

## 철도 차량용 통신 네트워크의 이중 마스터 운용 기법

유흥열, 조영조, 오상록, 홍대식  
한국과학기술연구원 지능제어연구센터, 연세대학교 전자공학과

### Double mastering network for train communication

Heung-reol Ryou, Young-jo Cho, Sang-rok Oh, Dae-sik Hong  
KIST Intelligent System Research Center, Yonsei Univ. Electronics Dep.

**Abstract** - Train control and monitoring system for the railway train requires a reliable real-time communication network. The system have various functions, diagnostics, passenger informations, and fault-tolerant controls. For this system, an international standard called TCN(Train Communication Network) is proposed by IEC and the train industries. The TCN is composed of two layers, wire train bus(WTB) and multifunction vehicle bus(MVB). This paper evaluates the performance of the proposed WTB and modified WTB. And computer simulations are performed. The evaluated results can be used for the fault tolerant network in the railway train system.

#### 1. 서 론

오늘날에 와서 전철의 전자장치들은 차량의 모니터링, 온라인 진단, 여행자 정보서비스, 초기화 및 테스트와 백업 등의 다양한 기능들을 필요로 하고 있다. 이러한 기능들을 수행하기 위하여 열차내에서는 여러 가지 기기들이 상호 정보를 공유할 필요가 요구되어진다. 정보 공유를 위한 구조로서 공통의 데이터버스를 사용하는 경우가 많아지고 있다. 이는 차량내의 배선수를 줄여주어 여러 장치들의 결합작업을 줄이게 한다. 또한 적은 비용, 작은 크기와 용량으로 보다 많은 기능(진보적인 분산처리, 복합적인 진단, 승객의 운행 정보제공 등)을 수행할 수 있게 한다. 차량용 네트워크는 제어와 진단 및 서비스를 위해 기본적으로 대역폭이 넓은 실시간 네트워크를 요구한다. 특히 고속전철의 경우에는 고장에 대한 기준이 엄격하고, 안전성이 강하게 요구되고 있다.

전철 차량의 네트워크로서 IEC에서 제안한 TCN(Train Communication Network)은 두 계층의 버스 구조를 가지며, 대역폭을 분할하여 실시간과 비 실시간 통신을 하는 프로토콜을 가진다. TCN은 Train Bus와 Vehicle Bus의 두 계층의 버스 구조를 가지며, 이중 상위계층의 버스구조가 WTB(Wired Train Bus) 네트워크이다. 현재 제안된 IEC의 WTB 구조는 자동정렬(Inauguration), 내고장성 등의 기능을 가지고 있다.

본 논문에서는 현재 제안된 WTB 구조보다 성능이 우수한 개선된 WTB 구조를 제안하고 개선된 구조에서의 성능을 고찰한다. 개선된 구조는 현재 추진되고 있는 한국형 고속전철의 차상 통신네트워크에 적용되어 빠른 자동정렬을 완성하고 네트워크의 고장 시에도 버틸 수 있

는 강인한 내고장성을 제공할 것이다.

2장에서는 TCN의 구조와 WTB의 특성에 대해서 살펴보고, 3장에서는 제안된 WTB의 구조와 특성에 대해서 살펴보고 비교한다. 4장에서 결론을 맺는다.

#### 2. 열차 통신 네트워크(TCN)

IEC의 Technical Committee No.9(TC 9) Working Group 22(WG22)는 전철의 차량용 네트워크로서 TCN(Train Communication Network)을 1988년부터 준비하여 지금 표준을 위한 초안을 회람 중에 있다. TCN은 철도 차량 네트워크 시스템이 요구하는 다음과 같은 특징들을 가지고 있다.

- 철도차량에 쓰일 수 있는 모든 통신구조를 지원
- 고장허용성 및 높은 데이터 집적도
- 실시간 통신과 가용성을 위한 중복성으로
- 열차 구성에 따른 자동 초기화 등

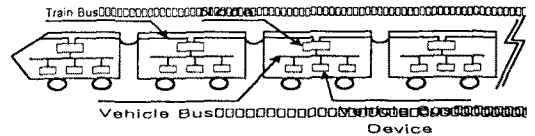


그림 1 두 계층의 TCN 구조

TCN의 구조는 두 개의 계층으로 이루어져있다. 그림 1과 같이 차량간의 통신을 위한 WTB(Wired Train Bus)와 차량내의 통신을 담당하는 MVB(Multifunction vehicle bus)로 구성되어 있다.

##### 2.1 WTB(Wired Train Bus)

차량간의 통신을 담당하는 WTB의 1,2 계층의 소재와 초기 자동 인식, 프레임 구조 등을 기술한다.

###### 2.1.1 전송매체

자주 정비되고 구성되는 차량의 연결을 고려한 WTB는 1Mbps의 속도를 가지는 Shielded Twisted wire pair를 이용한다. 배선은 기본적으로 이중으로 되어 있다. WTB는 거리 860m 이내에 32까지의 노드를 가질 수 있고 Manchester Signal을 디코딩을 한다.

###### 2.1.2 초기 자동 정렬(Inauguration)

WTB의 가장 특징적인 것은 바로 연결된 노드가 순차적으로 자동 순서 인식을 하는 것이며, 이 결과로 자신의 상대 주소를 인식하게 된다. 이러한 과정을 초기자동 인식이라 하며, 차량이 추가되거나 제거될 때 이러한 작업들이 하드웨어적으로 구현된다. 마스터키를 가지고 있

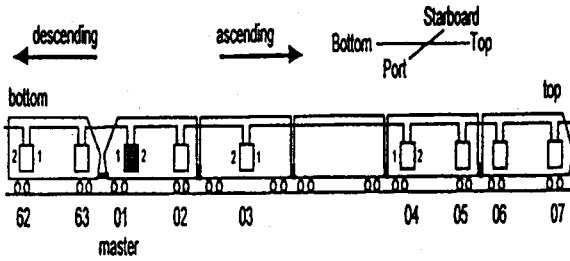


그림 2 초기 자동정렬

운전자가 어느 한 노드에 키를 넣어 동작시키면 바로 그 노드가 마스터 노드 (네트워크를 관장하는 노드)가 되며 그 노드를 중심으로 순차적인 순서가 부여된다. 이 과정이 다음 그림2에 나타나 있다.

Inauguration 작업이 완료되면, 모든 노드들은 차량들의 구성의 다음과 같은 정보를 가지게 된다.

- 자신의 주소, 마스터 노드와의 상대적인 방향과 위치
- 네트워크에 연결된 전체 노드들의 개수
- 다른 차량의 타입과 제공되는 기능
- 차량의 특성(예를 들면, 운전자의 부재)

Inauguration을 수행하기 위하여 각 노드는 두 개의 HDLC channel을 가지고 양방향으로 접속한다. 전체 차량들의 양끝의 노드들은 연결 스위치가 단락 되며, 그 중간에 배치된 노드들은 계속 연결이 된다. 이러한 연결 작업이 마치면 각 노드의 한 채널만 활성화된다. 단지 노드에게 번호를 부여하고 자신을 인식하는 것 이외에도 정보와 모드의 전환을 다루어야 하기 때문에 Inauguration의 과정은 복잡하다. 마스터 노드의 이상이 발생시 많은 문제점이 발생하기 때문에 모든 노드들은 자기 자신이 마스터 노드가 될 수 있고 자동으로 마스터 권한(Mastership)이 현재의 마스터 노드에서 다음 노드로 전달된다. 마스터가 아닌 다른 모든 노드들을 슬레이브(Slave) 노드라고 한다.

### 2.1.3 신호와 프레임 구조

전송되는 데이터는 Manchester code로 인코딩하고 있다. 각 프레임의 앞에는 동기화를 위한 preamble과 끝에는 Delimiter가 붙는다. 모든 프레임은 HDLC(ISO 3309) 표준을 준수하며 순수한 링크데이터는 0에서 1024까지의 bit를 가진다. 전송 오류를 예방하고 인지하기 위하여 frame\_check\_sequence를 둔다.

### 2.1.4 텔레그램(Telegram)

마스터 노드들은 한 발생지 슬레이브 노드와 여러 목적지 슬레이브 노드간의 통신을 관장하는데, 이것은 모두 마스터가 전송하는 프레임을 보내게 되고 각 선택된 슬레이브들은 이에 응답한다. 모든 프레임은 브로드캐스팅(Broadcasting)되며 폴링 하는 마스터 프레임과 이에 응답하는 슬레이브 프레임을 합쳐 텔레그램이라 한다. WTB와 MVB는 세 가지 타입의 텔레그램을 사용하며 Process Data Telegram, Message Data Telegram, Supervisory Data Telegram 등이다.

### 2.1.5 매체전송할당(Medium Allocation)

TCN은 실시간 통신을 위하여 매체 할당 방법을 마스터/슬레이브를 사용한다. 기본 주기가 MVB에선 다양하게 지원되지만 WTB에선 25msec로 고정되어 있다.

## 2.2 차량내 통신 버스(MVB)

MVB는 하나의 차량이나, 분리되지 않은 차량들 내의 통신을 위한 것이다.

### 2.2.1 전송 매체와 구조

MVB는 1.5Mbps의 전송속도를 가지며 RS-485, twisted wire pair, - Transformer-coupled twisted wire pair 또는 광섬유를 이용한다. 기본적으로 전송매체의 중복(Redundancy)을 필수로 하고 있다.

### 2.2.2 신호와 프레임 구조

WTB와 마찬가지로 Manchester encoding을 하며 9 bit의 Start delimiter와 End delimiter를 사용한다. 오류검사로 8bit의 Check Sequence를 가진다. 마스터 프레임과 슬레이브 두 가지의 프레임을 가진다.

### 2.2.3 매체 전송 할당

MVB는 하나의 마스터에 의하여 관리되므로 나머지 모든 노드들은 슬레이브 노드들이 되며 자신들이 임의적으로 전송할 수 없다. 전송에 있어서 세 가지의 데이터 형태를 두 가지의 서비스로 전송한다. 세 가지의 데이터 형태라 함은 WTB에서와 같이 각각의 텔레그램들을 나타내며, 두 가지의 서비스라 함은 주기적 전송과 비주기적 전송을 말한다. 기본주기를 반복하며, 그 기본주기를 나누어 주기적 전송구간에서는 주기적 프로세스 데이터를, 산발적 전송구간에서는 비주기적 메시지 데이터를 대역폭을 할당하여 전송하게 된다.

### 2.2.4 버스 관리자(Bus Administrator)

단하나의 마스터를 가지는 것은 위험하므로 여러 버스 관리자가 마스퀸(Mastership)을 가질 수 있게 한다. 마스터권을 가지고 있는 버스 관리자가 오류이면 다음 버스 관리자에게 마스터권을 수 msec 안에 전송해야 한다. 이러한 마스터권의 이동은 버스 관리자들 사이에 논리적 링구조(logical ring)를 가지어 토큰패싱(token passing)방법으로 이루어진다.

## 2.3 WTB와 MVB의 차이점

	WTB	MVB
구성	온라인상 자동정렬	고정
매체	twisted wire pair, transformer	TWP, RS485 transformer
설계거리	860 m	2000 m, 200 m, 20 m
전송속도	1.0 Mbps	1.5 Mbps
인코딩	Manchester, preambles	Manchester delimiters
프레임크기	1024 bits	256 bits
프레임포맷	HDLC	TC57
노드크기	32 nodes	4095 devices (32/segment)
주소	상대적, 자동정렬시할당	고정
리던던시	이중선	
마스터권	중앙의 마스터	
매체접근	주기적, 간헐적, 랜덤	
링크 서비스	Source-addressed Broadcast Destination-addressed datagrams	
프로토콜	Distributed Data Base for Process Data Network, Transport and Session Protocol for Messages	

표 1 WTB와 MVB의 차이점 비교

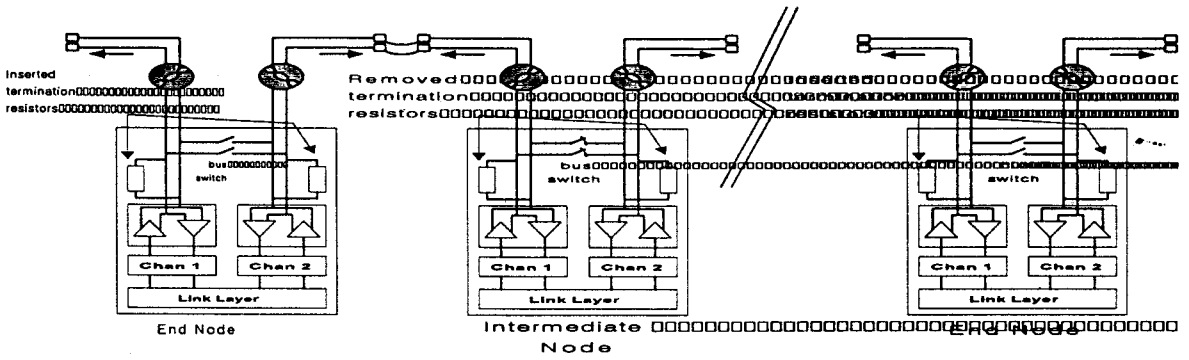


그림 3 Wire Train Bus

### 3. 개선된 WTB

#### 3.1 개선된 구조

기존의 WTB 구조는 Train Bus의 고장에 대비하여 Bus를 이중(Redundancy)으로 배치하고 하나의 버스가 고장인 경우에 나머지 버스가 실시간으로 백업을 함으로서 열차의 전체적인 기능에 아무런 이상이 없도록 만들었다. 그러나 열차의 경우에 차량간 연결이 불량하게 되면 이중화된 두 개의 버스가 동시에 단선 또는 결선 불량으로 나타날 수가 있다. 이러한 경우에는 전체 열차 편성이 두 개의 부분으로 나누어지게 되며 각 차량 그룹들 상호간에는 아무런 정보 교환이 이루어질 수 없게 됨으로서 열차의 운행에 안전성을 보장하지 못하는 경우가 생기게 된다.

이러한 경우를 해결하기 위하여 다음 그림 4와 같이 Train Bus를 링 구조로 구성하여 개선한다. 전두부의 차량과 후두부의 차량을 연결하는 미디어는 기존의 Twisted Wire Pair나 무선 통신을 이용할 수 있다.

링 구조로 개선함에 따라 열차의 초기 자동 정렬 시 자동 정렬과 동시에 트레인 버스 결선의 이상 유무를 동시에 검사할 수 있다. 또한 열차의 운행중에도 열차내의 트레인 버스 결선 이상이 발생하기 전과 마찬가지로 차량간의 정보 전달이 가능하게 됨으로서 열차 운행의 안정성과 안전성을 도모할 수 있다. 어느 한군데의 차량간의 연결상태가 불량이거나 단선이 발생한다고 하더라도 전체 열차운행에 필요한 정보의 전달에 있어서 고장 발생 전과 동일한 상태를 유지하면 현재의 고장 발생상황에 대해서 운전자에게 보고가 가능하기 때문에 고장상황에 따른 적절한 조치와 승객의 안전을 유지할 수 있다.



그림 4 개선된 구조 : 양끝을 연결하는 End-End 버스부분이 특징이다.

#### 3.2 WTB 자동 정렬

WTB에서 특징적인 노드의 자동 순서 인식을 가능하게 해주는 각 노드의 하드웨어적인 구조는 그림3과 같다. 각각의 노드는 주 채널과 보조 채널을 가지며 방향1과 방향2쪽으로 향하는 곳에 중단저항이 스위치와 함께 붙어 있다. 또한 가운데 버스 스위치가 있다.

각각의 프로시저를 살펴보자.

- Inauguration 프로시저 : 그림 2에서 보면,

- 1) 마스터는 주소 01을 받는다.
- 2) 마스터는 bottom쪽을 방향1로 top 쪽을 방향2로 설정한다.
- 3) 마스터는 방향1을 감소하는 순서로 주소 63부터 설정하고 마지막 노드를 bottom 노드라 한다.
- 4) 마스터는 방향2를 증가하는 순서로 주소 02부터 설정하고 마지막 노드를 top 노드라 한다.
- 5) unnamed node는 주 채널과 보조 채널에서 unnamed 주소를 가지고서 응답한다.

- power up 프로시저 : power up 시에는 노드들은 이전상태에 대한 정보도 없기 때문에 "unnamed" 상태가 된다. 만약 많은 노드가 세그먼트에 붙어 있다면 몇 개의 노드들이 동시에 마스터가 되는 것이 가능하고 named 구성이 충돌할 수도 있다. 그런 경우에 가장 긴 named 구성이 다른 것을 rename 시킨다.

- starting 프로시저 : 노드를 name하기 위하여 마스터는 Detect\_Request를 각각의 방향으로 보낸다. 응답하는 노드는 순차적으로 naming 프로시저를 행한다.

- unnamng 프로시저 : 이 상태는 어느 경우에 노드가 마스터로부터 unname-request를 요청 받아서 행해 지는데 각각의 노드는 중단저항을 on, 버스 스위치를 off 한다. 자신의 노드 주소를 unnamed로 설정한다.

- naming 프로시저 : end node는 인접한 노드에 Detect\_Request를 보내고 인접한 unnamed node는 Detect Response를 보내게 되는데 이때 end node는 마스터에게 unnamed node의 발견을 보고한다. 마스터 노드는 end node에게 SetInt\_Request를 보내어 end node를 중간노드로 설정한다. 중간노드로의 설정은 end node의 버스 스위치를 on 하게 된다. 그리고 unnamed node에 naming\_Request를 보내어 unnamed node를 end node로 변화시킨다. 마스터가 하나의 노드를 naming 시키는 동작은 25msec가 소요된다. unnamed 상태에 있던 노드가 마스터로부터 naming\_Request를 받아서 동작하게 되는데 각각의 노드는 중단저항을 off 하고 버스스위치를 on 한다. 또한 마스터로부터 받은 주소로 노드를 설정한다.

- recovery 프로시저 : 버스상에 마스터가 없기 때문에 각각의 노드들은 unnamed node로 바뀌고 자체 프로시저에 따라서 마스터 노드를 결정한다. 이후에는 starting 프로시저와 같다.

#### 3.3 기존 구조와 개선된 WTB 구조와의 비교

기존 WTB 구조에서는 각 노드간의 연결중 어느 한 부분이 단락된다면 전체 열차시스템이 두 부분으로 나뉘

- 베타그룹에서의 recovery 프로시저 수행시간(F) :  
 마스터 설정시간 + E\*5 ≥ 125msec

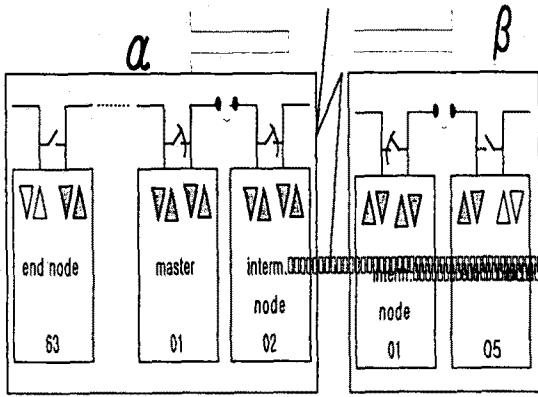


그림 5 버스 단락의 경우

에서 각각 독립적으로 마스터 노드를 가진 네트워크로 동작하게 된다. 이때의 프로시저를 보면 다음과 같다.

노드의 베타 그룹이 마스터가 없기 때문에 더 이상의 프레임 받지 못한다. 그러나 알파 그룹은 마스터에 연결되어 있지만 터미네이션이 적절히 되어 있지 못하기 때문에 프레임을 받을 수도 있고 그렇지 못할 수도 있다. 마스터는 상황을 알지 못하기 때문에 계속해서 폴링을 하게 된다. 양 세그먼트에서 마스터 회복 프로시저가 사용된다. 만약 노드가 세 번 계속해서 Presence Response를 놓치게 된다면, 이것은 버스의 파괴를 의미하고 노드들은 그 자신을 unname 시킨다. 그후 마스터는 다시 정상적으로 naming 동작을 수행하게 된다. 그리고 베타그룹은 베타그룹의 한 노드가 마스터가 되어서 독립적으로 네트워크를 수행하게 된다.

그러나 개선된 구조에서는 마스터가 세 번의 연속된 No\_Response를 확인하게 되면 해당 노드들의 이상으로 간주하고 무응답 바로 전 노드의 종단저항을 off 하고 버스 스위치를 off한다. 그리고 end-end 버스를 통해서 반대편 끝에 있는 노드에 마스터권을 부여한다. 이때 새로이 마스터권을 부여받은 노드(B)는 단락전의 노드의 상태정보와 단락 예상지점의 상태 정보를 통해서 단락 예상지점 노드의 종단저항을 off 하고 버스 스위치를 off 한다. 그리고 베타그룹의 각각의 노드들의 상태를 체크하여 베타그룹만의 정상적인 네트워크를 완성시킨다. 원래의 마스터 노드 (A)는 새로운 마스터 노드 (B)가 준비작업을 하는 동안에도 알파그룹의 네트워크를 정상적으로 운용한다. 베타그룹의 마스터 노드는 네트워크 점검을 마친 후에 바뀐 베타그룹의 상태 정보를 원래의 마스터(A)에 전송하고 슬레이브 모드로 전환하고 마스터 노드(A)는 end-end 버스를 이용하여 완성된 형태의 버스를 구성하게 된다. 이를 통해서 단락 이전의 상태와 동일한 네트워크를 최단시간에 구성할 수 있게 된다.

전체 노드의 개수가 10개이며 이중 왼쪽 끝 노드가 마스터, 5번째 노드의 단락 상태에서 결과를 기존 WTB 구조와 개선된 WTB 구조를 비교해 보자.

- unname 시간(A) : 10msec
- end-end 노드의 송수신 주기시간(B) : 20msec
- 베타그룹에서 하나의 노드 액세스 시간(C) : 1msec
- 노드의 종단저항 off와 노드스위치 on(D) : 25 msec
- 하나의 노드의 naming 수행시간 (E) : 25msec

단락후 체크항목	WTB구조	개선된 WTB 구조
원상회복 여부	원상회복 불가능	원상 회복
정상상태도달시간	길다	짧다
프로시저 총시간	A+F=135 msec	B+4*C+D=44msec

표 2 기존의 WTB 구조와 개선된 WTB 구조와 비교  
 : 마스터 노드의 unname 시간은 미산임

### 3.4 시뮬레이션

위에서 제안한 개선된 WTB구조의 동작을 확인하기 위하여 PC상에서 멀티태스킹 시뮬레이션을 수행하였다. 자동정렬에 대해서 정상적으로 동작하는지를 확인하고 차량간의 버스 단락시에 유효하게 동작하는지를 검토하였다. 또한 여러 가지 다양한 경우에 각각의 노드가 정상적으로 응답하는지를 통하여 개선된 구조의 가능성을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 IEC의 WG9에서 표준화 작업중인 TCN의 WTB의 소개와 개선된 구조의 WTB를 제시하고 각각의 경우에서 동작 상태를 보이고 장단점을 비교함으로써 바람직한 WTB의 모델을 제시하고자 하였다. 또한 PC에서의 멀티 태스킹 프로그램으로 시뮬레이션을 통해서 제안된 구조의 동작과 기존의 구조와의 비교를 통해 개선된 모델의 가능성을 검증해보고자 시도했다. 개선된 구조를 통해서 이상 상태의 발생 시에도 안정적인 열차내의 트레인 버스의 동작을 검증해 보았다. 추후 연구과제로는 전두부와 후두부를 연결하는 미디어로서 무선 LAN을 이용하는 방법에 대해서 고려되어야 할 것이다. 현재 진행중인 한국형 고속전철 프로젝트에서는 IEC WG9에서 TCN을 채용할 예정이며 안전성 및 안정성을 향상시키고 고장에 강한 트레인 버스의 구조를 적용함으로써 한국형 고속전철의 시스템 구성에 기여할 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] "Train communication network," IEC 9/332/CD, Oct.1994.
- [2] Gianosvaldo Fadin and Franco Cavaliere, "IEC TC9 WG22 TRAIN COMMUNICATION NETWORK DEPENDABILITY and SAFETY concepts," in *World Congress on Railway Research '97*, 1997
- [3] Gianfranco Cau, "From the research to the applications of a new concept of data communication infrastructure on board of rolling stocks," in *World Congress on Railway Research '97*, 1997
- [4] Kirrmann, A., Hopli, E., Leeb, C., Claessen, U., Blumer, H., Marsden, W. and Seiffert, R., "IEC Train Communication Network," in *Proceedings, 16th Conference on Transportation Systems. Automation in Transportation '96*, p. 88-91, 1996
- [5] 이상철, 박재현, "전동차 차량용 네트워크의 모델링과 시뮬레이션," in *Proceedings of the 12th KACC*, Oct 1997
- [6] 연구보고서, "고속전철 차량진단처리 시스템 엔지니어링 기술개발," 한국과학기술연구원, 1997
- [7] 연구보고서, "기반기술 연구보고서 차량분야," 한국철도기술연구원, 1997
- [8] 연구보고서, "고속전철 진단용 전문가 시스템 기술개발," 인하대학교, 1997