

# 승차감 향상을 위한 자동열차운전시의 제어패턴에 관한 연구

(A Study on ATO Control Pattern for Improving the Passenger'S Comfort)

신한순\* · 원충연\*\*

(Han-soon Shin · Chung-yun Won)

## 요 약

본 논문은 기존 전동차의 자동운전(ATO : Automatic Train Operation)시 발생하는 승차감 저하의 원인을 분석, 제어패턴의 수정을 통한 승차감 성능 향상에 관한 것이다. 인천지하철 1호선을 중심으로 전동차에 적용된 자동열차운전 제어기의 특성, 주행제어 원리, 거리 및 속도의 산출 방법을 제시하고 기존의 ATO 제어패턴을 분석한다. 분석을 통하여 기존 운전제어장치에서 산출된 제어패턴을 승차감 관점에서 재조명하고 주행시 고려되는 선로 환경에 대한 조건을 충족시키면서 승차감 결정의 핵심요소인 가가속도(Jerk)의 주행 특성을 최적화하여 향상된 승차감 성능을 갖는 제어패턴을 산출하였다. 도출되는 결과의 입증을 위하여 제어 패턴을 시뮬레이션하고 현차를 이용하여 본선 주행시험을 실시한 후 그 결과를 승차감의 관점에서 기존 제어패턴시의 결과값과 비교, 분석하였다.

## Abstract

This paper describes the improvement of passenger's comfort by analyzing the debasement of early adapted ATO control pattern. First we give the characteristics of ATO controller, principle of running control, distance & velocity calculation methods used mainly in INCHEON subway LINE 1 and then analyze the ATO control pattern. For early control pattern, we reviewed it in view of passenger's comfort while keeping the track conditions. In order to achieve the improvement of passenger's comfort we propose the modification of early ATO control pattern based on JERK characteristics. Simulation and application test are performed to prove the effectiveness of modified ATO control pattern.

## 1. 서론

1863년 영국 런던에서 최초로 지하철이 대중 교통 수단으로 이용되기 시작하면서 지하철은 대중교통의 주요부분을 차지하고있다. 그러나 철도차량 분야는 타 분야에 비해 상대적으로 발전의 속도가 완만하였

다. 20세기 중반부터 여러 나라가 철도차량분야의 기술개발에 관심을 두기 시작하였고 이후 급속도로 기술개발이 진행되었다. 특히 제어기술과 컴퓨터 시스템의 발달은 이 분야의 기술개발을 뒷받침하였다. 철도차량분야 열차운전제어시스템의 최근 흐름은 고속화, 자동화, 무인화로 대표된다[1]. 이러한 이유로 열차의 운전제어는 추진장치, 자동열차운전장치 및 감시장치 부분을 중심으로 기술개발이 진행되고 있다. 열차의 운전은 감각과 기능에만 의존하여 수동으로 운전되는 경

\* 정회원 : 인천광역시 지하철공사

\*\* 정회원 : 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수  
접수일자 : 2001년 1월 11일

우에는 운전자의 기량에 따라 출발과 정차시 승차감이 좌우되었으나 최근의 차상 및 지상신호기술의 발달은 열차의 운전이 운전자의 기량보다는 제어기술의 척도에 따라 승차감이 좌우되는 방향으로 변모하고 있다.

이러한 흐름속에서 자동열차운전(ATO)시스템이 도입되고 있으며 신설되는 지하철에서는 표준설비로 자리매김 하고있다. 그러나 운전제어 기술이 고속화, 자동화를 중심으로 진행됨에 따른 역기능에 대한 부분은 상대적으로 고려대상에서 간과되어 왔다. 이 논문에서는 표출될 수 있는 역기능 중의 한 요소로 승차감의 저하를 거론하였으며 자동열차운전제어에 대한 부분을 승차감이라는 감각성능에 결부시켜 검토하였다. 승차감의 성능에 영향을 미치는 외부인자로 주행저항, 차체 연결장치의 특성, 노선의 형태, 운행시간, 승객의 수 등 다양한 요인들이 있지만 여기서는 추진장치로 인터페이스 되는 ATO제어기의 출력 제어 패턴에 의한 승차감의 영향을 중심으로 기술하였다. 본문에서 자동열차운전제어장치의 특성 및 구조에 대한 기술사항들을 고찰하고 승차감의 개념에서 도출되는 문제점을 다룬 후 제어패턴의 수정을 통하여 보다 나은 승차감 성능을 실현하였다. 특히 기존의 제어패턴에서 주행시 현저하게 나타나는 충격요소에 대한 부분을 완화하여 승차감의 향상을 실현하였다.

## 2. 자동열차운전 (ATO) 제어장치의 특성 및 구조

### 2.1 자동열차운전제어 장치의 제어구조 및 속도결정 원리

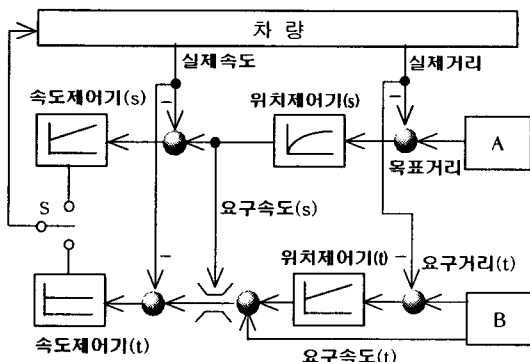


그림 1. ATO 주행제어의 원리  
Fig. 1. The principle of ATO running control

그림 1은 ATO의 추진제어의 원리를 나타내고 있다. 그림에서처럼 스위치 S에 의해 활성화되는 서로 다른 두 개의 제어경로로 구성되어진다. 두 경로는 위치에 대한 제어부분과 시간에 대한 제어부분으로 구성되었다. 상, 하의 공통 제어목표인 속도 산출은 PI-제어기에 의해 실현되며 P-제어기는 속도제어가 주임무이고 I-제어기는 P-제어기 속도제어의 오차를 밸런싱 하기 위해 사용되었다. 상단부의 제어경로는 역간 주행시간이 정상상태의 조건과 비교하여 이 보다 더 짧은 경우에 활성화되는 제어경로이다. 상단경로는 위치에 대한 제어부분으로 지상측 신호에서 전송되는 데이터 및 차상의 데이터를 기본으로 현재 거리에 대하여 요구되는 속도를 산출한다. A로 전송되는 목표거리에서 실제 차량이 주행한 거리를 뺀 값이 위치제어기로 입력되고 이 입력값에 대하여 요구되는 속도가 산출된다.

제어경로의 하단부는 제어모듈 B에서 주어진 주행 시간을 바탕으로 요구거리와 요구속도로 표현되는 속도 궤적이 산출된다. 시간에 대한 요구거리에서 실제 거리를 감하여 이 값이 0이상(+)일 경우 이에 비례하는 속도 보상치가 구해지고 이 값이 제어모듈 B의 요구속도에 더해진다. 이 더해진 값이 요구속도(s)에 의해 제한을 받는다. 여기서 요구속도(s)는 속도감시를 위한 것으로 요구속도(t<sub>1</sub>)의 속도초과를 감시한다. 요구속도(t<sub>1</sub>)에서 실제 차량속도를 뺀 값이 속도제어기(t<sub>2</sub>)로 입력되고 그 결과값이 차량으로 적용된다.

ATO 전체 제어구조의 출력값은 PWM (Pulse Width Modulation)값으로 역행시 0~20mA사이의 전류값에 대한 0~100% 범위의 PWM 요구값이 차량의 주행제어 지령을 위해 제공되며 제동시는 1.25~18.75mA의 전류값이 PWM 요구값으로 전환되어 제공된다. 2.1절에서 구해진 속도 입력값이 PWM 요구치로 환산되어 차량의 주행장치와 인터페이스 된다. ATO가 추종해야 할 속도의 산출을 위해 현재 열차의 위치정보의 감지가 필수적이며 휠의 회전에 대한 펄스계수기가 이 정보를 제공한다. 주행한 거리에서 현재의 거리를 뺀 거리가 주행거리의 산출의 기본요소가 되며 이를 "부분거리"라 한다.

$$S = FR \cdot \pi \cdot d_r \cdot \frac{W}{W} \quad (1)$$

S : 부분거리

FR : 회전방향(±1)  
 $d_r$  : 휠 직경(mm)  
 W : 단위시간당 펄스 수  
 W : 휠 회전당 펄스 수

주행한 거리는 이 부분거리의 합으로 결정되며 ATO가 산출하는 속도는 다음과 같다.

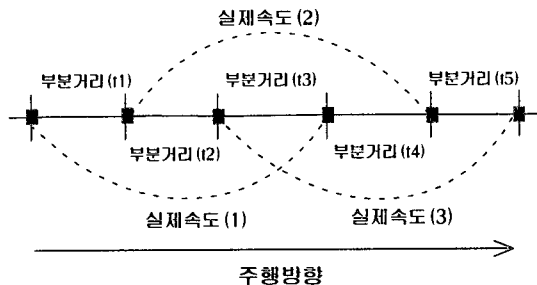


그림 2. 실제속도 결정의 원리 (n=3)  
 Fig. 2. The principle of actual speed calculation (n=3)

위의 그림은 n=3(3개의 부분거리 포함)인 경우의 속도결정 방법을 나타내었다. 거리결정 시스템에 의해 산출된 거리(부분거리)는 실제 속도의 결정에 사용된다. 매 200ms마다 산출된 부분거리에 해당하는 속도가 결정되고 이후 200ms마다 이전의 평균속도가 이용된다. 이렇게 결정된 각각의 평균속도가  $n \cdot \Delta t$  동안의 실제 속도이다.

## 2.2 승차감

승차감은 주행중인 차량에서 승객이 느끼는 쾌적감을 말하는 것으로 일반적인 승차감의 측정 기준은 진동에 대한 부분이다. 이는 상하 또는 수평진동으로 나눌 수 있다. 열차의 속도를 향상하는 경우 주행안정성 및 안전성의 확보는 물론 승차감을 일정수준으로 유지하는 것이 승객 서비스 제공에 필수적이다. 승차감의 평가지수는 진동가속도에 따른 승차감지수의 크기로 나타낼 수 있다.

$$A = \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \quad (2)$$

A: 진동가속도실효값[ $\%$ ]

a(t): 시간 t일 때의 감각보정 진동가속도[ $\%$ ]

T: 평균시간(sec)

승차감 등 인간의 감각은 등 간격 스케일보다는 대수 스케일 쪽이 잘 맞기 때문에 이 실효값을 대수로 표시하고 이것을 승차감 레벨의 정의값으로 사용한다. 승차감 레벨을 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$L_T = 20 \log_{10} (a / a_{ref}) \quad (3)$$

$L_T$ : 승차감레벨 [dB]

a : 진동가속도의 실효값 [  $\%$  ]

$a_{ref}$  : 기준진동가속도 실효치  $10^{-5}$  [  $\%$  ]

표 1. 승차감 레벨  
 Table 1. Passenger's comfort level

구분	승차감계수(dB)	승차감
①	103미만	우수
②	103~108미만	양호
③	108~113미만	보통
④	113~118미만	불량
⑤	118이상	극히불량

## 2.3 기존의 ATO 출발 제어패턴

기존의 ATO에 의한 진동차의 출발 제어패턴은 급가속 후 목표속도에 도달하여 역정차시 최대의 제동감속도에 따라 자동으로 정위치에 정차하는 것이었다. 제어패턴의 산출목표는 역간주행시간의 최소화를 통한 총 주행시간 단축에 토대를 두고 PWM 출력을 제어한 것으로서 승객에 대한 승차감 보다는 공학적인 엔지니어링 측면이 보다 강조되어 출발시나 역간 운행중인 경우 또는 역에 정차할 때 차량 충격으로 인한 승객들의 불안과 차량의 내구성 그리고 소음 등 전반적인 승차감이 저하되는 경우가 있었다.

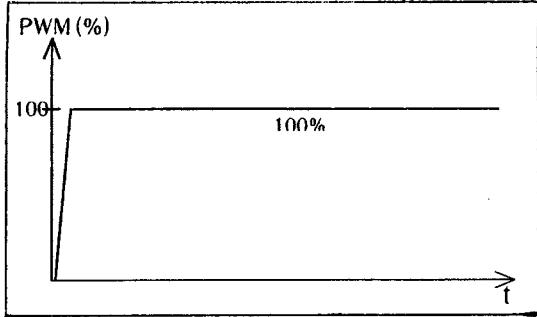


그림 3. 기존의 ATO에 의한 PWM 출력 제어패턴  
Fig. 3. ATO PWM control pattern (previous)

그림 3은 기존의 ATO에 의한 PWM 출력제어패턴의 전형적인 형태를 나타내고 있다. 그래프에서 중간단계 없이 급가속하여 최대 출력치에 도달됨을 볼 수 있다. 가로축이 시간축이고 세로축은 PWM 출력값이다. 제어패턴 산출의 목표는 역간 운행시간의 최소화를 통한 신속성에 대한 성능 부분에 비중을 크게 두었다.

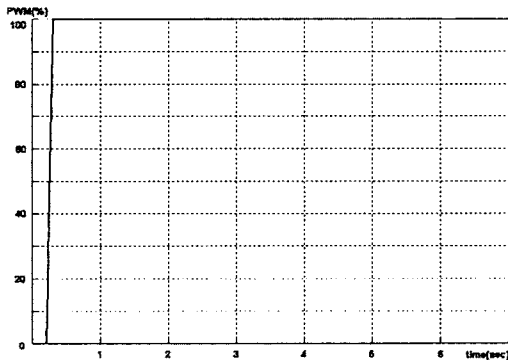


그림 4. 기존의 PWM 출력패턴 (출발시)  
Fig. 4. ATO PWM control pattern (starting)

그림 4은 전동차 출발시 기존의 PWM 제어패턴을 나타내고 있다. 가로축이 시간축이고 세로축이 제어 출력값이다.

출력값 '0' 부분은 정지상태 또는 타행에 대한 것이고 최대 출력값 도달후의 평탄부분은 등속도를 위한 출력형태이다. 가속도  $3.0\text{km/h/s}$ , Jerk  $0.7\text{ m/s}^3$  인 조건에서 ATO-controller 제어 패턴은 출발시 0%의 출력값에서 시작하여 100ms 후 출력의 최대값인 100% 요구 출력값에 도달됨을 알 수 있다.

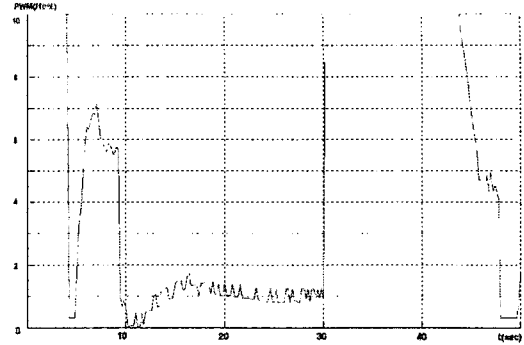


그림 5. 기존의 PWM 출력패턴 (주행시)  
Fig. 5. ATO PWM output pattern (running)

그림 5는 역간 주행시 시간에 대한 PWM출력형태를 나타내고 있다. 가로축이 시간축(ms)이고 세로축이 제어출력값 (PWM /10%)이다. 속도구간의 경계에서 권고속도의 상승 또는 하강시 변화되는 권고속도의 폭이 큰 경우에 대한 것으로 속도변화의 폭이 클수록 가, 감속도의 증가 또는 감소에 대한 PWM출력의 변화가 심하다. 이는 최소의 주행시간을 얻도록 설계된 기존 제어기법의 특징에서 비롯된 것으로 시간간격이 짧은 속도구간에서는 짧은 시간 내에서 가속과 감속이 반복되는 형태를 보인다.

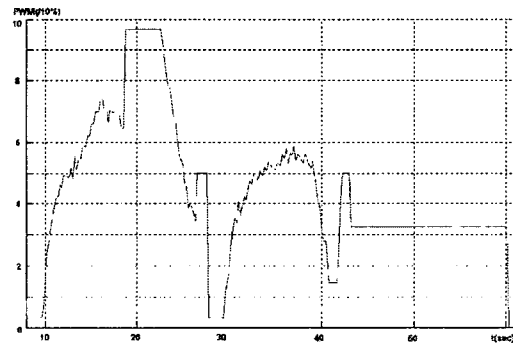


그림 6. 기존의 PWM 출력패턴 (정차시)  
Fig. 6. ATO PWM control pattern (stopping)

그림 6의 경우는 역 정지지점에 정차시의 제어패턴에 대한 것이다. 가로축이 시간축(ms)이고 세로축이 제어출력값 (PWM /10%)이다. PWM값의 증가 또는 감소의 폭이 크게 나타남을 알 수 있으며 이는 역시 최대 제동 감속도로 역 정지지점에 정차하도록 설계된 기본적인 제어목표를 따르고 있기 때문이다.

### 3. ATO 제어패턴의 수정

ATO-controller 제어패턴은 가속능력, JERK제어, 구배 등판에 따라 결정되며 한 요소의 변화는 다른 요소에 영향을 미친다. 가속도는 제어패턴으로 산출되는 속도의 범위에 따라 그 적용되는 값을 달리하며 이로 인하여 시간당 가속도의 변화율인 JERK 역시 그 범위가 넓다. JERK에 대해서는 그 제한값만을 규정하는 것이 보통이다. 2.3절에서 설명된 기존의 제어패턴은 역 출발시 급가속에 대한 충격요소, 권고속도의 폭이 큰 경우의 견인력 상승에 따른 충격과 정지시 저속에서의 충격요소를 가지고 있으며 기존의 제어패턴을 따르는 이러한 사항은 전동차를 이용하는 승객이 실제 체감하는 승차감의 저하의 요인이다. 수정된 제어패턴의 목표는 기존 제어패턴에서의 승차감 저해요소를 최소화하여 최적의 승차감을 실현하는 것이다. 새로운 제어패턴의 산출을 위하여 고려되는 단계는 정지상태에서의 출발, 권고속도 증가에 의한 가속, 정지시 저속에서의 JERK제어에 대한 부분으로 이들과 관련있는 변수들의 재구성을 통하여 수정된 제어패턴을 얻는다. 이를 위해 우선 주행환경에 대한 고려로서 역에서 출발할 경우와 역 이외의 최급 구배에서 출발할 경우를 대별하여 제어변수를 적용하였다. 제어패턴의 도출을 위한 핵심 제어요소는 요구 출력값의 상승분에 대한 PWM 상승기울기, 주행중 가속도 및 정차시의 PWM 출력값의 단계적인 제어를 위한 시간지연 등으로서 아래 3.1 및 3.2의 조건으로 시뮬레이션 및 본선 주행시험을 실시하였다[2]~[4].

#### 3.1 역에서 출발할 경우

역에서 출발할 경우의 새로운 제어패턴은 아래 그림 7과 같으며 견인력은 표 2과 같다.

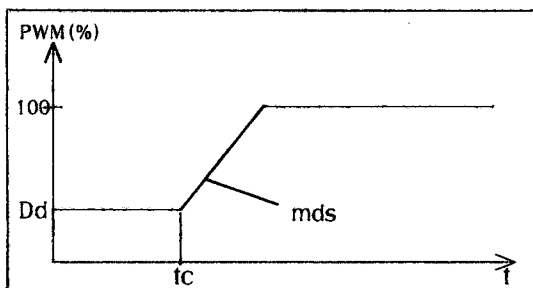


그림 7. 역 출발시의 PWM 제어변수  
Fig. 7. ATO PWM control variables (station)

tc : 초기 PWM 출력 시간지연 3.0 [sec]  
Dd : 후진방지를 위한 PWM 최소 출력값 20%  
mdd : 출발 후 기울기 = 2.4%/100ms

출발시 최소 PWM 출력값(Dd)와 지시속도 증가시 기울기(mdd)는 구배등 선로환경을 충분히 고려하여 결정되었으며 정상적인 상태에서의 출발에 필요한 견인력 계산은 다음과 같다.

표 2. 출발시 전동차 견인력 계산표  
Table 2. Train traction effort (starting)

구분	중량 (ton)	구배 (%)	Rollback effort (KN)	출발시 저항 (KN)	합계 (KN)
공차시	247	6/1000	14.5	4.5	19.0
만차시	391	6/1000	23.0	7.1	30.1

※ 구배 6/1000은 정차역에서의 최대 구배값.  
※ Rollback effort(KN) = 중량(ton)×구배(%)×9.81

그림 7과 같이 ATO의 지령이 최대 견인력요구치의 20%를 유지하다가 일정한 기울기로 모터 구동력을 증가시킬 때의 전동차의 견인력 값은 다음과 같다.

- 만차조건 및 동력차 4량이 정상일 경우 :  
 $0.2 \times 4(\text{량}) \times 94\text{KN}(\text{최대견인력}) = 75.2(\text{KN})$
- 만차조건 및 동력차 2량이 정상일 경우 :  
 $0.2 \times 2(\text{량}) \times 94\text{KN}(\text{최대견인력}) = 37.6(\text{KN})$

동력차 4량이 정상일 경우와 동력차 2량이 정상일 경우 결과값은 75.2(KN) 과 37.7(KN) 이다. 이는 상기 표 1에서 6/1000 구배에서의 필요 견인력 30.1(KN) 보다 크므로 전동차가 정차역에서 정차 후 ATO로 출발하는 정상적인 운전조건하에서는 동력차 2량만이 정상인 상태에서도 후진(Rollback)이 없는 운행이 가능하다.

#### 3.2 역 이외의 최급 구배에서 출발할 경우

역 이외의 최급 구배인 곳에서 출발할 경우의 새로운 제어패턴은 그림 8과 같으며 견인력은 표 3과 같다.

승차감 향상을 위한 자동열차운전시의 제어패턴에 관한 연구

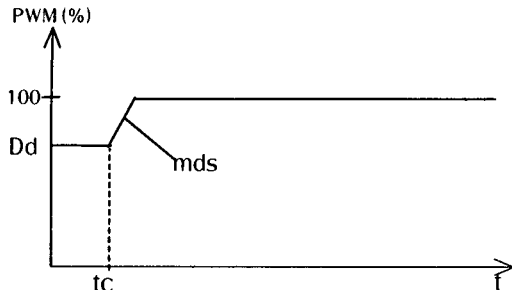


그림 8. 역이외 지역 출발시 PWM제어변수  
Fig. 8. ATO PWM control variables (starting out of station)

tc : 초기 PWM 출력 시간지연 1.5 [sec]  
Dd : 후진 방지를 위한 PWM 최소 출력값 80%  
mds : 출발 후 기울기 = 3.5%/100ms

정상적인 상태에서의 출발에 필요한 견인력 계산은 표 3와 같다.

표 3. 출발시 전동차 견인력 계산표  
Table 3. Train traction effort (starting)

구분	중량 (ton)	구배 (%)	Rollback effort (KN)	출발시 저항 (KN)	합계 (KN)
공차시	247	35/1000	84.4	4.5	88.9
만차시	391	35/1000	134.2	7.1	141.3

※ 구배 35/1000은 정상 운행조건 하에서 역이외 지역에서의 최대 구배값

※ Rollback effort(KN) = 중량(ton) × 구배(%) × 9.81

그림 8와 같이 ATO의 지령의 최초 1.5초간 최대 견인력 요구치의 80%값을 유지하다가 일정한 기울기로 모터 구동력을 증가시킬 경우의 전동차의 견인력 값은 다음과 같다.

- 만차조건 및 동력차 4량이 정상일 경우 :  
 $0.8 \times 4(\text{량}) \times 94\text{KN}(\text{최대견인력}) = 300.8(\text{KN})$
- 만차조건 및 동력차 2량이 정상일 경우 :  
 $0.8 \times 2(\text{량}) \times 94\text{KN}(\text{최대견인력}) = 150.4(\text{KN})$

동력차 4량이 정상일 경우와 2량만이 정상인 경우의 결과값은 300.8(KN)과 150.4(KN)이다. 이는 상기

표2에서 35/1000구배에서의 필요 견인력 141.3(KN)보다 크므로 역 이외의 최급 구배에서 정차 후 ATO로 출발하는 정상적인 운전조건하에서는 동력차 2량만이 정상인 상태에서도 후진 없는 운행이 가능하다.

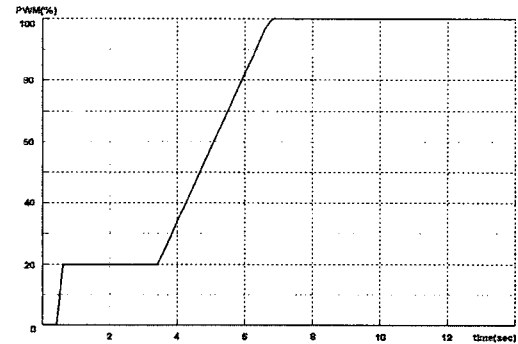


그림 9. 수정 PWM제어패턴 시뮬레이션  
Fig. 9. Simulation of PWM control pattern (modified)

그림 9는 새로운 ATO 제어패턴에 의한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 전동차가 정지된 상태에서 출발시의 ATO-controller 제어패턴에 의한 모터 구동력 값은 최초 20%로 3초간 지연후 기울기 4.5%/100ms로 3.5초 만에 모터 구동력의 값은 100%로 증가시켜 요구되는 PWM출력값을 얻는다. 이는 최초 출력값 20%로 롤백을 방지하면서 일정 시간지연을 두고 20%에서 100%의 목표값에 도달하도록 시뮬레이션 된 것이다.

#### 4. 현차 주행시험 결과 및 검토

현차 주행시험은 3.1 및 3.2의 조건과 실 주행노선에서 실시되었으며 그 결과는 아래 그림과 같다[5].

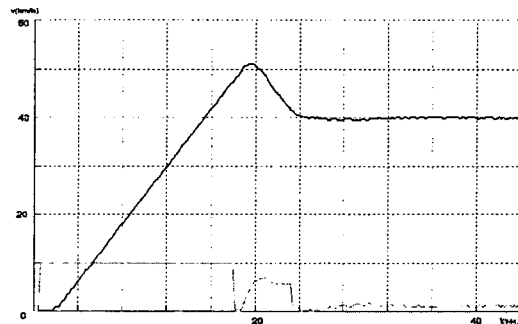


그림 10. 기존 ATO에 의한 출력패턴(출발시)  
Fig. 10. Output pattern of ATO (starting)

그림 10은 기존의 제어패턴에 의한 속도프로파일로서 출발시 급격한 속도변화를 볼 수 있으며 그림 11은 변화된 제어패턴에 의한 속도프로파일을 나타내고 있다. 기존 제어패턴에서 보여준 급격한 속도변화가 완화되어 차량의 충격이 해소되었음을 나타내고 있다.

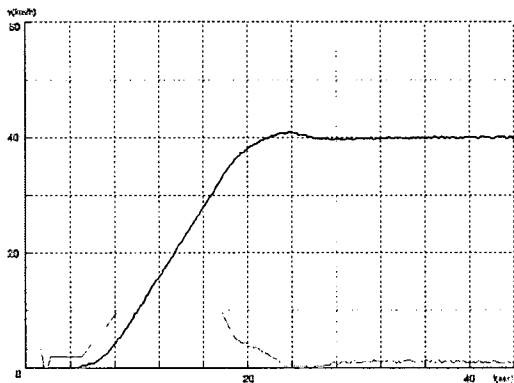


그림 11. 수정 ATO에 의한 출력패턴 (출발시)  
Fig. 11. Modified ATO output pattern (starting)

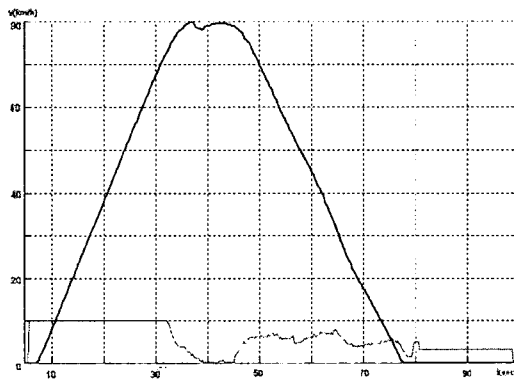


그림 12. 기존 ATO에 의한 출력패턴 (주행시)  
Fig. 12. Output pattern of ATO (running)

그림 12은 기존 ATO에 의한 주행시의 속도프로파일로서 최고 속도까지 가속 후 주행하는 형태로서 최고속도 도달 후 타행으로 이어지는 부분이 불안정하며 감속시 급감속이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

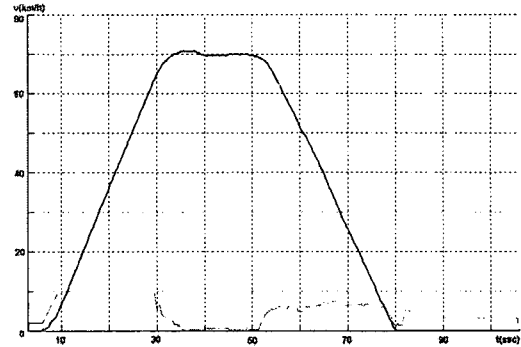


그림 13. 수정 ATO에 의한 출력패턴 (주행시)  
Fig. 13. Modified ATO output pattern (running)

그림 13는 새로운 ATO에 의한 주행시의 그래프로서 주행과 타행을 반복한 후 완만한 제동이 시작되고 있음을 알 수 있다.

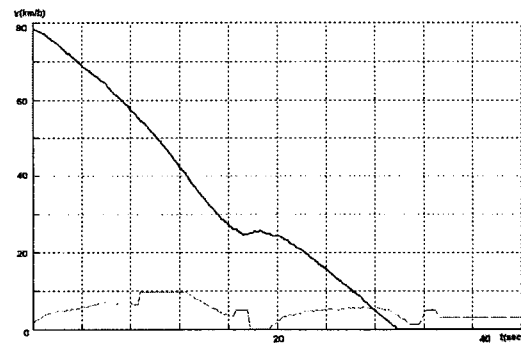


그림 14. 기존 ATO에 의한 출력패턴 (정차시)  
Fig. 14. ATO output pattern (stopping)

그림 14은 제동시 기존의 ATO에 의한 출력패턴을 나타내고 있다. 정차시 충격이 있음을 알 수 있다.

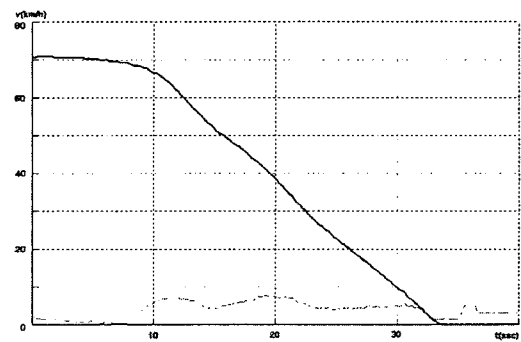


그림 15. 수정 ATO에 의한 출력패턴 (정차시)  
Fig. 15. Modified ATO output pattern (stopping)

승차감 향상을 위한 자동열차운전시의 제어패턴에 관한 연구

그림 15은 새로운 ATO에 의한 제동시 출력패턴으로서 기존 제동시의 충격현상이 해소되어 부드러운 정차 특성을 나타내고 있다.

승차감의 판정을 위하여 현차 주행시험시 구간별 진동가속도를 측정후 식(3)에 적용하여 산출된 수정 전, 후의 승차감에 대한 측정 데이터는 아래의 표 4 및 표5와 같이 나타난다. 진동가속도의 측정에는 방식형 가속계(Sest-Accelerometer)가 사용되었으며 측정데이터는 구간별로 측정된 데이터들을 산술 평균한 값이다.

표 4. 승차감 레벨 산출(기존 ATO제어)  
Table 4. Result of passenger's comfort level with non-modified ATO

구분	진동가속도실효값(%)	승차감레벨(dB)
구간1	2.18	106.76
구간2	2.37	107.49
구간3	2.47	107.85

표 5. 승차감 레벨 산출(수정 ATO제어)  
Table 5. Result of passenger's comfort level with modified ATO

구분	진동가속도실효값(%)	승차감레벨(dB)
구간1	1.02	100.14
구간2	1.16	101.30
구간3	1.27	102.06

### 5. 결론

열차제어기술의 고속화, 자동화의 핵심은 열차가 본선 운행시 역간 주행시간을 최소화하여 수송능률을 극대화하고 주행의 안전성을 확보하여 안전한 열차운행을 도모하는 것이었다. 본 논문의 요지는 자동열차운전시스템을 자동화, 고속화라는 기존의 시각을 승차감이라는 또 다른 방향에서 검토하고자하는 것이었다. 승차감의 향상이라는 기본목표에 따라 기존의 자동제어패턴으로부터 설계 가능한 변수를 재계산하여 새로운 제어패턴을 도출하였다. 주행시험의 결과에서처럼 새로이 적용된 제어패턴은 기존의

ATO시스템에서의 급가속 및 급제동에서 비롯된 충격요소와 쏠림현상을 완화하여 승차감의 향상을 달성하였다. 자동열차운전제어의 물리적인 성능의 발달은 기술적인 견지에서 관과 해서는 안될 중요 부분이며 꾸준한 기술개발이 지속되어야 한다. 향후 이러한 물리적 성능의 향상과 병행하여 인간 감각성능에 결정하는 쾌적성 부분도 반드시 고려되어야 할 중요 과제이다.

### 참고 문헌

- (1) 北原文夫, 岩本孝雄, "초고밀도철도의 열차군을 자동 분산 제어하는 동경권 수송관리시스템개발" T.IEE Jap .vol.no.4,pp.534~644,1998.
- (2) 정만규, 서광덕, "관성부하를 이용한 전동차 추진용VWF의 모의주행 및 과도 상태 시험 ,전력전자학회논문지,제4권,제6호,pp.491~499,1999,12.
- (3) 野中作太郎, 根葉保彦, "PWM제어 GTO전류형 인버터에 의한유도전동기구동시스템" T.IEEJap, Vol.no.7,pp.890~897,1987.
- (4) 정만규, 고영철, 방이석, 서광덕, "전동차용 IGBT형 추진 제어장치의 본선시험에 관한연구" 전력전자학회논문지, 제5권,제5호,pp.515~521,2000,10.
- (5) 이동춘 "유도전동기 구동시스템의 고성능 전류제어에 관한연구" pp.100~126.

### ◇ 저자 소개 ◇

**신 한 순 (申漢淳)**  
1978년 명지대 공대 전기공학과 졸업.  
1993년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사).  
2000년 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사과정수료. 현재 인천광역시 지하철공사 근무

**원 충 연 (元忠淵)**  
1978년 성균관대 공대 전기공학과 졸업.  
1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과 졸업(석사).  
1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사).1991년~1992년 미국 테네시 주립대학 전기공학과 객원교수. 현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수.