

고속열차 산전 전장품 발열특성 측정

박원희^{1*}, 윤수환², 박춘수²

¹한국철도기술연구원 교통환경연구팀, ²한국철도기술연구원 고속철도연구본부

Measurement of Thermal Characteristics of Electric Unit for Sancheon High-Speed Railcar

Won-Hee Park^{1*}, Su-hwan Yun², Choonsoo Park²

¹Transportation Environmental Research Reserach Team, Korea Railroad Research Institute,

²High-speed Railroad Systems Research Center, Korea Railroad Research Institute,

요약 열차 운행에 따른 전장품들의 발열을 예측하기 위해 동력차 내 벽면온도 및 외부 유출 온도 및 풍속, 외부로부터 유입되는 유입 공기의 유입 온도 및 속도를 측정하였다. 이를 위하여 적외선카메라를 이용하여 고속열차 내부의 전장품 및 벽 표면의 온도를 측정하였다. 또한 전장품에서 발생하는 열은 고속열차 천장에 설치된 덕트를 통하여 외부로 배출된다. 배출되는 공기의 온도 및 속도를 측정하였고, 외부에서 동력차 내부로 들어오는 유입공기의 온도 및 속도도 측정하였다. 또한 부착형 온도센서를 이용하여 동력차 내부의 벽 및 전장품 표면에서의 온도를 측정하였다. 측정된 결과를 이용하여 열차 주행에 따른 전장품의 발열 특성을 분석하였다.

Abstract The heat generated by electrical components during train operation was estimated by measuring the wall temperature in a locomotive, as well as the temperature and speed of the air entering from the outside and then returning to the outside. The temperatures of the electrical components and wall surface in a high-speed train were measured using an infrared camera. The heat generated by the electrical components was exhausted to the outside through a duct installed on the ceiling of the high-speed train. Thus, the temperature and speed of this exhaust air were measured, as well as those of the air entering the locomotive from the outside. The temperatures at the surfaces of the electrical components and walls in the locomotive were also measured using an attachment-type temperature sensor. In addition, the measurement results were applied to analyze how the heat characteristics of the electrical components were affected by the train operation.

Key Words : High Speed Rail, Electric Unit, Thermal Characteristics, Measurement

1. 서론

고속열차 산전은 동력방식이 열차를 끄는 힘을 발휘하는 견인동력이 하나의 차량에 집중되어 있는 동력 집중식이다. 이러한 집중식 고속차량에 전장품의 구성 및 역할 등은 한영재 등[1]을 참고할 수 있다. 고속열차 산전은 전차선에서 교류 25kV, 60Hz 를 펜더그래프를 통해 전력을 주변압기로 공급받고, 모터블럭과 보조블럭에

각각 AC 1100 V와 AC 380 V로 전달된다. 모터블럭에서는 컨버터 2대를 병렬운전하고 인버터 1대로 견인전동기 2대를 구동하는 구조로 되어 있으며, 견인전동기를 제어하여 차량의 추진 및 전기제동을 수행한다. 이러한 전장품들에서는 필연적으로 열이 발생하게 된다. 특히 박근석 등[2]은 모터블럭의 격자저항기의 온도분포해석과 구조개선에 관한 연구를 수행하였다. 전장품에서의 냉각성능에 대한 검토는 고속열차의 안정적인 주행을 목

본 논문은 국토교통부의 고속열차 성능 및 효율향상 핵심기술개발 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Won-Hee Park(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5358 email: whpark@krri.re.kr

Received April 21, 2015

Revised May 15, 2015

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

적으로 필수적이다. 김성훈 등[3]은 고속열차의 전장품에 설치되어 전기 냉각 효율을 증대하기 위한 환-히트파이프로 구성된 채널에서 히트파이프의 엇갈림배열에 따른 유동 및 열전달 특성에 대하여 연구한바가 있다. 히트파이프, 환, 송풍기 등의 여러 냉각요소를 통하여 전장품에서 발생하는 열들은 열교환되어 동력차 외부에 설치되어 있는 그릴 등을 통하여 외부로 배출된다.

본 연구에서는 열차 운행에 따른 전장품들의 발열특성을 측정하였는데, 이를 위하여 동력차 내 벽면온도 및 외부 유출 온도 및 풍속, 외부로부터 유입되는 유입 공기의 유입 온도 및 속도를 측정하여 분석하였다.

2. 속열차 동력차 내부 열환경 측정

2.1 동력차 적외선 발열 특성 측정

Table 1. Peak temp. Result of Each equipment

	Hangshin->W.Deajeon	W.Deajeon->Hangshin	Stop
Main Trans-former [°C]	57.6	102.0	99.5
Auxiliary Block [°C]	42.9	40.6	46.4
Motor Block [°C]	36.8	40.5	47.3

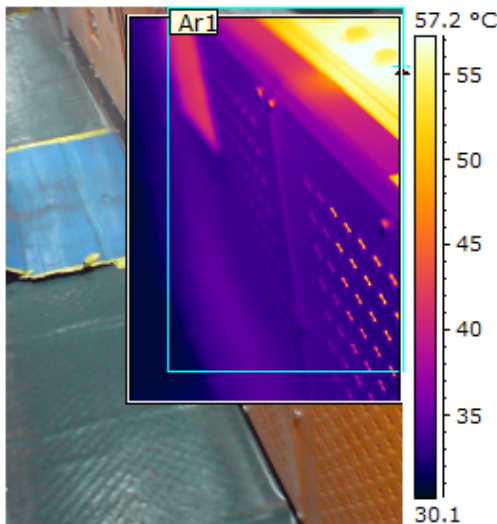


Fig. 1. Main transformer

고속열차 전장품의 발열특성 해석을 위해 FLIR사의 P620 적외선카메라를 이용하여 주행중인 동력차의 모터블럭, 보조블럭, 주변압장치의 표면온도의 열분포 특성

을 촬영하였다. 행선역과 서대전역을 왕복하는 KTX 산전 열차에서 영상을 촬영하였으며 각 전장품별 측정된 표면온도의 최대값 및 평균값은 Table 1과 같다.

Fig. 1은 KTX 산전 열차 주변압기의 표면온도를 적외선으로 측정한 결과이다. 받침대 위의 부분에서 온도가 주변보다 많이 높은 것을 알 수 있다.

2.2 온도/풍속 측정

2.2.1 전장품 열 배출 특성 측정 (상부 그릴)

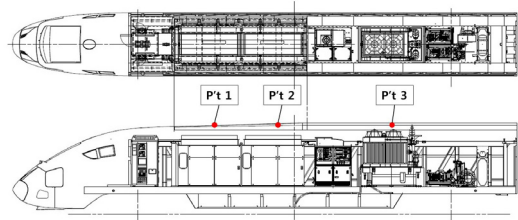


Fig. 2. Positions of sensors at upper side grill



Fig. 3. Installed sensor at upper side grill

고속열차 동력차 안에 설치되어 있는 주요 전장품인 모터블럭, 보조블럭, 주변압기 등에서 발생한 열을 동력차 외부로 배출하기 위하여 송풍기가 설치되어 있으며 송풍기로 인하여 유동이 발생하여 전장품이 냉각되게 된다. 전장품에서 발생하는 열은 고속열차 천장에 설치된 덕트를 통하여 외부로 배출된다. 배기되는 열을 측정하기 위하여 동력차의 전장품인 모터블럭, 보조블럭 및 주변압장치를 외부와 연결하는 덕트는 동력차 상부의 그릴과 연결되어 있으며, 이 그릴을 통하여 전장품에서 발생된 열이 배출된다. 이 그릴에 배출되는 공기의 온도와 풍속을 측정하는 센서를 설치하였다. Fig. 2와 같이 총 3개의 센서를 설치하였으며 2개는 모터블럭과 연결된 덕트의 그릴에 설치하였고 1개는 주변압기와 연결된 덕트에

설치하였다. Fig. 3은 고속열차 상부에 위치한 그릴에 설치된 온도/풍속 측정센서를 보여주고 있다.

2.2.2 유입 특성 측정

(내부 측면 루버 및 전장품 공기유입구)

동력차 전장품의 냉각 등의 목적으로 열차가 주행중에 외부 공기를 유입하기 위하여 설치된 동력차 내부 측면 루버 그릴에 유입 공기의 유속을 측정하기 위해 센서를 설치하였다. Fig. 4와 같은 위치에 동력차 한쪽 측면에 Fig. 5와 같이 7개의 풍속센서를 고정하여 열차 운행중에 유입 풍속을 지속적으로 측정하였다.

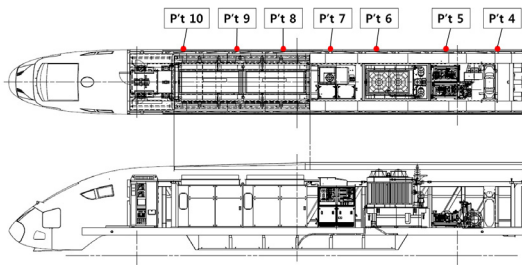


Fig. 4. Positions of sensors on inside louver (fixed)

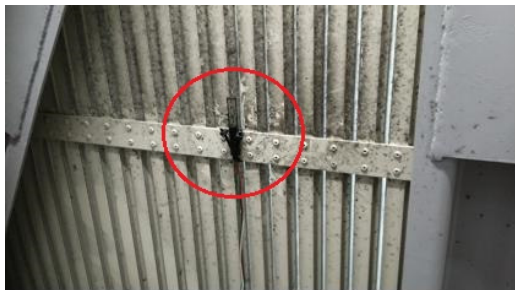


Fig. 5. Installed of sensors on inside louver

Fig. 6과 같이 이동형 센서지그를 제작하여 여러 위치에서의 풍속 및 온도를 간헐적으로 측정하였다. 이동형 센서 지그는 4개의 센서가 한 set을 이루고 있으며 4개의 센서가 수집한 데이터를 이용하였다. 제작된 이동형 센서지그를 이용하여 Fig.5와 표시된 위치에서 4 지점의 풍속 및 온도를 측정하였다.



Fig. 6. Movable zig of sensors

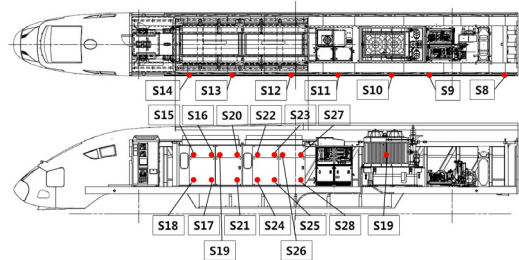


Fig. 7. Sensor Position of Inner Louver (movable)

2.2.3 동력차 벽면 및 전장품 외부 케이스

동력차의 벽면 및 전장품 외부 케이스의 온도를 측정하기 위해 메모리가 장착되어 있는 Fig. 8과 같은 부착형 온도 센서를 설치하였다.

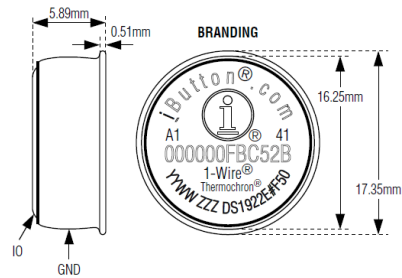


Fig. 8. Temperature measuring sensor

부착형 온도측정 센서는 열차 주행중에 다양한 표면에 부착되어 온도를 측정하였다. Fig.9 와 같이 전장품 (그림에서 오른쪽) 및 벽체(그림에서 왼쪽)에 테이프를 이용하여 부착되어 온도를 측정하였다.



Fig. 9. Temperature sensor attached surface

Table 2. Time and average/maximum of tests

	Test1	Test2	Test3
Time Section	2014.10.07 (14:54:54-15:10:44)	2014.10.07 (15:10:53-15:25:30)	2014.10.08 (12:09:49-12:21:29)
Average Velocity (km/h)	139.0	215.7	170.5
Peak Velocity (km/h)	302.0	305.0	304.0

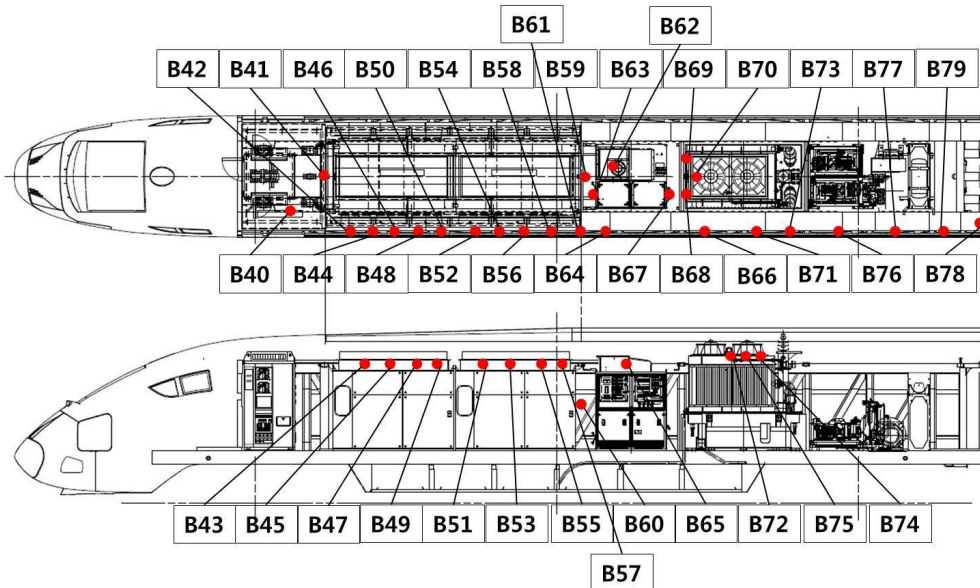


Fig. 10. Positions of temperature measurement on various surface of railcar

Fig. 10과 같이 다양한 위치에 온도센서를 고정하여 측정을 수행하였다.

2.3 측정결과

측정은 이틀에 걸쳐 진행되었으며, 열차가 시작하여 멈출 때까지를 분석 구간으로 설정하였다. 즉 열차의 속도가 0 km/h에서 300 km/h에 도달한 후 다시 0 km/h에 도달하는 사이클을 하나의 구간으로 설정하여 각 센서들의 측정된 데이터와 열차속도와와의 관계를 알아보았다. 총 3개의 구간을 선정하여 분석 및 해석하였고 그 구간에 대한 정보는 Table 2과 같다. (센서 이상 문제로 측정되지 않은 구간이 존재한다.)

2.3.1 전장품 열 배출 특성 측정 (상부 그릴)

P't1 과 P't2는 모터블럭과 연결된 덕트의 말단에 위치한 그릴에 설치된 센서이며 P't3은 주변압기와 연결된 덕트의 말단에 위치한 그릴에 설치된 센서이다. Fig. 12-14 를 상부그릴에 설치된 3개의 위치에서 설치된 풍속센서의 풍속을 시간에 따라 보여주고 있다. 점선은 고속열차의 주행 속도이다. test 1에서의 열차의 속도는 계속 증가하는 양상이며, test 2,3은 열차의 속도가 증가하였다가 감소하는 형태를 보이고 있다. P't1 과 P't2는 모터블럭에서 발생하는 열을 배출하는 덕트의 끝에 설치된 루버(그릴)에 설치된 센서이며 P't3은 주변압기에 설치된 센서이다. Fig. 12-14 를 보면 P't1 과 P't2 위치에서의 속도는 열차의 속도의 변화에 민감하게 반응하지

않는 것을 볼 수 있다. 하지만 주변압기에서 발생하는 열을 배출하는 그릴에 설치된 Pt3 센서의 경우 풍속의 변동폭은 모터블록에 비해 작지만 증감 경향은 열차 속도와 거의 일치함을 확인할 수 있다. 주변압기는 열차의 속도가 빨라지는 만큼 더 많은 냉각작용이 필요함을 예상할 수 있다. 또한 열차의 속도에 따라 주변압기에 설치된 송풍기가 연동되어 설계된 것을 알 수 있다. 풍속과 마찬가지로 주변압기에 설치된 Pt3 센서가 열차속도 변화와 같은 증감 경향을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 열차의 속도가 높아질수록 주변압기에서 발생하는 열의 온도가 높아짐을 알 수 있으며 그에 따라 외부로 유출시키는 공기의 양 또한 많아지는 것으로 판단된다. 반면 Pt1 과 Pt2 센서의 경우 Test1을 제외하고는 속도가 감소할 때 온도가 증가하는 현상을 보이는데 실험 열차의 경우 제동 시 모터블록의 열을 배출하기 위하여 구성된 덕트에 감속을 하기위해 필요한 격자저항과 같이 연결되어 있다. 그러므로 감속시에 격자 저항기에서 열이 발생하고 이러한 열의 배출로 인해 Pt 3에서의 온도가 증가하는 것을 알 수 있다.

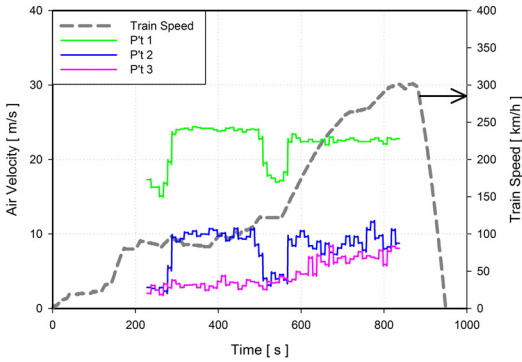


Fig. 11. Air Velocity of Upper side Grill (Test1)

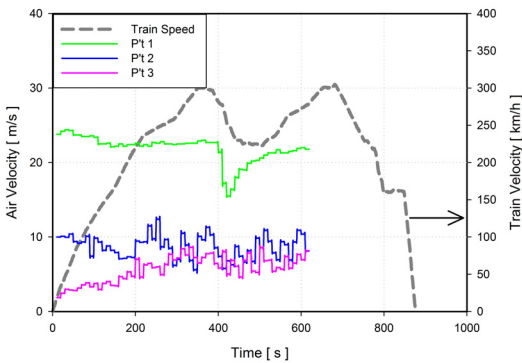


Fig. 12. Air Velocity of Upper side Grill (Test2)

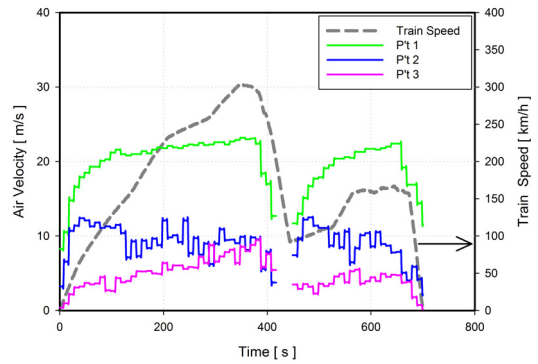


Fig. 13. Air Velocity of Upper side Grill (Test3)

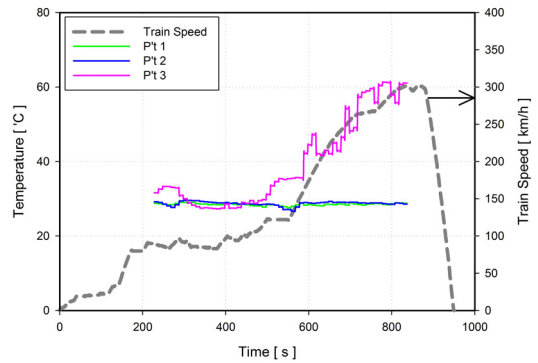


Fig. 14. Temperature of Upper side Grill (Test1)

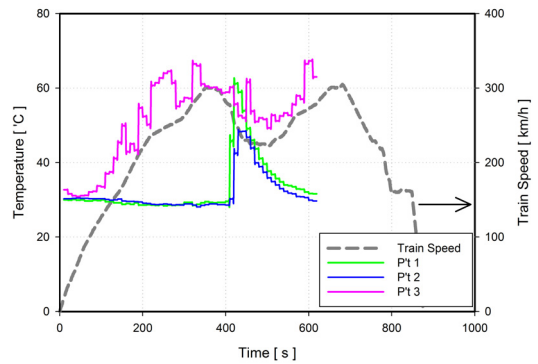


Fig. 15. Temperature of Upper side Grill (Test2)

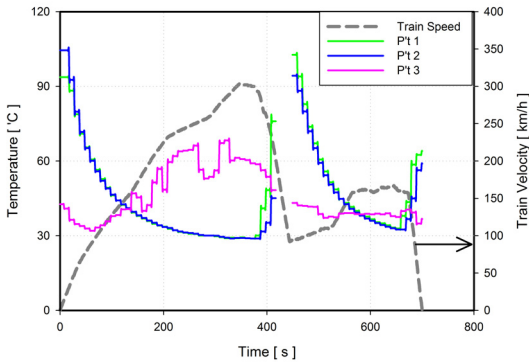


Fig. 16. Temperature of Upper side Grill (Test3)

2.3.2 내부 측면 루버

Fig. 17-19는 모든 시험에서의 Fig. 4에 표시된 위치에서 각 루버의 중앙에서 측정된 속도를 보여주고 있다. 내부 측면 루버 풍속은 열차의 속도와 유사한 경향을 보여주었다. 높은 열차 속도로 인해 루버에 유입되는 공기가 더 많아지는 것을 알 수 있다. Fig.7에서와 같이 네 개의 풍속/온도 동시 측정 센서를 이용하여 측정된 값의 평균을 Fig. 20에 나타내었다(Test2). 고정형과 마찬가지로 루버의 풍속과 온도가 열차속도와 같은 증감 경향을 보이는 것을 확인했다.

Fig. 20에 보여준 이동형 지그를 이용하여 측정한 Test2 구간의 결과는 열차출발 후 247 초부터 727 초까지 1분 간격으로 총 8번의 위치에서 풍속을 측정하였으며 결과 값은 4개의 센서로 측정된 값의 평균을 이용하였다.

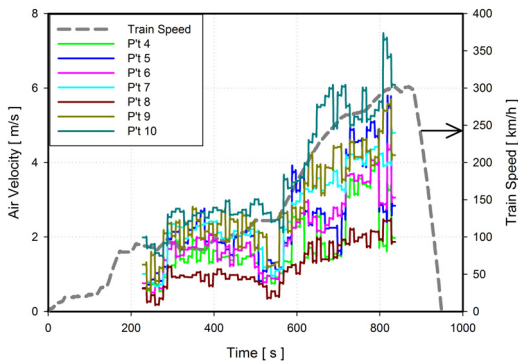


Fig. 17. Air Velocity of Inner Louver (Test1)

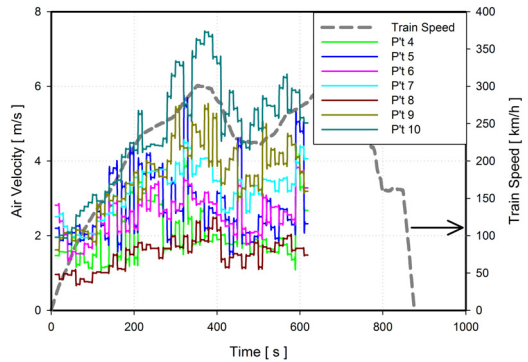


Fig. 18. Air Velocity of Inner Louver (Test2)

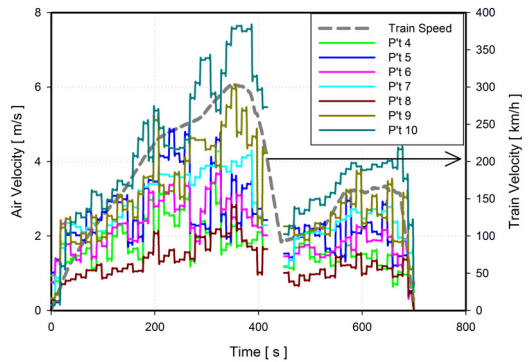


Fig. 19 Air Velocity of Inner Louver (Test3)

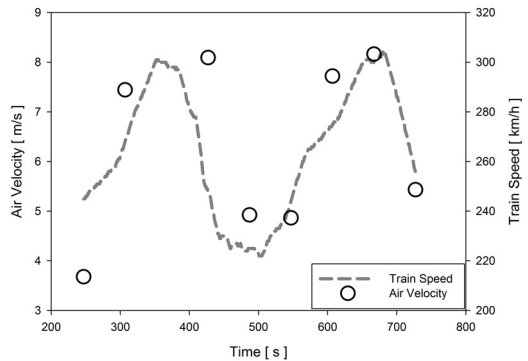


Fig. 20. Air Velocity of Inner Louver (Test2)

내부 측면 루버 풍속은 속도와 유사한 변화 경향을 보여주었다. 높은 열차 속도로 인해 가열된 내부 냉각기들이 온도를 낮추기 위해 루버 풍속을 그에 맞게 높인다는 것을 확인할 수 있다.

2.3.3 동력차 벽면 및 전장품 외부케이스

Table 3에서는 Fig.10에서 표기된 위치에서 측정된 모든 측정점에서 측정된 온도의 평균, 최대 및 최소 온도를 test 별로 보여주고 있다. 최고온도는 모든 시험에서 측정된 최고 온도는 48.8 °C이다. Fig. 21 - 23은 각각 모터블럭, 보조블럭, 주변압기와 근접하게 설치된 센서들의 Test1 측정 결과이다.

Table 3. Average/maximum/minimum temperature of tests

	Average	Max	Min
Test1 [°C]	31.7	45.3	18.1
Test2 [°C]	30.1	45.1	17.8
Test3 [°C]	31.9	48.8	22.2

대체적으로 동력차가 가속을 해야할 때 각 전장품 케이스의 온도가 높게 나왔지만 전체적으로 보았을 때 동력차 벽면과 전장품 외부케이스의 온도는 열차속도와 큰 상관관계를 보이지 않았다.

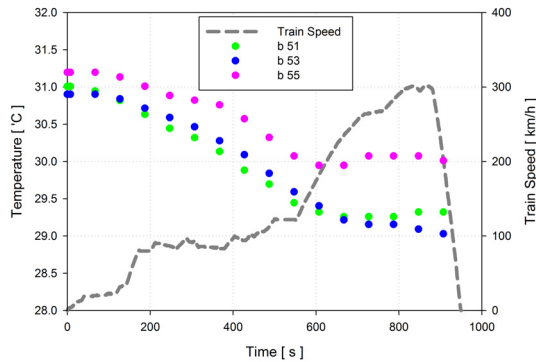


Fig. 21. Temperature of main block (Test1)

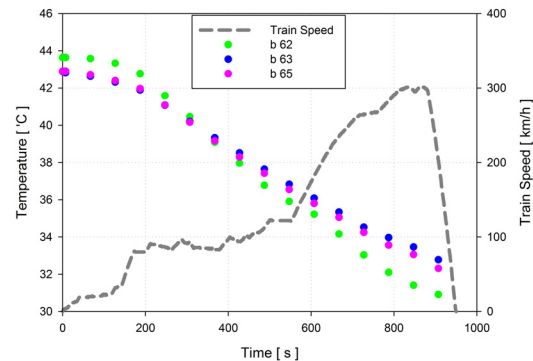


Fig. 22. Temperature of auxiliary block (Test1)

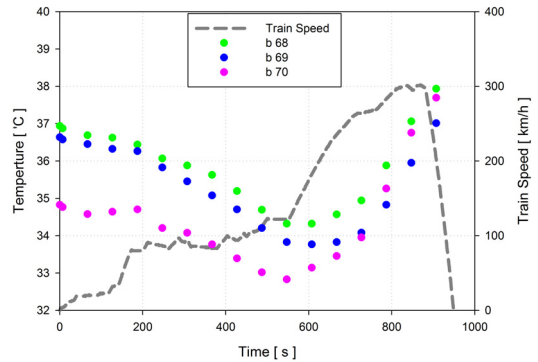


Fig. 23. Temperature of main transformer (Test1)

3. 결과

동력차 내 벽면온도 및 외부 유출 온도 및 풍속, 외부로부터 유입되는 유입 공기의 유입 온도 및 속도를 측정하여 열차 운행에 따른 전장품들의 발열특성을 측정하였으며 다음과 같은 분석 결과를 얻었다.

- 열차의 속도가 높아질수록 주변압기의 온도가 상승하였으며 온도가 상승한 주변압기를 냉각하기 위하여 송풍량이 증가하여 배출 공기의 온도 및 풍속이 증가하였다.
- 모터블럭의 경우 가속시보다 제동시에 더 많은 열이 발생하였으며 제동시에 모터블럭에서 배출 공기의 온도가 급격히 증가하였다. 그러나 가속시에 배출 온도는 상승하지 않았다.
- 고속열차로 유입되는 공기는 열차의 속도에 따라 비례하게 증가하였다.
- 주행(가속)시에는 주변압기, 제동시에는 모터블럭에서의 발열이 발생하므로 이에 따른 열설계가 필요하다.

본 논문에서 측정된 실험 결과를 이용하여 동력차 전장품의 발열 특성을 수치적으로 분석할 예정이며, 이 결과는 고속열차의 동력차의 최적 열설계에 주요한 자료로 활용될 수 있다.

References

- [1] Young-Jae Han, Characteristics analysis for main electric equipment of korean high speed train, Proceedings of the KIEE Conference, pp.1598-1600 , 2005.
- [2] Keun-Seok Park, Dae-Dong Lee, Young-Dal Kim, Jong-An Jeong · Jae-Myung Shim, Design of Motor Block Resistor for KTX, The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers , v.60, no.3, pp.662-668, 2011.
- [3] S.-H Kim, Y.-G. Jin, C.-J. Kim, Flow and Heat Transfer Characteristics due to Staggered Arrangement of Heat Pipes in Channels with Heat Pipes and Fins, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp.871-879, 2002
- [4] http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography_APAC/Products/Product_Literture/FLIR/P620/Infrared/Camera/Datasheet_au.pdf

박 춘 수(Choonsoo Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 2005년 8월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1996년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2006년 1월 ~ 12월 : Johns Hopkins University (Visiting Scholar)

<관심분야>

철도차량, 시스템엔지니어링, 시험평가

박 원 희(Won-Hee Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2004년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 (기계공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 2009년 6월 ~ 2009년 12월 : 호주 Victoria Univ. 연구원

<관심분야>

철도 열유체, 화재안전

윤 수 환(Su-Hwan Yun)

[정회원]



- 2005년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (항공공학석사)
- 2010년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (항공공학박사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

고속열차 및 인프라 공기역학, 공력소음