

## 대전북(대전 조차장-대전역) 고속전철 연계 운행 구간의 운전시격 분석

### Headway Analysis in Daejeon Nord section(Daejeon shunting yard-Daejeon station) which high speed train and conventional trains will be run

김 용 규\*, 김 종 기\*, 유 창 근\*\*

\* 한국철도기술연구원 전기신호연구본부(전화:(031)460-5434, 팩스:(031)460-5449, E-mail : ygkim1@krii.re.kr)

\*\* 남서울대학교 전자정보통신공학부(전화:(041)580-2111, 팩스:(041)582-2117, E-mail : ckryu@namseoul.ac.kr)

**Abstract** : The present headway on KNR(Korea National Railway) lines varies from 6 to 10 minutes depending on the each line and by the operation of High Speed line in 2004, the bottleneck would be expected within a few sections such as Daejeon-Daejeon shunting yard which will be the common route between KTX(Korea Train Express) and conventional trains. Therefore, KNR would like to reduce the headway of the all lines by 4 minutes with the implementation of ERTMS/ETCS on-board system. Where ETCS(European Train Control system), the subsystem of ERTMS, is Automatic Train Protection system for safety train running. This study will be analyze expected braking distance and running time depending on characteristics of conventional passenger and freight trains and high speed train will be operated within electrified conventional line for comparing the headways of ATS(Automatic Train Stop) system and ETRMS/ETCS system within the Daejeon-Daejeon shunting yard section.

**Keywords** : Train Control System, Simulation, Modeling, Automatic Train control, Automatic Train Stop

#### I. 서론

철도 신호 시스템은 열차의 전방 운행 조건에 따라 선로 용량 향상 및 열차의 안전 확보를 위한 운행열차 상호간 방호를 실현하는 철도의 핵심 시스템으로 동일 선로에 보다 많은 열차를 안전, 신속, 정확하게 통과시키는 역할을 한다 [1]. 우리나라 철도 신호 시스템은 지상신호 방식인 자동열차정지(ATS : Automatic Train Stop) 시스템을 사용하고 있다. 그러나, 철도이용환경의 호전으로 이용 승객의 증가와 열차 속도 향상이 요구됨에 따라 열차의 고속, 고밀도 운행을 위한 새로운 신호방식을 필요로 한다. 또한 2004년 개통 예정인 고속전철이 기존선 일부 구간에서 기존열차와의 혼합운행을 실행할 계획임에 따라 고속전철의 기존선 운행구간의 속도 향상과 안전 운행은 물론 일부 기존선 병목구간의 포화상태에 도달할 선로용량의 개선이 절실히 요구된다. 따라서, 철도청은 열차의 고속, 고밀도 운행을 대비하여 경부선, 호남선 고속 전철의 기존선 운행 구간 및 주요 철도망 전철화 구간의 철도 신호 시스템을 기존의 ATS에서 ERTMS/ETCS(European Railway Traffic Management System/European Train Control System)로 교체할 계획을 구성하였다. 이에 따라, 새로운 신호 시스템은 열차 운행의 안전 및 운행 효율의 향상은 물론 유지보수 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 2004년부터 기존 열차와 고속열차의 혼합 운영이 예상되는 기존선 병목구간의 선로 용량에 대해 현재 사용중인 ATS 방식과 향후 사용 예정인 ERTMS/ETCS 방

식을 적용하여 선로 용량 변화를 분석하였다. 분석은 가장 병목 현상이 극심할 것으로 예상되는 구간중의 하나인 대전 조차장-대전역 구간에 대해 실행하였다. 이 구간은 조차장의 특성과 현재 사용중인 선로 형상으로 인하여 물리적인 구조 변경이 매우 불리한 구역으로 취급된다.

#### II. 신호시스템의 특성

열차가 정면으로 충돌하거나 또는 후행 열차가 선행 열차를 추돌하는 것을 방지하기 위하여, 선로변 조건에 따라 선로를 일정 구간으로 분할한 후, 분할된 하나의 구간에는 하나의 열차만 존재하도록 허용하는 시스템을 폐색 구간이라 하며, 운전시격으로 정의되는 선행 열차와 후행 열차의 간격은 폐색 구간을 기본으로 계산된다. 열차의 최고 속도에서 정지 지점까지의 거리로 정의되는 열차의 제동 거리는 이들 폐색 구간의 수량에 의해 결정된다[2]. 우리나라의 신호 방식은 폐색 구간에 자동폐색장치(ABS : Automatic Block System)와 신호기를 설치하여 기관사가 육안으로 전방의 신호기를 확인한 후, 열차의 가·감속 또는 제동을 기관사의 판단에 따라 운전하게 하는 지상신호방식으로 각각의 폐색 구간에서 신호기에 의해 주어지는 열차운행 제한속도에 따라 단계별로 열차의 속도를 수동으로 제한한다. 신호기에 의해 주어진 열차 속도를 초과하는 경우 기관사는 반드시 5초 이내에 제동을 실행해야 한다. 만약 이를 무시할 경우에는 비상제동이 자동으로 동작된다. 이러한 지상 장치의 가격은 저렴하며, 주로 지선으로 분기되는 구간이 많고 저속으로 열

차가 운행되는 구간에 적합하다. 그러나, 눈, 비, 안개와 같은 기후의 악조건에서는 열차의 감속 운행이 필수적이며, 140km/h 이상의 속도에 대해 안전성과 신뢰성이 보장되지 않음이 입증되었다. 또한 ATS를 통해 전송할 수 있는 데이터의 양은 극히 한정적으로 주어진다[3].

차상 신호 방식은 후속열차와 선행열차의 위치와 속도, 운행 예정 궤도의 지리적 특성과 같은 선로 정보를 지상장치를 통해 차상에서 수신한 후, 실시간으로 열차 자신의 속도를 계산하여 선행열차와의 안전거리를 확보하는 열차제어 시스템(Train Control System)으로 정의된다. 이러한 방식은 선로에서 운행할 예정인 각종 열차의 제동 특성을 고려하여 설계된다. 이는 기후조건에 관계없이 안전에 연관된 사고를 방지할 수 있으며 ATS 방식에 비해 안전성과 신뢰성이 높고 열차의 운행속도 향상이 가능하다. 또한 지상신호방식에 비해 운전시각의 단축이 용이하며 선로 및 차량 조건이 개선되면 기존선 최대 허용 열차 속도인 220km/h까지 열차 속도를 증가할 수 있다. 이러한 시스템은 지상신호방식에 비해 건설비용이 많이 소요되며, 열차운행 빈도가 낮고, 저속으로 열차가 운행되는 구간에서는 투자비에 비해 실효성이 낮은 단점을 갖는다. 본 논문에서 사용된 ERTMS/ETCS는 신호시스템과 열차 운행의 안전에 기본을 두고 유럽 신호 관련 시장의 단일화는 물론 현존하는 신호시스템에서 요구하는 기본적인 기술 사양을 표준화함으로써 철도에 종사하는 산업체는 이들 표준화한 기술 사양을 공유하여 통합된 철도 신호 시장을 형성하였다. 그 결과, ERTMS/ETCS의 실현은 현재의 기술 한계와 미래의 이용 가능한 기술 개발 상황을 고려하여 ERTMS/ETCS 레벨 1, 레벨 2, 레벨 3로 분류하며, 각각의 ERTMS/ETCS 레벨에 대한 기본 특성은 표 1과 같다[4],[5].

	레벨 1	레벨 2	레벨 3
폐색 방식	고정 폐색	고정 폐색	이동 폐색
정보 전송	발리스	발리스/무선	무선
궤도회로/차축 계수기	필요	필요	불필요
선로변 신호	필요	필요/불필요	불필요

표 1. ERTMS/ETCS 레벨의 특성 비교

ERTMS/ETCS 레벨 1은 고정 폐색과 선로변 신호기에 의존하며, 열차의 속도 제어를 위해 불연속 정보를 전송하는 발리스와 루프를 통해 궤도에서 차량으로 정보를 전송한다. ERTMS/ETCS 레벨 2는 궤도와 차량간의 연속적인 양 방향 무선 통신과 열차 감지를 위한 불연속 정보 전송을 이용하여 연속적인 열차의 속도 제어 기능을 실행한다. ERTMS/ETCS 레벨 3은 기능면에 있어서 무선 방식에 의한 완전한 연속 정보 전송을 실행한다. 열차 감지 및 선행열차와 후행 열차의 열차 간격 조정 기능이 레벨 1과 레벨 2에서는 고정 폐색 시스템을 이용하는데 비해, 레벨 3에서는 이동 폐색(MBS : Moving Block system) 시스템을 사용한다. 이러한 열차제어시스템의 발전 방향은 기존선 및 고속선 철도망에 있어서, 최적의 열차 운행 성능 및 안전성을 제공할 수 있음은 물론, 기존 시스템과의 상호호환성, 국가간의

열차제어시스템 호환성, 국경없는 철도 시스템의 건설, 선로 용량의 증대, 그리고 가장 적은 비용의 운영 및 유지보수를 실행할 수 있을 것으로 기대된다[6],[7].

### III. 북대전(대전 조차장-대전역) 구간 특성

기존선과 고속선 연결선은 그림 1과 같이 시흥, 대전북, 대전남, 대구북 구간으로 분류된다.

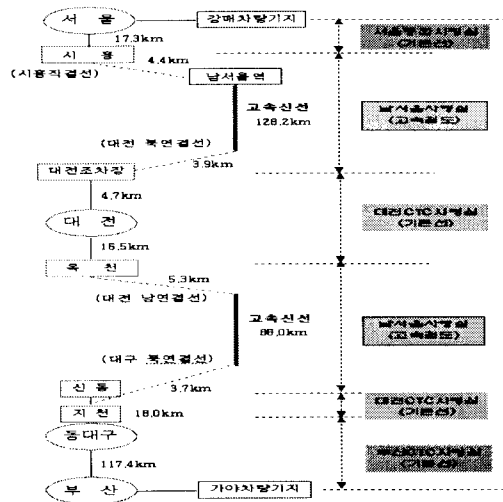


그림 1. 기존선과 고속선 인터페이스 구간

Fig. 1. Interface section between high speed line and classical line

본 논문에서 적용한 대전북 구간의 경우 대전 조차장이 인터페이스 구간의 중앙에 그림 2와 같이 위치하게 된다.

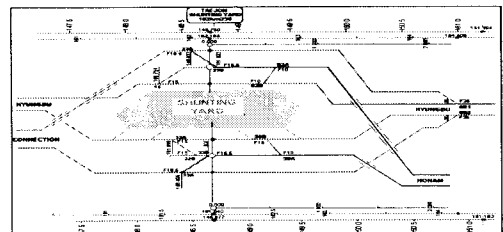


그림 2. 대전 조차장 선로 형상

Fig. 2. Track description of Daejeon shunting yard

대전 조차장은 조차장을 중심으로 경부선과 호남선의 상·하행선이 분배되는 형태로 주어짐에 따라, 열차의 양 방향 운행은 물론 최적 열차 운영을 위한 신호 시스템 구성에 많은 어려움이 예상된다. 이 구간은 2004년부터 고속 열차와 기존 열차가 혼용 운영을 실행할 예정으로 만약 기존의 신호 시스템에 의한 열차 운영을 유지한다면 최악의 교통 혼잡 상태까지 유발 가능한 것으로 검토되었다. 따라서, 본 논문에서는 ERTMS/ETCS 설치 레벨에 따른 대전조차장-대전역 구간의 운전 시격을 분석함으로써 ERTMS/ETCS 시

템이 기존의 ATS 시스템에 비해 운전 시격을 향상할 수 있음을 입증하려 한다. 이를 위한 분석 기본 자료는 그림 3, 표 2와 표 3으로 주어진다([1],[3]).

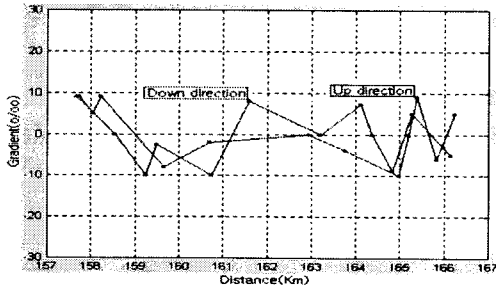


그림 3. 상, 하행선의 궤도 구배  
Fig. 3. Track gradient in up and down direction

표 2는 2004년 이후 대전 조차장-대전역을 포함한 기존선 구간에서 운행 예정인 열차의 최대 속도 및 평균 속도를 나타낸다([2],[8]).

열차 유형	최대 속도	평균 속도
	V1(km/h)	V3(km/h)
KTX	135	108
새마을1	125	98
새마을2	125	92(*1)
무궁화	120	77
화물열차	90	64

표 2. 운행 예정 열차의 최대 속도 및 평균 속도

표 2에서 주어진 자료와 차량의 특성을 기본으로 표 3에서는 열차에 의해 주어지는 최대 속도에서 정지까지의 제동 시간과 거리 및 정지에서 최대 속도까지의 가속 시간과 거리를 운행 열차 유형에 따라 계산하였다. 여기서, 최대 운행 속도에 따른 열차 운행 시간은 기관사의 습성에 따른 마진(최대허용 속도-7km/h), 영구적인 속도 제한 및 일시적인 속도 제한에 의한 선로의 속도 제한(기본 속도의 12%로 가정)을 고려하였다.

운행 열차 유형	최대 속도 km/h	제동 관련 데이터			가속 관련 데이터		
		감속비 (%)	시간 (초)	목표 거리(m)	가속비 (%)	시간 (초)	목표 거리(m)
KTX (150)	150	0.5	77	1726	0.4	107	2163
KTX (135)	135	0.5	69	1397	0.4	94	1767
새마을	125	0.5	66	1203	0.37	94	1635
무궁화	120	0.5	68	1111	0.36	96	1579
화물열차	90	0.4	56	773	0.3	88	1033

표 3. 운행 예정 열차의 제동 및 가속 시간과 거리

#### IV. 운전시격 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 다음과 같은 가정이 고려되었다.

- 5선시 ABS 시스템의 적용.

- ABS 시스템 상에서의 신호 시정거리 : 600미터
- 신호기의 설치 위치 : 실제적인 설계 값을 적용함에 따라 ERTMS/ETCS의 도입시에도 신호기 위치 및 폐색 구간의 길이에 변화가 없을 것으로 가정.
- 시뮬레이션에는 비슷한 수준의 제동력을 갖는 여객 열차와 고속전철 만을 고려.
- 실제 노선의 속도 : 실제 노선의 속도에 궤도의 곡률 반경과 구배를 적용.
- 실질적인 운전 시격은 국제 철도 연맹(UIC)의 규격 leaflet 405-R의 권장사항을 참조하여 25% 강성 여유를 고려한 기술적인 운전시격(연속하는 두 열차간의 최소의 시간)으로부터 도출하였으며, 모든 여유 시간은 각각의 열차에 균등하게 배분.
- ERTMS/ETCS의 제동 감속도 : 프랑스 철도청의 테스트 결과를 기반으로 산정. 산정값(0.62m/s<sup>2</sup>)은 차상신호 기능값(0.83m/s<sup>2</sup>) 보다 적음.
- ERTMS/ETCS 시스템의 운행 : 기관사는 기관실 명령에 의해 운행을 하는 것을 기본으로 하며, 권한의 종료를 표시하는 적색등 이외의 경우에는 선로변의 신호를 무시하는 것으로 가정.

위의 가정에 의해 ABS 시스템으로 운영되는 경우, 각각의 신호는 녹색의 신호가 재 점등하기 전까지의 소요시간을 각 폐색 구간의 실제적인 거리, 신호의 시정거리, 열차의 길이, 허용속도 등을 감안하여 산출하였다. ERTMS/ETCS 레벨 1 시스템으로 운영되는 경우, 우선 권한의 종료에 앞서 운행을 저해할 수 있는 차량으로부터의 거리를 노선의 경사도, 열차의 특성, 인제 공학적인 운행횟수 등을 고려하여 산출하였다. 이에 따라, 주 신호에 설치될 In-fill 발리스의 위치를 지정하고, 마지막으로 연속하는 두 열차간 최소거리는 ABS 운행방식에서와 동일하게 산출하였다. 물론 시정거리와 관련된 부분은 고려의 대상에서 제외되었다. ERTMS/ETCS 레벨 2의 경우에는 레벨 1에서와 같이 권한의 종료에 앞서 열차 운행을 저해할 수 있는 기관차로부터의 거리를 우선적으로 산출하였다. 검지된 폐색 구간의 길이와 노선의 속도를 고려하여 본 연구에서는 연속 운행되는 두 열차간의 최소거리를 정확하고 직접적으로 얻을 수 있었다. 이러한 전제 조건 하에 실행된 시뮬레이션의 결과는 그림 4 ~그림 9와 같다.

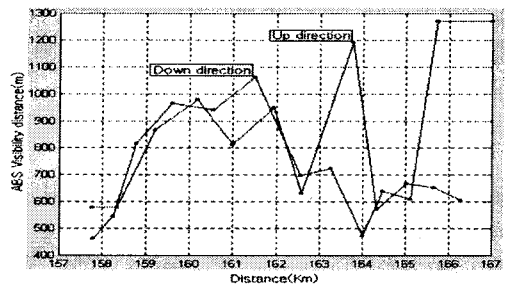


그림 4. 상, 하행선의 ABS 가시도 거리  
Fig. 4. ABS visibility distance in up and down direction

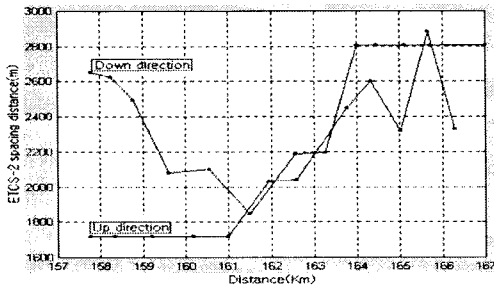


그림 5. 상, 하행선의 ETCS 레벨 2 자유 거리  
Fig. 5. ETCS 2 spacing distance in up and down direction

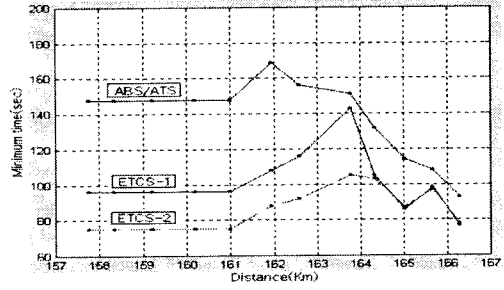


그림 9. 상행선의 최저 통과 시간  
Fig. 9. Minimum passing time in up direction

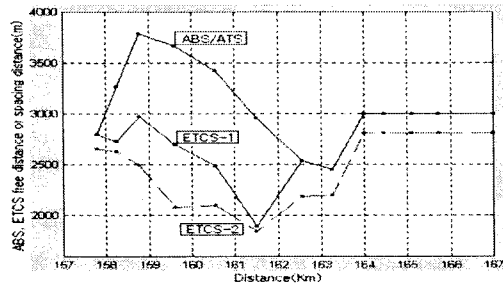


그림 6. 하행선에서의 ABS와 ETCS 자유 거리  
Fig. 6. ABS and ETCS free distance in down direction

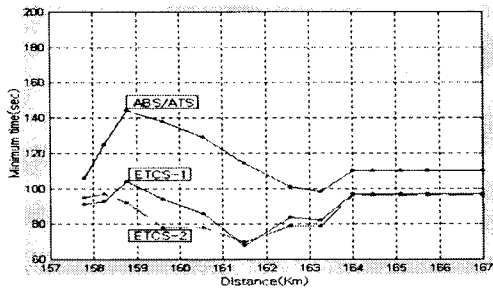


그림 7. 하행선의 최저 통과 시간  
Fig. 7. Minimum passing time in down direction

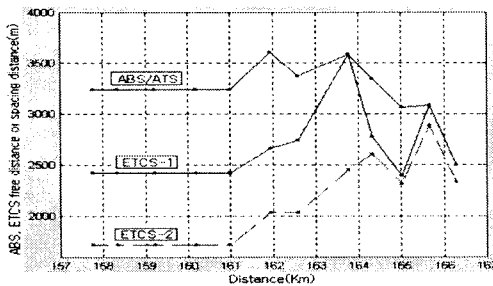


그림 8. 상행선에서의 ABS와 ETCS 자유 거리  
Fig. 8. ABS and ETCS free distance in up direction

## V. 결론

기존의 ATS 신호 시스템을 최적화할 경우, 대전 조차장-대전구간에서의 운전시각은 4분으로 주어지는 반면, ERTMS/ETCS 레벨 1과 레벨 2는 3분의 운전 시격을 제공할 수 있을 것으로 시뮬레이션 되었다. 따라서, ERTMS/ETCS를 적용할 경우에는 지상신호에 비해 운전시격을 이론상 25%(4분→3분) 이상 감소할 수 있으며, 이는 병목구간에서의 선로용량 증대를 쉽게 예측할 수 있다. 만약 기존열차의 속도 향상 및 시설물 개량이 함께 진행된다면 관련 구간의 운전시격은 더욱 더 감소할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] 신호업무자료, 철도청, 제19호, 2003.
- [2] 김용규, 양도철, 김종기, "폐색 구간 길이에 따른 동대구-부산간 운전시격 연구", 2002년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, B권, pp1292-1294, July, 2002.
- [3] 김용규, 강기석, "ATS 기존선 신호방식과 TVM 430 ATC 신호방식의 속도 profile에 따른 compatibility", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, B권, Vol B, pp1423~1425, Jun, 2000.
- [4] 김용규, "유럽의 열차제어시스템 개발 동향", 한국철도기술, 제17호, pp97~106, 1998.
- [5] 김용규, "기존선 고속화를 위한 유럽의 열차제어시스템", 한국철도기술, 제38호, pp23-26, 2002.
- [6] J. PELLEGRIN, P. BERNARD, D. LANCIEN, "D'ASTREE a ETCS ou dix ans de recherche sur la future signalization ferroviaire europeenne", Revue generale des chemins de fer, No 11, Novembre, 1995, DUNOD
- [7] 김용규, 변윤섭, "21세기 유럽의 열차제어시스템" 한국철도학회지, 2002년 제5권 제4호, p16-24, Dec, 2002.
- [8] Y.K.KIM, Y.H.LEE and C.K.RYU, "Headway comparison between ATS and ERTMS/ETCS systems", ICCAS 2003, Vol TE13, pp 1333-1337, Oct, 2003.