

한국형 고속전철 시제차량 기본설계통합

한상훈*, 이병현*, 김경택*, 정경렬*

Fundamental Design & Integration of TestCar for Korea High Speed Train

Han,Sang-Hoon* Lee,Byung-Hyun* Kim,Kyoung-Taek* Chung,Kyung-Ryul*

ABSTRACT

Train system like high speed train is assemble by a number of subsystem. Therefore, the Integration of train system needs the process that investigates the interface and influence between subsystems. In this paper, It studied the Design & Integration and major process of Korea High Speed Train Project.

1. 서 론

수송산업은 산업발달에 결정적인 역할을 한다. 그중 철도 수송수단은 증가하는 수송량과 국내의 국토환경 여건상 효과적인 선택일 수 밖에 없다. 최근 경부고속전철의 도입으로 수송 능력을 향상시키고자 하였지만 향후 추가적으로 발생될 기술료를 감안하면 독자기술 확보가 절실하다. 이러한 계기로 경부고속전철을 기반으로 하여 한국형고속전철(이하 KHST)개발 사업이 시작되었다.

이렇게 고속전철 기술개발 경험이 부족한 상태에서 과제가 추진된 후, 해외기술자료 파악, 경부고속전철의 역설계 등 꾸준한 노력으로 짧은 시기나마 우리에게 필요한 시스템의 특성으로 논할 수준이 되었다. 이러한 성과를 바탕으로 2차년도까지 KHST의 편성 및 사양을 결정할 수 있었고 이번 3차년도에서는 각 단위부품(SubSystem)별로 상세설계가 진행되었다.

2차년도에서 검토사항으로 남겨졌던 부분과, 각 부품별 설계과정 중 다른 시스템과의 연계 부분에서 발생된 문제점을 조정하고, 통합된 내용을 기술하였다.

2. 차량시스템 설계검토 및 분석

* 한국생산기술연구원

통합성 검토는 부품의 개별적 개발시 고려하지 않았던 사항들을 검토해 보는데 의미가 있다. 2차년도까지 연구되었던 차량편성을 근거로 시제차에 대한 설계통합이 진행되었다. 각 부품별로 개별적으로 수행되는 과제들은 인터페이스 통합의 과정을 거쳐야 한다. 통합의 기본과정은 취부위치, 크기, 중량 등 차량간 미치는 영향을 고려하고 각 부품간의 배선, 용량, 신호, 프로토콜 등을 연계시키는 것이다. 취합된 자료는 Layout과 입출력 용량, 회로도 등을 파악할 수 있어야 한다. 통합성 검토를 하기 위해 과제별로 취합된 자료를 일괄적으로 파악하기 위한 Tool 사용은 필수적이다. 각 부품의 Layout상황과 시스템 구성상황을 파악하기 위해 실제 도면을 근거로 통합도면을 새로 작성하여 부품의 크기나 위치가 변경될 때마다 반영하였다. 여기에 추진, 제동, 보조전원, 제어 시스템들의 계통도 표시하여 단순한 개념적인 구성이 아닌 실제 부품이 배치된 상황과 연결관계를 실질적으로 파악할 수 있도록 하였고 향후 검토사항도 몇가지 도출해 내었다.

2.1 편성 검토

(1) 편성요구조건

차량시스템 설계목표에는 운용적인 측면과 기술적인 측면으로 검토된다. 차량편성의 대표적인 운용적 측면으로는 다음과 같은 목표가 있다.

- 편성당 1000명 이상의 승객 수송량 확보
- 경부고속전철 역사에 부합되기 위해 전 편성 길이가 400m 이하이어야 함.

(2) 중간동력객차의 도입

KHST는 경부고속전철과 같은 20량을 기본편성으로 한다. 935명에 달하는 20량 편성을 매번 운행한다면 잔여석에 대한 손실이 발생하므로 차량편성에 유연성이 필요하다. 관절대차는 차량기지에만 열차의 분리가 가능하며 각 차량마다 탑재 기기가 다룰수가 있기 때문에 편성 변경이 쉽지 않다. 또한 KHST의 목표속도인 350km/h를 달성하기 위해선 동력대차의 추가가 불가피하였다. 따라서 동력대차의 포함과 동시에 분리가 가능한 동력대차를 20량 편성 중앙에 2대를 배치함으로써 목표속도 달성과 함께 반편성인 11량편성 운행도 가능하게 되었다.

(3) 기본 편성

기본편성은 20량 편성과 11량 편성이다. 20량 편성은 반편성인 10량이 대칭이 되도록 구성하며 11량 편성은 10량편성에서 동력차만 추가한다.

KHST에서는 경부고속전철의 전체 20량편성 개념이 반편성에 적용되었으므로 20량 편성에서는 2대의 KeyCar를 두게 된다.

장애인용 화장실은 전 편성에 1개소가 설치된다. 따라서 장애인용 화장실이 있는 T2는 T17과 좌석수에서 차이가 있다. T2는 25석, T17은 32석이다. 각 차량의 자세한 구성은 앞장의 그림 2.34에 나타나 있다.

(4) 시제차량 편성구성

시제차의 목적은 최소한의 편성차량 제작 및 시험에 있다. 차량운행에 필요한 차량과 승객 시설의 대부분의 사항이 표현될 수 있어야 한다. 차량편성 계획에서 KHST의 20량 편성차량

은 크게 6종류의 차량으로 구성되어 있다. 3차년도에서는 객차부분이 T2, T3, T8으로 되어있다. 중복되지 않는 차종을 선택하였기 때문에 반편성의 KeyCar, T4는 시제차에 사용되지 못하고 T3차량을 KeyCar로 변경, 제작하기로 하였다. KeyCar는 부수대차를 가지지 않으므로 T3차량에서 BOU는 탑재하지 않는다.

2.2 통합성 검토대상 및 절차

(1) 기계분야 부문

기계적 통합성 검토대상은 주로 Layout에 관련되며 각 부품의 배치는 중량 밸런스 및 동력학 해석에 영향을 주므로 종합적인 검토가 요구된다. 전장품은 상상기기와 상하기기로 나뉜다. 차량별 주요 구성품은 다음과 같다.

20항 편성 (시제편성)	규격	수량	길이×폭×높이(mm)			중량 (kg)	
			L	W	H		
차 상	동력차	TP1	2	22627	2814	4062	
	모터블러		2	2700	1500	2100	3700
	컨버터	IGCT	2				1006
	인버터	IGCT	1				850.85
	VVVF		1				
	저항기		1	300	80	50	500
	냉각팬		2×4	2500	400	436.7	50
	주변압기		1	2900	1500	2000	8500
	냉각팬		2				
	보조블러		1	1650	1500	2000	1800
	컨버터	IGBT	4				
	VVVF	IGBT	4	650	320	356	45
	냉각팬		2				
	Cab cubicle		1	1175	1080	2000	835
U/F	Battery Charger	IGBT	2	500	600	250	80
	Battery	Ni-Cd	2				717
			2	1320	1100	640	250
대 차	동력대차		2	3810	2470	575	1306
	전인전동기		2	900	670	670	1560
	담면계동기		4				
	냉각팬		1	800	800	800	200
	BrakePanel		1				
	관트그래프		1	2800			
차 량	주차단기		1				
	피뢰기, 여자		1				
	중간동력객차	TM5	2(1)	21845	2970	3900	
	모터블러	동력차	1				
	주변압기		1	1600	1500	1900	3950
	냉각팬		1				
	보조Cubicle		1	750	1500	1200	1200
	Active Filter		1	600	400	600	
	VVVF		1				
냉각팬		1					
UF	Battery	Ni-Cd	2				
	BatteryCharger	IGBT	2	1250	600	500	400
대 차	동력대차		1	동력대차와 동일			
	필드스크류동기						
차 량	동력객차	TM1	2(1)	21845	2970	3900	
	모터블러		1	중간동력객차와 동일			
UF	Battery	Ni-Cd	2	동력차와 동일			
	BatteryCharger	IGBT	2				
대 차	동력대차			동력대차, 부수대차와 동일			
차 량	객차	TT2-4	14(7)	18700	2970	3730	
	Battery	Ni-Cd	2	중간동력대차와 동일			
U/F	BatteryCharger	IGBT	2				
	CVCF	IGBT	1	1750	930	420	400
대 차	부수대차			3460	2484	705	1602
	와전류계동기			1190	210	180	250

디스크제동기						
--------	--	--	--	--	--	--

(2) 전기분야 부문

전기적 인터페이스 부문은 고속전철의 핵심분야로서 결선 및 부하용량의 산출에 있다. 설계속도 385km/h 를 내기위한 최대용량으로 설계를 시작하여 필요한 각 전장품들의 총 소요부하를 뿐 아니라 고장시나리오에 의한 상황에서도 만족되도록 하여야 한다.

20항 편성 (시제편성)	수량	전제용량 (kW, kVA)	효율	여유	정격입력 [최대허용]	출력, 성능
동력차	1				가선→AC25kV 객차→DC440V	AC25kV→ 동력객차
차량	모터블럭	2	2462kVA		주변압기→ AC1400V	AC2183V→ 전인전동기
	컨버터	2	1194kW		879A AC1400V	853A 2800V
	인버터	1	2814kVA		853A 2800V	747A AC2183V
	VVVF	1	38kW			
	저항기	1	6.5Ω, 777.6kW			
	냉각팬	2×4	465.625㎡, 1569.6 ㎡/h			
	주변압기	1	8900kVA 1250kVA (×6) 350kVA (×4)		가선→AC25kV	AC1400V(×6)→모터블럭 AC383V(×4)→보조블럭
	Active Filter		(시제차 보유) 200 kW		주변압기→ AC1400V	
	냉각팬	2				
	보조블럭	1	1400kW		주변압기→ AC383V	DC670→ VVVVF
	컨버터	4	350kW		주변압기→AC380V, 60Hz, 921A	DC670V, 2089.6A
	VVVF	4	38kW		DC670V, 63A	AC380V, 60Hz, 63.8A
	냉각팬	1	38kW			
	Cab cubicle	1				
U/F	Battery	2	130AH			DC72V → 전원
	Battery Charger	2	10kW		보조블럭→ DC670V	DC72V, 120A → Battery
	여압장치 capacitor	2				
대차	동력대차	2			385km/h	상용: 9km, 비상: 5.3km
	전인전동기	2	1100kW		모터블럭→ 2183V	4230rpm
	센서	3				
	냉각팬	1	1.25㎡/h			
	감속기	1	감속비 1 : 2.012			
	담면제동기	4				
차량	판토크래프	1			가선 → AC25kV 1kA [1.2kA, 1분]	70N
	주차단기	1	75kW, 16kA		[29kW, 1kA], 60Hz	
	피뢰기 예차	1	10kA		25kV [36kW]	
차량	중간동력객차	1			객차 → AC25kV 객차 → DC440V	
	모터블럭	1				
	주변압기	1	2930kVA		가선 → AC25kV	AC1400V → 모터블럭 AC380V → 보조블럭
	Active Filter		430		주변압기 → AC1400V	
	냉각팬	1				
	보조블럭	1	1400kW		주변압기 → AC380V	DC670V → VVVF
	컨버터	4				
VVVF	4					
냉각팬	1					
UF	Battery	2				
	Battery Charger	2				
대차	동력대차	1				
	휠디스크제동기	2				
차량	동력객차	1			동력차 → AC25kV, AC1400V 객차 → DC440V	
	모터블럭	1				
UF	Battery	2				
	Battery Charger	2				
대차	동력대차	2				
차량	객차	1			동력객차→AC25kV	DC440V → 인버터전원
U/F	Battery	2	385AH			
	Battery Charger()	2	50kW		15A	DC82.8V, 542A~800A(602A)

	CVCF	I	[540kVA, 1분], 375kV		DC670V, 497A	AC440V, 497A
대차	부수대차	1				
	와전류계동기		25kWh			
	센서					
	디스크계동기					

(3) 제어분야 부문

전기분야가 고압의 전원계통을 다루는데 비해 제어분야는 인터페이스장치와 제어신호의 정의에 있다. KHST에서는 경부고속전철에서 사용되지 않은 TCN제어시스템을 적용하였기 때문에 각 부품간 협의되어야 할 작업량도 많아졌고 시스템 구축에 어려움이 많다. 제어분야는 지면상 생략하였다.

3. 분야별 주요 검토사항

3.1 기계분야

고속주행일수록 공력저항은 주행에 심각한 장애를 주며 주행공력저항은 단면적과 단면적 변화에 비례하므로 단면형상은 가능한 한 원에 가깝게 하는게 유리하다. 따라서 전두부 형상과 부품들의 노출은 목표속도 달성과 에너지 효율면에서도 중요하다.

(1) 전두부 형상

2차년도까지 공력특성 향상을 위해 전두부곡선을 15m로 제안되었었다. 그러나 동력차 전방 전장품 및 배기덕트와의 간섭문제가 발생하였고 단면적 감소를 위해 전장품도 가능한 한 높이를 낮추도록 하였다. 그러나 전장품들의 중량균형 문제로 이동이 쉽지 않고 설계상 내부 구조변경에도 한계가 있어 상부 첫번째 후드까지만 15m 곡선을 구현하였다.

Cab-cubicle, A/B, T/F는 2000mm, M/B는 2100mm으로 조정되었고 전두부 길이를 1677mm나 증가시켰다. 물론 전두부 증가에는 차량한계와 축중에 나쁜 영향을 끼치므로 확장에 제한이 있다. 따라서 곡선이 끝나는 지점에서 접선방향으로 높이를 약간 연장하였다.

(2) 동력차-객차 단면형상 불일치 문제

동력객차는 일부 동력설비와의 객차의 객차서리를 갖춘차로서 동력실은 동력차의 후두부 형상을 유지하고 객실은 객차의 형상과 일치해야 한다. 그러나 동력객차의 동력실부 형상을 동력객차의 형상과 100% 일치시키는 것은 불가능하므로 두 차량간의 단면형상에 차이가 발생하며, 이로인하여 고속주행시 소음 및 공력저항의 발생이 예상된다. 이를 방지하기 위하여 동력차와 동력객차간 차량상부의 Roof Hood를 부드럽게 이어줌으로써 공력저항을 줄일수 있도록 하였고 차폭차이는 동력객차 End 부위의 Fairing를 통해 해결하였다.

(3) 동력차 대차커버

대차는 복잡한 형상과 구조가 외부로 노출되어 있어 공력저항이 우려된다. 전년도 자료에 의하면 대차커버의 효과는 전체 저항에 비해 그다지 만족스러운 향상은 아닌것으로 나타나 있다. 따라서 KHST에서는 전방에서 가장 영향이 클것으로 보이는 동력차에만 커버를 덮도록 하였다. 커버의 형상은 유선이 잘 흐르도록 대차길이보다 길게 형성되도록 하였다.

4. 시스템별 검토

(1) 추진시스템

(가) Active Filter 설치

전력소자들은 PWM같은 제어방식을 사용하므로 주파수가 높은 펄스가 발생한다. 이러한 고조파는 가전을 통해 역으로 급전지로 장애를 주게 된다. 고조파를 제거하기 위해 필터를 설치하게 되는데 Passive Filter는 R,L,C의 중량 및 설치공간에 부적합하여 배제되었다.

동력차용 변압기에는 6개, 중간동력객차에는 2개의 컨버터가 연결된다. 6개의 제어소자로는 위상차 제어 등을 통하여 고조파저감이 가능하지만 2개로는 저감효과를 보장할 수 없을 것으로 판단되어 중간동력객차의 변압기에만 Active Filter를 설치하기로 하였다. Active Filter는 중간동력객차의 보조 cubicle내에 설치된다. 시제차에서는 중간동력객차에만 설치했을때의 효과를 확인한 후, 결과에 따라 상용차 제작시에 동력차에서의 설치여부를 결정하기로 하였다.

(나) 전인전동기 :

350km/h의 속도를 내기 위해서는 17,120kW 이상의 용량이 필요하며 16대의 전인전동기가 1,070kW이상의 용량을 가져야 한다. 구배, 공력저항, 여유가속력 등을 고려하여 검토한 결과 1,100kW로 결정되어 개발되었다.

(2) 제동시스템

경부고속전철보다 최대 운행속도가 증가되어 요구되는 제동력도 커지게 되었다. KHST에서는 경부고속전철에는 없는 휠디스크제동, 와전류제동을 도입하였고 디스크제동도 벤틸레이트 타입을 사용하여 제동력 향상을 도모하였다.

(3). 보조전원시스템

(가) 보조전원장치 블럭 (Auxiliary Block)

보조전원장치는 추진을 제외한 모든 전원을 공급한다. 평상시 양측 2대의 동력차에서 각각 반편성의 부하를 담당하며 고장시 전 편성의 부하를 감당하는 용량을 갖추고 있다.

(나) 급전 불가시 냉각팬 전원

고속으로 운행하다보면 집전판이 가선으로부터 이탈되는 경우가 있고 변전소사이의 사구간처럼 집전이 이루어지지 않는 구간에서는 냉각팬이 정상 작동하지 않는다. 여기서 가장 큰 문제는 고속에서 가장 많은 제동력을 담당하는 저항제동을 사용할 수가 없다는데 있다. 이러한 급전불가시 냉각팬에 전원을 공급할 수 있는 방안이 다음과 같이 3가지가 거론되었다.

- 배터리로부터 전원공급
- 주변압기에서의 회생에너지를 이용
- DC link단에 연결된 DC/DC Converter로부터 전원공급

DC/DC 컨버터의 경우 컨버터 제작 및 설치에 논란이 있었으나 여러 차례 협의 후 컨버터 설치 방안이 채택되었다. 냉각팬을 구동하는 VVVF인버터와 함께 M/B에서 제작하고 M/B내에 설치하게 된다.

(나) 전인전동기용

동력차에서 2개의 Filter Box를 사용하지 않음으로써 U/F의 FilterBox공간을 활용할수 있게 되었다. 이곳에 M/B용 인버터를 취부하고자 하였으나 이들 역시 M/B내에 취부설치할 것으로 결정되어 상상에 있는 후방 전인전동기용 냉각팬을 전방과 일관성있게 FilterBox위치에 설치하도록 하였다.

2.3 시제차량 모형(Mock-up)제작

차량의 전두부 형상은 차량을 대외적으로 알리는 국가별 고유의 얼굴이며 색채 또한 형상에 적절하여야 할것이다. 그동안 진행된 결과를 토대로 설계상 미비점이나 개선점을 도출하기 위하여 최종형상을 모형으로 제작하였고, 모형으로의 가시화를 통하여 대외적 홍보 및 이해도 증진하도록 하였다. 시제차량의 모형은 1:100, 1:40 스케일로 제작하였고, 1:100은 7량, 1:40스케일은 동력차, 동력객차, 객차, 3량을 제작하고 절반을 절개하여 내부 전장품까지 잘 보이도록 하였다. 설계가 계속 진행되는 시점이고 수시로 변경되어 세부적인 묘사에 어려움이 없지 않았으나 경부고속전철에 비해 차이가 나는 부분은 모두 표현되도록 하였다.

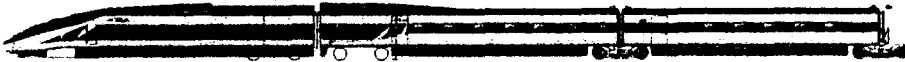


그림 4 1:40 스케일 모형

3. 결 론

한국형 고속전철개발사업이 1단계 3차년도를 끝내는 시점에서 그동안 진행된 개발내용과 통합성 검토된 사항에 대하여 살펴보았다. 이사업은 처음 시도되는 기술이고 부품 개발 과제 간 조정사항, 기술적 부족등 해결해 나가야 할 사항이 여전히 많이 남아있다.

앞으로 좀더 많은 시간과 경험을 가지고 체계적인 구성이 이루어진다면 통합의 역할이 더욱 효과를 볼 것이다.

참고 문헌

1. 정경렬 외, "차량시스템 엔지니어링 기술개발 (2차년도 보고서)", 한국생산기술연구원, 1998
2. 정경렬 외, "차량시스템 통합 및 총괄 (2차년도 보고서)", 한국생산기술연구원, 1998