 시스템의 특성에 대한 비교 분석은 2가지 종류의 시험과 시스템 운용의 편리성 여부를 운용자의 데이터 감시 및 데이터 기록 등의 측면에서 실시하였다.

첫 번째 시험은 현장에서 적외선 온도계로 기존 RTD의 웰과 광온도 측정시스템의 센서 보호용 웰의 온도를 측정하고 동시에 급탄관 감시룸에서 PC 화면을 이용해서 광시스템의 온도를 측정하고 배전반에서는 기존의 디지털 멀티 레코더를 이용해서 온도를 측정하였다.

측정 결과는 표 1과 같으며, 현장에서 측정된 적외선 온도계는 "TherMonitor Infrared Thermometer"로 모델은 LT-100으로써 Linear Laboratories 사의 제품으로 정확도는 ±1% of temperature ± one digit이다. 그러나 이 온도계는 Emissivity(%)에 따라 온도의 차이가 상당히 발생하는데 이번 측정에서는 Cast iron과 Iron(hot roll)의 중간 재질에 측정하는 79% Emissivity를 사용하였다.

본 측정 결과는 3가지로 분석할 수 있는데, 하나는 기존 RTD 방법에 의한 현장값과 레코더값 및 광센서를 이용한 측정값과 PC 화면값 등 4가지 측정 데이터에서 현저히 다른 RTD에 의한 F2L, F2R, R6L, R6R 값과 광센서에 의한 R4L 값중에서 현장값이 현저히 다른 데이터 값은 측정 오차로 판단되며, 레코더 및 PC 화면 값의 현저한 차이는 시스템의 부정확으로 판단되는데 RTD 방법에 의한 F2R, R6L과 광센서에 의한 R4L이 이러한 경우에 해당된다.

둘째는 2시스템의 오차에 대한 분석으로 기존 RTD에 의한 측정값이 오차가 큰 것을 알 수 있는데, 이것은 RTD 센서의 특성상 응답특성이 떨어지는 관계로 발생한 것으로 보인다.

끝으로 2시스템에 대한 종합적인 분석으로 위에서 분석한 2가지 내용을 볼 때 전반적으로 형광잔광에 의한 측정시스템이 우수한 것으로 평가할 수 있겠다

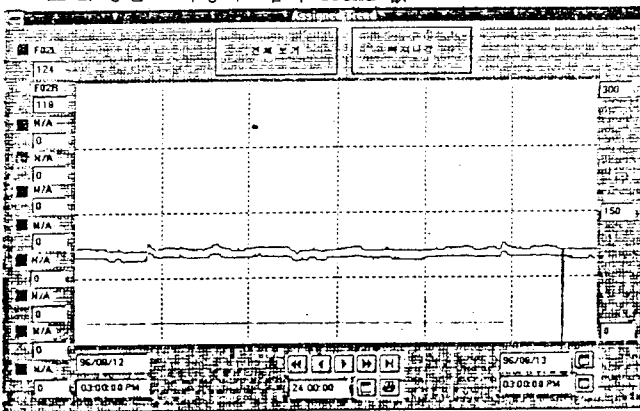
두 번째 시험방법은 기존 RTD 방법과 광센서에 의한 방법의 24시간 운용 데이터를 비교하는 방법으로 실시하였다. 2가지 방법의 운용 데이터는 표 2, 3과 같은데, 광센서에 의한 방법의 Trend 중에서 아래 Trend 가 F2R을 위에 Trend가 F2L을 나타내며, 기존 RTD 방법의 Recorder 값중에서 1번은 F2R을 2번은 F2L을 나타내고 있다.

표1. 실측에 의한 온도 비교

측정일시: 1996. 8. 13. 단위: °C

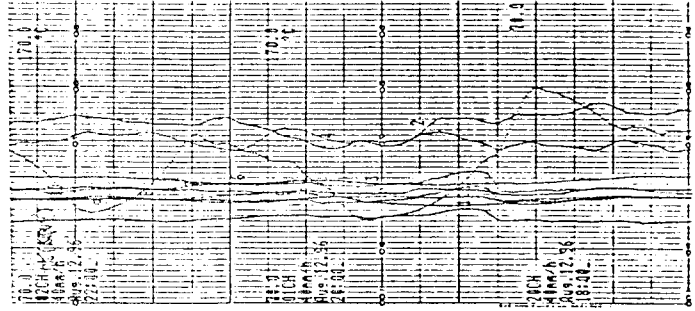
측정점	측정 시간	광센서에 의한 방법			기존 RTD 방법			LCD화면과 프린터의 오차
		현장값	PC화면	오차	현장값	프린터	오차	
F 2 L	17:10	133	126	6	119	131	+10	+5
	17:20	127	125	2	119	130	+11	+5
F 2 R	17:10	134	137	+3	128	145	+17	+8
	17:20	134	138	+4	130	146	+14	+8
R 2 L	17:10	130	127	3	128	129	+1	+2
	17:20	126	126	0	127	125	+1	+2
R 2 R	17:10	123	128	+5	121	120	1	8
	17:20	129	131	+2	124	121	3	10
F 4 L	17:10	121	118	3	107	109	+2	9
	17:20	119	117	2	107	109	+2	+2
F 4 R	17:10	180	180	0	165	170	+5	10
	17:20	181	181	0	167	171	+4	10
R 4 L	17:10	123	134	+11	126	122	4	12
	17:20	119	132	+13	124	121	3	11
R 4 R	17:10	120	120	0	116	113	3	7
	17:20	118	118	0	115	112	3	6
F 6 L	17:10	115	110	5	112	111	1	+1
	17:20	116	111	5	116	113	3	+2
F 6 R	17:10	116	112	4	106	112	+6	0
	17:20	117	113	4	110	113	+3	0
R 6 L	17:10	163	162	1	163	153	10	9
	17:20	162	153	9	162	145	17	8
R 6 R	17:10	146	145	1	163	145	18	0
	17:20	144	143	1	162	138	24	5

표 2. 광온도 측정시스템의 Trend 값



위의 2가지 운용 데이터를 분석하면 기존 RTD에 의한 Recorder의 값이 완만하게 변화하고 있는 반면에 광온도 측정시스템의 Trend 값은 대부분의 영역에서 완만하게 변화하나 급격한 변화를 하는 곳도 있음을 알 수 있다. 어느 시스템이 더 정확한지 여부는 급탄관에 공급되는 미분탄의 량이 얼마나 일정한 량으로 공급되고 있는냐에 따라 판단이 가능한데 미분탄의 량이 일정하지 않고 변화한다면 광시스템이 정확한 것이다. 그런데 현재 운용중인 40개의 급탄관중에서 하루에 1~2개 정도가 막히는 것으로 볼 때 일정량의 미분탄이 공급되고 있다고 보기 어렵기 때문에 광온도 측정시스템의 Trend가 정확한 것으로 판단된다. 이것을 다른 방법으로 확인하기 위해서 기

표3. 기존 RTD 에 의한 Recorder 값



존 RTD의 Recorder값을 일주일간의 데이터를 분석해 본 결과 온도 변화가 가장 심한 경우가 최대 1분에 약 2.2°C가 증가함을 알 수 있었는데 이것은 최악의 경우로서 급탄관이 막히는 경우에도 22°C의 온도 변화를 보이기 위해서는 10분이 지나야 함을 알 수 있다. 이것은 RTD의 Recorder 값이 현장값의 민감한 변화를 반영하지 못한다는 것을 알 수 있다.

세 번째로 운용의 편리성을 실제 운용하면서 조사하였는데, 기존 RTD에 의한 측정방법은 디지털 멀티 레코더로 출력하게 되어 있어 사용자가 시일이 지난 데이터의 확인 등의 작업은 Recorder의 출력물을 일일이 조사하는 방법외에는 없다. 그러나 광센서를 이용한 온도 측정방법은 데이터 베이스로 1개월 운용 데이터가 저장 관리되도록 되어 있어 언제나 PC 화면을 통해 편리하게 검색이 가능하고 2호기 40포인트에 대한 현재의 운용 데이터는 한 화면으로 감시가 가능하다. 또한 한 화면에 10개의 Trend를 색깔별로 구분하여 24시간 운용 데이터를 동시에 표출이 가능하고 1개씩 개별적으로도 표출이 가능하다. 그러나 기존 RTD 방식은 하나의 감시 LCD를 통해 순차적으로 감시와 1포인트에 대한 계속 감시가 가능할 뿐이다.

5. 결론

서천화력 발전처에서 운용중인 2가지 타입의 급탄관 온도 측정시스템에 대한 실측과 운용 데이터를 비교 분석하였다. 실측 결과 광온도 센서를 이용한 온도 측정시스템이 응답 특성이 뛰어난 것으로 확인되었으며, 오차도 비교적 적인 것으로 확인되었다.

24시간 운용 데이터인 Trend를 비교 분석한 결과 광온도 센서를 이용한 측정 방법은 급격한 온도 변화에도 응답 특성이 우수한 것으로 확인되었다. 또한 운용의 편리성 면에서도 광센서를 이용한 온도 측정시스템이 운용 데이터를 데이터 베이스화하여 편리하게 데이터를 운용 및 관리할 수 있다.

참고문헌

- [1]한국전력공사, 광계측 제어시스템의 기능 확장에 관한연구, 1994
- [2]S.M.L.Sim, "Fiber optic temperature sensor with wide temperature range characteristics", IEE Proceedings, Vol.134, No.5, '87