

무인운전 열차의 실내설비 및 승객 출입문 설계에 대한 고찰

The Survey of the Interior facilities and Passenger side door systems for driverless rail vehicle

박성호*

Park, Seong-Ho

박재홍**

Park, Jae-Hong

염규학***

Yeom, Gyu-Hak

ABSTRACT

The service running of driverless rail vehicle has been required by various social and commercial issue. Currently, the new domestic line between Bu-san and Gim-hae is plan to be provided the LRV(Light Rail Vehicle) with driverless operation firstly in domestic service. These driverless vehicle have some major properties to make it lower the operating and maintenance cost, however on the other side, it unavoidably raise some potential hazard to make it lower the passenger safety because it is hard to take care immediately in emergency state during vehicle running. Therefore it is highly requested that we should consider various conditions at design stage to manufacture and operate the safest vehicle.

Therefore, in this paper, we will survey the design concept of vehicle interior facilities based on the previous experience, (1) The difference of interior facilities between normal and driverless vehicle, (2) design and operational concept of passenger side door function to find out best application for domestic line driverless vehicle.

1. 서 론

무인운전 열차는 현재까지 국내 시장에 상용화 되지 못하고 있는 실정이나, 최근 노동시장의 변화와 다양한 사회적 요구에 따라 이 무인운전 차량의 상용화가 대두되고 있고 2010년 말 부산-김해간 노선의 경전철에 최초로 도입될 예정에 있다. 이러한 무인운전 차량은 운영비 및 유지보수비 절감의 효과를 기대할 수 있는 반면, 승무원이 차량에 상주하지 않아 유사시 즉각 조치가 어려움으로 인해 승객의 안전이 저해될 위험성을 불가피하게 내포하고 있어 차량 설계 및 운 영시에 이에 대한 다각적인 검토를 실시하고 사전에 가장 안전한 차량이 제작되고 운행될 수 있도록 하여야 할 것이다.

이에 본 연구에서는 선진국가의 상용화된 무인운전 차량의 조사내용과 설계 경험을 바탕으로 하여 실내 설비 설계를 중점으로 (1) 일반 전동차 대비 무인운전 차량의 차이점을 파악하고, (2) 승객의 안전과 가장 밀접한 관계에 있는 승객용 출입문의 설계와 운용에 대해 논의함으로써, 무인운전 차량의 설계 및 제작, 나아가 운영에 있어 고려하여야 할 사항들에 대한 화두를 제기, 향후 국내 차량에 적용할 합리적 방법을 고찰해 보고자 한다.

* (주)로템, 기술연구소, 비회원

E-mail : fvocal@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1076 FAX : (031)460-1789

** (주)로템, 기술연구소

*** (주)로템, 기술연구소

2. 일반차량 대비 무인운전 차량의 차이점

무인운전 차량 설계에 대해 논하기에 앞서 일반차량 대비 무인운전 차량의 차이점에 대해 먼저 고찰해 본다. 무인운전 차량이란 문자 그대로 운전사가 없는 차량이다. 운전사가 없는 대신 지상신호설비와 차량 내 ATC(Auto Train Control)등의 장치 간 주기적인 통신을 통해 차량을 정해진 규약에 따라 자동으로 운전하게 된다. 무인운전 차량의 상용화를 위한 핵심 기술들은 대부분 이러한 지상신호/차량 자동 운전 장치들에 관한 것으로, 이 분야에 있어서는 상당한 관심을 가지고 많은 부분에서 연구가 진행되었고 현재도 또한 그러하지만, 승객과 승무원이 직접 사용하게 되는 객실 설비 부분에 대한 고찰은 다소 미비하였던 것으로 판단된다. 이에 여기에서는 지상 신호 / 차량운전 장치 외 객실 내부 설비 설계를 중점으로 그 차이점을 알아보기로 한다.

객실 내 설비 관점에서 일반 차량 대비 무인운전 차량의 대표적인 차이점을 아래와 같이 요약할 수 있다.

- (1) 분리된 운전실과 운전실 부속 출입문을 별도로 부여할 필요가 없으며 이 영역을 승객을 수용할 수 있는 공간으로 활용할 수 있다.
- (2) 운전실은 별도로 부여되지 않으나, 차량 고장 등을 대비하여 수동으로 작동할 수 있는 조정 패널 및 운전 Desk는 제공되어야 하며, 평상시 승객의 오사용을 방지할 수 있어야 한다.
- (3) 승객이 사령실 또는 역사 승무원의 도움을 요청할 수 있는 장치를 객실내에 다수 부여하여야 한다.
- (4) 출입문에는 승무원의 진입 / 진출을 위한 별도의 작동 장치를 부여하여야 한다.
- (5) 출입문을 승무원이 직접 조작하지 않으므로 출입문의 작동 방식은 일반 전동차보다 강화된 안전 개념으로 작동 방식을 설계하고 적용하여야 한다.

이제 상기 사항에 대하여 보다 상세히 고찰해 보도록 한다.

3. 부속 운전실의 설계

무인운전 차량의 운전실은 평상시에는 사용할 필요가 없으므로 공간활용도를 높이기 위해서 가능한 작고 필요한 기능만 최소화하여 설계도록 하고, 평상시 승객의 오사용을 방지하기 위해 잠금장치를 부여하여야 할 것이다. 운전실 의자의 경우 평상시 승객이 사용할 수 있도록 하거나 필요시에만 돌출될 수 있도록 설계하여 공간활용도를 넓히는 것이 좋다.

설계 시 주의하여 고려해야 할 사항은,

- (1) 평상시 승객의 사용을 방지하기 위해 설치하는 운전실 조작 패널 덮개는 승객이 기대거나 걸터 앉을 수 있으므로 충분한 강도를 가지도록 설계하고 잠금 장치가 설치되어야 하며,
- (2) 승객의 부주의로 음료 등이 계기판 상부에 쏟아졌을 경우에도 계기판이 손상되지 않도록 누수방지가 우수한 덮개를 설치하여야 한다.
- (3) 그림 2에서와 같이 접이식 간이 의자를 설치한 경우, 헌지 및 의자 용접부의 강도는 충분하도록 하고 검증하여야 한다.

현재 운영 중인 차량의 예제 그림과 적용방법을 아래 그림에서 볼 수 있다.

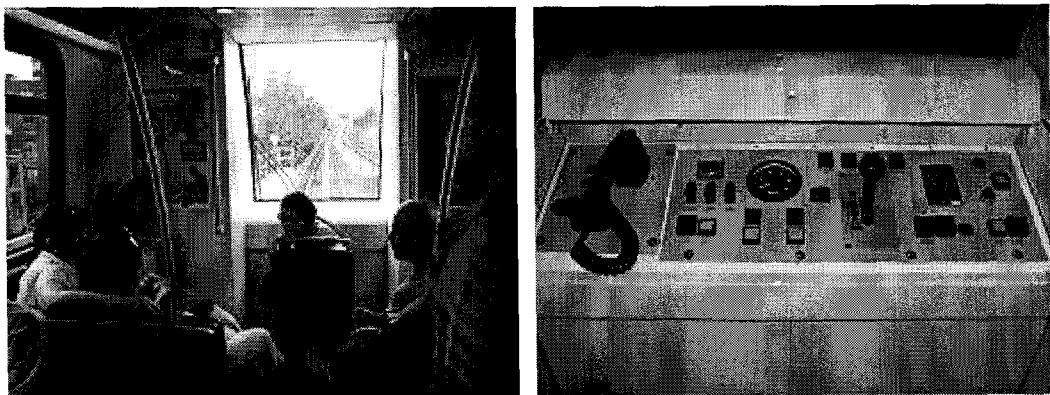


그림1. 부속 운전실 설계의 예 (캐나다 Skytrain)

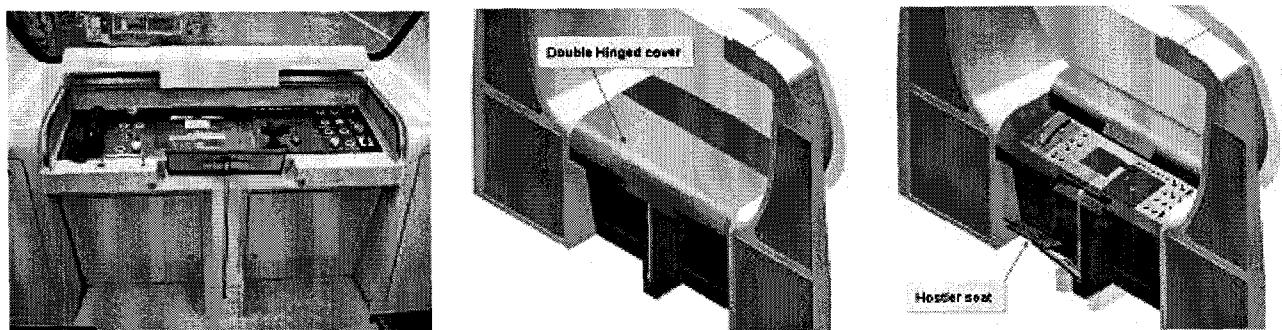


그림2. 부속 운전실 설계의 예 (캐나다 Skytrain)

4. 차량 내 승객~차량외부 승무원간의 연락 장치

무인운전 차량에는 승무원이 탑승하지 않으므로, 유사시 차량 상황에 대한 정보 전달은 승객이 주체가 된다. 따라서 승무원에게 도움을 요청하고 차량 상황을 쉽게 인식할 수 있도록 하는 승객/승무원간 연락 장치는 사고 예방과 대처에 있어서 매우 중요한 장치라 할 수 있다. 설계 및 적용 시 고려하여야 하는 사항을 아래와 같이 요약해 본다.

- (1) 일반적으로 국내 전동차에도 적용되어 있듯이 차량 단부, 출입문 부근 또는 적절한 위치에 가급적 많은 수의 인터폰을 설치하여야 하며,
- (2) 인터폰의 설치 위치는 장애인이 휠체어에 앉은 상태 및 어린이의 키를 고려하여 가급적 낮은 위치에 설치하도록 한다.
- (3) 인질극 상황, 테러 등 만일의 사태 즉, 승객과 승무원이 직접 대화가 불가능한 상황을 고려하여 적절한 위치에 무음 터치 방식의 Silent Alarm 을 설치하고 안내 명판을 부착하는 것을 고려하여야 한다. 이 Silent alarm은 작동될 경우 다음 정차역에서 승무원이 차량에 진입하여 차량 내부 상황을 점검하고 필요시 조치토록 유도할 수 있다. 가급적 많은 수를 적용하고 승객의 접근을 편리하게 하기 위해 차량 측창을 이용하는 것이 적절하다고 판단된다.



그림3. Silent Alarm 의 설치 예

5. 무인운전 차량의 출입문 설계

전동차내 기계적 운동이 수반되는 기기 중 승객이 직접 접촉될 수 있는 유일한 장치인 출입문은 그 중요도만큼 사고의 빈도도 높게 발생한다. 여기서 무인운전의 개념까지 더하게 되면 그 위험도는 더욱 증가하게 되므로 승객의 안전한 차량 출입을 위해 일반 차량에서보다 더 다양한 각도에서의 검토가 필요하다. 일반적으로 출입문의 작동 방식은 공기식과 전기식의 두 가지가 대표적이나 여기서는 전기식 출입문에 대해서만 고찰하기로 한다.

5.1 승무원 차량 진입을 위한 별도의 버튼 설치

앞서 논의한 바와 같이 무인운전 차량에는 별도의 운전실 출입문이 설치되지 않는 것이 일반적으로, 객실 출입문은 승무원이 차량 진입진출을 위해 사용하는 기능을 별도로 추가하는 것이 좋다. 이를 위해서는 특정 출입문을 개별적으로 열고 닫을 수 있는 별도의 스위치 또는 버튼이 필요하며, 이는 여닫힘 명령을 모두 수행할 수 있어야 하고, 인가된 인원만 접근이 가능하도록 별도의 도구를 이용하여 작동할 수 있도록 설계하여야 한다. 본 스위치는 실내 및 실외에 모두 설치하도록 하고, 승무원을 위한 기능이므로 차량의 앞쪽 좌우측 출입문에만 설치여도 무방할 것으로 사료된다.



그림4. 출입문 승무원 작동 스위치(Crew Switch) 설치의 예

5.2 출입문의 장애물 감지 및 제거 기능

무인운전 차량의 승객용 출입문은 승객의 안전 및 원활한 차량의 운행을 위해 장애물 감지를 통한 재개폐가 반드시 가능하도록 설계되어야 한다. 그 이유는 재개폐 작동버튼을 눌러 줄 수 있는 사람이 차량 내 상주하지 않기 때문에 장애물이 감지되지 않는 출입문을 적용할 경우 장애물을 끈 상태에서 닫힘 상태로 차량이 출발하지 못하게 되며 조치 시까지 많은 시간이 소요되기 때문이다. 일반적으로 전기식 출입문의 장애물 감지 기능은 닫힐시 지정된 감속구간에서부터 일정크기(10~20mm)의 장애물이 끼이게 되면, 출입문을 닫히게 하는 모터의 전류치를 모니터링 함으로써 이상 전류 상승을 감지하게 되어 자동으로 재개폐를 하는 방식으로 대부분 선진 차량의 경우 필수적으로 적용하고 있으며, 최근 국내 차량에서도 보편화 되고 있는 추세이다.

이 장애물 자동 감지 기능 외에도 장애물이 겼을 때 승객 스스로 이를 제거할 수 있도록 2차적인 안전 장치로 Push-Back 기능을 추가하는 경우가 있는데, 이는 가방끈, 머리카락 등 장애물 감지기능으로 감지가 불가능한 작은 크기의 장애물이 걸린 상태에서 출입문이 닫혔을 때, 잠금을 해제하지 않고 출입문 중앙부의 일정구간을 수동으로 열릴 수 있도록 한 것으로 유사시 출입문 사이에 끼인 승객의 물건을 승객 스스로 조치할 수 있는 대처방안이 될 수 있으며, 참고로 캐나다 무인운전 차량의 경우에는 장애물 감지 기능과 Push-back 기능을 동시에 부여하고 있다. 주의하여야 하는 사항은 이 Push-back 기능은 Spring으로 작동되는 장치로 출입문 장애물 감지 기능의 정확성을 저하시킬 수 있으므로 장애물 감지기능과 Push-back을 동시에 적용하는 것은 심도 있는 검토를 거쳐야 하며, 출입문 제작사의 실적과 제품의 신뢰성, Software 설계 능력을 다각적으로 검토하여 적용할 것을 요구하는 바이다.

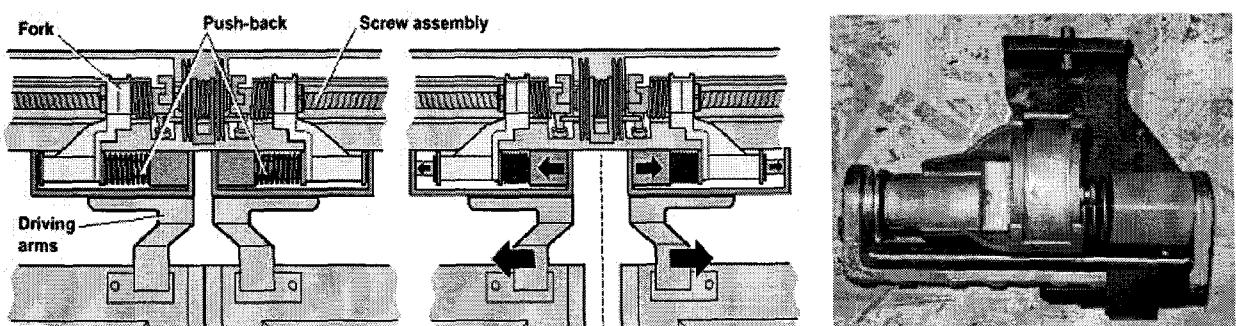


그림5. Push-back 작동 개념도 및 Push-back을 장착한 출입문 링크 부품

5.3 출입문의 비상 잠금 해제 장치 설계

출입문은 역내 정차 중 승객이 차량에 탑승하여야 하는 상황을 제외하고는 항상 완전 닫힘(Closed & Locked) 상태를 유지하여야 하기 때문에, 객실 내 화재 발생 등의 비상상황을 대비해서 모든 출입문에는 누구든지 작동시킬 수 있는 비상 잠금 해제 장치(또는 비상핸들)가 부여된다.

무인운전 차량에도 동일 또는 유사한 장치가 제공되어야 하며 정차 상태에서의 기본 작동 개념은 일반적인 차량과 크게 다른 점은 없다. 차량이 역사 내 안전한 상황에 정차 중일 때는 비상상황 하에서 누구나 언제든지 잠금을 해제하고 수동으로 문을 개폐한 후 차량 밖으로 나올 수 있도록 또한

들어갈 수 있도록 하고 있다.

반면, 주행 중에는 각종 상황을 고려하여 후속 운영 요령을 선정하여야 하는데, 아래와 같은 Case 검토를 통해 합리적 적용방안을 도출해 보도록 한다.

도표 1. 주행 중 출입문 비상 잠금 해제 장치 작동 시 Case Study

구분	열림 조건		비상 제동	출입문 상태	잠재 위험 요소	위험도	주요 고려사항	비고
	Enable	Zero Speed						
Case 1	X	X	X	즉시 수동 열림 가능	주행 중 차량에서 승객 낙상 사고	매우 높음		적용 불가
Case 2	X	X	O	즉시 수동 열림 가능	정차 시까지 차량에서 승객 낙상 사고, 정차 후 역간 위험구간에서 승객 하차 사고	매우 높음	레일조건 (단/복선, 터널구간) 급전방식	
Case 3	X	O	O	비상제동 체결 후 완전 정차 상태에서 수동 열림 가능	정차 후 역간 위험구간에서 승객 하차 사고	다소 높음	레일조건 (단/복선, 터널구간) 급전방식	일반 전동차 적용 방식
Case 4	X	O	X	정차 시까지 차량 운행 후 출입문 열림 (가급적 다음 역까지 정상 운행)	정차 시까지 비상핸들이 가능 상실, 화재 등의 최악 조건에서 일정시간 승객 진출 불가	보통	역간 최장 운행 시간	무인 운전차 적용 방식

상기 표에서 열거한 바와 같이 비상상황에서는 어떤 경우라 하더라도 모든 조건을 안전하게 만족 할 수는 없는 상황이므로, 부득이 이 중 가장 위험도가 낮은 방법을 택일하여 적용하는 방법 밖에는 없다. Case 1의 경우는 주행 중 출입문이 항상 열릴 수 있는 상황으로 출입문의 설계방식은 단순화 될 수 있으나 위험도가 매우 높아 적용을 고려하여서는 안 되며, Case 2,3의 경우에는 차량이 역간 주행 선로의 불특정 구간에 항상 정차하여 승객이 하차할 수 있다는 점을 고려할 때, 복선의 경우 마주 오는 차량에 의한 사고 또는 터널 및 교량 구간에서 하차 공간 부족 등의 문제가 예상된다. 본 방식은 레일 측면에 별도의 제 3 선로로부터 전원을 공급받는 3rd rail 급전 방식의 차량에서는 불특정 구간에서 하차지 감전 사고가 발생할 수 있으므로 적용하여서는 안 된다.

Case 4의 위험도가 대형 화재 발생이 아닌 경우 가장 위험도가 낮은 경우로 판단된다. 주행 중 비상핸들이 작동되면 출입문 제어장치 [Door Control Unit(DCU)]에서 해당 신호 조건을 판단하여 차량 정차(Zero speed 인가 시)까지 모터에 역회전을 부여하는 방법으로 구현이 가능하다. 이럴 경우 차량이 정차될 때까지 모터에 지속적인 부하가 가해지게 되므로 역간 주행 최장 시간과 Motor의 신뢰성에 대한 검토가 선행되어야 한다. Zero speed 인가시간까지 수동 열림이 불가해 지는 문제점은 승객과 사령실간 통신 및 안내 System을 통해 위급상황 발생 시 사령실과 차량 내 승객간 정보를 주고받을 수 있도록 하여 보완이 가능하다 판단된다. 상기 내용을 간략히 정리하면 아래와 같다.

도표 2. 주행 중 출입문 비상 잠금 해제 장치 작동 시의 출입문 동작 적용 방안

주행 중 비상핸들 작동 시	출입문	잠재 위험 요소	대안	비고 추천 적용안
	즉시 수동 열림 가능	승객의 추락 상해, 오사용에 의한 운영 지연 발생	차량 정차 시까지 Motor 역회전 부여로 닫힘 유지	
	정차 시 까지 닫힘 유지	화재 등 최악 조건에서 일정시간 승객의 차량 탈출 불가 (비상핸들 기능 상실)	객실 내 유무선 통신 장치 및 방송장치를 통한 승객/승무원간 의사소통	

5.4 출입문의 작동 차단(Isolation) 장치 설계

대부분의 전기식 출입문에는 고장 발생 시에도 나머지 출입문을 이용하여 영업 운행을 계속할 수 있도록 고장난 해당 출입문의 작동만을 차량 신호와 격리 시킬 수 있는 차단(Isolation) 장치가 부여되어 있다. 이 차단 장치는 출입문 제어장치(DCU)에서 작동 모터로 보내는 전원을 차단함으로써 해당 출입문이 차량의 신호에 따라 작동하지 않도록 하는 장치이며 주로 ON/OFF 스위치 방식으로 적용된다. 이렇게 차단 스위치를 작동시킨 출입문은 모터의 전원이 차단되어 있으므로 비상핸들을 작동하게 되면 차량의 어떤 조건과도 무관하게 출입문 수동개방이 가능한 상태가 된다. 본 상황을 방지하기 위해서는 차단장치를 작동하였을 때 비상핸들이 작동되지 않도록 기계적인 Interlock을 시키면 되지만 이 또한 화재 등 차량 내 비상상태에서 해당 출입문의 비상핸들의 기본 기능을 상실하게 되어 모순된 결과를 초래하게 될 수 있으므로 설계 초기 단계에서 운영처와 제작사간 면밀한 검토를 요하는 항목이다. 보편적으로 일반 전동차에서는 운전사가 출입문의 Isolation 여부와 비상핸들 작동상황을 즉시 인지할 수 있고 운전사가 차량에서 대응할 수 있기 때문에 두 장치 간 기계적인 잠금 장치를 필요로 하지 않으나, 무인운전 차량에서는 Isolation된 출입문의 비상핸들 작동여부에 대해 인지는 가능하다 하더라도 단시간 내 대응에 어려움이 있으므로 기계적 링크를 제공하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

도표 3. Isolation 스위치를 작동한 출입문의 비상 잠금 해제 장치 작동 시 Case Study

Isolation된 출입문의 비상핸들 작동 시	비상핸들	잠재 위험 요소	대안	비고
	작동 가능 (출입문 열림)	주행과 무관하게 출입문 수동 열림 가능으로 승객의 추락 상해	Isolation 장치와 비상핸들과의 기계적 Interlock	
	작동 불가 (출입문 닫힘)	화재 등 위험 조건에서 승객의 차량 탈출 불가 (비상핸들 기능 상실)	출입문 Isolation시 안내 문구 부착, 객실내 유무선 통신 장치 및 방송장치를 통한 승객/승무원간 의사소통	

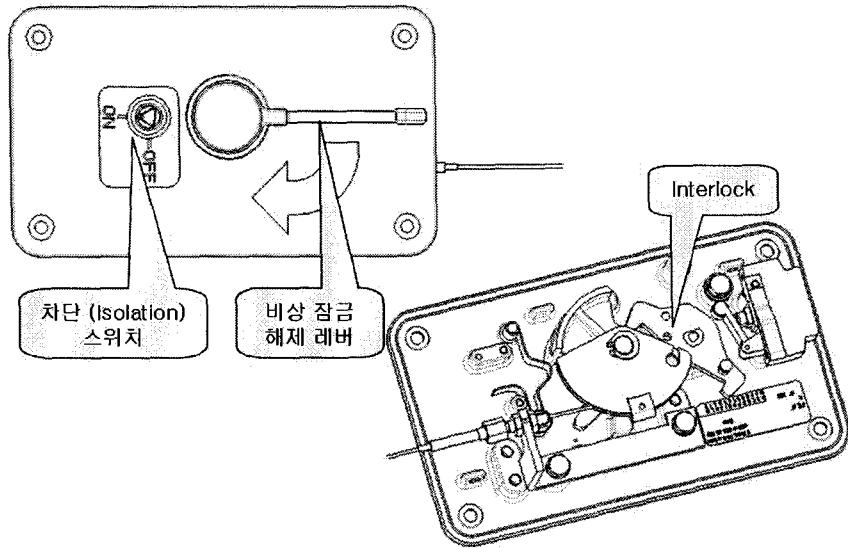


그림6. 비상 잠금 해제 장치와 Isolation 스위치 Interlock의 예

6. 결 론

타 교통수단보다도 정시성과 안전성이 우수한 철도차량 시장에서 국내에서도 무인운전 차량이 상업 운행을 시작할 날이 머지않았다. 승객 운송수단의 획기적인 변화와 개선이 될 수 있는 것이겠지만 여러 분야에서 선진차량의 제작과 운영에 대한 조사를 통한 다각적 검토가 선행되지 않은 상황에서 서둘러 차량의 제작과 운영을 시도한다면 당분간은 크고 작은 혼란이 발생될 것으로 예상된다. 그 동안 지상신호 및 차량 운전 장치 분야에 많은 조사와 검토가 실시된 반면, 실제 승객들이 직접 수용되고 접하게 되는 실내 공간에 대해 조사가 많이 실시되지 않았던 것으로 판단되는 바, 차량의 본격적인 설계와 제작에 앞서 본 논문의 내용을 포함한 세부 분야에 대해 조사와 검토를 실시하고 사전에 대안을 마련하여 안전한 차량이 제작되고 운행될 수 있도록 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. EN 14752 : 2005, "Railway application-Bodyside entrance systems"
2. 49 CFR part 159, "Rail fixed guideway systems ; State safety oversight"
3. NFPA 130 : 2007, "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems"