

발전소용 가스터빈 회전축 온도 센서 융합연구

이정익¹, 나기수^{2*}

¹인하공업전문대학 기계설계과 교수

²(주)센테크이엔지 연구소장

A Convergency Study on the Gas Turbine Rotation Axis Temperature Sensor for Power Plants

Jeongl-Ick Lee¹, Gi-Soo Na^{2*}

¹Professor, Dept. of Mechanical Design, INHA Technical College

²Dean of R&D Center, Sentecheng Co. Ltd

요약 전 세계 발전소용 온도 센서 시장은 약 350억 원대로 추정되며 우리나라는 이 중 95% 이상을 수입제품에 의존하고 있다. 본 연구는 발전소용 가스터빈 회전체의 온도 측정장치이며 국내 가동되는 100MW급 가스터빈 발전기의 약 800개 이상에 적용 가능하다. 본 연구는 측정부의 형태, 연결부 구조 및 소재 변경 등을 통해 내구성을 향상 시킨 것으로 정밀화학공정 및 플랜트 수출 산업에서 사용되는 습도, 가스, 유압 등의 다른 측정장치에서도 적용 가능한 요소 기술이다. 본 연구의 성과로는 발전소용 가스터빈 회전축 온도 측정을 위한 센서 3종으로 설계된 온도 센서는 0℃ - 300℃ 범위에서 Class 1등급 온도 정밀도를 만족하였으며 융합연구를 통하여 기존의 유사 제품들과 비교하여 내구성을 크게 향상시켰다.

주제어 : 융합, 플랜트, 가스터빈, 온도 센서, 회전축

Abstract The global market for temperature sensors for power plants is estimated at around 35 billion won, of which South Korea relies on imported products for more than 95 percent. This study is that a temperature measurement device for gas turbine rotators for power plants and can be applied to more than 800 of 100 MW gas turbine generators operating in Korea. This study has improved durability by changing the shape of the measuring part, structure of the connecting part, and material changes, and is a component technology applicable to other measuring devices such as humidity, gas and hydraulic pressure used in precision chemical process and plant export industry. As a result of this study, temperature sensors designed as three types of sensors for measuring the temperature of the gas turbine for power plants met Class 1 temperature accuracy in the range of 0°C to 300°C, and improved durability significantly compared to similar products.

Key Words : Convergence, Plants, Gas turbine, Temperature sensor, Rotating axis

1. 서론

본 연구는 수력, 화력, 원자력 등과 같은 가스터빈 발

전설비를 사용하는 산업현장에서 터빈의 회전축 내부의 베어링 및 유체 온도 등을 측정하여 발전설비의 제어 안정성 및 발전 효율 정밀 관리를 수행하는 0℃ - 300℃

*Corresponding Author : Gi-Soo Na(multihexagon@naver.com)

Received November 4, 2019

Accepted December 20, 2019

Revised December 2, 2019

Published December 28, 2019

범위의 온도 측정이 가능한 Class 1등급을 만족하는 가스터빈 회전축 온도 센서를 개발하는 것이다. Fig. 1과 같은 온도 센서는 식품,약품,중화학 공정 및 철강 제련 등과 같이 진공, 클린, 고위험군 설비 등을 사용하는 산업 현장에서 배관의 표면, 배관 내부의 유체 온도 및 회전축 베어링 내부의 온도 등을 측정하여 제어의 안정성 및 제품의 정밀 품질 관리를 수행하는 매우 중요한 제어 요소이다[1-3].

정밀 제어 산업현장에서 제품의 질적 향상 및 설비의 안정성을 도모하기 위해서는 반드시 온도 측정장치가 필요하다[4,5]. 발전용 산업현장에서 요구되는 온도 센서는 UL/IEC/EN 61010-1(UL 873) 규격을 만족해야 하며 가장 열악한 산업현장을 기준으로 평균 가용수명 6개월(Life cycle)과 40s(열 시정수(17))대의 응답속도를 갖는 것으로 평가된다. 국내에서 운영되고 있는 기존의 100MW급 이상 가스터빈용 발전설비는 95% 이상 GE, 지멘스 및 MHPS 등 해외 유명 기업의 제품들을 사용하고 있으며 소모품을 포함한 제어 기반 요소 부품들 또한 설계 적용된 국외 제품을 현장에서 100% 사용되는 실정이다[6,7].



Fig. 1. Example of a previously developed rotating shaft bearing temperature sensor

2. 열전대 센서 모듈설계 및 발전소용 회전체 온도 센서의 설계

2.1 열전대 센서 모듈설계

2.2.1 가용 열전대 선정

열전대 센서 모듈설계를 위해서는 먼저 가용 열전대를 선정해야 한다. 열전대는 Fig. 2와 같이 일차적으로 빠른 응답속도와 높은 온도 정밀도를 갖는 온도 센서로 적용

환경에 맞게 사용할 수 있도록 종류와 온도 사용 범위가 다양해야 한다. 출력이 기전력 형태로 나오며 증폭 및 변환 등의 처리가 간단하고 비교적 저렴한 가격과 내구성이 좋아 온도 측정 센서로 활용도가 높은 편이다[8-10].

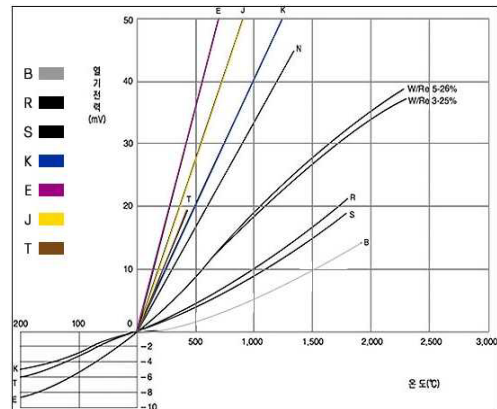


Fig. 2. Characteristics of electromotive force by thermocouple type

열전대는 여러 가지의 종류가 있지만, 사용장소, 용도에 따라서 적절한 것을 선정하는 것이 중요하며 온도를 정확하게 측정하기 위해서는 열전대의 선정의 내열, 내식, 내진동성을 고려한 보호관 등의 선정, 구조 및 부착방법(위치), 온도 범위별 기전력 특성 등을 고려해야 한다. 열전대 온도 범위가 0°C-300°C이므로 T Type, J Type, K Type, E Type 열전대이며 4개의 열전대 특성을 테스트한 후에 특성이 좋은 열전대 1개를 선택하여 열전대 센서 모듈을 설계, 제작한다. 열전대 시즈는 공정 작업도, 가용 온도 및 가격 등을 고려하는 30로 결정하였으며 안정성과 보완성을 고려하여 소선은 2Wire Double을 선정하였다. 본 연구에서는 가격 및 기전력 특성, 온도 특성을 고려해 Class 1등급 정밀도 특성이 가능하도록 소선을 K-타입으로 결정하고 열전대 센서 모듈을 설계한다 [11,12].

2.2.2 측정부 설계 및 제작

현재 국내에서 설치되어 기동하고 있는 가장 대표적인 100MW급 발전소용 가스터빈(GE사 제품)의 경우 외관에서 회전부까지의 센서 깊이가 60mm, 30mm 및 15mm이므로 측정부의 3종류(길이가 다른) 형태로 제작된다. Fig. 3은 40 mm 측정부의 설계도, Fig. 4는 7.5 mm 측정부의 설계도를, Fig. 5는 3.3 mm 측정부의 설계도를 나타낸 것이다.

Table 1. Types and specifications of measuring parts

Model No.	Material	Thickness of measurement part	Length of measurement part	Wire Element	Fixed part	Hole fixing screw
SEN-120	SUS316	30	40mm	4	2.1mm, 50	M8x1.25 P
SEN-120D	SUS316	30	3.3mm, 7.5mm	8	2.1mm, 50	M8x1.25 P
SEN-120DO	SUS316	30	40mm, 7.5mm	8	2.1mm, 50	M8x1.25 P

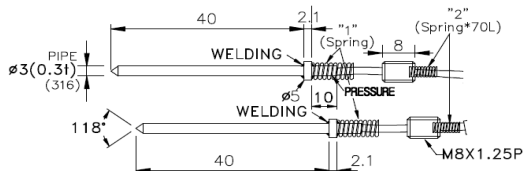


Fig. 3. Design drawings for 40 mm measuring parts

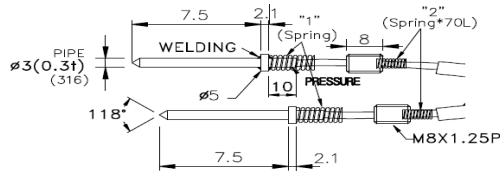


Fig. 4. Design drawings for 7.5 mm measuring parts

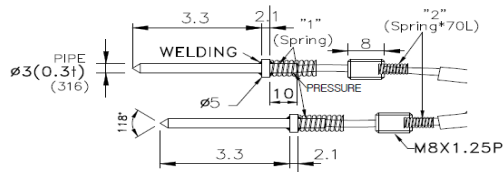


Fig. 5. Design drawings for 3.3 mm measuring parts

센서 구조의 요구조건인 과 삽입방지 고정부와 출력선의 단락방지(씰힘 및 찌힘) 확보를 위한 스프링 구조를 포함한 내구성 확보 방안을 적용하였다. 홀 고정나사는 가장 일반적인 가스터빈 인입구 홀 고정나사 Size인 M8×1.25P를 적용하였다. 측온점의 접점 형태는 고속으로 흘러가는 유체의 흐름에 강한 삼각형(118°) 구조로 설계 및 제작하였으며, 센서부와 측온점 사이는 절연을 고려한 3mm 간격을 유지하도록 제작하여 응답속도 대비 내구성을 확보하도록 하였다. 출력의 안정적인 이증 확보를 위하여 pair선(관리자 Display용 및 보조 PLC용)을 제품군(SEN-120D 및 SEN-120DO)에 적용하여 설계하였다.

2.2 발전소용 가스터빈 회전축 온도 센서들의 설계

2.2.1 SEN-120의 3단 출력부 설계

SEN-120은 구조가 가장 간단한 기본형이며 서로 다른 길이를 갖는 2개의 동일 측정부로 2곳의 온도를 동시 측정이 가능하도록 설계하였다. SEN-120의 1단은 40mm 측정부 2개를 서로 다른 곳에 위치시켜 온도를 측정할 수 있도록 설계 제작하였으며 M8 나사의 고정 유격을 위해 고탄성 스프링(4.8×3.6×0.5t × 15mm)을 사용하였고 센서 출력선의 내구성을 보완하기 위하여 와이어 스프링(4×2.9×0.5t×70mm)을 사용하여 구성하도록 설계하였다. 2단 연장부는 Wire 선의 안정된 고정을 위하여 커넥터 내부에 Epoxy 몰딩 처리를 하도록 설계하였으며 케이블은 내열 등급을 갖는 테프론으로 제작하였다. 3단 출력부는 14000mm 길이의 출력선을 가지며 선의 찌힘이나 눌림을 방지하기 위하여 고장력 Flexible로 출력선을 보호할 수 있도록 설계하였다. SEN-120의 3단 출력부 설계도와 사진은 Fig. 6, Fig. 7과 같다.

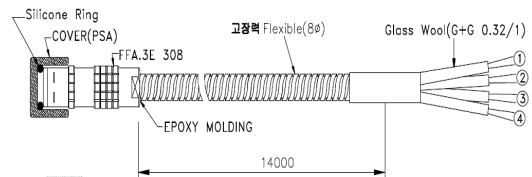


Fig. 6. Three stages output part drawing of SEN-120



Fig. 7. Three stages output part photo of SEN-120

2.2.2 EN-120DO의 3단 출력부 설계

SEN-120D는 서로 다른 길이를 갖는 3.3mm와 7.5mm 측정부가 각각 Double 구성되어 4곳의 온도를 동시 측정이 가능하도록 설계하였다. SEN-120D의 1-1단은 3.3mm 측정부 2개를 서로 다른 곳에 배치해 온도

를 측정할 수 있도록 설계 제작하였으며, 1-2단은 7.5mm 측정부 2개를 서로 다른 곳에 배치해 온도를 측정할 수 있도록 설계 제작되었음. M8나사의 고정 유격을 위해 고탄성 스프링(4.8×3.6×0.5t×15mm)을 사용하였고 센서 출력선의 내구성을 보완하기 위하여 와이어 스프링(4×2.9×0.5t×70 mm)을 사용하여 설계하였다. SEN-120D의 3단 출력부 설계도와 사진은 Fig. 8, Fig. 9 와 같다.

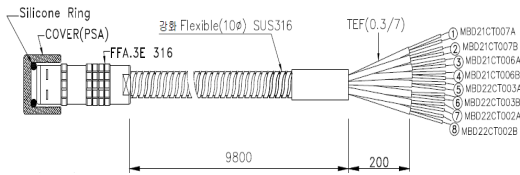


Fig. 8. Three stages output part drawing of SEN-120D



Fig. 9. Three stages output part photo of SEN-120D

2.2.3 EN-120DO의 3단 출력부 설계

시제품 SEN-120DO는 서로 다른 길이를 갖는 7.5mm와 40mm 측정부가 각각 Double 구성되어 4곳의 온도를 동시측정이 가능하도록 설계하였다. SEN-120DO의 1-1단은 7.5mm 측정부 2개를 서로 다른 곳에 배치해 온도를 측정할 수 있도록 설계 제작하였으며, 1-2 단은 40mm 측정부 2개를 서로 다른 곳에 배치해 온도를 측정할 수 있도록 설계 제작되었다. M8 나사의 고정 유격을 위해 고탄성 스프링(4.8×3.6×0.5t×15mm)을 사용하였고 센서 출력선의 내구성을 보완하기 위하여 와이어 스프링(4×2.9×0.5t×70mm)을 사용하여 설계하였다. 3단 출력부는 9800mm 길이의 출력선을 가지며 선의 씹힘이나 눌림을 방지하기 위하여 고장력 Flexible로 출력선을 보호할 수 있도록 구성하였다. SEN-120DO의 3 단 출력부 설계도와 사진은 Fig. 10, Fig. 11과 같다.

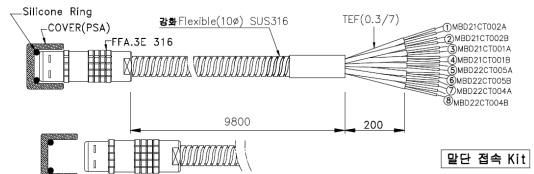


Fig. 10. Three stages output part drawing of SEN-120DO



Fig. 11. Three stages output part photo of SEN-120DO

3. 설계 제작된 온도 센서들의 정밀도 특성분석

특성분석의 목적은 제작 제품들의 온도 정밀도를 측정하여 연구개발의 목표달성 여부를 판단하고 시제작 제품의 성능을 평가하여 아래 Fig. 12, 13, 14에 나타내었다. 시료는 3종 18개로 하고 SEN-120, SEN-120D, SEN-120DO 각각 6개씩으로 하였다.

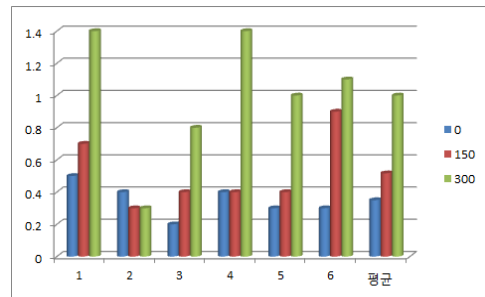


Fig. 12. Mean temperature error and precision of SEN-120

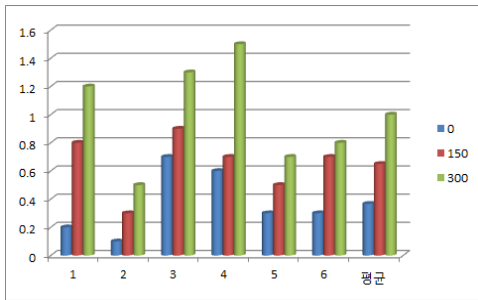


Fig. 13. Mean temperature error and precision of SEN-120D

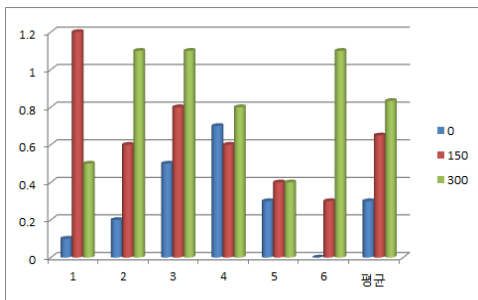


Fig. 14. Mean temperature error and precision of SEN-120DO

시제품 3종에 대한 0°C - 300°C 온도 범위에서 3 포인트 온도 기준점(0, 150, 300)을 대상으로 온도 정밀도 시험을 한 결과 SEN-120의 18개 포인트의 평균 오차는 0°C에서 0.35, 150°C에서 0.52, 300°C에서 1.0°C로 측정되었으며, SEN-120D는 18개 포인트에서 평균 오차는 0°C에서 0.37, 150°C에서 0.65, 300°C에서 1.0°C로 측정되었고, SEN-120DO의 18개 포인트의 평균 오차는 0°C에서 0.30, 150°C에서 0.65, 300°C에서 0.83°C로 측정되어 총 56개 포인트 모두 Class 1 등급(±1.5°C)을 만족함을 보여주었다. 위의 Fig. 12, 13, 14의 결과는 기술 개발 목표인 Class 1 등급을 충분히 만족하는 성과이며 제품에 대한 기술적인 성과를 의미한다. 가스터빈 회전체 온도 센서의 특성은 현장의 구조 특성상 측정부와 데이터 취합 장소(PLC) 혹은 사용자 디스플레이 확인 장소가 멀리 떨어져 있는 경우가 많아서 유선으로 연결되는 구간에 대한 특별한 내구성 확보 방안이 필수적이며, 특히 Wire의 끼임이나 눌림 등으로 인한 단락 등 빈번하게 발생하므로 다단 커넥터 연결 구조 형태가 더 우수함을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 산업현장에서 가장 선호되는 다단 커넥터 연결 특성을 만족하기 위하여 가장 보편적인 특성을 갖는 3단 분리 형태를 적용한 3종류의 가스터

빈 회전체 온도 센서를 시제품화 하였으며, 특히 국내에서 운영 중인 대표적인 100MW급(GE 제품) 가스터빈용 발전설비에 바로 적용할 수 있도록 현장 맞춤형으로 제작가능하다[13-15].

4. 결론

발전소용 가스터빈 회전축 온도 측정을 위한 센서 3종으로 설계된 온도 센서는 0°C - 300°C 범위에서 Class 1 등급 온도 정밀도를 만족하였으며, 융합연구를 통하여 기존의 유사 제품들과 비교하여 내구성을 크게 향상시켰다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 발전소용 가스터빈 회전축 온도 측정을 위한 센서 3종을 설계 제작하였으며 0°C-300°C 범위에서 Class 1 등급(±1.5°C)을 만족시킨다. 이때 사용된 시료는 3종이며, 각 6개씩으로 하였다.
2. 센서 3종은 각각 1, 2, 3단의 출력부 설계를 하여 Class 1 등급을 만족시키도록 설계하였다. 1단계에서는 측정부 2개를 서로 다른 곳에 위치시켜 온도를 측정하도록 하였고, 2단계에서는 Wire 선의 안정된 고정을 위하여 커넥터 내부에 Epoxy 몰딩 처리를 했으며, 마지막 3단에서는 1 m 이상의 출력선을 가지며 선의 씹힘과 눌림을 방지하기 위해서 고장력 flexible로 출력선을 보호할 수 있도록 설계하였다.
3. 설계된 3종 센서는 국내 운영 중인 800개 이상의 가스터빈 발전기에 적용 가능하고 부가 산업의 품질안정과 기술력 확보에 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.
4. 설계된 가스터빈 회전체의 온도 측정장치의 설계 노하우를 이용하면 정밀 화학 공정, 플랜트 수출 산업에서 습도, 가스, 유압 등의 측정장치에도 적용 가능하며, 식품,약품, 중화학 공정, 철강 제련 등과 같은 진공, 클린, 고위험군 설비 등에서도 사용가능하다.

REFERENCES

[1] O. Iida, T. Iwamura, K. Hashiba & Y. Kurosawa. (1992). A fiber optic distributed temperature sensor for high-temperature measurements, *Temperature its measurement and control in science*, 6(2), 745-750.

[2] J. McGhee, I. A. Henderson & L. Michalski. (1992). Dynamic properties of contact temperature sensors: I

thermokinetic modeling and the idealized temperature sensor, *Temperature its measurement and control in science*, 6(2), 1157-1162.

- [3] Z. Peng & W. Ruzhu. (2002). Particular low temperature sensors: superconductor temperature sensor and high resolution temperature sensor, *Journal of low temperature physics*, 24(3), 235-243.
- [4] Y. Kim, K. S. G. Gam & I. S. Yang. (2009). Uncertainty assessment of industrial platinum resistance thermometers for different Lead-wire connection methods, *Journal of Sensor and Science and Technology*, 18(4), 322-326.
- [5] C. H. Lee, C. Kim, H. S. Lee & J. H. Park. (2009). Optimization of thermal characteristic of the polymer-clad temperature sensor of Fiber Bragg Grating, *The Optimal Society of Korea Annual Meeting*, 517-518.
- [6] M. S. Kim, Y. S. Choi & D. R. Kim. (2013). Development of temperature sensor calibration system using cryocooler, *Trans. Korea Soc. Mech. Eng., B*, 37(1), 87-93.
- [7] D. C. Han, H. J. Shin, S. H. Yeom & W. H. Lee. (2017). Wearable human health-monitoring band using inkjet-printed flexible temperature sensor, *Journal of Sensor Science and Technology*, 26(5), 301-305.
- [8] Y. J. Park. (2015). The development of energy-saving converter for Doppler Sensor LED lights, *Journal of Digital Convergence*, 13(9), 251-257.
- [9] M. S. Yoon, K. R. Park & C. B. Ko. (2016). A design and implementation of the temperature testing equipment malfunction monitoring system using Arduino, *Journal of Digital Convergence*, 14(5), 317-323.
- [10] C. W. Chang & K. S. Kim. (2014). Development and Application, of the learning application of the rotating object, *Journal of Digital Convergence*, 12(6), 549-557.
- [11] J. S. Lim. (2019). A design of small size sensor data acquisition and transmission system, *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(1), 136-141.
- [12] S. H. Hong. (2014). Research on wireless sensor networks security attack and countermeasures: Survey, *Journal of Convergence for Information Technology*, 4(4), 1-6.
- [13] S. K. Park. (2016). Proposal of a mobility management scheme for sensor nodes in IoT(Internet of Things), *Journal of Convergence for Information Technology*, 6(4), 59-64.
- [14] K. T. Yang. (2004). Nondestructive sensor development for cable tension measurement, *Journal of Korean Society of Mechanical Technology*, 6(1), 25-30.
- [15] S. J. Go, M. C. Lee & C. D. Kim. (2003). Development of electrical furnace for heating vermiculite and its performance evaluation, *Journal of Korean Society of Mechanical Technology*, 5(2), 17-23.

이 정 익(Jeong-ick Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한양대학교 공과대학. 기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 한양대학교 공과대학. 정밀기계공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 한양대학교 공과대학. 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1999년 12월 : (주)대우전자. 중앙연구소 (선임연구원)
- 2000년 3월 ~ 2007년 2월 : 용인송담대. 자동차기계설계전공 (교수)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 인하공전. 기계공학부. 기계설계과 (교수)
- 관심분야 : CAD/CAM/CAE, 공장자동화, 생산자동화, 사출금형, 유비쿼터스, MEMS, BIOMECHANICS
- E-Mail : jilee@inhatc.ac.kr

나 기 수(Gi-Soo Na)

[정회원]



- 1997년 2월 : 건양대학교 공과대학. 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 인하대학교 공과대학. 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 인하대학교 공과대학. 전자공학과 (공학박사)
- 2008년 3월 ~ 2009년 12월 : 안양대학교. 정보통신공학과 (교수)
- 2010년 1월 ~ 2013년 12월 : (주)디자인파크개발. 기술연구소 (수석연구원)
- 2016년 1월 ~ 현재 : ㈜센테크이엔지 기술연구소(연구소장)
- 관심분야 : 공장자동화, 생산자동화, IoT 센서 시스템
- E-Mail : gsna@sentecheng.com