

# ATC/ATO 운영환경에서의 무인운전(DTO/UTO)방식 도입을 위한 열차운행 시스템에 대한 기술적 고려사항 연구

## The train operation functional requirements for introducing DTO/UTO with ATC/ATO system

전형구\*<sup>†</sup>, 이덕규\*, 유근규\*, 송용훈\*, 정희준\*, 김구식\*, 임소희\*

HyungGu Jeon\*<sup>†</sup>, DukGyu Lee\*, GuenGyu Yoo\*, YongHoon Song\*, HeeJun Jeong\*, GooSik Kim\*, SoHui Lim\*

**Abstract** The urban transit railway is facing the challenge to increase the social demand for metro, to satisfy the rapid and punctual movement, and to operate economically enhanced security and safety train. This paper discusses upgrading new train control system with ATC/ATO for low costs and effective operations in Seoul Metropolitan Rapid Transit through Driverless train operation test in the Seoul 8 line. This paper also presents the best operability and availability of driverless operation(UTO/DTO) with ATC/ATO in view of onboard and wayside systems.

**Keywords** : DCW, DLA, DLM, Dwell Light, Remote control and monitoring

**초 록** 도시철도에 대한 사회적 필요성 증가와 신속·정확한 이동을 요구하는 고객의 니즈를 충족하고, 경제적이면서 보안 및 안전성이 강화된 도시철도 운영이 절실히 요구되는 현실에 직면하고 있다. 현재 서울도시철도는 저렴한 투자비용과 효율적인 운영을 위하여 8호선 완전자동운전 시험을 통해 ATC/ATO 운영환경에서 새로운 열차 운행 및 통제를 위한 개선방안을 연구하고 있다. 본 논문에서는 ATC/ATO 시스템에서 무인운전(UTO/DTO)운영에 대한 최적의 운영과 활용방안을 열차운행 차상/지상 시스템 관점에서 고찰하고자 한다.

**주요어** : DCW, DLA, DLM, 정차시간(Dwell Light), 원격제어 및 감시

## 1. 서 론

도시철도는 역과 역 사이의 거리가 상대적으로 짧고, 열차운행 간격 또한 2분 내외로 매우 짧으며, 영업운행시간은 일일 평균 20시간 이상으로 매우 길다. 열차를 제어하고 감시하며, 통제하기 위한 신호기계실은 평균 3~4km 마다 설치되는 구조로 설계되어 있어서 특정 개소에서 고장이 발생할 경우 매우 짧은 시간에 전구간으로 열차운행에 지장을 초래하고 있다.

<sup>†</sup> 교신저자: 서울특별시도시철도공사 기술연구소(twinklenine48@gmail.com)

\* 서울특별시도시철도공사 기술연구소

또한 종착역(회차역)의 경우 열차 밀집현상은 더욱 가중되어 쉽게 해소될 수 없는 구조이다. 도시철도의 이용승객의 급속한 증가와 신속·정확한 이동을 요구하는 고객의 요구를 충족시키기 위하여 ATC/ATO 운영환경에서 저렴한 투자비용과 효율적인 운영을 위하여 새로운 열차운행 및 통제를 위한 개선방안이 절실히 요구되는 현실에 직면하고 있다. 따라서, ATC/ATO 시스템에 대한 최적의 운영과 활용방안을 차상/지상 시스템 관점에서 실증적 시험과 연구를 바탕으로 고찰하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 일반적인 사항

#### 2.1.1 차상시스템 개요

ATC/ATO/TWC장치는 열차자동제어장치로서 열차의 운전을 제어하는 차상 열차보호시스템이다. Fail-Safe 개념으로 설계되어 운행 중 안전을 확보하고 선로의 이용률을 최대로 높여주어 수송효율을 극대화 시켜주는 장치이다. 지상 신호시스템에 의해 부여된 속도제한을 제공하는 신호를 해독하고 ATC 시스템의 설계 파라미터를 확립하고 제어하기 위한 것이다.

차상 ATC/ATO 시스템은 다음과 같은 3 가지의 하위 시스템으로 구분할 수 있다. 자동 열차 제어 및 보호 기능의 ATC(Automatic Train Control) 시스템, 자동 열차 운행 기능의 ATO(Automatic Train Operation) 시스템과 차상-지상간 통신 기능의 TWC(Train to Wayside Communication)시스템으로 구성된다. (Fig. 1)

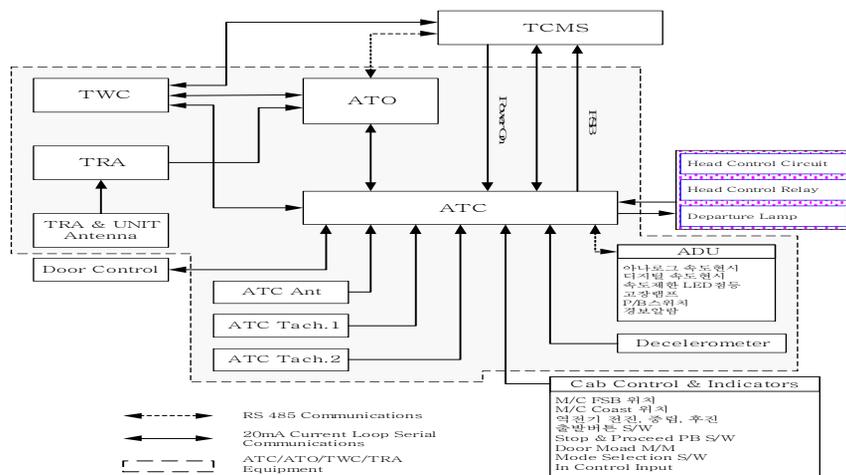


Fig. 1 The functional interface configuration for Carborne

#### 2.1.2 지상시스템 개요

지상 ATC/ATO/TWC 장치는 4가지 중요 기능을 수행하기 위하여 상호작용을 한다. 첫째 충돌 및 탈선의 방지를 위한 열차방호(ATP) 기능, 둘째 열차 이동(ATC)과 역 정차 및 출발 제어를 위한 열차운영(ATO), 셋째 스케줄에 의한 열차의 이동을 위한 열차운행관리(ATS), 넷째 시스템 요소간의 정보교환을 위한 통신기능(TWC)을 수행한다.

### 2.1.3 차상/지상시스템 기능

차상 ATC설비는 다음과 같은 기능을 수행함으로써 열차로 전송되어오는 제한속도명령을 실행한다.

- (1) 제한속도명령을 수신 후 해독한다.
- (2) 열차속도를 측정하고 이 속도를 제한속도와 비교한다.
- (3) 과속 또는 시스템이 고장일 때에는 추진력을 제거하고 제동을 건다.

열차의 출발과 역간 이동, 승강장 정위치 정차를 위한 ATC 속도코드와 정밀정차표시장치의 공진주파수 검출과 차상-지상간 통신 기능의 TWC(Train to Wayside Communication) FSK 주파수 정보 연산을 통하여 최적의 조건으로 열차자동운행 기능을 수행한다. (Fig. 2)

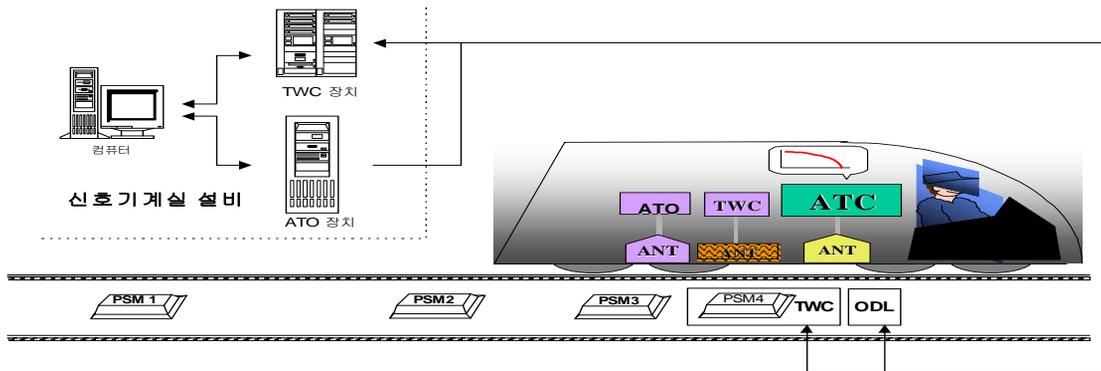


Fig. 2 The concept of ATO/TWC equipment

## 2.2 ATC/ATO시스템에서 DTO/UTO를 위한 기술적 요구조건

DTO(Driverless Train Operation)/UTO(Unattended Train Operation) 운영을 위한 ATC/ATO 설비의 기술적 요구조건은 지상설비와 차상설비로 분류할 수 있고, 이에 대한 세부 요구조건 현황은 Table 1, Table 2에서 설명한다.

### 2.2.1 지상설비 요구조건

Table 1 Requirements of Wayside equipment

구분	요구조건
정차시간(D/L)	전방의 궤도회로 및 신호기 조건, 승객혼잡도, 환승역 조건
DCW(Door Close Warning)	출입문 닫힘 예고 정보 조건
Key-up code	운전실 설정 조건
Key-dn code	운전실 교환(절체) 조건
속도코드	열차출발, 제동, 정위치 정차 조건
PSD Open/Close 제어	승강장스크린도어 제어 조건
정위치정차코일(PSM)	역간 열차운행위치 보정 조건
DLA(Driverless Authorize)	무인승인 조건
화상 및 안내방송, 통신	승강장,선로 상황 감시, 통신 조건
원격제어 및 감시	차량 원격제어 및 감시 조건

### 2.2.2 차상설비 요구조건

Table 2 Requirements of Onboard equipment

구분	요구조건
EIC(End In Control)	(비)제어측 선두 제어 상태
HCR(Head Control Relay)	전두부 운전실 제어 조건
TB(Train Berth)	열차 홈 정차 조건
속도코드	열차정지(Vo) 조건
DLM(Driverless Mode)	무인모드 설정(요청) 조건
Key-up 정보	무인승인 조건
Key-dn 정보	무인회차시 운전실 절체조건
운행속도코드	열차출발 및 운행 속도 조건
DCW(Door Close Warning)	출입문 닫힘 예고 방송 조건
차내 및 선로 모니터링	차내 및 승강장, 선로 승객이동 모니터링
원격제어 및 감시	관제에서 원격제어 및 감시를 위한 조건

### 2.2.3 요구조건에 의한 제어 및 승인 절차

위에서 기술된 요구조건에 의하여 DTO/UTO 기능 수행을 위한 일반적인 제어 및 승인 절차에 대한 흐름은 Fig. 3 에서 설명하고자 한다.

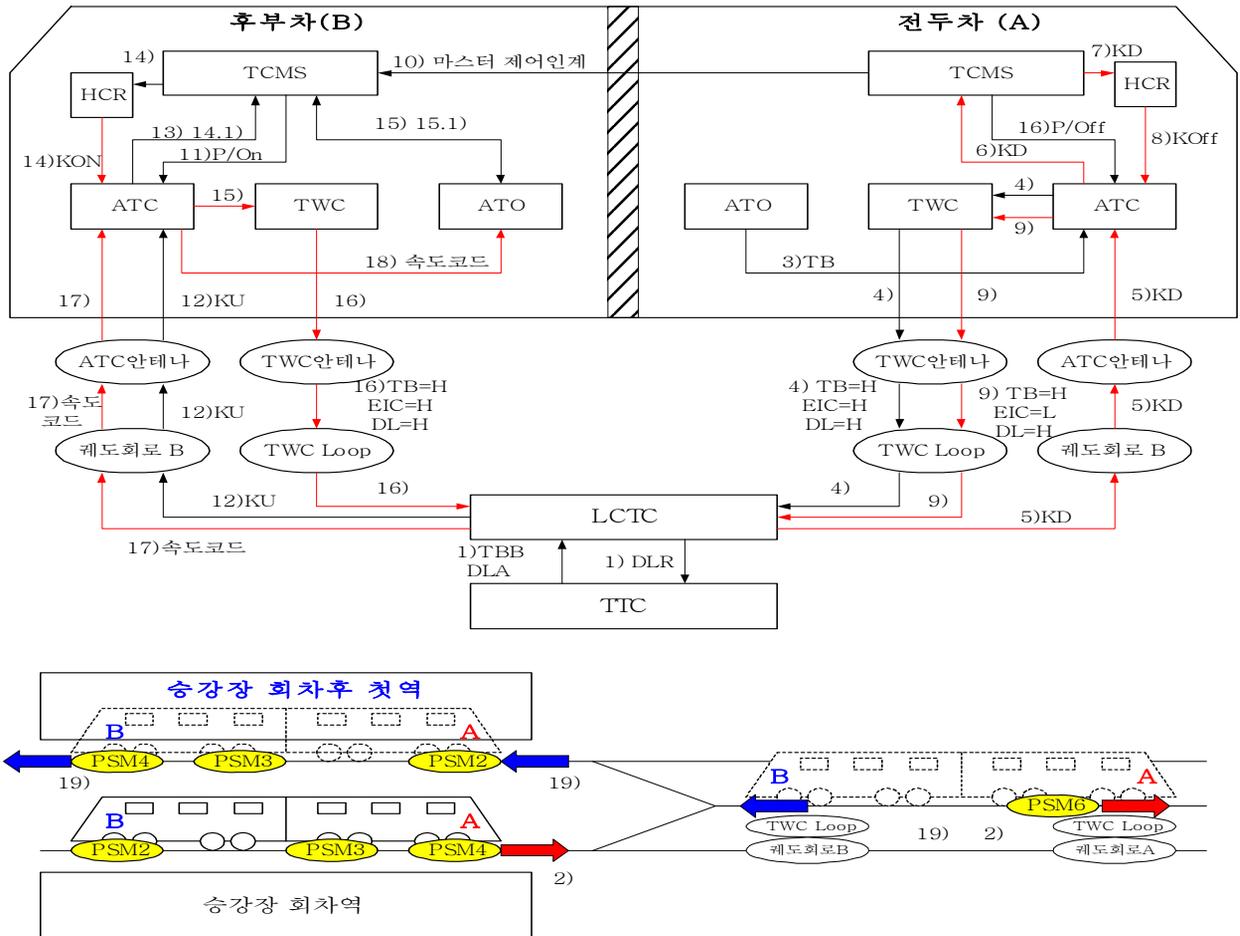


Fig. 3 The DTO/UTO turnback sequence

## 2.3 요구조건별 정보 처리 기준

### 2.3.1 정차시간(Dwell Light) 정보 bit 처리

- (1) 전방의 열차 점유 여부, 선로전환기 및 신호기 상태를 전자연동장치에서 검증하여 조건 만족 시 정보를 처리
- (2) 승강장 승객 혼잡도, 환승역 환경에 따른 유연한 정차시간 정보 처리를 위하여 표준화된 Data format 정립이 필요하며, 일반적인 정차시간 Data Format은 Table 3과 같다.

### 2.3.2 출입문 닫힘 예고(DCW : Door Close Warning) 정보 bit 처리

- (1) 정차시간(Dwell Light) 정보와 연계하여 차내 안내방송과 승강장 안내방송장치로 정보 전송
- (2) 이 정보는 PSD 장치와 관제센터로 정보를 논바이탈 전송망을 통하여 정보 전송

### 2.3.3 Key-Up 정보 bit 처리

- (1) 기지 출고 및 본선 시발역에서는 열차운행스케줄과 무인운행계획에 따라 관제사의 무인 승인 조건 만족 시 정보 처리
- (2) 회차역 및 유치선에서 운전실 선후부 교체(전환)시 진행 예정 방향 운전실의 차상 ATC/ATO/TWC/TCMS 장치 등이 무인운전 가능 상태시 정보처리
- (3) 차량이 지상/관제와 정보전송이 가능한 위치에서 차량의 Vo 속도조건(Vo = 5km/h 이하)과 정밀정차표시장치(PSM : Precise Stop Maker) 140kHz의 공진주파수 매칭되고, TWC FSK Half Duplex 56/64kHz 주파수 검지 조건 만족시 정보 처리

### 2.3.4 Key-Dn 정보 bit 처리

- (1) 회차역 및 유치선에서 도착시 차량이 지상/관제와 정보전송이 가능한 위치에서 차량의 Vo 속도조건(Vo = 5km/h 이하)과 정밀정차표시장치(PSM : Precise Stop Maker) 130kHz의 공진주파수 매칭되고, TWC FSK Half Duplex 56/64kHz 주파수 검지 조건 만족시 정보 처리

### 2.3.5 속도코드 정보 bit 처리

- (1) 속도 명령은 지상 Mini-Bond 로부터 입력되는 Cab 수신 코일에서 변조된 4550, 5525Hz의 반송자 신호를 ATC 카드파일에 전송하여 복조 및 해독한다. 해독된 속도 명령코드는 제한속도, Key-up, Key-Down, 좌 우측 출입문 열림/닫힘, PSD 출입문 열림/닫힘 명령 코드 정보를 처리(Fig. 4)

Table 3 DATA format of dwell light

ed	06	d6	89	0e	25	01	19	b4	81
STX	length	MESSAGE_NO	OP CODE 정차시간 설정	LDTS 번호	역번호 637 역	플랫폼 번호 00: 동쪽 01: 서쪽	정차시간 25 초	CRC	
Byte 1			Byte 2			Byte 3			
역번호			Platform 번호			정차시간(15 ~ 180 초 설정)			

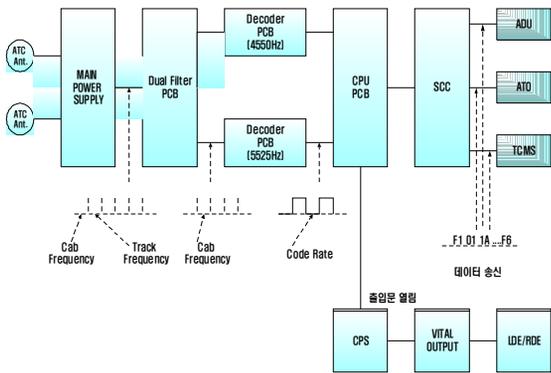


Fig. 4 The Speed Coding sequence

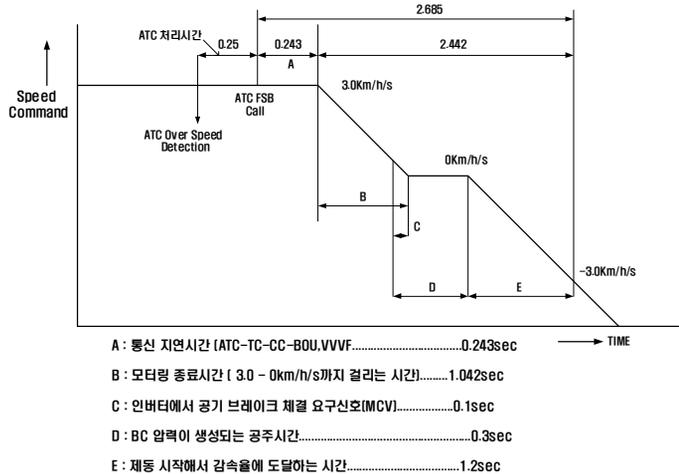


Fig. 5 Speed detection and protection sequence

(2) 속도검출 및 보호 기능은 과속검출(단계별속도, 최고속도), 후진 검출, 제동검출, 정지검출을 위한 검증절차와 시스템을 구현하고 제동검증 내부 처리 절차는 Fig. 5에서 제시한다.

### 2.3.6 PSD Open/Close 제어 정보 bit 처리

(1) PSD Open/Close 제어처리는 DTO/UTO 조건에서 매우 중요한 인터페이스 장치이며, 이는 승객의 안전과 정시 출발 조건에서 필수적인 요소이다. PSD Open/Close 정보 처리는 운전 모드(자동/수동/무인 등)에 따른 출입문 동작조건에 다양한 변수들이 존재하고 있다. DTO/UTO 운영을 위해서는 다음의 조건을 고려하여 정보 bit 처리 기준을 정립하여야 한다.

- 차량의 정위치 정차 허용범위 기준
- 차량 출입문과 PSD 출입문의 열림/닫힘시 최적의 시간간격(Time Interval) 기준
- 운전모드별 PSD 열림/닫힘 제어명령 처리 Flow 기준
- 관제센터나 유지보수 센터에서 원격 감시 및 제어를 위한 Remote Control & Monitoring 처리 기준

### 2.3.7 정밀정차표시장치(PSM) 정보 bit 처리

(1) ATO 정보인 정밀정차표시장치(PSM)의 정보처리는 차상과 지상장치간 주파수 공진에 의한 위치정보를 교환하는 것으로 이는 고정 Data로써 차량의 운행위치 보정에 활용되고 있다. DTO/UTO 조건에서 정밀정차표시장치(PSM)의 기능을 Upgrade를 통하여 불연속정보(열차 위치정보, 차상 ATO 상태 정보 등)를 차상/지상신호기계실/관제센터로 정보 전송이 가능하도록 개선이 필요하다.

### 2.3.8 화상 및 안내방송, 통신

(1) 차량이나 역사 내에서 승객의 안전과 보호를 위해 음성 및 영상시스템을 구성하여야 한다. 이러한 시스템의 구성은 다음사항을 고려한다.

- 통화장치/사령실과 이용자간의 무선 연결 시스템/CCTV 장치
- 일반인 및 근무자의 소리 알림/열차 목적지와 시간에 대한 표시.

○ 열차 혹은 역사 내에서 사령실과 이용자간의 비상 전화통신기/음성 및 영상 녹화.

### 2.3.9 원격제어 및 감시

- (1) 차량의 기동, 이동, 고장(성능저하) 정차 상황을 관제센터에서 원격으로 감시 및 제어할 수 있도록 실시간 영상/제어정보 전송
- (2) 역간 정차 및 성능저하로 서행 시 영상정보와 연계하여 관제에서 승객 안내방송 및 유도, 응급조치요원 출동지시

## 2.4 무인운전조건에 따른 종착역 표정속도 변화 추이 연구

### 2.4.1 정차시간(Dwell Light Time) 분석

운전모드에 따른 역별 정차시간은 열차 간격에 의한 열차충격 및 운행시격에 밀접한 관련이 있는 요소이다. 또한 일일 이용승객이 10만명 초과하는 노선의 경우 혼잡도, RH 시간대 등에 따라 유연한 정차시간 제어는 매우 중요하다. 무인운전의 유연한 정차시간 조정에 따른 역정차 소요시간을 분석하면 자동운전대비 약 50% 단축효과를 볼 수 있다(Fig. 6)

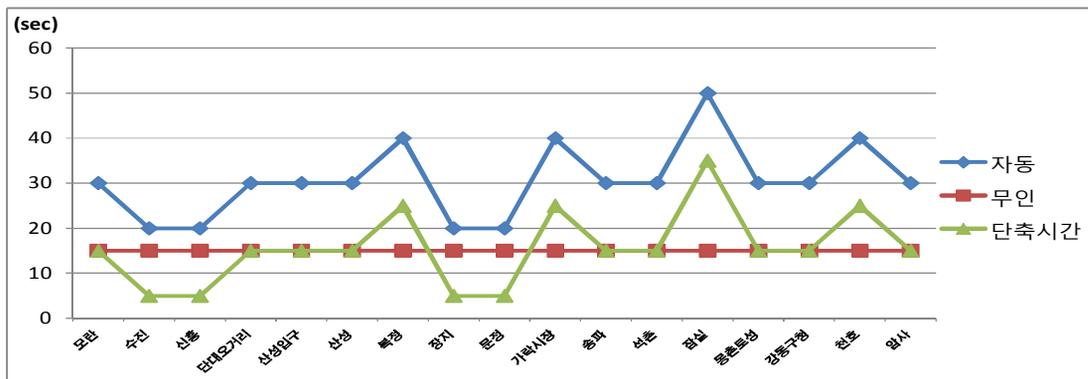


Fig. 6 Comparison on dwell light of operation mode

### 2.4.2 회차시간(Turnback Time) 및 표정속도 분석

종착역(회차역)에서 운전실 교환(Fig.10)과 기관사 이동 시간 등 회차에 소요되는 시간분석을 통하여 최소운전시격단축을 위한 주요한 요소인 회차역에서의 열차밀집현상의 최소화 방안을 도출할 수 있고 최적의 시스템 설계 시 고려 하여야 할 사항이다. Fig. 7은 회차이동 경로별 운전모드(수동/자동/무인)에 따른 소요시간 분석을 나타내고, Fig. 8은 포켓트랙(Pocket Track)에서의 운전모드별 운전실 교환시간 변화를 나타내며, 운전모드별 표정속도는 무인운전 시 약 16% 정도 향상됨을 Fig. 9에서 설명하고 있다.

## 3. 결론

약 30회의 무인 열차 운영을 통해 정차시간의 유연한 운영, 종착역 회차시간 및 운전실 교환 시간 단축 등 기존의 표정속도를 약 16% 증가시킬 수 있는 데이터를 확보할 수 있었다.

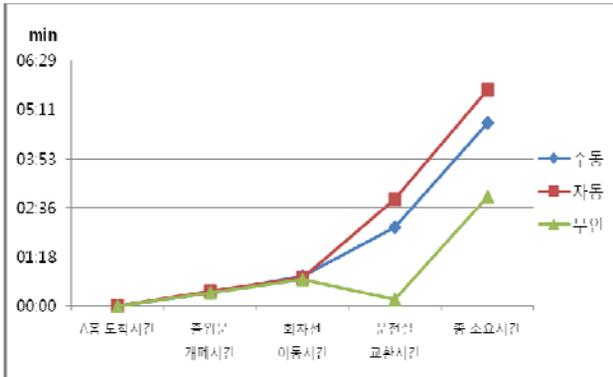


Fig. 7 Turnback Time of operation mode

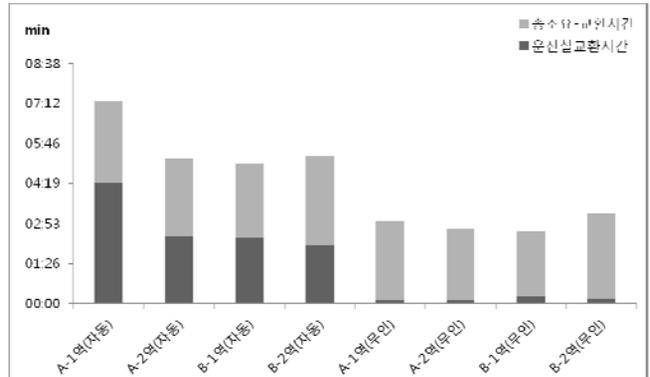


Fig. 8 Time for changing cab at Pocket Track

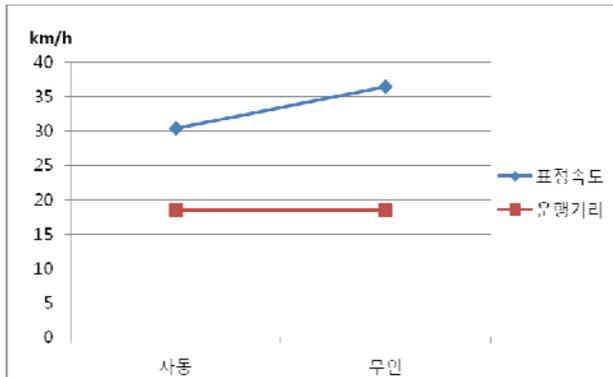


Fig. 9 Scheduled speed of operation mode

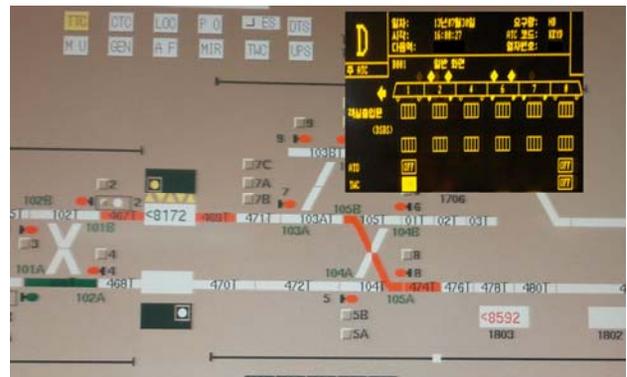


Fig.10 Key-Down situation at Carborne and Control center

이러한 무인열차를 운영하며 얻어지는 기술들은 ATC/ATO 운영환경에서 DTO/UTO 도입 시에 승객의 혼잡도 해소와 열차운영의 여유를 증대 시키는데 기여할 수 있다. 열차 운영의 안전적인 측면에서는 인재로 인한 안전사고 예방과 비상시 기관사의 활용도도 증대할 수 있을 것이다. 향후 고정폐색 궤도회로에서 무인운전 기능구현에 대한 기준이 필요하고, 많은 연구가 필요하며, 도시철도용 무선통신기반 열차제어 시스템 표준체계 구축에 도움이 되기를 바란다.

## 후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 “도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가” 과제의 지원으로 연구되었습니다.

## 참고문헌

- [1] Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation(2000), Carborne Maintenance Manual of Seoul 7 line, XIII-17
- [2] Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation(2002), Signal system Maintenance Manual
- [3] KS C IEC PAS 62267:2007, Railway applications – Automated Urban Guided Transport(AUGT) safety requirements