

CBTC와 ETCS간의 혼용운영 사례연구(1);영국사례를 중심으로

A Case Study of Mixed Operation Between CBTC and ETCS ; Focusing on A Case in The United Kingdom

강병욱*[†], 박종문*, 오세화*, 이재호*, 김진환*, 이종승*

Byung Wook Kang*[†], Jong Moon Park*, Sea Hwa Oh*, Jae Ho Lee*, Jin Hwan Kim*, Jong Seung Lee*

초 록 본 논문은 CBTC와 ETCS를 혼용하여 사용할 때 고려되어야 할 적용 가능한 기본적인 개념과 운영적인 측면을 다루고 있다. 이 개념들은 열차제어시스템 연결구간에서 전환이 이루어질 때 차상설비가 원활하게 동작하고 지상설비를 각각의 열차제어시스템이 공통으로 사용하는 것이라 할 수 있다. 이러한 개념들은 운용노선의 특성에 따라 결정하게 되며, 인터페이스에서부터 비롯된 세부사항들은 두 열차제어시스템의 유사점과 차이점에서부터 시작된다. 본 논문에서는 열차제어시스템을 운용노선의 특성에 맞추어 혼용 운영하는 방안을 영국사례를 중심으로 소개하고자 한다.

주요어 : CBTC, ETCS, 혼용운영, 상호운영

1. 서 론

유럽철도는 현재까지 열차제어시스템을 ETCS 레벨2로 구축할 경우 기존설비와 혼용하여 운영해 왔으며, 무선관련 인프라가 잘 갖추어져 있는 유럽에서도 보통은 레벨0, STM에서 ETCS 레벨2로 변경하였다(1). 하지만 이 노선에 운용되는 차상장치가 모두 한번에 개량되지 못함에 따라 ETCS 레벨2 차상장치가 장착되지 않은 차량을 위하여 레벨0, STM 지상장치를 철거하지 않고 혼용하여 운영되고 있다. 또한, 대도시 등의 도심구간을 위한 CBTC 시스템과 도시와 도시간을 운용하는 ETCS 시스템을 혼용운영하기 위한 방안이 주목 받고 있다.

IRSE(Institution of Railway Signal Engineers) 기술 회의에서 발표된 논문에서 영국 Thameslink와 Crossrail 노선을 위해 계획된 열차제어시스템이 설명된 적이 있으며, 이 두 프로젝트 모두 열차가 도심지에서 도심 인근의 철도노선을 통과하도록 하고 도심지 핵심 구간에서 고밀도 열차운행(시간당 열차 24대)을 제공하는 것이 목적이다. 하지만 핵심 구간의 열차제어 기술 선택에 관해 근본적으로 서로 다른 의사결정을 내렸다.(2)

본 논문에서는 위에서 설명된 영국의 두 노선을 소개하고 핵심구간에서의 열차제어시스템 선택에 있어 고려되었던 사항을 확인함으로써 운용노선의 특성에 맞추어 혼용운영 방안을 마련한 사례를 소개하고자 한다.

[†] 교신저자: 네오트랜스주식회사 기술연구팀(byungwook2.kang@shinbundang.co.kr)

* 네오트랜스주식회사

2. 본 론

2.1 CBTC와 ETCS 혼용운용을 위한 기본적 개요

열차제어시스템은 역과 본선에서 운행되는 열차의 최적 운영을 돕기 위한 설비를 말한다.(3) 유럽의 ETCS(European Train Control System)시스템의 기본적인 목적은 철도운영자에게 방대한 크기의 철도망에서 각기 다른 종류의 차량이 함께 쓰일 수 있는 상호운영성을 제공하는 것이라 할 수 있다. 하지만 CBTC(Communication Based Train Control)는 무인운전 기술과, 동일한 노선 내 동일 차량을 기반으로 최적의 효율성을 도출함으로써 도심대중교통 깊이 자리 잡고 있다고 할 수 있다. 물론 각각의 열차제어시스템은 위에서 언급된 도심지 또는 도시와 도시간 연결노선 적용에 필요조건들은 갖추고 있다. 이러한 주요 필요조건들은 ETCS의 상호운영성과 도심 내 고밀도 상태의 노선에서 기능을 실현할 수 있는 무인자동운전 체계라 할 수이다.

2.1.1 CBTC와 ETCS의 주요 특징

Table 1은 CBTC와 ETCS의 주요 특징을 비교한 것이다. 차상장치에서의 이동권한에 대한 속도감시는 두 시스템 모두 유사한 기능이다. 하지만 이동권한을 생성하고 제공하는 방식이 두 시스템의 주요 차이점이라 할 수 있다. CBTC는 단(짧은) 처리체계와 통신 주기에 최적화 되었으며, 그로 인해 선로정보(Track Data)가 시스템을 설정하는 주요 요소가 된다. ETCS는 상호호환성과 국경을 넘나드는 교통수단에 좀 더 초점을 맞추고 있으며, 그로 인해 차량과 지상간의 유동적이고 포괄적인 통신 용어를 사용하고 있다. 결과적으로, 두 방식의 융합에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있는 도심을 통과하는 열차제어시스템으로써 제안되고 있다. 또한, PSD 조작을 포함한 ATO의 기능을 통한 ETCS에 보완하는 방식의 실현가능성은 연구 중에 있으며 다수의 시뮬레이션을 통하여 검증되기도 하였다(2). 하지만 CBTC와 ETCS의 혼용은 예상하는 것보다 더 나아간 기능과 성능적 이점을 가져올 것으로 여겨진다.

Table 1 Characteristics of CBTC and ETCS(2)

| | CBTC | ETCS L1/L2 |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Position reference | Balise or Tag | |
| On-board localization | Position reference + odometry | |
| Evaluation of movement authority | Provided by wayside | |
| Speed supervision | By on-board control unit | |
| Train separation principle | Moving block | Fixed block |
| Transmission of movement authority | WLAN radio | Balise / GSM-R |
| Train speed | Up to 160km/h | >300 km/h |
| Automatic train operation | STO, DTO, UTO | - |
| Processing/communication cycle | < 1 Sec | > 1 Sec |

* STO: Semi-automated Train Operation, DTO: Driverless Train Operation, UTO: Unattended Train Operation

2.1.2 CBTC와 ETCS간의 전환

CBTC와 ETCS 모두 기능적인 측면에서 열차 기능(Dual-fitting)은 특정편성에 대한 도시철도로서의 성능을 극대화시켜야 할 경우에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 사례는 도심 외곽에 위치한 통근열차노선의 역과 도시철도 노선에 추가적인 역을 통하여 연결할 때 적용된다. 역과 열차간의 간격이 짧은 노선의 중심부는 CBTC가 적합한 반면, 일반/고속열차가 운행하는 역간의 거리가 긴 경우에는 ETCS와 국가 고유열차제어시스템이 적합할 것이다. 그렇기 때문에 원활한 열차운행을 위해서는 시스템간 연결구간에서의 전환절차가 필요하다.

대체적으로 하나의 열차제어시스템으로부터 다른 열차제어시스템으로 원활한 전환절차를 위해서는 전환절차 이전에 비활성화 되어 있는 열차제어시스템의 특정한 준비단계가 필요하다. 해당 단계 동안, 차상장치는 지상 열차제어정보를 수신하여 열차제어 권한을 필요할 때 넘길 수 있도록 준비해야 한다. 실제 적용 시 전환절차는 운행 중 혹은 열차가 정차해 있을 경우에 전환이 될 것이다. 이는 ETCS가 이미 규정되어있는 전환절차를 가지고 있기 때문에 ETCS에서 CBTC로의 전환과 CBTC에서 ETCS로의 전환절차 모두에 적용이 가능할 것이라 판단된다. EVC는 STM의 기준 인터페이스를 통하여 전환절차를 수행하며 각각의 레벨전환 발리스를 통하여 절차를 개시하게 될 것이다.

하지만 특수한 시나리오 또한 고려해야 한다, 예를 들어, CBTC체계가 아닌 열차의 기능구현, 자동전환절차 장애, EVC 장애, CBTC 및 ETCS 구간 내 혹은 두 시스템체계가 적용되지 않는 구간에서의 전환절차 시행 등이 있을 것이다.

2.2 혼용운영 사례분석

2.2.1 영국 Thameslink 와 Crossrail

영국의 두 노선에서 열차제어시스템을 도입한 사례를 보면 St.Pancras와 Blackfriars간 기존 남-북노선 개량 프로젝트인 Thameslink는 상호운용 가능한 ETCS 레벨2 신호로 정하였고, Paddington과 Liverpool간 터널의 신규 동-서노선인 Crossrail은 도시철도 적용에서 입증된 CBTC로 정하였다. 물론, ETCS와 CBTC의 시스템 범위가 동일하지 않기 때문에 이 두 시스템을 비교하는 것이 간단한 것은 아니다. CBTC가 ATO(열차자동운전), 연동장치, 관제실 기능을 포함하는 통합형 신호시스템을 설명하기 위해 사용되는 용어인 반면, ETCS는 ATP(열차자동방호) 및 차상신호 기능 및 인터페이스에 관한 표준이라 할 수 있다.

Thameslink의 경우, ETCS 구성은 연동장치 등 기존 신호설비에 통합될 뿐 아니라 수동 운전으로 인한 선로용량 및 에너지 손실을 방지하기 위해 ATO 시스템도 통합하고자 연구가 진행 중이다.

Crossrail의 경우 공급사가 기존의 고정 폐색인 선로변 신호와 호환성 또는 기타 공급사 장치와의 상호운용성에 대한 필요성으로 인해, 통합형 ATO를 이용하고 이동폐색 원리로 설계된 CBTC 솔루션을 선택함으로써 이종(異種) 시스템에 대한 통합 문제들을 해결하기 위해

노력을 하고 있다.

이런 선택을 이끌어낸 운영 및 상업적 결정을 두 논문(1),(2)에 설명하였다. 그러나 이런 유형의 도시 간 교외철도의 운영은 다른 유럽 도시에 존재하거나 예정되어 있는 것이기 때문에, 신호 기술 관련 의사 결정의 필요성은 런던만의 고유한 문제는 아니다. IRSE 국제 기술 위원회는 런던의 사례와 비교해볼 만한 현재 진행 중인 다른 프로젝트에 관한 자료를 수집하여, 공통 주제를 분석한 적이 있다.

2.2.2 프로젝트 비교

기존 시스템을 철거하기 이전에 사용중인 시스템이 기여하는 바를 평가해야 하며 ETCS 시스템이나 CBTC 시스템을 적용하기 이전에 요구사항이 충분히 검토되어야 한다. Table 2에서 볼 때 여러가지 요구사항에 대한 솔루션을 설명하고 있는데 결국 ETCS시스템이 레벨 2이상이 되면 CBTC시스템과 물리적 기능적으로 유사한 것으로 판단된다.

Thameslink 는 ETCS/ETCS를 선택하였고, Crossrail은 CBTC를 선택하였다. Table 2는 두 프로젝트를 비교하여 설명하고 있다.

Table 2 Characteristics of CBTC and ETCS(2)

| 구 분 | Thameslink | Crossrail |
|-----------|--------------------|-------------------|
| 인프라 관리자 | 국철(Network Rail) | 도시철도(TFL) |
| 개통시기 | 2018년, 4개 역사 | 2018년, 6개 역사 |
| 선로용량 | 24 tains/h (신규열차) | 24 tains/h (신규열차) |
| 자동화 레벨 | ATO | ATO+PSD |
| 도심지 주 시스템 | ETCS Level 2 | CBTC |
| 도심지 부 시스템 | 선로변 신호기 및 TPWS/AWS | - |
| 전용 시스템 | ETCS 및 AWS/TPWS | CBTC |

* AWS /TPWS : Automatic Warning System /Train Protection & Warning System

2.2.3 고찰

서로 다른 프로젝트의 특성을 비교해 볼 때, 가장 주요하게 드러나는 내용은 바로 도시 중심부와 외곽 지역 중에서 어디를 더 중시하는가에 관한 문제이다. 주요 한 점들로서 ETCS를 선택한 프로젝트들은 기존의 광역철도망 간의 연결로서 고려하고 있고, CBTC를 선택한 프로젝트들은 광역철도망에서 운행되는 도시철도로서 고려하고 있다는 점은 명백하다.

- Crossrail은 스크린 도어(PSD)를 설치할 예정이지만, Thameslink는 그렇지 않다.
- Crossrail에는 전용 관제실이 설치될 예정이지만, Thameslink는 그렇지 않다.
- Crossrail은 지역 인프라 관리자가 별도로 있지만, Thameslink는 영국의 국가 시설 관리자(Network Rail) 산하에 소속된다.

Crossrail의 시운전 전략에 따르면, 초기에는 핵심 구간 내에서 열차 운영을 시작하며 (1), Thameslink는 기존의 도시간 운행노선으로서, 신호 개량 등 추가 열차 운행 서비스가 계속 도입될 예정이다. 이런 철도 운영기관들의 생각을 알게 되면, 신호시스템을 선택하는 이유가 보다 분명해 질 수 있을 것이다. 다시 말해, 도시철도 프로젝트는 선로용량이 높은 도시철도에서 적용성이 입증된 CBTC 시스템을 선택할 것이고, 광역철도 관련 사업의 경우, 광역철도에서 사용된 ETCS 기술을 선택할 것이다. 이로써 요구되는 선로용량을 제공하기 위해 도심지에서 그 적용성을 최적화시키는 방법을 모색해 나갈 것이다. 그러면 어디에서 위험을 감수해야 하는지 선택의 문제가 발생하게 된다.

Thameslink의 경우 ETCS가 높은 선로용량을 제공하면서 AT0와 통합을 할 필요가 있는지 아직 검증되지 않았다는 점에서 취약하다. 최악의 경우, 시간 당 최대 24대의 열차 운영을 신뢰성 있게 수행하지 못할 수 있다.

Crossrail은 다양한 신호 시스템 간에, 다시 말해, 도심지의 CBTC와 기존 교외구간의 ETCS 및 기존 영국 신호시스템인 AWS/TPWS 간의 변환이 검증되지 않았다는 위험이 있다.

다음 그림은 Crossrail의 노선현황을 보여준다. 선의 굵기가 굵을수록 시간당 운행하는 열차수가 많은 것으로 런던 중심부 인 Paddington과 Stratford 구간에서 열차 운행이 가장 많음을 알 수 있다.

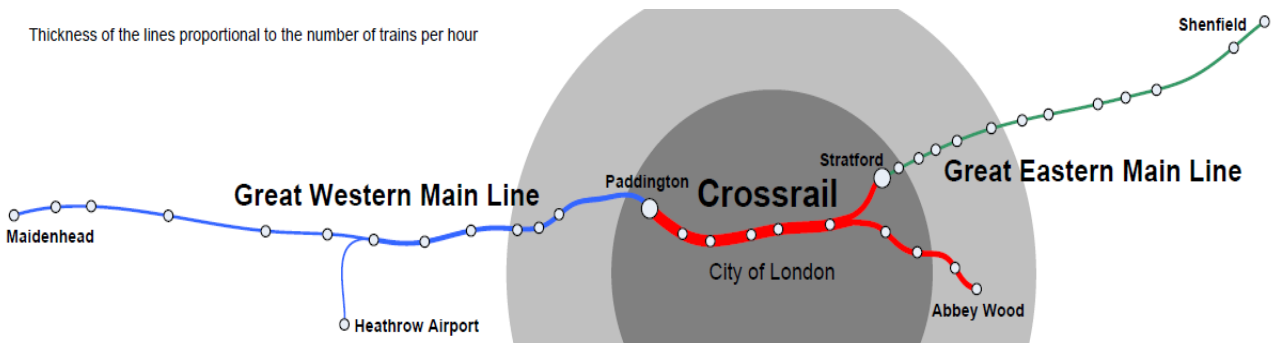


Fig 1 Enhancement of Inner-city Transportation and Connection of Main Lines(4)

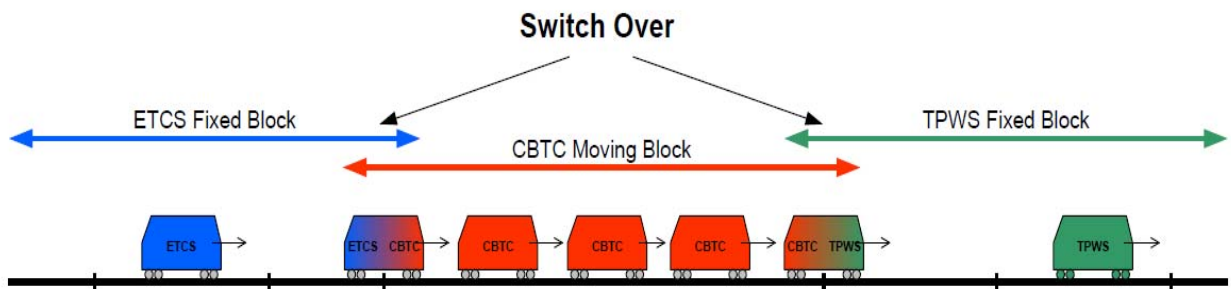


Fig 2 Optimal Utilization of Infrastructure and Rolling stock(4)

물론, 이상적인 해결방안은 기존 CBTC 시스템이 달성한 검증된 선로용량을 제공하면서, ETCS 규격을 준수하는 시스템일 것이다. 유럽의 경우 이에 문제되는 핵심 요소는 ETCS 차상

과 지상 간의 통신에서 사용되는 GSM-R 회선 교환 데이터 링크의 속도 및 선로용량 제한일 것이다. 유럽에서는 이 부분이 수년간 ETCS 개념의 약점으로 인식되어 왔으며, 이제는 현대식 인터넷 프로토콜 데이터 통신에 기반 하여 규정에 대한 개정을 추진하고자 검토 중인 것으로 확인하였다(2).

이런 문제들이 해결된다면, ETCS/ETCS와 CBTC 기술의 융합이 가능하게 될 것이다. 유럽의 열차제어시스템 공급사들은 이미 이러한 기술 융합을 계획하고 있었으며, 몇 가지 사례에서 이 두 시스템에 대해 동일한 하드웨어 플랫폼을 사용하고 있다.

3. 결론

앞서 본문에서 유럽이 경험하고 있는 열차제어시스템의 향후 방향에 대해 거론하였다. 이는 먼 미래가 아닌 현재에 앞선 미래에서 다가올 우리나라의 고민과도 비슷할 것이다. 우리나라에서 경험하고 있는 고민과 시행착오를 조금 더 빨리 경험하고 있는 유럽의 사례를 토대로 조금 더 앞서 향후 방향을 고민함으로써 더 나은 결정을 내릴 수 있는 방안을 마련할 필요가 있을 것이다. 세계적으로 앞서고 있는 우리나라의 IT기술과 목표한 바를 기한 내 이루는 신속성을 가지고 있는 우리나라의 저력을 감안 한다면 현재는 차이 나고 있는 현대 철도의 기술을 그들과 경쟁할 수 있는 수준까지 빠른 시일 내에 이를 수 있을 것이라 저자는 판단한다. 또한 철도라는 복합산업분야에 정량적인 목표를 세운다는 것은 어려울 것이며, 조금 더 앞선 기술을 개발 할 수 있다는 도전적인 목표를 가지고 이행하는 것이 우선이라 생각된다.

후 기

This research is supported by a grant from Railway Technical Research Project (15RTRP-B089551-02) funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government.

참고문헌

- [1] Andreas Steingrover(2013), CBTC or ETCS for Cross City Suburban Rail, SIGNAL+DRAHT 1+2, pp. 29-33.
- [2] Ian Mitchell(2013), CBTC or ERTMS for Cross City Suburban Rail?, IRIS NEWS ISSUE 188, pp. 8-10.
- [3] 한국철도시설공단 철도용어집, www.kr.or.kr, 2015.09.16
- [4] Siemens, A Solution for a High-speed Cross-urban Application, ERTMS Conference 2014
- [5] Byung Wook Kang, A Study of Interoperability for Mixed Operation of Train Control System, 2015 Spring conference of the Korean Society for Railway (2015)