

한국형 고속전철 차량시스템의 개념설계

The Conceptual Design of Korea High Speed Train System

김 경 택*

Kim, Kyoung-Taek

정 경 렬**

Chung, Kyung-Ryul

ABSTRACT

The major subject of this paper is to develop the concept for a Korea high speed train system and recommend to train configuration.

High speed train configurations are basically concerned traction power(train configurations with concentrated; CPT or distributed power system; DPT) and train design(single car as compared with articulated bogies). The result of configuration, a advantages and disadvantaged were necessitated by different train configurations ; - distributed underfloor power have an increased length for the seats by 15% as compared with the concentrated power train, - articulated trainsets are characterised by less of number of bogies and reduced values of mass, train resistance, noise and vibration.

From the result, the optimized train concept combining high seat capacity per train length with low weight and train resistance is 400m long, single -floor train composed of two symmetrically arranged half trainsets . Therefore, at this work recommended distributed train system .

However, the final decision of Korea high speed train configuration was concentrated power train and articulated bogie system. The configuration of trainset was 20cars included 2 power cars, 4 motorized cars and 14 trailer cars.

1. 서 론

고속철도의 선진국인 프랑스, 독일 및 일본 등에서는 각기 고유한 고속전철 시스템을 설계 및 제작하여 이미 지난 20 여년간 발전시킨 고속전철 관련 첨단기술들을 축적해왔다. 그러나 올해로서 철도 100년을 맞이하는 한국의 실정은 경부고속철도의 도입과 더불어 고속전철에 대한 관심을 비로소 가지게 되었다.

차량시스템을 체계적으로 설계해 본 경험이 없는 국내의 실정에서 300km/h 급의 경부고속철도보다 속도가 향상된 350km/h 급의 한국형 차량시스템을 독자적으로 추진한다는 것은 쉬

*한국생산기술연구원 연구원, 비회원

*한국생산기술연구원 수석연구원, 비회원

운 일이 아닌 것은 분명하다. 비록 경부고속철도사업에서 이전되는 기술자료가 있지만, 독자적으로 설정한 한국형 고속전철의 개발목표를 달성하기 위해서는 이전 자료가 전무한 분야, 특히 추진시스템, 열차제어 및 진단시스템, 고속용 판토품, 알루미늄 차체 등 주요 서브시스템에 대한 국내 기반이 매우 취약한 상태이다.

차량시스템 엔지니어링 기술은 초기설계 단계인 차량시스템의 개념설계기술이 핵심으로서 세계시장을 목표로 철도차량을 육성시키기 위해서는 차량시스템을 중심으로 한 시스템 엔지니어링 기술을 반드시 확보하여야 하며, 다년간의 기술개발과 운행경험을 바탕으로 한 독일, 프랑스 및 일본과 같은 철도 선진국에서는 차량자체의 기술적인 성능보다는 경제적인 측면과 승객편의를 고려한 환경 친화적인 기술개발에 대한 연구를 수행하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 국내의 기술수준은 경부고속철도사업에서 이전 받은 기술자료만을 유일하게 의지하고 있는 여건과 고속전철의 개념설계에 필요한 핵심 기술기반자체가 전무한 상황으로서 경부고속철도 건설사업을 계기로 가급적 빠른 시일내에 국내의 모든 역량을 총동원하여 이와 같은 기술격차를 좁히는 노력이 절실히 요구된다.

따라서 본 고에서는 고속전철기술개발(선도기술개발사업)사업으로 추진되고 있는 '차량시스템 엔지니어링 기술개발'과제의 내용중에서 차량시스템의 개념설계 부분을 중심으로 정리하였다.

2. 본 론

2.1 선진 고속전철시스템의 분석

한국형 고속전철의 개념설계에 앞서 세계적으로 현재 운행중에 있는 고속전철의 모델, 최고운행속도, 열차의 형태 및 추진시스템을 대하여 분석하였다.

표 1 에서 알 수 있듯이 동력집중식 차량과 분산식 차량은 상당히 많이 사용되고 있는 반면에 판절차량은 비교적 적게 사용되고 있으며, 견인시스템은 3상 비동기모터가 절대적으로 많이 사용되고 있다. 그리고 틸팅시스템은 액티브 틸팅시스템이 주로 저속차량에서 많이 사용되고 있는데, 이는 기존 선로망 및 곡선구간에서의 고속화를 위해 적용된 것으로서 틸팅 메카니즘은 유압구동식에서 전기/기계적인 구동방식으로 변화하는 추세이다.

표 1. 각국의 고속전철 시스템

Country	Train system	Speed [km/h]	Power unit & coaches	Electric multiple unit	Articulated set	Three-phase		Tilting system	
						Synchr.	Asynchr.	active	passive
Japan	Shinkansen	350		0			0		
France	TGV	300	0		0	0			
Germany	ICE-1/2	280	0				0		
	ICE-3	330		0			0		
	ICE-T	230		0			0	0	
Italy	ETR 500	300	0				0		

	ETR 450/460	250		0			0	
	ETR 470	220		0			0	0
Sweden	X 2000	200	0				0	0
Spain	AVE	300	0		0	0		
	TALGO	200			0			0
Great Britain	IC 225	240	0					(0)

2.2 한국형 고속전철의 설계 목표 및 차량시스템 편성의 검토

한국형 고속전철의 설계목표는 차량시스템 운영요구 조건을 만족할 수 있도록 설정하였으며, 설계목표의 달성을 위한 한국형 고속전철의 차량시스템 편성안에 대한 검토를 행하였다.

(1) 한국형 고속전철의 설계 목표

한국형 고속전철의 설계는 '차량시스템 운영요구 조건'에 따라 1차적인 설계 목표로 350km/h의 최고운행속도와 서울과 부산간에 건설될 고속선로에서 경부고속철도 차량시스템과 함께 운행될 수 있어야 하며 다음의 목표를 만족시켜야 한다

- 서울에서 부산까지의 여행시간을 100 분이내로 단축
- 에너지소비량, 승차감, 레일의 손상 등은 경부고속철도 수준을 유지
- 주위 환경의 추가적인 부작용 방지
- 편성당 1,000명 이상의 승객 수송량 확보
- 한국내 뿐만 아니라 수출에서도 앞으로의 시장에 적합한 유연성 확보
- 경부고속철도와 동등한 신뢰성, 내구성, 유용성 및 안전성 등의 확보
- 전체 열차의 길이는 400m 이하

이와 같은 설계목표를 달성하기 위한 차량시스템 편성안의 검토가 이루어졌다.

(2) 한국형 고속전철 차량시스템 편성안의 검토

상기의 설계목표를 달성하기 위하여 검토된 차량편성안은 선진국의 동향, 국내의 기술수준 및 개발의 가능성 등을 고려하여 경부고속철도 이전기술을 중심으로 한 편성안과 독일의 선진기술 응용이 가능한 편성 및 아직은 검증되지 못했지만 미래를 지향한 차세대 기술을 접목한 편성안 등 세 방향으로 검토하였다.

각 편성안의 검토과정을 그림 1에 도식적으로 나타내었으며, 경부고속철도(TGV-K)이전기술과 ICE-3 기술, 즉 이미 검증된 기술을 바탕으로 설계목표를 만족시키는 차량편성안을 도출하였다. 집중식인 경우에는 동력대차의 수량을 증가 시켰으며, 분산식인 경우에는 전인전동기의 출력율 10% 증가 시켰다. 또한 기존 기술의 답습이라는 약점을 보완할 수 있는 차

량편성안으로서 독일의 차세대 차량개발 개념(ICE-21)의 일부를 원용한 차량편성안도 함께 검토하였다.

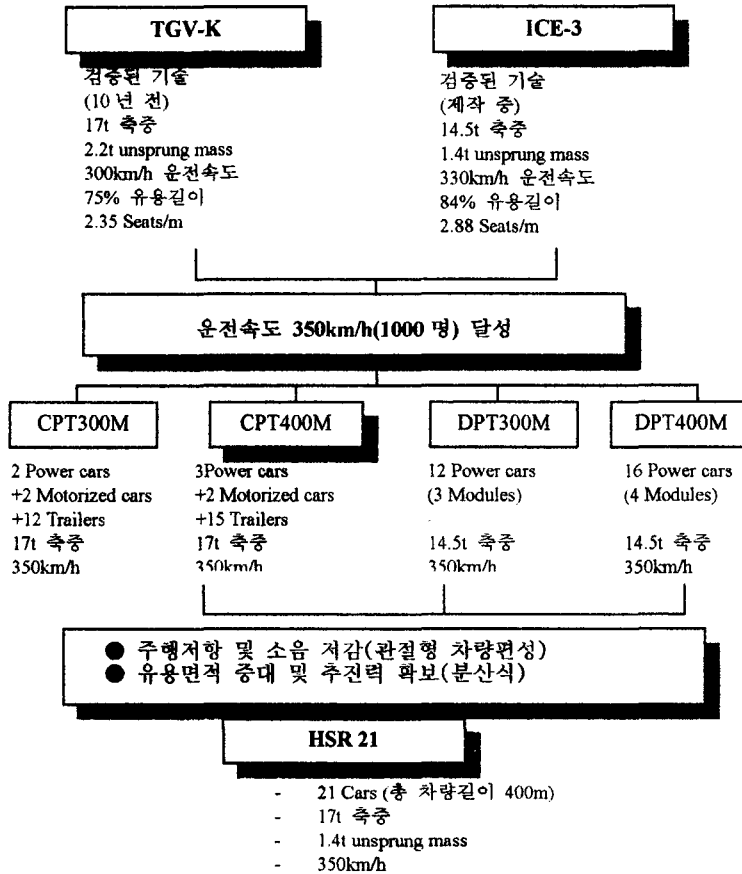


그림 1. 차량시스템 편성안 검토 과정

그리고 '차량시스템 기본 사양서'에 제시된 차량의 길이 300m를 만족시킬 수 있는 안을 검토대상에 포함시키기 위해 위에서 설명한 세가지 방향의 차량 편성안마다 차량길이 300 m, 400 m의 두 가지씩을 검토대상 차량시스템으로 선정하였다. 각 편성대안의 상대적인 비교의 타당성을 확보하기 위해서 각 차량시스템의 기술적 특징이 아닌 사항은 공통으로 가정하였고, 차량시스템 중량, 승객수, 에너지 소모율, 궤도에 지대한 영향을 주는 축중과 Unsprung mass 등을 비교하였다. 표 2는 개략적인 각 편성안의 특성을 비교 보여주고 있으며, 표 3에서는 각 차량 편성안에 대한 구체적인 데이터를 나타내고 있다.

표 2. 검토 대상 차량시스템 편성안의 주요 특징

편성안	동력집중식	동력분산식	차세대형
기술배경	· 경부고속철도 이전 기술활용	· 독일 ICE 기술활용	· 독일 미래형 차량시스템 개념을 접목한 차세대 기술
특징	· 동력 집중식 차량 편성 · 동력객차 개념 도입 · 관절형 차량편성 · 경부고속철도 이전 기술활용 용이	· 동력 분산식 차량편성 · 모듈식 차량 개념 · 독일기업 협력이 필요	· 독립 분산식 차량편성 · 관절형 편성 · 모듈식 차량 개념 · 차세대 기술 확보 가능 · 기술개발 위험 분담
승객당 에너지 소모율	보통	불리	유리
편성당 승객수	하	상	중
열차중량	보통	불리	보통
축중 /Unsprung mass	불리	유리	보통

표 3. 검토 대상 차량시스템 편성안의 데이터

	For about 700 passengers			For about 1,000 passenger		
	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	-
Number of Power Cars	-	2	-	2	3(1 booster)	-
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 (60 Hz)	25 kV					
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						
- 1 st Class	153	144	144	204	144	186
- 2 nd 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	
- Articulated	-	13	14	-	16	4
Wheel Diameter (mm)			920			19

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

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

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

*P : Power Car

*M : Motorized Car

*T : Trailer Car

차량시스템 편성대안별 주요 특성치를 비교하기 위하여 열차의 중량, 편성당 승객수, 승객당 에너지 소모량, 운행시간, Unsprung mass/축중 및 접착계수의 활용정도를 비교하여 아래의 표에 나타내었다.

검토항목	CPT	DPT	HSR
열차중량	2	3	1
편성당 승객수	3	1	2
승객당 에너지소모량	3	1	2
운행시간	3	2	1
축중/Unsprung mass	2	3	1
접착계수의 활용정도	동일함		

* 순위(1-유리, 3-분리)

이와 같은 각 편성안의 검토를 통하여 경부고속철도의 이전기술을 활용하기가 용이한 집중식 차량편성안은 제한된 예산과 인력으로 성공가능성이 제일 높은 반면, 개발결과의 활용성이 매우 제한적일 것으로 예상되어 차세대형 편성안의 개발을 제안하였다.

그러나, 본격적으로 차량시스템 기본사양이 검토되기 시작하면서 국내 기업의 현실을 무시할 수 없는 상황이 크게 부각되어 사업초기의 검토 대상이었던 CPT(집중식 차량시스템, 길이 400m)형이 최종적으로 채택되었다. 또한 구체적인 주전원 시스템의 개념설계안에 대한 검토가 이루어지지 않은 상태에서 반편성이 강조되면서 동력궤차 2량이 차량시스템의 중간에 투입되는 형태로 정해지게 되었다.

한편, 국내 현실이 깊이 고려되어 정해진 차량시스템 기본사양이 경부고속철도의 이전기술을 위주로 추진되어 갈 수 밖에 없는 약점을 보완하기 위해 본 과제를 중심으로 사업초기에 제안된 HSR 400(분산식, 관절형 편성의 차세대 차량시스템)를 구체적으로 구현할 수 있는 기반을 구축하기 위한 최소한의 연구범위를 설정하여 독일의 Bombardier, Transportation-DWA 와 공동으로 차량의 구체, 차량간 연결부위 및 대차와의 연결장치 등을 중심으로 기술개발을 병행하여 추진중에 있다.

한국형 고속전철의 차량시스템으로 정해진 기본편성안(KHST 20)에 대해서는 다음절에서 상세히 다룰 것이다

2.3 한국형 고속전철의 기본편성안(KHST 20)

한국형 고속전철의 설계목표를 달성하기 위해 차량시스템 기본사양이 검토되기 시작하면서 국내 기업의 현실을 무시할 수 없는 상황에서 채택된 CPT(집중식 차량시스템, 길이 400m)형을 기본편성안(이하 KHST20 으로 표기)으로 상업용 20 량 편성에 대한 구체적인 검토가 이루어졌으며, 그림 2 에 편성도를 나타내었다.

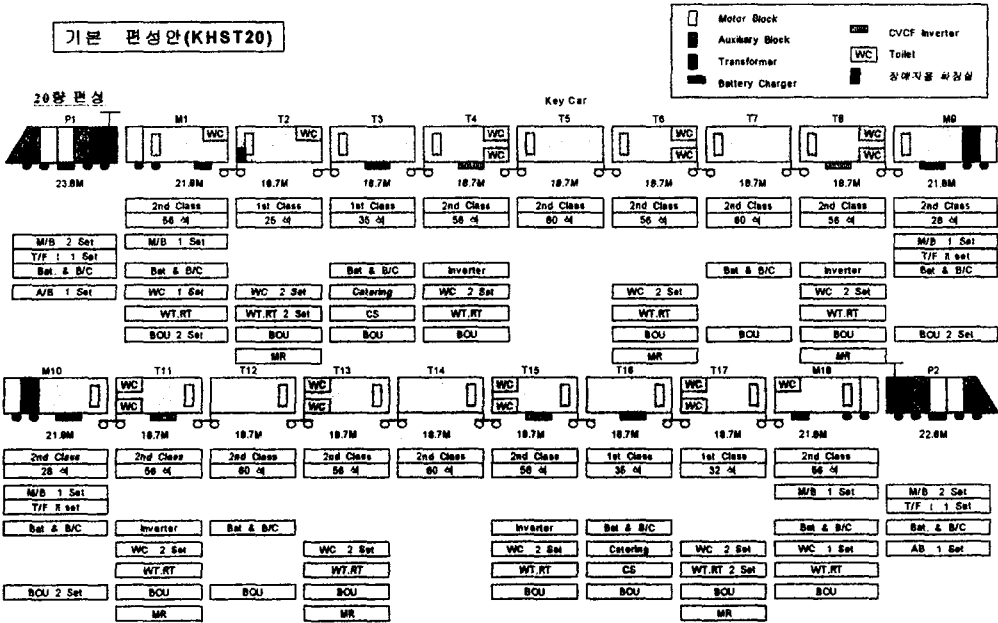


그림 2. 한국형 고속전철의 기본편성안

KHST 20은 20량을 기본편성으로 하여 2P + 4M + 14T(P: Power car, M: Motorized car, T: Trailer car)의 편성을 가지며, 11량 편성에서는 2P + 2M + 7T로 20량편성에서 중간동력객차인 M10 대신에 후부의 동력차를 연결하므로서 반편성이 가능하도록 하였다.

편성차량은 주변압기를 동력차(모터블록 3대 용량)와 중간동력객차(모터블록 1대용량)에 설치하며, 객차는 기본사양서에 따라 전체 좌석중 15%이상의 일등석 확보를 위하여 T2, T3, T16, T17의 객차를 1등실 차량으로 편성하며, 이중 T2 객차에는 장애사용 좌석과 휠체어 보관소를 설치한다. 그리고 설계되는 차량의 종류를 줄이기 위하여 중간동력객차(M9 및 M10)를 중심으로 좌우대칭으로 편성하였으며, 다음절에서 추진, 제동, 제어시스템 등의 주요 서브시스템에 대하여 검토하였다.

(1) 추진시스템

추진시스템에는 주변압기, 주전력변환장치 및 견인전동기로 구성되며, 추진시스템의 주요 성능은 아래와 같다

- 전체출력 : 13,200kW
- 350km/h에서의 견인력 : 132,377kN
- 주행저항 : 60,065kN
- 가속여력 : 0.218%
- 점착계수 : 7%

(2) 제동시스템

KHST의 제동시스템은 크게 비접촉 제동과 마찰제동이 적용되는데 고속에서의 제동효과

가 큰 비접촉제동에는 회생제동, 저항제동 및 와전류제동이 적용되며, 마찰제동의 경우에는 답면, 휠디스크 및 디스크 제동이 적용된다.

제동장치의 구성은 아래의 표와 같다.

대차의 종류	비접촉 제동	대차당 갯수
	마찰 제동	
동력차 동력대차	회생, 저항 제동	2(전동기)
	답면제동	4
동력객차 동력대차	회생, 저항 제동	2(전동기)
	휠디스크 제동	2
객차 부수대차	와전류 제동	2
	디스크 제동	6

(3) 제어시스템

차량제어에 있어서 선진국에서는 결선의 간소화와 유연적 운영을 위하여 차량 네트워크의 표준화 작업을 진행하여 TCN(Train Communication Network)이라는 규격을 완성하였다. 따라서 KHST 에서도 기본적으로 차량간의 WTB 연결은 각 차량마다 1 개씩 설치된 게이트웨이를 통과하여 연결되고 MVB 를 통하여 차량내의 각 장치들로 연결되도록 하여 2 중선으로 TCN 시스템을 구성하였다. 네트워크에 연결되지만 정보량이 적어 단순한 기능을 수행하는 장치에는 Compact I/O 가 연결되며, 정보량이 적은 대상은 PWM 방식의 Serial 통신방식으로 정보를 전달하게 되며, 단순 접점에 관한 신호는 Digital(on/off)통신을 취하였다.

3. 결 론

최고운행속도 350km/h 을 1 차목표로 한 한국형 고속전철의 개념설계를 위하여 선진 고속전철시스템의 분석 및 차량시스템 편성안의 검토를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 선진고속전철 시스템의 분석

세계적으로 운행되고 있는 고속전철은 동력집중식과 분산식이 상당히 많이 사용되고 있으며, 전인시스템은 3 상 비동기모터가 절대적으로 많이 사용되고 있었다. 또한 저속차량에서는 톨팅시스템을 사용하여 기존 선로망 및 곡선구간에서의 고속화를 이루었다.

(2) 차량편성안의 제안

차량편성안은 설계목표의 달성을 위하여 동력집중식, 동력분산식 및 차세대형 등 세 방향의 차량편성안에 대하여 열차의 중량, 편성당 승객수, 에너지 소모량, 운행시간, 축중 및 점착계수의 활용정도 등을 검토하여 차세대형(분산식 관절형 및 모듈식 차량개념)의 편성안을 제안하였으나, 국내 기업의 현실 및 기술수준 등의 문제로 인하여 집중식/관절형 차량시스템이 채택되었다.

(3) 한국형 고속전철의 기본편성안

한국형 고속전철의 기본편성은 동력집중식 및 관절형 편성으로서 20 량(2P+4M+14T)을 기본으로 하여, 필요시 11 량 편성이 가능하도록 하였다.

주변압기, 주전력변환장치 및 견인전동기로 구성되는 추진시스템은 전체출력이 13,200kW, 견인력이 132,377kN 및 주행저항이 60,065kN 으로 계산되었다.

제동시스템은 비접촉 제동과 마찰제동이 적용되는데 고속에서의 제동효과가 큰 비접촉제동에는 회생제동, 저항제동 및 와전류제동이 적용되며, 마찰제동의 경우에는 담면, 휠디스크 및 디스크 제동이 적용하였다.

제어시스템은 TCN 시스템을 구현하며, 정보량이 적은 단순한 기능을 수행하는 장치에는 Compact I/O, Serial 통신 및 Digital 통신을 취하였다.

*후기

본 연구는 고속전철기술개발사업(선도기술개발사업)에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Quantity not quality, as high-speed operators mark time, Railway Gazette International, Oct .1999 pp659-664
2. 정경렬 외(1997), “차량시스템 개념설계 및 평가기술 개발 보고서” 한국생산기술연구원
3. 정경렬 외(1998), “차량시스템 개념설계 및 평가기술 개발 보고서” 한국생산기술연구원
4. DE-Consult(1997), “Advanced HSR Train Concepts General Outline Report”
5. DE-Consult(1998), “Conceptual Design of Test Train System Report”