

차상제어시스템 엔지니어링 설계

이주훈, 이재덕, 조창희, 박도영, 김국헌, 김용주
한국전기연구소 고속전철 T.F.T.

An Engineering Design of On-Board Computer System

Joo-Hoon Lee, Jae-Duck Lee, Chang-Hee Cho, Doh-Young Park, Kook-Hun Kim, Yong-Joo Kim
High-Speed Railways T.F.T., KERI

Abstract - Currently KERI is participating a project whose goal is to develop the Korean High-Speed Train(KHST) with maximum speed of 350kph. KERI's responsibility is the electrical system engineering that includes engineering design of an on-board computer system for diagnosis and control of train set and electrical/mechanical devices. A system engineering approach of the design is performed in order to guarantee the passenger safety and economically viable train for on-board control system construction, operation and maintenance.

This paper presents the draft engineering des on-board computer system that ensures the s and reliability of KHST. The draft is focuse network interfaced distributed processing system

1. 서 론

열차의 속도가 증가할수록 사고발생시의 피해규모는 기하급수적으로 늘어나게 된다. 세계적으로 열차의 고속화가 급속히 진행됨에 따라 주행안전성 확보를 위한 열차장치 및 시스템의 성능과 신뢰도 향상이 열차시스템의 설계시 중요한 핵심요소로서 대두되고 있다. 특히 시속 300km 이상을 주파하는 고속전철 시스템에 채택되는 각종 기계 및 전기 전장품의 사양은 기존 열차시스템에 비하여 월등히 고성능, 고신뢰도를 요구하고 있다. 기계부품, 전력시스템, 센서 및 액추에이터 등의 경우 물리적인 사양의 향상이 추진되고있으며, 차상제어시스템의 경우 물리적인 사양뿐만 아니라, 논리적 성능의 향상을 이루기 위하여 마이크로프로세서와 네트워크 통신시스템이 적용되고 있다.

열차제어측면에서 주행안전성의 확보는 지상의 신호시스템과 차상제어시스템에 의해 결정된다하여도 과언이 아니다. 신호시스템은 선로조건에 따른 열차의 운행상태를 제어함으로써 선로상의 주행안전성을 확보한다. 반면, 차상제어시스템은 운전자의 조작과 신호시스템의 조건에 따라 열차를 제어하고, 장치 및 시스템의 상태를 진단하고, 신뢰성을 확보함으로써 열차의 안전성을 확보한다.

열차시스템은 다양한 장치들로 구성되며, 또 장치들간의 상관관계로 복잡한 특성을 가지고 있다. 더욱이 신뢰도를 높이기 위한 고속열차시스템의 설계에서는 보다 많고, 복잡한 시스템과 장치들을 필요로 하기 때문에 진단 및 제어와 관련한 정보 및 데이터의 수가 월등히 많아질 뿐 아니라 복잡한 진단 알고리즘의 수행, 제어주기의 단축 등 고성능의 차상제어시스템을 필요로 한다. 이러한 고성능의 차상컴퓨터시스템의 구축을 위하여 network interface가 가능한 microprocessor 시스템이 채택되고 있으며, 시스템 제작단계뿐만 아니라, 운행과 유지보수에서도 경제성을 보이고 있다.

신뢰도 측면에서도 network based 차상제어시스템

은 hardware를 기반으로 하는 relayed logic에 비하여 낮지 않음이 입증되었다.

경부고속철도 건설사업을 통해 경부고속전철로 선정된 TGV의 공급사에서는 고속전철의 다양한 기술을 국내에 이전해주고 있지만 열차 제어의 핵심이 되는 차상제어시스템과 지상신호시스템에 대한 분야의 기술 이전은 운용 기술로 제한하고 있다. 이는 차상제어시스템 기술이 고속전철의 핵심기술이 되기 때문이다.

본 논문에서는 경부고속철도의 TGV-K 열차와 동일 선로에서 운행 가능한 한국형 고속전철(KHST-Korean High-Speed Train) 시스템의 진단 및 제어를 수행하 차상제어시스템의 설계안을 제시한다.

2. 한국형 고속전철

1996년 한국형 고속전철 개발사업이 정부의 지원을 바탕으로 기업-연구소-대학의 공동연구 체제로 시작되었다. 본 사업에서는 20량 편성으로 최고속도 시속 350km를 주파하는 고속전철을 개발하는 것을 목표로 한다. 개발열차는 경부고속철도 및 새로 건설되는 선로에 투입되어 상업운전을 하는 것을 목표로 한다. 2002년 시험운전을 목표로 현재 7량 1편성의 시험제작차량(KHST-7)을 개발중이다. KHST-7은 그림 1과 같이 2대의 동력차와 2대의 동력객차 그리고 3대의 객차로 편성된다.

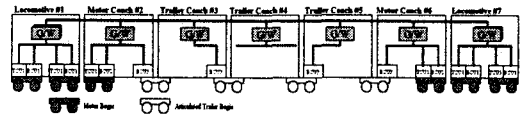


그림 1. KHST-7 시험제작차량 편성도

시험제작차량 1편성의 대차는 총 6대의 동력대차와 4대의 관절형 객차대차로 구성된다. 각 동력대차에는 2대의 견인전동기를 포함하는 모터블럭 1set이 설치되며 추진제어장치인 TCU(Traction Control Unit)가 모터블럭의 진단 및 제어를 수행한다. TCU는 견인력뿐 아니라 회생제동과 저항제동으로 구성되는 전기제동시스템의 진단 및 제어도 수행한다.

기계제동시스템으로는 대차별로 shoe 제동시스템, 휠-디스크 제동시스템 그리고 디스크 제동시스템을 채택하였으며, 제동제어장치인 BCU(Brake Control Unit)가 각 대차의 제동장치를 진단 및 제어한다. 동력차의 동력대차에서는 BCU-1이 4개의 shoe 제동 시스템의 진단 및 제어를 수행한다. 각 동력객차의 동력대차에는 2개의 휠-디스크 제동시스템이 설치되며, BCU-2가 이의 진단 및 제어를 수행한다. 또한 각 관절형 객차대차에는 6개의 디스크제동장치가 있는데 BCU-3가 이를 진단 및 제어한다. 중간 차량인 객차#4는 양쪽 관절대차에 없애 있는 형태이므로 제동제어장치가 탑재되지 않는다.

고속주행상태에서 제동시에 효율적인 제동을 위해 와전류 제동장치를 각 관절대차에 설치하였으며, 진단 및

제어를 수행하는 와전류 제동제어기는 동력객차#2에 설치하였다. 표 1에 KHST-7 1편성에 구현되는 추진 및 제동시스템을 나타내었다.

표 1. KHST-7의 추진 및 제동시스템

	동력차 #1 & #2	동력객차 #2 & #3	객차 #3 & #	소계	
동력객차	2	1		6	2 / 동력차 1 / 동력객차
모터블럭	4	2		12	2 / 동력객차
관절대차		1	1	4	1 / 동력객차 1 / 객차 #3, #
회생제동	2	1		6	1 / 모터블럭
저항제동	2	1		6	1 / 모터블럭
와전류 제동		1	1	4	1 / 관절대차
디스크 제동		6	6	24	3 / 관절축
휠-디스크제동		2		4	1 / 동력축
Shoe제동	8			16	1 / 동력차 휠

3. 차상제어시스템(On-Board Control System)

3.1 차상제어시스템 설계개념

차상제어시스템 설계개념의 기본은 무엇보다도 신뢰도를 바탕으로 하는 열차의 안전성 확보이다. 일반적으로 신뢰도를 높이는 설계방식은 다중화, 분산처리, 여유설계, 협조제어, 상호감시 등이 적용되며, 시스템의 기능과 특성에 따라 하나 이상의 개념을 함께 사용하기도 한다.

다중화 개념은 단일 시스템을 기본으로, 2중화, 3중화 또는 그 이상의 back-up 시스템을 통하여 구현된다. 3중화 이상의 시스템에서는 voting 알고리즘에 따라 기능을 특성 지으며, 일반적으로 사용되는 개념인 2중화 시스템은 다시 back-up 기능의 수행방법에 따라 cold standby, hot standby 그리고 full duplex로 구분된다. Back-up 방식은 시스템의 특성 및 중요도에 따라 설계방식을 결정한다. ATC, 제동시스템, 열차제어시스템 등 열차의 안전에 밀접한 시스템의 경우 제어장치, 입/출력 신호 등의 redundancy를 고려한 다중화 설계를 한다.

분산처리시스템은 집중시스템에서 발생할 수 있는 중앙시스템의 과부하 또는 고장의 파급을 줄일 수 있으며, 분산되어있는 remote 장치의 진단 및 제어를 효과적으로 수행할 수 있다. 분산처리시스템의 구축에 있어서 정보 및 데이터의 공유를 위한 통신인터페이스가 확보되어야 한다. 신뢰도를 확보하기 위하여 제어를 위한 중요한 판단이 두 개이상의 unit에 의해 수행될 수도 있다. 두 개의 unit이 서로 다른 actuator를 제어하기 위해서 동일한 제어알고리즘을 사용할 경우 상호 감시에 의해 상대방의 actuator를 제어할 수 있다.

신뢰도 확보에 의한 안전성을 높이는 설계의 예로서 그림 2에 제동제어시스템의 블록도를 나타내었다.

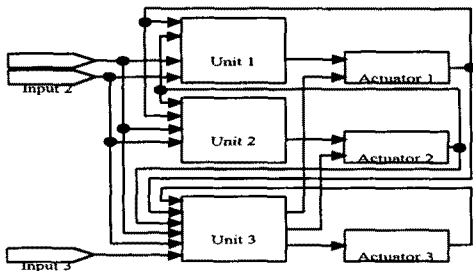


그림 2. 제동제어시스템의 블록도 예

3개의 제어장치와 3개의 actuator로 구성된 제동시스템이다. unit1과 unit2는 각각 actuator1과 actuator2의 진단 및 제어를 수행하며, 동일한 조건하에서 actuator1과 actuator2는 동일하게 제어된다. 이

러한 경우 unit1이 actuator1과 actuator2를 함께 제어할 수 있지만, unit1이 고장일 경우 두 개의 actuator가 모두 제어될 수 없다. 이러한 시스템 오류를 방지하기 위하여 각 actuator마다 제어 unit을 독립하여 설계한 것이다. 각 actuator의 동작 상태는 unit1과 unit2에 모두 feedback된다. Actuator의 동작상황에서 unit2는 actuator1의 동작이 검지되지 않을 경우 unit1의 제어에 문제가 있다고 판단하고 이를 보상하기 위하여 actuator2의 제동력을 상승시킨다. 이 경우 actuator2의 설계제동력은 정격 제동력보다 크도록 margin을 갖는 설계가 되어있어야 한다.

제동의 체결과 완해는 하나의 제어명령신호에 의해 제어될 수 있지만 이를 input1과 input2로 구분하여 설계한다. 이는 하나의 제어신호 오류에 대한 back-up의 개념으로 제어신호의 신뢰성을 높일 수 있다.

Unit3는 열차변성의 제동력을 효율적으로 분담하도록 제어하기 위한 제동블렌딩 unit이다. Input3 신호가 중앙제어장치에서 지령되는 비상제동제어신호이고, actuator3은 비상제동의 경우에만 동작하는 다른 종류의 actuator라고 하자. 상용제동 모드에서 unit3는 actuator1과 actuator2의 제동력을 가감함으로써 효율적인 제어를 수행하도록 한다. 비상제동 모드시에는 unit3는 모든 actuator에 최대제동력을 명령하게 된다. 이 경우 unit1과 unit2에 의한 actuator1, actuator2의 제어가 수행되지 못하는 상황이라도 비상제동 체결이 가능하다.

안전성과 신뢰도를 보장하기 위해서 제동시스템은 제동장치의 여유설계, 제어기 및 입/출력신호의 다중화를 통해 제어된다. 실제 제동시스템의 부분적인 장치의 고장이 발생한 경우에도 최대제동거리를 보장할 수 있어야 하며, 이를 위해 다음과 같은 개념을 바탕으로 설계된다.

- 정격 제동력보다 큰 최대 제동력을 여유로 갖는다.
- 제동제어 unit 장치들간의 상호 감시를 통해 제어를 수행한다.
- 제어신호의 오동작시에도 대응할 수 있도록 제어신호의 여분을 설계한다.
- 추진제어장치, 열차제어장치 및 인접한 제동제어장치와 협조제어를 수행한다.

3.2 네트워크 인터페이스 설계개념

그림 2에 나타난 시스템은 relay를 기반으로 하는 hardwire회로로서 구현 가능하다. 그러나 열차 편성 전체의 관점에서 많은 제동장치를 진단하고 제어하기 위해서는 엄청난 양의 케이블을 필요로 한다. 이는 제작비용은 물론이고 고속전철의 설계에서 중요한 요소가 되는 축중의 관점에서도 바람직하지 못한 설계가 된다. 또한, 많은 결선으로 인한 유지보수비용의 증가도 무시 못할 단점으로 받아들여진다.

그림 2와 같은 기능을 수행하는 시스템을 네트워크 인터페이스를 기반으로 설계하여 그림 3에 나타내었다.

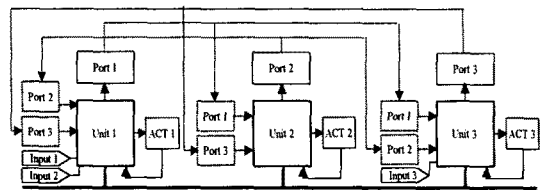


그림 3. 네트워크 인터페이스 기반 제동시스템

점선은 물리적인 결선이 아닌 논리결선을 보여준다. 제어신호들은 가장 가까이 있는 unit에만 입력되며, 다른 unit으로는 네트워크를 통해 전송된다. 그림 2와 3의 블록도는 같은 기능을 수행하는 시스템으로, 그림 3의 구조가 월등히 단순함을 알 수 있다. 그림 3과 같이 네트워크를 기반으로 설계를 할 경우 hardware 비용의 감

소, 열차측중의 감소를 통해 효율적인 제작이 가능하며, 정보 및 데이터의 공유를 통해 특정위치에서도 열차 전체의 시스템의 상태를 모니터링할 수 있어 유지보수비용을 절감시킬 수 있다.

3.3 KHST 차상제어시스템의 설계개념

KHST의 차상제어시스템은 network based distributed 제어시스템으로 설계되었다. 분산된 unit 들은 그 기능에 따라 구분되며, 진단 및 제어 알고리즘은 소프트웨어 프로그램에 의해 수행된다. 기본 개념은 다음과 같다.

- 열차의 운행과 관련한 진단 및 제어는 선두 동력차에 2중화 설치되는 SCU(Supervisory Control Unit)에 의해 수행된다.
- 추진 및 제동은 다른 unit들과는 기능적으로 독립되어있는 각각의 제어시스템에 의해 수행된다.
- 각 차량별 장치의 진단 및 제어는 해당차량별 컴퓨터인 VCU(Vehicle Control Unit)에 의해 수행된다.
- 중요도가 높은 동력차의 네트워크 gateway는 2중화 한다.

네트워크에 인터페이스되는 차상제어시스템 unit들을 표 2에 기술하였다.

표 2. KHST-7 차상제어시스템(네트워크)

Name (Numbers on a KHST-7)	Functions	On-boarded
SCU [4]	<ul style="list-style-type: none"> - Train diagnosis & control - Locomotive diagnosis & control - Desk to network interface - Display to network interface and control - Communication management between train and site 	2 / 동력차 1 : Active 1 : Hot Standby
VCU [9]	<ul style="list-style-type: none"> - Coach diagnosis & control - Door diagnosis & control 	1 / 동력객차 1 / 객차
ATC/ATS [4]	<ul style="list-style-type: none"> - Display control - SCU display backup 	2 / 동력차 2 : Dual active
TCU [6]	<ul style="list-style-type: none"> - Motor block diagnosis & control - Anti slip control - Electric brake diagnosis & control 	2 / 동력차 1 / 동력객차
BBCU [2]	- Total brake blending control	1 / 동력차
BCU [10]	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanical brake diagnosis & control - Anti slide control 	2 / 동력차 2 / 동력객차 1 / 객차 #3&5
ECCU [4]	- Eddy current brake diagnosis & control	1 / 동력객차 1 / 객차 #3&5
AUX [6]	<ul style="list-style-type: none"> - Auxiliary block diagnosis & control - Battery & charger diagnosis & control 	2 / 동력차 1 / 동력객차
AIRCON [7]	<ul style="list-style-type: none"> - Air-conditioner diagnosis & control - Pressure control 	1 / 모든 차량
GW [9]	<ul style="list-style-type: none"> - Gateway between train bus and vehicle bus - Auto configuration of train-set - Train bus communication control 	2 / 동력차 1: Active 1: Cold standby 1 / 객차

4. KHST 차상컴퓨터시스템 네트워크 인터페이스

차상제어시스템들간의 진단과 제어 관련 정보 및 데이터들은 네트워크를 통해 전송되기 때문에 네트워크의 특성이 열차의 기능 및 성능에 미치는 영향이 크다. 그러므로 분산시스템으로 차상제어시스템을 구축하기 위해서는 네트워크의 선정이 무엇보다도 중요하다. 네트워크 선정에 있어서 고려해야하는 중요한 요소는 데이터 전송방식, 전송속도, 통신 신뢰도, 장치들간의 호환성 등이 있다.

지금까지는 세계적으로 다양한 네트워크이 적용되어왔지만, IEC와 UIC에서는 열차내 다양한 장치들간의 호환성을 확보하면서 열차의 특성에 적합하도록 열차네트워크(WTB-Wire Train Bus)와 차량네트워크(MVB-Multifunction Vehicle Bus)으로 구성된 통신프로토콜인 TCN(Train Communication Network)을 표준화하였다. 열차전용용 목표로 개발된 TCN은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 통신의 신뢰도 확보를 위한 이중화 구조
- 실시간 처리를 위한 짧은 데이터 전송주기
- 열차편성을 고려한 충분한 전송 거리
- 효과적인 access 제어
- modular 시스템에 적합한 구조
- 자동 열차 configuration
- 차량장치간 통신 호환성

네트워크 통신시험 및 알고리즘시험을 위하여 표 2에 열거한 KHST 차상제어시스템을 TCN을 이용하여 시험용 시스템을 구축하였다. KHST의 동력차 차상제어시스템은 그림 4와 같이 설계하였다.

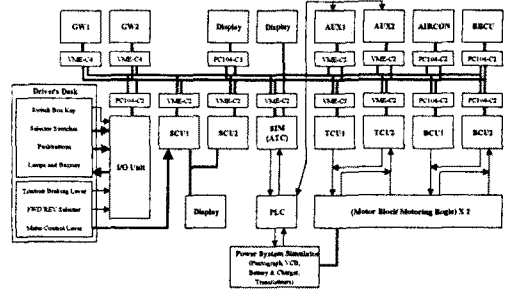


그림 4. KHST 동력차 차상제어시스템

그림 4에서 볼 수 있듯이, 차상제어시스템의 결선이 relay logic을 기반으로 하는 시스템에 비하여 월등히 단순해짐을 알 수 있다. 시스템은 다음과 같은 장치들로 구성된다.

- 열차편성의 진단 및 제어를 위한 이중화된 SCU
- 추진 및 전기제동시스템의 진단 및 제어를 위한 2개의 TCU
- 기계제동 시스템의 진단 및 제어를 위한 2개의 BCU
- 보조전원블럭의 진단 및 제어를 위한 2개의 AUX
- 열차 bus와 차량 bus간의 gateway역할을 수행하는 2중화된 node
- MVB I/O 인터페이스 시뮬레이션을 위한 PLC
- ATC/ATS 시뮬레이터
- 사용자 인터페이스를 위한 디스플레이
- 네트워크 인터페이스를 위한

5. 결 론

본 논문에서는 한국형 고속전철을 위한 차상제어시스템의 설계를 제시하였다. 본 설계의 주된 설계 개념은 다음과 같다.

- Distributed Diagnosis and Control
 - Network Based Control & Diagnosis System
- 시험제작차량을 위한 차상제어시스템은 본 설계를 중심으로 하면서 시험중 오류에 의한 사고를 방지하기 위하여 back-up용 hardwired relay logic을 병용하여 설계하였다.

차상시험을 수행하기 전에 차상제어시스템의 기능 및 성능은 다음과 같이 검증될 것이다.

- CaseTool을 이용한 진단 및 제어알고리즘의 sequence 및 logic 검증
- Unit별 단품시험
- 지상 통합 네트워크 시험
- 추진-제어 지상 통합시험

차상 시험을 통해 차상제어시스템의 신뢰도가 검증되면 상업용 차상제어시스템 설계에서는 back-up을 위한 hardwired relay logic을 제외하고 보다 확장된 network based distributed system 개념이 도입될 것이다.

주) 본 논문은 건설교통부, 산업자원부 및 과학기술부의 지원에 의한 G7 고속전철 기술개발사업의 일환으로 수행중인 연구과제의 내용임.

(참 고 문 헌)

[1] IEC, IEC-61375-1: Electric Railway Equipment Train Bus, 1st Edition, 1999
 [2] UIC, UIC Leaflet 556: Information Transmission in the Train (Train Bus), 2nd Edition, 1999