

고속열차(KTX)의 TORNAD 네트워크시스템 데이터 분석방법 연구

Research on data analysis method of KTX TORNAD network system

김형인* 정성윤** 김현식*** 정도원 **** 김한도*****
Kim, Hyeong-In Jung, Sung-Youn, Kim, Hyun-Shik, Jung, Do-Won, Kim, Han-Dou

ABSTRACT

KTX train system is composed of TORNAD* network for transmitting information of train's internal equipments and OBCS which proceed information within train. OBCS of one trainset consisted of 28 equipments takes intelligent and dynamic composition according to equipment handling, train command and control flow. Each OBCS which is installed within trainset handle and supervise mutually action information about equipments, transmit it to driver to transmit information about train operation and preventive management. This mutual supervision and information transmission use KTX TORNAD* network system. TORNAD* network system is the one which is uniquely developed by GEC ALSTHOM, the KTX trainset manufacturing provider and this field is excluded from technical know-how transfer item. Through the research on analysis method of KTX TORNAD* system data structure which is operating on Seoul-Pusan Line, I hope that this thesis can contribute to train network system's standardization after applying it to improvement of train network system maintenance, enhancing quality of train service and applying it to future Korean rolling stock network system development.

1. 서론

고속열차 운용력 향상되고, 안정화 되면서, 정부의 새로운 차세대 고속열차개발에 연구지원 및 민간 기업이 참여하면서, 연구투자가 증가하고 있다. KTX 열차제어장치에 대한 장치별 기술개발이 상당히 진행되고 있다. 장치별 기술개발 되면서, 장치간의 상호 총괄제어하는 정보처리 통신에 대한 기술력이 상대적으로 요구되고 있다. KTX 고속열차 열차제어시스템은 차량의 정보처리를 하는 차량컴퓨터(OBCS)와 열차 내 장치들 정보전달을 위한 TORNAD* 네트워크로 구성되어 있다. 편성 당 28대의 차량컴퓨터는 차량 내 기기 취급, 열차 명령, 제어 변화에 따라 지능형 동적 구성을 취한다. 열차 내 설치된 각 차량컴퓨터는 장치에 대한 동작정보를 취득 상호감시하고, 운전자에게 전달하여 열차 운행 및 선형(예방)조치에 대한 정보를 전달한다. 이러한 상호감시 및 정보전달은 KTX의 TORNAD* 네트워크시스템을 사용한다. TORNAD* 네트워크시스템은 KTX 차량제작공급사인 GEC ALSTHOM이 독자적으로 개발한 시스템으로 기술이전 품목에서 제외된 분야이다. 경부축 고속열차 운용중인 KTX의 TORNAD* 시스템 데이터 구조 분석방법 연구를 통하여, 차량네트워크시스템 차량 정비도 향상에 응용하여, 열차서비스 품질을 높이고, 향후 한국형 철도차량 네트워크시스템 개발에 적용되어, 차량네트워크시스템 표준화되는 기초가 되고자 한다.

* 코레일 철도연구원 기술연구팀 Tel:031-815-1525

** 코레일 철도연구원 기술연구팀

*** 코레일 철도연구원 기술연구팀

**** 코레일 철도연구원 기술연구팀

***** TORNAD*(Token Ring Network Alstom Device Star) : ISO/OSI 7계층기반중 4계층으로 구성된 GEC ALSTHOM 개발품

2. KTX의 TORNAD 연결보드

2.1 네트워크연결보드 CRVP(Coupleur Reseau VME)

CRVP 보드는(VME 네트워크커플러)은 차량컴퓨터 사이 TORNAD 네트워크 인터페이스를 형성하고, 통신 프로토콜을 제공한다. CRVP 보드는 플러그인블록으로 TORNAD* 네트워크용으로 설계된 커플러블록으로 보드 후부 P2커넥터(하단)를 통해 TORNAD 네트워크와 연결되어 있다. TORNAD 네트워크 연결은 TBC(토큰버스제어장치)와 TPM(모뎀), LCA로직 PROM, Line-Head 디바이스, 전압변압기, 입력단, 출력단을 포함하는 전송인터페이스로 연결된다. 전원 인가시와 작동중, CRVP보드는 자가시험을 실시하며, 고장과 오류가 감지되지 않으면, RUN 녹색LED와 SERV 녹색LED(정상동작)가 점등한다. 자가시험은 입력에 대한 네트워크 출력의 looping, 계전기를 이용해 TORNAD 네트워크로부터 차단된 보드, 수신된 신호와 전송된 신호의 비교, cable head와 전체 네트워크 인터페이스가 정상적으로 작동하고 있는지 점검한다. CRVP 보드 동작 고장이 발생하면, 녹색 LED가 소등하고, 적색 LED 중 하나가 점등한다.

2.2 네트워크 관리보드 CRVR(Coupleur Reseau VME Router)

CRVR(IS/GS) 보드는 VME 버스를 통해 통신하는 두 개의 CRVR(IS), CRVR(GS) 보드로 구성되어, 각 CRVR(IS/GS) 보드가 로컬 TORNAD 서브네트워크에 연결되어 있는 상태에서 TORNAD 네트워크 라우터를 관리하는 기능을 제공한다.

2.3 모터블록 네트워크 연결보드 CRVB(Coupleur Reseau VME Block)

CRVB 보드는 (VME 네트워크커플러)은 MBU 추진장치컴퓨터와 TORNAD 네트워크간 인터페이스를 형성하고, 통신 프로토콜을 제공한다.

2.4 CRV 연결보드 내부 특성

VME 공유로컬메모리 마이크로프로세서(000000~1FFFFFF)는 512Kb 메모리로 마이크로프로세서와 VME VIC068 인터페이스 간에 공유된다. TBC 토큰버스제어기(200000~2FFFFFF)는 256Kb 메모리와 마이크로프로세서간 데이터와 명령을 교환 할 수 있도록 한다. 또한 TBC가 특정 매개변수를 저장하는 데에도 사용되며 마이크로프로세서를 통해 읽힐 수 있다. SPY보드에 공유SRAM을 취부하여 TBC와 마이크로프로세서사이 공유로컬메모리 데이터를 SRAM으로 수시로 복사 저장하여, UART를 통해 분석 장비로 다운로드 임시 저장하여 데이터 분석에 사용한다. XC3064 LCA 전송인터페이스 접근회로(900000~9FFFFFF)는 4개 레지스터로 구성되어 동작한다. 소프트웨어 Flash EEPROM (F00000 ~ FFFFFFF)은 512Kb 메모리로 CRV 보드 작동 소프트웨어 코드가 있다.

3. TORNAD 계층구조(ISO/OSI)

TORNAD 네트워크는 열차내의 차량컴퓨터로 이루어진 네트워크로서 ISO/OSI 표준모델 7계층 중 4계층으로 구성되어 있고, CRV보드(ES,IS,GS)가 자기 차례가 돌아 올 경우 TORNAD 네트워크상의 하나 또는 여러 개의 CRV보드에 정보를 전달하거나, 다른 서브네트워크로부터 정보를 수신한다. CRV보드의 식별은 차량컴퓨터번호, 편성번호로부터 판별 될 수 있으며, CRV보드는 전송서비스를 사용하는 다른 어플리케이션보다 상위에 있으므로, 어느 어플리케이션인지 어플리케이션번호, 장치번호, 편성번호를 알 수 있다. TORNAD 네트워크 전송모드는 연결모드와 비연결모드가 있으며, 송신 및 수신시 우선순위 원리에 의하여 전달 순위가 결정된다. 연결모드와 비연결모드(테이타그램 모드)가 있으며 송신 및 수신시 우선순위에 의하여 전달 순위가 결정된다. 연결 또는 비연결 모드하에서 어플리케이션 메시지들은 시작지와 목적지에 대한 주소를 갖고 있다. 연결모드하에서 소스와 목적지에 대한 주소가 개별주소이지만, 데이터그램 모드하에서는 소스는 개별이지만 목적지는 개별 혹은 그룹이 될 수 있다. KTX 열차는 반편성단위의 차량컴퓨터를 연결하는 2개의 서브네트워크를 갖는다. CRV보드는 스테이션 또는 ES(End System)이라하고, 각 CRV보드는 고유의 서브네트워크에 연결되어, 2개의 서브네트워크로 구성된다. 보

조컴퓨터(APU)는 주컴퓨터(MPU) 장애대체 및 네트워크관리, 라우터기능을 갖는 3 장의 CRV-ES, CRV-IS(Intermediate System, 좌측)와 CRV-GS(Gateway System,우측)로 구성되어 서브네트워크와의 선별적인 정보전달과 서브네트워크 사이의 연결과 분리시 네트워크 동적인 재구성을 가능하게 한다. 전부 동력차와 후부 동력차 보조컴퓨터에는 2 개의 CRVR 라우터 보드가 각각 서브네트워크를 관리하며, '서브네트워크 0'에서 발생한 메시지는 후부 동력차 라우터에서는 통과되며, 다시 전부 동력차 CRVR 보드에 도착하면, 동일한 메시지인지 비교한다. 또 한 '서브네트워크 1'에서 발생한 메시지가 전부 동력차 CRVR 보드에 도착하면, 통과되고, '서브네트워크 0'에서 사용 된 후 후부 동력차 라우터에 도착하면, 동일한 메시지인지 비교한다.

3.1 네트워크 계층(Network Layer)

TORNAD 네트워크는 열차들의 연결, 비연결에 따라 동적으로 작용한다. TORNAD 네트워크는 IP (Internet Protocol) 프로토콜을 통신프로토콜로 사용한다. 이러한 네트워크는 비연결 형태로 제공된다. IP 프로토콜상의 동적형태에서 라우팅 문제를 해결하기 위해 TORNAD는 서브네트워크의 라우팅장치(Intermediate System)와 단말장치(End System)와의 정보교환을 위해 ES/IS 프로토콜을 사용한다.

3.2 트랜스포트 계층(Transport Layer)

어플리케이션 메시지들이 최종단들 간에 서로 송수신 할 수 있게 사용자에게 보여주지 않는다. TORNAD 네트워크에서 제4계층은 클래스4 연결모드하에 전송서비스를 제공하고, 어드레싱은 P2P, multipoint, diffusion 모드를 사용한다. SNPA는 특정 서브네트워크 안의 개별 스테이션(SNPA)이나 그룹 스테이션을 확인 한다. 이것은 6 바이트로 코드화 되어 있고, 같은 서브네트워크 안의 장비들을 확인 할 수 있다. 매체접근제어기(MAC : TBC component)는 SNPA를 사용하여 수신 된 프레임을 필터링하고 MAC 프로토콜을 다룬다.

3.3 라우팅

열차들의 ES나 이웃차량 ES 인지가 가능한 ES/IS ISO 9542 프로토콜은 동적으로 네트워크의 재구성이 되었을 경우에도 라우팅이 가능하도록 되어 있다.

- NPDU 헤더와 NSDU에 있는 라이프스팬(lifespan) 카운터
- 특수 NSDU : 각각의 IS가 주기적으로 전송하는 RRT HELLO
- NSDU : IS열차나 주변 열차에 대한 정보(열차확인정보, 열차상황정보, 열차연결정보)을 갖는다.

3.4 차량별 차량컴퓨터 코드식별

차량컴퓨터위치	장치코딩번호	차량컴퓨터위치	장치코딩번호	차량컴퓨터위치	장치코딩번호
P1-MPU01	55	TR01-TPU01	84	TR11-TPU01	8E
P2-MPU01	44	TR02-TPU02	95	TR12-TPU01	9F
P1-APU01	47	TR03-TPU01	96	TR13-TPU01	90
P2-APU01	56	TR04-TPU01	87	TR14-TPU01	81
P1-MBU01	5A	TR05-TPU01	88	TR15-TPU01	82
P1-MBU02	4B	TR06-TPU01	99	TR16-TPU01	93
TR1-MBU03	4D	TR07-TPU01	9A	TR17-TPU01	A5
P2-MBU01	48	TR08-TPU01	8B	TR18-TPU01	B4
P2-MBU02	59	TR09-TPU01	9C		
TR18-MBU03	5C	TR10-TPU01	8D		

4. 데이터 수집 장비 및 구성

4.1 데이터수집 장비

- PC_DEP_PACK 진단소프트웨어 및 노트북
- NETWORK SPY BOARD & protocol analyzer (데이터 수집분석기)

4.2 KTX 차량컴퓨터 네트워크구성 및 CRV보드 블록도

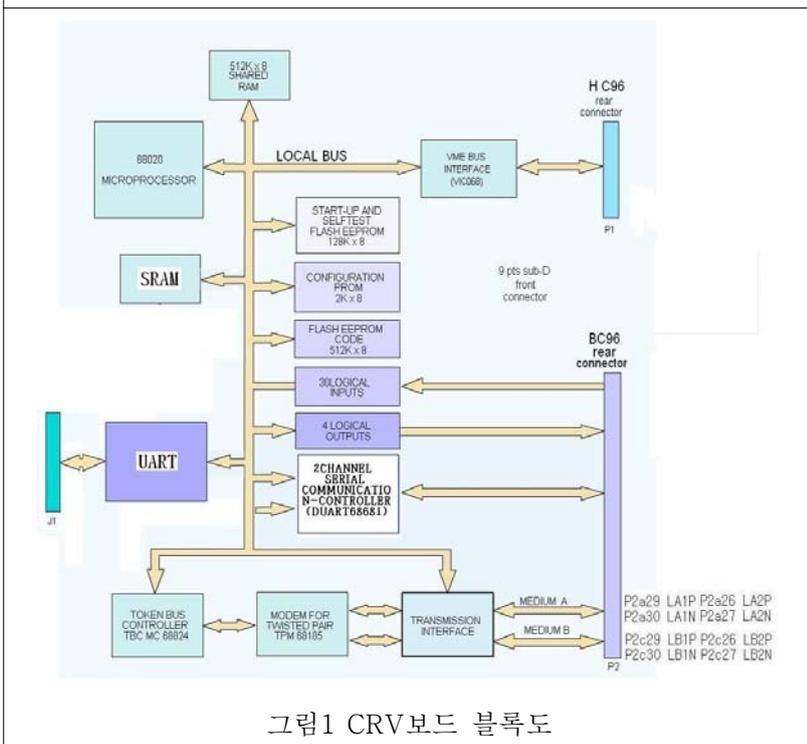
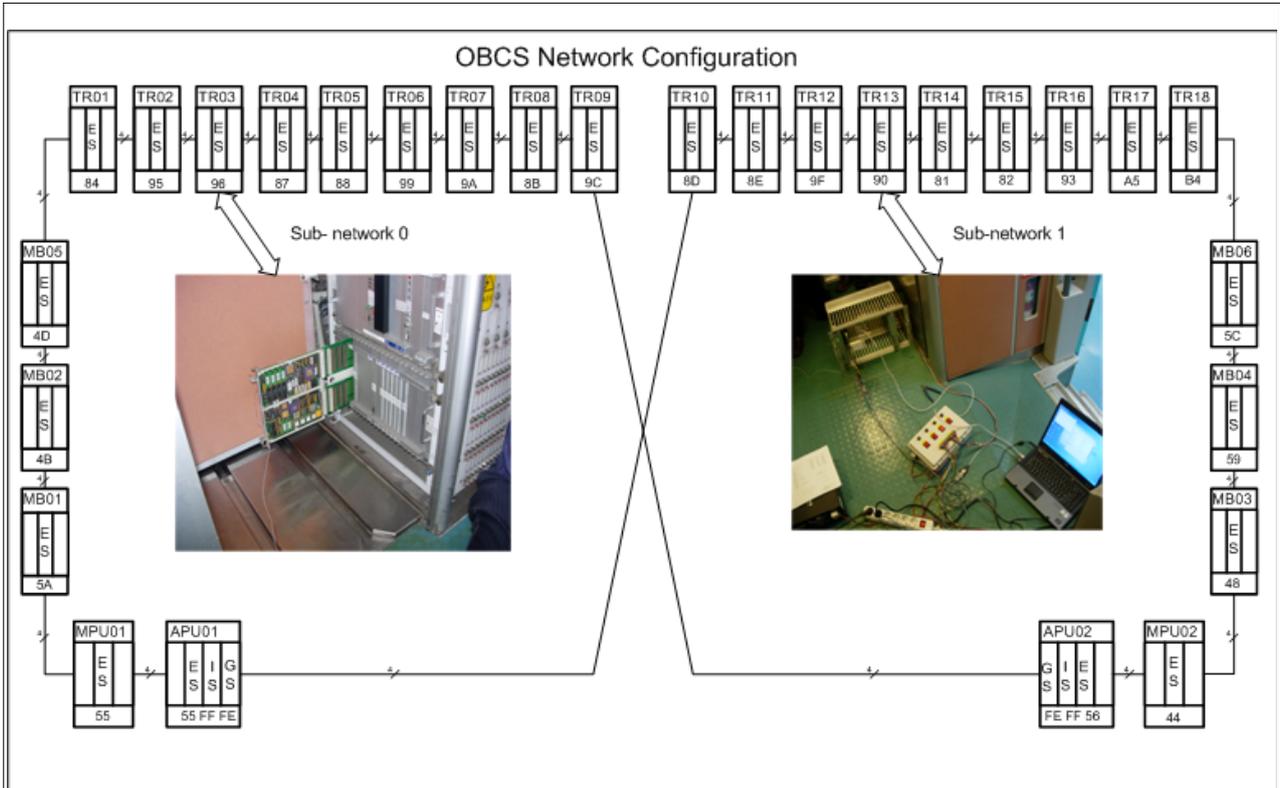


그림1 CRV보드 블록도

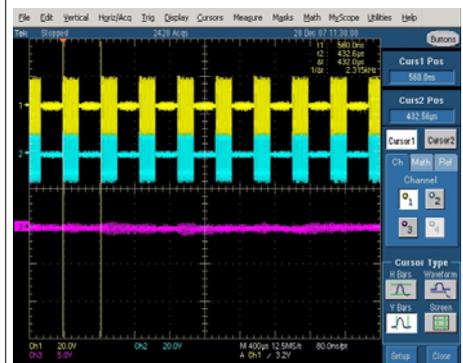


그림2 DATA 전기적신호레벨

5. KTX 차량컴퓨터 종류별 데이터 구성 형태

5.1 주컴퓨터(MPU) 데이터 구성

MAC Destination Address : 00 00 FF 00 00 00 , MAC Source Address : 12 10 55 00 FC 00

FE	FE	03	81	1C	01	09	9C	00	C2	00	00	04	02	04	00	
00	04	01	55	10	12	B3	62	00	00	00	C2	CD	01	04	07	
40	C2	01	92	C1	01	92	10	55	A6	00	14	0F	21	0F	0D	연월
03	08	00	82	07	00	C4	1E	12	55	55	57	FD	5F	7F	45	일시,
54	45	55	55	55	55	55	55	55	55	45	5F	53	DF	55	55	바이
0F	55	55	D5	55	15	74	54	1D	D4	15	5D	5D	54	D1	4F	너리
57	55	57	7D	C5	51	00	05	55	55	00	00	00	FF	FF	FF	및
FF	00	00	00	00	03	FA	00	34	FF	FF	00	00	00	03	03	뉴메
89	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	릭데
FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	이타
FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	41	40	31	41	40	40	40	부분,
40	40	40	40	40	1A	23	7F	CF	FF	5B	8D	80	3E	79	03	MB
0B	13	6B	9D	00												상태

< 코드분석 >

전부 동력차(PC1) 주컴퓨터(MPU01)가 2008년 3월 13일 15시 21분 15.20초(14 0F 21 0F 0D 03 08) 장치그룹(04 02 04 00 00)에게 자신의 바이너리 정보와 수차데이터를 데이터그램 모드로 전송하고, 추진 제어장치(MBU)에게 MPU01 자신의 상태정보를 100mS 마다 전송하는 데이터 구성 내용이다.

57 FD" 팬터그래프가 상승하여 전차선전압을 수신하여 열차제어전원이 정상적으로 공급되고 있다는 정보이다. 03 89" 행선지표시기에 현시되는 열차번호는 313열차이고 목적지는 익산역을 디스플레이 하고 있다.

5.2 객차컴퓨터(TPU) 데이터 구성 형태

MAC Destination Address : 00 00 FF 00 00 00 , MAC Source Address : 12 10 84 00 FC 00

FE	FE	03	81	1C	01	09	9C	00	92	00	00	04	02	06	00	
00	04	01	84	10	12	56	96	00	00	00	92	CD	01	02	07	
40	C2	01	92	C1	01	92	70	84	58	00	0B	01	62	52	18	
45	6E	E1	00	00	00	BF	15	12	55	55	55	55	55	55	55	바이
1F	00	D1	15	40	F4	03	55	3F	C5	50	10	55	55	55	55	너리
55	55	55	55	54	01	55	53	CF	51	40	1F	01	51	55	45	데이
55	55	55	55	40	01	40	00	14	00	00	00	00	00	00	00	타
00	00	00	00	00	FF	FF	51	FF	51	FF	43	31	43	31	FF	숫자
FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF	데이
FF	FF	FF	00	00												타

< 코드분석 >

1호 객차 객차컴퓨터(TPU01) 장치가 장치그룹(04 02 06 00 00)에게 자신의 바이너리 정보와 수차데이터를 데이터그램 모드로 자신의 상태정보를 200mS 마다 전송하는 데이터 구성 내용이다. 55 55 55 55 55 55" 현재 1호 객차 공조장치는 정상 동작이고, 승강문 고장은 없으며, 다른 객차모든 객차컴퓨터가 정상 동작중이라는 정보를 잘 수신 했다는 응답정보를 전송하는 데이터 구성 내용이다.

6. 데이터 분석

KTX TORNAD 데이터 구조는 열차편성 장치구성번호가 네트워크관리자에 의해 인식된다. 장치들은 서로 3개 바이트로 식별되는 장치와 추가로 3개 바이트로 식별되는 보드 식별자로 총 6바이트로 차량컴퓨터 장치식별자로 사용된다. 이 장치들은 크게 주컴퓨터(MPU), 보조컴퓨터(APU), 모터블록컴퓨터(MBU)와 18개의 객차마다 있는 객차컴퓨터 (2종류 타입, TPU01, TPU02) 네트워크 연결보드CRVP(ES/IS)와 CRVR(IS/GS), CRVB들이 196종 BINARY DATA(이진비트정보)와 30종 NUMERIC DATA

(숫자정보)로 네트워크 정보를 주고 받는다.

6.1 열차정상상태 'Sub Network 0' 그룹 데이터 분석

KTX18호 전부편성 'Sub Network 0' 그룹 중 TR02 객차 TPU02랙 CRV(ES)보드에 SPY 보드를 설치하여 서브네트워크를 구성하는 장치들이 보내는 데이터 들을 수집 분석내용이다. 장치그룹 로직링 토큰 순서가 동력차 장치그룹(MPU, APU)의 우선접근 허용으로 서브네트워크 장치 전체구성이 다소 불규칙하게 이루어지고 있으나, 대부분 로직링 토큰 순서를 지키려는 순서가 보인다. 서브네트워크 장치그룹 토큰 1회 루핑내에서 모든 장치들이 최소한 한번 이상 메시지를 전송하고 있다.

『 9C→87→47→9A→99→96→55→95→88→47→55→8B→84→4D→9C→87→47→9A→99→96→55→4B→95→5A→88→47→55→8B→84→9C→87→47→9A→99→96→55→95→88→47→55→8B→84→9C→87→47→9A→99→96→55→95→88→47→55→8B→84→9C→87→9A→99→47→96→55→95→88→47→55→8B→84→9C→87→47→9A→99→96→55→95→88→47→55→4D→8B→84→9C→87→47→9A→99→96→4B→55→95→5A→88→47→55→8B 』

MPU, APU는 100mS 단위로, TPU는 200mS, MBU는 1000mS 단위로 메시지를 전송하며, 서브네트워크내 장치들의 로직링 회전시간은 약 200mS 걸린다. 서브네트워크 당 200mS동안 13회에서 14회의 장치접속이 이루어진다. MPU/APU는 2회, 각각 TPU는 1회, 각 MBU는 1000mS 당 1회 접속으로 장치 1개 당 토큰 점유시간은 평균 15 마이크로초 정도 걸린다. 시간정보는 MPU/APU 데이터 프레임에 실려서 모든 처리장치로 보내진다. 2008년 3월 13일 15시 16분 18초 30분에 해당하는 정보는' 20 12 10 0F 0D 03 08 ' 코드로 표현된다. 4호 객차 TR04 TPU랙 CRVP(ES) 보드를 차단(해체)해 놓고, 서브네트워크내 장치들 데이터 전송상태를 수집분석하면, 4호 객차를 포함하여 9호 객차까지 데이터가 수집되지 않았다. 한편 서브그룹내 있는 전부 동력차 APU01부터 3호 객차 TPU 장치는 APU01 네트워크라우터 관리보드 CRV-IS(FF)로부터 접속 요구를 받는다.

『 00 00 00 FF 00 00 → 00 FC 00 96 10 12, 00 00 00 FF 00 00 → 00 FC 00 55 10 12, 00 00 00 FF 00 00 → 00 FC 00 47 10 12, 00 00 00 FF 00 00 → 00 FC 00 95 10 12, 00 00 00 FF 00 00 → 00 FC 00 55 10 12, 00 00 00 FF 00 00 → 00 FC 00 47 10 12 』

서브네트워크 0' TR03 이하 그룹장치는 PC1 동력차 보조컴퓨터(APU01: CRV(IS)에게 데이터를 주고받아, 라우터 CRV(GS) 보드로 데이터를 전송하여 백업 loop 라인을 통해 후부 서브네트워크 장치그룹으로 인식 동작하는 것으로 추정된다. 지속적인 연구진행이 요구된다.

Sub Network 0에서 Sub Network 13호 객차 TPU CRVP(ES) 보드를 차단하고, 서브네트워크내 장치그룹의 로직링 상태를 분석하였다. '서브네트워크 0' 내 장치 정상상태에서 로직링과 동일하다.

『 9C(IS) → 9A(GS) → 84(GS) → 96(IS) → 55(IS) → 47(GS) → 95(IS) → 87(GS) → FF(95) → FF(87) → ... → 87(IS) → 87(GS) → FE(87) → FE(95) → 4B(IS) → 55(IS) → 8B(GS) → ... 9C(IS) 』

KTX18 PC1 APU01 랙 전원공급을 차단(OFF) 했을 경우 '서브네트워크 0' 장치들은 PC2 APU CRV-GS 보드로 데이터를 전송한다.

『 9C(FE)→9A(FE)→8B→87→55→88→99→96→95→55→84→9C→9A→8B→87→55→88→99→96→95→55→84→4D→4B→9C→8B→9A→87→5A→55→88(FE) 』

KTX18 PC2 APU01 CRVP(ES) 보드만 랙에서 제거 했을 경우, '서브네트워크 0' 장치들은 PC1 APU CRV-IS 보드로 데이터를 전송한다.

KTX18 PC2 APU01 랙전원공급을 차단(OFF) 했을 경우, '서브네트워크 0' 장치들은 PC2 APU CRV-GS 보드로 데이터를 전송한다.

6.2 열차정상상태 'Sub Network 1' 그룹 데이터 분석

KTX19 전부편성 'Sub Network 1' 그룹중 TR11 객차 TPU01 CRVP에 SPY 보드를 설치하여 서브네트워크를 구성하는 장치들이 보내는 데이터들을 수집 분석하였다. 장치그룹 로직링 토큰 순서가 동력차 장치그룹(MPU, APU) 우선접근 허용으로 다소 불규칙하게 이루어지고 있으나, 대부분 로직링 토큰 순서를 지키려는 순서가 보인다. 서브네트워크 장치그룹 토큰 1회 루핑내에서 모든 장치들이 최소한 한번 이상 메시지를 전송하고 있다.

「 9F→8D→81→82→56→44→B4→56→93→90→44→8E→A5→81→9F→8D→82→56→44→B4→56→93→90→44→A5→8E→48→81→5C→9F→8D→82→59→56→44→B4→56→93→90→44→A5→8E→81→9F 」

MPU, APU는 100mS 단위로, TPU는 200mS, MBU는 1000mS 단위로 메시지를 전송하며, 서브네트워크내 장치들의 로직링 회전시간은 약 200mS 걸린다. 서브네트워크 당 200미리초 동안 13회에서 14회의 장치접속이 이루어진다. MPU/APU는 2회, 각각 TPU는 1회, 각 MBU는 1000미리초 당 1회 접속으로 토큰 회전시간은 평균 15초 정도 걸린다.

7. 결론

국내 운용중인 KTX 고속열차 명령제어시스템인 차량컴퓨터의 내부제어처리 분석이 상당히 개발되어 발전되었다. 직접입출력제어, 시리얼하부장치제어, 버스내부로직제어 등 세부적으로 개발되어 상업용으로 국내 철도 차량에 적용되고 있다. 그 간 개별 장치별 단위개발이 진행되면서, 동시에 장치간에 차량통신네트워크에 대한 연구가 요구되면서, KTX 고속열차 TORNAD 네트워크 현차 데이터를 중심으로 분석이 이루어 졌다. KTX 고속열차 운행에 필요한 바이너리데이터 196종과 뉴메릭데이터 30종에 대한 데이터 분석을 중심으로 연구를 하였다. 아직 초기 기동시 네트워크 구성과정과 고장모드에서 데이터 전송이 안전하게 이루어지는 분석이 미진했으나, 이 분야에 관심 있는 전문가들의 지속적인 연구진행이 요구된다. 향후 고속열차 운행에 필요한 차량기술이 국내 철도차량간 통신제어가 시리얼통신 중심에서 고속차량용 네트워크통신제어로 발전하는데 기초가 되길 바란다.

참고문헌

1. ISO/IEC 8473 DEFINITION OF NETWORK PROTOCOLS (1994, ISO/IEC 8473)
2. TORNAD NETWORK DESIGN (10-FEB-1997, GEC ALSTOHOM)
3. KTX 차량컴퓨터제어장치개발 연구보고서(1차년도, 2006. 6. (주)로템)