

System Engineering 측면에서 전동차 화재기술관리 Rolling Stock Fire Engineering aspect of System Engineering

장정훈* 강찬용**
Chang, Jung Hoon Kang, Chan Yong

ABSTRACT

In case of rolling stock, SEMS is generally applied in the advanced countries, but is start stage in our country. SEMS is defined the system engineering management system in order to achieve the optimized train performance among the several client requirements aspect of technical engineering management during the design life cycle. And the fire engineering activities in hong kong EMU project are introduced aspect of SEMS in this paper. The fire engineering at rolling stock in view of SEMS controls to apply the satisfied interior material by the fire safety standards (regulation of the commute urban subway safety guideline by the MOCT, BS 6853, NFPA 130, NF F 16-101) and to minimize the fire load in order that passengers egress safe from the fired rolling stock. The rolling stock in the advanced countries is designed to stand for 15-20 minutes in considering the rolling stock to be fired in tunnel. For passenger fire safety, the passenger evacuation provision and progress is set up.

1. 서론

본 논문에서는 최근 해외전동차에서 요구하고 있는 체계관리기법(SEMS: 이후부터는 편의상 SEMS로 통칭)에 대하여 홍콩전동차에서 수행한 경험 중에서 화재기술위주로 소개하고자 한다. SEMS의 유래를 살펴보면 1950년대부터 미국방부에서는 성공적인 시스템을 획득하기 위하여 사업 초기에서부터 폐기에 이르기까지 총순기에 걸쳐 시스템 차원의 총체적인 관리가 이루어져야만 한다는 사실이 무엇보다 중요함을 인식하여 1974년 중반부터 무기획득 과정에 SEMS를 적용하고 있다. 철도차량의 경우 해외에서는 SEMS적용이 보편화 되어있으나 국내에서는 아직 초기 걸음마 단계라고 볼 수있다. SEMS란 한마디로 정의하자면 전동차의 설계, 제작, 시험 및 납품에 이르기 까지 전과정에 걸쳐 고객의 사양요구조건을 맞추기 위하여 기술적인 관점에서 철저한 사전계획을 수립하여 계획대비 목표를 100% 달성 함으로서 차량성능의 최적화를 도모하여 고객의 만족을 극대화하는 고객위주의 차량을 제작 납품하기위한 체계적인 기술관리기법이라고 할 수 있다. 특히 SEMS에서 강조를 두는 것은 소위 전동차 기술에서 특수기술이라고 하는 분야 즉 RAMS(신뢰성/정비성/안전성 등), 화재기술, 전자파 적합성기술(EMC), 소프트웨어 관리기술, 소음대책기술 및 차량중량 관리기술 등을 위주로 이들 기술의 고객사양요구조건 만족 및 상호 우선 적용순위 등을 결정하고 필요시는 대안제시 등을 통하여 최적의 전동차 설계를 하도록 유도하게 된다.

본 논문에서는 철도 차량의 SEMS 측면에서 홍콩 전동차 적용 경험을 바탕으로 화재기술을 소개하여 철도 차량에서의 SEMS 측면에서 화재기술에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 본론

2.1 SEMS 목적 및 적용단계

홍콩전동차에서 수행한 SEMS 목적은 그림1과 같이 차량의 공고사양에 의거하여 설계단계에서부터 제작/납품에 이르기 까지 시스템 엔지니어링 관리기법(System Engineering Management

System)으로 특수요구 기술들, 즉 Fire engineering, Reliability, Maintainability, Availability, Safety, EMC(전자파 유도장애 적합성) 및 Software management을 통합하여 각종 요구 조건들의 우선 순위에 따라 상호 절충을 하면서 차량성능을 최적으로 설계하는 기술관리 기법을 도입하여 차량의 공기사양 성취, 차량의 안전성 확보, 차량성능 및 효율 최적화 및 차량 총 순기 비용 최소화에 있다.

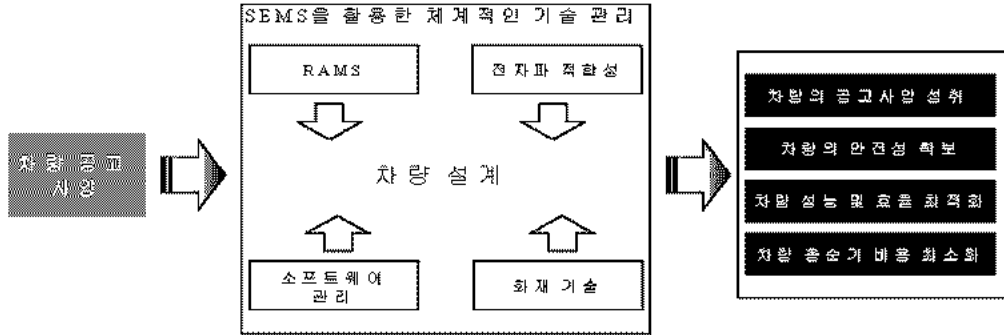


그림1. 홍콩 전동차 SEMS 적용목적

홍콩전동차에서 수행한 SEMS 적용단계는 아래 그림2과 같이 5단계로 나누어 차량 설계에서부터 납품에 이르기 까지 단계별로 수행하였으며 1단계에서는 앞에서 언급한 특수 기술들에 대하여 프로젝트 life cycle동안 수행하여야 될 업무수행방안에 대한 계획서 및 설계목표를 작성하고 2단계에서는 차량 및 장치별 설계목표를 기준으로 장치 설계 및 검토가 이루어지며, 3단계에서는 차량 및 장치별 설계목표 성취여부를 기 실적 자료, SIMULATION, 계산 및 시험을 통하여 검증하며 또한 설계대안이 모색되고, 4단계에서는 차량 및 장치 제작 기술 개발이 이루어지며, 5단계에서는 제작된 차량 및 장치의 설계목표 성취여부를 완성차 시험을 통하여 검증하였다.

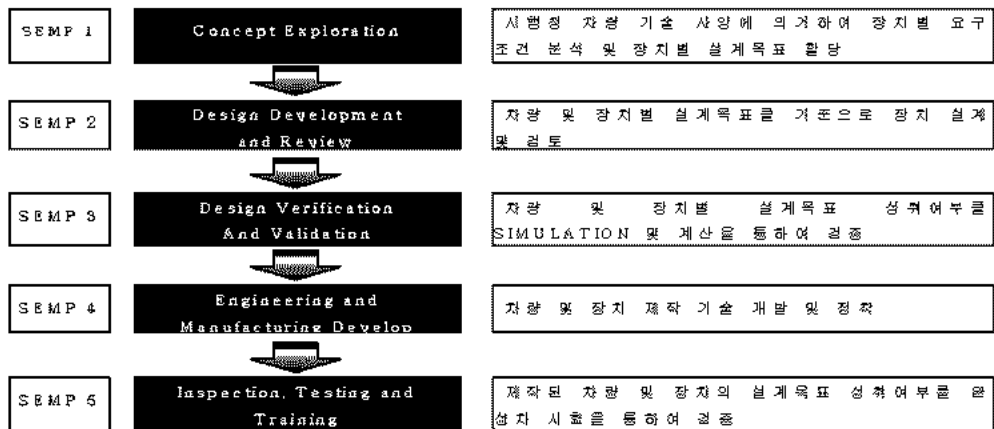


그림2. 홍콩 전동차 SEMS 적용 단계

또한 공통적인 사항으로 각 단계별로 협력업체 및 자체 설계Audit를 통하여 사양요구조건을 확인 하고, 단계별 수행업무에 대한 종료보고서 작성 및 presentation을 실시하였으며, 특수요구 기술 사양 상호간 마찰이 발생하면 요구사양의 우선순위를 결정하여 상호 절충으로 최적의 설계대안을 도출하는 과정을 수행하였다.

특수요구 기술들, 즉Reliability, Maintainability, Availability, Safety, Fire engineering EMC (전자파 유도장애적합성) 및 Software management 중에서 화재안전성과 관련된 화재기술관리에

대하여 시스템 엔지니어링 기법을 활용한 사례를 중심으로 설명을 하여 향후 국내전동차의 화재안전관리 적용에 대한 방향을 제시하고자 한다.

2.2 화재기술관리 절차 및 방법

그림 3은 프로젝트 동안 이루어지는 화재기술관리 절차를 나타낸 것으로, 홍콩전동차에서는 BS 6853을 기준으로 화재기술을 관리하였다.

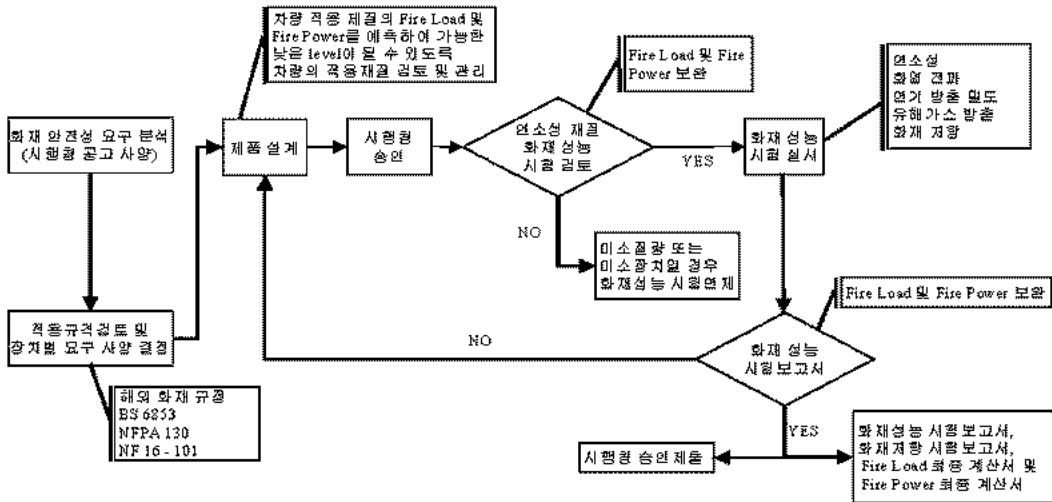


그림 3. 화재기술관리 절차

그리고 홍콩전동차에서 각 설계단계별 수행한 화재기술관리 활동은 아래 그림4와 같다. 프로젝트에서 수행될 모든 활동이 개념설계 단계에서 계획되며 각 설계단계에서는 설계진행 일정에 따라 계획된 활동이 이루어진다. 아래의 표에 각 활동항목별로 상세설명을 추가하여 이해하는데 도움이 될 것이다.

순서	일정	항목	상세내용
1	개념설계	Fire Engineering Control Plan	Project 기간동안 수행할 화재 기술관리 업무내용 및 일정 등을 수립한 계획서
2	기본설계	화재위험요소 분석	화재에 대한 잠재적인 위험요소 분석 및 대책을 세워 이를 설계에 반영하여 차량화재로부터 승객의 위험을 감소시키는 기술관리
		비금속재질 질량조사	차량에 적용되는 비금속 재질의 질량을 조사한 재질 질량표 작성 (화재성능시험 면제여부 파악 및 Fire Load 계산에 활용)
		화재성능 시험계획	차량에 적용되는 비금속 재질에 대하여 연소성, 화염전파, 연기방출밀도 및 유독가스 방출등의 화재성능 시험을 실시할 계획 수립
		Fire Power 예측 (MW)	단위 면적당 (m ²) 내장판, 바닥재 및 통로연결막 등에 대한 발열량을 시간별로 파악하여 차량의 최고 발열량을 예측
		Fire Load 예측 (MJ)	단위 질량당 (kg) 연소성 재질에 대한 화재 발열량을 계산하여 차량의 전체 발열량 예측
3	상세설계	화재위험 설계심사	잠재적인 위험요소에 대한 대책이 설계에 반영되었는지를 설계 심사를 통하여 확인
		비금속재질 질량조사 보완	차량 상세 설계에 의거하여 적용되는 비금속 재질의 질량을 조사표를 보완.
		화재성능 시험확인	연소성, 화염전파, 연기방출밀도 및 유독가스방출등의 시험 성적서 검토
		Fire Power 보완 (MW)	차량 상세 설계에 의거하여 단위 면적당 (m ²) 차량의 최고 발열량 보완
		Fire Load 보완 (MJ)	차량 상세 설계에 의거하여 단위 질량당 (kg) 차량의 전체 발열량 보완

그림 4. 각 설계단계별 화재기술관리 활동

아울러, 다음에는 각 화재기술관리 활동에 대한 예를 제시하고자 한다.

- 화재위험분석

항공전동차에서 수행한 화재안전과 관련한 시스템 엔지니어링 접근 절차는 먼저 Fire Hazard를 규정하여 잠재적인 위험요소를 발굴하였고, 이를 Fire Safety Requirement 분석을 통하여 대책방안을 수립하였다. 화재 위험요소에 대하여 수립된 대책은 설계에 적용하였고, 각종 전동차의 내장재는 화재시험을 통하여 사용재질의 성능을 입증하였다. 각 업무 절차별 상세수행활동은 아래 그림5에서 설명하고 있다.

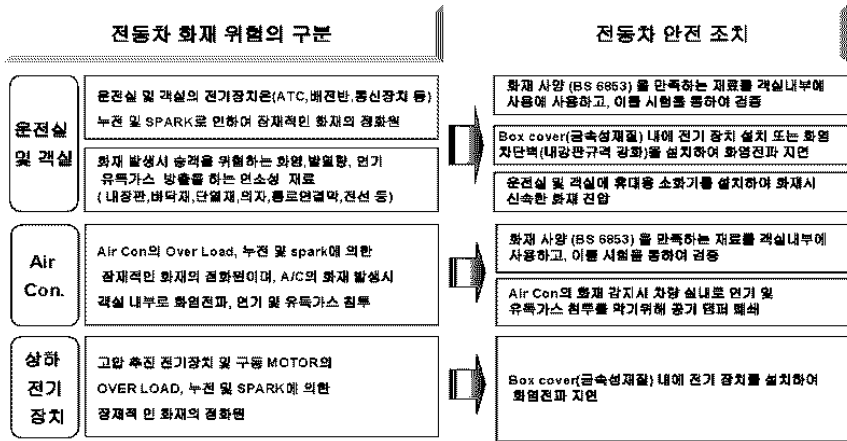


그림 5. 화재위험분석

- Fire Power Output 예측

항공전동차에서 Fire Power Output은 차량실내에서 flash over를 가정하여 최고 Fire Power Output을 예측하였으며, 내장판, 바닥재, 의자 및 통로연결막 등에 대하여 ISO 5660에 의해 시험하여 heat release rate의 시간별 변화량을 측정하여, 이 측정된 값에 대하여 차량에 적용된 재질의 면적(m2)을 곱해서 차량의 최고 발열량을 예측하는 방법을 적용하였다.

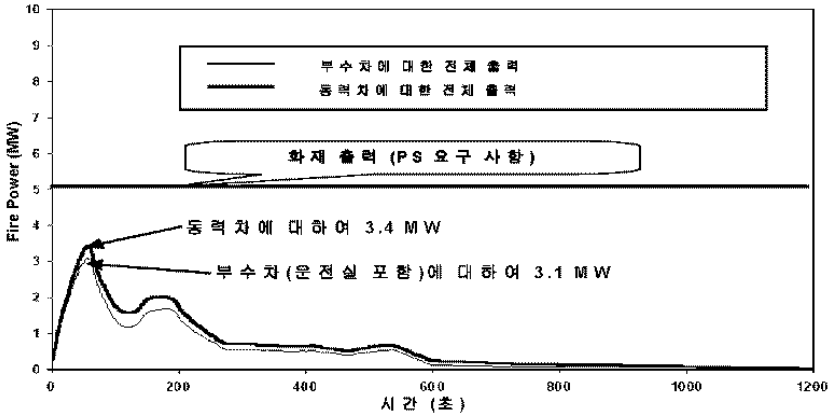


그림 5. Fire Power Output 예측

- Fire Load 계산

철도차량의 화재 안전도 측면에서 주요 내장재의 적합한 재질을 선택할 때에 검토되어야 하는 재질의 여러 가지 물리적 특성 중에서도 사용 재료의 발열량(Fire Load, MJ)은 화재로 인한 승객의 위험도의 크기를 가늠하는 직접적인 영향 요소이기 때문에 가능한 발열량이 낮은 재질을 선택해야 한다. 차량에 적용된 재질에 대하여 ISO 5660에 의해 시험하여 caloric content를 측정하여, 이 측정된 값에 적용된 재질의 질량(kg)을 곱해서 차량의 전체 발열량을 계산하는 방법을 적용하였다. 아래 표에서 Box 내장된 재료는 전기장치 등이 Box cover(금속성재질)에 의한 보호되어 화재 시 화염전파로부터 차단이 이루어 질 수 있는 재료를 말하는 것이다.

< 단위 : MJ >

구 분	총공전동차 Fire Load			
	부수차 (A car)	동력차 (B car)	동력차 (C car)	동력차 (C1 car)
Box 외부의 재료	40,261	31,164	29,139	28,410
Box에 내장된 재료	14,777	25,212	26,126	25,229
전체 재료	55,038	56,376	55,265	53,639

그림 6. Fire Load 계산

3. 결 론

철도차량의 경우 해외에서는 SEMS적용이 보편화 되어있으나 국내에서는 아직 초기 걸음마 단계라고 볼 수 있다. SEMS란 한마디로 정의하자면 전동차의 설계, 제작, 시험 및 납품에 이르기 까지 전 과정에 걸쳐 고객의 사양요구조건을 맞추기 위하여 기술적인 관점에서 철저한 사전계획을 수립하여 계획대비 목표를 100% 달성함으로써 차량성능의 최적화를 도모하여 고객의 만족을 극대화하는 고객위주의 차량을 제작 납품하기위한 체계적인 기술관리기법이라고 할 수 있다. 그리고 SEMS 측면에서 관리된 화재기술에 대하여 총공전동차에서 수행한 내용을 소개하였다. SMES 측면에서 철도차량의 화재기술은 화재안전규격(도시철도화재안전기준, 영국:BS6853, 미국:NFPA130, 프랑스:NF16-101)에 의하여 차량 실내 내장재는 화염전파/연소성, 연기 방출밀도, 유독가스방출 등이 화재 안전 관련 규정에 부합 되어야 하며, 또한 각 내장부품이 화재 시 방출할 수 있는 부품 고유의 발열량을 제한함으로써, 화재 시 차량 전체의 열 방출량을 최소화 하는 등 이런 모든 화재 안전 관련 특성들을 종합 규제하여 승객이 차량으로부터 안전하게 대피할 수 있는 시간적 여유를 확보하도록 설계하고 있다. 특히 터널 내에서 차량 운행 중 차량의 화재발생시, 승객이 안전하게 대피할 수 있는 시간은 보통 해외의 경우 15-20분 사이로 규정하여 차량의 화재안전 설계하고 있으며 이는 다년간의 경험에 의한 수치로 볼 수 있다. 이 경우 터널 내 대피 시설의 확보는 물론이며, 아울러 안전 대피절차가 명확히 규정 되어야 한다.

참고문헌

1. BS 6853, Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains, 1999
2. NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2003
3. Fire Engineering Plan for MTRC, 1999.
4. Fire Power Output Prediction for MTRC, 2001.
5. Fire Load Calculation for MTRC, 2001.
6. Fire Hazard Analysis for MTRC, 2001.