

자기부상열차 차량시스템 설계과정에 관한 연구

A Study of Design Process of Magnetic Levitation Train

정경열*
Chung, Kyung-Ryul

윤세권**
Yoon, Se-Kyun

최용훈***
Choi, Yong-Hoon

ABSTRACT

Maglev is the vehicle which can run in levitated condition by the electro-magnets, and propelled by linear induction motors. Maglev system represents a typical example of large-scale multi-disciplinary system, consisting of subsystems such as train, electrical, hardware, electronics, control, information, communication, civil technology etc., that must be the subject under configuration, control and requirement management. Not only the requirements dictate the contracts with the suppliers but also become the basis of the development process, project execution, system integration, and testing. These requirements provide the basis specification of all development activities.

1. 서 론

자기부상열차는 자석의 힘으로 차량을 지지(부상)하고 가이드웨이 상에서 자기장에 의해서 일정한 갭(gap)을 유지하면서 선형전동기로 추진하는 새로운 형태의 교통수단이다. 자기부상방식은 일반적인 의미의 바퀴가 존재하지 않으며, 건인모터가 차량 자체에 탑재되어 있지 않고 트랙에 설치되어 있다. 이러한 원리로 움직이는 자기부상열차는 레일과의 비접촉에 따른 우수한 주행특성과 저소음, 저공해성을 지닌 첨단 교통수단이라는 장점 때문에 지난 20여년 이상 독일, 일본 등을 중심으로 활발한 실용화 모델 개발이 진행되어 오고 있다. 우리나라도 1990년대 초부터 국책연구사업 등을 통해 핵심기술을 확보해 나가고 있다.

* 한국생산기술연구원, 운동·메카니즘연구원, 수석연구원, 정회원

** 한국생산기술연구원, 운동·메카니즘연구원, 연구원, 정회원

*** 한국생산기술연구원, 운동·메카니즘연구원, 연구원, 비회원

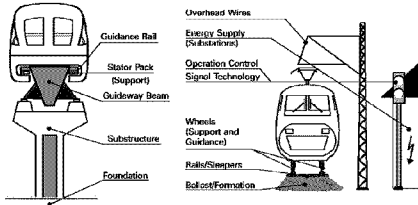


그림 1. 자기부상열차(좌)와 일반 바퀴식 철도차량(우) 비교

실용화 또는 상용화를 위한 기술개발시 자기부상열차와 같은 철도차량은 대형복합시스템으로서 시스템과 더불어 부품단위와 인프라 설비 등 전체 시스템에 대한 요구조건 검증 및 보완과 함께 실용화를 위한 개발차량의 전장정에 대한 시스템 설계 및 기술자료의 체계화가 매우 중요하다. 일례로 고속철도기술개발사업에서는 G7고속전철기술개발사업으로 개발된 차량에 대한 안정화 연구와 고속전철 실용화를 위한 설계체계 기술개발에 대한 연구가 주요 과제로 진행되고 있다.

중기거점과제로 진행중인 “자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발” 사업에서도 실용화 모델의 개발체계에 대한 연구 필요성을 가지고 ‘실용화모델 개발체계 및 품질인증 연구’ 과제가 수행되고 있다. 본 고는 상기 과제를 통해 수행된 차량시스템 설계과정에 관한 내용을 중심으로 요약 소개하였다.

2. 차량시스템 설계

일반적으로 철도차량과 같은 시스템의 엔지니어링 단계는 첫째 요구와 기대를 요구조건 항목으로 전환하는 단계, 둘째 요구조건을 설계에 적용하는 단계, 셋째 설계를 제작에 적용하는 단계로 나뉘어 추진된다. 그러나 아직까지도 철도차량 시스템의 엔지니어링 과정에서는 시스템의 명확한 정의가 확립되기 전에 설계가 시작되는 경우가 많은데 이러한 경우 고객 요구사항의 혼란 또는 기술 요구조건의 달성 곤란 그리고 대안의 고려가 없는 단일 설계안 등에 의해 설계 초기단계로부터의 진폭적인 재수정이 필요한 경우가 종종 발생한다. 이러한 설계 변경은 일정초과를 수반하며 결국 비용증가를 초래한다.

차량설계 부분은 차량, 기계부품, 전기부품, 전기, 전자 및 제어, 정보통신, 재료 등의 기술이 종합적으로 연계되어있는 거대한 복합기술의 특성을 가지며, 시스템 설계와 엔지니어링이 요구된다. 체계적인 설계는 설계과정과 생산과정을 합리화하는 효과적인 방법을 제공한다. 전통적인 설계는 설계자가 최초의 생각을 고집하고, 그 생각에 추가나 삭제를 한다. 복잡한 상품일수록 끊임없는 설계 변경이 불가피하게 발생된다. 따라서 설계는 하나 혹은 그 이상의 개발팀이 상호협조하여 설

계를 진행, 평가, 확인하게 되는데 과거 Serial 하게 진행되었던 제품개발 형식으로는 신속하게 대처할 능력이 없다.

체계화된 차량개발 환경에서는 동시화, 일관화, 집적화로 설계자가 필요한 시점에 필요한 정보 및 도구를 활용하거나 제공함으로써 시간경쟁력을 확보하고 정보흐름을 원활하게 함으로써 설계되는 동안 원가나 업무의 진행 체크, 차량의 확실성 등을 확인할 수 있다. 그리고 결정과정을 조적화함으로써 설계시에 왜 특정대안이 선택되었는지를 재차 단언할 수 있다.

3. 자기부상열차 차량시스템 설계과정

자기부상열차와 같은 신교통시스템은 종래의 철도차량이 가지는 시스템과는 차이가 있다. 특히 차체를 부상시켜야하는 과정에서 차체 및 부품의 경량화, 기기의 소형화 및 고효율화를 위한 계반 기술혁신이 이루어져야 함은 물론이고, 각각의 모듈 및 서브시스템이 조합을 이루어 개발 차량시스템의 목표 성능을 효과적으로 달성할 수 있도록 관리하는 시스템엔지니어링 기술이 우선적으로 요구된다.

표 1. 자기부상열차 주요 차량시스템

자기부상열차 차량시스템	차체	<ul style="list-style-type: none"> - 마그네트 하체 - 객실구조 - 2차 현가장치 - 차량연결장치
	대차	<ul style="list-style-type: none"> - 대차프레임 - 사이드프레임 - 다이빔
	부상장치	<ul style="list-style-type: none"> - 저속용 지지 및 안내휠 - 비상착지 미끄럼장치
	추진 및 접전장치	<ul style="list-style-type: none"> - 추진도 자석 - 전자석 하부조립체 - 차상전력조절장치 - 고정자 권선
	제동장치	<ul style="list-style-type: none"> - 기계제동패드 - 휠로터 제동패드 - 에어스포일러
	전원공급장치	<ul style="list-style-type: none"> - 차상집전 - 차상비상전원 - 선형발전기 - 차상보조전원장치
	배적성	<ul style="list-style-type: none"> - 실내장치 - 자장차폐 - 공조장치 - 탈빙장치

자기부상열차의 주요 차량시스템은 표 1과 같이 많은 모듈 및 서브시스템들로 구성되어 있다.

차량시스템의 임무, 목적, 목표 및 수명주기 전체에 걸쳐 수행할 기능과 성능 요구조건들이 체계적으로 관리되어야 최적 비용으로 목표하는 차량시스템 개발이 가능하다. 만약 개발 시스템의 시스템 요구조건과 설계 요구조건이 명확하지 못하거나 잘못되었을 경우 개발목표 변경에 따른 설계비용이 증가하고 시간을 낭비하게 될 뿐만 아니라, 시스템 및 서브시스템에 대한 설계 타당성 입증 및 시험평가 기준의 혼동 등으로 체계적인 개발이 어렵다.

3.1. 설계과정

자기부상열차 차량시스템의 설계과정은 그림 2에서 보는 바와 같이 시스템의 일반적인 설계과정을 거치는는 하지만 기획단계와 개념설계 및 구체설계 단계가 순

차적이 아닌 반복과 혼합의 과정으로 진행되고, 단순한 기술적 및 경제적 평가가 아닌 수명주기 비용분석과 신뢰성, 유용성, 운영성, 안정성에 근거한 평가로서 설계안이 매 단계마다 결정되어야 하므로 설계과정과 자료가 체계화되고 시스템이 모듈화 되어야 더욱 다양하고 목적에 합당한 시스템을 설계할 수 있다. 그러나 차량시스템에서는 기능구조가 어느 정도 규명되어 있고, 모듈분할도 이미 이루어진 상태로 간주될 수 있으므로 그림 3과 같은 단계로 설명하는 것이 더욱 타당하다고 볼 수 있다.

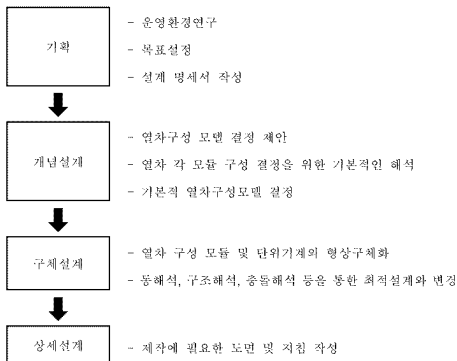


그림 2. 일반적 설계단계

한편, 자기부상열차 차량시스템의 올바른 시험/평가는 열차의 안전운행과 시스템의 신뢰성 확보를 위해 반드시 필요한 것으로 이를 적절히 수행하지 못할 경우 구성품간 부/오동작, 시스템의 신뢰도 및 안전도 저하로 인해 인명 피해 및 경제적인 큰 손실을 가져올 수 있다. 그러므로 차량시스템의 시험/평가체계는 시험/평가를 시행하기 이전인 설계단계부터 목적에 부합하도록 매우 신중하게 계획되어 정해진 절차에 따라 실행되어야 한다. 차량개발 결과에 대한 평가는 시스템의 목표기능 및 성능과 실제 시험결과와의 비교 검증이 가장 중요하다.

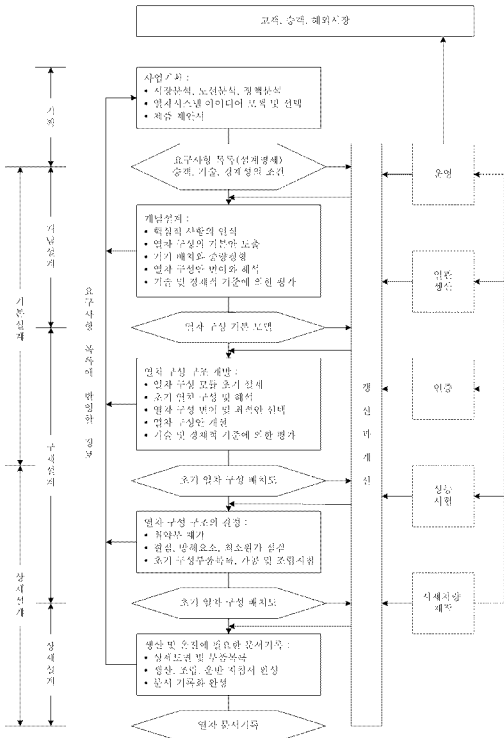
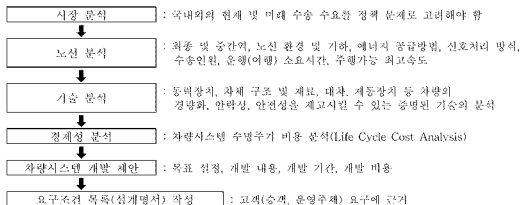


그림 3. 자기부상열차 차량시스템 설계과정

3.2. 단계별 설계과정

단계별로는 기획, 개념설계, 구체설계, 상세설계 단계로 구분할 수 있으며, 기획단계는 설계단계 이전의 단계로서 주요 시스템 요구조건들의 목적인 설계명세서 작성되어 개념설계 단계로 넘어가는데 이 과정을 그림 4에 요약하였다.



1. 일반적 요구조건 : 차량시스템 전체에 관련된 요구조건

- 노선 관련 요구조건 : 선로구조, 교량과 터널 구조, 최소 곡선 반경, 최대 경사, 최대 풍속, 차량 게이지
- 동력 공급 시스템 형식 : 전압, 주파수, 동력 공급 및 회수 방법, 집전 형식 및 높이
- 승객 좌석수와 배치
- 총 운행(여행)시간, 정차시간, 운행 최고속도, 가속 및 감속 제한치, 진동 및 소음 제한치
- 공기조화 : 외부/내부, 온도/습도, 냉매 종류, 외부/내부 압력 규제 조건
- 차량과 역/노선/집전장치와의 연결
- 차량제어/신호/통신체계
- 개발기간/비용/품질인증 조건

2. 시스템 요구조건 : 차량시스템 구성에 관련된 요구조건

- 차체구조 : 단층/2층, 강철관/알루미늄/복합재
- 대차 : 대차와 형식
- 추진시스템 : 출력과 배치
- 제동시스템 : 회생제동, 공기제동
- 공기조화 : 성능과 형식
- 집전장치 : 설치 수량과 위치, 형상
- 객차내 편의시설 : 종류와 배치
- 객차 내장 : 문, 창문, 외장 및 내장 설비
- 신호체계
- 차량제어
- 통신체계
- 시스템 구성부간의 연결
- 시장 구매 품목
- 시험 조건

그림 4. 자기부상열차 차량시스템 기획과정

개념설계 단계에서는 설계명세서에 수록된 요구사항 목록을 요약하여 핵심적 목표 사항을 인식하고 차량의 구성 기본안을 도출한 후 목표달성을 위한 다양한 컨셉대안과 해석을 수행하고, 이에 대한

기술적 및 경제적 평가를 시행하여 열차구성 기본모형을 선정하는 것으로 요약하면 그림 5와 같다.

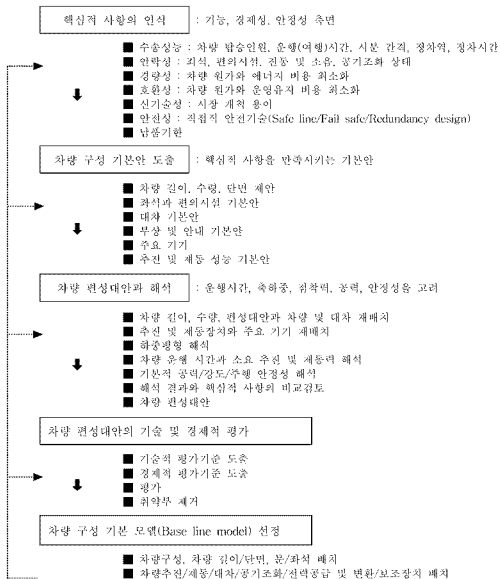


그림 5. 자기부상열차 차량시스템 개념설계 과정

구체설계 단계에서는 각 모듈별로 주요 치수가 포함된 구조형상이 개발되고 초기 배치도가 도출되며, 이로써 구체적인 자료에 근거한 여러 가지 해석과 기초 실험이 이루어지면서 제작을 위한 재료와 더 상세한 형상과 치수가 결정된다. 그림 6은 구체설계 및 상세설계 단계를 요약하여 나타낸 것이다.

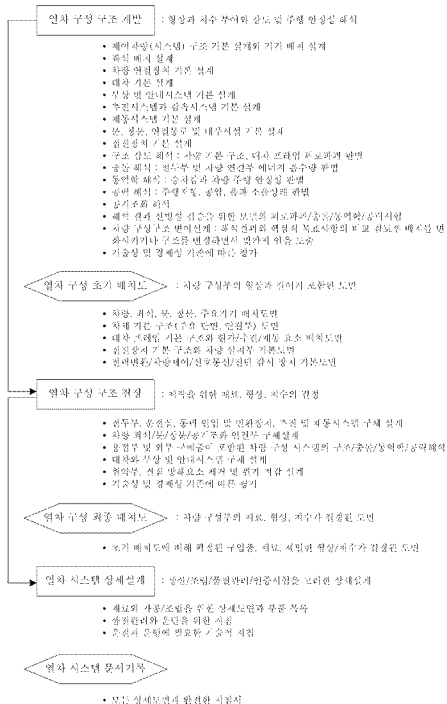


그림 6. 자기부상열차 차량시스템 구체설계와 상세설계 과정

차량시스템을 구성하는 중요한 모듈 중에서 대차를 예로 하여 그 설계과정을 차량시스템 설계단계와 비교하여 보면 그림 7과 같다.

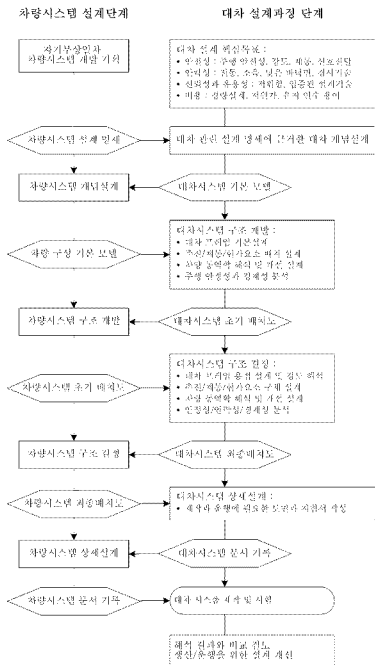


그림 7. 자기부상열차 대차시스템 설계과정 단계

이로써 각 모듈과 시스템 간의 설계순서와 정보교환, 연결부 문제들이 나타나게 되며 모듈시스템과 모듈을 구성하는 유니트 및 부품의 설계개발 또는 구매 관계도 확장시켜 볼 수 있다. 이러한 설계단계는 순차적인 일방향 흐름이 아니고 때로는 병렬적으로 때로는 역방향 또는 양방향의 흐름이 나타날 수 있다.

4. 결 론

'자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발' 사업은 중기거점과제로 2003년부터 시작하여 현재 1단계 1차년도 사업을 마무리하였다. 앞으로 2008년까지 진행될 예정이다. 본 고는 1단계 1차년도에 수행된 연구내용 중에서 차량시스템 설계과정을 요약하여 소개하였다. 개발 차량은 개념설계, 구체설계 및 상세설계 감증을 위한 해석과 통합성 검토, 시험평가 기술개발 및 품질인증체계 구축방안 등 국내기술 인력에 의해 독자적으로 개발중이다. 각 과정에서 얻어진 귀중한 경험과 기술자료는 향후 신규차량 개발에 능동적으로 대처할 수 있는 기반을 마련하였다.

5. 향후과제

그동안 국내에서는 1993년 대전 EXPO에서 전시/운영된 자기부상열차와 과학기술부 국책과제로 추진된 도시형 자기부상열차 개발 등을 통해 차량시스템 및 주요 서브시스템들에 대한 설계기술을 많은 부분 확보하였다. 그러나 개발 차량시스템에 대한 요구조건 분석, 기능 분석, 물리적 아키텍처 개발과 같은 체계적인 시스템엔지니어링 프로세스를 통하여 개발시스템 및 서브시스템의 실제 요구조건과 사양이 개발된 것이 아니어서 전체적인 차량시스템 차원에서의 기능 및 성능 요구조건을 제대로 달성하였다고 보기는 어렵다(독자적인 차량시스템 개발에 대한 시스템엔지니어링 기술 부족). 뿐만 아니라 국내에서 개발된 자기부상열차는 여러 가지 기능 및 성능상의 문제점을 보이고 있으나, 문제가 되는 시스템 기능 및 성능 요구조건과 관련된 하위과제들에 대해 할당된 기능 및 성능 요구조건을 만족하고 있는지 추적관리나 검증이 어려워 문제해결이 명확하게 이루어지지 않고 있다. 따라서 향후 실용화를 대비하여 체계적인 시스템엔지니어링 프로세스를 확립하여 차량시스템에 대한 요구조건 등을 체계적으로 분석하고 기능 및 성능 요구조건이 만족하는지 검증하는 추적관리 시스템의 개발이 요구된다.

후 기

본 연구는 중기거점기술개발사업의 "자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발" 과제의 일환으로 수행되었으며, 관계자 여러분의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Klaus Heinrich 외(1989), "Transrapid Maglev System", HESTRA-VERLAG Darmstadt
2. Parsons Transportation Group(2000), "California MAGLEV Project Description", U.S. Department of Transportation(DOT)
3. Husam Gurol 외(2002), "Low Speed Maglev Technology Development Program", U.S. DOT.
4. G. Samavedam 외(2002), "Assessment of CHSST Maglev for U.S. Urban Transportation", U.S. DOT.
5. G. Samavedam 외(2003), "Applicability of CHSST Technology for U.S. Urban Transportation", U.S. DOT.