

## 안전제동거리 확보를 위한 Pre-Lock 기능 개선에 관한 연구 (서울도시철도 5,7,8호선을 중심으로)

### A Study on functional improvement of the Pre-Lock for ensuring the safe braking distance focused on SMRT 5,7,8 lines

박재성\*, 최정균\*\*, 맹성용\*\*, 이종우†

Jae-Sung Park\*, Jung-Kyun Choi\*\*, Sung-Young Meing\*\*, Jong-Woo Lee†

**Abstract** The function of the Pre-Lock is intended to ensure the safe braking distance. Some station did not guarantee the safe braking distance because of a switch adjacent to the front of the platform. The switch is previously locked, therefore a train can stop at precise position on the platform.

This paper reviewed the problem during the operation that is the switch out of correspondence due to the Pre-Lock function in Seoul 5,7,8 lines. In addition it presented the improvement in phase of construction and operation.

**Keywords** : Pre-Lock, safe braking distance, switch out of correspondence

**초 록** Pre-Lock 이란 승강장 전방에 인접한 분기기로 인해 안전제동거리가 미 확보된 개소에 대해 열차가 승강장에 정위치 정차할 수 있도록 승강장 전방 선로전환기를 사전에 쇄정하여 안전제동거리를 확보하는 기능이다.

본 논문에서는 서울도시철도 5,7,8 호선을 중심으로 Pre-Lock 기능 구현으로 인해 발생하는 선로전환기 불일치 등 운영상의 문제점을 검토하고, 도시철도 건설 및 운영단계에서의 개선방안을 제시하였다.

**주요어** : 선로전환기 접근쇄정, 안전제동거리, 선로전환기 불일치

## 1. 서 론

서울도시철도 5~8호선 신호시스템은 차상신호 방식을 기반으로 한 ATC/ATO 시스템으로 열차가 자동으로 승강장에 정위치 정차할 수 있도록 설계되었으며, 승강장 전방에 인접한 분기기로 인해 안전제동거리를 확보하지 못한 일부 구간을 대상으로 전자연동장치에 선로전환기 접근쇄정(이하 Pre-Lock) 기능을 구현하여 열차 과주에 의한 안전을 확보하였으나, 선로전환기 불일치 등 운영상의 문제점이 발생하였다. 본 논문에서는 서울도시철도 5,7,8호선 Pre-Lock 기능에 의해 발생하는 문제점을 분석하고, 이에 대한 개선방안을 고찰하였다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과(saganlee@seoultech.ac.kr)

\* 서울특별시도시철도공사 기술본부, 서울과학기술대학교 철도전문대학원 글로벌철도시스템학과

\*\* 서울특별시도시철도공사 기술본부

## 2. 본 론

### 2.1 Pre-Lock과 철사쇄정

#### 2.1.1 Pre-Lock 기능 및 목적

일반적으로 승강장 전방에 안전제동거리가 확보된 개소의 ATC 지시속도는 'Fig. 1'과 같으며 ATC 지시속도와 차상의 ATO Profile에 의해 열차는 승강장에 정위치 정차하게 된다.

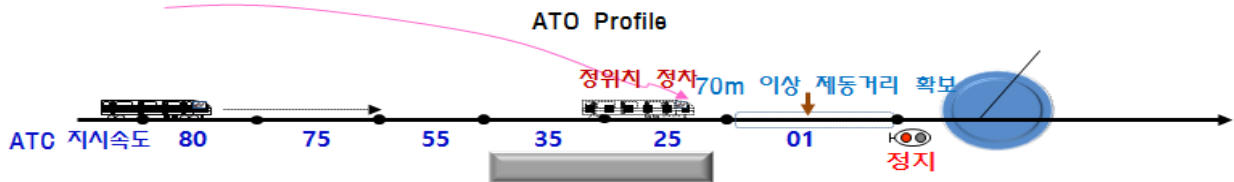


Fig. 1 The precision stop profile in the place ensuring the safe braking distance

그러나 승강장 전방에 인접한 분기기로 인해 안전제동거리가 확보되지 않은 개소의 경우 과주에 의한 안전확보를 위해 전방의 진로가 구성되어 있지 않으면 열차를 승강장에 도중 정차 시킬 수 밖에 없어 이를 보완할 목적으로 Pre-Lock 기능을 도입하였다. Pre-Lock은 승강장 전방 진로개통표시기가 정지인 경우에도 선로전환기가 정위 상태에 있으면 전방 선로전환기를 췌정하여 안전제동거리를 확보하는 기능으로, 'Fig. 2'와 같이 열차가 Pre-Lock 제어케도를 점유하는 경우 선로전환기를 정위로 췌정하고 ATO Profile 운전곡선에 맞게 ATC 지시속도를 송출하여 열차를 승강장에 정위치 정차하게 한다.

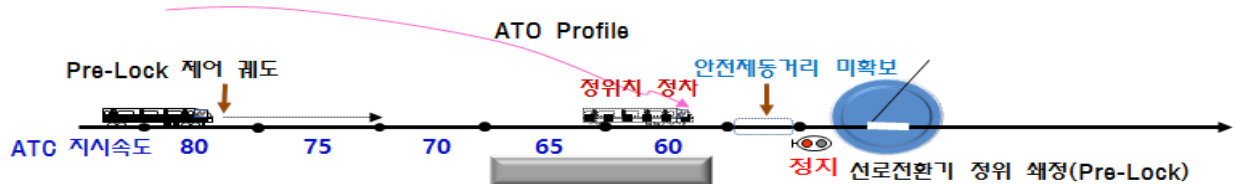


Fig. 2 The precision stop profile installed the Pre-Lock function

전방의 선로전환기는 승강장에서의 출입문 제어시간을 감안하여 승강장의 2개 케도가 동시 점유된 시점으로부터 20초 후에 해제되도록 되어있으며, 출입문 제어가 종료된 후 전방의 진로제어에 의해 열차는 정상적으로 출발하게 된다. 서울도시철도 5,7,8호선의 Pre-Lock 설치 개소는 'Table 1'과 같다.

Table 1 The location installed the Pre-Lock in SMRT 5,7,8 lines

구 분	합 계	5Line	7Line	8Line
계	36개소	15개소	15개소	6개소
상선	20개소	마곡역, 화곡역, 영등포구청역, 애오개역, 왕십리역, 강동역, 둔촌역, 마천역	수락산역, 태릉입구역, 면목역, 건대입구역, 청담역, 내방역, 광명사거리역, 천왕역	암사역, 잠실역, 가락시장역, 모란역
하선	16개소	여의도역, 군자역, 강동역, 길동역, 방이역, 상일동역, 마천역	태릉입구역, 청담역, 내방역, 가산디지털역, 운수역, 천왕역, 부평구청역	암사역, 가락시장역

### 2.1.2. 철사쇄정

철사쇄정은 선로전환기를 포함하는 궤도회로에 열차가 있을 때 이 열차의 점유 즉, 궤도회로의 단락으로 인해 선로전환기가 전환되지 않도록 하는 쇄정으로 서울도시철도의 경우 분기부 탈선 사고 시 탈선차량의 전대차와 후대차 위치에 따른 열차운행 지장의 최소화를 고려하여 서울도시철도의 경우 동작된 방향으로 전환이 완료될 때까지 전환하는 기존방식에서 ‘Fig. 3’의 (b)와 같이 전환 중 멈춤 방식으로 도입하게 되면서 Pre-Lock 불일치가 발생하게 되었다.

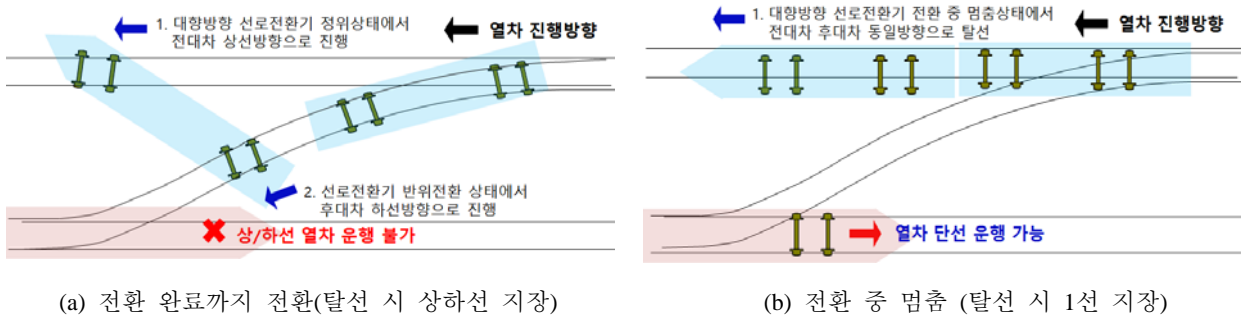


Fig. 3 Train bogie position in derailment accident

### 2.1.3 ATO운전 및 안전제동거리

서울도시철도 5~8호선은 차상 신호방식의 자동운전을 기본으로 하고 있으며, ‘Fig. 4’와 같이 차상 ATO Profile로 운행하여 다음역 승강장 정위치 정차지점에 자동으로 정차하게 된다. ATO 운행은 지상의 ATC 지시속도가 있을 경우에 가능하며, 분기기가 있는 개소는 분기기 진로를 사전에 확보 또는 쇄정하여야 만 해당 궤도에 ATC 지시속도를 송출할 수 있다.

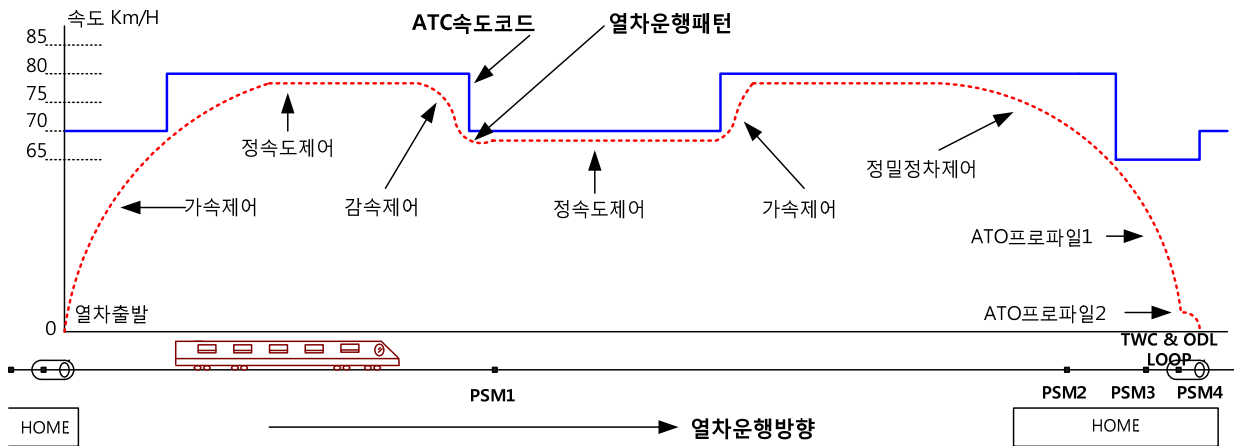


Fig. 4 ATO Profile

제동거리(S)는 공주거리(S1)와 실제제동거리(S2) 그리고 여유거리(L)의 합으로 ‘식(1), (2)’와 같은 관계식으로 산출되며 서울도시철도 5,7,8호선의 US&S시스템에 대한 폐색 설계 시 25km/h에 대한 안전제동거리를 70m를 기준으로 ATC 속도코드에 대한 폐색을 적용하였다.

$$\text{제동거리}(S) = S1(\text{공주거리}) + S2(\text{실제동거리}) + L(\text{여유거리}) \quad (1)$$

$$S = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{7.2\beta} + L \quad (2)$$

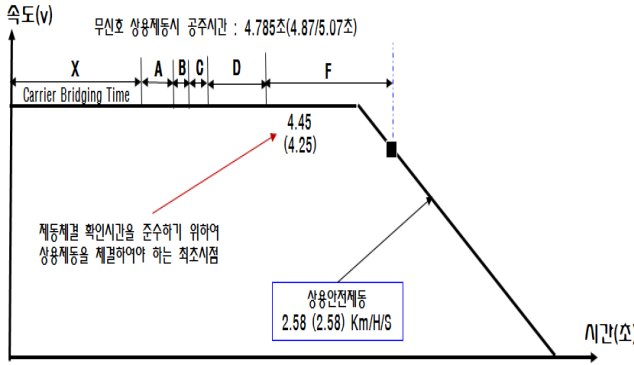


Fig. 5 Procedure of Braking and curve

Table 2 Idle Running Time of SMRT 5,7 Lines

구분	내용	시간(s)
X	NO CODE 검지	2.1
A+B	과속검지 및 FSB 명령 생성	0.25
C	통신지연	0.243
D	POWER 차단시간	1.042
F	전 상용제동(FSB) 체결	1.15

## 2.2 Pre-Lock 운영상의 문제점 및 개선 방안

### 2.2.1 Pre-Lock 불일치

서울도시철도의 진로개통표시기 제어 방식은 정지 정위식으로 관제(TTC) 자동제어 프로그램에 의해 열차가 특정레도(Trigger Point) 점유 시 열차운행 Schedule에 따라 자동진로 설정을 하며, 이때 진로구성에 따라 승강장 전방 선로전환기를 정위에서 반위로 제어함과 동시에 열차가 Pre-Lock 제어레도(제동거리 연산 최대속도코드 송출 지점으로 설정)를 점유할 경우 Pre-Lock 기능에 의해 선로전환기 불일치가(이하 Pre-Lock 불일치) 간헐적으로 발생하였지만, 단계별 속도제한에 의해 열차는 승강장에 도중 정차하게 되므로 안전확보에는 문제가 없다.

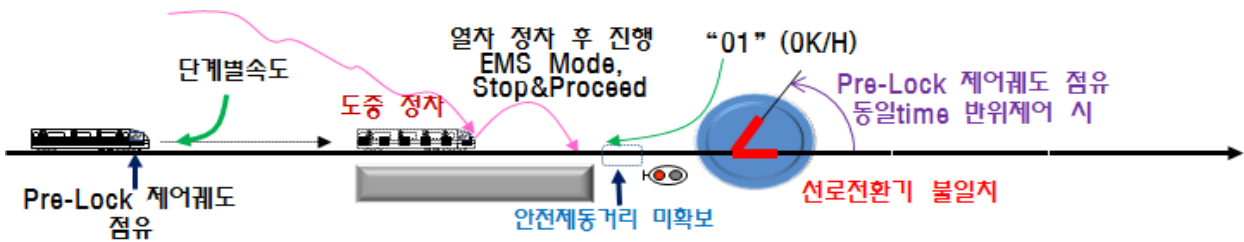


Fig. 6 The switch out of correspondence by Pre-Lock function

### 2.2.2 발생 원인 및 현황

Pre-Lock 불일치의 발생원인은 승강장 전방 선로전환기를 정위에서 반위로 제어하는 시점과 동시에 Pre-Lock 제어레도 점유가 될 때 전자연동장치에 순간적인 시간 차로(응용프로그램 내부 동작시간으로 거의 동일시간) 전환과 쇄정이 동시에 전달되어 현장정보와 제어정보의 불일치로 인해 발생된다. 이해를 돕기 위해 서울도시철도 전자연동장치의 선로전환기 쇄정에 관한 연동로직을 'Fig. 7'과 같이 시퀀스회로로 도식화하여 나타내었다.

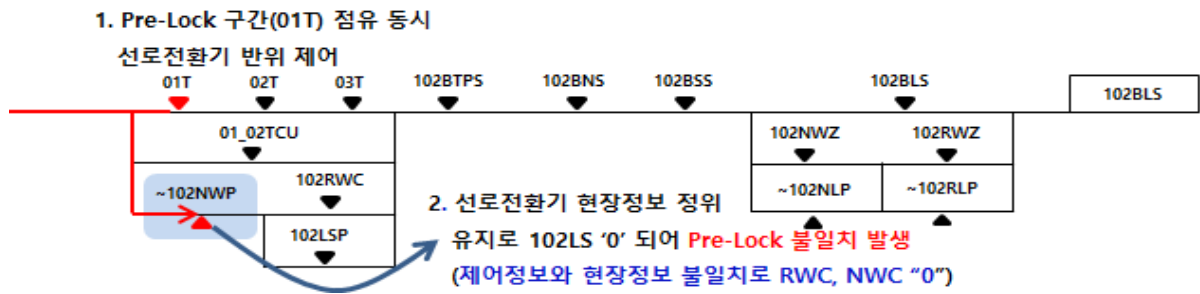


Fig. 7 Inter-locking Logic of SMRT MLK

Pre-Lock 불일치는 제어컴퓨터로부터 선로전환기 전환요청 정보가 전자연동장치로 들어오는 시점부터 시작하여 현장의 표시정보가 연동장치로 전달되는 과정에서 다양한 형태로 나타날 수 있으며, 이때 운영자는 LOCAL Mode 또는 TTC 수동제어로 해당 선로전환기를 단독제어하여 현재 위치하고 있는 선로전환기 방향과 일치시키면 원상회복되나 위와 같은 운영취급이 미숙할 경우 열차 지연 등 장애로 확대되어 이용승객에 불편을 초래하곤 하였다. 'Table 3'은 최근 5년(2011 ~ 2015) 간 Pre-Lock 불일치에 의한 운행장애 현황을 나타내었다.

Table 3 The switch out of correspondence data by Pre-Lock function in SMRT

호 선	승강장	상/하선	발생건수	호 선	승강장	상/하선	발생건수
5호선	계		4건	7호선	계		12건
	군자역	하선	1건		보라매역	상선	1건
	강동역	하선	1건		천왕역	출고선	1건
	둔촌역	상선	2건		천왕역	상선	8건
7호선	내방역	하선	1건		온수역	하선	1건

### 2.2.3 개선 방안

Pre-Lock 불일치에 의한 운행장애를 해소하기 위한 방안으로 'Fig. 8'과 같이 전자연동장치 선로전환기 쇄정로직인 LS로직의 Pre-Lock 로직에 ~102NWC \* ~102RWC 조건을 병렬로 추가하여 Pre-Lock에 의한 선로전환기 쇄정과 전환제어 명령이 동시에 이루어질 경우에 한해 선로전환기가 정위나 반위도 아니면 전환이 완료될 때까지 선로전환기 전환을 계속하도록 하여 Pre-Lock 불일치를 제거하도록 하는 방안을 고찰하였다.

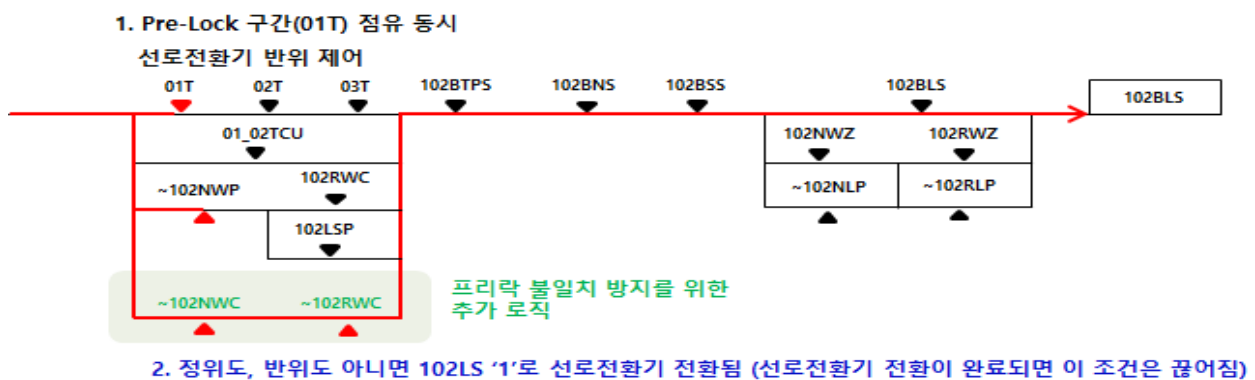


Fig. 8 Improvement of Inter-locking Logic on SMRT MLK

이는 철사쇄정에 의한 선로전환기 쇄정과는 무관한 방법으로 Pre-Lock 조건에서만 동작하며 열차가 분기기 궤도를 점유하거나 진로를 제어하면 선로전환기는 쇄정되어 안전을 확보한다. 이 방법을 적용할 경우 ‘Fig. 9’와 같이 선로전환기 전환이 완료된 후 선로전환기가 반위일 때 ‘Fig. 8’의 ~102NWP 조건으로 102BLS는 여자되어(Pre-Lock 미설정) 단계별 속도코드에 의해 제동거리를 확보하게 되므로 안전에 문제가 없으며,

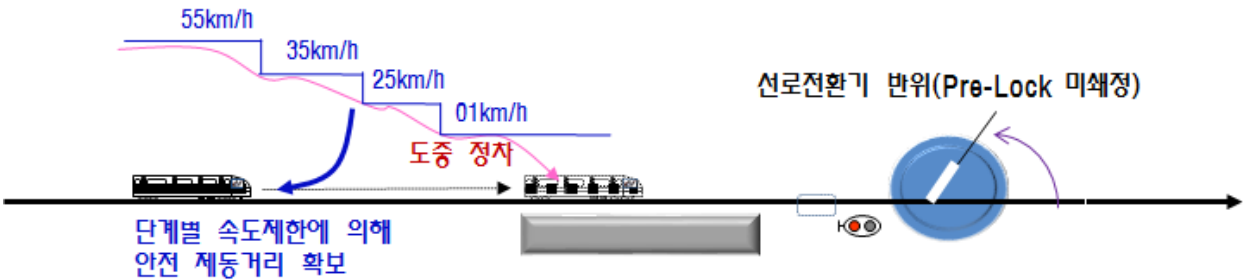


Fig. 9 The train operation when the switch turned reversely

‘Fig. 10’과 같이 전방 진로개통표시기 현시를 위해 선로전환기 반위상태에서 정위로 제어하여 전환이 완료된 경우, 진로구성에 따라 전방 선로전환기를 쇄정하고 안전제동거리를 확보하여 최고속도를 송출하게 된다. 다만 현재와 마찬가지로 반위상태에서 정위 전환 시 열차는 단계별 속도코드의 제한을 받다 최고속도를 수신 받게 되므로 승차감이 나빠지거나 정위치정차 지점을 넘어서 설 수는 있으나 진로는 확보되어 있어 안전확보에는 문제가 없다.

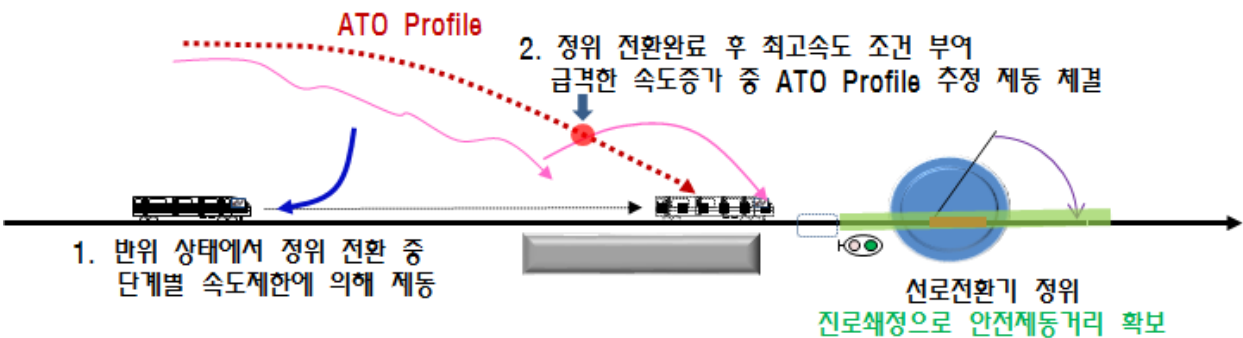


Fig. 10 The train operation when the switch turned normally

### 3. 결론

본 논문에서는 승강장 전방 과주 여유거리가 미 확보된 개소의 안전확보를 위해 Pre-Lock 기능이 구현된 운영조건에서 발생하는 위험상황인 Pre-Lock 불일치를 해소하기 위한 방안으로 연동로직 조건을 변경하여 안전을 확보하는 방법을 고찰하였다. 이는 정상적인 열차운행 Schedule 에서는 발생하지 않으나 RH(Rush Hour) 시간대 비상대기열차, 구원열차 운영 등 열차 경합구간의 비정상적인 운행조건 상황에서 관제시스템에 의한 진로제어 및 ATO 제어에 의해 발생할 수 있는 Pre-Lock 불일치를 제거하여 안전을 확보할 수 있을 것으로 사료된다. 다만 Pre-Lock 기능은 승강장 전방에 인접한 분기기로 인해 과주 여유거리가 확보되지 않는 개소의

안전제동거리를 확보하기 위해 부득이 하게 부여된 기능으로 최선의 방법은 설계단계에서 승강장 전방에 분기기가 위치한 경우 반드시 과주 여유거리를 확보하는 것이 열차 안전확보에 최우선으로 고려될 사항이라 하겠다.

### 참고문헌

- [1] S.Y. Meing (2016) Seoul Metropolitan Rapid Transit 5~8 lines Signal System Commentary (EIS), pp. 213-221.
- [2] Y.T. Kim (2004) *Signalling Control System*, Tech Media, 3<sup>rd</sup> edition, pp. 320-321.
- [3] M.K. Kim, M.S. Kim, J.S. Kim, Y.B. Yun, et al. (2011) A Study on the Safety Braking Distance in ATP System, *Journal of the Korean Society for Railway*, pp. 132-139.
- [4] S.B. Jin, J.K. Choi, S.Y. Meing, S.Y. Lee (2016) A Study on the momentary NO SIGNAL in ATC/ATO operation focused on SMRT 5~8 lines, *Journal of the Korean Society for Urban Railway*, pp. 144.
- [5] S.Y. Meing (2010) Measures to minimize the switch out of correspondence, Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation.