

ERTMS/ETCS 차상신호에 따른 서울-시흥 구간 운전 시격 연구

김 용규, 변 윤섭
한국철도기술연구원

Study on the Headway by ERTMS/ETCS On-board signal in Seoul-Shihung section

Yong-Kyu KIM, Yeun-Sub BYUN
Korea Railway Research Institute

Abstract - The present headway on KNR lines varies from 6 to 10 minutes depending on the each line. Therefore KNR would like to reduce the headway of the all lines by 4 minutes with the implementation of ERTMS/ECTS on-board system. With the operation of HSR lines in 2004, the bottleneck would be expected within a few sections such as Seoul-Siheung which will be the common route between KTX and conventional lines. This study will analyze and compare the optimal headway can be accomplished by the ATS trackside and that of ETRMS/ETCS on-board system within the Seoul-Siheung section.

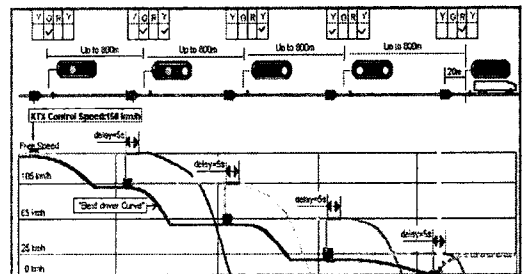
를 설치하여 기관사가 육안으로 전방의 신호현시를 확인한 후, 열차의 가·감속 또는 제동을 기관사의 판단에 따라 운전하게 하는 방식이다. 이는 각 폐색구간에서 신호현시별 제한속도에 따라 단계별로 열차의 속도를 수동으로 제어하는 것으로 신호현시 속도보다 운행속도가 큰 경우에는 ATS에 의해 열차의 안전운행을 도모한다. ATS 지상장치는 신호기 현시에 따라 5개의 각기 고정된 신호들을 전송할 수 있는 지상자로 구성되며 신호 현시 방법에 따라 궤도의 오른쪽 또는 왼쪽에 설치된다. 오른쪽에 설치된 지상자는 지하철에서, 왼쪽에 설치된 지상자는 그 외 모든 열차의 운행에 적용된다. 현시된 열차 속도를 초과하는 경우, 기관사는 반드시 5초 이내에 제동을 인가해야 하며 이를 무시할 경우에는 비상제동이 자동 체결된다. 이러한 지상 장치는 설비가 저렴하고 지선으로 분기되는 구간이 많고 저속으로 운행되는 구간에 적합한 반면, 눈, 비, 안개와 같은 기후의 악조건에서는 감속운행이 불가피하다. ATS 시스템은 140km/h 이상의 속도에 대한 안전성과 신뢰성이 보장되지 않으며 ATS를 통해 전송할 수 있는 데이터가 극히 제한된다[2].

1. 서 론

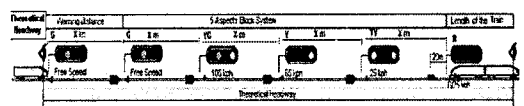
철도신호 시스템은 열차의 전방 운행 조건에 따라 선로의 이용률 향상 및 열차의 안전 확보를 위한 운행열차 상호간 방호를 구축하는 철도의 핵심 시스템으로 동일선로상에 보다 많은 열차를 안전하고 신속, 정확하게 소통시키는 역할을 한다[1]. 우리나라 철도신호 시스템은 지상신호 방식인 열차자동정지장치(ATC : Automatic Train Stop)를 사용하고 있지만 최근 철도이용환경의 호전으로 이용승객의 증가와 속도향상 요구에 따라 열차의 고속화 및 고밀도화를 위한 신호기 확인 소요인식거리 증대 등으로 인하여 점차 새로운 신호방식을 필요로 한다. 특히 철도의 고속, 고밀도 운행을 대비하여 경부, 호남선구 고속 열차의 기존선 운행 구간 및 주요 간선 전철화 구간의 열차 운영 체계를 기존의 지상 신호 방식에서 ETCS 차상 신호방식으로 최소의 시설 개량을 통해 건설할 계획을 구성함으로써 열차의 안전 및 운행 효율 향상과 개량 및 유지보수 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다[1]. 그러나, 2004년 개통 예정인 고속선철이 기존선 일부 구간에서 일반열차와의 복합운행을 계획함에 따라 고속전철의 기존선 운행구간의 속도향상과 안전운행은 물론 일부 병목구간에서의 포화상태에 도달할 선로용량 개선이 절실히 요구된다. 본 논문은 2004년부터 기존선과 고속선의 혼합 운영에 따라 예상되는 병목구간에서의 선로 용량에 대해 현재의 지상 신호 방식과 새로운 차상신호 방식을 적용하는 경우로 분류하여 병목 구간에서의 선로 용량 변화를 분석하였다. 분석은 가장 병목 현상이 극심할 것으로 예상되는 서울-시흥 구간을 적용하였다.

2. 지상 신호와 차상 신호의 특징

우리나라에서 사용중인 지상신호 방식은 폐색구간마다 자동폐색장치(ABS : Automatic Block System)와 신호기



a) 5현시 ATS 신호 체계



b) 이론상의 운전 시격

(그림 1). 5현시 신호 체계의 운전 시격

차상 신호 방식은 선행열차의 위치, 속도 및 전방 궤도의 지리적 특성 등 선로변 상태 정보를 후속열차가 지상 장치로부터 수신하여 열차 스스로 실시간 열차 자신의 속도를 설정함으로써 선행열차와의 안전거리를 확보하면서 열차를 제어하는 시스템으로 정의된다. 이는 노선에 투입된 각종 열차의 특성을 고려하여 제어 특성을 충분히 발휘할 수 있도록 설계되며, 기후조건에 관계없이 안전사고를 방지할 수 있으며 ATS 방식에 비해 안전성

과 신뢰성이 높고 열차의 표정속도 향상이 가능함은 물론 지상신호방식에 비해 운전시각의 단축이 용이하며 선로 및 차량 조건이 개선되면 기존선 최대 속도인 220km/h까지 열차 속도를 증가시킬 수 있다. 또한 열차운행 제어의 자동화 실현이 가능하지만, 지상신호방식에 비해 건설비가 많이 소요되며, 열차운행빈도가 낮고, 저속으로 운행되는 구간에서는 투자비에 비해 실효성이 낮은 단점을 갖는다. 이러한 차상신호중 유럽의 차세대 열차 제어시스템으로 명명된 ETCS(European Train Control System)는 신호 시스템과 열차 운행 안전에 기본을 두고 유럽 신호 관련 시장의 단일화는 물론 현존하는 신호 시스템의 성능에서 요구하는 기본 기술 사양을 표준화하여 관련 철도 산업체간에 이들 표준화한 기술 사양을 공유함으로써 통합된 철도 신호 시장 형성을 목적으로 부수적으로 동반한다. 그 결과, ETCS의 실현은 현재의 기술 한계와 미래의 가능한 기술 개발력을 고려하여 기능적인 면에서 ETCS Level 1, Level 2, Level 3로 분류하여 취급한다.([3],[4]).

ETCS Level 1은 주로 고정 폐색 시스템과 선로변 신호기에 의존한다. 이는 현존하는 ATP(Automatic Train Protection) 시스템과 동일한 형태로 특성이 주어짐에 따라 불연속 정보를 전송하는 발리스 또는 루프에 의해 열차의 속도 제어를 위한 정보를 궤도에서 차량으로 전송한다. ETCS Level 2는 지상과 차량간의 연속적인 양 방향 무선 통신과 열차 검지를 위한 불연속 정보 전송을 이용하여 연속적인 열차의 속도 제어 기능을 실행하는 것이 Level 1과의 주요 차이점으로 주어진다. ETCS Level 3은 완전한 ATC(Automatic Train Control) 기능을 가지며 연속적인 속도 제어를 실행한다. 열차 검지 및 선행 열차와 후행 열차의 열차 간격을 조정하는 기능이 ETCS Level 1과 Level 2에서는 고정 폐색 시스템을 이용하는데 비해, ETCS Level 3에서는 이동 폐색(MBS : Moving Block system) 시스템을 사용하며 열차 운행에 연관된 신호 시스템이 완전한 무선 방식에 의해 구현된다.

3. 남서울(서울-시흥) 병목 구간

서울-시흥 구간은 통근용 전동 열차는 물론 매우 많은 기존 열차의 운행이 현재 실행되고 있는 구간으로 2004년부터 기존선 열차와 고속열차의 혼합 운행이 예정된 구간이다. 따라서, 2004년 고속전철이 개통될 시기에는 기존 열차와 고속열차의 혼합 운행을 고려해야 하기 때문에 최악의 교통 혼합 상태로까지 열차 운행이 예상될 수 있다[2]. 철도청에서 운영하고 있는 열차의 운전 시격은 각각의 노선에 따라 6~10분으로 주어지며, ETCS 차상신호의 도입에 의해 현재 사용중인 운전 시격을 4분으로 단축하려 한다. 특히 서울~시흥구간의 경우에는 고속전철에 의해 경부, 호남, 장항, 전라선 등 주요 간선과 연결되는 집중 병목구간으로써 다른 구간에 비해 수송 수요의 증가율이 매우 높을 것으로 추정된다. 본 논문은 ETCS 시스템 설치시 각각의 레벨에 따른 서울-시흥 구간의 운전 시격을 분석하려 한다. 분석을 위한 기본 자료는 다음의 표로 주어진다.([4],[5],[6]) :

상행선		하행선	
위치(m)	위치(m)	위치(m)	위치(m)
50	9596	50	9494
505	10099	855	10185
1010	10405	1548	10728
1730	10904	1860	11443
2280	11581	2280	12000
2819	12299	2946	12900
3430	12880	3411	13755
4042	13450	4042	14400
4583	14020	4570	15070
5238	14610	5351	15700
5760	15210	5980	16380
6010	15830	6525	16950
6760	16350	6880	17410
7396	16930	7396	17775
7927	17400	7887	
8300	17840	8180	
8992		8700	

〈표 1〉 신호기 위치

상행선				하행선			
위치(m)	반경(m)	위치(m)	반경(m)	위치(m)	반경(m)	위치(m)	반경(m)
2149	0			0	0	8413	0
2892	500	9046	600	2149	500	8883	600
5505	0	10927	0	2892	0	9046	0
5744	500	10991	800	5507	500	10927	800
6356	0	11706	0	5746	0	10991	0
6447	400	11768	600	6356	400	11706	600
6708	0	12135	0	6447	0	11768	0
6871	400	12471	800	6708	400	12135	800
7341	0	13622	0	6871	0	12465	0
7781	500	13794	600	7341	500	13655	600
8131	0			7781	0	13732	0
8412	600			8131	600		

〈표 2〉 곡선 반경 관련 데이터

상행선				하행선			
위치(m)	구배값(%)	위치(m)	구배값(%)	위치(m)	구배값(%)	위치(m)	구배값(%)
0	0	8580	6	0	0	7978	-6
1006	0	9933	0	1006	-10	8318	0
1381	10	10220	-6.5	1381	-7.7	9671	6.5
1975	7.7	10560	6.5	1975	-10	9958	-6.5
2449	10	11653	0	2449	0	10298	0
3524	0	11763	5	3524	10	11474	-5
4035	-10	12093	-22	4035	2	11693	10
4335	-2	12408	24	4073	0	11904	18.5
5320	0	13099	0	5058	-5.5	12334	-15
5640	5.5	13499	-1	5378	0	12989	0
6340	0	13800	1	6078	8	15810	5
6960	-8	16120	0	6698	0	16230	0
7220	0	16540	-5	6958	-8	17320	3
7740	8	17680	0	7478	-3		
8240	3						

〈표 3〉 구배 관련 데이터

열차 유형	최대 속도	감속도	시간	목표 거리
	km/h	γ d(%)	t(s)	td(m)
KTX(150)	150	0.5	77	1726
KTX(135)	135	0.5	69	1397
새마을	125	0.5	66	1203
무궁화	120	0.5	68	1111
화물열차	90	0.4	56	773

〈표 4〉 제동 시간 및 거리

열차 유형	최대 속도	가속도	시간	목표 거리
	km/h	γ a(%)	t(s)	td(m)
KTX(150)	150	0.4	104	2163
KTX(135)	135	0.4	94	1767
새마을	125	0.37	94	1635
무궁화	120	0.36	96	1579
화물열차	90	0.3	88	1033

〈표 5〉 가속 시간 및 거리

4. 운전 시격 시물레이션

운전 시격의 분석을 위해 다음과 같이 가정하였다 :

- ① 폐색 시스템 : 5현시 ABS 시스템
- ② 신호기 거리 : 신호기 거리는 평균 600미터로 설정.
- ③ 신호기 위치 : 개량된 실제의 신호기 위치를 적용
- ④ 대상 열차 : 분석에는 단지 고속열차, 새마을호, 무궁화호 등의 여객 열차만을 고려한다.
- ⑤ 실제 노선의 속도 : 궤도 반경을 활용하여 평가한다.
- ⑥ 실질적인 운전 시격 : 열차 스케줄에 활용되는 운전 시격인 실질적인 운전 시격은 UIC(국제철도연맹) 405-R을 참조하여 25% 강성 여유를 고려한 기술적인 시격으로부터 도출, 여기서 기술적인 시격은 연속하는 두 열차간의 최소의 시간을 의미한다.
- ⑦ 모든 여유 시간(margin) : 각각의 열차에 균등하게 배분하였다.
- ⑧ 제동 감속도 : ETCS에서 신호 관련 제동 곡선용 제동 감속도는 프랑스 철도청의 테스트 결과를 기반으로 산정하였다. 여기서 산정값(0.62m/s²)은 실제로 ATP 기능에 의한 값(0.83m/s²) 보다 작게 계산하였다.
- ⑨ 이동 권한 : ETCS의 경우, 기관사는 ETCS 차상신호에 의해 운행 하는 것을 기본으로 하며 이동 권한의 종료료를 표시하는 적색등이 차상에 표시되는 경우 이외에는 선로변의 신호를 무시하는 것으로 가정함.

위의 가정에 따라 프랑스 Systra에서 사용하는 운전 시격 분석 관련 프로그램을 사용하여 다음과 같은 절차에 의해 운전 시격을 분석하였다 :

- ① ATS 지상 신호 시스템 : ATS 지상 신호의 경우 각각의 신호는 녹색 신호가 재점등하기 전까지의 소요 시간을 각 폐색 구간의 실제적인 거리, 신호기 현시 거리, 열차의 길이, 허용 속도 등을 감안하여 산출하였다.
- ② ETCS Level 1 : 이동 권한의 종료 이전에 열차의 운행을 저해할 수 있는 기관차로부터의 거리를 궤도의

경사도, 열차의 특성, 인체공학적인 운행횟수 등을 고려하여 산출하며, 주 신호에 설치된 In-fill 발리스의 위치를 지정한 후, 연속적인 두 열차간의 최소거리는 ABS 운행 방식과 동일하게 산출하였다. 열차는 차상 신호에 의해 운행되므로 지상 신호기를 필요로 하지 않기 때문에 신호기 현시 거리와 관련된 부분은 고려의 대상에서 제외하였다.

③ ETCS Level 2 : ERTMS Level 1과 동일한 방법으로 이동 권한의 종료 이전에 열차의 운행을 저해할 수 있는 기관차로부터의 거리를 우선적으로 산출하였다. 검지된 폐색 구간의 길이와 노선의 속도를 고려하여 ETCS Level 2는 연속 운행되는 두 열차간의 최소 거리를 정확하게 직접 계산하였다.

위의 분석 방법에 의한 분석 결과는 다음과 같다 :

	열차간 최소 시간 간격			실제 운행 간격		
	ABS	레벨 1	레벨 2	ABS	레벨 1	레벨 2
상행선	138 s	99 s	85 s	4,0 mn	3,0 mn	2,5 mn
하행선	137 s	94 s	89 s	4,0 mn	3,0 mn	2,5 mn

〈표 6〉 운전 시격 분석 결과

5. 결론

기존의 지상신호를 최적화할 경우, 서울-시흥 구간에서의 운전 시격은 4분으로 주어지는 반면, ETCS 레벨 1은 3분의 운전 시격을, ETCS 레벨 2는 2분 30초의 운전 시격을 제공할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 차상신호를 적용할 경우에는 지상신호에 비해 운전 시격을 감소할 수 있으며, 이는 병목구간의 선로용량 증대를 쉽게 예측할 수 있다. 특히 기존열차의 속도 향상이 함께 진행된다면 관련 구간의 운전시격은 더욱 더 감소할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) 김용규, "유럽의 차상신호방식(ATC,ATP,ATO) 정의 및 기술동향 상세 분석", 고속철도운행을 위한 철도시설정비사업 및 기존선 전철화 사업 기술 자문 보고서, 2000.
- (2) 김용규 외, "ATS 기존선 신호방식과 TVM430 ATC 신호방식의 속도 Profile에 따른 Compatibility", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, pp1423~1425, 2000.
- (3) 김용규, "유럽에 있어서의 열차제어시스템 개발 동향", 철도기술정보지 제17호, pp97~106, 1999.
- (4) 2003년 신호업무 자료 제 19호, 2003, 철도청
- (5) 김용규 외, "폐색 구간 길이에 따른 동대구-부산간 운전 시격 연구", 2002 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, 2002.07, pp1292-1294
- (6) 기존선 전철화 및 고속철도 연계 운행을 위한 기술 자문 보고서, 철도기술연구원, 2001
- (7) 김용규, "기존선 고속화를 위한 유럽의 열차 제어 시스템", 철도기술정보지 제38호, 한국철도기술연구원, pp23-26, 2002.