

고속전철 차량시스템의 개념설계

The Conceptual Design of High Speed Railway Train System

최용훈*** 김경택** 윤세균*** 정경렬*

Choi, Yong-Hoon Kim, Kyoung-Taek Yoon, Se-Kyun Chung, Kyung-Ryul

ABSTRACT

In this paper, the general process of the conceptual design of high speed train system was introduced by the review of the design process of Korea High Speed Train. The development of a general design process of high speed train is necessary in order to lead a high speed railway market in the future. For the conceptual design of high speed train system, the goals to develop a new high speed train are set. The different high speed train configurations are chosen regarding traction power, bogie type, etc and repeatedly evaluated with respect to the requirements.

1. 서 론

고속철도는 철도차량 가운데 시속 200km/h 이상으로 운행하는 것으로 구분된다. 따라서 일반 철도차량보다 성능, 안정성, 효율성 등이 신중히 고려되어야만 한다. 국내의 경우, 경부고속전철이 개통되어 도로교통과 항공교통을 수요를 대체하는 새로운 교통수단으로 선을 보였으나 차량시스템 자체와 시스템 운영 전반에 걸쳐 많은 문제가 발생하고 있다. 이는 기획 및 개념설계 단계에서 승객 및 운영자의 요구조건과 운용환경 등을 충분히 고려한 기술적·경제적 검토가 이루어지지 못했기 때문이며, 향후 국내·외 새로운 고속철도 수요가 예상되는 상황에서 한국형 고속전철 시제차량의 개념설계 과정을 체계화 및 일반화 하여 기술적 성능의 만족과 사회·문화·경제적 기여가 가능한 고속철도 차량시스템의 설계능력이 요구된다. 본 논문에서는 한국형 고속전철의 신뢰성 및 안정성을 위해 진행되고 있는 고속철도기술개발사업의 “고속철도 차량시스템 설계체계 기술개발” 과제와 연구내용 가운데 한국형 고속전철 시제차량의 개념설계 내용을 일반적인 시스템 설계과정에 비추어 체계화·일반화하여 소개하였다.

일반적으로 고속전철 차량시스템의 설계과정은 표 1에서 보는 바와 같이 전형적인 시스템 설계 과정을 거치기는 하지만 각 단계가 순차적이 아닌 반복과 혼합의 과정으로 진행된다. 또한 단순한 기술 및 경제적 평가가 아닌 수명주기 비용분석과 신뢰성, 유용성, 운영효율성, 안정성에 근거한 평가로서 설계안이 매 단계마다 새롭게 변경된다. 차량시스템에서는 기능구조가 어느 정도 규명되어 있고 주요 서브시스템의 구분이 이미 이루어진 상태로 간주될 수 있으므로 표 1과 같은 단계

* 한국생산기술연구원, 운동·메카니즘연구팀, 수석연구원, 계획원

** 한국생산기술연구원, 메디컬헬스팀, 선임연구원, 계획원

*** 한국생산기술연구원, 운동·메카니즘연구팀, 연구원, 비촉원

로 설명되는 것이 더욱 타당하다고 볼 수 있다. 먼저 초기개발과정(기획단계)은 개념설계 이전단계로서 시장, 운행노선, 기술동향, 경제성 등을 분석하고 최종적으로 수집 혹은 수요자로부터 제시된 요구조건들을 체계화 하여 목록을 작성한다. 그림 1은 고속전철 차량시스템 기획단계의 주요 내용을 보여주고 있다.

표 1. 일반적 차량시스템 설계단계

단계	주요내용
기획	운영환경연구(노선, 정차역, 수송인원, 운행최고속도 등), 목표설정, 요구조건 목록 작성 및 설계 명세서 작성
개념설계	차량 편성 및 주요 기능별 대안 제시, 열차 각 모듈 구성 결정을 위한 기본적인 해석, 차량시스템 기본 편성안 및 주요 시스템 성능 기본안 결정
기본설계	차량 구성 모듈 및 단위 기체의 형상 구체화, 동특성해석, 구조해석, 충돌해석 등을 통한 설계 최적화
상세설계	제작에 필요한 세부도면 및 지침 작성

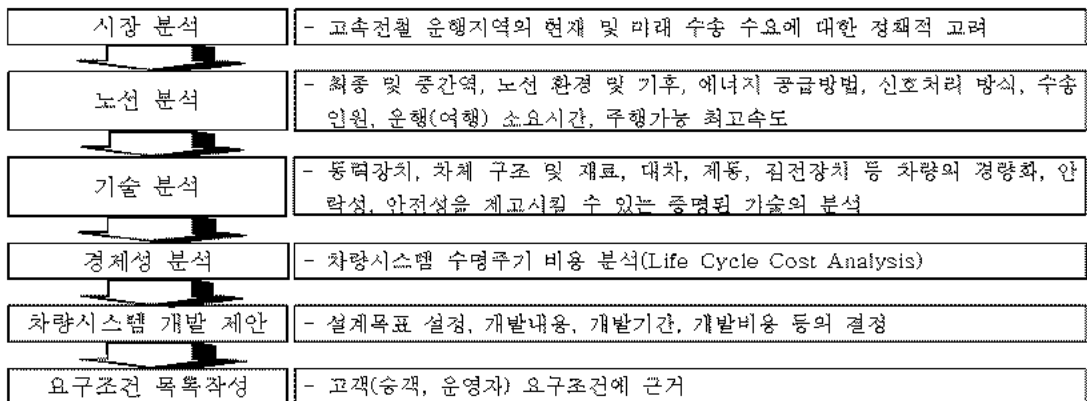


그림 1. 고속전철 차량시스템 초기 개발과정

2. 고속전철 차량시스템 개념설계 과정

개념설계단계에서는 기획단계에서 작성된 설계 요구조건 목록을 요약하여 핵심이 되는 목표사항을 인식하고 차량의 구성 기본안을 도출한 후 목표달성을 위한 다양한 편성대안 마련과 기본적인 해석을 수행하고 이에 대한 기술적 및 경제적 평가를 시행하는 표 2와 같은 절차와 내용으로 진행된다. 그러나 표 2의 각 단계는 순차적으로만 진행되는 양이며 각 단계별 혹은 전체 수행과정에서 반복적인 검증 및 변경과정이 수행된다.

2.1 핵심 설계목표 인식

핵심 설계목표 인식단계에서는 요구조건들에 대한 일반화와 요약의 과정을 통해서 과제의 핵심

을 명확히 한다. 요구조건들로부터 핵심사항을 도출하는 과정은 전체과정을 구성하는 일을 용이하게 할 수 있으나 주어진 요구조건 혹은 기획단계에서 분석된 결과에 따라 핵심사항이 매번 달라질 수 있다. 일반적으로 고속전철 차량시스템의 개념설계에 있어서는 수송성능, 안전성, 편의성, 경제성, 효율성, 신기술성 등을 중심으로 요구조건 목록들이 요약될 수 있으며 특히 수송성능과 안전성의 문제는 고속전철의 특성상 그 어느 쟁점사항들보다 비중있게 인식되어야만 한다.

표 2. 고속전철 차량시스템 개념설계 과정

단 계	주요내용/고려사항
핵심 설계목표 인식	<ul style="list-style-type: none"> - 수송성능 : 차량 탑승인원, 운행시간, 시분간격, 정차역, 정차시간 - 안전성 : 직접적 안전기술(Safe line/Fail safe/Redundancy design) - 편의성 : 좌석, 편의시설(부속실 등), 진동 및 소음, 공기조화 상태 - 경제성 : 차량 원가와 운영 및 유지보수비용 최소화, 호환성 - 효율성 : 경량화, 에너지 비용 최소화 - 신기술성 : 시장 경쟁력 확보용이 - 개발일정, 개발비용 등
차량 구성 기본안 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 차량길이, 단면 등의 정성적 기본 형상 제안 - 좌석 및 편의시설 기본안 - 대차 성능 기본안 - 추진 및 제동 성능 기본안 - 주요 기기(환풍그래프, 변압기, 인버터/컨버터, 공기조화기 등) 기본안
차량 편성안과 해석	<ul style="list-style-type: none"> - 차량길이, 수량, 편성대안과 차량 및 대차 재배치 - 추진, 제동, 길전장치와 주요 기기의 재배치 - 차량 운행 시간, 에너지 소모, 추진 및 제동력 해석 - 기본적 공력, 강도, 주행 안정성 해석 - 차량 편성대안 마련 - 하중명령 해석 - 해석결과와 핵심적 사항의 비교/검토
차량 편성안의 기술 및 경제적 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 기술적 평가기준 도출 - 경제적 평가기준 도출 - 평가 - 취약부 제거
차량 구성 기본 모델 (Base line model) 선정	<ul style="list-style-type: none"> - 열차구성, 열차 길이/단면, 출입문/좌석 배치, 편의시설 배치 - 추진/제동/대차/공기조화/전력공급 및 변환/보조 장치 배치

2.2 차량 구성 기본안 도출

핵심 설계목표의 다음 단계는 차량의 기능 및 성능 기본안 도출 과정으로 고속전철 차량시스템은 이미 선례를 통해서 기능 및 작용구조가 알려져 있으므로 고유설계에서와 같은 기능 및 작용구조 탐색을 위한 과정은 무시될 수 있다. 먼저 차량의 정성적인 기본 형상이나 차량 편성대안과 해석을 위해 필요한 수준의 각 장치별 주요 기능 및 성능 대안이 마련된다. 기본적으로 견인방식(집중식, 분산식, 차세대형)이나 대차의 방식과 수량에 대한 결정으로부터 시작해서 표 3과 같은 편성안에 대한 기능 및 성능이 도출된다. 이때, 제한조건을 포함한 설계요구조건에 대한 검토가 반복적으로 이루어지는 가운데 보다 만족스러운 데이터 수집이 가능하다.

표 3. 검토 대상 한국형 고속전철 차량시스템 편성안의 데이터

	For about 700 passengers			For about 1000 passengers		
	DPT-300	CPT-300	HSR-300	DPT-400	CPT-400	HSR-400
Train Type	EMU	Power Car	EMU	EMU	Power Car	EMU
Train Consist	6P+6T	2P+2M+12T	-	8P+8T	3P+2M+15T (1 booster)	-
Number of Power Cars	-	2	-	2	-	-
Number of Motorized Cars	6	2	-	8	2	-
Number of Trailer Cars	6	12	-	8	15	-
Number of Powered Axles	24	12	24	32	16	32
Number of Unpowered Axles	24	26	12	32	32	14
Articulated Bogie	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Pressure Sealed	Yes					
Rated Voltage(60Hz)	25kV					
Maximum Service Speed (km/h)	350					
Test Speed (km/h)	385					
Train Length (m)	299.4	313	301.2	398.5	388.79	394.7
Length of Power Car (m)	-	22.15	-	-	22.15	-
Length of Motorized Cars (m)	-	21.85	-	-	21.85	-
Length of End Car (m)	25.84	-	20.2	25.84	-	20.2
Length of Middle Car (m)	24.78	18.7	18.7	24.78	18.7	18.7
Height/Width of Power Car (m)	-	3.9/2.81	-	-	3.9/2.81	-
Height of Car (m)	3.89	3.48	3.48	3.89	3.48	3.48
Width of Car (m)	2.95	2.9	2.9	2.95	2.9	2.9
Number of Seats						
- 1st Class	153	144	144	204	144	186
- 2nd Class	760	592	764	1,020	764	1,028
- Total	913	736	908	1,224	908	1,214
Weight(t) : W2	696	646	612	928	816	782
Maximum Axle Load (t)	14.5	17	17	14.5	17	17
Maximum Unsprung Mass (t)	1.4	2.2	1.4	1.4	2.2	1.4
Continuous Tractive Power(kW)	13,200	13,440	13,200	17,600	17,920	17,600
Starting Tractive Effort(kN)	375	375	375	500	500	500
Tractive Power/Motor(kW)	550	1,120	550	550	1,120	550
Traction Motors	Asynchronous					
Power/Weight (kW/t)	18.96	20.80	21.57	18.96	21.96	22.51
Weight/Seat (t/Seat)	0.76	0.88	0.67	0.76	0.90	0.64
Power/Seat(kW/Seat)	14.46	18.26	14.53	14.38	19.73	14.50
Braking	Regenerative, Eddy Current, Disk Brake					
Number of Bogies						
- Conventional	24	6	4	32	8	4
- Articulated	-	13	14	-	16	4
Wheel Diameter (mm)			920			19

* DPT-300/400 : Distributed Power Train(300/400m)

*P : Power Car

* CPT-300/400 : Concentrated Power Train(300/400m)

*M : Motorized Car

* HSR-300/400 : Future Oriented Distributed Power Train(300/400m)

*T : Trailer Car

2.3 차량 편성안과 해석

차량 구성에 대한 기본안을 바탕으로 주요기기의 배치와 해석과정이 진행된다. 고속전철 차량의 경우 점착계수, 공력저항, 운행시간, 선로에 미치는 영향 그리고 운행시간 등이 주요 쟁점사항으로써 소요시간, 추진/제동력, 공력저항, 강도, 주행 안정성 등에 대한 해석이 기본적으로 요구된다. 해석을 위해 사용되는 입력 자료들의 신뢰도가 그 결과에 영향을 미칠 수밖에 없으며 한국형 고속전철 시제차량의 경우에는 경부고속전철사업을 통해서 이전된 기술자료들과 해외협력 연구결과를 활용하여 경험부족으로 인한 시행착오를 최소화 할 수 있었다.

2.4 차량 편성안의 기술적·경제적 평가

차량 편성안에 대한 기술적·경제적 평가 항목 및 각각의 가중치는 요구조건에 기초한 설계목표에 따라 결정된다. 표 4는 한국형 고속전철 편성안에 대한 평가를 위해 제안되었던 것으로서 신규 차량시스템의 개념설계 과정에서는 세부적인 항목과 각각에 대한 가중치가 입력되는 요구조건의 중요도에 따라 달라질 수 있다. 평가과정에서는 항상 불확실성이 존재하며 그 불확실성이 매우 치명적인 사안일 경우 평가 등급은 낮지만 치명적인 취약점을 갖지 않는 균형 잡힌 편성안이 선택되거나 최고 등급에 있어서의 치명적인 취약점을 제거할 수 있는 대안을 마련해야만 한다.

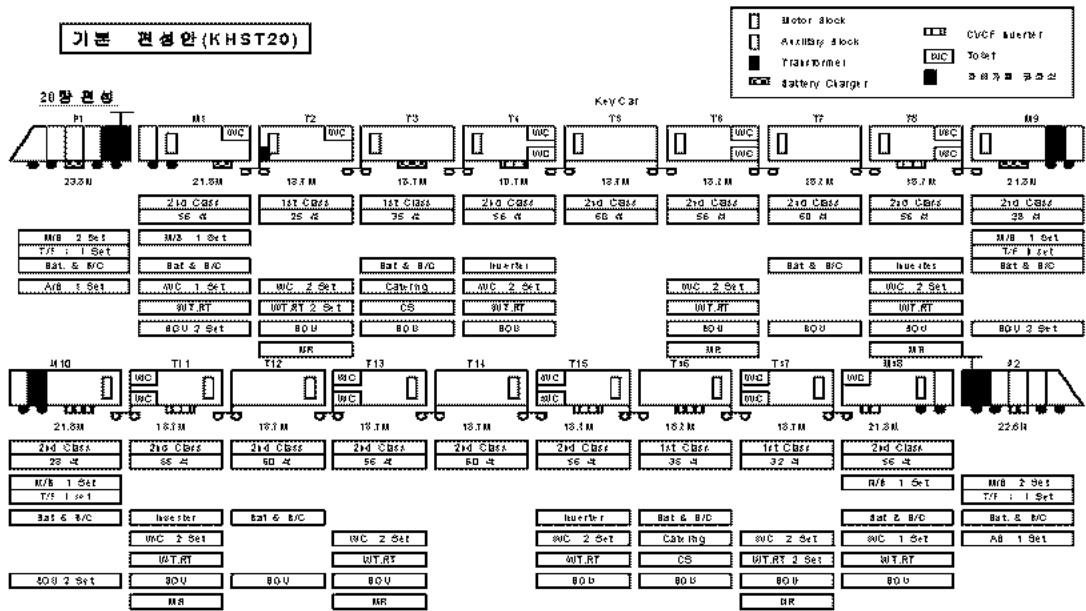
표 4. 차량 편성안에 대한 기술적·경제적 평가항목

평가항목 구분		세부평가항목	
기술적 평가	차량설계 (Vehicle Design)	차체	- 통로 수 (Passageways) - 좌석 수 (Number of seats) - 사고안전대책 (Passive Safety)
		대차	- 차축 수 (Number of axles) - 대차 질량 (Mass of bogies) - 험가하 질량 (Unsprung mass)
		좌석 당 중량	- 좌석당 중량 (Mass per seat)
	휠/레일 상호작용 (Interaction wheel/rail)	- 주행 안전성 (Running Safety) - 선로 손상 (Track Deterioration) - 마모 및 찢어짐 (Wear and Tear)	
	공간 활용성 (Availability of Space)	- 대차에서 견인 (Traction in bogie) - 추진시스템 (Power Systems) - 제동시스템 (Brake System) - 기타 설비물 (Other Equipment)	
	환경적 영향 (Environmental Impact)	- 소음발생 (Noise Emissions) - 진동 (Vibration)	
	승객 편의성 (Passengers Comfort)	- 출입 조건 (Access Conditions) - 내부소음 (Interior Noise) - 차량 내부에서의 이동성 - 주행 승차감 (Running Comfort) - 진동 (Vibration)	
	기술 혁신성 (Future Technique)	- 개발 가능성 (Development Potential) - 개발 부담 (Development Risk)	
운영 유연성 (Operational Flexibility)	- Possibility of mixed Traffic - 차량 편성 유연성 (Flexible Train Configuration)		
경제적 평가	LCC & RAMS	- 투자비용 (Investment Costs) - 유지보수 비용 (Maintainability Costs) - 에너지 소비 (Energy Consumption) - 복원/재활용 비용 (Recovery/Recycling Costs) - 유용성 (Availability)	

2.5 최종 차량구성 기본모델 선정

핵심 설계목표의 인식에서부터 기술적·경제적 평가에 이르는 과정의 반복을 통해서 최종적인 기본 편성안이 도출된다. 차량의 편성, 길이, 출입문, 화장실과 대차, 주전력변환장치(Motor Block), 주변압기(Main Transformer), Battery Charger, 판토히라프 등의 주요 차량 구성장치들의 배치가 확정된다. 그림 2는 한국형 고속전철의 기본편성안으로 중간동력차(M10) 대신에 후부의 동

터차를 연결함으로써 11량 편성이 가능하고 차량의 종류를 줄이기 위하여 중간동력차(M9 및 M10)를 중심으로 좌우대칭으로 편성되었다.



3. 결 론

본 논문에서는 고속철도기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 "고속철도 차량시스템 설계체계 기술개발"과제에서 수행된 내용을 요약하여 소개하였다. 한국형 고속전철 시제차량에 대한 개발내용을 정비하고 이를 토대로 고속전철 차량시스템의 설계체계 및 품질관리 체계를 마련하기 위한 연구가 본 과제를 통해서 진행 중에 있다. 한국형 고속전철 시제차량의 개념설계 과정과 내용을 정비하고 이를 일반적인 시스템 설계과정에 따라 일반화/체계화 하였다. 고속전철 차량시스템의 개념설계 과정은 입력되는 요구조건에 따라 세부내용이 달라질 수 있으나 일반적인 개념설계 절차에 따라 한국형 고속전철 시제차량의 개념설계 내용을 소개하여 일반적인 개념설계 자료로 활용 가능하도록 하였다.

참고문헌

1. 김경택, 정경렬(1999), "한국형 고속전철 차량시스템의 개념설계", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 172~180.
2. 정경렬 외(1997), "차량시스템 개념설계 및 평가기술 개발 보고서", 한국생산기술연구원
3. 정경렬 외(1998), "차량시스템 개념설계 및 평가기술 개발 보고서", 한국생산기술연구원
4. 정경렬 외(2003), "고속철도 차량시스템 설계체계 기술개발 보고서", 한국생산기술연구원