

도시철도 안전운행을 위한 열차 구성요건에 관한 연구

A Study on the Train Composition Requirements for Safety Operation of Urban-Transit

전영석¹ · 이희성² · 왕종배[†]

Young-Seok Jeon · Hi-Sung Lee · Jong-Bae Wang

Abstract In order to assure the safety of train operation, a safety function analysis corresponding hazardous events of railway accidents and a safety requirement review on operation & management of trains have been performed. The preconditions and train composition requirements such as safety principles and functions that should be essentially considered to enable the safety operation of Urban-Transit trains are clearly presented. On the basis of presented train composition requirements, a rational revise of Urban Railway Operation Rule is proposed. It will be helpful in accident prevention and safety improvement for railway operation.

Keywords : Urban-Transit, Train composition requirement, Operation rule, Safety operation, Safety function

초 록 본 연구에서는 열차운행의 안전을 보장하기 위하여 철도사고 위험사건에 대응한 안전기능 분석과 열차의 운영, 관리상의 안전요건 검토를 수행하였고, 도시철도 열차의 안전운행 보장에 필수적인 안전원칙 및 안전기능과 같은 전제조건과 열차 구성요건을 명확히 제시하였다. 제안된 열차 구성요건을 기반으로 도시철도운전규칙의 합리적인 개정을 제안하며, 이는 철도의 사고예방과 지속적인 운행안전 개선에 기여할 것이다.

주요어 : 도시철도, 열차구성요건, 운전규칙, 안전운행, 안전기능

1. 서 론

철도운송은 지정된 경로로 이동하는 여객과 화물의 안전을 보장하고, 가능하면 낮은 비용으로 정시성, 이용성, 쾌적성과 같은 사전 정의된 다수의 기준을 만족해야 한다. 그 동안 도시철도는 고객의 요구와 수익성 개선을 위하여 속도 향상, 운행시격 단축, 이용 편의성 개선 등 자율적인 활동과 노력을 기울여 왔으며, 또한 대중교통 수단으로서 일정수준 이상의 안전 확보와 지속적 안전 개선에 대한 강력한 사회적 책무를 다할 것을 요구 받고 있다. 특히 인명사상을 초래하는 중대사고의 예방과 열차의 안전운행을 보장하기 위해서는 최소한의 필수적인 안전요건을 국가 기준으로 명확히 규정할 필요가 있다[1].

유럽철도국(ERA)은 국가간 철도 상호운영을 보장하기 위한 상호운영법령(EU Directive 2001/16/EC)을 제정하고, 고속철도와 일반철도에 대한 상호운영기술사양(TSI, technical specifications for inter-operability)을 ‘제어명령 및 신호’, ‘에너지’, ‘기반시설’, ‘철도차량’, ‘교통운영 및 관리’등 분야별로 개발하여, 모든 회원국이 이를 적용할 것을 요구하고 있다. 영국 철도감독국(ORR)은 “Railway Safety Publication

3; SAFE MOVEMENT OF TRAINS”에서 열차의 안전운행 원칙과 기본요건을 국가지침으로 공표하고 있으며[2], IEC 62267_1137_CVD[3]과 같은 국제기준은 ‘자동화 등급별 열차운전의 기본기능’을 제시하고 있다.

국내 철도는 도시철도법[5]을 근거로 하는 도시철도운전규칙[6]과 철도안전법[7]에 근거한 철도차량운전규칙[8]이 제정되어 있지만, ‘본선을 운전할 목적으로 편성되어 열차번호를 부여 받은 차량’으로만 열차를 정의하고 있어, 사고예방과 승객안전을 목적으로 열차의 안전운행을 보장하는데 필요한 최소한의 안전원칙과 열차구성의 필수요건을 명확히 제시하지 못하고 있다. 그리고 폐색방식에 따른 도시철도차량운전 분류기준[9,16]이나 열차제어 및 신호관련 기술[10-13] 등에 대한 일부 연구가 수행되었지만, 열차의 안전운행 확보를 위한 핵심조건과 열차구성의 요건에 대한 체계적인 연구도 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 철도사고를 초래할 수 있는 주요 위험사건에 대응한 철도운영, 관리상의 안전기능을 분석하고, 열차의 안전운행에 필수적인 전제조건으로서 국제적으로 적용되는 안전원칙과 안전기능을 검토하여, 국내 도시철도 열차의 운영준비 단계에서 반영해야 하는 최소한의 열차 구성요건을 제시하고자 한다. 향후 도시철도의 사고예방과 운행안전 보장을 강화하는 측면에서, 본 연구에서 제시한 도시철도 열차운행에 대한 안전요건과 열차 구성요건을 반영한 도시철도운전규칙의 합리적인 개정 필요성을 제기한다.

[†]교신저자 : 한국철도기술연구원 철도종합안전기술개발사업단
E-mail : jbwang@krii.re.kr

¹한국철도대학 운전기전과

²서울과학기술대학교 철도전문대학원

2. 열차운행 안전기능 및 안전요건 분석

2.1 위협사건에 대응한 안전기능 분석

열차의 운행은 중량과 속도제곱에 비례하는 운동에너지가 발생하며, 이 에너지를 계획한 대로 통제할 수 없거나 중요한 안전기능을 상실하는 어떤 위협사건이 발생하면, 그 결과로 열차의 충돌, 탈선, 분리나 열차충격 등의 철도사고가 발생하여 인명사상이나 재산손실을 초래하게 된다. 열차운행과 관련된 철도사고 주요 위협사건[15]에 대응한 대표적인 안전기능 실행사례를 Table 1에 제시한다.

2.2 철도운영, 관리상의 안전기능 분석

유럽철도국(ERA)은 철도안전(SAMRAIL) 프로젝트[14]를 통해 유럽철도에 공통적으로 적용되는 “철도시스템 운영, 관리상의 주요 안전기능”을 개발하였다. Table 2에서 열차의 안전운행을 사전에 보장하기 위한 ‘F7 열차운행 준비’ 과정에서의 규정수립, 열차조성, 열차식별 보장에 이르기까지의 핵심 안전기능과 주요 임무를 확인할 수 있다.

2.3 열차 안전운행 요건 분석

영국은 유럽철도국 철도안전법령(RSD, EC/49/2004)과 철

Table 1 Major hazardous events and safety functions related with train operation

열차사고	위협사건	안전기능
충돌	폐색취급 오류, 신호현시 오류, 신호모진	대용 폐색 시행시의 안전대책, 인적오류 방지 신호가시성 확보, 자동비상제동체결 시스템
	제동장치 및 안전장치 실패 또는 고장	비상제동, 제동장치 등 안전장치 이상시 속도제한
	운전제어장치(ATC등) 고장 및 차단운전	신뢰성, 운행속도제한 및 안전조치, 시스템 2·3중화
	허가되지 않은 구간 다른 열차의 진입, 차단구간 열차운행	비상제동, 열차방호, 운전협의 및 운전정보교환
	열차 또는 차량의 구름	수용 제동기, 구름방지 차륜막이, 탈선선로전환기
탈선	차량결함(윤축, 대차, 제동, 연결기, 차체)	차량점검 정비, 비파괴검사, 대차 흔들림 검지장치
	신호 및 분기기 취급오류	Fail safe, 취급절차
	곡선부 과속	과속방지장치, 속도기록장치, 가이드레일
화재	차량기기 과열, 누전, 합선	이상 전류 검지, 화재검지 및 경보 설비
	제동(전기 및 마찰제동) 불꽃	불꽃 방지소재, 난연 또는 불연재, 방화벽
	차량내 실화·방화	차량의 불연/난연성 소재 사용, 소화설비 설치 통로문/출입문/창문/대피로 등 탈출로 확보 탈출/대피 안내유도, 비상대응 매뉴얼 작성 및 훈련
	외부 화재의 차량으로 진화	열차/차량진입 통제, 방화벽, 난연 또는 불연재

Table 2 Safety function requirement and major mission at train preparation step

안전기능 요건	주요 임무
F700 규정 수립	모든 종류의 내부 규정 수립
F701 피견인 차량 제공	자체 동력차 이외의 요구에 따른 차량의 이용성 보장
F702 열차 조성	화물 및 여객열차 편성의 조성
F703 열차 경로/시간표 제공	열차이동을 계획하는 조직적 절차
F704 자체 동력차 제공	피견인 차량 이외의 요구에 따른 자체동력차의 이용성 보장
F705 열차 승무원 제공	필요한 운영담당자의 이용성 보장
F706 조차장	운행선상의 정상통행 이외의 차량 이동, 예)정거장 또는 조차장 내부: 통상 열차자료나 시간표 자료를 이용할 수 없음
F707 차량 연결	차량의 물리적 연결
F708 열차 자료 입력	열차 관련 자료의 입력, 예) 열차조성, 운영특성 자료
F709 기관사에 의한 제어/지령 및 신호용 자료 입력	제어/지령 및 신호로 정의된 차량의 입력자료 요건 준수
F710 열차 안전운행 보장	여객출입문 제어, 기술적 검사의 수행 및 열차성능에 영향을 미치는 변경사항 관리와 같은 열차 안전운행을 보장하기 위해 열차운영자 책임으로 취하는 열차운행 과정의 대책
F711 열차 식별 보장	개별 열차의 명확한 식별 보장

도상호운영기술사양(TSI)의 요구사항을 만족하는 열차의 안전운행 보장을 위한 안전원칙으로서 ‘열차의 안전운행 지침(Safety Movement of Trains)’을 국가적으로 제시하고 있다[2]. 이 지침은 Table 3에서 볼 수 있듯이 제1부 열차안전운행 요건의 21가지 원칙과 제2부 특별운행 대책의 9가지 원칙으로 구성되어 있으며, 열차의 안전운행 확보를 위한 상위수준의 원칙과 기본적인 고려사항을 제시하고 있다.

예로서, “원칙 1.1 열차 운행준비”에서 “열차를 안전하게 운행할 수 있도록 준비해야 한다”라고 정의하고, 이를 위하여 열차 운행준비는 열차를 구성하는 개별 차량의 상태, 완성열차로서의 물리적인 특성 및 그 안전 시스템의 확인, 열차에 대한 운영특성의 결정을 포함한 이들의 점검, 열차 승무원에 의한 해당 열차의 안전 이동에 대한 관련 정보 수집을 고려요소로서 규정하고 있다[2].

3. 도시철도 안전운행 전제조건과 열차의 구성요건 제시

본 연구에서는 현행 도시철도 운전규칙[6]을 중심으로 철도 사고예방과 안전운행을 보장하기 위한 전제조건으로서 열차 안전운행의 기본원칙과 안전기능을 검토하고, 이들 각각의 안전요건을 반영한 도시철도 열차의 구성요건을 제시하고자 한다. 여기에 제시된 도시철도에 대한 열차 구성요건은 복수의 차량으로 이루어진 유인운전 방식의 전동열차를 대상으로 하며, 레일·선로·신호·전차선을 검측하는 차량과 모터카, 사고복구 차량 등에 대해서도 부분적으로 적용할 수 있다.

3.1 열차 안전운행 전제조건 검토

국내·외 철도 법령이나 기준에 규정된 열차에 대한 정의

Table 3 ORR's guidelines on safety movement of train

제1부 열차 안전운행 요건	
원칙 1.1 열차 운행준비	원칙 1.12 기관사가 진행 선두에 위치하지 않은 상황에서의 운행선 이동
원칙 1.2 열차 출발	원칙 1.13 기반시설의 결함
원칙 1.3 열차의 속도	원칙 1.14 열차방호 및 다른 열차의 구원이 필요한 운행선상에 정지한 열차
원칙 1.4 열차의 경로	원칙 1.15 차상 안전 시스템, 장비, 구성품의 결함 또는 불안정한 하중
원칙 1.5 이동권한 종료된 열차의 운행선상 유지	원칙 1.16 열차 운행제어 시스템의 일시적인 기능손상
원칙 1.6 입환	원칙 1.17 차륜-레일의 점착력 저하
원칙 1.7 위험물	원칙 1.18 기후 및 기타 환경 조건
원칙 1.8 열차 운행제어 시스템의 운영	원칙 1.19 불법(과피)행위
원칙 1.9 건널목 운영	원칙 1.20 외부 위험요인
원칙 1.10 폐색점유 작업	원칙 1.21 열차 화재 대응
원칙 1.11 작업 중 열차의 안전 이동	
제2부 특별 운행 대책	
원칙 2.1 정상적인 열차운행제어시스템을 사용하지 못하는 경우 운행 승인	원칙 2.5 열차운행제어장치의 기능 손상 동안의 단선 운행
원칙 2.2 선로 점검	원칙 2.6 사고, 장애물 또는 시설결함 발견 이후의 즉각적인 선로 방호
원칙 2.3 잘못된 방향의 이동	원칙 2.7 트롤리 운행
원칙 2.4 복선 또는 다중선 궤도에서의 단선 운행	원칙 2.8 승객 통신장치 운영
	원칙 2.9 열차 탈출 및 대피

Table 4 Comparison of train definition

구분	근거	열차의 정의	비고
국내	철도 안전법	선로를 운행할 목적으로 철도운영자가 편성하여 열차번호를 부여한 철도차량	제2조 5호
국내	도시철도 운전규칙	본선에서 운전할 목적으로 편성되어 열차번호를 부여받은 차량	제3조 3호
국내	철도차량 운전규칙	본선을 운행할 목적으로 조성된 철도차량	제2조 5호
국외	일본 성령	정거장 외의 선로를 운전할 목적으로 조성된 차량	제2조 13호
국외	국제기준 (IEC 62267 -1137-CVD)	시스템 요소로서 규칙적인 상태로 선로에서 운행되고, 여객 환승을 위하여 역에 정차하고 선로 위를 움직이는 다음과 같은 차량 - 단일차량 - 단일차량이 모여 하나의 유닛을 구성한 열차로서 정상운행 상태에서 분리되지 않는 차량 - 여러 개의 단일 차량으로 구성되거나 다중 차량 유닛으로 구성된 열차로서 정상상태에서도 분리될 수 있는 차량	제5장 2절
국외	영국 ORR 열차안전 운행지침	차량이나 선로에서 운행할 수 있는 차량의 편성	부록 1 : 용어정의

를 Table 4에 비교하여 제시한다. 이 표에서 알 수 있듯이 현행 ‘열차’에 대한 정의는 ‘본선(선로)을 운행할 목적으로 편성(조성)된 차량’이라는 내용을 공통적으로 담고 있지만, 열차의 운행안전 확보에 필수적인 차량 편성(조성)에 대한 구체적인 안전요건을 명시하지 않고 있다.

또한, 국내외 철도운전규정에서 “차량은 이를 열차로 편성하지 않으면 정거장 외 본선을 운전할 수 없다”라고 규정하고 있는데[4,6,8], 이 정의에서도 본선을 안전하게 운전할 수 있는 열차에 대한 구성요건과 구비조건을 구체적으로 제시하지 못하고 있다. 즉 열차가 본선을 운행하려면 차량의 편성 이외에도 열차번호, 승무원 탑승, 열차표지 등의 구비조건을 열차 안전운행의 전제조건으로서 열차의 구성요건에 추가하는 것을 검토할 필요가 있다.

따라서 사고예방과 승객안전 보장을 기본책무로 하는 도시철도에서, 열차의 운행안전 보장을 위한 전제조건으로서 최소한의 안전요건과 필수적인 안전기능을 열차의 정의에서부터 명확히 규정할 필요가 있다.

본 연구에서는 앞서 언급한 철도사고 위험사건에 대한 주요 안전기능 확인과 국제적으로 요구되는 열차 안전운행 필수요건 분석을 기반으로, 국내 도시철도의 사고예방과 승객의 안전보장을 위하여 열차운행 준비단계부터 반드시 만족하고, 확보해야 하는 최소한의 안전요건으로서, Table 5과 같은 열차 안전운행의 기본원칙과 핵심 안전기능을 도시철도 안전운행의 필수적인 전제조건으로서 제안하고자 한다.

향후 각종 철도 법령에서 이러한 안전요건이 명확히 반영되도록 열차에 대한 정의를 “안전유지를 위한 필수조건을 구비하고, 본선을 운전할 목적으로 편성된 차량”으로 개정할

것을 제안하며, 도시철도운전규칙 등 관련 규정의 합리적인 정비도 필요할 것이다.

3.2 도시철도 안전운행을 위한 열차 구성요건 제시

앞에 제시한 철도 사고예방을 위한 핵심 안전기능의 확인 (Table 1)과 열차의 안전운행 보장을 위하여 국제적으로 적용되는 안전요건 분석(Table 2, 3)을 기반으로, 철도 운행안전 보장을 위한 전제조건으로서 열차 안전운행의 기본원칙과 안전기능 요건(Table 5)을 명확히 제시하였다. 여기서는 도시철도에서 Table 5에 제시된 열차 안전운행 전제조건을 만족하기 위하여 열차 준비과정에서 반드시 구비하고, 확인해야 하는 도시철도 안전운행을 위한 열차구성 요건을 아래와 같은 체계로서 제시하고자 한다.

3.2.1 안전하고 완전한 편성

이 요건은 열차에 편성된 차량 전체가 안전을 유지하고 완전하게 운행되어야 한다는 Table 5에 제시한 기본원칙의 준수에 관한 사항이다. 도시철도 열차는 복수의 차량을 연결하여 운행하며, 이때 연결된 차량은 전체가 완전·안전하게 운행될 수 있도록 편성되어야 한다(도시철도운전규칙 제25조, 이하 규칙이라 함)[6]. 여기서 ‘편성’이란 열차가 규정된 속도로 본선을 운행할 때 언제나 안전유지가 가능한 상태를 보장하는 포괄적인 개념으로서, 편성된 차량 전체의 물리적 연결뿐만 아니라 견인·제동 및 전기장치의 연동제어, 출입문·방송·조명 등의 연동제어 등 편성차량 전체에 대한 안전성과 완전함을 시험하고, 확인해야 한다(규칙 제25조, 제31조)[6].

한편 “편성되지 않은 차량은 열차로 볼 수 없으며, 정거장 외 본선을 운행할 수 없다[2,4,6,8]”라는 열차의 정의에서, 용인경전철과 같이 영업열차 기본편성이 1량이거나, 자체동력 및 운전실을 구비한 모터카·시험차 등이 단독 운행되는 경우를 고려하여 열차 정의에서 예외 규정을 두어야 한다.

(1) 열차는 차량상호간에 완전하게 연결되어야 한다.

복수로 편성된 차량이 운행 중 분리되는 위험으로부터 보호되어야 한다는 기본원칙을 만족하는 것으로서, 열차는 물리적으로 완전하게 연결되어야 한다. 이때 연결기는 상호 연결되고, 잠금장치가 잠겨 있어야 하며, 제동공기관과 전기연결선도 상호 연결되어야 한다(규칙 제25조)[6].

(2) 편성된 차량은 상호 연동하여 작용되어야 한다.

편성된 각 차량 간의 견인·제동·전기 작용은 상호 연동되어 균일하게 이루어져야 한다(규칙 제30조)[6]. 동력분산식을 채택하고 있는 도시철도 열차는 단수 또는 복수의 유닛(unit)으로 편성되고, 1개 유닛은 2-3량으로 구성된다. 이들 각 유닛 간에 견인과 제동, 가·감속제어에 시차가 있으면 주행 중 충격이 발생되고, 차량상호간 출입문·조명·방송 등 전기 작용이 동시에 이루어지지 않으면 열차서비스 제공에 차질이 발생한다.

(3) 열차편성은 제한 길이를 초과하지 않아야 한다.

이것은 여객의 승, 하차시의 안전과 선로유효장의 제한에

Table 5 Preconditions for safety operation of train

열차 안전운행의 기본원칙	안전기능 요건
1) 열차 상호간의 충돌·주돌 위험으로부터 보호	운전보안장치, 폐색, 운전시각
2) 운행 도중 분리된 위험으로부터 보호	분리시 자동 정차하는 제동장치
3) 편성된 차량 전체가 완전하게 운행	편성, 연동작용, 열차표지
4) 열차별 엄격한 운행관리	열차번호, 열차별 운전시각
5) 고속 및 고밀도 운행을 위한 안전시스템의 지원	운전보안장치
6) 위급상황 발생시 최단거리의 정차	비상제동거리 이내 정지, 속도제한
7) 목표한 지점에 정확하게 정차	제동력 확보, 속도제한
8) 위험상황에 따른 적절한 대처	승무원 탑승, 운전보안장치
9) 정해진 시간에 운행	운전시각, 견인력
10) 여객의 승, 하차 안전	최대 연결 차량수 제한, 출입문
11) 열차의 운행방향과 완전한 운행여부 확인	열차표지, 행선표

근거한다. 도시철도에서 열차의 편성 량수는 역구내 선로의 유효장과 승강장의 길이에 의해 제한된다(규칙 제28조[6], 제10조[8]). 열차 길이가 유효장을 초과하면 인접선로의 열차 운행에 지장을 초래하고, 승강장 길이를 초과하면 여객의 선로추락 위험이 따른다. 한편, 승강장에 의한 열차 길이의 제한은 여객 서비스를 제공하는 열차에 한정하며, 빈차로 회송하거나 구원운전 등으로 열차를 합병한 경우에는 예외이다.

(4) 열차의 맨 앞과 뒤에는 운전실이 설치된 차량을 연결해야 한다.

열차의 운전을 열차의 맨 앞 차량 운전실에서 운전하는 것은(규칙 제33조[6], 제13조[8]) 운전자가 신호 및 선로 등 기반시설의 특성과 상태, 기타 운전환경조건에 따라 속도조절을 해야 하고, 위험이 있을 때는 신속히 정차하는 등 적절한 조치를 수행하기 위함이다. 이는 유인운전은 물론, 무인운전(DTO; Driverless Train Operation 또는 UTO; Unattended Train Operation)의 경우에도 무인운전 실패시 운전자 탑승을 필요로 하기 때문에 적용되어야 한다[3].

열차 맨 후부에도 운전실이 설치된 차량을 연결하는 것은 맨 후부차량에 차장이 승차하는 경우 차장이 각종 전호와 출입문·조명·안내방송과 필요한 경우에는 비상제동과 핸드브레이크 취급 등 비상조치를 할 수 있도록 하기 위함이다. 또한, 차장 승무를 생략한 경우에도 비상시 퇴행 또는 추진운전을 하는 경우 직원이 승차하여 전도주시 및 비상조치를 하기 위함이다.

3.2.2 충분한 견인력과 제동력 확보

(1) 열차는 충분한 견인력을 구비해야 한다.

전동열차의 출발과 가속에 필요한 견인력(tractive effort)은 열차가 정해진 시간에 목표한 지점에 도착하기 위해 필수적으로 구비해야 하는 요소이다. 견인력은 열차 정시운행 확보를 위하여 선로의 기울기 등 선로조건에 따라 기동하고 가속할 수 있는 충분한 견인력을 확보하여야 한다.

(2) 열차는 적절한 제동장치를 구비해야 한다.

열차는 요구되는 안전속도를 준수하기 위한 감속과 안전 확보를 위하여 상용·비상 제동, 주차제동, 보안제동을 기본으로 하고, 효율적인 제동을 위하여 공기제동과 병용하여 사용하는 회생제동 또는 발전제동을 할 수 있는 적절한 제동장치를 구비하여야 한다.

상용제동과 비상제동은 제동률(braking ratio, km/h/s)을 기준으로 구분되며, 일반적으로 전동열차의 상용제동과 비상제동의 최대 제동률(감속도)은 일반적으로 각각 3.5km/h/s와 4.5km/h/s 이다. 주차제동은 정차 중인 열차의 구름을 방지하기 위한 목적으로, 보안제동은 상용 또는 비상제동의 고장발생으로 이를 사용할 수 없는 경우에 사용한다. 제동력은 선로의 상태, 운전속도에 따라 충분한 제동능력을 구비하여야 한다(규칙 제15조[8], 제96조[4]).

(3) 열차는 차량이 분리되면 자동 정차하는 제동장치를 구비해야 한다.

이는 Fail Safe에 근거하며, 주행 중인 열차가 분리되면 자동으로 정차시키는 제동장치를 구비해야 한다(규칙 제30조[6], 제14조[8], 제95조[4]). 열차에서 차량이 분리되면 자동

으로 정차하는 제동장치는 자동공기제동(관통공기제동)과 전공제동을 적용할 수 있다. 자동공기제동장치에서는 열차에서 차량이 분리되면 제동관 공기호스가 끊어져 압력공기가 빠지는 원리를 이용하고, 전공제동장치는 제동전기선이 단선되는 원리를 이용하여 자동으로 제동이 걸리게 된다. 복수의 차량으로 편성되어 운행하는 열차는 이 같은 제동장치의 사용이 필수적이다.

(4) 열차는 충분한 제동력을 확보해야 한다.

전동열차는 요구되는 속도제어(감속)와 안전한 정차를 할 수 있는 제동력을 확보해야 한다(규칙 제42조[6]). 제동력은 선로의 기울기 및 운전속도에 따른 충분한 능력을 가져야 하며(규칙 제96조[4]), 이를 위하여 공기제동 외에 회생 또는 발전제동 등을 추가로 사용한다. 또한 열차운행을 개시하기 이전에 제동장치를 시험하여 제동기능에 이상이 없음을 확인하여야 하고(규칙 제31조[6]), 만일 제동기능에 이상이 있으면 해당 열차를 영업서비스에 출동할 수 없다. 만일 운행 중인 열차의 제동장치에 이상이 발생한 경우에는 그 정도에 따라 평상시의 제동거리를 고려하여 열차속도를 제한하거나(규칙 제49조[6]) 운행을 중지하고 회송하여야 한다.

(5) 열차의 비상제동거리는 600m 이내이어야 한다.

열차운행 도중 심각한 위험이 발생한 경우에는 최대한 빨리 열차를 정지시켜야 하는데 이때 사용하는 제동이 비상제동이다. 도시철도에서는 비상제동거리를 600m 이내로 규정하고 있다(규칙 제29조[6]). 이 규정은 열차의 제동축수가 부족하거나, 선로가 급한 내리막일 경우에도 적용된다. 이러한 경우에는 열차운행속도를 제한하여 소정의 제동거리를 확보해야 한다.

한편, 열차에서 비상제동이 체결되는 조건은 다음과 같다.

- ① 기관사가 위험상황에서 비상제동장치를 조작한 경우(제동 핸들, 비상제동스위치 동작)
- ② 열차제어장치(각종 안전장치)의 비상제동지령이 인가된 경우
- ③ 전기지령선의 단선 및 제동제어회로에 이상이 발생한 경우
- ④ 주행 중인 열차가 분리되거나 제동관이 파열된 경우
- ⑤ 정지신호를 모진한 경우
- ⑥ 주공기 압력이 부족한 경우

3.2.3 운행 중 예상되는 위험에 적절한 대응

도시철도 열차의 고속·고밀도 운행과 자동운전에 따른 잠재적인 위험을 평가하고 이들 위험으로부터 열차의 안전운행을 확보하기 위하여 전동열차는 운행 도중 겪을 수 있는 다양한 위험상황을 미리 파악해야 하고, 중요 위험에 대응한 적절한 안전 보안 시스템(운전보안장치 등)을 구비하여야 한다. 또한 안전 보안시스템이 실패한 경우에도 일정한 자격능력을 갖춘 승무원이 탑승하여 위험에 따른 적절한 대응조치를 할 수 있어야 한다.

(1) 열차는 적절한 운전보안장치의 구비와 정상적인 기능 확보를 보장해야 한다.

열차운전보안장치란 열차 및 차량의 안전운전을 확보하기 위한 장치의 총칭으로서, 폐색장치·신호장치·연동장치·

전철장치·경보장치·열차자동정지장치·열차자동제어장치·열차자동운전장치·열차종합제어장치 등을 말한다(규칙 제3조[6]). 그 외에도 제동장치, 운전용 통신장치, 운전자 감시장치, 열차방호장치 등이 있다.

전동열차의 운전보안장치는 지상장치와의 연계성을 고려하여, 운전보안장치의 기능이 정상적으로 작동하는지를 언제나 확인해야 한다(규칙 제19조)[6]. 유인운전의 경우에는 승무원이 탑승하여 위험상황에 따른 적절한 조치를 기대할 수 있으나, 무인운전의 경우에는 운전보안장치가 이 기능을 대신하므로 만일 정상기능을 확보하지 못한 경우에는 운행을 중지하거나 속도제한 조치를 하여야 하며, 필요한 경우 운전자가 탑승하여 수동으로 운전할 수 있어야 한다.

(2) 열차에는 적절한 자격을 갖춘 승무원이 탑승해야 한다.

열차에는 적절한 자격능력을 갖춘 운전자가 탑승하여(규칙 제32조[6]) 선로상태, 신호조건 등에 따라 운전하여야 하고(규칙 제42조-제44조, 제48-49조)[6], 위험이 발생한 경우에는 비상정차 등 적절한 조치를 취할 수 있어야 한다. 또한 각종 전호·여객의 안내·비상제동 및 수용 제동장치의 조작 및 필요한 경우 열차방호를 할 수 있는 직원이 탑승하여야 한다(규칙 제7조[8], 제11조[4]). 다만, 무인운전에 적절한 운전보안 시스템을 구비하고 이를 통해 승무원의 역할을 대신하여 충분히 안전을 유지할 수 있는 무인운전 열차의 경우에는 예외로 한다[3,8].

열차에 탑승하는 승무원은 일반적으로 다음의 자격능력을 갖추어야 한다[2,7].

- ① 신체 및 적성에 결격사항이 없어야 한다.
- ② 업무를 수행하는데 필요한 자격능력과 건강적합성을 갖추어야 한다.
- ③ 승무 전 해당열차 운행과 관련된 정보와 운영특성을 이해하고, 열차의 안전이동에 관한 모든 관련 정보를 알고 있어야 하며, 열차의 안전이동 요건을 확인하여야 한다.
- ④ 그 외 열차승무원은 관련 규정, 규칙 및 지시에 관한 지식, 열차/차량 및 운행선로/설비에 대한 지식, 열차운전 취급 관련 기능 및 의사소통능력 등을 갖추어야 한다.

3.2.4 엄격한 열차 운행관리

도시철도 열차는 동일선로를 이용하여 다수의 열차가 높은 빈도로 운행함에 따른 충돌 등의 위험이 수반되므로 운행안전성을 확보하기 위해서는 열차마다 일정한 원칙에 따른 확실하고 엄격한 운행 관리 및 통제가 가능하여야 한다.

(1) 열차는 열차번호를 부여하여 개별 열차의 명확한 식별을 보장해야 한다.

동일 선로에서 다수의 열차운행에 대한 확실하고 엄격한 감시와 통제를 위하여 개별 열차마다 식별이 가능하도록 일정한 원칙에 따른 고유번호를 부여하여야 한다(규칙 제3조[6]).

열차번호는 해당열차의 운행노선, 등급, 운행시간 등 열차의 고유특성을 나타내고, 관제사, 승무원, 정거장 운전취급자 등이 열차를 명확히 식별할 수 있도록 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이와 같은 열차번호를 활용하여 열차운행상 열차별 차량 및 승무원의 배정, 선로 등 운전설비 활용을 지

정할 수 있고, 또한 영업상으로는 열차별 운행노선과 운행시간, 열차의 등급(완·급행, 임시, 시운전 등), 행선지, 운임 등의 영업관리에도 활용된다.

차량은 열차번호를 부여 받지 못하면 정거장 외의 본선을 운행할 수 없는 것이 원칙이다. 한편, 열차번호는 부여되어 있으나 차량이 편성되지 않은 경우에는 가상의 열차로 구분된다.

(2) 열차는 운전시각을 정하여야 한다.

열차는 운전시각을 미리 정해야 하고, 정해진 운전시각에 맞추어 운전하여야 한다(규칙 제34조[6], 제23조[8], 제99조[4]). 만일 열차운행이 지연되었을 때에는 정해진 운전시각을 회복할 수 있도록 노력하여야 한다. 열차의 운전시각은 열차간의 안전거리를 유지하면서 열차운행의 정시성을 확보하는데 있어 매우 중요한 정보이다.

열차의 운전시각은 열차번호별, 정거장별로 출발, 도착, 통과 시각을 정하여야 한다. 일반적으로 운전시각은 운전계획을 수립할 때 열차다이어그램에 의하여 정해지며, 이때 선로 및 시설조건, 차량제원, 열차종류, 운전조건(역간운전시분, 역간거리, 운전속도, 최소운행시각, 편성, 제한속도, 반복시간 등), 수송과동, 전동차 운용 편성수, 작업시간 등을 함께 고려하여 정해진다. 영업열차에 정해진 운전시각은 공시되며, 공시된 영업열차는 정해진 시각에 운행해야 하는 운송의무가 주어진다.

(3) 열차에는 열차표지를 부착하여야 한다.

운행하는 열차는 운행방향을 식별할 수 있는 적절한 열차표지를 부착하여야 한다(규칙 제75조[6], 제103조[8]). 열차는 전부표지와 후부표지로서 하나의 완전한 열차편성임을 나타낸다. 한편 정차한 열차의 후부표지는 후속열차에 대하여 전방의 정차한 위치를 알려주어 충돌을 방지하는 운행안전에 매우 중요한 역할을 한다. 만일 열차표지가 훼손되거나 소등된 경우에는 이를 정비한 후 운행하여야 한다.

또한 열차표지는 이용객 및 선로상 또는 인접한 장소에서 작업하는 작업자와 직원들에게 열차접근과 운행방향을 알려주어 여객과 직원의 안전을 확보하는데 필요한 정보를 제공한다. 열차표지는 맨 앞 차량 앞부분에 백색등 1개 이상의 전부표지, 맨 뒷 차량 뒷 부분에 적색등 또는 적색원판 1개 이상의 후부표지를 부착한다.

3. 결 론

현재 국내 철도법령에서 열차를 “본선을 운전할 목적으로 편성된 차량”으로만 정의하고 있고, 도시철도운전규칙 등 관련 안전기준은 철도 사고예방과 승객안전을 최우선으로 하는 필수적인 열차 안전운행 요건과 국제적인 열차 구성요건을 명확히 규정하지 못하여 국가 안전기준으로서의 역할을 다하고 있지 못한 실정이다.

본 연구에서는 철도 사고예방을 위한 핵심 안전기능의 확인과 열차의 안전운행 보장을 위하여 국제적으로 적용되는 안전요건 분석을 기반으로, 철도 운행안전 보장을 위한 전제조건으로서 열차 안전운행의 기본원칙과 안전기능 요건을

명확히 제시하였다. 그리고 열차 안전운행 전제조건을 만족하기 위하여 도시철도 열차의 준비과정에서 반드시 구비하고, 확인해야 하는 도시철도 열차의 구성요건을 명확히 제시하였다.

향후 열차의 정의를 “안전유지를 위한 필수조건을 구비하고, 본선을 운전할 목적으로 편성된 차량”으로 개정할 것을 제안하며, 본 연구에서 제안하는 열차의 안전운행 전제조건과 열차구성 요건을 반영한 관련 법규의 개정과 철도운전규칙의 합리적인 정비를 통해 철도의 사고예방과 지속적인 안전개선을 기대한다.

참고문헌

- [1] B.S. Choi (2006) Theory of government regulation-politics and economics of regulation relaxing, Bubmunsa.
- [2] Railway Safety Publication 3 (2007) Safe Movement of Trains, ORR.
- [3] IEC 62227-1137-CVD (2008) Railway Applications Automated Urban Guided Transport(AUGT).
- [4] Japan Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2001.12.25), Act of Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism no.151.
- [5] Urban Railway Law(legislated in 1979.4.17), act no.3167, 2010.4.15, 38th revision(act no.10266).
- [6] Urban Railway Operation Rule(legislated in 1995.7.27), Act of Ministry of Construction & Transportation no.23, legislated in, 2nd revision 2006.6.21(departmental order no.522).
- [7] Railway Safety Law(legislated in 2004.10.22), act no.7245, legislated in, part revision 2009.4.1, (act no.9610).
- [8] Railway Operation Rule(legislated in 2005.7.6), act of Ministry of Construction & Transportation no. 454.
- [9] Y.S. Jeon, H.S. Lee, C.S. Kim (2010) A Study on the Driving-Regulation of the Urban Railway Vehicles with Block Systems, *collection of dissertations of The Korean Society for Railway*, book no. 13, 1st volume, pp. 92-98.
- [10] H.S. Chae, W.S. Sim, J.W. Lee (2003. 10) A Study on Moving Block using Communication based Train Control System - Intelligence Train Control System, *collection of dissertations of The Korean Society for Railway on the great autumn meeting at 2003*, pp. 574-580.
- [11] J.W. LEE, J.G. Hwang, E.J. Joung, C.B. Jung (2000. 5) A Study on Decision method of block section, *Collection of dissertations of The Korean Society for Railway on the great spring meeting at 2000*, pp. 316-323.
- [12] Y.H. Lee, J.K. Kim, S.H. Ryu, Y.H. Lee (2001. 10) The study on the signal controls for the mixed train operation on the fixed block, *collection of dissertations of The Korean Society for Railway on the great autumn meeting at 2001*, pp. 350-357.
- [13] D.Y. Jung, H.S. Kim (1997. 12) Simulation of the Flexible Moving Blocks System to Shorten Headway of Subway Trains, *collection of dissertations of The Korea Society for Simulation*, book no.6, 2nd volume, pp. 59-69.
- [14] Peter Mihm, “Evaluation of SAMNET and SAMRAIL projects”, 16/02/2007, European Railway Agency.
- [15] B.Y. Song, et al. (2010) Development of Railway Accident Causal Analysis System, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(4), pp. 455-461.
- [16] Y.S. Jeon, H.S. Lee, C.S. Kim (2010) A Study on the Driving Regulation of the Urban Railway Vehicles with Block Systems, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(1), pp. 92-98.

접수일(2010년 8월 18일), 수정일(2010년 12월 13일),
 게재확정일(2011년 1월 14일)