

# 승강장안전문이 설치된 지하철 역사내 열차 정위치 정차 확보방안 연구

## A study about the characteristic of train car precision stop on subway station where the PSD was installed

이준혁\*  
Lee, Jun-Hyuk

이준호\*\*  
Lee, Jun-Ho

---

### ABSTRACT

This paper is mainly concerned with the characteristics of precision stop on the automatic operating for the train car. Recently, the automatic operation of train car and the PSD establishment inside the subway are magnified. Consequently, the importance and necessity of characteristic of train car precision position stop are augmented. It researches the characteristic of precision position stop when the train car is operated with automatically and plans the safe operation of train car and the method of maintenance which is rational.

---

### 1. 서 론

우리나라 도시철도의 역사는 1974년 서울지하철 1호선 개통을 필두로, 부산을 비롯한 인천, 대구, 대전, 광주 등 광역도시는 물론 전국적으로 수많은 노선이 운영 또는 건설 중에 있으며, 경전철 및 자기부상열차 등도 현재 신교통수단으로 많은 지자체에서 건설 및 검토되고 있다. 최근 도시철도(경전철 등)는 승강장 안전 확보를 위한 승강장 안전시설 설치를 의무화하고 있으며, 대량수송을 위하여 열차 운행시격을 단축시키고 운영비용을 절감시키기 위해 자동(무인)열차운전장치인 ATO(Automatic Train Operation) System을 채택하고 있다. 따라서 원활하고 안전한 자동(무인)운행을 하기 위해선 특히 무인운전을 기본으로 하는 경전철의 경우 신뢰성 있는 신호 및 차량제어시스템의 기술력이 기초되어야 하고 성능변화 특성을 고려한 유지보수가 수립되어야 한다. 본 논문에서는 현재 ATO System으로 열차 자동운행 시 정위치 정차 성능특성에 영향을 미치는 요인을 분석, 평가하여 차량 성능확보 방안을 제시하고 안전사고를 예방하고자 한다.

### 2. 자동(무인)운행시스템

도시철도 차량의 차상제어장치는 운행중인 열차 상호간의 안전을 확보하고 궤도의 이용률을 극대화시키기 위해 열차의 진행방향 제어와 사고 예방기능을 수행한다. 차량 안전운행과 관련된 이들 장치로는 TIS(Train Information System), ATS(Automatic Train Stop), ATP(Automatic Train Protection), ATC(Automatic Train Control) 및 ATO(Automatic Train Operation)등이 있다. 열차운행의 효율성 향상을 위하여 이들 장치는 차량에 필요한 기초 성능을 결정짓는다. 열차위치검지기술과 열차속도제어방법에 따라 시스템의 구현방식이 달라지는데 일반적으로 아래 표1과 같이 속도단계제어방식(Speed Step Control), 단일단계제동제어기술(Single Step Brake Control) 및 이동폐색제어기술(Moving Block Control)로 분류된다. 속도단계제어기법은 현재 국내 대부분의 도시철도에서 사용되고 있는 방식으로 열차위치검지를 위하여 궤도회로(Track Circuit)를 이용하는 고정폐색과 제한속도에 대한 목표속도를 설정하고 이를 추종하는 목표속도제어방식(Target Speed Control)이 결합된 방식이다.

---

\* 서울산업대학교 산업대학원 전자공학전공 석사과정, 비회원

E-mail : jh2msy@irtc.co.kr

TEL : (032)451-2262 FAX : (032)451-2230

\*\* 서울산업대학교 전자공학과 교수, 정회원

그리고 단일단계제동제어기술은 고정폐색방식으로 차량의 위치를 검지하지만 열차 속도제어는 현재 속도에서의 제동거리를 계산하여 선행열차와의 안전거리를 확보하는 정지제동거리(Distance to go) 제어 방식을 이용한다. 부산2호선의 경우 이와 유사한 방식을 사용하고 있으며, 다른 용어로 준(Quasi)이동폐색방식이라 분류하기도 한다.

표1. 자동(무인)운행 제어기법

		열차위치 검지시스템	
		고정폐색	열차위치 차상검지
열차속도 제어시스템	목표 속도제어	속도단계제어	-
	정지제동 거리제어	단일단계 제동제어	이동폐색제어

### 3. 승강장안전문(Platform Safety Door)

승강장안전문은 승강장에 도착한 열차의 출입문과 동시에 개폐되어 열차 진출입시 승객이 선로로 떨어지는 안전사고를 예방할 수 있는 장치로 서울, 인천 및 대전지하철 등 현재 100여개의 지하철 역사에 설치가 되었거나 설치 중에 있다. 하지만 열차의 자동(무인)운행 시 정위치 정차 실패로 인한 과주 및 미주정차로 승강장안전문과 열차 출입문 사이에 승객이 끼이거나 휠체어 등이 승, 하차할 수 없게 되는데 가령 열차가 정위치 중심선에서 ± 50cm 정차했을 경우 열차 출입문의 개구부 폭은 115cm가 되어 출입문 이용이 어려운 것은 물론 혼잡시간대 좁아진 출입문에서의 안전사고 발생이 우려된다.

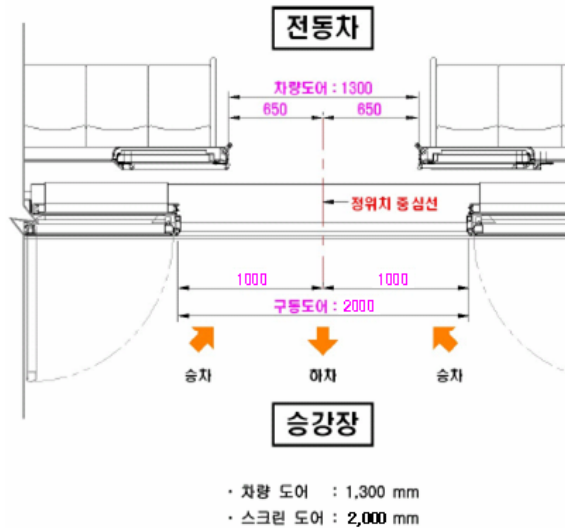


그림1. 열차 출입문과 승강장안전문의 개구부 폭

### 4. 정위치 정차 성능특성

차량에 장착된 ATO System은 자동운행시 목표 정지점에 정차하기 위해서 궤도회로부터 전송받은 ATP정보에서 ATO속도프로파일을 생성하는데 SICAS(연동장치), 현 궤도회로 및 인접 궤도회로 정보로 구성되는 지상설비의 LZB 프로파일은 궤도회로를 통하여 차상장치로 최고속도, 속도제한구간 시작지점 및 끝지점 목표거리, 구간내 제한 속도, 목표거리, 목표속도 및 궤도회로 진입속도 등의 정보를 전송하고 차상ATO장치는 이들 정보를 통하여 목표지점에 도달하기 위한 속도프로파일을 생성한다.

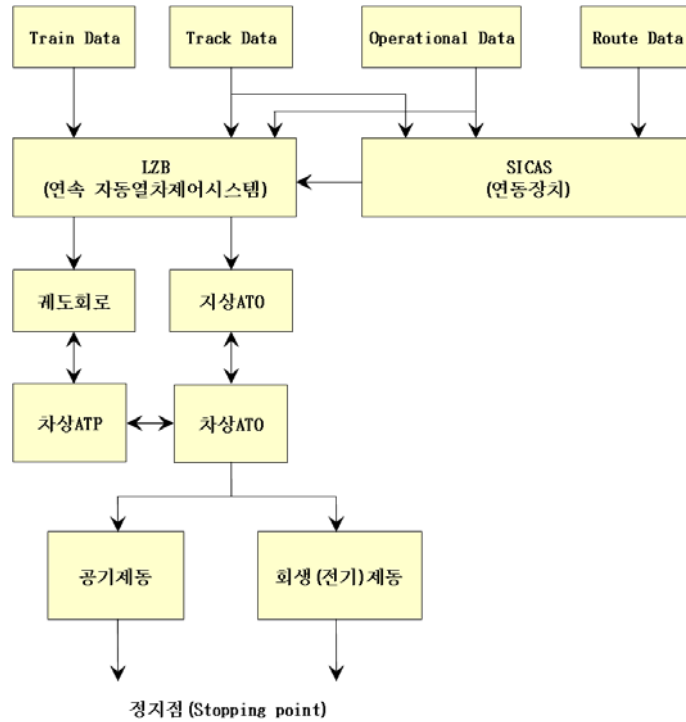


그림2. 자동 운행시 열차 제동제어 흐름도

이렇게 생성된 속도프로파일은 ATO 지령을 통하여 차량을 역행(Motoring)시키거나 제동(Braking)시키는데 역행시에는 PWM 요구 패턴을 견인인버터에 전송하여 견인전동기의 가속도 제어를 하며, 제동시에는 제동요구값을 엔코더를 통하여 각 차량의 제동전자제어유닛(ECU)내에 전달시켜 차량의 응하중을 고려한 소요제동력을 산출한다. 저크(Jerk)제어와 점착력 범위내에서 유닛(M+T) 제동력은 M차 ECU에서 견인전자장치인 PIE(Propulsion Inverter Electronics)로 회생제동요구값을 전달하여 회생제동이 체결 되도록 인버터를 제어한다. 만약 체결된 회생제동력이 부족할 경우 T차에 공기제동을 요구하여 보충하고 체결된 공기제동력값은 다시 M차에 전달되는데 그래도 제동력이 부족할 경우 M차의 공기제동력을 추가로 보충하여 목표 위치에 정차한다.

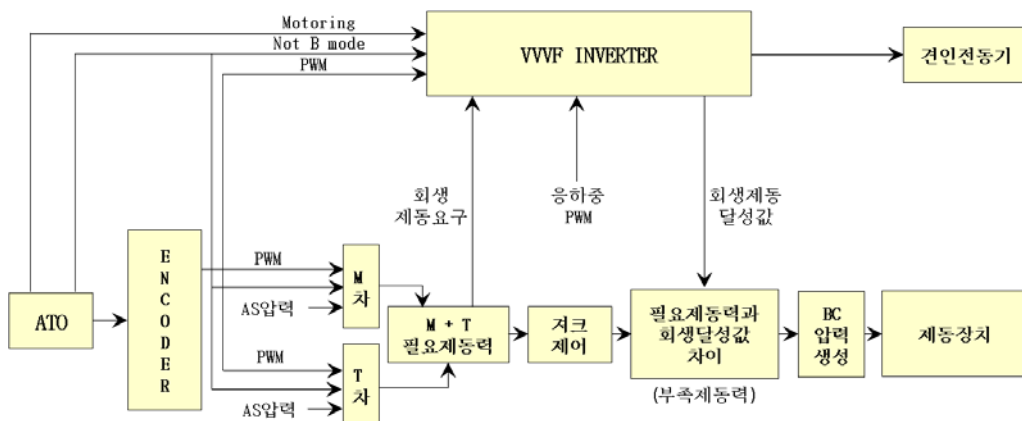


그림3. 열차 역행 및 제동 계통도

정위치 정차의 정확성은 각종 장치 장애 및 당시의 기상조건 등 다양한 영향에 의해 결정되고, 거리 측정의 정확도뿐만 아니라 견인 및 제동 특성들과 같은 열차 파라미터와 실제 열차운행 정보에 따라 결정된다. 가령 정지점에서의 동기 후 슬립과 속도발생기의 펄스 오차, 차륜직경 및 ATO루프의 설치 오차, 부정확한 ATO속도프로파일 및 궤도회로 정보 등으로 정확성이 떨어질 수 있으며, 열차 회생전력

에 대한 안정적인 수용성, 제동응답의 신속성, 제동장치의 내구성 등도 정위치 정차 특성에 영향을 미치는 요인으로 볼 수 있다.

표2. 정위치 정차에 영향을 주는 요소들

구 분	영 향 요 소
신호설비	·ATO루프, ATO속도프로파일, 차륜직경 정보 ·궤도정보, 특정 정지점에서의 오프셋(Offset) ·제어기의 정밀성 등
기타설비	·정지점에서의 슬립, 속도발생기 펄스 ·회생전력의 수용성 ·제동응답성, 제동장치 내구성 등
주위환경	·온도 및 습기

### 5. 정위치 정차 성능특성 실험 및 결과분석

자동으로 운행 중인 차량을 대상으로 정위치 정차 성능에 영향을 미치는 요인들을 항목별로 선정하여 실험 전후의 정위치 정차율과 그에 따른 자료들로 비교분석하였다. 본 논문에서는 실험결과의 객관성과 신뢰성을 위해서 현재 적용하고 있는 허용범위( $\pm 50\text{cm}$ , 관리기준  $\pm 35\text{cm}$ )를 기준으로 실험을 진행하였다.

#### 5.1 안정적인 크로스 브랜딩(Cross-Blending)

차량의 제동시스템은 공기와 회생(전기)을 병행한 혼합 제동방식으로 회생제동 투입 후 그의 부족분으로 투입되는 공기제동의 혼합으로 제동력이 발생된다. 회생제동 시 발생하는 회생전력은 전차선으로 제공되고 이때의 전차선 전압이 안정적인 상태를 유지해야 공기와 회생(전기)제동간의 원활한 크로스 브랜딩(Cross-Blending)이 이루어진다. 전차선 전압이 기준전압(1,750V)이상으로 상승할 경우 차량은 현재 속도와는 무관하게 회생제동을 차단시키고 공기제동을 투입시키는 비정상적인 상황이 발생되어 차량의 정위치 정차는 물론 승차감에도 악 영향을 미친다. 이 경우 전차선으로 유입되는 전압을 본선 구간 내 회생전력 수용 설비를 이용하여 전압상승에 따른 회생제동 차단을 예방하거나 차량내 저항기로 회생전력을 소모시켜 안정적이고 원활한 크로스 브랜딩(Cross-Blending)이 이루어지게 한다. 본 연구에서는 차량의 공기 및 회생제동요구 비율을 조정하는 방식으로 실험을 진행하였으며, 회생제동요구(100%)값 비율에 따른 열차 정위치 정차 특성을 실험하였고 그 결과 회생제동요구값이 90%일 때 가장특성이 좋은 것을 알 수 있다.

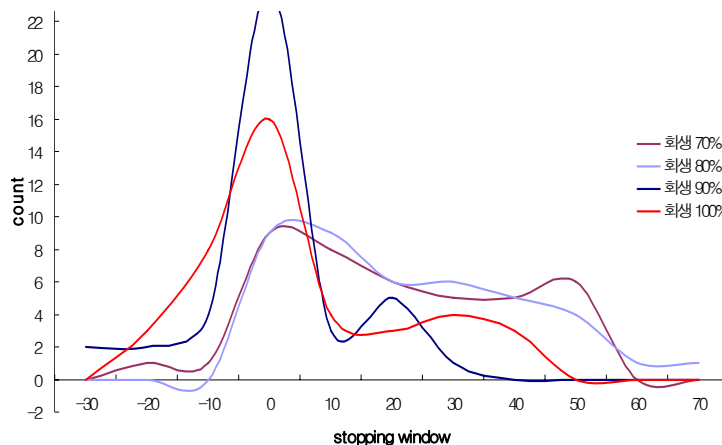


그림4. 회생제동률 조정에 따른 정위치 정차 추이  
- 1076 -

## 5.2 궤도정보 및 ATO 속도프로파일의 최적화

궤도회로부터 전송받은 지상정보와 열차의 차상정보로 생성된 ATO 속도프로파일에 따라 열차를 역행 또는 제동시키는데, 이 때 생성되는 프로파일의 기초가 되는 궤도 및 열차정보는 본선 시운전시 실측을 통한 정확한 자료가 반영되어야 정차의 정밀성을 향상시킬 수 있다. 또한 자동(무인)운행을 위해 생성된 ATO 속도프로파일이 정위치 정차점 약 35m전에서 차량의 가, 감속 제어를 얼마나 정밀하게 하느냐에 따라 정차의 정확성과 신뢰성이 달라지는데, 정차 전 기준속도(약 25km/h)이하에서는 속도프로파일과 무관하게 일정한 비율로 감속하여 목표 정지점을 과주하거나 미주하게 된다. 따라서 차량 및 궤도의 특성을 고려한 속도프로파일을 적용하여 정차의 신뢰성(≤± 35cm, 19.28%향상)을 높여야 한다.

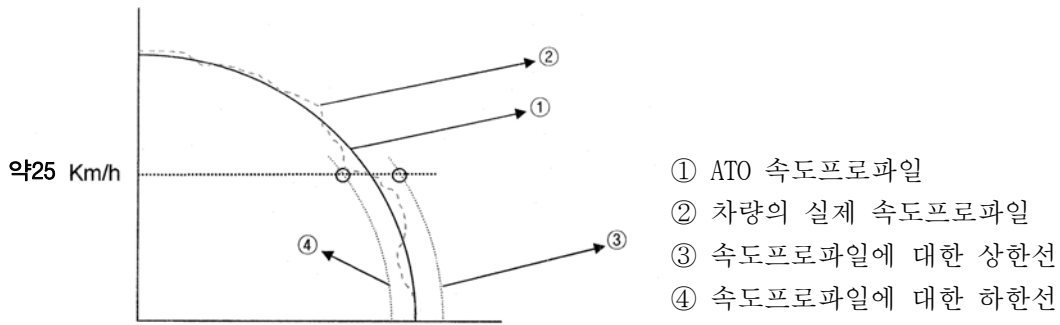


그림5. 열차 속도변화에 따른 가, 감속제어

## 5.3 제동응답(Fade Time)의 신속성

회생제동 체결 후 제동력 부족으로 투입되는 공기제동의 비율에 의해 차량의 제동력이 발생되는데, 제동 체결 후 기준속도(14km/h)이하가 되면 회생제동 소멸신호(Fade off)를 전송하고 Fade지연(0.5초)시간 후 소멸되는 회생제동력을 대신하여 공기제동이 투입된다. 이때의 회생제동 Fade지연시간이 차량의 정위치 정차 특성에 영향을 주는데, 회생제동 Fade지연시간에 따라 실험한 결과 지연시간이 작을수록 향상된 정차특성을 볼 수 있었다.

표4. 응답시간 조정에 따른 정위치 정차 특성

구 분	≤ ± 35cm	≥ ± 35cm	≤ ± 50cm	≥ ± 50cm	비 고
0.5초	82 %	18 %	95 %	5 %	
0.3초	92 %	8 %	99 %	1 %	
정위치 정차율	≤ ± 35cm 10% 향상(0.3초이내의 경우 열차 충격발생)				

## 5.4 제동장치의 내구성

각종 성능실험 및 시운전으로 차량의 정위치 정차 성능이 확보되었다 하더라도 제동 작용을 직접 수행하는 장치의 신뢰성과 내구성이 확보되지 않으면 유지관리에 어려움이 발생한다. 본 실험에서는 정비 잔여기간에 따른 정위치 정차 추이를 조사하여 제동장치의 내구성이 정위치 정차에 미치는 영향을 실험하였다. 정비 경과기간에 따른 정차율 추세선이 정비 잔여기간과 거의 일치하고 있어 정비 후 기간이 경과함에 따라 정위치 정차 성능이 점차 저하됨을 알 수 있다. 또한 전공변환중계밸브(EPR2A), 브레이크 라이닝 및 슈 등 제동장치의 내구성에 따라 열차의 정차율이 달라지는데 아래 그림6은 제동장치 교환에 따른 정차 성능결과이다.

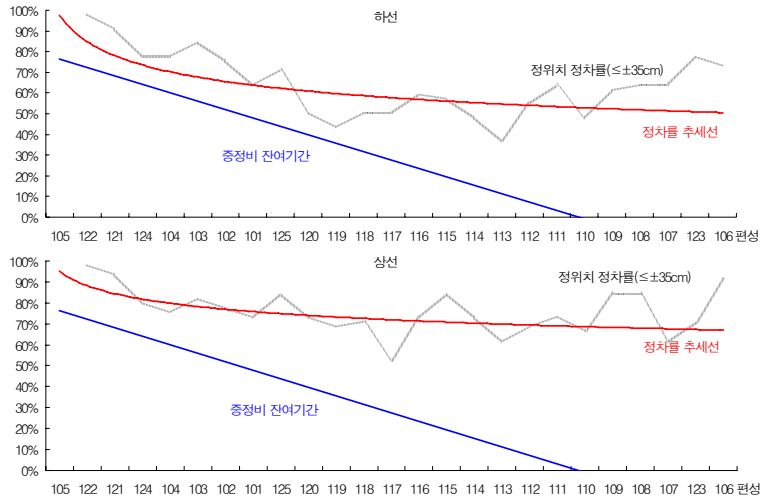


그림6. 정비 잔여기간 대비 편성별 정위치 정착 추이

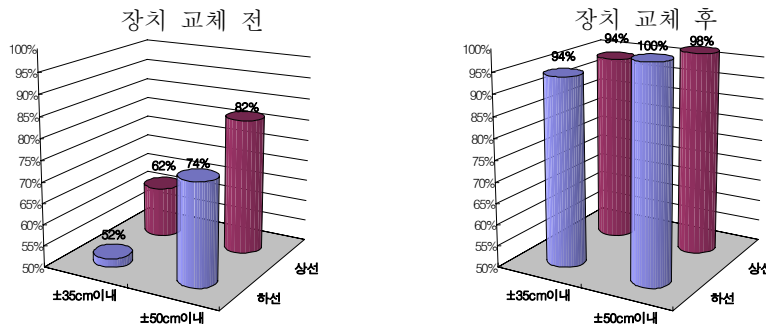


그림7. 제동장치 교환에 따른 정위치 정착 성능

## 6. 결 론

본 연구에서는 도시철도 차량의 정위치 정착 성능 특성에 영향을 미치는 요소와 제동성능과의 상관관계에 대하여 살펴보았다. 그림 앞서 논의 한 정착의 신뢰성을 향상시키기 위해서 고려해야 할 사항을 정리해 보면 다음과 같다. 첫 번째, 정착의 신뢰성을 확보하기 위해선 전차선 전압을 안정적인 상태로 유지해야 한다. 이를 위해선 차량으로부터 발생하는 회생전력을 수용하거나 소모시킬 수 있는 방안이 필요한데, 회생전력 수용 변전설비나, 소비용 저항기(네오)가 그 대표적인 예이다. 두 번째, 운영노선의 여건을 고려한 ATO 속도프로파일을 적용해야 한다. 특히, 정지점에서의 차량 가, 감속도 변화를 고려한 속도프로파일이 정착의 정확성에 절대적인 것을 시험을 통해 알 수 있었다. 세 번째, 혼합제동방식을 사용하고 있는 도시철도 차량에서의 공기 및 회생(전기)제동 전환을 위한 응답시간의 신속성 역시 정착 성능에 중요한 요소임을 알 수 있었다. 마지막으로 정위치 정착 성능을 향상시켰다고 하더라도 제동장치의 내구성 등 성능변화를 고려한 유지보수 계획이 수립되지 않는다면 신뢰성 확보가 어려울 것이다. 따라서 제동장치의 지속적인 성능개선이 필요하며, 이를 고려한 정비주기가 검토되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 김종기외, 최근의 도시철도 신호시스템 기술에 관한 연구개발(1), 한국철도학회 2006
2. 김경식외, 차상 신호시스템 국산화 개발 및 적용, 한국철도학회 2004
3. 안태기외, 표준전동차 자동/무인운전장치 개발 및 주행시험, 한국철도학회 2000
4. 박문규, 도시철도 전차의 정위치 정착 제어에 관한 연구, 서울시립대 2006
5. 백운식, ATO장치를 이용한 열차 자동운전시 과중정차 원인 분석에 관한 연구, 경희대 2003
6. 인천지하철1호선 신호설비(외자) 기술자료 : 차상신호설비