

# 계절별 주변 역사 환경 특성에 따른 전동차 정위치 정차 향상 연구

## A study on train precious position stopping improvement about seasonal environmental characteristics around stations

오상근\*<sup>†</sup>, 최진원\*, 최상록\*, 문성욱\*, 이용화\*, 유우영\*

Sanggeun Oh\*, Jinwon Choi\*, Sangrog Choi\*, SeongukMun\*, Younghwa Lee\*, Wooyoung Ryu\*

The platform screen doors were founded at all stations in governmental policy  
Train precision stop is a very important for safety of passenger and safe driving of operators  
The paper is analysis on the OVER-RUN and improve methods of precision stop about the absence of a load vehicle consumed braking regenerative energy and seasonal environmental characteristics

Especially, we study deceleration profile, regenerative braking energy patterns and change ATO profile about braking force(friction force) decrease because of the environmental factors temperature and humidity in summer season and changing the brake friction materials

정부 안전정책에 따라 본선 승강장 안전문이 전역사에 설치되고 있으며 이에 따라 전동차 정위치 정차가 승객의 안전과 승무원의 안전운행에 중요한 부분을 차지하고 있다.

본 논문은 계절별 주변역사 환경 특성 및 제동시 회생에너지를 소모 시킬 수 있는 부하 차량의 부재로 인한 과주정차(OVER-RUN)에 대한 분석과 정위치 정차 향상 방안을 연구하였다.

특히, 하절기 온습도 등 환경요인의 악화로 제동력(마찰력) 감소 및 제동 마찰제 재질 변경 등의 따른 과주정차 사례 등에 대한 감속 프로파일 연구, 회생제동력 패턴연구, ATO 프로파일 변경 등을 통하여 과주 정차를 최소화하기 위한 방안에 대해서 기술하고자 한다.

## 1. 서 론

광주도시철도 1호선은 2016년 5월 24일부터 9월 9일까지 전역사 승강장 안전문 설치에 따른 전동차 정위치 정차와 승객 안전의 중요성과 승무원 안전운행에 대한 중요성이 대두되었다. 열차 자동운행 중 과주 현상이 2011년 9월부터 2016년 3월까지 발생하지 않았으나 2016년 4월부터 7월까지 집중적으로 수십회 발생하여 발생 원인에 대한 계절별 환경적 요인과 제동 마찰제 변경 요인 그리고 제동시 회생에너지 소모에 대한 정밀한 분석과 지속적으로 기술 연구 및 본선 시험을 수행 한 결과를 근거하여 문제점을 해결하기 위한 방안과 보완 결과에 대해 검토하였으며, ATO장치, 제동장치, 제륜자, 라이닝 및 제동통과 관련하여 개선결과를 제시하고자 한다.

\*<sup>†</sup> 교신저자 광주광역시도시철도공사 차량팀, 팀장(osgpark@hanmail.net)

\* 광주광역시도시철도공사 차량팀

## 2. 본 론

### 2.1 자동운전 중 과주현상 검증 및 분석

2.1.1 동일열차 마북역(하선) 운행 중 0 호차 7 호차 열차종합제어장치 제동명령과 공기제동 그리고 회생제동응답 그래프는 fig 1 과 같다.

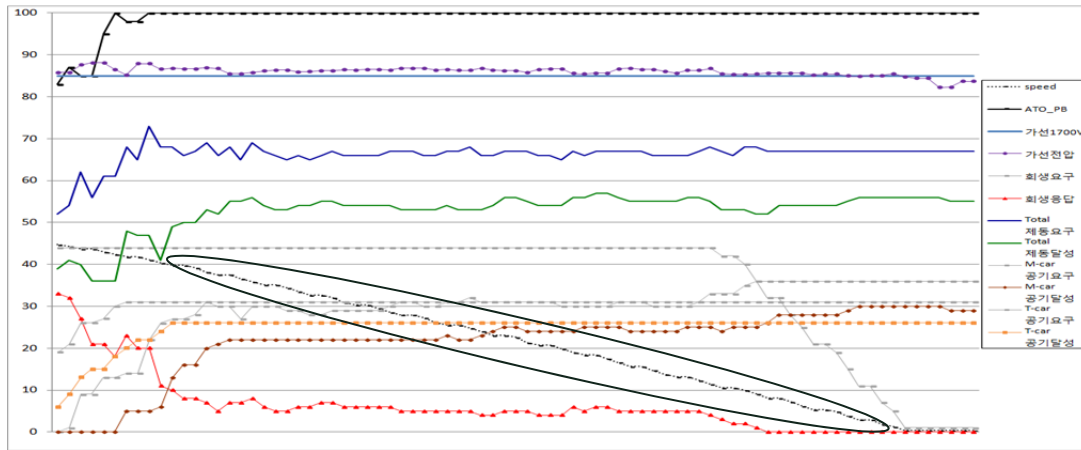


Fig 1 MT-Pair 분석 열차 Over-Run 현상

과주정차의 경우 속도 42→0km/h 까지 정상적인 제어하고 있으나 ○표시 이후부터 감속도가 낮아져 ATO 가 제동 100% 명령을 하고 있으며, ○표시 부분의 가선전압(보라색) 이 1700V 이상으로 급격히 상승하고 M Car 공기제동(갈색)이 투입되기 시작하고 TC Car 공기제동(주황색)이 상승하며 회생제동(적색)이 급격히 낮아지고 있으므로 ○표시 이후부터 정차시까지 ATO 는 지속적으로 100% 제동 요구상태이나 감속도가 3.50km/h/s 이하로 열차가 과주를 하였다.

또한 출고열차의 경우 마찰계수가 낮아 감속도가 낮아지게 되어 근본적인 과주의 원인이되고 있으며,○표시의 가선의 1700V 이상 상승으로 회생제동과 공기제동의 Closs Blending 이 시작 될 때 회생제동력과 공기제동력이 낮아져 과주의 시작점이 되며 이후 공기제동이 증가하더라도 마찰계수가 낮아 낮은 감속도로 과주 현상 발생 하였다.

2.1.2 동일열차 운천역(상선) 운행중 0 호차 7 호차 열차종합제어장치(TCMS) 제동명령과 공기제동 그리고 회생제동응답 그리고 그래프는 fig 2 와 같다.

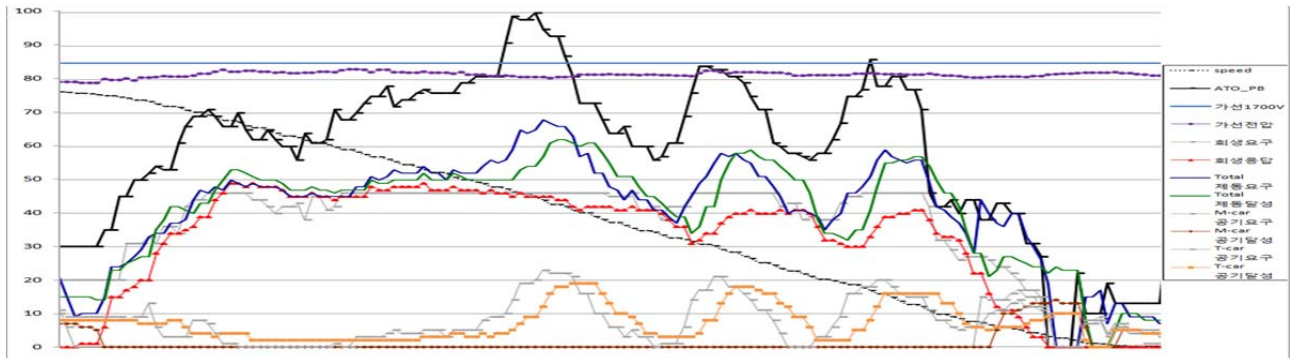


Fig 2 MT-Pair 분석 열차 정위치 정차 현상

정위치 정차의 경우 속도 70→0km/h 까지 정상적인 제어하고 있다. 전체적인 가선전압(보라색)이 1700V 이하를 유지하고 있어 회생제동이 최대 상태를 유지하고 M-Car 의 공기제동력이 0kN 으로 지속 응답하고, Tc-Car 의 공기제동력이 간헐적으로 20kN 오르고 있다. 또한 감속도가 3.0km/h/s 이하로 ATO 감속프로파일에 적정하게 추정하고 있다. 정위치 정차 그래프와 과주정차 그래프를 비교할 때 가선전압이 1700V 이상을 유지하는 경우 회생제동력이 낮아 공기제동이 최대로 높아지지만 제동토크합에 비해 감속도가 낮아 감속프로파일에 추종하지 못하는 형태를 보인다.

### 2.1.3 과주정차와 가선수용성 관계 분석

과주 정차시와 정위치 정차시의 가선전압이 1720V 이상이 되는 횟수는 fig 3 과 fig 4 와 같다.

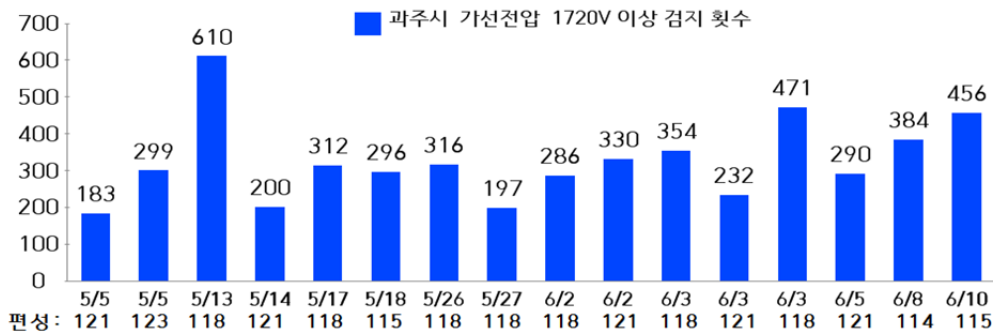


Fig 3. 과주 발생시 가선전압 1720V 이상 검지 횟수

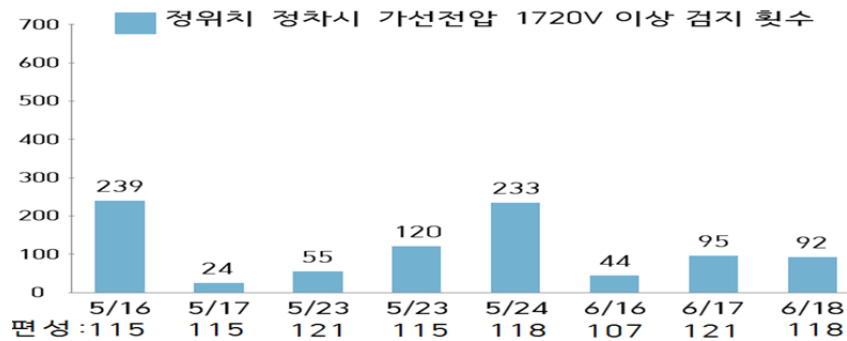


Fig 4. 정위치 정차시 가선전압 1720V 이상 검지 횟수

가선전압 1720V 이상 평균 검지 횟수가 약 113 회이며 과주시는 326 회로 약 3 배 정도 높은 것을 확인할 수 있다. 가선전압이 낮은 경우 높은 회생제동에 의해 감속도를 3.0km/h/s 정도 유지 할 수 있으나 1720V 이상이 되면 공기제동 의존도가 높아져 주변환경과 계절적 특성에 의해 마찰력이 낮아져 과주한다.

## 2.2 자동운전 과주현상의 계절적 특성과 제동 마찰제 재질변경에 따른 특성 분석

2.2.1 동절기 과주현상이 없었으며 하절기 4 월부터 과주현상이 시작되어 7 월 대폭적으로 증가함이 fig 5 와 같다, 하절기 기온이 상승하고 습도가 증가하면서 동시에 마찰계수가 낮아지면서 과주가 대폭적으로 증가함을 의미한다.

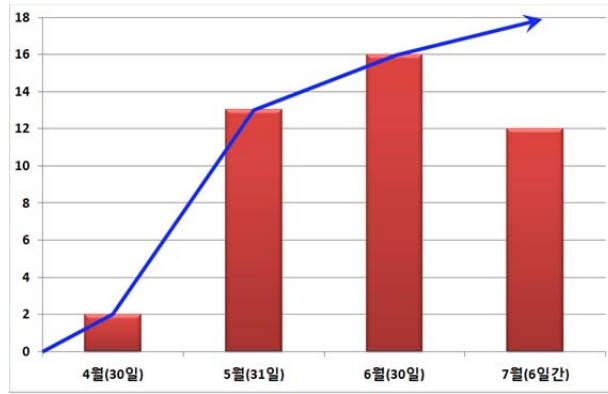


Fig 5 2016년 월별 과주발생 횟수 증가

### 2.2.2 제동 마찰제 재질 변경에 따른 차륜 온도 특성 분석

제동마찰제 재질을 폴란드산 529 와 국산 상신 제륜자로 변경하였을 경우 초기 교체시 온도는 낮게 형성되나 일정 시간 경과후 디스크면과 라이닝면이 일치하여 제동 마찰계수는 일정해짐을 보였다. 제동제륜자를 전체에서 1/2 에서 1/4 정도 교체하면 초기 마찰계수가 낮아 과주가 발생할 수 있음을 알 수 있었다, 같은 위치의 제동실린더에 동일 제륜자를 교환한 경우 신품 제륜자를 교환하여도 현상은 위와 동일했다, 동일 제동실린더 교환하여도 동일 제륜자가 사용된 경우 전과 동일한 마찰력을 가졌다.

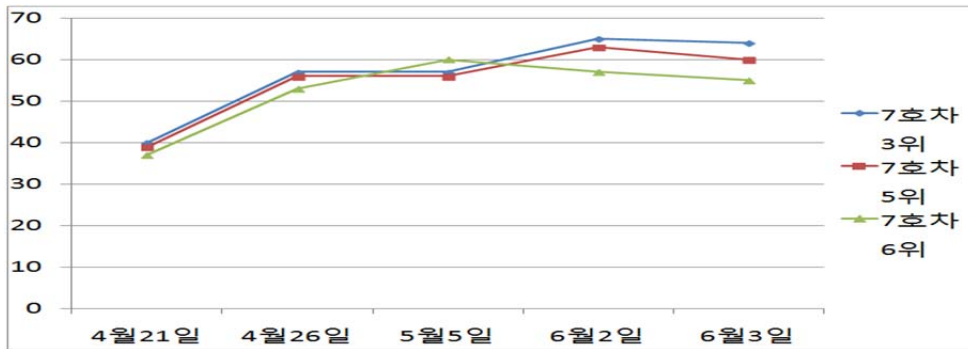


Fig 6 4월 21일 제동마찰제 529 변경 후 온도 특성

## 2.3 제동장치 프로그램 개선

### 2.3.1 ECU CPU 보드 EPROM 프로그램 개선

기존 제동압력보다 약 16% 제동압력을 상승시켜 제동감속율을 비교하고 자동운전중 감속프로파일에 얼마나 추종하는지 비교 분석하였다.

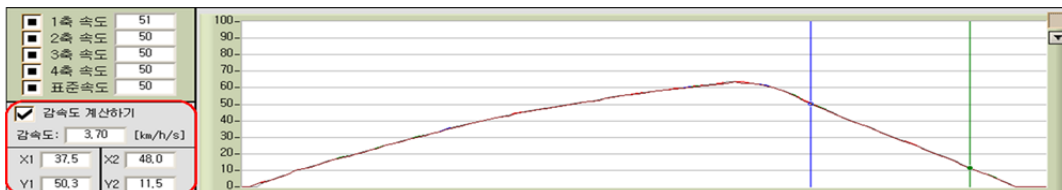


Fig 7 기존 제동압력의 제동감속율 측정(운천역-쌍촌역 상선구간)

fig7 은 기존 제동압에 대한 감속도 측정이며 운천역-쌍촌역 상선구간은 상구배 7%이므로 구배 보상을 하여 감속도를 계산하여야 한다.

$$\text{구배보상 감속도} : -0.247 = 9.81 \times \frac{-7}{1000} \times 3.6$$

$$\text{제동 감속도} : 3.45\text{km/h/s} = \frac{(50.3 - 11.5)\text{km/h}}{(48.0 - 37.5)\text{s}} - 0.247$$

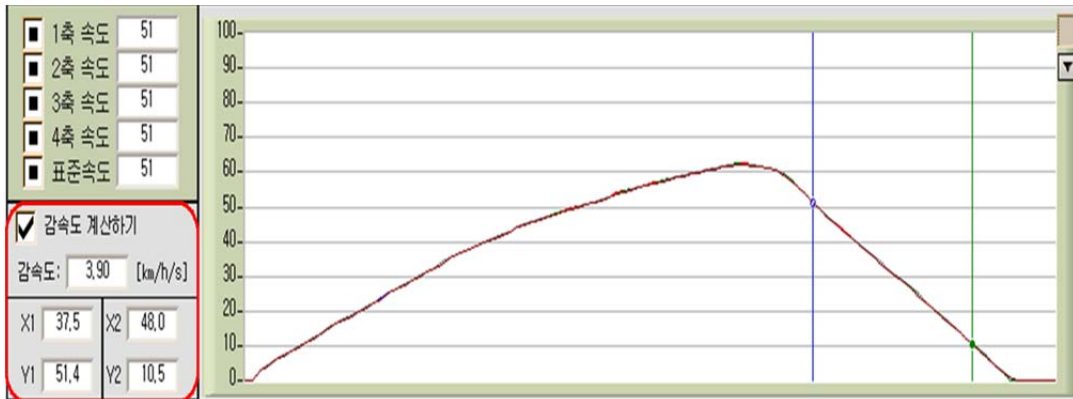


Fig 8 16% 상승 제동압력의 제동감속을 측정(운천역-쌍촌역 상선구간)

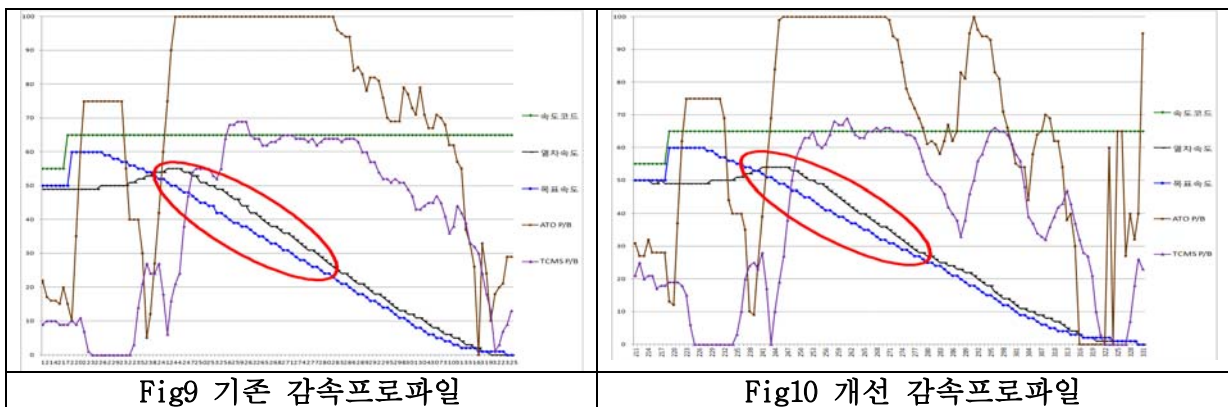
fig8 은 ECU 프로그램을 16% 상승 개선하여 제동감속을 측정한 그래프이다

$$\text{구배보상 감속도} : -0.247 = 9.81 \times \frac{-7}{1000} \times 3.6$$

$$\text{제동 감속도} : 3.648\text{km/h/s} = \frac{(51.4 - 10.5)\text{km/h}}{(48.0 - 37.5)\text{s}} - 0.247$$

제동감속도가 0.2km/h/s(3.648-3.45)가 상승됨이 확인되었다.

### 2.3.2 자동운전 감속프로파일 추종 비교



16% 상승 개선프로그램이 적용된 fig10 에서 확실히 열차속도가 목표속도에 빠르게 추종함으로 과주정차 현상이 발생하지 않도록 개선하였다.

### 2.3.3 TC-Car 공기압력 상승 비교

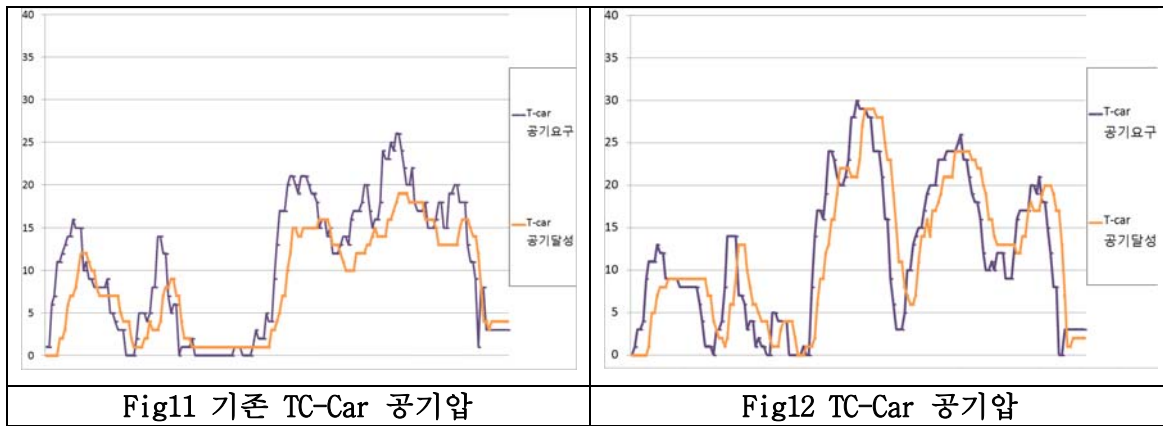


fig11 과 fig12 의 보라색 선은 TCMS 의 공기제동명령이며 주황색 선은 공기압 응답으로 개선프로그램이 적용된 그래프의 공기압이 16% 상승되었음을 나타낸다.

### 2.4 ATO 프로파일 개선

#### 2.4.1 상승과주구간 ATO 프로파일 개선

문화전당역, 쌍촌역, 공항역 하선과 화정역 상선에서 89% 상승 과주하여 ATO 프로파일을 개선하였다.

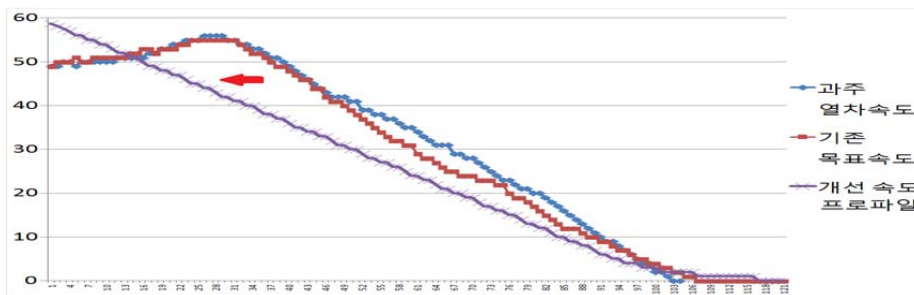


Fig 13 감속프로파일 기울기 개선

구배와 구배거리를 조정하여 감속프로파일을 하향 조정하였으며 과주발생시 감속도가 3.0km/h/s 이하로 개선프로파일 또한 감속도가 3.0km/h/s 이하가 되도록 하여 과주가 발생하지 않도록 개선하였다.

### 3. 결론

2016년도 하절기에 발생한 과주는 기온상승과 습도상승에 따라 마찰계수의 하락으로 발생하는 것으로 판단되어 ECU의 제동압 상승 개선과 상승 과주구간의 ATO 프로파일을 개선하여 과주 발생을 최대한 최소화시켰다. 그러나 ECU 압력상승으로 제륜자의 소모와 ATO 프로파일 하향에 따라 운행시분이 수 초 증가하여 운행시격에 영향을 주는 문제점이 발생하였다. 이에 대한 보안대책으로 ATO가 ECU와 회생제동을 직접 제어하고 과주 발생이 우려시에만 제동압 상승과 프로파일의 제어 개선 등의 다양한 방법과 프로그램 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 김치태, 김동환, 탁길훈(2005) 최적제어를 이용한 도시철도 차량주행제어연구, 한국철도학회 추계학술대회 논문집
- 이무호, 양기회, 박정순 수동운전 방식에서의 PSD 시스템을 위한 정위치 정차 관독방법 분석. 한국철도학회 춘계학술논문집
- 허정대 정위치 정차와 PSD 연동확인 시뮬레이터개발, 한국철도학회 추계학술대회 논문집
- 광주도시철도공사 전동차 정비지침서 (2003)