

2.2.1 자동열차 감시장치

모든 역에서 ATO 시스템은 열차의 도착과 출발을 제어하는 데 첫째로 현장의 열차제어 시스템에 의한 것과 둘째로 중앙의 열차제어 시스템의 프로그램에 의해서 작성되어 있는 열차 운행계획에 의해 자동적으로 조정하는 것으로 중앙 열차제어 컴퓨터는 열차운행에 따라 발생하는 각종 정보를 정보전송 시스템에 의해 전달받아 이 정보를 데이터로 갱신하여 열차운행에 대한 제어 및 통계 처리를 하며, 또한 중앙 열차제어 컴퓨터와 차량간 통신은 TWC(Train To Wayside Communication)시스템의 이루어져 열차운행 관련 정보를 통신한다. 열차의 자동속도 제어를 위한 속도명령은 그림 2-2와 같은 계통으로 이루어지며, 중앙 열차제어 시스템과 운행스케줄상의 정보 교환이 이루어진다. 열차는 안전한 행을 하기 위하여 속도명령이 2개 이상일 경우 가장 낮은 속도명령에 따라 행을 하도록 Fail-Safe화되어 있다.

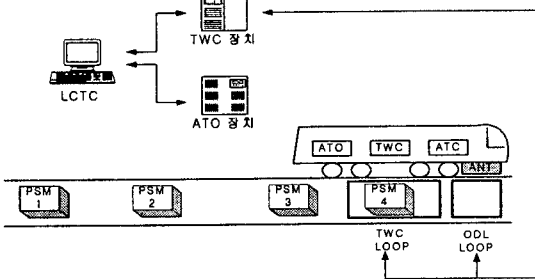


그림 2-2 ATO 시스템 구성도

2.2.2 역간 자동운전 제어

ATO의 속도조절은 ATO 목표속도를 요구속도로 하여 가속 또는 감속을 위한 역행·제동을 제어하는 방식으로 이루어진다. ATO는 평상속도와 운행 중에 운행스케줄보다 지연이 발생 할 경우 이를 회복하기 위해 두 가지 형태의 속도패턴을 가지고 있으며, 이는 중앙제어 컴퓨터에 의해 자동으로 제어된다. 각 운행제어 모드별 ATO목표속도는 표 2-1과 같이 표시할 수 있다.

표 2-1 ATO 목표속도(km/h)

ATC속도명령	90	80	70	60	55	45	35	25	0
평상속도	85	75	65	55	50	42	32	22	0
회복속도	87	77	67	57	52	42	32	22	0

가속제어는 출발에서 목표속도에 도달할 때까지의 제어로 ATO는 Jerk rate를 제어하여 충격 없이 열차를 출발시켜, 역행력이 최대(3.0 km/h/s)가 되도록 역행명령을 제어한다. 그런 다음 열차속도가 ATO목표속도에 가깝게 접근하면, 역행력은 Jerk를 방지하기 위하여 점차 감소된다. ATO속도명령이 낮은 속도로 변하는 위치에서 승객에게 불편감을 주지 않기 위해 사전에 열차속도를 감속시키는 제어방식의 형태를 사용한다. 감속지점의 위치에 대한 정보는 TDB(Track Data Base)에 기록된 데이터를 사용한다. TDB는 ATO가 운행될 선로 프로파일과 관한 다음과 같은 정보를 저장하고 있다.

- * 역간, 역과 회차 위치, 역과 본선 진입구간의 거리
- * 영구적인 속도제한의 위치 및 제한속도
- * 트랙 경사의 크기
- * PSM(Precision Stop Marker)의 위치

2.2.3 출입문 제어

정거장에 도착하는 열차의 출입문 제어는 열차가 역에 완전히 정차하여 모든 출입문이 오픈의 지정된 구역 안에 있을 때 차량의 차상 TWC 수신장치는 해당 역에 설치되어 있는 열차제어 컴퓨터로 송차되었다는 신호를 보낸다. 열차제어 컴퓨터는 정차신호를 수신하면 ODR(Open Door Relay) 계전기를 동작시켜 열차로 출입

문 개방이라는 정보를 전송하고 또한 정차하고 있는 궤도회로의 속도코드를 차단하여 열차의 움직임을 방지한다. 열차는 출입문 개방 명령을 수신하면 자동으로 출입문을 개방한다. 또한 열차는 출입문 열림 정보를 열차제어 컴퓨터로 전송한다. 출입문 열림 정보가 수신된 열차제어 컴퓨터는 계획된 정차시간을 카운터 한다. 정차시간이 "0"로 될 때 열차의 출입문은 자동으로 닫힌다. 열차제어 컴퓨터는 열차로부터 출입문이 닫혔다는 정보를 수신하면 해당 궤도회로에 속도를 부여하여 이 속도를 수신한 열차는 출발한다.

차량의 출입문 제어방식은

- * 자동개문(Auto Open)/자동폐문(Auto Close)
 - * 자동개문(Auto Open)/수동폐문(Manual Close)
 - * 수동개문(Manual Open)/수동폐문(Manual Close)
- 의 3가지 방법이 있다. AF궤도회로 출력의 출입문 열림 정보는 펄스 27.5khz와 반송파 4550khz, 5525khz와의 변조파로 되어 역에서 좌, 우측 출입문을 열도록 차량에 전송된다.

2.3 열차 운행 간격 제어

2.3.1 지하철 시스템의 제어 특성

지하철 시스템은 역과 역을 연결하는 선로에 따라 운행하는 열차들과 역의 플랫폼에서 기다리고 승·하차하는 승객들로 구성된다. 또한 각 역을 운행하는 열차들도 순서가 정해져 있으며, 역에서 기다리는 승객의 수에 따라 정차시간도 가변 된다. 특히 일정한 확률 분포로 승객이 도착하기보다는 출퇴근 시간대에 승객이 급격하게 증가했다가 일과 시간에는 한산한 형태를 보인다. 또한 각 노선별로 환승역과 도심의 주요역 등 특정역에서만 승객이 증가하여 승·하차에 따른 정차시간의 증가로 열차 지연이 발생한다. 일부 역에서는 이용 승객이 적어 운행 열차의 정차시간 조정과 역간 운행 속도 증가로 일정한 시간만큼 지연시간을 회복 할 수 있다.

또한 다른 제어대상과는 달리 지하철 시스템의 구성요소인 열차는 역에 정차하여 TWC 통신을 통해서만 중앙제어 컴퓨터와 통신을 할 수 있으므로 제어시간도 제약 받는다. 즉, 출발역에서의 제어값을 다음 역에 도착할 때까지 유지하게 된다. 그리고, 운행하는 열차는 AF 궤도회로상의 ATC 속도 제한 명령에 따라 선형열차와의 간격을 유지하므로 선형열차와의 거리가 일정거리 이하로 접근시 속도 제한을 받아 정차한다.

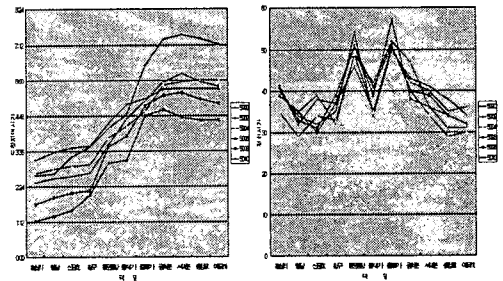


그림 2-3 각 역의 도착 지연시간 및 정차시간

2.3.2 간단한 알고리즘을 이용한 운행제어

초기의 지하철 운행제어는 대개 사람들의 수 작업에 의해 이루어졌다. 각 열차에는 기관사와 승무원 2명이 탑승하여 열차의 행을 책임지고 있었으며, 노선의 전체적인 상황을 통제하는 중앙통제센터가 따로 있어 열차에 타고 있는 승무원에게 지시를 내려 전체 시스템을 통제하였다. 그러므로 일반적으로 시스템의 차후 상황을 예상하여 예방하는 것보다는, 시스템의 상황을 보면서 필요한 경우 사후 수습을 하는 방법을 사용하여 제어를 수행한다.

이러한 지하철 시스템이 자동화되면서 선택된 방법은 간단한 알고리즘을 이용한 운행제어 방법이었다. 여기에

운행시킨다는 것은 사실상 불가능하다. 그러나 이런 경우라도 열차간의 간격이 균등하게 유지된다면 전체 시스템의 성능에 커다란 저하는 발생하지 않을 것이다.

2.4.3 시뮬레이션 및 결과

- ① 본 시뮬레이터는 열차 운행계획에 의해 자동 운전으로 열차가 운행되고 있다.
- ② 열차 운행구간은 1번역에서 12번역까지 12개 역으로 설정하였다.
- ③ 열차는 1번역으로 열차지연이나 고장에 관계없이 일정 시간 간격으로 새로 진입하며, 12번역으로 거처기지로 입고한다고 설정하였다.
- ④ 실제 상황에서는 열차가 한 역에서 출발하여 다음 역에 정차하는데 걸리는 운행시간은 약 1~3분이 소요되지만, 이 시뮬레이터에서는 1.5분으로 설정하였다.
- ⑤ 역 간 폐색은 6개의 궤도로 나누었으며, 한 궤도에서 다른 궤도로 열차가 이동하는데 걸리는 시간은 일정하다.(15초)
- ⑥ 열차의 제어 시점은 홈 궤도에 정차하여 20초(최소 정차시간)를 경과한 후로 설정하였다.
- ⑦ 열차의 회복운전 시 단축시간(Tr)은 5초로 설정하였다.
- ⑧ 열차의 홈 정차 시간은 20초~90초로 제한하였다.
- ⑨ 선행열차가 홈에서 출발할 때까지 후행열차는 홈에서 정차한다.

1) 2개 역에서 30초간 지연된 경우

시험열차 5006 열차가 역4와 역5에서 승객폭주로 인한 승하차 시간의 증가로 30초씩 총 1분간 지연 출발한 경우로, 제어 전 5004열차와 5002열차의 간격은 정상인 반면 5004열차와 5006열차의 간격은 비정상적으로 벌어져 운행되고 있다. 이러한 상황은 출퇴근 시 도심구간에서 빈번히 발생하는 상황이다. 그림 2-7과 같이 운행간격 제어 후 정상상태를 회복하였다.

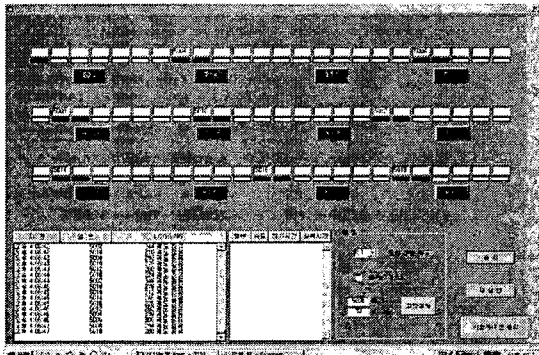


그림 2-6 두 역에서 30초씩 지연된 경우(제어 전)

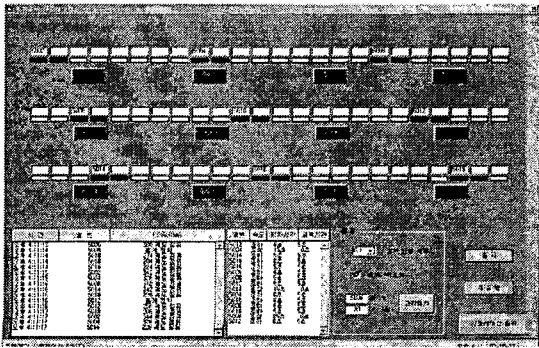


그림 2-7 두 역에서 30초씩 지연된 경우(제어 후)

2) 한 역에서 5분간 지연(고장)된 경우

시험열차 5006 열차가 역2에서 고장으로 5분간 지연 출발한 경우로, 제어 전 5004열차와 5002열차의 간격은 정상인 반면 5004열차와 5006열차의 간격은 비정상적으로 벌어져 운행되고 있다. 제어 후 5004열차를 중심으로 선행 열차와 후행 열차의 거리가 조정되어 가는 것을 알 수 있다. 하지만, 정상적인 상태의 간격을 회복하지 못하고 있는데, 이것은 열차의 회복성능이 제약을 받고 있고, 시뮬레이터의 시험역 수가 열차가 정상 상태를 회복하기에 적기 때문이다.

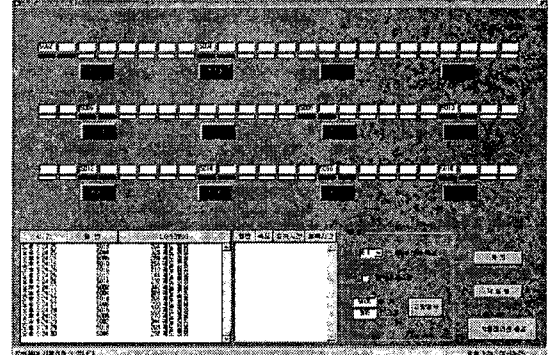


그림 2-8 한 역에서 5분간 지연된 경우(제어 전)

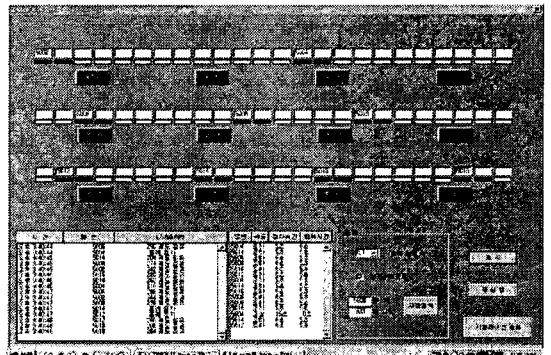


그림 2-9 한 역에서 5분간 지연된 경우(제어 후)

3. 결 론

위에서 살펴본 바와 같이 열차의 홈 정차시간의 조정과 회복운전을 병행함으로써 열차의 운행간격이 조정됨을 알 수 있다. 하지만 열차의 회복 성능이 지연시간을 따라 가지 못하기 때문에 열차의 지연이나 고장이 발생할 경우 정상상태를 회복하는 데에는 상당한 시간이 경과되어야 한다. 따라서 스크린도어 설비나 환승 위치의 조정으로 열차의 출입문 제어를 원활히 한다면 열차 지연의 주요 원인인 승객의 승하차 시간을 조절할 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김종호, "ATO통신에 의한 열차운행간격 제어에 관한 연구", 연세대학교 산업대학원, 2000
- [2] 이승수, "퍼지 제어를 이용한 지하철 운행제어에 관한 연구", 한국과학기술원, 1997
- [3] E.Bailly, "Subway line one of Lille simulation and regulation", Proceeding of the 12th International Conference on Systems Science, vol3, 331-338, 1996
- [4] Clifford F Bonnett, "Practical Railway Eng.", Imperial College Press, 1996
- [5] 서울 지하철 건설본부, "도시철도 시스템 설계서", 1991-