

전동차 통신시스템 성능평가를 위한 시뮬레이터 개발

이수길, 한성호, 구동희, <sup>0</sup>모창우, \*최성훈  
 한국철도기술연구원 기촌철도기술개발사업단, <sup>0</sup>(주)경일정보기술, \*대불대학교 e-비즈니스학과

A Simulator for the Performance Evaluation of the Train Communication Network(TCN)

Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Dong-Hoe Goo, <sup>U</sup>Chang-Woo Mo, \*Seong-Hoon Choi  
 Korea Railroad Research Institute, <sup>0</sup>Kyung il Information Technology Co., \*Depart. of e-Business, Daebul Univ.

**Abstract** - This paper presents a Train Communication Network simulator (TCNS) that can be used to evaluate the performance of TCN. TCN was accepted as the standard of the protocol for the communication network in trains. We carry out some simulation tests using the TCNS to show practical uses of the simulator. Results of some simulation tests are also reported.

1. 서 론

기존선에서의 열차 속도 향상과 경협철도 연결로 중국, 러시아, 유럽까지 열차의 연계를 위해서는 열차제어 장치간의 통신 시스템으로 필드버스방식을 많이 채택하여 사용하고 있다. 필드버스방식 중에서 TCN은 이미 1999년 국제 표준 IEC 61375으로 채택이 되었다. 이에 국내에서는 G7차량에 적용되어 운용되고 있고, 향후 국내에서도 활발히 적용될 것으로 판단되어, 본 논문은 TCN 성능 평가를 위한 전용 시뮬레이터인 Train Communication Network Simulator (TCNS)를 소개하고 있다. TCNS는 TCN을 도입하는 과정에서 각 장치 사이의 데이터 통신상에서 발생하는 여러 가지 문제점들을 사전에 파악하기 위한 목적으로 활용 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절은 TCN에 대한 개요이다. 3절에서는 TCNS의 구성 요소에 대해 기술하고 있다. 4절은 시뮬레이션 실행 및 분석 결과를 서술한다. 끝으로 결론에서는 향후 연구 방향이 제시되어 있다.

2. Train Communication Network (TCN)

2.1 TCN의 국제 표준

TCN은 두 가지 수준의 버스를 가진 계층 구조로 되어 있다. 그림 1에서처럼 차량들을 연결하고 있는 Wire Train Bus(WTB)와 하나 또는 여러 대의 차량에 부착 되어 있는 장치들을 연결하는 Multifunction Vehicle Bus(MVB)를 포함한다. TCN에서는 WTB와 MVB를 통하여 통신을 수행하는 디바이스들을 노드라고 정의하고 있다.

TCN의 국제표준 IEC 표준 1473-1999 Type T

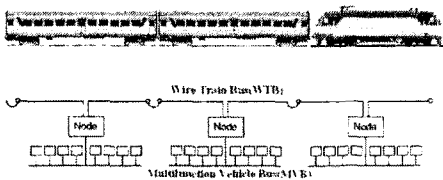


그림 1. TCN의 국제 표준 규격

2.2 WTB

WTB는 그림2에서 보여주듯 hand-plug jumper

cable이나 automatic coupler를 통해 차량들을 상호 연결한다. WTB는 몇몇 유럽열차들에서 신뢰성이 검증된 twisted shielded-wire pair를 사용한다. 또한 중계장치 없이 860m를 설치 할 수 있어야 한다. WTB의 전송 주기는 25ms이다. WTB는 Data전송시에 발생할 수 있는 손상을 줄이기 위하여 Manchester encoding 구조로 전송한다.

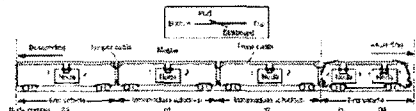


그림 2. WTB의 레이아웃

2.3 MVB

열차에서 발생하는 어셈블리, 시운전, 그리고 서버 시스템 재사용을 단순화하기 위하여 TCN에서는 MVB를 사용한다. MVB는 1.5Mbps의 전송 속도를 가지고 있다. MVB에서는 200m이상의 광섬유를 설치할 수 있어야 하며, 광섬유는 250um을 사용한다. MVB의 전송주기는 1~2ms이다.

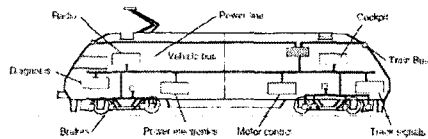


그림 3. MVB의 레이아웃

MVB에서는 WTB에서 사용되는 Manchester encoding 구조과 체크섬, IEC60870-5FT2class를 통하여 데이터 손상에 대한 높은 보전성을 포함한다.

2.4 데이터 트래픽

물리적으로나 연결 계층에 차이에도 불구하고, WTB와 MVB는 같은 동작원리를 가진다. TCN 버스들은 두 가지 형태의 데이터를 전송한다. 프로세스 변수 (Process Variables)와 메시지 데이터이다. 프로세스 변수들은 속도나 모터의 전류, 운전자의 명령 등과 같은 열차의 상태를 나타낸다.

프로세스 변수는 짧고 결정성이 좋아야 한다. TCN은 첫 번째 차량의 버스에서 두 번째 차량의 버스까지의 전달 간격이 100ms보다 작아야 한다. 전달 지연 시간을 보충하기 위하여 TCN에서는 프로세스 변수를 주기적으로 전송한다. 메시지 데이터는 비정기적으로 발생하며, 진단 정보 또는 승객 정보 등과 같이 양이 많은 정보를 가지고 있다. 즉, 데이터에 대한 트래픽은 주기성 (periodic)과 비주기성 (sporadic) 두 종류가 있으며, 각각은 프로세스 변수와 메시지 트래픽에 대응된다. 이들은 같은 버스를 공유한다.

트래픽은 MVB와 WTB에서의 기본 주기에 따라서 발생한다. 또한 트래픽의 부하량을 줄이기 위하여 중요

한 데이터는 각 버스의 기본 주기에 맞추어서 보내고, 다른 장치들은 그 중요도에 따라서 2 주기 (50ms), 4 주기 (100ms), 8 주기 (200ms) 당 한번씩 전송이 이루어진다. 그러나, 이 모든 주기가 1,024ms를 넘지는 않는다. 이것을 정리한 것이 표 1이다.

TCN의 기본 프로토콜은 정해진 전송 지연 시간을 보장해 주어야 하기 때문에 기본적으로 토큰 링 방식을 채택하고 있다. 버스 마스터에서 각 장치에 발생 주기에 따라 장치들의 정보를 구성하고 있는 변수 규정자 (Variable identifier)를 (그림 4 참조) 그림 5와 같이 특정한 수동자 (slave) 를 설정하지 않은 상태로 전송을 하고 각 수동자는 상태 값을 버스 마스터에 전송한다.



그림 4. Basic period

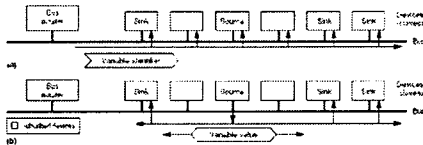


그림 5. Variable 전송 알고리즘

업무	종류	빈도(주기)	Bus 기본 주기
상태 DATA 요청	ACC	100ms	25ms
	신호장치	250ms	
	발송장치	150ms	
	PRC	500ms	
통상정보	무선장치	150ms	1-2ms
	CMSB	200ms	
	ECU	50ms	
	VWF	25ms	
차량원시정보	SV	25ms	■ REAL DATA
	ECU	50ms	
	VWF	25ms	
차량원시정보	SV	25ms	■ REAL DATA
	ECU	50ms	
장치상태검지	ECU	50ms	■ REAL DATA
	ECU	50ms	

표 1 각 장치별 발생 주기

### 3. Train Communication Network Simulator (TCNS)

통신 시스템의 성능 평가를 위해 시뮬레이션 기법이 흔히 적용된다. 시뮬레이션을 통해 통신 시스템의 가동 상황을 사전에 관찰하고 각종 파라미터의 값들을 설정하고 문제점을 발견하여 이를 해결 할 수 있는 방안 수립이 가능하다. 본 연구에서는 TCN의 성능 평가를 위한 시뮬레이터인 Train Communication Network Simulator (TCNS)를 개발하였다. 이를 개발하기 위하여 상용 시뮬레이션 소프트웨어 AweSim! ver 3.0과 비주얼 C++ 6.0을 사용하였다.

#### 3.1 AweSim! ver 3.0의 특성

AweSim! ver 3.0은 네트워크 시뮬레이션 분야에서 가장 많이 사용되는 제품이다. AweSim!은 C 언어를 기반으로 개발된 시뮬레이션 소프트웨어이다. 통신 네트워크 모델링에 적절한 모델 구성요소들을 채용하고 있으며, 비주얼 C++ 6.0과 비주얼 베이직 6.0을 사용하여 사용자 정의 코드를 추가할 수 있으므로 유연성이 높은 시뮬레이션 툴이다. TCNS는 TCN의 구성 요소들을 기능과 역할에 따라 구분된 7 개의 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 AweSim!ver3.0의 특성치(attribute)를 근간으로 해서 개발되었다. 각 모듈에 대한 설명을 표 2와 같다.

#### 3.2 시뮬레이션 시작 모듈

TCNS의 메인 역할을 하는 모듈로 시뮬레이션 하고자 하는 열차의 수 만큼 개체를 생성한다.

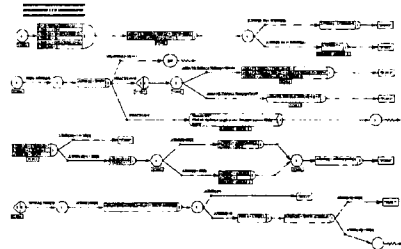


그림 6. AweSim!으로 구현된 TCN 메인 모듈

모듈 이름	수행 기능
시뮬레이션 시작 (ERRI SIMULATION START)	시뮬레이션에 필요한 개체 생성
기차 이동 애니메이션 (MOVING TRAIN ANIMATION)	무선 모듈링 및 애니메이션 수행
차량 (VEHICLE)	차량에서 각 노드의 발생 주기에 맞추어서 상태 전송 전송
패킷 전송 (PACKET LENGTH REFERENCE)	패킷 전송량 검출
토큰 (TOKEN MODULE)	토큰 생성
에러 처리 (TCN ERROR)	에러 발생 및 복구알림
TCN 마스터 (TCN)	각 노드별 발생 주기 설정 및 변수 설정자 전송

표 2. TCNS 구성 모듈

변수명	특징 및 사용처
ATRIB	각 개체에 종속되는 지역 변수이다. 값을 변경하면, 현재 활성화 되어 있는 개체의 값만 변경이 된다. 실수를 정의한다.
LTRIB	각 개체에 종속되는 지역 변수이다. 값을 변경하면, 현재 활성화 되어 있는 개체의 값만 변경이 된다. 정수를 정의한다.
XX	시스템 전체에 연관되는 전역 변수이다. 값을 변경하면, 시스템 전체에 효과가 미친다. 실수를 정의한다.
LL	시스템 전체에 연관되는 전역 변수이다. 값을 변경하면, 시스템 전체에 효과가 미친다. 정수를 정의한다.
ARRAY	전역 변수로, 1차원 배열의 형태를 취하며, 배열간 구분을 위해 추가로 첨자가 필요하여 첨자 서술은 2차원 배열 모양을 취한다.

표 3. AweSim!의 특성치

#### 3.3 기차 이동 애니메이션 모듈

ATP는 열차가 지상자를 통과하는 순간 열차에 운행 속도 및 선행 열차의 상태 정보등을 전송한다. 본 연구에서는 ATP 시스템의 특성에 따라서 지상자에서 데이터를 전송 받는 무선 통신과 ATP에서 마스터로 데이터를 전송하는 TCN 유선 통신으로 분리하여 구축하였다. 기차 이동 애니메이션 모듈에서 무선 통신 부분에서의 성능 평가가 수행된다.

#### 3.4 차량 모듈

버스 마스터에서 변수 규정자가 전송되어 오면 프로세스 변수의 값들을 전송하는 모듈이다.

#### 3.5 패킷 전송 모듈

토큰 발생 주기의 선정은 TCN 각 버스의 전송 주기 내에 패킷 단위로 분리된 데이터가 모두 전송 되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 아래의 공식에 따라서 주기를 설정한다.

$$\text{토큰 발생 주기} \leq \frac{\text{패킷 1회 전송량} + \text{헤드비트량}}{\text{버스 전송속도}}$$

$$\text{버스 전송 시간} = \frac{\text{버스 전송용량}(Mbps)}{1000ms}$$

### 3.6 토큰 모듈

TCN은 정해진 전송 지연 시간을 보장해 주어야 하기 때문에 토큰 링 방식을 채택하고 있다. 본 모듈에서는 차량 모듈과 TCN 모듈의 개체들이 패킷을 전송하는 권한을 순차적으로 제어하는 역할을 하고 있다.

### 3.7 예러 처리 모듈

본 TCN에서 토큰 링을 통하여 전송 시에 발생하는 Error를 TCN의 Error유에 따라서 랜덤하게 Error를 발생 시키는 역할을 한다.

### 3.8 TCN 모듈

버스 마스터의 역할을 담당하는 모듈이다. 버스 마스터는 표 4과 같은 기능을 한다.

버스 마스터의 기능	
변수 규정자 설정	
차량으로 전송하기 위한 전송량을 계산하고, 패킷 단위로 분할 전송	
각 차량별 로프로세스 변수 전송	
유선 및 무선 통신 상의 예러 체크	

표 4. TCN의 기능

### 3.9 TCNS 실행

그림 7은 시뮬레이션 실행시 수행되는 애니메이션 화면의 예이다.

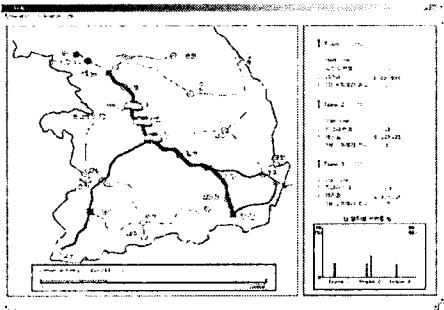


그림 7. TCNS 실행 화면

### 4. 실험 및 분석 결과

TCNS를 통하여 TCN 및 무선 통신의 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가를 위하여 열차가 서울에서 부산까지 주행 하는 거리와 시간을 계산하여 시뮬레이션을 실시한다.

#### 4.1 TCN의 토큰 발생 주기와 패킷 1회 전송량과의 상관 관계 파악을 위한 실험 및 분석

토큰 발생 주기와 패킷 1회 전송량과의 상관 관계를 분석하기 위해서 3.5 절의 공식에 따라서 표 5와 같은 대안을 설정하여 시뮬레이션을 동일한 패킷 에러율 0.001을 적용하여 시뮬레이터를 수행한 결과, 그림 8에서와 같이 발생 에러율이 1% 미만이며, 3 회 연속 에러가 발생하지 않고, TCN의 표준에서 정의 하고 있는 WTB 전송용량 1Mbps의 대안 4와 대안 6을 선정하였다.

#### 4.2 TCN의 주기성 트래픽 처리 소요 시간

본 절에서는 주기성 트래픽의 처리 소요 시간에 대한 분석을 수행 하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위하여 4.1 절에서 선정된 토큰 발생 주기 0.25ms로 설정하였다. 주기성 데이터의 트래픽 처리 소요 시간의 올바른 선정을 위하여 표 6와 같이 대안을 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수행한 결과는 그림 9와 같다.

시뮬레이션을 수행한 결과 대안 2와 3이 비주기성 트래픽을 처리 할 수 있는 여유 시간을 가지고 있었다. 이 중에서 대안 2는 패킷의 1회 전송량이 256bit로 데이터 길이에 따른 에러율의 증가로 대안 3을 선정하였다.

대안	토큰 발생 주기	패킷 1회 전송량	버스 전송 용량
1	0.1ms	64bit	2Mbps
2	0.15ms	96bit	1.5Mbps
3	0.2ms	128bit	1.3Mbps
4	0.25ms	160bit	1Mbps
5	0.3ms	196bit	1.1Mbps
6	0.35ms	228bit	1Mbps

표 5. 상관 관계

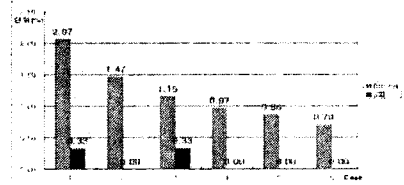


그림 8. 대안에 따른 시뮬레이션 결과

대안	패킷 1회 전송량	토큰 발생 주기	버스 전송 주기
1	128bit	0.27ms	25ms
2	256bit	0.35ms	25ms
3	128bit	0.25ms	25ms

표 6. 주기성 트래픽의 처리 소요 시간

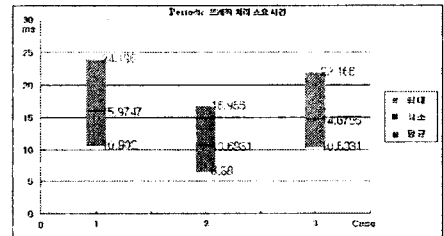


그림 9. 주기성 트래픽의 처리 소요 시간 결과

## 5. 결 론

본 연구에서는 필드버스 성능평가용 시뮬레이터인 TCNS를 개발하였다. TCNS를 통하여 시뮬레이터의 효율성을 알아보기 위하여 토큰과 패킷 1회 전송량, 버스의 전송속도간의 상관 관계를 분석하였고, TCN의 에러율 변화에 따른 결과를 분석하였다. 이에 국제 표준에 맞는 기준을 따를 수 시스템 파라미터를 도출할 수 있었다. 본 연구 과제에서 개발된 TCNS는 TCNS 모델에 더 많은 정보와 기능을 구현할 수 있도록 추가 연구를 진행 중에 있다. 그리고, 시뮬레이션 활용 추가 연구로 전국 열차 운행 스케줄 평가용 시뮬레이터 개발을 고려할 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std. 1473-1999, IEEE Standard for Communications Protocol Aboard Trains, IEEE, Piscataway, N.J., 1999.
- [2] International Electrotechnical Committee, Train Communication Network, IEC 61375, Geneva, 1999; <http://www.iec-tcn.org>.
- [3] Kirrmann, Hubert, and Zuber, Pierre A., "The IEC/IEEE Train Communication Network", *IEEE MICRO*, 2001, pp. 81-92.
- [4] Pritsker, A. Alan B., O'Reilly, Jean J., and LaVal, David K., *Simulation with Visual SLAM and AwcSim*, John Wiley & Sons, 1997.