

都市鐵道 화재·단전시

최적 열차운행을 위한 통합운영체계 구축방안에 관한 연구

A Case study on the plan for the ESC integrating optimized train operation system for Fire & power failure accident in subway

김영욱¹
Kim Young-Wook

최세원²
Choi Se-Wan

김용규³
Kim Young-Kyu

Abstract

Recently heavy traffic is getting worse because increasing population of transportation in urban area. In order to solve this problem, subway is realized with high speed, high density, highly efficiency. When fire accident happened in Dae-Gu subway in February 2003, there happened loss of people and lots of damage because of not being able to control even though fire alarm which was set up in the station rang. This thesis has constructed a simulation integrating operation system using a Database construction, operating program analysis in order to build up the most efficient train operation system.

The result of simulation integrating operation system with emergency virtual situation like station and train fire, train failure, power line failure, all trains running on the rail were secured safety by train operation control system. With integrating operation of each train control system, train system, power system, machine facility system, the most efficient integrating operation system should have been constructed at the time the subway fire and power failure broke out.

Key Words : 열차운영시스템, 차량, 전력, 기계설비시스템, 통합운영시스템, 시뮬레이션.

I. 序 論

최근 교통수요증가로 도로교통체증 문제가 날로 심각해지고 있다. 이를 해결하기 위해 도시철도의 획기적인 고속화, 고밀도화, 고기능화가 이루어지고 있다[2]. 그러나 1996년 5호선 일부구간에서 열차 정중 현상에 의한 순간 무하당 상승으로 전력공급 중단사고가 발생하였고, 2003년 2월 대구지하철 화재가 발생했을 때 역사 내에 설치되어 있는 화재정보시스템에 의해 정보를 송출하였으나, 인력에 의한 동체의 한계성으로 열차가 진입함으로써 많은 인명과 재산 피해가 발생하였다.

본 연구에서; 역사 및 차량화재, 차량고장, 전차선 단전사고 등 긴급 상황발생시 운행 중인 열차; 사고발생지점에서 정차하게 된다[4-5]. 다음 역에서 출발한 열차; 일정한 구간까지 진입후 정차를 하게 된다. 이로써 상황에서 자동으로 운행하는 모든 열차는 터널내 일정한 구간에 밀접하게 된다 [3].

긴급한 상황발생시 운영요원의 판단에 의해 모든 선로에서 운행하고 있는 열차를 통제하는 것은 한계성이 있다[15]. 지하철 화재 단전시 안전한 지하철 운영을 위해 열차운영제어시스템, 차량시스템, 전력시스템, 기계설비시스템 등을 통합한 Data Base 구축, 운영프로그램 연구 분석하여 통합운영시스템을 구축하였다.

통합운영시스템의 시뮬레이션은 시행하여 도시철도 화재 단전시 최적의 열차운행을 위한 통합운영체계를 연구하였다.

* 1. 서울산업대학교 컴퓨터공학원, 단계회원 [서울도시철도공사 신호통신계장]

* 2. 서울산업대학교 제어계측공학과 교수

* 3. 한국 철도기술연구원 책임연구원 공학박사

2.3 전력원격제어시스템(SCADA)

도시철도의 전력공급은 한전으로부터 22.9KVA를 수신 받아 변전소에서 전차선 및 전기선 전원을 공급하고 있다. 원방제어 설비는 교류 22.9KV, 교류 6.6KV 및 직류 1.5KV계통을 감시 제어한다[4]. 변전소 및 전기설비: RTU(Remote Terminal Unit)를 설치하여 운영요원이 상주하지 않고 중앙제어실에서 집중 감시 제어한다. RTU가 모든 전기설비의 제어 및 표시, 정보, 적산에 관계되는 전기적 신호를 전송용 펄스 신호로 변환하여 중앙제어실의 주전산기로 전송한다. 전송신호는 중앙 제어실의 주전산기에서 프로그램을 실행하여 운전에 필요한 각종 정보를 내보내며 운영요원은 정보에 의해 전원상태 및 운전상태 이상 유무 파악 및 제어를 한다. 다음 그림은 전력원격제어시스템 계통도이다[4].

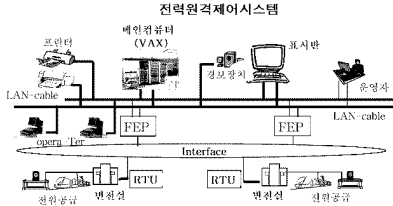


그림2.3 전력원격제어시스템 계통도

III. 통합운영체계 구축

3.1 통합운영체계 구축

통합운영체계 구축은 기계설비중앙시스템, 전력시스템의 정보를 연차운영제어시스템에서 실시간으로 처리함으로써 지하철 화재발생 및 전력공급중단, 차량고장으로 인한 정차시 선로에 운행하는 열차의 안전을 위해 다음 그림과 같이 통합운영체계를 구축한다[1-10].

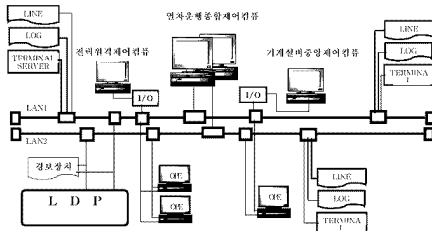


그림3.1 통합운영체계 시스템 구축

3.2. 열차운행제어

열차운행은 열차운행계획에 따라 ATO설비에 의해 자동으로 운행하게 된다. 기계설비중앙제어시스템에서 발생하는 화재경보 및 진차선 단진정보, 차량고장경보 Data 의해 열차운행제어시스템에서는 역별 운행하는 열차위치를 검색하여 일정한 간격으로 운행 및 각역에 정차할 수 있도록 다음 그림은 열차운행제어 과정을 나타낸다[1-8].

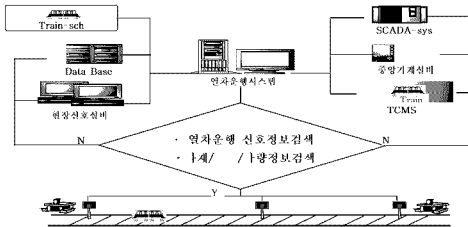


그림3.2 통합운영체계 의한 열차운행제어

3.3 화재경보 정보에 의한 열차운행제어시뮬레이션

2003년 2월 대구지하철의 운행 중인 열차에서 화재가 발생하여 역사내에 설치되어 있는 화재경보시스템에 의해 정보를 송출하였으나, 인력에 의한 통제의 한계성으로 열차 진입으로서 많은 인명피해가 발생하였다. 열차운행제어시스템은 기계설비중앙시스템과 화재관련 정보를 30초간격으로 실시간 통신하며, 역사 및 차량화재발생시 화재정보를 수신하면, 운행하는 열차에 대해 정지 속도 코드를 부여하여 해당 역에 정차하는 시뮬레이션을 시행하였다[3][5-9].

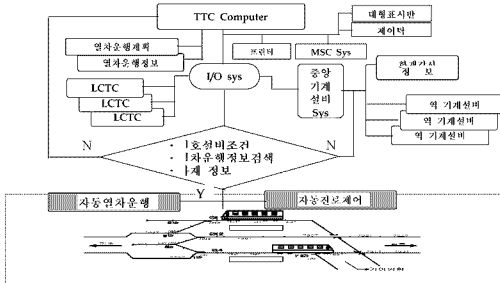


그림3.3 화재발생정보에 의한 열차운행제어 형태

3.3.1 역사 및 차량 화재발생 정보에 의한 열차운행 형태

- Step1) 기계설비시스템은 중앙시스템과 역사 설비로 구분되어 있다. 역사 설비에서 화재경보정보를 중앙컴퓨터로 전송하면, 기계설비중앙컴퓨터는 열차운행종합제어 컴퓨터로 전송한다.
- Step2) 열차운행종합제어컴퓨터에서는 화재발생정보 수신에 따라 운행하고 있는 열차를 검색 및 차량실 표시판 및 제어탁에 화재정보를 표출한다.
- Step3) 열차 운행위치 및 운행방향을 검색하여 해당구간을 운행하는 차량간 통신하는 ATO통신 Data에 운행속도를 "0"으로 부여하여 운행 중인 열차는 해당 역에 정차를 시킨다.

3.3.2 기계설비와 TTC System간 Data 분석

가. 화재정보 정보발생시 전송되는 선 시간 Data - [기계설비] → TTC 전송Data]

- 정상 운영시 - [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [hf] [00(화제:0)] [40(구간:4개소)]
- 화재 발생시 - [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [aa] [hf] [03(화제:1)] [40(구간:4개소)]

나. TTC에서 차량으로 송신 Data - [차량운행정지 속도명령]

구 분	정보형태	역명	TWC번호	열차번호	행선시	운전원래		
						운행형태	속도	운전모드
TTC >차량전송Data	8D	19	01	16 3F	33	22 00	00(00Km)	00(01:02,10:00)P

3.3.3. 시뮬레이션 결과

기계설비시스템에서 화재정보정보를 수신한 열차운행종합제어컴퓨터는 열차운행위치를 검색하고, 대형표시판 및 제어탁에 화재발생 정보를 송출한다. 운행하는 열차는 해당 역에 정차하게 되며, 일정한 구간 내에 열차가 집중하는 현상은 발생하지 않는다. 각 역에 정차하고 있는 차량은 ATO통신 Data의 운행속도를 부여 받아 스케줄에 의해 정상적으로 운행하였다. 이로써 각 역별 운행하는 열차는 항상 일정한 간격을 유지하며 운행하게 된다.

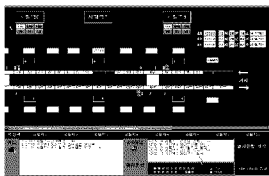


그림 3.3.1 시뮬레이션 열차운행 및 운행속도제어 형태

3.4 전차선 단전시 열차운행 시뮬레이션

현장열차운행제어시스템은 전력원격제어컴퓨터로 부터 전차선 전원공급상태를 30초간격으로 실시간 Data를 통신하며, 전차선 단전정보를 수신하면 운행 중인 열차의 위치를 검색하고 ATO통신에 의한 열차운행속도를 "0"Km/h로 부여, 운행하고 있는 열차는 해당 역에 정차하도록 시스템을 다음 그림과 같이 구축하여 시뮬레이션을 시행하였다[4][6-12].

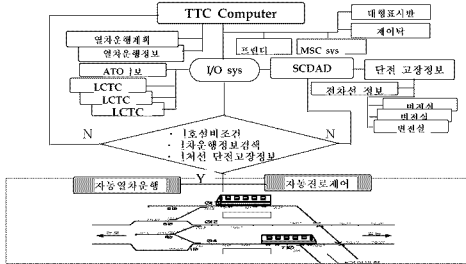


그림3.4 전차선 단전정보에 의한 열차운행제어 형태

3.4.1 전차선 단전시 후속열차 운행 시뮬레이션 시행

- Step1) 전차선 전력공급은 상하선 및 일정한 구간별로 구분되어 있다. 일부구간에서 단전사고 발생시 후속열차는 전차선 전력 공급되는 지점까지 ATC 속도코드로에 의해 안전거리 지점까지 운행함으로써 집중연상이 발생하게 된다.
- Step2) 전차선 공급전원 단전정보를 열차운행종합제어컴퓨터에서 수신하면 열차운행스케줄에 의한 열차운행위치를 검색하고, 대행표시판 및 개이락에 전차선 단전고장 정보를 송출한다.
- Step3) 열차운행종합제어시스템은 열차의 열차운행 위치 및 운행방향을 검색하여 해당구간의 운행하는 차량간 통신하는 ATO통신 Data에 운행속도를"0"Km/h로 부여한다. 전차선 전원공급 구간을 운행하는 차량은 해당 역에 정차하게 된다.
- step5) 열차운행종합제어컴퓨터에서는 전차선 단전정보에서 복구정보를 수신하면 각 역에 정차하고 있는 차량에 ATO통신 Data에 운행속도를 부여 받아 스케줄에 의해 정상적으로 운행하게 된다. 이로써 각 역별 운행하는 열차는 항상 일정한 간격을 유지하며 운행하게 된다.

3.4.2 TTC와 SCADA System간 Data 분석

가. 전차선 전원공급시 TTC로의 송신Data

구 분	정보형태	구 간	전체 급전구간	급전 상태	급전 구간
SCADA→TTC 전송Data	ff	ff(수방)	bf	30 (급전:1)	40(구간:4개소)

나. 전차선 전원단전시 TTC로의 송신Data

구 분	정보형태	구 간	전체 급전구간	급전 상태	급전 구간
SCADA→TTC 전송Data	ff	ff(수방)	bf	00(단전:0)	40(구간:4개소)

나. SCADA System에서 TTC로 전송하는 실 시간 data

- 전차선 급전 실 시간 data - [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [03] [40]
- 전차선 단전 실 시간 data - [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [ff] [00] [40]

라, TTC에서 차량으로의 송신Data - [전차선 단점시 차량 운행정지 속도명령]

구분	정보형태	역명	TWC번호 (열차번호)	열차번호	행선지	운전명령		
						운행명령	속도	운전모드
TTC→차량전송Data	8D	19	01	16 3F	33	22 00	00000Km	00km:3속:19:0000

3.4.3 전차선 단점시 시뮬레이션 교란

열차운행제어컴퓨터에서 전차선 단점정보를 수신하면 사령실 대행표시판과 제어탁에 경보 메시지가 표시되고, 운행하고 있는 열차의 운행위치 및 운행방향을 검색하고, 모든 구간에 운행하는 열차와 ATO Data에 운행속도를 "0"Km/h로 부여한다. 운행하는 열차는 해당 역에 정차하게 된다.

시스템이 정상으로 복귀하면 각 역에 정차하고 있는 열차는 운행속도를 부여받아 운행스케줄에 따라 정상적으로 운행하게 된다. 역별 운행하는 열차는 정상 일정한 간격을 유지하며 최적의 상태로 운행하였다.

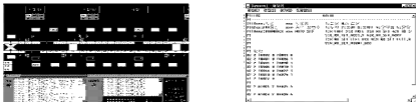


그림 3.4.3 전차선 단점시 열차운행시뮬레이션 시뮬레이션 결과

3.5 통합운영체계 시뮬레이션 결과

통합운영체계의 구축을 위한 시뮬레이션 시행에 따라 운행하고 있는 열차의 일정한 간격조정이 가능하며, 시스템 고장발생의 경우에 있어서도 운행하는 열차의 집중현상이 발생하지 않으며, 또한 고장발생 경보에 따라 인위적인 처리의 한계를 벗어나 자동으로 제어함으로써 열차안전운행 및 승객안전이 가능한 시스템이 구축됨을 나타냈다. 기계설비중앙제어시스템에 발생하는 화재경보정보, 전력위격제어시스템의 전차선 단점정보와 차량시스템으로부터 TCMS에 차량 고장정보 등 발생시 열차운행제어시스템은 실시간 Data 통신에 의해 운행하고 있는 열차의 위치를 검색하여 해당구간에 운행하는 열차로 ATO속도모드를 "0"Km/h로 부여함으로써 열차를 정지시킨다. 운영요원의 상황 판단을 용이하게 대행표시판에 해당 구간 경보발생 및 표시 Lamp를 구동하고, 제어탁에 경보메시지 경보표시를 제공한다. 긴급 상황을 인지한 운영요원은 수동 비상정지 명령출을 및 모든 선로에 운행 중인 열차를 정지시켜 이용승객의 안전을 확보하였다. 시스템이 정상복귀 되면 각 역에 정차하고 있는 차량은 열차운행제어시스템과 ATO통신 Data에 운행속도를 부여 받아 스케줄에 의해 정상적으로 운행하게 된다. 이로써 각 역별 운행하는 열차는 항상 일정한 간격을 유지하며 다음 그림과 같이 운행하였다.



그림 3.5 통합운영체계 시뮬레이션 결과 열차운행제어 정제

IV. 결 론

본 논문에서 열차운행제어시스템 및 SCADA 시스템, 기계설비중앙시스템, 차량시스템간 통합운영체계를 구축하여 전차선 단전, 역사 또는 차량화재 등 관련 정보를 열차운행제어컴퓨터와 실시간 통신하여 운행하는 열차를 정지할 수 있도록 ATO통신에 의한 제어 알고리즘을 적용한 통합운영체계 구축 방안을 연구하였다. 이러한 시스템이 별도로 운영됨에 따라 열차운행제어 상호연관성이 구축되지 않아 2003년 2월 대구지하철의 운행 중인 열차내에서 화재가 발생하였을 때 역사 내에 설치되어 있는 화재경보시스템에 의해 경보를 송출하였으나, 인력에 의한 통제의 한계성으로 후속열차가 진입함으로써 많은 인명과 재산 피해가 발생하였다. 이러한 문제를 개선하기 위해 연구한 결과, 도시철도 통합운영체계를 구축하여 열차운행제어시스템과 전력, 기계설비, 차량시스템간은 실시간 Data통신으로 중대 고장정보나 화재발생 정보를 Data Base함으로써 열차운행제어시스템은 운행 중인 열차에 대해 ATO제어 알고리즘을 적용하여 열차가 전방역에 정차하고 있을 때의 운행하고 있는 열차는 운행제어 시뮬레이션과 같이 해당 역에 정차하고, 정차하고 있는 열차가 역에서 출발하면 해당구간에 정차한 열차는 운행스케줄에 의해 일정한 간격으로 자동으로 운행한다. 그 결과 역사 또는 차량화재 및 전차선 단전발생시 열차가 해당구간에 안전하게 정차함으로써 인위적인 조치의 한계성을 극복하고 이용승객 안전 확보 및 재산피해를 방지할 수 있으며, 향후 대도시에 건설되는 도시철도에 통합운영체계를 적용함으로써 최적의 열차운행으로 안정성 및 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국고속철도건설공단, 고속철도열차제어시스템, 1998.
- [2] 한국철도신호기술협회, 철도신호 1995-2003.
- [3] 서울시지하철건설본부, 3기 지하철 기본설계 보고서(신호시스템), 1996.
- [4] 서울시지하철건설본부, 3기 지하철 기본설계 보고서(전력 7호선), 1991.
- [5] 서울시지하철건설본부, 3기 지하철 기본설계 보고서(기계중앙실비시스템), 1991.
- [6] 지하철 통합사령실 구축 타당성 조사(주) 대우엔지니어링 2000.
- [7] 광주시지하철건설본부, 광주도시철도 종합사령실 건설공사 설계서 1997.
- [8] 전도청 사령실통합 설계보고서 2002.
- [9] 대구지하철건설본부, 지하철 2호선 통합사령실 실시설계보고서 2002.
- [10] 인천지하철공사, 지하철 신호시스템 1998.
- [11] Korea Railroad Technology 3.4월호/2002년 열차집중제어장치
- [12] 김영태 신호제어시스템 2003년
- [13] 함윤호, New Signals Technology Program, Wayside signal system 1997.
- [14] V. Van Breusegem, "Traffic modeling and state G. Campion, and G.Bastin feedback control for Metro Lines" 1991.
- [15] W. S Levine and M.Athans, "On the optimal error regulation of a string of moving vehicles" 1966.
- [16] Y.Liu and X.wang "the analysis of train transportation simulation system. 1994.
- [17] "System Specification for Burlington Northern Railroad consolidated Train Control System", Union Switch & Signal 1992.