

# 비접촉 방법에 의한 고속철도 디스크 브레이크에서의 온도측정에 관한 연구

## A Study on the Temperature Measurement at the Disk Brake of a High-Speed Rail Transit by the Non-Contact Method

이광재\* , 전필수\* , 유재석\*\* , 이종화\*\* , 최강윤\*\*\* , 김석원\*\*\*\*

Lee, Kwang Jae Jeon, Pil Soo Yoo, Jai Suk Lee, Jong Hwa

Choe, Kang Yoon Kim, Suk Won

---

### Abstract

As the speed of rail transit is higher, it is very important to secure the safety and confidence of the braking device and in the point of view, by means of the rise of the temperature from the friction between the disk and pad which are the actual part of a braking system, the damage of brake disk is the main cause to lose the safety of braking device. Therefore, in this study, to predict the danger of a disk brake and to know its max. temperature in the train service the module of a temperature measurement by the non-contact method was developed.

---

### 1. 서론

최근 국내의 사업의 발달로 인하여 교통량 및 물류이동이 급격히 증가하였고 이를 해결할 방안으로 고속철도가 주목을 받고 있다. 고속철도는 최고 시속 300 km 이상에서 운행을 하므로 제동 능력에 대한 신뢰도와 안전성 확보는 반드시 필요한 사항이다. 현재 고속철도에 사용되고 있는 제동시스템은 접촉식으로써 실질적인 기능을 하고있는 부분이 디스크와 디스크 패드이며, 두 부분의 마찰은 디스크 브레이크의 온도를 상승시켜 열적인 변형 및 파손을 가져오기도 한다. 따라서, 제동장치에 대한 최고 발생온도를 측정함으로써 디스크의 치명적인 파손이 있을 시점을 예측하여 사고를 미연에 방지할 수 있다.

기존 철도의 속도는 현재 고속철도에 비하여 비교적 느리기 때문에 디스크의 온도에 대한 문제

---

\* 아주대학교 대학원 기계공학과, 031-219-2350, lkj1126@ajou.ac.kr

\*\* 아주대학교 기계 및 산업공학부 031-219-2341, jyoo@ajou.ac.kr

\*\*\* 한국철도기술연구원, 책임연구원, (031) 457-1978 교환523, kchoe@krii.re.kr

\*\*\*\* 한국철도기술연구원, 선임연구원, (031) 457-1978 교환523, swkim@krii.re.kr

가 크게 대두되지 않아 국내의 제동장치에 대한 온도측정 기술은 매우 초보적인 단계이다. 그러나 최고시속 이 300km 이상인 고속철도에 있어서는 제동시에 마찰로 의한 열의 발생이 디스크의 온도를 최고 약 700℃ 이상까지도 상승할 것으로 예상된다. 따라서 디스크 브레이크의 온도를 측정하기 위한 비접촉식 온도측정 모듈을 개발하였고, 실제 고속철도에 적용하는 것과 관련하여 직접적인 영향을 줄 수 있는 factor들을 고려하여 설계 및 제작을 수행하였다.

## 2. 비접촉 온도센서의 측정원리 및 사양

현재 온도측정에 사용되고 있는 비접촉식 센서는 optical pyrometer라고 하여 물체에서 방출되는 복사에너지를 기초로 하여 물체의 온도를 측정하는 방식이다. Pyrometer에서 중요한 요소는 복사되는 파장으로써 크게 0.4~20μm의 가시광선 영역과 적외선 영역으로 구분하며 복사되는 에너지의 측정방법에 따라서 pyrometer의 종류는 다음과 같이 크게 2가지로 분류가 된다.

첫째는, total radiation pyrometer로써 사용되는 센서로는 주로 금속 혹은 반도체 bolometer 그리고 thermopile 등의 소자를 사용하며 측정대상 물체에서 방출되는 열복사에너지(thermal radiation energy)가 초점거리에 있는 센서에 맞추어 입사되면 열복사에너지에 의해 소자가 가열되어짐에 따라 소자에서 나오는 온도를 계측하여 물체의 온도를 측정하는 방식이다. 일반적으로 thermopile소자를 사용한 pyrometer는 반응시간이 15ms가 최소로 알려져 있어 고속으로 회전하는 대상의 온도를 측정하기에는 다소 무리가 없지는 않지만, 모든 영역의 파장에 대한 반응을 가지고 있으므로 저온에서 고온까지 모두 볼 수 있어 신호의 안정성이 있다는 장점을 가지고 있다.

두 번째는 photoelectric optical pyrometer로써, 주로 반도체 재료(Si, Ge, InAs, InGaAs 등)들을 센서소자로 사용하여 센서에 가해지는 photon의 강도를 전기적인 신호로 바꾸어 측정하는 방식이다. 또한, photon에 의해 변화된 물리량에 따라 크게 photoconductor, photodiode로 구분 할 수 있다. Photoelectric optical pyrometer의 경우, 반응시간이 수μs 이하도 가능하여 측정 대상의 동특성에 대한 반응이 매우 빠르다는 장점이 있지만, photoconductor의 경우는 소자가 안정화된 상태에서 빛을 받으면 순간적으로 전위가 증가했다가 바로 안정화 상태로 돌아가기 때문에 연속적인 신호를 받기 위해서는 chopping장치가 따로 필요하다는 단점이 있고, photodiode는 반응속도가 빠른 대신 외부노이즈에 민감하게 반응을 한다는 단점이 있다. 그밖에 사용된 센서소자에 따라 반응하는 고유의 파장대를 가지고 있는데, 이 파장대에 따라 측정 온도범위를 설정할 수 있으며 센서로 사용된 소자가 온도에 대한 특성변화가 있기 때문에 적절한 작동온도의 설정이 필요하다.

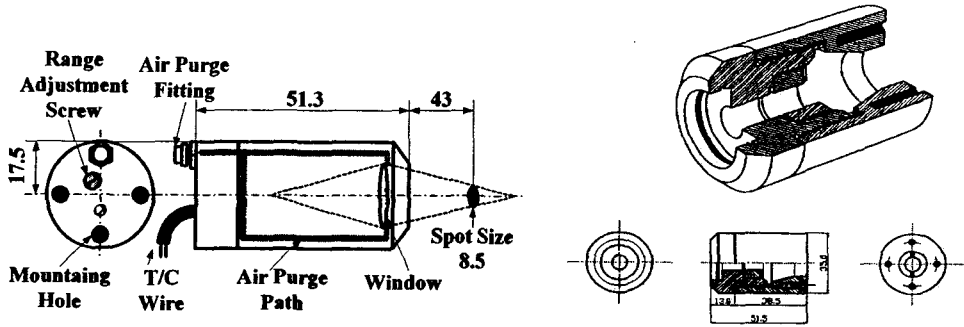
두 가지 종류의 센서를 모두 고려하여 소자를 선정하였고, 아래의 표 1에 사양을 나타내었다.

표 1. 센서소자 사양

	소자재료	반응 파장 (μm)	측정온도 (℃)	작동온도 (주위온도)	반응속도
Thermopile 형	K-형 열전퇴(熱電堆)	0.1~5.0	150~1370	200℃ 이상에 공기냉각필요	15ms
Photodiode 형	InAs	1.0~3.5	120~1000	22℃ 기준	1~3μs

### 3. 온도측정 모듈 설계

Thermopile형 온도센서와 photodiode형 온도센서를 이용하여 아래의 그림 1과 같은 온도측정 모듈의 pilot 모델을 설계하였고 중요 인자들에 대한 실험 및 실제 차량에 적용하기 위한 사양을 설정하여 표 2에 나타내었다.



(a)Thermopile 형

(b)Photodiode 형

그림 1. 비접촉 온도센서모듈의 Pilot 설계

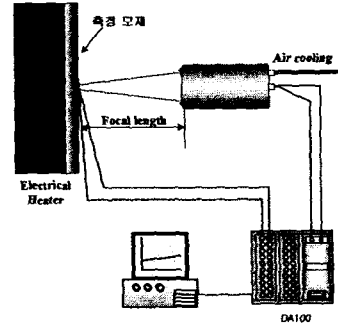
표 2 비접촉 온도센서 모듈의 사양

	Thermopile 형	Photodiode 형
센서 소자	K-형 열전퇴(熱電堆)	InAs
Spot 크기 (Dia. mm)	8.5	8.5
초점 길이 (mm)	43	43
측정 온도	150~800	120~800
Hosing 모양(재료)/ 크기(mm)	Cylinder(Stainless Steel)/ 51.3×φ35	Cylinder(Aluminium)/ 51.5×φ35
출력 형태	전 압	전 압
출력 Cable	Shield된 열전대선	신호선 2(+,-) 전원선 3(+,-,GND)
Window	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
기 타	Impedance 10kΩ	±12V 전원 (Amp. 내장)

#### 4. 실험방법 및 결과

##### 4.1 정지상태 실험

Thermopile 형과 photodiode 형 온도측정 모듈의 측정에 필요한 중요 인자들에 대한 영향을 알아보기 위하여 그림 3 과 같이 실험장치를 구성하였다. 모재의 가열은 전기 가열기를 사용하여 약 700℃까지 가열하면서 K 형 열전대와 온도 측정 모듈에서의 신호를 data 취득장비(DA100)와 컴퓨터를 사용하여 저장하였다.



##### 4.2 온도측정에 영향을 주는 인자특성 분석

비접촉 온도측정에 영향을 줄 수 있는 광학적 인자는 초점 거리, 재료의 방사율을 들 수 있으며, 환경적인 인자는 외부에서 발생하는 산란광의 영향, 습도 및 우천시 발생하는 수분 입자의 영향이 있다.

###### (1) 광학적 인자

초점거리에 대한 영향을 알아보기 위해 측정표면과 센서 사이의 거리를 이송장치를 사용하여 43, 53 그리고 63mm로 변경하여 측정하였다. 그 결과 thermopile 형은 거의 변화가 없었으나 photodiode 형은 그림 3에서와 같이 초점거리에 따른 영향에 더 민감하다는 것을 알 수 있었다.

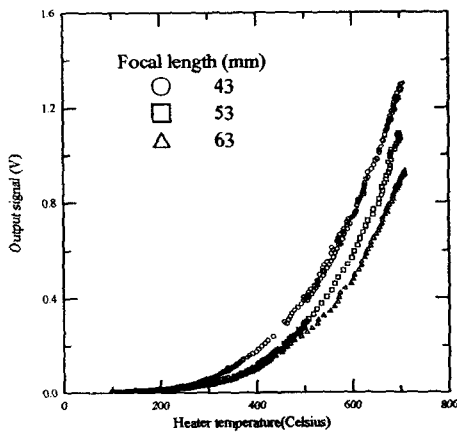


그림 3. 초점거리의 영향(Photodiode형)

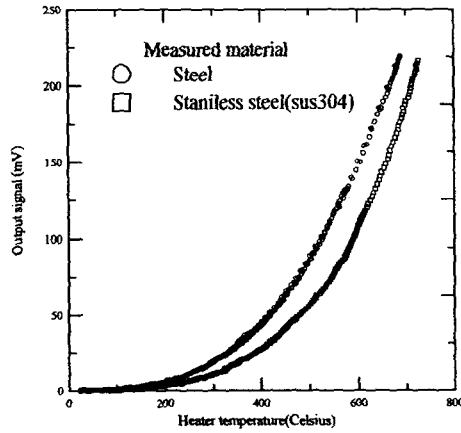


그림 4. 방사율의 영향(Thermopile형)

방사율에 대한 영향은 그 값이 0.14~0.38인 일반적인 주철(steel)과 0.07인 깨끗한 stainless steel(SUS304)을 사용하여 실험을 수행하였다. 그림 4에서와 같이 thermopile 형 온도측정 모듈의 경우 거의 전 온도 영역에서 차이가 나고 있어 방사율에 민감하다는 것을 알 수 있었다

## (2) 환경적 인자

비접촉식 온도측정 모듈에서 외부 광원에 의하여 발생하는 신호 왜곡을 고려하였다. 실차 적용 시 발생할 수 있는 산란광으로는 spark가 대표적이므로 온도측정 모듈 앞에 폭죽을 이용하여 스파크를 발생시켰다. Thermopile 형은 2mV 이하의 아주 미소한 반응을 보이고 있는 반면에 photodiode 형 온도측정 모듈에서는 평균적으로 약 25mV, 최대 90mV까지 반응을 보이고 있다.

실제 적용시 센서는 주위의 습도 및 수분에 따른 변화가 복사에너지의 일부를 흡수하여 소자에 도달하는 에너지양의 변화를 초래할 것으로 판단된다. 상대습도의 영향은 밀폐된 공간에서 물을 끓여 상대습도를 90%높인 상태와 우리나라 평균 상대습도인 50%의 상태에서 실험한 값을 비교하였고, 우천시 영향은 센서 주위에 가습기를 설치하여 분무가 측정 표면과 소자 사이를 지나도록 하여 실험하였다. 그 결과, 수분에 의한 영향은 500℃ 이상에서 photodiode형 온도측정 모듈이 다소 변화가 있었으나 그 차이가 둘 다 미소하였다.

## (3) 모듈특성에 따른 인자의 영향

측정대상이 동적인 물체이므로 센서의 응답특성에 대해서도 고려해 보았다. 실험을 위해 측정대상물과 온도측정 모듈사이에 mechanical chopper를 설치하였고, 에너지를 일정한 주기로 차단시켜 센서에서 나오는 출력신호의 크기와 주기를 살펴보았다. 실험 결과, thermopile 형 온도측정 모듈의 경우는 chopping의 주기를 3Hz이상의 주파수로 chopping하면 신호의 최대값에 도달하기도 전에 기준 신호를 따라가지 못하는 결과를 보였다. 반면 photodiode 형 온도측정 모듈의 경우는 chopping주기를 약 3kHz이상 까지 증가시켜도 신호의 최대값을 계속 유지하고 있어 응답특성이 매우 우수함을 알 수 있었다.

## 4.3 다이내모 시험 및 최종모델 선정

두 가지 온도측정 모듈에 대한 동적특성과 실제 상황과 비슷한 환경에서 시험하기 위해 한국철도기술연구소에 있는 다이내모미터에 설치하여 시험하였다. 실험장치의 제약상 디스크의 속도를 최대 200km/s 까지만 높일 수가 없어서 최고온도를 약 250℃정도에서 측정하는데 그쳤으며 사용된 디스크는 고속철도 차량에 사용되는 디스크가 아니고 현재 일반 철도차량에 사용되고 있는 것이었다. 그림 5에서와 같이, thermopile 형보다는 photodiode형 온도측정 모듈이 실제에 적용하는데 더 적합하다는 것을 알았다. 온도에 대한 반응성은 역시 photodiode가 훨씬 더 정확하고 빠른 속도로 표면의 온도를 측정하였다. 또한, photodiode형은 저온(250℃이하)영역에서도 잘 반응을 하고 있어서 전 영역에서 좋은 반응을 갖고 있음을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서는 photodiode형인 온도측정 모듈을 그림 6에서와 같이 최종적인 모델을 제시하여 보정곡선을 취득하였다.

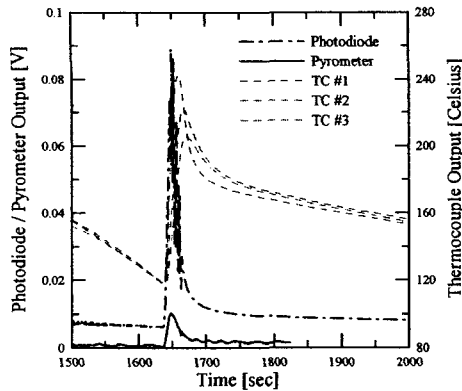


그림 5. 다이내모 테스트 결과

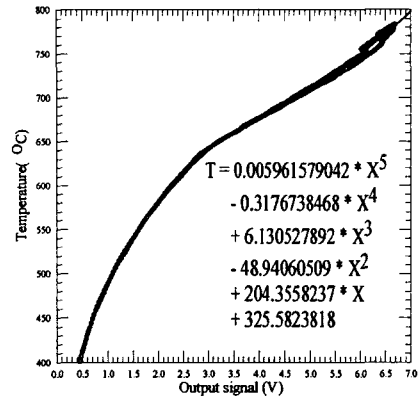


그림 6. 최종모델의 온도보정곡선

## 5. 결론

지금까지의 인자들에 대한 영향과 dynamo 시험을 통한 결과를 토대로, photodiode 형을 최종 온도측정 모듈로 개발하였고, 다음과 같이 요약할 수 있었다.

### (가) 장점

- 측정온도범위가 120~1000℃로 저온에서부터 400℃ 이상의 고온까지 측정이 가능하다.
- 출력전압이 증폭기의 사용으로 인해 0.08~1.5V 로 높아 S/N비가 비교적 높다.
- 응답성이 10ns로 매우 뛰어나 고속으로 회전하는 디스크의 정밀한 측정이 가능하다.
- 하우징의 설계상 동일한 위치에서 센서의 초점거리를 변경할 수 있도록 되어있다.
- Thermopile 형에 비해 재료의 방사율의 영향을 덜 받으며 우천시나 습도의 영향이 거의없다.
- 증폭장치의 크기를 최소화하여 하우징내에 설치를 하였다.

### (나) 단점 및 대안

- Thermopile 형에 비해 초점거리의 영향에 민감하므로 지그와의 연결시에 초점거리를 일정하게 유지하는 것을 고려한다면 오차를 최소화 할 수 있다.
- 외부산란광(spark)의 영향이 크므로 최소화하기 위해서는 aperture의 크기를 조절해야한다.

## 참고문헌

1. Principles and Methods of Temperature Measurement(1988), Thomas D. McGee
2. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발(2001), 건설교통부, 과학기술부, 산업자원부

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부와 과학기술부 및 산업자원부에서 시행한 “고속전철기술개발사업”의 일부로서 수행되었으며 주관기관인 한국철도기술연구소의 연구비 및 제반지원에 감사 드립니다.