

틸팅차량 속도 향상에 따른 규정(안) 연구

A Study on Speed Regulations in Accordance with Speed-up for Tilting Train

정종덕* 김정국* 홍용기** 김원경*** 편장식****
Chung, Jong-Duk Kim, Jeongguk Hong, Yong-Ki Kim, Weon-Kyung Pyun, Jang-Sik

ABSTRACT

In order to improve the speed of railway, several parameters and/or technical issues, which are affecting speed improvement negatively, need to be considered in addition to the enhancement of physical performance of the railway system such as maximum speed, speed at curve, and speed at turnout track. The parameters under complicated situation of railway system are from the areas of rolling stocks, track, power system, signalling, etc. In general, two different aspects of technical issues can be evaluated; Technical issues in the hardware aspect and technical issues in the software aspect. The hardware parameters include running performance, braking performance, and power performance, while the software factors are rules, regulations, and riding quality. In this investigation, a comparison study between hardware and software aspects in technical issues was conducted to provide technical information on the amendment of railway speed-up regulations.

1. 서 론

2004년 4월에 개통된 최고속도 300 km/h의 고속열차의 상업운행 개시와 더불어 서울과 부산 간의 거리는 시간적으로 더욱 가까워지면서 고속철도가 경유하는 도시의 경우 사회, 문화, 경제적인 측면에서의 개발이 촉진되는 편익을 누리게 되었다. 그러나, 기타지역의 경우, 그러한 혜택으로부터 상대적으로 소외될 수 있으며, 이로 인한 국토의 편향적 개발로 말미암아, 지역적인 불균형 초래 등과 같은 역기능의 가능성도 우려되고 있다 [1].

따라서 지역 간의 균형발전과 고속철도와 기존선의 연계망 확충 및 철도전반의 수송 능력향상을 위해서는 기존노선 전반의 속도향상이 절실하며 이를 위해 한국철도기술연구원에서는 □□기존선 속도향상 실용기술 개발사업□□을 추진하고 있다 [1,2].

그러나 지금까지의 연구과업은 차량시스템에 대한 요소기술의 확보와 설계기술의 개발 등이며 기존선 철도의 열차운영환경을 규정하고 있는 열차운전시행절차, 철도설계기준, 선로정비규칙, 철

* 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원, 수석연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원, 책임연구원, 정회원

**** 한국철도기술연구원, 연구원

도 전기시설 관리규정, 속도정수 사정기준규정 등 각종 시행세칙, 규칙, 절차 등은 기존의 최고속도 150 km/h를 유지하고 있어서 향후 기존선 고속화 차량 즉, 180 km/급 틸팅 전기동차의 상업운행을 위하여 전면적인 개정이 시급하면서도 중요한 과제로 부각되고 있으며 이러한 맥락에서 한국철도기술 연구원은 기존선 속도향상 실용기술 개발사업의 중과제인 시스템총합 및 총괄기술 개발의 세부핵심과제로서 기존선 속도향상을 위한 제반규정의 개정연구에 착수하게 되었다. 이를 위해서는 철도에 있어서 속도를 제한하는 제반규정의 조사 및 검토가 선결되어야 한다 [1,2].

현재 한국형 틸팅열차의 도입에 따른 기존선의 속도향상을 위한 속도관련 제반규정의 분석 및 국내현황에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 본 연구에서는 그 중에서 속도를 제한하는 제반규정에 대한 수정 및 보완 방법에 대한 목표 수립을 위한 연구결과를 발표하고자 한다.

2. 본 론

2.1 국내 및 국외의 관련분야 기술동향 [1,3]

(1) 국내실적

기존선 고속화 차량 즉, 180 km/h 급 틸팅 전기동차의 차량시스템에 대한 요소기술의 확보와 설계기술의 개발에 대한 연구는 계속되어 왔으나 기존선 고속화에 따른 운영환경의 검토나 규정의 개정과 관련해서는 2001년 8월 철도청에서 선로의 설계속도를 기존의 최고 150 km/h를 200 km/h로 개정된 국유철도건설규칙을 발행한 바 있으며 이를 제외한 기타의 운영과 관련한 제반규정개정연구는 전무한 실정이다.

국유철도 건설규칙은 77년 2월 15일 공포된 후 89년 1월 30일 일부 개정하여 준용되어 왔으나 기존선 열차속도 향상 등에 따른 열차의 고속화, 철도차량 및 전기시설의 현대화 추세 등 시대적 변화에 부응하기 위하여 2000년 8월 전면적으로 개정된 바 있으며 개정된 국유철도건설규칙은 선로의 설계속도를 최고 150 km/h에서 200 km/h로 향상하면서 연관된 항목 및 기타 사항을 전반적으로 개선하였다.

(2) 해외실적

스페인에서는 1983년에 운행거리가 338 km인 Madrid-Zaragoza의 기존노선에 틸팅차량을 투입하였으며 이탈리아는 1987년부터 1992년까지 최대속도 250 km/h인 강제 틸팅차량의 영업을 개시한 바 있다.

스웨덴은 기존선 고속화 추진시 궤도에 큰 투자를 하지 않고 운행시간을 단축하는 방법으로서 300개의 건널목을 제거하였고, 200 km/h 주행을 위한 가선을 정비하였으며, 1990년 Stockholm-Gothenburg 노선에 틸팅차량 영업운행을 시작하였다.

영국은 1999년 Virgin 레일사가 총 53편성의 최고속도 225 km/h급의 틸팅차량의 영업운행을 개시 하였으며 2005년에는 런던-글라스고 구간에서 현재보다 약 1시간 정도의 여행시간 단축이 가능할 것으로 예측된다.

따라서 위와 같이 기존선을 고속화하여 상업운행에 성공한 국가에서는 각종 열차의 제 규정은 시속 200 km이상으로 설정되어 있으나 관련 규정이나 이에 대한 선행 연구는 없다. 기존선 속도향상 실용화 기술의 개발에 따라 열차의 고속화 등 시대적 변화에 부응하기 위하여 기존선 철도의 설계속도를 150 km/h에서 200 km/h로 향상시키고 이에 따라 철도의 설계속도와 관련된 제반규정의 개정연구가 선행되어야 하며 이를 위해서는 철도에 있어서 속도를 제한하는 제반 규정의 조사 및 검토가 선행되어야 한다.

2.2 국내의 철도관련 제반 규정 및 속도를 규제하는 규정

한국국철의 규정에는 상위규정과 하위규정이 있으며 상위규정에는 건교부령으로 제정된 국유철도운전규칙과 국유철도 건설규칙 등 2종류가 있으며 하위규정은 철도청 고시 또는 훈령에 의한 것으로서 총 285 종의 규정, 세칙, 요령, 절차 등이 있다 [4].

(1) 국유철도 운전규칙(건교부령)

국유철도운전규칙은 국유철도차량, 선로등의 수송시설과 열차의 운전 및 운행에 관하여 철도법에서 위임된 사항과 그 시행에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 하며 속도와 관련된 사항은 다음과 같다.

- 열차 최고속도와 선로 및 전차선로의 강도 및 차량구조 연관규정
- 곡선을 통과하는 차량의 안정성을 고려하여 속도를 제한
- 분기기구조별로 제한속도 규정
- 하구배 운전 시 제동거리를 고려한 속도제한규정
- 열차의 신호에 따른 제한속도규정
- 열차방호 시 일정거리 표식설치-타 열차의 제동거리/최고속도

(2) 국유철도 건설규칙(건교부령)

국유철도건설규칙은 철도법 제 3조의 규정에 의하여 철도의 건설 및 이와 관련한 차량기구의 구조에 관하여 필요한 사항을 정함을 목적으로 하며 속도와 관련된 사항은 다음과 같다.

- 선로에 대해서는 궤간, 곡선, 구배, 건축한계, 궤도중심간격, 시공기면, 교량, 가공 전차선, 정거장, 분기 및 평면교차, 신호기의 설치, 보안설비 및 선로제표와 관련한 사항을 규정함

- 차량에 대해서는 차량한계, 차중, 윤축 및 각부구조, 연결기, 제동기, 기타장치, 열차 최고속도와 선로 및 전차선로의 강도와 차량구조 연관 사항을 규정하고 있다.

하위규정의 경우, 철도청의 각 본부별로 관리하고 있다.

2.3 제반규정수정 및 보완방안연구

가. 속도제한 제반규정 분석

한국철도의 속도향상과 관련한 기술적인 문제점은 다음으로 정리할 수 있다. 철도의 속도향상을 위해서는 물리적 성능, 즉 최고속도, 곡선 통과속도, 분기기 통과속도, 가감속도의 개선이 필요하지만 거기에는 차량뿐 만 아니라 선로나 전력, 신호 등 철도시스템 (railway system) 전반의 모든 요소가 복잡하게 얽혀 속도의 향상을 불가피하게 제한하는 기술적인 문제점이 있다. 이것은 크게 하드웨어 측면의 문제점과 소프트웨어 측면의 문제점으로 나눌 수 있다.

1) 하드웨어 측면의 기술적인 문제점

(1) 주행성능

철도차량 주행 시 필연적으로 주행저항(공기저항, 구름저항, 구배저항 등)이 발생하며 차량의 구동력이 이를 극복할 수 있는 한 속도의 향상이 가능하나 그 한계점에서 속도는 정점에 도달한다. 이러한 한계를 구성하는 문제점은 다음과 같다.

- ① 차량의 구동력을 향상시키기 위해서는 단위동력의 개선이 필요하나 이는 동력발생장치의 크기에 비례하므로 차량의 제약된 공간이 수용할 수 있는 한계가 있다.
- ② 구동력을 크게 하더라도 레일과 차륜의 점착력 한계로 인하여 차륜공전이 발생하며 이것은 가속도의 저하로 이어진다.
- ③ 점착계수는 차량의 속도에 반비례하며 주행저항은 속도에 비례하므로 결과적으로 점착력과 주행저항이 균형을 이루는 점착한계에서 자연스럽게 속도한계가 결정된다.

(2) 제동성능

속도의 향상은 철도의 주행안전성과 밀접하게 연관되어 있다. 열차를 안전하게 정지시킬 수 있는 제동성능은 제동거리로 대표되며 이는 가능한 한 짧은 것이 바람직하다. 그러나, 제동력을 증대시키는 데는 다음과 같은 문제점이 있다.

- ① 차량의 제동력을 크게 함으로서 제동력이 레일과 차륜사이의 점착한계를 초과하면 차륜활주가 발생하고 감속도가 저하됨으로 제동성능향상에 장애가 된다. 즉, 제동성능의 향상에 있어서 점착성능은 절대적으로 선결되어야 할 장애물이다
- ② 아울러 제동성능은 운전 보안시스템의 성능과 직결되어있으므로 속도 향상을 위해서는 제동성능 향상과 더불어 신호 보안시스템의 검토가 필요하다.

(3) 주행안전성

주행안전성은 선로를 주행하는 차량의 주행속도와 선로조건의 상호작용에 의해 결정된다. 주행안전성에 대한 문제는 다음과 같이 대별된다.

- ① 차량이 일정속도에 이르면 좌우방향으로 사행동이 발생하며 이를 방지하기 위해서는 주행장치의 저널박스 지지강성과 대차회전저항 및 답면 형상 등을 적절히 고려해야 한다.
- ② 고속주행 시에는 궤도틀림 때문에 차륜과 레일간 힘의 변동으로 윤중이나 횡압이 현저히 커지거나 또는 작아지는 '윤중약화현상' 등으로 인하여 궤도파괴 및 탈선이 일어나는 경우가 있다. 이것은 궤도에 적절한 캔트 (cant, superelevation)를 부여하고 완곡곡선 (train curve)을 합리적으로 설정하는 등의 조치가 필요하며 아울러 차량에 대해서는 급곡선에서 대차의 회전저항을 적게 하여 궤도 부담력을 경감할 수 있는 대책마련이 필요하다.
- ③ 차량이 곡선을 통과할 때는 필연적으로 원심력 (centrifugal force)의 영향을 받기 때문에 곡선 반경은 통과속도를 제약하는 직접적인 원인이므로 캔트와 캔트부족량 (deficiency of cant), 완곡곡선길이 등을 적절히 설정함으로써 주행안전성과 승차감을 해치지 않으면서 곡선 통과속도를 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 집전성능

전기차량은 가선을 통하여 운전에 필요한 소요전력을 수전하며 판토품의 집전성능은 주행 중 차량의 거동, 속도 및 가선의 상호관계에 따라 결정된다. 따라서 차량의 속도가 향상되면 가선에 대한 판토품의 추수성이 악화되어 섬락이 발생하고 돌발적으로 수전이 중단되는 경우도 있다. 따라서 가선과 판토품 계를 1개의 계통으로 인식하고 속도향상에도 집전성능을 안정화할 수 있는 대책이 필요하다.

(5) 열차제어

동일한 철도선로 상에서 수많은 열차를 안전하게 운행하기 위해서 열차의 간격 및 속도를 통제하는 신호 보안시스템이 필요하다. 이 시스템은 기본적으로 제동성능과 연관되어 있으므로 속도향상에 있어서는 제동성능과 운전보안시스템의 총괄적인 개선이 불가피하다. 아울러 열차의 운동에너지는 속도의 제곱에 비례하므로 고속주행 시 만일의 사고에 대한 피해도 비례적으로 커진다. 따라서 폐색방식 등 열차제어측면에서도 개선이 필요하다.

2) 소프트웨어 측면의 문제점

(1) 규정 (rule)

한국국철에 있어서 철도와 관련된 규정은 상위규정과 하위규정으로 나누어지며 상위규정으로는 국유철도운전규칙 및 국유철도건설규칙 등의 규칙이 있고 하위규정에는 규정, 세칙, 요령, 절차 등이 포함된다. 본 규정 중 속도를 제한하는 내용은 다음과 같다.

- ① 상위 규정인 국유철도 운전규칙에는 열차의 운전속도는 선로 및 전차 선로의 강도와 차량의 구조를 고려하여 철도청장이 정하며 하구배를 운전하는 열차는 제동거리를, 곡선을 운전하는 열차는 차량의 안전도를 고려하여 그 속도를 제한하도록 규정하고 있다.
- ② 하위규정인 운전취급 규정에는 열차 및 차량의 최고속도와 제동축 비율에 따른 운전속도제한 및 기타 각종 속도의 제한에 관련된 사항을 규정하고 있다.
- ③ 열차운전시행절차는 차량의 최고속도, 선로의 최고속도, 하구배 속도제한, 곡선의 속도제한, 분기기 속도제한 등 세부적인 사항에 대하여 정의하고있다.
- ④ 아울러 속도정수 사정기준규정에는 시속 110 km의 열차 주행속도에서 비상제동성능이 실 제 동거리와 공주거리를 합한 전 제동거리가 600 m 이내로 하도록 규정하고 있다

기존선의 최고속도는 비상제동성능에 직결된다. 기존선의 최고속도를 150 km/h 이상으로 향상하는 경우에는 이 규정의 수정과 함께 운전보안시스템의 전반적인 수정이 불가피하다. 아울러 상 기 이 외의 속도를 규제하는 규정에 대해서도 기술수준의 향상이나 열차 운전형태, 다이어 등의 변화에 따라 개선이 가능한 것으로 판단된다.

(2) 승차감

종래부터 곡선주행시의 승차감 기준 (ride quality standard)은 기존선의 캔트부족량을 100으로 했을 때 좌우정상가속도가 0.067g (캔트부족량 100기준)을 초과하지 않도록 되어 있지만, 킬팅 차량을 적용하면 동일속도에서 승차감은 0.2g 정도까지 향상된다. 따라서 승차감과 관련한 캔트, 캔트 부족량 및 킬팅 차량의 곡선통과 성능 등의 상호관계에 따른 규정의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서 얻어진 내용을 정리하면 다음과 같다. 철도의 속도향상을 위해서는 물리적 성능, 즉 최고속도, 곡선 통과속도, 분기기 통과속도, 가감속도의 개선이 필요하지만 거기에는 차량뿐 만 아니라 선로나 전력, 신호 등 철도시스템 (railway system) 전반의 모든 요소가 복잡하게 얽혀 속도의 향상을 불가피하게 제한하는 기술적인 문제점이 있다. 이것은 크게 하드웨어 측면의 문제점 과 소프트웨어 측면의 문제점으로 나눌 수 있는데, 하드웨어 측면의 기술적인 문제점들은 철도차량 주행 시 필연적으로 주행저항 (공기저항, 구름저항, 구배저항 등)이 발생하며 차량의 구동력이 이 를 극복할 수 있는 한 속도의 향상이 가능하나 그 한계점에서 속도는 정점에 도달하며 속도의 향 상은 철도의 주행안전성과 밀접하게 연관되어있다. 열차를 안전하게 정지시킬 수 있는 제동성능 은 제동거리로 대표되며 이는 가능한 한 짧은 것이 바람직하다. 또한, 주행 안전성은 선로를 주 행하는 차량의 주행속도와 선로조건의 상호작용에 의해 결정된다. 소프트웨어 측면의 문제점들을 정리하면, 한국국철에 있어서 철도와 관련된 규정은 상위규정과 하위규정으로 나누어지며 상위규 정으로서는 국유철도운전규칙 및 국유철도건설규칙 등의 규칙이 있고 하위규정에는 규정, 세칙, 요령, 절차 등이 포함된다.

참고문헌

1. 정종덕 (2003), “속도향상을 위한 제반 규정의 개정 연구”, 연구계획서, 한국철도기술연구원.
2. 엄기영, 엄주환 (2003), “기존선 속도향상을 위한 선로시스템 개선기술 개발”, 한국철도기술, 2003/11-12, 한국철도기술연구원, pp. 15-18.
3. 백남욱, 이상진, 이병송 (2001), “철도의 속도향상”, 골든벨출판사.
4. 철도청 법규관리시스템 홈페이지 (<http://www.korail.go.kr/2003/lawmanager/index.htm>).