# 바이모달트램의 자동운전시스템 설계

# Design of Navigation Control System for Bi-Modal Tram

류 제* 황병일* 이상남* 류희문* 변윤섭**

Ryu, Je Hwang, Byoung-Il Lee, Sang-Nam Ryu, Hee-Moon Byun, Yeun-Sub

---

**ABSTRACT**

Bi-modal tram is a new conceptual transit mean for public transportation integrating thoroughfare and railroad vehicle's characteristics together. This paper describes about a software design which will be applied to an automatic driving system, which is called NCS (Navigation Control System), considering such multiplicity of mechanical characteristic. The NCS adopts propulsion, braking, and direction control functions for a tram and utilizes various sensors to fully take control over such functions. In this paper, we defined and analyzed the capabilities of the NCS. Those capabilities are designed with a UML 2.0 based object-oriented modeling technique. Moreover, to ensure the complete operation of such capabilities, a communication protocol (which is capable of controlling sensors, propulsion, brakes, and traveling directions) is designed here. Throughout the paper, firstly, all the NCS related functions are discussed in accordance with the equipments they are belonged to; secondly the UML modeling application techniques for the defined functions and protocols for the communications between equipments are introduced; and lastly a validation process for the design specifications is going to be discussed.

---

## 1. 서 론

바이모달 트램은 버스 유사수단에 철도시스템 운영개념을 적용한 신 도시교통시스템을 일컫는다. 바이모달 트램은 노약자, 장애자 등 교통약자의 이동편의를 위해 차량을 저상화하고, 정밀정차가 이루어지며, 정시성 확보를 위해 전자기 방식의 자동운전이 가능한 첨단 대중 교통수단이다. 그리고 전축조향(All-Steering Wheel) 등 첨단장치의 도입으로 타 경쟁수단에 비해 초기 구축비용이 매우 저렴하며, 운행속도, 수송량 등 운행효율은 높은 장점이 있다. 바이모달 트램은 일반 도로위에 전용선을 구축하여 운행되는 교통시스템이며, 본 논문에서는 전용도로 위에서 운행되는 바이모달 트램의 자동운전 기능, 자동정밀정차 기능을 수행하는 시스템(Navigation Control System : NCS)의 설계에 대하여 논하고자 한다.

NCS의 주 기능은 자동운전 및 자동정밀정차로 정의된다. 자동운전이란 운전자의 조작이 없이 차량이 스스로 주행하는 기능으로써, 주행안전성, 정확성, 및 정시성 등을 고려하여 설계된다. 자동정밀정차 기능은 자동주행기능의 일부로서 정류장에서의 정확한 주·정차를 목적으로 설계되며, 플랫폼과의 최소한의 간격까지 정밀하게 정차할 수 있어야 하며, 안전성을 반드시 확보하여야 한다. 본 논문에서 설계하고자 하는 NCS는 운전자의 차량 조작을 배제하지 않는다. 즉 경우에 따라 자동운전 혹은 운전자에 의한 수동운전이 가능하도록 설계되었으며, 이를 위해서 NCS는 사용자의 조작에 즉시 반응을 할 수

---

* (주)한터기술, 부설연구소
E-mail : jryu@htt.co.kr
TEL : (02)2108-2200 FAX : (02)2108-2211
** 한국철도기술연구원, 바이모달 수송시스템 연구단
E-mail : ysbyun@krri.re.kr
TEL : (031)460-5437 FAX : (031)460-5649

있도록 하여야 한다.

본 논문에서는 앞서 언급한 조건들을 분석하여 객체지향기법을 적용하여 NCS를 설계하였으며, NCS의 시스템 구성 및 주요 구성 모듈들은 UML2.0를 바탕으로 설계되었다. 본 논문에서는 2장에서 설계 내용에 대하여 자세히 설명하고. 3장에서는 설계된 내용에 대한 시뮬레이션 방법 및 결과를 다루며, 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 본문

본 논문에서는 바이모달 트램의 자동운전시스템을 설계하기 위하여 UML 기법을 적용하였다. UML은 소프트웨어 시스템을 정의, 구축, 기술하는 데 필요한 다양한 표기법을 제공한다. 이러한 표기법은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 시스템의 정적인 모습을 정의하는 구조적 모델링(structural modeling)표기법이고, 다른 하나는 시스템의 동적인 모습을 정의하는 행위적 모델링(behavioral modeling)표기법이다. UML 표기법은 보통 Diagram 형태를 띠는데, UML 2.0은 총 13개의 Diagram을 기본 표기법으로 정의하고 있다. 본 논문에서는 우선적으로 바이모달 트램의 기능사양을 정의하였으며 이를 바탕으로 시스템의 구조를 정의하여 모델링 하고, 운전자의 행위 및 각 구성요소들의 시스템 내부에서의 역할을 바탕으로 하여 행위적 모델을 설계하였다.

### 2.1 시스템 구성 설계

본 절에서는 NCS를 하드웨어 설계에 근거하여 정의된 소프트웨어 시스템의 구조와, 시스템의 기능을 운전자 행위 관점에서 분석하여 설계된 내용을 소개한다.

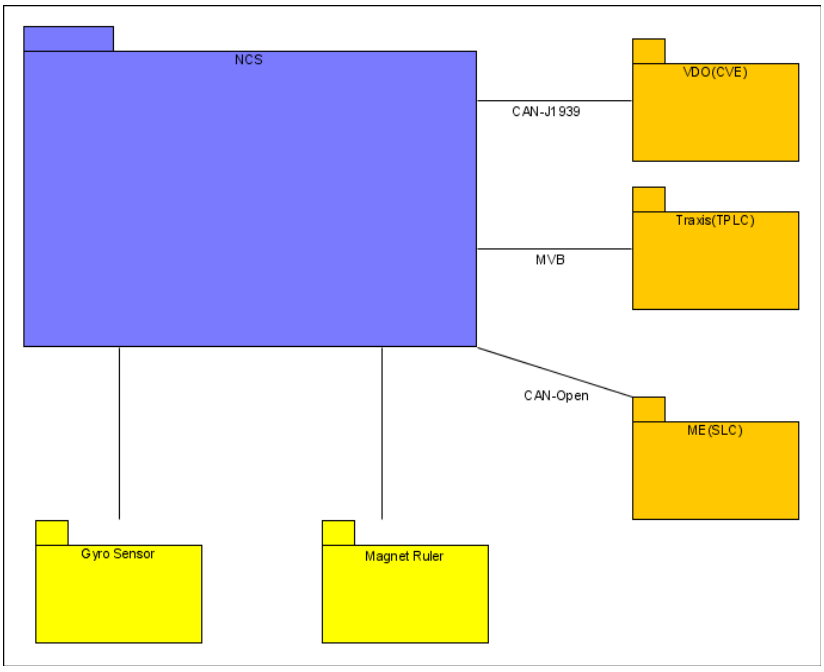


그림 1. 시스템 구성도

NCS는 자동운전에 필요한 각종 장비 및 센서로부터 신호를 입력받아 이를 분석하고 활용하여 차량을 정밀하게 제어한다. 그림 1은 이러한 장비 및 센서와 NCS 시스템간의 기본 연결 구조를 보여준다. 그림 1에서 NCS는 자동운전에 필요한 각종 파라미터 값들을 계산하고 VDO, Traxis, ME 등과 정해진 프로토콜을 이용한 통신을 수행하여 각 장비들을 제어한다.

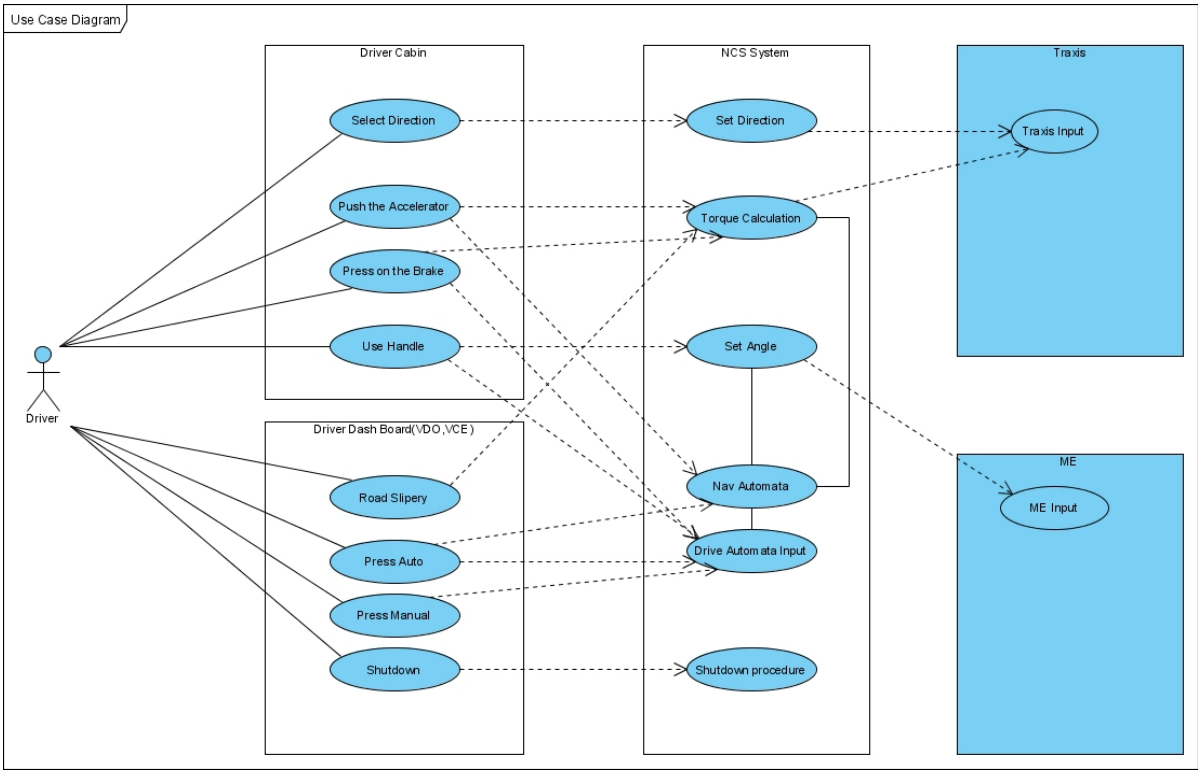


그림 2. Use Case Diagram

그림 2는 운전자의 행위를 중심으로 수행되는 NCS 시스템 내부의 동작을 Use Case Diagram을 이용하여 모델링한 결과를 보여준다. Use Case는 시스템이 사용자에 의해서 어떠한 형태로 사용되는지를 기술하는 UML의 표준 표기법이다. 다르게 말하면, 시스템이 갖추어야 하는 여러 기능적, 비기능적 요구사항(주로 기능적 요구사항)을 표현하는 방법이 Use Case이다. 그림 2는 운전자의 행위를 Dash Board의 조작과 차량 운전 조작으로 구분하고, 각각의 행위가 NCS의 어떠한 기능을 수행케 하는지를 보여준다. 이러한 운전자의 행위들은 NCS의 입력값으로 간주되어 정의된다.

### 2.2 모듈 설계

NCS는 크게 Driver, Scheduler, MMS, Guidance 4개의 Cube로 구성된다. 각각의 Cube를 설계하기 위해서 본 논문에서는 각 Cube 별로 역할을 정의하고, 각각의 역할을 수행하기 위한 세부 모듈을 구조적 모델링 기법을 적용하여 각각의 Class Diagram으로 작성하였다. Class Diagram이란 객체지향 소프트웨어의 기본단위인 Class를 이용하여 시스템의 정적인 모델을 표현한 것이다. 아래의 그림 3은 NCS의 일부 모듈에 대한 Class Diagram을 보여준다. NCS는 자동운전에 필요한 기본 기능과 통신 기능, 안전성 판단 기능, 로그 기능 등을 수행하는 총 8개의 세부 모듈로 구성되어 있으며, 그림 1은 이러한 각각의 세부 모듈의 클래스 조직 및 각 모듈간의 관계를 도식화 한 것이다.

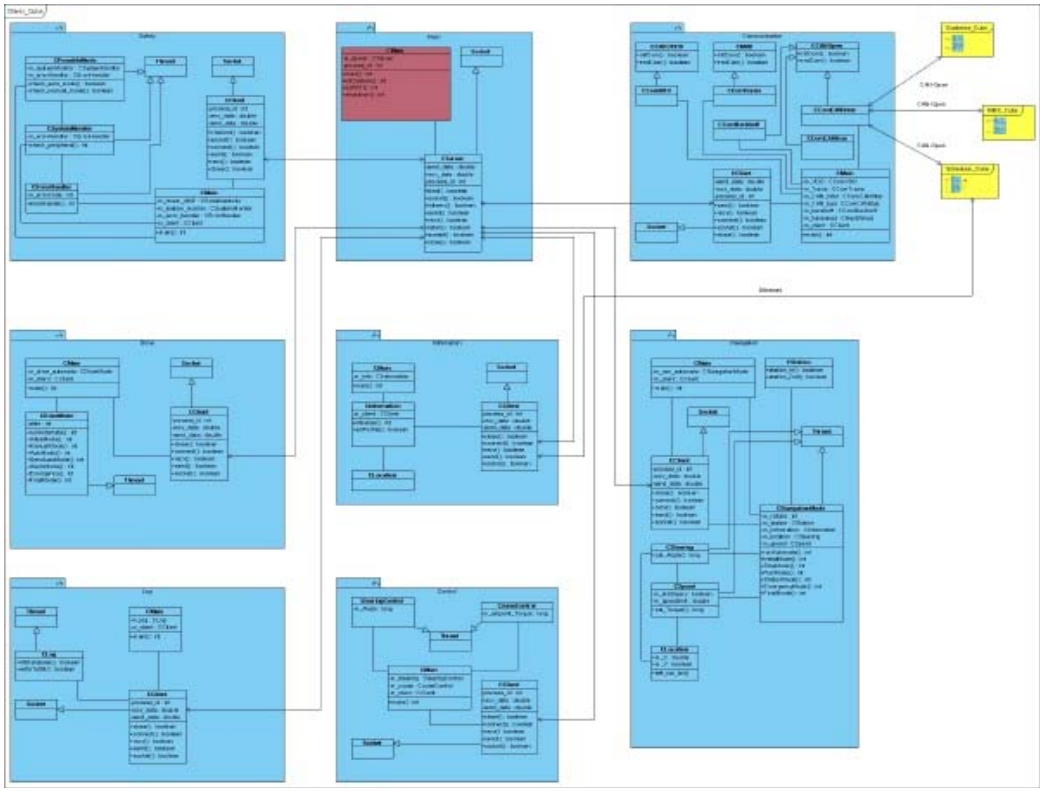

그림 3. NCS 내부 모듈의 Class Diagram 예

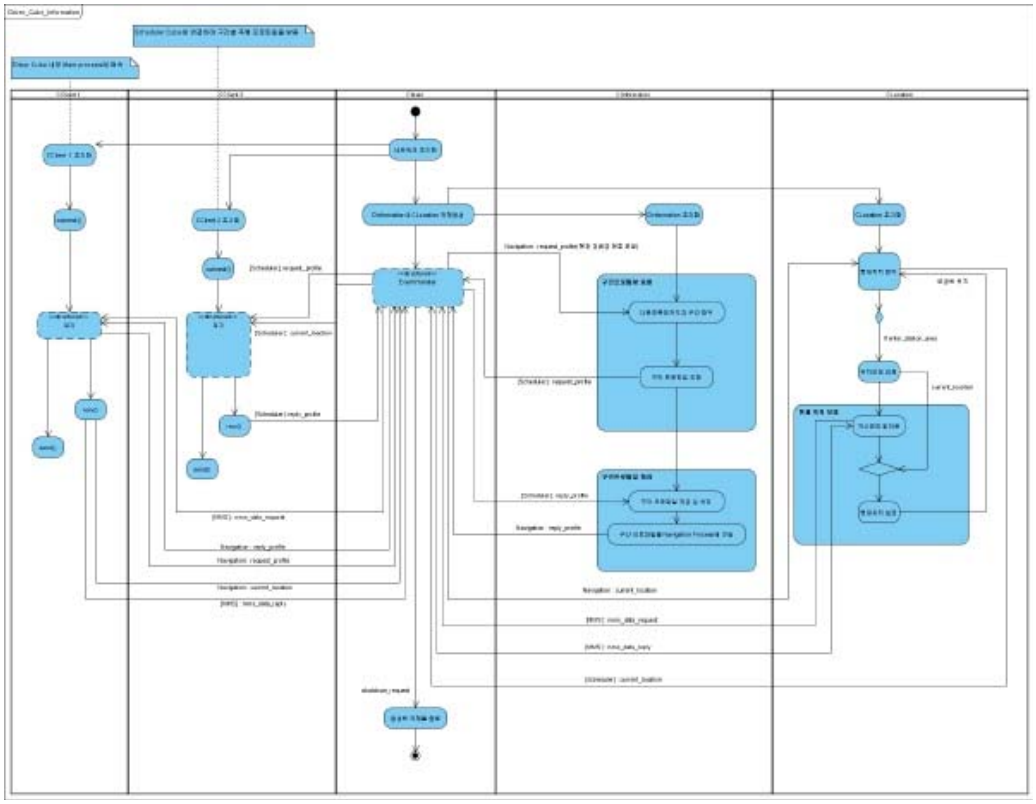

그림 4. NCS 내부 모듈의 Activity Diagram 예

그림 4는 그림 3에서 정의된 구조적 모델을 바탕으로 각 모듈의 행위를 중심으로 모델링된 Activity Diagram의 예이다. Activity Diagram이란 기존의 순서도와 비슷한 형태를 보이나 해당 모델의 행위 및 타 모듈과의 행위 관계를 중심으로 모델링을 적용한다. 본 논문에서는 각 Cube내의 세부 모델별로 각각의 Activity Diagram을 설계하였다.

## 2.3 통신 설계

NCS는 차량에 설치된 각종 장비들과의 통신을 통하여 필요한 입력값을 얻어오고, 이를 처리하여 자동운전이 가능하도록 하는 시스템이다. 현재 개발중인 NCS는 크게 3 종류의 네트워크 프로토콜을 이용하고 있다. CAN-Open, CAN-J1939, MVB가 NCS와 외부장치 간에 연결을 이루어주는 프로토콜이며, 그림 5는 NCS에 이용된 통신 프로토콜을 NCS내부의 각 큐브별로 연결된 도식을 보여준다.

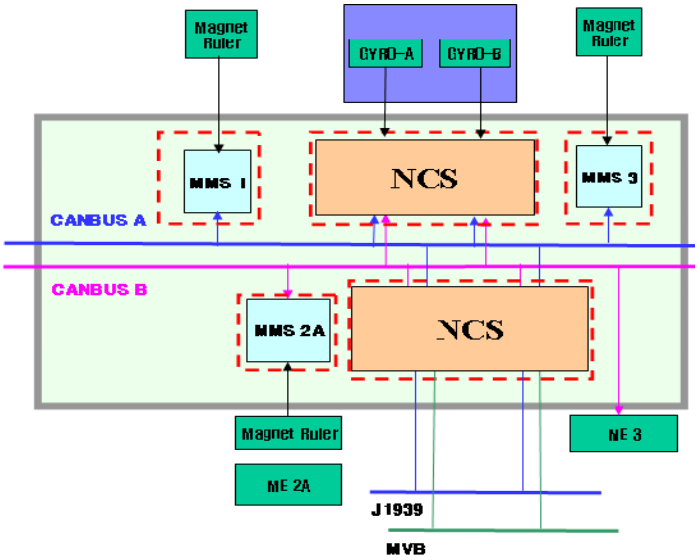


그림 5. NCS의 통신 프로토콜

본 논문에서는 NCS와 통신을 하며 동작하는 각 장치간의 프로토콜을 정의하였다. 일반적으로 도표 1은 NCS와 VDO(대쉬보드와 운전석)간의 통신에 관련된 프로토콜의 일부를 보여준다. 도표 1은 CAN-J1939 프로토콜을 적용하여 설계되었다.

도표 1. 통신 프로토콜 예시

| Signal specification CVE (VDO) - NCS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr | Byte | Function | Name | Description | | Program explanation |
| 1 | 0-1 | 차량 속도 | vehicle_speed | 1/ 256 km/h / bit | 0 till 250,996 km/h | C3 speed tacho 체크 |
| 2 | 2 | Stop brake status | parking_brake_status | 00000000 = | Stop brake not on | 대쉬보드에 pictogram을 보여주어, 운전자가 브레이크가 동작중임을 알게 해줌 |
| | | | | 00000001 = | Stop brake on | |
| 3 | 3 | Last chance swithing on Automatic mode | final_chance_automatic | 00000000 = | Not defined | "자동주행모드 가능" 메시지가 (사라질때까지) 디스플레이에서 계속 깜빡거림. |
| | | | | 00000001 = | Last chance swithing on Automatic mode | |
| 4 | 4 | Life-sign 1 signal (1s) pulsating | life_sign1_NCS | 00000000 = | Off | 이 신호가 1, 5(초)이상 활성화 되어 있지 않으면 "NCS와의 통신 이상"이라는 메시지를 디스플레이함 |
| | | | | 00000001 = | On (1s) | |
| 5 | 5 | Driving faster then permitted | speed_too_high | 00000000 = | OK | 이 신호가 활성화되면, 디스플레이에 pictogram으로 보여줌 |
| | | | | 00000001 = | Speed too high | |
| 6 | 6 | Current guidance mode | guidance_mode | 00000000 = | Manual mode | 현재 주행모드가 무엇인지 계속 디스플레이함. 이 신호는 또한 운전자가 원하는 운전모드를 결정하는데도 사용됨 |
| | | | | 00000001 = | Semi-auto mode | |
| | | | | 00000010 = | Automatic mode | |
| | | | | 00000011 = | Not defined | |
| 7 | 7 | Shut down Acknowledgement signal | shutdown_acknowledge | 00000000 = | Hold Frog power supply | 이 신호가 유지되는 동안은, VDO가 NCS에 전력을 계속 공급함 |
| | | | | 00000001 = | Switch off Frog power supply | |

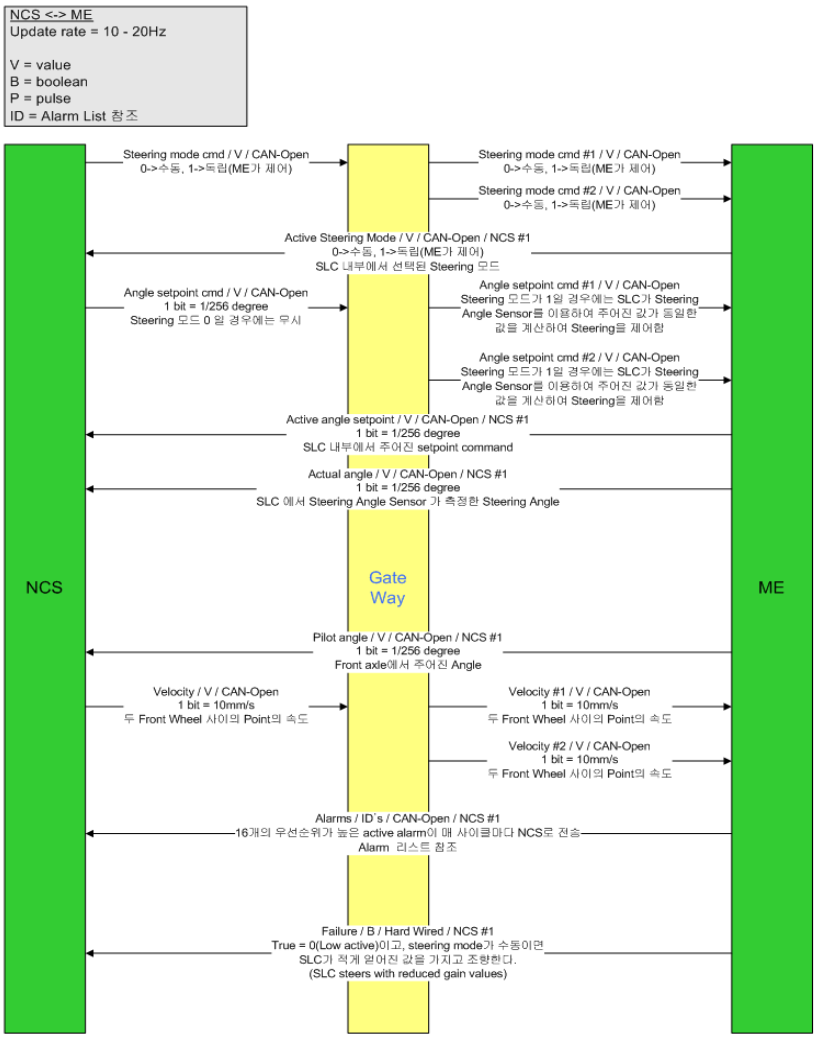


그림 6. NCS와 ME(조향제어장치)간의 통신도

그림 6은 NCS와 ME(조향제어장치)간의 통신 데이터 흐름도를 보여준다. 이러한 흐름도는 도표 1과 같이 정의된 각각의 프로토콜 스펙을 기준으로 하여 작성되었다.

## 3. 검증 및 평가

본 논문에서는 설계된 시스템의 검증을 위하여 각각의 세부 모델별 협력관계를 Class Diagram을 이용하여 정의하고, 바이모달 트램의 운행 중 발생할 수 있는 상황별 시나리오를 적용하여 각 세부모델의 Coverage를 평가하여 설계 모델의 타당성을 검증하였다. 설계된 NCS 내부의 세부 모듈은 총 14개로 구성되며, 각각의 세부모델들은 하위 클래스들의 집합으로 구성된다. 도표 2는 일반주행, 주행중 사고발생, 기타 상황 등이 발생했을 경우 각 모듈별 협업 Coverage의 평균치를 나타낸 것이다. 도표 2에서 0을 나타내는 수치는 두 개의 세부 모듈이 서로 협업 관계가 전혀 없음을 나타낸다. 이는 설계 내용을 기준으로 전혀 통신이 이루어지지 않도록 설계된 Driver Cube내의 Contorl 모듈과 Scheduler, MMS 등에서 나타나며, 이는 정상적인 값으로 간주하였다. 이를 제외한 이외에 수치가 40-50 정도로 나타나는 값들은 대부분 에러 상황을 시뮬레이션 했을 경우에 나타난 수치들로 분석되었으며, 이 또한 설계 내용과 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 그 외의 경우에는 평균 80 이상의 값을 보였으며, 이는 설계된 내용이 실험에 사용된 시나리오에 적절히 대응할 수 있음을 의미한다.

도표 2. 세부모듈간 Coverage 평균값

| | D.M | D.S | D.I | D.Co | D.D | D.N | D.L | D.C | S.M | S.S | M.M | M.Ms | G.M | G.G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D.M | | 99 | 94 | 96 | 100 | 100 | 100 | 95 | 87 | 86 | 84 | 89 | 87 | 86 |
| D.S | 99 | | 96 | 97 | 99 | 98 | 100 | 92 | 87 | 88 | 86 | 85 | 84 | 88 |
| D.I | 94 | 96 | | 96 | 95 | 100 | 100 | 96 | 85 | 81 | 87 | 84 | 86 | 82 |
| D.Co | 96 | 97 | 96 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 86 | 96 | 85 | 94 | 83 |
| D.D | 100 | 99 | 95 | 100 | | 100 | 100 | 99 | 85 | 84 | 87 | 86 | 88 | 82 |
| D.N | 100 | 98 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 88 | 89 | 84 | 85 | 86 | 84 |
| D.L | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 89 | 88 | 87 | 88 | 89 | 87 |
| D.C | 95 | 92 | 96 | 100 | 99 | 100 | 100 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 | 40 |
| S.M | 87 | 87 | 85 | 98 | 85 | 88 | 89 | 0 | | 100 | 80 | 81 | 0 | 0 |
| S.S | 86 | 88 | 81 | 86 | 84 | 89 | 88 | 0 | 100 | | 81 | 81 | 0 | 0 |
| M.M | 84 | 86 | 87 | 96 | 87 | 84 | 87 | 0 | 80 | 81 | | 100 | 50 | 40 |
| M.Ms | 89 | 85 | 84 | 85 | 86 | 85 | 88 | 0 | 81 | 81 | 100 | | 51 | 50 |
| G.M | 87 | 84 | 86 | 94 | 88 | 86 | 89 | 50 | 0 | 0 | 50 | 51 | | 100 |
| G.G | 86 | 88 | 82 | 83 | 82 | 84 | 87 | 40 | 0 | 0 | 40 | 50 | 100 | |

## 4. 결론

본 논문에서는 객체지향 기반의 UML 2.0 모델링 기법을 적용하여 바이모달 트램의 자동운전 시스템을 설계하였으며, 이를 상황별 시나리오를 적용하여 설계된 내용을 검증하였다. 이러한 설계 내용들이 실제로 구현하고 테스트 하는 과정에서 발생할 수 있는 오류를 모두 검증하였다고 보기는 힘들다. 그러나 이러한 UML 기반의 모델링 기법은 설계과정에서 발생할 수 있는 오류를 체계적으로 검증하고 수정할 수 있는 토대를 제공하므로 실제 구현에 필요한 비용 및 시간 등을 줄일 수 있을 것으로 여겨진다. 또한 향후 실제 구현 및 테스트 상황에서 발생할 수 있는 오류 및 수정 내용 등에 대한 체계적인 접근이 가능할 것으로 예상되며, 소프트웨어 개발 소스의 재활용성도 증대될 것으로 기대된다.

## 참고문헌


1.한국철도기술연구원(2007), “신에너지 바이모달 수송시스템 개발” 기획보고서

2.김일웅(2007), “UML 모델을 OWL-S 온톨로지로 변환하기 위한 모델지향접근방식”, 한국정보과학회 학술지 논문, pp179-192.

3.서영석(2006), “UML 도입의 결정요인에 관한 연구”, 한국경영교육학회 학술지 논문, pp135-152.

4.임송규, 목재균, 장세기, 윤희택(2007), “신에너지 바이모달트램차량 시스템 상세설계”, 한국정밀공학회 2007년 춘계학술대회 논문집, pp835-836.

5.문경호, 목재균, 장세기, 이수호, 박태원(2007), “조향제어를 위한 가상고정축 설정방법”, 한국철도학회 추계학술발표 논문집.

6.이강원, 윤홍일, 목재균(2007), “바이모달트램 차량제어장치에 대한 CAN통신방식 적용에 관한 연구”, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집.

7.목재균, 윤희택(2006), “신에너지 바이모달 트램 기술개발”, 교통기술과 정책 3권 4호.

8.목재균, 김용기, 유영재(2004), “정밀정차를 위한 전자기 안내궤도기술 개발”, 한국철도기술 50호.