

Event Recorder를 위한 Crash Protected Memory 개발 Development of Crash Protected Memory for Event Recorder

송규연† 이상남* 류희문**
Gyu-Youn Song Sang-Nam Lee Hee-Moon Ryu

ABSTRACT

In high speed railway, event recorder is essential system for analyzing the cause of train accident. It stores train operation sent by train control system in safe memory unit. Crash protected memory, the safe memory unit for event recorder, keeps the stored contents from severe environment. For crash protected memory, we have designed the architecture of concrete enclosure and controller board. Proposed system provides large volume of memory capacity and fault tolerance architecture. For checking the characteristics of proposed crash protected memory specification, the simulation is executed. Simulation results shows the designed crash protected memory meets all requirements.

1. 서론

철도의 안전성에 대한 관심이 높아지고 있다. 철도의 안전성을 증대 시키는 방안 중에는, 열차 사고 발생 시 사고 원인을 정확히 분석하여, 원인에 대한 대비를 철저히 함으로써 안전성을 보장하는 방법이 있다. 열차 운행 시 운행에 관련된 각종 정보를 기록해 두었다가, 사고 발생 시 기록된 정보를 이용하여 사고 전후의 열차 상황을 재현함으로써 사고 원인을 찾을 수 있다.

운행 중인 열차 정보를 기록하는 장치를 Event Recorder라고 하며 [1][2][5], Event Recorder는 열차 운행 시 열차 상태에 관련된 각종 정보, 속도, Emergency Brake 적용 여부, Service Brake 적용 여부, 운전 Mode 등을 기록해 두었다가, 저장된 정보를 이용하여 분석도구 소프트웨어를 이용하여 사고 당시의 열차 상태를 재현하여 사고 원인을 분석한다 [3][6].

열차 사고가 발생하면 사고로 인해 열차 내부 환경이 열악한 상황이 된다. 화재가 발생하여 주위 온도가 고온이 될 수가 있고, 고속으로 운행하는 열차가 충돌을 하게 되면, 갑자기 급격하게 속도가 감소하므로, 열차 내부에 설치되어 있는 장비는 엄청난 물리적인 충격을 받게 된다.

Event Recorder에 저장되는 운행 정보를 열악한 주변 환경으로부터 보호하기 위한 장치가 필요하다. Event Recorder를 구성하는 부품 중 하나가 Crash Protected Memory이다. Crash Protected Memory는 운행 중인 열차 상태를 기록하고, 기록된 내용이 열악한 환경에서도 없어지거나 손상되지 않게 온전히 보존해 주는 장치이다. 본 연구에서는 Event Recorder에 적용되는 Crash Protected Memory에 대해 연구 하였다.

본론에서 Event Recorder에 대한 전반적인 기능 및 동작에 대해 설명하고, 제안된 Crash Protected Memory에 대한 구조, Hardware 및 Software에 대해 기술한다.

† 책임저자 : 정희원, 한티기술 부설연구소 기술이사
E-mail : gysong@htt.co.kr
TEL : (02)2108-2200 FAX : (02)2108-2211
* 비회원, 한티기술 부설 연구소 수석연구원
** 정희원, 한티기술 부설 연구소 기술이사

2. 본론

2.1 Event Recorder 구성

본 연구에서 대상으로 하는 열차는 국책 과제로 개발 중인 차세대 고속열차이다. 운행 중인 차세대 고속열차의 각종 운행 상태를 Event Recorder에 저장하고, 그 저장된 정보를 이용하여 저장 전후의 열차 상태를 분석한다.

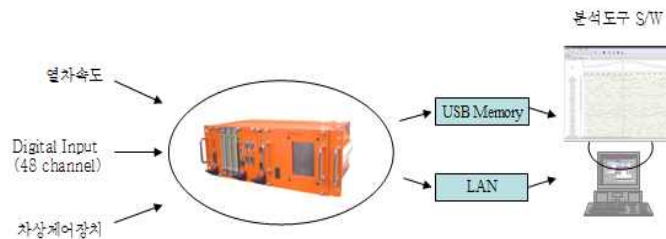


그림 1. Event Recorder 구성 및 기능

그림 1에서 나타내고 있는 Event Recorder 구성과 같이 전원 Board, Digital Input Board, 속도 계산 Board, CPU Board, 통신 Board, LCD Pane 및 Crash Protected Memory로 이루어진다. Crash Protected Memory는 Event Recorder 본체 내부에 위치하고 있다. Event Recorder는 열차 속도, Digital Input 및 차상제어장치로부터 열차 상태를 입력 받는다. Digital Input은 최대 48 Channel을 제공하여, 각종 열차 상태를 수집할 수 있도록 한다. 차상제어장치와는 통신으로 연결되어 주기적으로 차상제어장치가 수집한 열차 정보를 전달 받는다. Event Recorder는 외부로부터 입력된 고속열차 운행 정보를 Crash Protected Memory에 저장한다. 사고 발생 시에는 사고 차량에 탑재 되어 있던 Crash Protected Memory를 정상적인 Event Recorder에 연결한 후 Crash Protected Memory 내용을 읽어낸다. Crash Protected Memory에 저장되어 있는 내용을 분석도구 S/W로 복사하는 방법은 USB Memory를 이용하거나 LAN 통신을 통해 이루어진다.

분석도구용 서버 컴퓨터에 사고 당시의 Crash Protected Memory 내용을 복사한 다음, 분석 도구 S/W를 이용하여 사고 당시의 열차 속도, Digital 값으로 저장되어 있는 각종 고속 열차 주요 장치들의 상태, 차상제어장치로부터 수신한 고속열차 상태를 분석한다. 분석도구 소프트웨어는 열차 운행 상태를 그래프 View, Message View, Table View 및 Raw View와 같은 다양한 형태의 그림으로 표시해 주기 분석 담당자에게 사용 편리성을 제공한다.

2.2 저장 내용

한 번에 저장하는 Memory 용량은 2 bytes (열차 속도) + 6 bytes(Digital Input 48 Channel) + 32 bytes (차상제어컴퓨터로부터 수신한 정보) = 40 bytes 이다. 매 1초마다 고속열차 정보를 저장하는 경우, 고속 열차가 한 번 운행 하는데 소요되는 시간이 3시간이라고 가정하면, 고속열차가 한 번 운행 했을 때 필요한 Memory 용량은 40 bytes x 3 x 3600 = 432 kbytes 이다. Crash Protected Memory에 저장되어 있는 고속열차 운행 정보를 장기간 유지하기 위해 필요한 메모리 용량은 다음과 같다.

고속열차가 하루에 4번 운행 한다고 가정하고, 운행 기록을 8일간 유지한다고 가정하면 432 kbytes x 4 x 8 = 13,824 kbytes 이다. 한 편성의 고속열차 운행 기록은 8일간 유지 하는데 필요한 메모리

용량이 13,824 kbytes이므로, Crash Protected Memory에서 제공하는 Memory 용량은 8 Gbytes이다. Crash Protected Memory 용량 규격을 충분히 크게 선정한 이유는 향후 필요한 Memory 용량에 대한 확장성을 제공하고, Flash memory 특성 상 하나의 Cell에 Write 할 수 있는 횟수가 제한되어 있어, 사용 연한을 충분히 제공하기 위함이다.

Crash Protected Memory에 저장하는 내용은 국제 표준으로 정해진 것은 없지만, 영국에서 국내 규격으로 정한 Event Recorder 관련 규격에서 저장해야하는 내용에 대해 개략적으로 기술하고 있다. 영국 규격에서 기술하고 있는 저장 내용 중 주요 내용은 다음과 같다[4].

- 1) Brake 제어 동작을 포함한 Brake 명령어 및 Brake 동작 상태
- 2) 열차 추진 관련 동작
- 3) 각종 열차 속도
- 4) 경고 및 보호 시스템에 대한 운전자 조작 및 동작
- 5) 운전자에게 통지하는 장치 동작
- 6) 운전자 안전장치 및 보호 장치 동작
- 7) 승객 비상 장치에 대한 동작
- 8) 경고 및 보안 시스템에 대한 분리 및 무시 동작
- 9) 열차 경고음 동작
- 10) 승객 출입문 동작
- 11) 열차 속도 감시 및 제어 동작

영국 규격에서 제시하고 있는 저장 내용을 참고하고, 차세대 고속열차에서 제공되는 상태 정보를 근거로 하여 Crash Protected Memory에 저장되는 내용을 아래와 같이 선정 하였다.

- 1) 각종 Brake 관련 신호 - Emergency Brake, Full Service Brake, Service Brake 등
- 2) 추진 제어 관련 신호 - MCB Reset, Driver's Powering Select, Control to lower Pantograph 등
- 3) 열차 속도 신호 - 3개 종류의 열차 속도
- 4) 운전자 동작 신호 - VDS Isolation, Passenger Signal Alarm, Driver's EB Control 등
- 5) 열차 관리 - Confirming Switch ATS, ATS Reset, Multicoupled Train, High Speed Line 등
- 6) 현재 시각 - 연,월,일,시간,초
- 7) 운전자 ID, 열차 번호
- 8) Rheostatic Brake 상태, Regenerative Brake 상태
- 9) Motor block cut signal
- 10) 화재 감지 상태

선정된 열차 상태 정보를 현재까지 정해진 상태 정보이고 변경 되거나 추가될 수 있다. 추가되는 경우에 대비하여 Crash Protected Memory는 충분한 크기의 메모리를 보유하고 있다.

2.3 Crash Protected Memory 구성

Crash Protected Memory가 제공해야 되는 기능은 고속열차 운행 정보 저장 및 제공, 그리고 저장 정보를 열악한 환경에서 온전히 보존 하여야 한다. Crash Protected Memory가 열악한 주위 환경에서 저장 내용을 보존하기 위한 규격은 Event Recorder 관련 영국 규격에서 기술하고 있다 [4]. 열차 사고 발생 시 Crash Protected Memory가 외부로부터 가해지는 간섭은 충격, 압착, 고온, 침수 및 자기장이다. 도표 1은 영국 규격에서 정해 놓은 Crash Protected Memory에 대한 규격이다.

도표 1. Crash Protected Memory에 대한 영국 규격

	온도 규격	충격 규격	압착 규격	침수 규격	자기장 규격
영국 규격	700 °C에서 5분간 유지 시 저장 내용 보존	6개 방향에서 3번씩 시험하고, Sin 곡선으로 10ms간 100g의 충격을 가했을 때 저장 내용 보존	3번은 반대면, 6번은 대각선으로 반대 모서리 중앙 부분에 1분간 25mm 직경 크기로 20 kN을 인가 했을 때 저장 내용 보존	수돗물, Anti Fire Fighting Foam, 냉각수에 60분간 유지 시 저장 내용 보존	1m 당 107 A/s의 비율로 늘이면서 0 ~ 64 kA 전류를 흘렸을 때 저장 내용 보존

영국 규격에서 제시하고 있는 Crash Protected Memory를 구성하기 위해서는 외부 물리적인 충격으로부터 저장 내용을 보호할 수 있는 구조, 주위 높은 온도로부터 저장 내용을 보호할 수 있는 구성이어야 한다.

외부 물리적인 충격으로부터 내부 Memory 내용을 보존하기 위해 외함이 있고, 내부는 비어 있는 상태에서 고속 열차 운행 정보를 기록하기 위한 제어보드를 위치하고, 빈 공간을 고온으로부터 Memory 내용을 보존하기 위한 단열재로 채워진다. 외함은 영국 규격에서 정해 놓은 충격 및 압착시험으로부터 내부를 보호하기 위해 Stainless Steel로 구성한다. 외부로부터 가해지는 충격에 견디기 위한 구조로 구성 하였다.

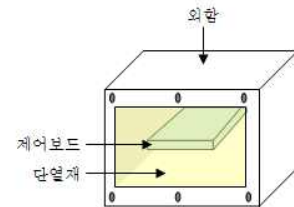


그림 2. Crash Protected Memory 구성

단열재는 다기공 구조로 이루어진 고온 단열재를 사용 하였다. 열전도율이 매우 낮으며, 가볍고 압축 강도가 높은 단열재를 사용 하였다. 채택된 단열재는 100 °C에서 열전도율이 0.025 W/(m.k) 이고, 700 °C에서 열전도율이 0.052 W/(m.k) 이다.

제어 보드는 Event Recorder 본체로부터 전송되는 고속 열차 운행 정보를 수신하고, 수신한 정보를 Flash Memory에 저장하기 위한 보드이다. 제어 보드는 직렬 통신을 위한 모듈, 전원 모듈, Central Processor Unit 및 Flash Memory로 구성된다. Flash Memory 용량은 8 Gbyte 이다. Central Processor Unit는 32-bit microprocessor를 사용 하였고, 내부에 프로그램용 Memory를 내장하고 있다. 직렬통신은 RS-485 방식, HDLC Protocol을 이용하여 구현 하였다. Crash Protected Memory가 외부로부터 간섭을 받더라도, 최종적으로 제어보드의 Flash Memory에 저장되어 있는 고속열차 운행 기록은 온전히 보존 되어야 한다.

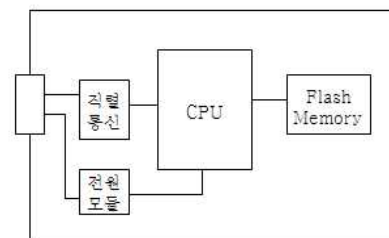


그림 3. 제어보드 구조

2.4 Crash Protected Memory 동작

Crash Protected Memory 내부에 장착되어 있는 제어보드에서 수행되는 동작은 그림 4와 같다. 제어보드는 전원이 인가되어 초기화 동작 후 직렬 통신을 통해 Event Recorder로부터 요청이 있는지를 감시한다. Event Recorder로부터 요청이 입력되면 Read 혹은 Write 요청에 따라 해당 기능을 수행한다. Write 요청인 경우 먼저 File 정보를 수신한다. 생성할 File 이름을 수신하여 그 이름으로 된 File을 Flash Memory에 생성한다. 이후에 입력되는 데이터는 생성된 File에 순서대로 저장한다. Event Recorder로부터 데이터 저장에 대한 종료 Message를 받거나, 전원이 Off 되는 시점에 File을 Close하여 Flash Memory 내부에 완전한 새로운 File을 생성한다. Event Recorder로부터 Read 요청을 수신하는 경우에는 Crash Protected Memory에 저장되어 있는 고속열차 운행 정보를 확인하기 위한 경우이다. Crash Protected Memory가 Read 요청을 받으면 해당 File을 탐색하여 Open 한 후 하나의 Block을 읽어 온 다음, 그 내용을 Event Recorder 본체로 전송한다. File 내용을 전부 전송을 완료한 후 File을 Close하고 초기화 부분으로 이동한다.

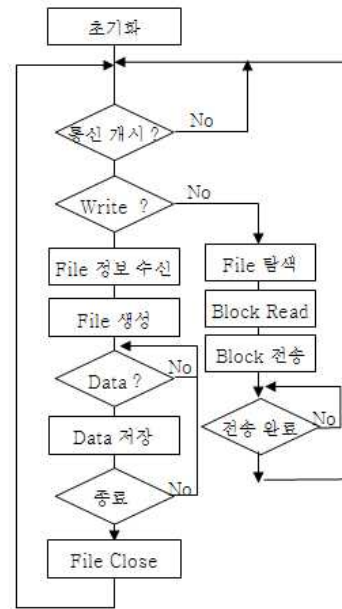


그림 4. 동작 Flowchart

2.5 Crash Protected Memory 시험

Event Recorder 본체와 Crash Protected Memory를 연결하여 기능 시험을 수행 하였다. 기능 시험은 Event Recorder 본체와 Crash Protected Memory 사이의 직렬 통신, 데이터 저장 기능, 데이터 읽기 기능 시험이다.

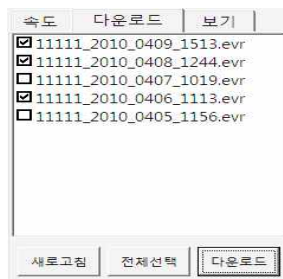


그림 5. 다운로드 화면



그림 6. 데이터 읽기 화면

그림 5 및 6은 기능 시험 결과는 보여준다. 그림 5는 Crash Protected Memory가 Event Recorder 본체로부터 수신한 운행 정보를 저장한 결과를 보여준다. 그림 5에는 Crash Protected Memory에 5개

의 파일이 저장되어 있다는 것을 나타낸다. 그림 6는 Crash Protected Memory에 저장되어 있는 파일의 내용을 확인하는 화면이다. Event Recorder 본체에서 전송한 고속열차 운행 정보를 Crash Protected Memory가 수신하여 자신의 Flash Memory에 정확히 기록하고 있다는 것을 확인 하였다.

Crash Protected Memory가 영국 규격에서 제시한 환경 시험 조건을 만족하는지 확인하기 위해 모의 시험을 실시하였다. 영국 규격 중에서 온도 규격에 관련된 모의시험을 수행 하였다.

온도 시험에 대한 모의시험 목적은 외함 및 단열재로 구성 되어 있는 Crash Protected Memory가 외부 온도 700 °C에서 5분 동안 방치 되었을 때 외함 내부의 온도, 특히 외함 내부에 설치 되어 있는 제어 보드용 PCB 주위 온도를 알아 보기 위함이다. 제어 보드용 PCB에서 각종 전자 부품이 장착 되어 있는데 전자 부품들이 정상 기능을 수행하기 위해서는 주위 온도가 100 °C 이하이어야 한다. 그 이상의 온도에 전자 부품이 노출되면 고온 영향을 받아 제 기능을 수행할 수 없게 된다. Flash Memory인 경우 내부에 저장되어 있는 고속열차 운행 정보 기록이 사라질 수 있다. 온도 시험에 대한 모의 시험을 수행하기 위해 그림 7 과 같이 Crash Protected Memory에 대한 3D Modeling을 제작 하였다. 제작된 Modeling에 대해 단열재 열전도율을 반영하여 모의 시험한 결과는 그림 8,9,10,11 과 같다.

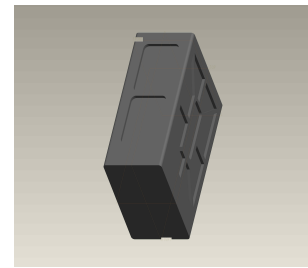


그림 7. 3D Modeling

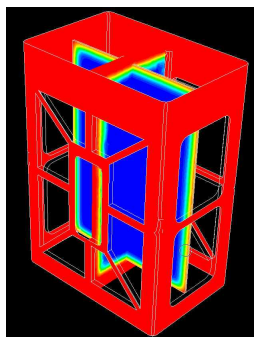


그림 8. 1분 경과 후 PCB 주위 온도

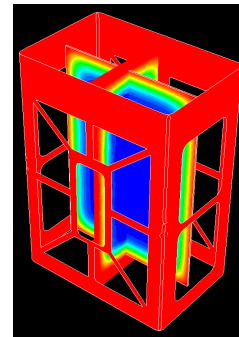


그림 9. 5분 경과 후 PCB 주위 온도

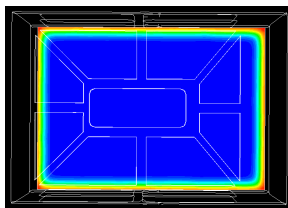


그림 10. 1분 경과 후 PCB 주위 온도 (단면)

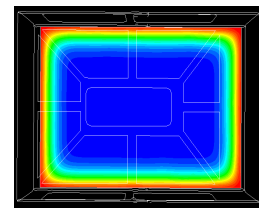


그림 11. 5분 경과 후 PCB 주위 온도 (단면)

온도 시험에 대한 모의 시험 결과 상태를 살펴보면 약 1분 경과 후에 외함의 온도가 700 C(적색), 내부 벽면 주위가 약 500 °C(황색) 이상 도달하게 된다 [그림 8, 10]. 이는 외함이 Stainless Steel로 구성 되어 있으므로 주위 온도가 그대로 외함 내부로 전달되기 때문이다. 이 상태에서 외함 내부, 제어보드 PCB가 위치한 영역에서는 약 20 °C(청색) 부근의 상온을 유지하고 있다.

5분이 경과된 후 외함 내부 온도는 서서히 온도 상승 현상이 관측되나 실제 PCB 내부에는 영향이 미

치지 못한다 [그림 9, 11]. 외부 온도가 Crash Protected Memory 내부에 전달되는 것이 보여진다. Crash Protected Memory 내부가 단열재로 채워져 있으므로 외부 온도가 계속적으로 내부로 전달되는 못한다는 것을 시험 결과로부터 알 수 있다. 외함 내부 벽면 및 깊이 방향으로 약 2mm까지 고온이 전달되는 것이 관찰되지만, 단열재로 인해 더 이상 고온이 전달되지 않는다. 최종적으로 5분이 경과 하더라도 제어보드 PCB 주위 온도는 약 20 °C 부근의 상온을 유지하고 있다. 이는 외부 고온에 의해 Crash Protected Memory 내부에 위치한 제어보드 PCB가 열적 손상을 전혀 받지 않는다는 것을 의미한다. 모의 시험 결과를 실제 전기로를 이용한 온도 시험 결과와 비교할 예정이다.

3. 결론

본 연구에서는 Event Recorder용 Crash Protected Memory를 개발 하였다. 고속열차 운행 시 필요한 운행 정보를 기록할 수 있는 충분한 Memory 용량을 제공하며, 향후 기록 내용이 증가 하더라도 대응할 수 있는 확장성을 제공한다. 향후 계획으로는 Crash Protected Memory에 대한 충격 및 압착 시험에 대한 모의시험을 수행하고, 제작된 Crash Protected Memory가 영국 규격을 만족하는지 시험을 실시하여, 만족 여부를 확인하고, 시제 차량에 탑재하여 차세대 고속열차를 운행하면서, 열차 정보가 정확히 기록되는지를 확인 하여야 한다. Crash Protected Memory에 기록된 내용을 분석도구 소프트웨어로 분석하여 Event Recorder에 대한 전체적인 기능 검증을 수행 하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행 되었습니다. Crash Protected Memory에 대한 모의시험 결과는 제타디자인(ZETA-DESIGN.NET)의 김규태 박사의 기술용역 자문 내용의 일부입니다.

참고문헌

1. 최권희,전성현,정병호,이병석,한동인 (2005년), “고속전철용 고장기록장치 시스템 설계에 관한 연구”, 한국철도학회 2005년도 추계학술대회논문집, 2005.11, pp.29~33
2. 송규연,이상남,류희문,백진성 (2008년), “음성 통화 저장 기능을 제공하는 Event Recorder 연구”, 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회논문집, 2008.6, pp.1945~1950
3. 송규연,이상남,류희문,김광열,한광록 (2009년), “고속전철용 Event Recorder를 위한 분석도구 소프트웨어 연구”, 한국철도학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 2009.5, pp.341~347
4. Railway Group Standard GM/RT 2472, "Data Recorders on Trains - Design Requirements", 2002.06, pp.1~10
5. S. de Fabris, G. Longo & G. Medeossi, "Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models", Computers in Railways, 2008, pp. 575~583
6. Faiveley - SAM Installation and User Manual, September 2006