

# 공항철도와 서울9호선 직결운행 구현방안에 대한 연구

## A study on the implementation method of interconnection between AREX and Seoul Line 9

김영민\*  
Kim, Young-Min

임창희\*\*  
Lim, Chang-Hee

김종원\*\*  
Kim, Jong-Weon

최재호\*\*\*  
Choi, Jae-Ho

---

### ABSTRACT

It becomes to make its necessity of getting more closer approach for the design and the detailed analysis of implementation method and study with respect that the plan is put into shape for the interconnection between Seoul Line No.9 and the AREX line which has been on commercial running since it had been opened on March 2007.

We introduce the concrete analysis and the rased problems and a way how to solve as well for the characteristics of interconnection train and signaling 시스템 structure between two lines in order to design and implement the interconnection running. Also,

---

### 국문요약

2007년 3월에 1단계 구간이 개통되어 운영 중에 있는 공항철도와 서울시 지하철9호선의 직결운행에 대한 계획이 구체화되어감에 따라 구현방안에 대한 상세한 검토와 함께 설계에 대한 보다 체계적인 접근이 요구되고 있다.

본 논문에서는 직결운행을 위해 요구되는 신호시스템의 체계와 이에 따른 직결운행 전동차의 특성 등에 대해 구체적인 분석과 함께 문제점 및 해결방안 등을 제시한다. 또한, 신호시스템 분야에서 바라본 공항철도와 서울9호선의 물리적인 특성과 운영방식에 따라 기존 시스템의 수정사항 및 직결을 위해 새로이 구현되어야 할 사항들에 대해 구체적으로 살펴보고 기존의 직결운행 사례에 비해 본 직결운행이 갖고 있는 특징과 요구조건 들에 대해 보다 구체적이고 체계적인 접근을 시도하여 직결구현의 방안 및 기본기준을 제시하여 향후 직결구현에 대한 지침으로 활용될 수 있도록 한다.

---

\* 현대로템(주), 기술연구소 신호팀, 비회원

E-mail : ymkim@hyundai-rotem.co.kr

TEL : (02)2665-2104 FAX : (02)2665-7171

\*\* 현대로템(주), 기술연구소 신호팀, 비회원

\*\*\* 현대로템(주), 기술연구소 신호팀, 비회원

## 1. 서 론

2007년 3월에 개통되어 운영 중인 공항철도와 2008년 상반기에 개통될 예정인 서울지하철 9호선 간의 직결운행이 구체화되어감에 따라, 현재 두 노선에서 운영되고 있는 또는 운영될 신호시스템의 특성을 면밀히 검토하여 직결을 위한 시스템 구현방안에 대한 구체적이고 체계적인 접근이 필요한 시점이다. 따라서, 양 노선에서 구축된 신호시스템의 특징을 자세히 살펴보고 직결 운행하는 열차가 갖추어야 할 특성 및 요구조건 등을 분석하고 두 신호시스템 간의 통합을 위해 필요한 전제조건 등에 대해서도 검토하여 직결을 대비한 충분한 분석을 선행하여 향후 설계에 대한 오류를 미연에 방지하고 구현시, 시행착오를 줄일 수 있는 토대를 마련하도록 한다. 또한, 이러한 분석을 통해 예상되는 문제점과 제한조건들은 사전에 충분히 검토하여 민자사업으로 구축되는 양 노선에 대해 미치는 영향을 최소화하여 구현에 따르는 변경사항을 줄일 수 있도록 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 직결운행 해외 사례와 양 노선의 현황

직결운행이 구현되어 운영되고 있는 사례는 일본 동경의 JR과 프랑스 파리의 RER을 대표적으로 꼽을 수 있다. 이렇게 직결이 성공적으로 운영되고 있는 것은 연결하는 두 노선 간의 도시철도시스템이 모두 동일하고 직결에 대한 계획이 사전에 구체적이고 면밀하게 검토되었고, 구현 및 운영이 관련기관의 적극적이고 효율적인 지도에 따라 수행됨으로써 가능하였다. 그러나, 공항철도와 서울9호선은 민자사업으로 추진되었고 양 기관의 독립적으로 운영되고 있는 실정이므로 직결을 추진하는 데 있어서, 양사의 긴밀한 협조와 충분한 사전 계획이 요구된다. 특히 신호분야의 경우, 이 두 노선에서 도입한 시스템은 프랑스 알스톰사에서 제작 및 공급한 'MASTRIA 200' 시스템을 기반으로 한 것으로, 직결부에서 양 노선의 신호시스템을 통합하는 데에는 매우 유리한 입지에 있지만 직결을 추진함에 있어서는 앞에서 언급한 바와 같이 많은 기술적 통합이 필요할 것으로 예상된다.

### 2.2 공항철도와 서울지하철9호선의 특징

공항철도와 서울지하철9호선의 특성을 요약하면 아래의 표와 같다.

도표 1. 공항철도와 서울9호선의 특성 비교

구분	서울지하철 9호선	공항철도
노선 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 구간 총연장: 38Km</li> <li>● 정거장 수: 37, 차량기지:1(김포 소재)</li> <li>● 운행방식: 우측통행, 완행/급행 혼재운영</li> <li>● 운행시격: 초기 4.5분, 최종 2.5분</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 구간 총연장:61Km</li> <li>● 정거장 수:10, 차량기지: 1(용유도 소재)</li> <li>● 운행방식: 좌측통행, 완행/급행 혼재운영</li> <li>● 운행시격: 초기 12분, 최종 4 ~ 6분</li> </ul>
차량 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 급전방식: DC 1,500V</li> <li>● 설계최고속도: 100Km/h</li> <li>● 차량편성: 4량/6량 탄력운영</li> <li>● 운전방식: ATP/ATO CAB당 이중계</li> <li>● 극성: 차량기지 내 루프선으로 인해 운전실Tc1과 운전실Tc2의 극성이 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 급전방식: AC 25,000V</li> <li>● 설계최고속도: 120Km/h</li> <li>● 차량편성: 6량/8량 탄력운영</li> <li>● 운전방식: ATP/ATO 편성당 이중계</li> <li>● 극성: Tc1은 상선만 운행, Tc2는 하선만 운행하는 극성이 있음</li> </ul>
신호 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 시스템: ALSTOM Mastria™ 200</li> <li>● 폐색방식: 차상 ATP/ATO Distance to go 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 시스템: ALSTOM Mastria™ 200</li> <li>● 폐색방식: 차상 ATP/ATO Distance to go 방식</li> </ul>

이와 같이, 서울지하철 9호선과 공항철도는 노선 및 차량의 특성은 서로 다르지만 신호시스템은 동일한 방식으로 구현되었다. 따라서, 직결운행을 위해 양 노선의 신호시스템을 통합하는 데에는 매우 유리한 상황이다.

### 2.3 직결을 위한 전제조건

기존에 구축되어 있는 양 노선에 대한 변경을 최소화하고 신호시스템을 통합하는 데 있어서, 반드시 필요한 사항을 중심으로 전제조건을 제시한다.

1) 서울지하철9호선의 경우,

- 서울9호선의 직결운행차량은 6량으로 구성되며, 공항철도에서는 완행열차로 운행
- 직결차량(6량 편성)은 기존 서울9호선의 4량 편성의 열차보다 우월한 가속/제동 특성을 지님
- 차상 신호시스템은 운전실 당 이중계 구성
- 동일한 차량에 대해 완행/급행을 변경할 수 있음

2) 공항철도의 경우,

- 공항철도 직결운행차량은 6량으로 구성되며, 서울9호선에선 급행열차로 운행
- 차상 신호시스템은 편성당 이중계 구성
- 완행열차와 급행열차가 서로 다름

3) 시스템 통합 측면에서,

- 직결운행 열차는 DC/AC겸용으로 제작

이러한 전제조건에 따라, 직결운행 열차의 노선표를 간략히 표현하면 아래의 그림과 같다.

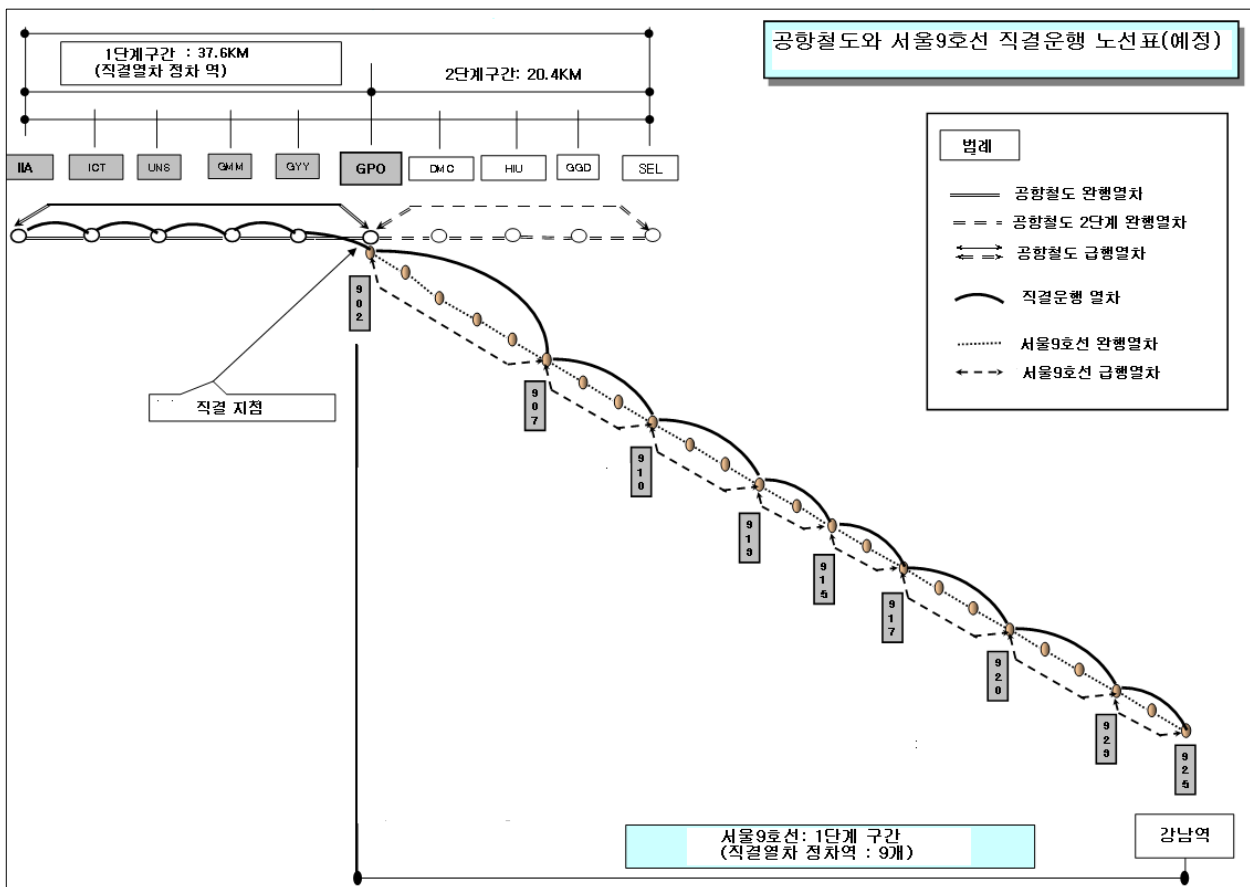


그림 1. 공항철도, 서울9호선 및 직결운행 노선표

즉, 직결열차는 기존에 운영되고 있는 열차와는 다른 운행패턴을 갖고 있다.

## 2.4 직결을 위한 기술적인 고려사항

직결을 위해 반드시 검토되어야 할 사항에 대해 신호분야 뿐만 아니라 차량, 통신, 급전 등에 대해 필요한 조건과 제한사항에 대해 구체적으로 검토한다.

### 2.4.1 차량

직결운행 차량은 기존의 양 노선이 갖고 있는 노선의 특성을 충분히 고려하여 제작되어야 하는 데,

아래와 같은 부분의 변경이 요구된다.

- 승객정보시스템
- 차량제어시스템(TCMS: Train Control Management System)
- AC/DC 겸용 급전시스템 추가
- 변경에 따른 추가시험

또한, 직결운행 차량은 양 노선을 운행하기 위해 아래와 같은 특성을 반드시 만족하는 사양으로 제작되어야 하는데, 아래의 표는 기존의 노선에서 운영 중인 열차의 특성값을 바탕으로 직결운행열차가 갖추어야 할 특성값을 제시한 것이다.

도표 2. 공항철도와 서울9호선의 차량 특성데이터

파라미터	공항철도 8량 열차	공항철도 6량 열차	서울9호선 6량 열차	서울9호선 4량 열차	직결 운행 열차
터널 내 최소 비상제동율 (Minimum Guaranteed Emergency braking rate in tunnel)	0.92m/s <sup>2</sup>	0.92m/s <sup>2</sup>	0.906m/s <sup>2</sup>	0,815m/s <sup>2</sup>	<=0,815m/s <sup>2</sup>
실외 최소 비상제동율 (Minimum Guaranteed Emergency braking rate in open area)	0.78m/s <sup>2</sup>	0.78m/s <sup>2</sup>	0.868m/s <sup>2</sup>	0,781m/s <sup>2</sup>	<=0.78m/s <sup>2</sup>
정지 제동율 (Stopping Service braking rate)	0.4m/s <sup>2</sup>	0.4m/s <sup>2</sup>	0.4m/s <sup>2</sup>	0,4m/s <sup>2</sup>	=0,4m/s <sup>2</sup>
회전력 계수 (Rotary mass coefficient )	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
컷오프시간 (Tcutoff )	0.3s	0.3s	-	-	Tcutoff <= 0.3s
비상제동지연시간 (TEB)	1s	1s	-	-	TEB <= 1s
제동시간 (Tbraking)	1.2s	1.2s	-	-	Tbraking <=1.2s
제동체결시간 Tapplication (Tcutoff + TEB + Tbraking)	2.5s	2.5s	2s	2s	Tapplication <=2.5s
차상 비콘안테나와 침두 간의 거리 (Distance Head - Antenna)	이론값 = 실제값= 5.219m	이론값 = 실제값= 5.219m	이론값 = 5219mm 실제값= 5123 mm	이론값 = 5219mm 실제값= 5123 mm	이론값 = 실제값= 5.219m
비점유 거리(Unshunting distance)	4.65m	4.65m	4,505m	4,505m	Dunshunting < 4.65m
열차 침두 거리(Overhang distance)	2.45m	2,45m	2,405m	2,405m	Doverhang < 2.45m

대차의 축간 거리(Distance between 2 axles of opposite bogies)	11.6m	11.6m	11.7m	11.7m	$D_{2axlebogies} = 11.6m$
차상 ATC 응답시간 (On-board ATC response time)	0.540s	0.540s	0.540s	0.540s	don't care
최대 가속율(Maximum train acceleration rate)	$0.833m/s^2$	$0.833m/s^2$	$0.833m/s^2$	$0.833m/s^2$	don't care
최대 제동율(Maximum train service braking rate)	$0.972m/s^2$	$0.972m/s^2$	$0.873m/s^2$	$0.873m/s^2$	don't care
최대 구배(Maximum slope)	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	N/A
열차 최대 길이(Minimum train length)	이론값 = 실제값 = 160.9m	이론값 = 실제값 = 120.9m	이론값 = 120,9m 실제값 = 120,7m	이론값 = 80,9m 실제값 = 80,7m	-
최대 차륜경(Maximum wheel diameter)	0.860m	0.860m	0.860m	0.860m	0.860m

여기서, 'don't care'는 4량구성의 전동차를 최악조건으로 감안했기 때문에 직결운행열차는 6량으로 구성되기 때문에 고려하지 않아도 된다는 뜻이다.

#### 2.4.2 신호

직결부에 대해, 신호의 관점에서 작성된 선로개요도는 아래와 같다.

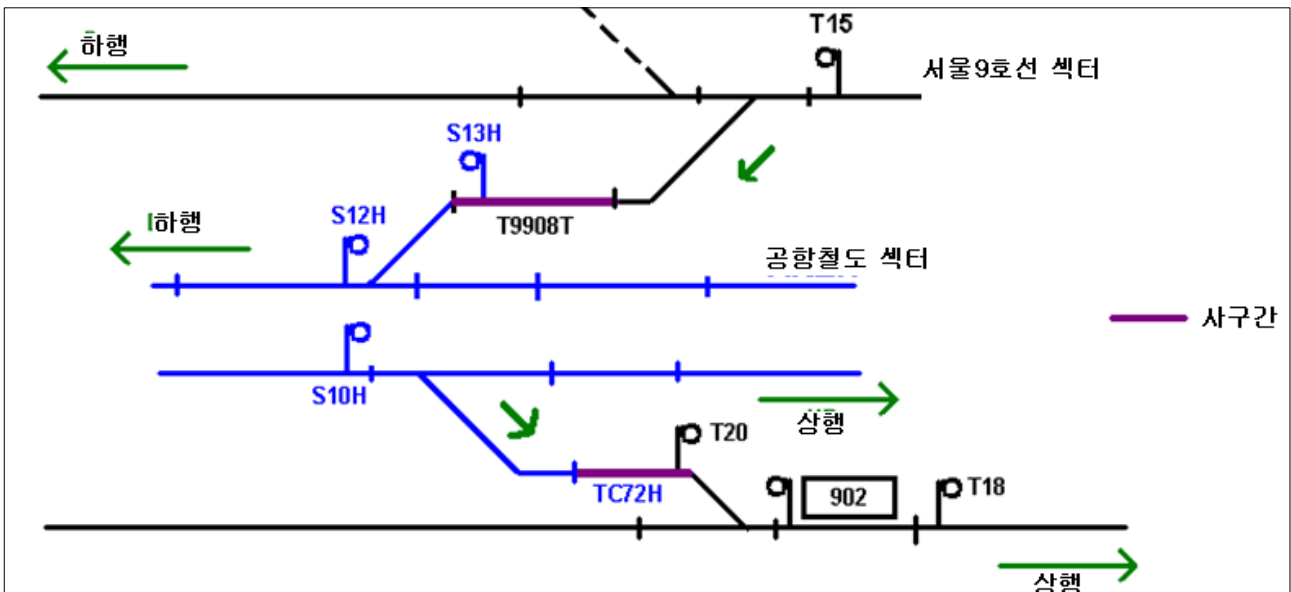


그림 2. 직결부에서 선로개요도

그림 2는 현재 고려되고 있는 직결부의 모습을 표현하고 있으며, 아래의 조건들이 반드시 만족되어야 한다.

- 안전 및 변경사항 최소화를 위해 직결운행 열차는 단방향으로 운영. 즉, 그림처럼 한쪽 선로는 하행, 다른 쪽은 상행으로만 운영.
- 사구간을 경계로 양 노선의 관할을 구분하고, 사구간 내의 궤도회로는 한쪽은 서울9호선 측에

서 다른 한쪽은 공항철도에서 제어

- 운행차량 정보는 서울9호선 사령설비와 공항철도 사령설비와 직접 연결하여 교환

또한, 이러한 조건 하에서 직결을 위해 변경되는 사항은 아래와 같다.

- 지상신호시스템에 선로변 신호설비 정보 갱신. 즉, 직결부에 대한 정보를 업데이트
- 전자연동장치에 연동정보 갱신. 즉, 직결부에 대한 정보를 업데이트
- 양 노선의 사령설비 및 지상신호시스템 간 연결을 위해 광케이블 포설 및 관련 정보(차량정보, 스케줄 등)를 추가를 위한 소프트웨어 수정
- 수정에 따른 추가 시험실시

신호시스템은 신호장비의 제어와 관련된 타 분야와 밀접한 관계가 있으므로 여러 가지 제한사항이 반드시 검토되어야 한다. 따라서, 아래와 같은 제한사항을 제시한다.

도표 3. 신호시스템 제한사항 요약

구분	제한사항
시스템	서울9호선 차량은 공항철도 차량의 정지패턴을 따라야 한다.
시스템	서울9호선 플랫폼 스크린 도어와 공항철도의 플랫폼 스크린 도어는 동일한 메커니즘을 갖고 있어야 하며, 신호시스템과 인터페이스도 같아야 한다.
시스템	서울9호선의 정거장 아이디는 공항철도와 겹치지 않아야 한다
시스템	서울9호선의 연동역을 구분하는 아이디는 공항철도와 겹치지 않아야 한다
시스템	직결운행열차의 열차번호는 서울9호선 또는 공항철도의 것과 다르게 부여되어야 한다.
시스템	서울9호선의 상행 및 하행은 공항철도와 같은 방향이어야 한다
시스템	공항철도 열차는 극성이 있고, 서울9호선 열차는 극성이 없으므로 직결열차는 서울9호선용과 공항철도용이 구분되어야 한다.
시스템	공항철도 열차는 완행과 급행이 구분되어 있으나, 서울9호선 열차는 완행/급행이 구분이 없고 필요에 따라 완행/급행을 변경할 수 있으므로, 직결용 열차 또한 서울9호선에서 운영되는 것과 공항철도에서 운영되는 것이 구분되어야 한다.
지상신호컴퓨터	사구간에 대한 기능이 추가되어야 한다.
차상신호컴퓨터	공항철도의 정거장 아이디를 표시할 수 있도록 해야 한다.
사령설비	공항철도 관할의 두 개의 궤도회로 정보가 서울9호선 사령설비로 전달되어야 한다. 또한, 서울9호선 관할의 두 개의 궤도회로 정보는 공항철도 사령설비로 전달되어야 한다.
사령설비	서울9호선에서 공항철도로 진입하는 열차정보는 서울9호선 사령설비에서 공항철도 사령설비로 전달되어야 한다. 또한, 공항철도에서 서울9호선으로 진입하는 열차정보는 공항철도 사령설비에서 서울9호선 사령설비로 전달되어야 한다.
사령설비	직결열차에 대한 스케줄이 별도로 추가되어야 한다.
운영	양 노선을 운행하는 열차는 반드시 직결용 열차로 운행되어야 한다.

### 2.4.3 통신

통신 분야의 영향을 최소화시키기 위해서는 아래와 같은 전제조건을 만족해야 한다.

- 서울9호선의 TRS시스템과 공항철도의 TRS시스템은 동일한 사양이어야 한다.
- 서울9호선 통신기계실과 공항철도 통신기계실은 일정한 거리 이내에 있어야 한다.
- 서울9호선 중앙 통신망과 공항철도는 직접연결되어 신호, SCADA 등의 정보를 교환할 수 있어야 한다.

### 2.4.4 급전 시스템

서울9호선은 DC1500V이고 공항철도는 AC25,000V로 급전되고 있는데, 직결차량이 운영에 추가되어 부하가 증가하므로 이에 대한 급전 시뮬레이션을 새로이 실시하여, 기존의 변전소 용량이 추가되는 부하를 감당할 수 있는 지 반드시 검증되어야 한다. 특히, 서울9호선의 경우에는 1단계 설계에서부터 직결에 대한 부분을 감안하여 설계되어 있으나, 공항철도는 직결을 고려하지 않았기 때문에, 이 부분이 새로이 검토되어야 한다.

### 2.4.5 열차의 극성

공항철도의 열차는 차량기지 내에 루프선이 없기 때문에, 열차의 선두부와 후두부가 고정되어 있다. 즉, 한쪽 운전실이 상행방향이면 다른 쪽 운전실은 하행으로만 운행된다. 반대로 서울9호선의 경우에는 차량기지에 루프선이 있기 때문에 열차의 선두부와 후두부가 서로 뒤바뀔 수 있다. 이로 인해, 서울9호선과 공항철도 차량의 운전실에 탑재되는 차상컴퓨터의 구조는 이중계 이외에 이러한 부분이 서로 상이하다. 이 사항은 직결운행 열차의 특성을 결정하는 데 매우 중요한 특징이며, 직결운행열차가 서로 다른 쪽의 기지에 진입할 수 없는 제한사항을 유발한다. 여기서는 열차의 극성에 대해 자세히 알아보고 그 특징을 검토하여 직결운행 열차의 제한사항을 제시한다.

알스톰 차상신호컴퓨터에는 아래의 그림과 같이 코딩플러그라고 하는 아이디카드가 탑재된다.



그림 3. 운전실에 탑재되는 차상컴퓨터에 코딩플러그 탑재

코딩플러그는 열차의 진행방향을 결정하는 것으로 그림과 같은 경우, TC1(짝수 아이디)의 차상컴퓨터는 왼쪽 방향을, TC2(홀수 아이디)의 차상컴퓨터는 오른쪽 방향을 담당하게 된다. 공항철도의 열차는 이렇게 각 운전실의 차상컴퓨터가 열차의 진행방향을 코딩플러그로 고정되어 있다. 이것을 열차가 극성화되어 있다고 일컫는다. 그러나, 서울9호선의 열차는 코딩플러그로 열차의 진행방향이 고정되어 있지 않고 열차가 본선으로 진입하기 전에 초기화될 때, 극성화가 열차가 지상안테나로 진행된다. 이러한 차이로 인해, 공항철도에서 운영하는 직결운행열차가 서울9호선의 차량기지에 진입하여 루프선을 통해 선/후두부가 뒤바뀌게 되면 극성이 반대로 변경되기 때문에 운행이 불가능하고 서울9호선에서 운영하는 직결운행열차가 공항철도의 차량기지에 진입하게 되면 극성화가 진행되지 못하기 때문에 운행이 불가능하다. 직결운행을 위해 기존에 설치되어 운영되고 있는 부분에 대한 변경을 최소화하기 위해서는 이러한 차이점을 그대로 제한사항에 반영해야 한다. 결론적으로 직결운행열차는 공항철도 차량기지과 서울9호선 차량기지에서 각각 관리 및 운영되어야 한다.

### 3. 결 론

기 개통되어 운영 중인 공항철도와 2008년 상반기에 개통될 예정인 서울지하철 9호선 간의 직결운행이 구체화되면서, 직결을 위해 고려해야 할 사항에 대해 살펴보고 이를 위해 여러 시스템을 연결하고 통합하는 것에 대한 전제조건과 제한사항들을 제시하였다. 특히, 직결열차가 갖추어야 할 특성들에 대해서는 비교적 구체적인 데이터를 제시하였다. 또한, 신호분야에 대해, 급전시스템이 양 노선이 서로 다르므로 사구간이 있는 직결부의 선로개요도를 제시하였고 제한사항을 시스템, 차/지상 신호컴퓨터 전자연동장치에 대해 구체적으로 살펴보았다. 직결구현을 위해 가장 많은 부분을 수정해야 하는 분야가 신호시스템이므로 예상되는 변경사항에 대해서도 자세하게 다루었다. 통신 및 급전시스템은 비교적 변경사항이 적을 것으로 예상되지만, 양 노선의 차량기지의 구성이 다른 것으로 인해 열차의 극성에 대한 부분은 반드시 다루어져야 할 것으로 판단되어 추가적으로 언급하였다. 이러한 일련의 검토 및 분석을 통해 두 신호시스템 간의 통합을 위해 필요한 전제조건 등에 대해서도 검토하여 직결을 대비한 충분한 분석을 선행하여 향후 설계에 대한 오류를 미연에 방지하고 구현 시, 시행착오를 줄일 수 있는 토대를 마련될 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 기대한다. 그러나, 공항철도와 서울9호선 모두 민간 주도로 건설된 것이기 때문에 원활한 직결의 구현을 위해서는 이를 계획하고 추진하는 등의 구심적인 역할을 하는 기관의 노력이 반드시 필요하며, 직결열차의 투입으로 인해 기존의 양 노선의 운영스케줄에 미치는 영향 또한 면밀히 분석되어야 한다.

### 참고문헌

1. 강대운(2007년), “스크린도어 시스템 제어를 위한 신호 인터로킹연구, 한국철도학회
2. 한우진(2002년), “인천국제공항철도와 기존 철도의 효율적인 연계방안”, 한국철도학회
3. Fujita, Takayoshi(2002년), “도시철도의 연결방안에 관한 고찰: 해외사례를 중심으로”, 한국철도학회.
4. 한우진(2005), “인천국제공항철도의 다목적 활용방안:연계체계 개선을 중심으로”, 한국철도학회.
5. 한국교통연구원(2005), “인천국제공항철도와 서울시 지하철9호선의 직결운행 세부시행방안 연구”, 건설교통부