

RTOS를 이용한 전동차 자동열차운전장치 연구

\*이수길, 한성호, 유원희, 문형석  
한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단

Study of Automatic Train Control using RTOS

Su-Gil Lee, Seong-Ho Han, Won-Hee You,  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - The automatic/driverless operation which are great important techniques in metro railway are required to increase higher safety, greater reliability, and transport capacity. This paper describes the method to develop the ATO software system. The software design is based on VxWorks, a Real Time Operating System.

1. 서 론

최근 도시 밀집 화에 따른 도시 철도 차량의 수요 증가와 운전 시력의 단축화, 철도차량 기술의 진보에 따라 전동차의 자동운전 및 무인운전에 대한 요구가 증가하여 ATO는 도시 철도 차량의 필수적인 요소가 되었다. 그러나 현재 국내 도입되어 운행 중이거나 향후 운행 예정인 노선의 ATO 장치 기술은 모두 외국 업체로부터 도입한 것으로 기술 의존도가 높아 국내 기술의 보유가 절실한 실정이다. 본 연구에서는 실시간 운영체제(RTOS:Real Time Operation System)을 이용하여 ATO의 주행패턴을 비교 분석하여 정밀정차까지 운행하는 시험결과를 분석하였다.

2. 실시간 운영체제 분석

실시간 운영체제는 지정된 시간 제한 내에 확실한 출력을 보장하는 운영체제이다. 예를 들어, 어떤 객체가 조립라인 상의 로봇에 이용될 수 있게 보장하도록 운영체제를 설계할 수 있다. 하드실시간 운영체제라고 하는 것은, 만약 지정된 시간 내에 그 객체를 활용 가능한 상태로 만들기 위한 계산을 수행할 수 없다면, 그 운영체제는 실패로 종료될 것이다. 소프트웨어 실시간 운영체제에서는, 조립라인의 동작은 계속 되겠지만, 정해진 시간에 객체가 나타나지 않음으로써, 그 결과 일시적으로 제어의 동작에 영향을 미쳐 생산 출력이 떨어질 수 있다. 일부 실시간 운영체제들은 특별한 활용을 위해 만들어지지만, 그 외의 것들은 보다 일반적인 용도를 위해 만들어진다. 본 연구에서는 실시간 운영체제중 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 WindRiver사의 VxWork(Tornado)를 사용하여 실시간 제어를 수행하였다.

컴퓨터 프로그래밍에서, 태스크란 운영체제가 제어하는 프로그램의 기본 단위를 말한다. 운영체제를 설계할때, 태스크를 어떻게 정의하느냐에 따라, 단위 프로그램이란 전체 프로그램이 될 수도 있고, 또는 계속되는 프로그램의 호출이 될 수도 있다. 한 프로그램이 여러 개의 다른 유틸리티 프로그램들에게 요구를 할 수 있기 때문에, 유틸리티 프로그램들 또한 태스크(또는 서브 태스크)라고 간주할 수 있으며 교대로 컴퓨터의 자원을 사용할 수 있게 한다.

실시간 프로그래밍에서, 스레드는 다수의 사용자들을

동시에 처리할 수 있는 프로그램이 각각의 사용과 관련하여 가지고 있는 정보들 말한다. 프로그램의 관점에서 보면, 스레드는 한 명의 개별 사용자 또는 특정한 서비스 요청을 서비스하는데 필요한 정보이다. 본 연구에서도 자동열차운전장치의 특성상 많은 이벤트가 발생하고 동시에 수많은 제어를 통해서 열차가 운행되고 있다.

만약 다수의 사용자들이 그 프로그램을 쓰고 있거나, 또는 다른 프로그램들로부터 동시에 요청이 발생했을 때, 각각의 사용자나 프로그램들을 위해 스레드가 만들어지고, 또 유지된다. 스레드는 프로그램에게 현재 어떤 사용자가 서비스를 받고있는지를 파악하게 함으로써, 다른 사용자들을 위하여 재진입 해야할 것인지의 선택을 할 수 있도록 한다. 단방향 스레드 정보는 특별한 데이터 저장소 내에 그것을 저장하고, 데이터 저장소의 주소를 레지스터에 집어넣음으로써 유지된다. 운영체제는 항상 프로그램이 중단되었을 때 레지스터의 내용을 저장하며, 그리고 다시 제어권이 주어졌을 때 그 내용을 복구한다. 그림 1은 실시간 운영체제의 프로그램 상태 천이도를 나타낸 그림이다. Ready 상태에서는 타스크가 수행되고 있으며, Delay 상태나 Pend 상태에 타스크가 전환되어지면서 실시간 프로그램이 수행된다.

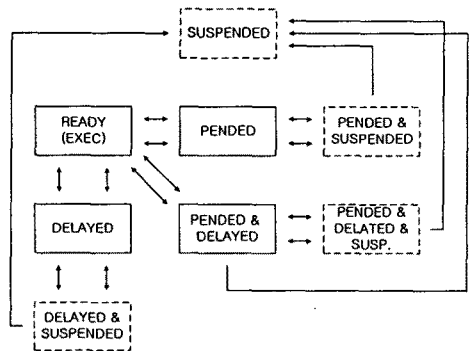


그림 1. 실시간 운영체제의 프로그램 상태 천이도

실시간 운영시스템에서의 인터럽트는 컴퓨터에 장착된 장치나 컴퓨터 내의 프로그램으로부터 오는 신호로서 운영체제가 하던 일을 멈추고 다음에 무엇을 할 것인지를 결정하게 한다. 즉 일단 프로그램 내의 컴퓨터 명령문을 시작되면, 더 이상 작업을 진행할 수 없거나, 또는 인터럽트 신호가 감지될 때까지 명령문들을 실행한다. 인터럽트 신호가 감지되면, 컴퓨터는 실행되고 있던 프로그램을 재개하거나, 또는 다른 프로그램의 실행을 시작한다.

기본적으로 단일 컴퓨터는 오직 한번에 한 개의 컴퓨터

명령어만을 수행할 수 있다. 그러나, 인터럽트 신호가 있기 때문에, 다른 프로그램이나 명령문을 수행할 수 있는 순서를 가질 수 있다. 이렇게 하는 것을 멀티태스킹이라고 하는데, 이것은 사용자로 하여금 동시에 여러 개의 작업을 할 수 있도록 해준다. 컴퓨터는 사용자가 효과적으로 일할 수 있게끔, 단순히 그 프로그램들이 수행될 순서를 관리한다. 물론, 컴퓨터는 사용자의 모든 작업들이 동시에 수행되는 것처럼 보이게 빠른 속도로 동작한다. 운영체제는 대개 인터럽트 관리기능을 가지고 있다. 인터럽트 관리장치는 만약 하나이상의 인터럽트가 처리되어야 하는 경우라면, 인터럽트들 간의 우선 순위를 정하고 그들을 큐에 저장한다. 운영체제는 스케줄러라고 불리는 또다른 작은 프로그램을 가지고 있는데, 이는 다음 번에 수행되어야할 프로그램에게 제어권을 넘겨준다. 이런 특징을 가지고 있는 운영시스템은 열차자동운전장치와 같은 많은 정보를 통해 많은 실시간 제어를 하기위해서는 꼭 필요한 시스템이다.

### 3. 자동열차운전장치 제어

#### 3.1 자동열차운전장치의 구성

ATO장치는 전동차 내부의 종합제어장치(TCMS : Train Control and Monitoring System)와 추진시스템 및 제동 시스템, 자동 열차 제어장치(ATC : Automatic Train Control)등과 상호 인터페이스를 통하여 동작하는 차상 컴퓨터 장치이다.

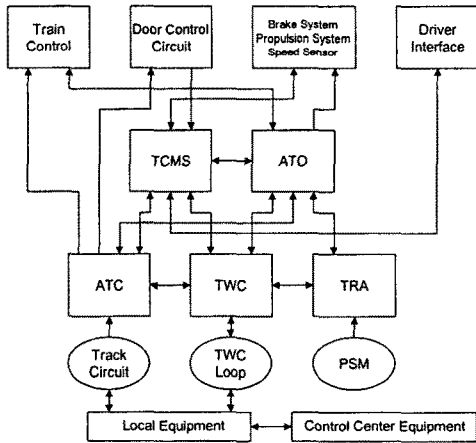


그림 2. 도시철도차량 내부 컴퓨터 시스템 계통도

그림 2는 도시철도차량 내부 컴퓨터 시스템 계통도를 나타내었다. ATO는 운전자의 수동 조작을 최소화하여 전동차를 자동/무인 운전하기 위한 장치로서 TCMS, ATC, TWC, TRA등의 외부장치와 인터페이스를 통하여 시행된다. 현재 자동열차운전에 사용되는 시스템 구성은 비슷하나 정보의 수집경로나 방법에서 조금의 차이는 있다. 열차의 자동운전이 가능하게 하기 위해서는 자동열차운전장치와 주변관련장치의 인터페이스가 잘 이루어져야 한다. 자동열차운전장치와 직접적으로 연결되어 필요한 정보를 송수신하는 장치는 ATC장치, TWC장치, TRA장치, TCMS장치가 있으며, 현재 표준전동차에는 속도신호를 자동열차운전장치가 타코미터의 펄스를 직접 측정하여 속도를 계산하는 방식을 사용하고 있다. 자동열차운전장치는 이러한 주변장치와 주로 통신을 이용하여 필요한 정보를 주고받으며, 각 장치는 자동운전에 필요한 각각의 역할을 수행한다. 그림 3은 각 장치와의

인터페이스 블록도 이다.

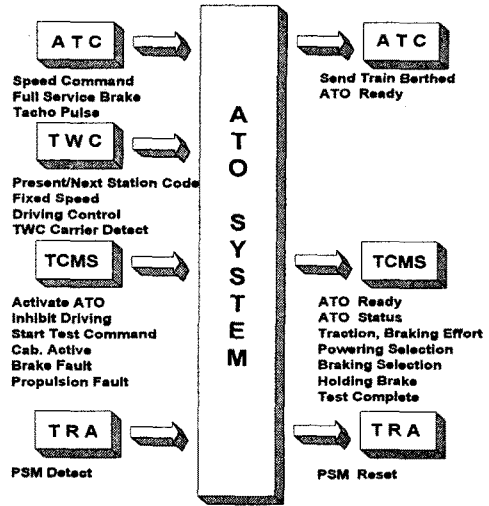


그림 3. ATO 인터페이스 다이어그램

#### 3.2 전동차 운행제어 특성

전동차는 정해진 선로를 따라서 움직이는 관성체로서 차량에 설치된 추진장치와 제동장치에 의해 가속을 수행하게 된다. 주행중인 차량은 에너지 측면에서 볼 때 에너지를 소비하면서 가속을 행하는 역행모드가 있고, 에너지를 회생하거나 기계적인 장치로 감속시키는 제동모드가 있으며, 에너지의 소비 또는 회생이 없는 타행모드가 있다. 차량은 이러한 가속속지령에 따라서 운행되나, 실제적으로 차량에 나타나는 현상은 현재 선로의 구배나 곡선 및 마찰력 등의 선로상태에 따라 다르게 나타난다. 또한 차량의 특성상 가속속지령에 실시간으로 반응하는 것이 아니기 때문에 이러한 특성들을 고려하여 운행하여야 한다. 실제 수동운전모드에서 운전자가 열차를 운행할 때 현재 열차의 속도 및 가속속정도, 선로의 상태에 따라 역행, 타행 또는 제동의 적절한 조치를 하게 된다. 열차가 운행하면서 이러한 제어방법이 적용되는 구간은 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는 바와 같이 목표속도에 가장 빠르게 접근하기 위해 Time Optimal Control방법을 사용하고, 목표속도에 근접한 경우 속도를 유지하기 위하여 servo Control방법을 사용한다. 역정차지점까지 남은 거리를 계속 연산하여 열차의 주어진 제동력으로 정차지점에 정차할 수 있는지 여부를 조사하여 Precision Stop Control방법을 이용하여 정밀정지를 수행하게 된다.

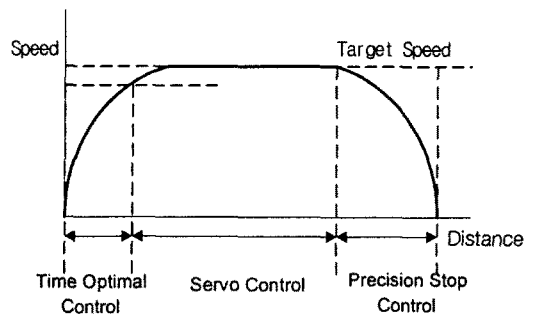


그림 4. 구간별 운행제어방법

열차의 자동운전모드에서 이러한 운전자의 기능을 대신하는 것이 자동열차운전장치이다. 자동열차운전장치는 현재 열차의 실제속도, 도달하고자 하는 목표속도, 선로의 상태 등을 사용하여 운전자 대신 열차의 가감속지령을 내린다. 자동열차운전장치는 자동운전과 무인운전을 담당하는 부분으로서, 관련된 장치로부터 필요한 각종 정보를 주고 받으며 필요한 동작을 한다. 자동열차운전장치의 기능 중에서 중요한 부분은 열차의 출발에서 정지에 이르는 실제 열차의 운행에 따르는 운행제어라고 할 수 있다. 제어기의 종류에는 크게 두 가지 종류가 있다. 하나는 시스템의 안정성을 보장하는 안정제어기(regulator) 이고 다른 하나는 시간에 따라 정해진 형태로 시스템을 움직이도록 하는 추종제어기(servo-controller) 이다. 일반적으로 추종제어기는 시스템을 안정화 시키면서 동시에 원하는 출력을 얻을 수 있어야 하므로 안정제어기를 포함하게 된다. 따라서 설계하는 방법이 안정제어기보다 복잡하다.

본 논문에서는 전동차의 속도 profile을 계산을 통해 얻은 후 전동차의 속도를 이와 일치시키는 방법으로 속도를 제어할 예정이므로 두 가지 제어기 중에서 추종제어기를 적용해야 한다. 가장 널리 사용되는 추종제어기의 형태는 PID 제어 기법을 이용한 보상기를 부착하는 것이다. 이 방법은 시스템의 출력을 지정하는 추종입력에 대해 현재 시스템의 출력이 나타내는 오차(error)에 일정한 값을 곱한 값(P: proportional), 이 오차를 적분(I: integral)하거나 미분(D: differential)한 값을 시스템의 입력으로 사용하는 것이다. 본 논문에서는 VxWork를 이용한 실시간 PI 제어 및 타행제어를 이용해 전동차 자동운전제어를 실시하였다.

### 3.3 자동열차운전장치의 제어

본 논문에서는 경상북도 상주 ㉔한국철도차량 시험소에서 운행되고 있는 전동차를 이용하여 결과를 검증하였다.

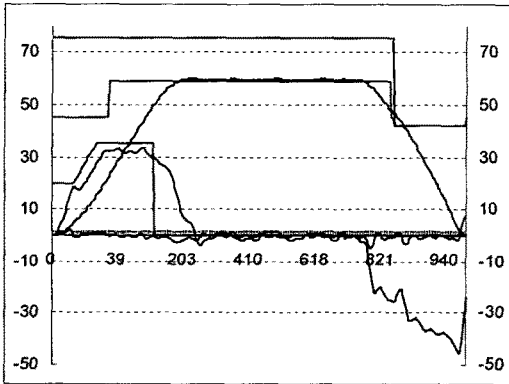


그림 5. PI 제어기를 이용한 전동차 자동운전 결과

그림 5는 전동차의 자동운전장치에 PI 제어기를 구성하여 실험한 결과이다. 지상으로부터 수신되는 코드는 정차하기전에 45 code를 수신하고 나머지 구간에 대해서는 75 code를 수신한다. 그리고 목표속도는 60 정도이다. 그리고 아래위로 변동하는 그래프는 가속도 값을 나타낸 것이다. 그리고 PI 제어를 사용한 결과는 그림 5와 같이 60 을 추종하고 있다.

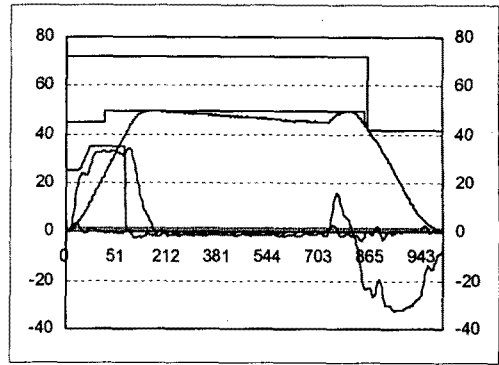


그림 6. 타행제어 제어기를 이용한 전동차 자동운전 결과

그림 6은 타행제어 제어기를 이용한 결과이다. 선로 길이는 946m 이며, 타행 목표속도는 50 이다. 45 이하로 속도가 내려 오면 다시 추진을 하는 모습을 보여 주고 있다. 타행제어를 통하여 검토한 결과 양호한 상태로 나타났다.

### 4. 결론

본 논문에서는 실시간 운영체제를 이용하여 전동차 자동운전을 위한 알고리즘 및 실제 구현에 대해서 기술하였다. 앞으로 소프트웨어의 신뢰성을 검증하고, 보다 안정화된 시스템을 설계하여야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Tadashi Takaoka, "Onboard Train Control and Communication Systems for High-Efficiency Railway Systems", Hitachi Review, Vol 46, No.2, 1997
- [2] "VxWorks Programmer's Guide" WindRiver사
- [3] 한성호의 8명, 시뮬레이터 어닐링을 이용한 열차 최적제어알고리즘 개발, 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, A권 pp486-488. 1997.
- [4] 한국철도기술연구원, 건설교통부, 1999년도 종합제어장치 연구개발 보고서, 1999.