

철도차량의 승차감 평가방법에 대한 고찰

A Study on Evaluation of Ride Comfort for Railway

김영국*
Kim, Young-guk

최강운**
Choe, Kang-Yoon

ABSTRACT

Recently "ride comfort" problem becomes increasingly important because of today's needs for train speedup. The concept of term "riding comfort" is equivocal. Generally it is defined as the vehicle vibration. There are many studies on evaluation method of ride comfort for railway. But each of them recommends the different assessment method and the different guidance. So users must review whether they can apply it to their system or not. In this paper, we discuss the evaluation methods defined in the standards - ISO 2631, UIC 513 R, CEN DRAFT prENV 12299 and the ride index suggested by Sperling.

1. 서론

대량수송 및 정확성을 갖는 철도를 다른 교통수단과의 경쟁력을 더욱 강화시키기 위해서는 차량의 속도향상이나 승차감의 개선 등을 통한 여객수송의 품질 향상이 필요하며, 이에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 여객수송의 품질에 대한 최종적인 평가자가 승객임을 감안할 때 승차감을 일정한 수준이상으로 확보하는 것이 필수적이다. 승차감이란 주행중인 차량에서 승객이 느끼는 쾌적함을 말하며, "넓은 의미의 승차감"과 "좁은 의미의 승차감"으로 나누어 생각할 수 있다. "넓은 의미의 승차감"은 진동, 소음, 온도, 습도, 조도, 개인 공간, 좌석의 질감, 천장의 높이, 전망, 통풍 등의 모든 요소들을 고려하여 인간의 감정을 평가하는 것이지만, 이 모든 요소들을 고려하여 정량적으로 평가하기는 거의 불가능하다. 반면에, 일반적으로 사용되고 있는 승차감은 "좁은 의미의 승차감"으로 "차량의 주행에 따라 생기는 진동이나 가속도"에 의한 인간의 감정을 평가하는 것이다. 승차감을 개선하는 데에는 진동을 감소시킬 수 있는 기술의 개발도 중요하지만, 승차감이라는 인간의 감정을 정량화시켜 평가의 기준을 제시하는 것이 보다 더 중요한 일이다. 여러 나라에서 "철도의 승차감에 대한 평가"를 표준화하기 위한 많은 노력들이 진행되고 있으며, 일부에서는 그 결실을 얻고 있는 중이다. 본 연구에서 "철도의 승차감에 대한 평가"의 표준화 동향 및 그 결과를 검토하여 차후에 국내 적용에 도움을 줄 수 있도록 한다.

2. 철도의 승차감 특성

2.1 철도 승차감의 특징

자동차와 비교하여 철도에서의 승차감은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- (가) 궤도와 차량의 상호작용
- (나) 승객의 다양한 자세
- (다) 시험 장소 및 시간의 제약
- (라) 승차감에 대한 인식 부족

2.2 승차감의 분류

철도의 승차감은 실제의 운전상황을 고려하여 아래의 3종류로 분류할 수 있다.

* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 시스템개발팀 선임연구원, 정희원

** 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 시험설비시스템팀 책임연구원, 정희원

(가) 진동 승차감

가장 일반적인 승차감으로 열차의 출발부터 정지까지의 전체구간에서 열차 주행 중의 흔들리는 정도를 진동가속도로 나타내어 평가를 행한다.

(나) 곡선 주행시의 승차감

곡선구간의 비율이 높은 나라에서는 곡선통과속도의 향상이 여행시간의 단축에 크게 관련되어 있고, 이를 달성하기 위해서는 곡선구간에서의 승차감 개선이 중요한 과제가 되고 있다. 좌우 정상 가속도, 좌우 진동가속도 및 차체의 롤링 등이 곡선 주행시의 승차감에 영향을 미치게 된다.

(다) 가감속시의 승차감

최근에 증가 추세에 있는 고무타이어 방식의 신교통시스템 및 대도시 통근열차에서는 기존의 철도보다 가감속도를 크게 하여 평균속도를 증가시켜 운전시격을 짧게 하고 있다. 따라서, 곡선 주행시의 승차감과 마찬가지로 가감속도가 적절한지를 검토할 필요성이 있다. 승객 안전성의 입장에서 가속시보다 감속시에 문제가 발생할 소지가 많다.

3. 승차감관련 규격의 분석

3.1 개요

현재까지 철도분야에서 진동 승차감 평가에 많이 이용되고 있는 규격은 ISO 2631(1st edition, 1974, 아래에 기존 ISO규격이라 함)이다. 예를들면, 미국의 AMTRAK(미국철도여객수송공사)이나 BART(샌프란시스코만안철도), 대만의 대북지하철 등에서는 기존 ISO 규격을 근거로 한 승차감 기준이 사용되고 있다. 일본의 경우는 국철이 1980년 전후에 작성된 “승차감 레벨”도 기존 ISO 규격을 기본으로 하여 작성되었다. 또한, 국내의 경우에는 일본에서 적용중인 “승차감 레벨”과 거의 동일한 방법으로 정해진 승차감 기준이 사용되고 있다. 현재 진행중인 “경부고속철도 건설”과 “고속전철기술개발사업”의 경우에도 기존 ISO규격에 바탕을 둔 승차감 기준이 제시되어 있다. 그러나, 기존 ISO 규격은 1997년에 개정되어 새로운 규격인 ISO 2631(2nd edition, 1997, 아래에 개정 ISO규격이라 함)이 발행되었다. ISO 2631 규격은 전신진동(Whole-body vibration)에 대한 기본적인 요구만을 규정하고 있을 뿐이고, 진동환경에 대해서는 특별히 규정되어 있지 않다. 그러나, 실제의 진동은 각 진동에서의 고유한 환경 특성에 의해 영향을 받기 때문에 이 규격을 적용할 때에는 해당 환경의 특성을 충분히 고려한 후에 평가를 해야 할 필요가 있다. 이러한 이유 때문에 철도 승차감에 대한 기준을 제정하기 위해 UIC(International Union of Railways)에서는 ISO 2631 규격을 철도로 적용하기 위한 연구를 수행하였다. 그 결과로 19권의 연구보고서와 UIC의 독자적인 진동평가방법(UIC 513 R)이 정리되어 발표되었다. UIC의 검토결과는 유럽에서 널리 확산되고 있고, CEN(European Committee for Standardization)과 ISO(International Organization for Standardization)에서도 UIC의 연구성과를 토대로 한 “ISO 2631-1 규격의 철도로의 적용”을 위한 새로운 규격을 제정하고 있는 중이다. 이러한 유럽의 동향은 나중에 철도의 승차감 평가에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

현재 승차감 측정, 해석 및 평가에 사용되는 규격은 일부 규격을 제외하고 대부분의 규격이 전신진동이나 철도진동에 대한 일반적인 규정으로 표1에 그 요약 내용이 나타내져 있다.

3.2 규격별 분석

(가) KS R 9160 및 JIS E 4023

KS R 9160는 JIS E 4023를 사용하여 작성된 규격이므로 그 내용이 거의 동일하다. 철도진동에 대한 측정 및 해석방법을 규정하고 있으나, 평가방법에 대하여는 규정되어 있지 않다. 이들 규격에서 사용한 좌표는 차량의 진행방향을 기준으로 한 좌표계를 사용하고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 승객의 자세가 다양하기 때문에 인체 좌표계를 철도에 적용하는 데에는 실용적이지 않기 때문이다. 측정은 상하/ 전후/ 좌우 방향진동의 진동가속도/ 진동수, 좌우방향의 정상가속도, 롤링 진동수/ 각도/ 각속도 및 요잉/ 피칭의 진동수 등이며, 측정 위치는 앞대차/ 뒷대차 중심상의 차체바닥면이나 차체중앙부 바닥면으로 규정되어 있다. 또한, 측정결과에 대한 해석방법은 여러 가지가 있으며, 값을 당사자간가 협의하여 정하도록 규정하고 있다.

표1 철도진동에 관한 주요 규격

규격명 (발행년도)	명 칭	내 용	비 고
KS R 9160(1993)	철도차량의 진동 측정 방법	측정/ 해석방법	
JIS E 4023(1990)	철도차량의 진동특성-측정방법	측정/ 해석방법	
ISO 2631-1(1974)	Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements	측정/ 해석방법	기준제시, 기존 ISO 규격이라 함
ISO 2631-1(1997)	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements	측정/ 해석방법	기준제시(참고), 개정 ISO 규격이라 함
UIT Leaflet 513(1994)	Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles	측정/ 해석/ 평가방법	기준제시
CEN DRAFT prEN 12299(심의중)	Railway applications - Ride comfort for passengers Measurement and evaluation	측정/ 해석/ 평가방법	기준제시

(나) 기존 ISO 규격

기존 ISO 규격은 1974년에 국제기준으로 제정되었고, 1985년에 일부 내용의 추가 및 수정되었으나, 기본적인 내용은 변경되지 않았다. 그러나, 오랫동안의 개정작업을 거쳐 1997년에 비로소 새롭게 개정된 ISO 규격이 발표되었다. 개정 ISO 규격은 기존 ISO 규격의 많은 부분을 수정 및 개정하였기 때문에 기존 ISO 규격을 더 이상 사용할 수 없게 되었다. 그러나, 아직까지도 기존 ISO 규격을 바탕으로 규정된 기준들이 많은 부분에서 사용되고 있기 때문에 기존 ISO 규격에 대해서도 검토를 할 필요가 있다. 이 규격은 4개의 부분으로 구성되어 있으며, 철도와 관련이 있는 규정은 ISO 2631/1과 ISO 2631/3이다. 여기서는 좌표계는 인체 좌표계를 사용하고 있다. ISO 2631/1 규격은 수송수단 및 기계에서 발생한 진동이 인체에 전달되는 전신진동의 평가에 대한 일반적인 사항을 규정하며, 그 중에서도 1~80Hz의 주파수범위를 갖는 진동에 대한 노출에 대하여 규정하고 있다. 진동의 측정은 기본적으로 인체에 대해 진동 입력점에서 측정하는 것을 원칙으로 한다. 즉, 진동이 인체에 전달되는 지점으로 부터 가장 가까운 장소에서 x, y, z 방향에 대하여 측정한다. 서 있는 사람에 대해 진동을 측정하려는 경우에는 진동측정기를 바닥에 고정시킨 후에 측정하고, 의자에 앉은 사람에 대해 측정하려는 경우에는 의자의 쿠션으로 진동이 인체에 전달되는 도중에서 변화될 수 있기 때문에 사람과 의자의 쿠션사이에 진동측정기를 삽입하여 측정한다. 인체의 반응에 영향을 주는 진동요소는 강도(세기), 주파수, 진동방향, 노출시간 등을 들 수 있고, 이 규격에는 이들을 구성인자로 한 진동수, 노출시간 및 강도에 대한 상하방향과 수평방향의 기준이 나타나져 있다. 측정된 진동의 강도는 x, y, z방향의 가속도에 대해 실효값(Root mean square)을 주파수성분별 분석법(Rating Method)이나 가중치 분석법(Weighting Method)중에 어느 분석법에 구하여 평가를 해도 좋다. 평가는 목적에 따라 다음과 같은 3개의 영역 - 피로능력감퇴한계(Fatigue decreased proficiency boundary), 노출한계(Exposure limit for health and safety), 쾌적감감퇴한계(Reduced comfort boundary) - 로 나누어 실시할 수 있다. ISO 2631/3 규격은 교통수단의 승차감에 대한 평가로 1Hz이하의 진동, 특히 0.1~0.63Hz의 상하방향에 대한 진동노출 기준이 나타내고 있다. 1Hz이하의 진동은 많은 교통기관에서 인지되는 불쾌감, 동요병(motion sickness)증후군으로 인한 고통 및 동요병과 신체에 증가하는 가속도에 의한 활동불능상태에 이르기까지 나쁜 영향을 끼친다.

(다) 개정 ISO 규격

개정 ISO 규격은 1997년에 새로운 경험과 연구결과를 바탕으로 "Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration"이라는 제목으로 개정되었으며, 2개의 부분으로 구성되어 있다. Part 1은 기존의 ISO 2631/1과 ISO 2631/3을 통합하여 주파수범위가 0.1~80Hz인 전신진동의 평가에 대한 일반적인 사항을 규정하고 있고, Part 2는 주파수범위가 1~80Hz인 건축진동에 대하여 규정하고 있다. 이 중에서 철도 진동과 관련이 있는 부분은 Part 1이다. 이 규격은 본문과 5개의 부록으로 구성되어 있으며, 본문과 부록A만이 정식적인 규정이고 나머지 부록은 참고사항으로 제안하고 있을 뿐이다. 본문에는 적용범위, 진동의 측정 및 "건강(Health)", "쾌적감 및 인지도(Comfort and Perception)" 및 "동요병(Motion sickness)"에 대한 평가방법 등이 규정되어 있다. 부록A에는 가중치함수(Weighting function)에 대해 규정되어 있다. 또한, 부록B, 부록C 및 부록D에는 "건강"에 대한 평가 지침, "쾌적감과 인지도"에 대한 평가 지침 및 "동요병"에

대한 평가 지침이 제시되어 있는데, 이를 정량화시킬 수 있는 충분한 자료의 부족으로 참고사항으로만 제안되어 있다. 마지막으로 부록 E에는 이 규정을 제정하기 위해 참조했던 자료목록이 제시되어 있다. 주파수범위에 따라 2개의 범위(0.5~80Hz : "건강", "쾌적감 및 인지도"관련 범위, 0.1~0.5Hz : "동요병"관련 범위)로 나누어 적용할 수 있다. 기존 ISO의 규격과 마찬가지로 좌표계는 인체 좌표계를 사용하고 있다. 진동의 측정 기본적으로 진동 입력점과 인체가 서로 공유하는 부분(Interface)에서 하는 것을 원칙으로 하며, 진동 측정부의 위치는 표2를 참조하기 바란다. 진동은 기본적으로 가중치 분석법에 의한 가속도의 실효값을 구하여 평가하는 것을 원칙으로 한다. "Crest Factor"(순시 최대피크값에 대한 실효값의 비를 말함)가 9보다 작거나 같은 경우에는 가속도 실효값만으로 평가를 해도 충분하지만, 그렇지 못한 경우에는 부가적인 분석법으로 사용하여야 한다. 부가적인 분석법으로는 "Running RMS method"와 "Fourth power vibration dose value(VDV) method"가 있다. "Running RMS method"를 사용하는 경우는 짧은 적분구간을 사용하기 때문에 순간적인 쇼크나 과도적인 진동의 영향을 규명할 수 있고, "VDV method"를 사용하는 경우는 가속도의 4제곱을 사용하여 계산하기 때문에 2제곱을 사용하는 가속도 실효값보다 피크에 대해 민감하게 반응하므로 순간적인 진동 변화도 분석할 수가 있다.

표2 진동 측정부위 비교(개정 ISO/ UIC/ CEN DRAFT)

	ISO 2631(2nd edition)	UIC 513 R	CEN DRAFT prENV 12299
전 후	바닥면, 앉은면, 의자등	바닥면, 의자등	바닥면, 의자등
좌 우	바닥면, 앉은면, 의자등	바닥면, 앉은면	바닥면, 앉은면
상 하	바닥면, 앉은면, 의자등	바닥면, 앉은면	바닥면, 앉은면
롤링	앉은면		바닥면
피칭	앉은면		
요잉	앉은면		

(라) UIC 513 R 및 CEN DRAFT prENV 12299

앞에서 언급한 바와 같이 ISO 2631의 경우는 교통기관에서의 전신진동 측정 및 평가에 대한 일반적인 사항을 규정하고 있고, KS R 9160 및 JIS E 4023에서는 철도의 진동측정에 대해 규정하고 있을 뿐이다. 그러나, UIC 513 R 및 CEN DRAFT prENV 12299는 철도환경에서의 사용할 수 있는 진동 승차감에 대하여 규정하고 있다. 또한, 이들 규격(UIC/CEN)에서는 통계적인 방법을 도입하여 계산되는 새로운 지표인 "승차감 지수(Comfort Index)"를 사용하고 있다. UIC 513 R은 UIC의 연구기관 ORE(나중에 ERRI로 변경)에서 ISO 2631의 철도로 적용을 검토하는 과정에서 제정되었고, CEN에서 심의 중인 DRAFT prENV 12299는 UIC의 연구결과를 바탕으로 규정하고 있기 때문에 UIC 513 R과 동일한 성격의 규격으로 보아도 좋다. 그러나, CEN 규격에서는 완화곡선 승차감에 대해 참고사항으로 제안되어 있다. 진동의 측정은 차체상면의 중앙부와 양쪽 끝부분이나 그 곳에서 가장 가까운 의자에서 표2에 표시한 진동을 측정하는 것을 원칙으로 한다. 차량의 형태(Single-deck 차량 : 차체 중앙의 한점과 양쪽 끝점, Double-deck 차량 : 하부바닥(lower deck)에서 차체 중앙의 한점과 양쪽 끝점/ 상부바닥(upper deck)에서 차체 중앙의 한점) 및 사용한 평가 방법에 따라 측정점이 다르므로 주의하기 바란다. 철도의 진동은 일정하지 않고 변동하기 때문에 이들 규격에서는 통계적인 방법으로 분석을 한다. 5초간격으로 가속도 실효값을 구한 후, 5분 주기(5초간격의 가속도 실효값 60개)마다 통계처리하여 누적빈도분포가 95%(크기 순서로 배열했을 때 57째 값)와 50%(크기 순서로 배열했을 때 31째 값)에 해당하는 값을 이용하여 승차감 지수를 구하여 진동 승차감을 평가한다. "승차감 지수"를 구하는 방법은 "약식법(Simplified method)"과 "완전법(Full method)"이 있다. CEN에서는 "약식법"은 반드시 수행하도록 규정하고 있으나, "완전법"은 참고사항으로 제안하고 있다.

3.3 가중치함수(Weighting function) 분석

동일한 강도를 갖는 진동에 대한 인간의 감각은 진동주파수에 따라 다르게 느껴지기 때문에 주어진 진동에 대해 가중치함수로 보정을 해야만 한다. 여기서는 각종 규격에 규정된 가중치함수와 "Sperling" 제안 평가방법에 대한 가중치함수를 함께 분석한다. KS R 9160 및 JIS E 4023의 경우에는 철도진동의 측정 및 해석방법만을 규정하고 있기 때문에 가중치함수에 대한 규정이 없다. 기존

ISO 규격은 가중치함수가 상하방향 및 좌우방향(전후방향)으로 2개만 존재하므로 비교적 간단하다. 개정 ISO 규격은 기존 ISO 규격의 가중치함수를 대폭적으로 변경하여, 진동 종류에 따라 6종류(Wk, Wd, Wf, Wc, We, 및 Wj)를 사용하고 있다. 그러나, 대폭적인 가중치함수의 변화는 지금까지 축적된 데이터를 이용할 수 없게 되는 문제가 생기기 때문에 철도에서는 Wk를 Wb로 대체하여 사용할 수 있도록 하고 있다. UIC/CEN 규격은 3종류(Wb, Wd 및 Wc)의 가중치함수를 사용하고 있다. 그림1과 그림2는 가중치함수를 그래프로 나타낸 것이다. 그림1에서 볼 수 있는 바와 같이 기존 ISO 규격과 개정 ISO 규격의 수평방향 가중치함수는 4H부근만을 제외하고 동일하다. 또한, 개정된 ISO 규격과 UIC/CEN 규격의 수평방향에 대한 가중치함수는 동일하기 때문에 수평방향 진동에는 2개의 규격중 어느 것을 사용해도 좋다. 그림2에서 수직방향 진동에 대한 가중치함수는 기존 ISO 규격과 개정 ISO 규격이 전체의 주파수범위에 대해 전혀 다른 별개의 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 개정 ISO 규격에서도 2개의 가중치함수(Wk, Wb)가 서로 다른 특성을 갖고 있다. Wk가 16Hz이하의 주파수범위에서는 Wb보다 크지만, 그 이상의 주파수범위에서는 작다. 개정 ISO 규격에서는 철도에 적용되는 가중치함수(Wb)는 UIC/CEN 규격의 가중치함수(Wb)와 8Hz이상의 주파수범위에서 약간의 차이가 있을 뿐 거의 일치함을 알 수 있다. "Sperling"이 제안한 승차감 평가방법은 각종 규격에서 제안한 승차감 평가방법과 전혀 다르기 때문에 각종 규격과 가중치함수를 비교하는 것은 의미가 없는 일이다.

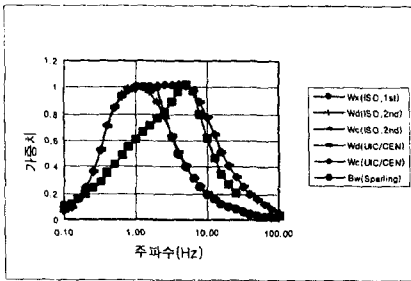


그림1 수평방향 진동에 대한 가중치함수

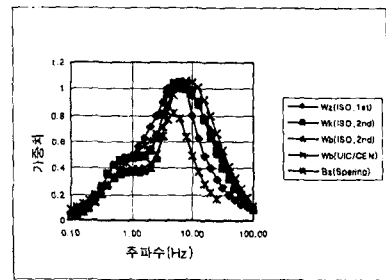


그림2 수직방향 진동에 대한 가중치함수

3.4 각종 규격에 규정된 승차감 평가 기준

각종 규격은 승차감의 평가 기준이 정식적으로 규정되어 있는 경우도 있고, 그렇지 않고 단지 참고사항으로 제안되어 있는 경우도 있다. 여기서는 규격에 규정되어 있는 기준뿐만 아니라 일본 및 국내에서 현재 사용하고 있는 승차감 기준에 대해서도 함께 정리하고자 한다.

(가) 기존 ISO 규격

기존 ISO 규격에서는 기준한계를 "피로능률감퇴한계"에 대하여 주파수 및 노출시간의 관계로 규정되어 있다(그림3). 이를 등감각곡선이라고 한다.

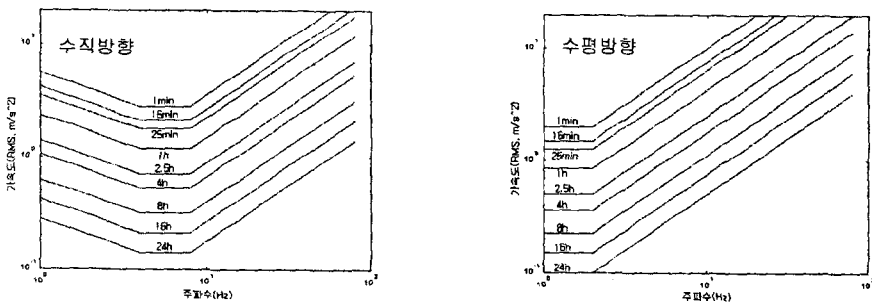


그림3 피로능률감퇴한계(ISO 2631, 1st edition)

(나) 일본의 승차감 기준

일본에서는 승차감 기준으로 "승차감 계수(표3)"와 "승차감 레벨(표4)"이 사용되고 있다. "승차감 계수"는 "Janeway"가 제안한 진동한계를 이용하여 정한 기준이고, "승차감 레벨"은 기존 ISO 규

격에서 규정한 “피로능률감퇴한계(노출시간 8시간 기준, 기준가속도 10^{-5}m/s^2)”를 이용하여 정한 기준이다. 또한 승차감 레벨을 3 ± 2 분간격으로 구하여 평가하는 것을 표준으로 하며, 고속여객열차의 경우에는 승차감 레벨은 ②범위 이하인 것이 바람직하다.

표3 승차감 계수의 구분과 평가관계

구분	승차감계수	승차감 평가
①	1 이하	상당히 양호
②	1 ~ 1.5	양호
③	1.5 ~ 2	보통
④	2 ~ 3	나쁨
⑤	3 이상	상당히 나쁨

표4 승차감 레벨과 진동구분(일본)

구분	승차감 레벨	평가	실효값(m/s^2)	
			수평방향	수직방향
①	83dB 미만	양호	0.100미만	0.141미만
②	83dB 이상 88dB미만	↑	0.100 ~ 0.178	0.141 ~ 0.251
③	88dB이상 93dB미만		0.178 ~ 0.316	0.251 ~ 0.447
④	93dB이상 98dB미만	↓	0.316 ~ 0.562	0.447 ~ 0.794
⑤	98dB 이상		악화	0.562 ~

(다) 국내의 승차감 기준

국내에서는 승차감 기준으로 “승차감 레벨”이 사용되고 있으며, 일본에서 사용되는 “승차감 레벨”과 마찬가지로 기존 ISO 규격의 피로능률감퇴한계(노출시간 8시간 기준)를 적용하여 기준을 정했고, 평가방법도 거의 동일하다. 그러나, 국내기준에서는 기준가속도로 10^{-6}m/s^2 를 사용하여 대수값으로 표시하였기 때문에 기준값이 다른 일본기준과는 20dB의 차이를 갖는다(표5).

(라) 개정 ISO 규격

앞에서 언급한바와 같이 개정된 ISO에서는 참고사항으로 “대중교통”에 대한 기준에 제시되어 있다(표6).

표5 승차감 레벨과 진동구분(국내)

등급	승차감 레벨	평가	실효값(m/s^2)	
			수평방향	수직방향
A	103dB미만	우수	0.100미만	0.141미만
B	103dB이상 108dB미만	양호	0.100 ~ 0.178	0.141 ~ 0.251
C	108dB이상 113dB미만	보통	0.178 ~ 0.316	0.251 ~ 0.447
D	113dB이상 118dB미만	불량	0.316 ~ 0.562	0.447 ~ 0.794
E	118dB이상	극히불량	0.562 ~	0.794 ~

표6 ISO 2631(2nd edition) 기준

실효값(m/s^2)	평가
0.315미만	편안함
0.315이상 0.63미만	조금 편안함
0.5이상 1미만	약간 불편함
0.8이상 1.6미만	불편함
1.25이상 2.5미만	꽤 불편함
2이상	극히 불편함

(마) UIC 513 R 및 CEN DRAFT prENV 12299

앞에서 설명한 바와 같이 UIC/CEN 규격의 승차감 평가는 가속도의 실효값을 통계적으로 처리하여 계산되는 승차감 지수를 사용하고 있으며, 이 승차감 지수에 대해 기준이 규정되어 있다(표7). UIC/CEN 규격에서는 승차감 지수로 통근용차량(Suburban) 4, 보통차량(Conventional rolling stock) 3 및 고급차량(Delux rollingstock) 2를 기준으로 추천하고 있다.

(바) “Sperling”이 제안한 기준

“Sperling”이 제안한 승차감 평가방법은 승차감 지수(W_z)를 구하여 평가를 한다(표8). 승차감 지수는 측정된 진동가속도로 부터 계산할 수가 있다. 계산 방법으로는 2차승법(Square method)과 3차승법(Cubic method)이 있고, 일반적으로 3차승법이 많이 사용되고 있다. 이 때에 주의해야 할 점은 승차감 지수의 계산은 진동가속도의 단위로 cm/s^2 를 사용해야 한다.

3.5 승차감 평가방법의 검증

그림4는 ISO 및 UIC/CEN 규격에 따른 진동 승차감 평가방법의 순서도를 나타낸 것으로 그 내용을 설명하면 다음과 같다.

표7 UIC/CEN 승차감 지수

승차감 지수(N)	평가
1미만	극히 편안함
1이상 2미만	편안함
2이상 4미만	보통
4이상 5미만	불편함
5이상	극히 불편함

표8 승차감 지수("Sperling" 제안) 기준

승차감 지수	평가구분
1	느낌이 거의 없음
2	진동을 약간 느낌
2.5	느끼지만 불쾌하지 않음
3	크고 불규칙한 진동(허용가능)
3.25	매우 불쾌함
3.5	극도로 불쾌하고 장시간 참을 수 없음
4	장시간 노출시 위험함

그림4의 순서도는 긴 점선(——)부분, 삼점쇄선(---)부분 및 2개의 짧은 점선(-----)부분으로 구성되어 있다. 짧은 점선부분은 측정된 데이터를 시간영역이나 주파수영역중에 한쪽 영역을 선택하여 계산하는 과정을 나타낸 것이다. 삼점쇄선부분은 1개 방향에 대한 가속도의 실효값을 구하는 과정을 나타낸다. 긴 점선부분은 3개 방향에 대해 각 방향에 대한 가속도의 실효값을 구한 후에 이것들을 조합하는 과정을 나타낸 것이다. 예를들면, ISO 규격의 경우는 각 방향에 대한 가속도 실효값을 구하여 각 방향에 대해 분리하여 승차감 평가를 하지만, UIC/CEN 규격의 경우는 3개 방향에 대해 구해진 각 방향에 대한 60개의 가속도 실효값을 통계적인 방법으로 처리하여 승차감 지수를 구한 후 승차감을 평가한다. 가속도 실효값을 구하는 방법은 주파수영역에서 구하는 방법(③)과 시간영역에서 구하는 방법 2종류(①, ②)가 있다. 시간영역에서 가속도 실효값을 구하는 ① 방법은 측정하려는 주기에 대해 직접적으로 구하는 방법이며, ② 방법은 작은 구간에 대한 Running RMS를 구한 후에 측정주기에 대한 평균값을 구하는 방법이다. "Sperling"이 제안한 승차감 지수를 구하는 방법은 절차상으로는 주파수영역에서 계산되는 ③ 방법과 같고, 가속도 실효값이 아닌 다른 계산식으로 승차감 지수를 계산하는 것만이 다를 뿐이다. 승차감 평가방법의 검증은 개정 ISO 규격의 승차감 레벨(dB)과 UIC/CEN 규격의 승차감 지수를 3종류 방법(①, ② 및 ③)으로 구하여 그 결과를 비교분석하는 방법으로 한다. 그림5는 개정 ISO 규격의 승차감 레벨을 3종류의 방법으로 구한 시뮬레이션 결과이다.

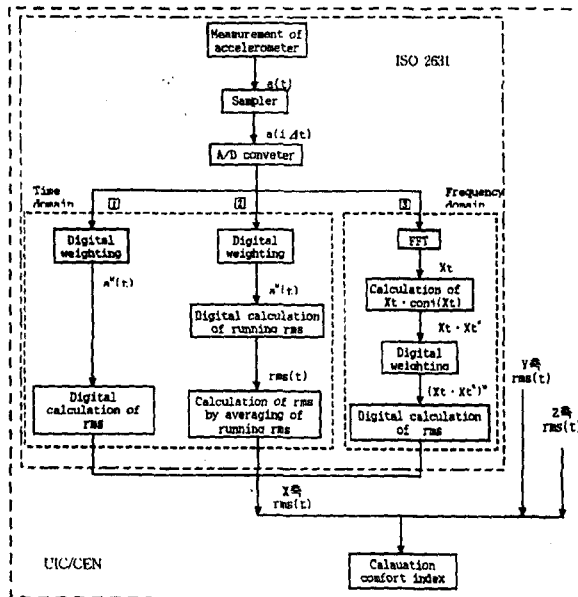


그림4 진동 승차감 평가방법의 순서

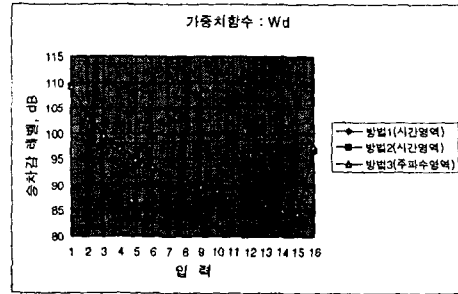
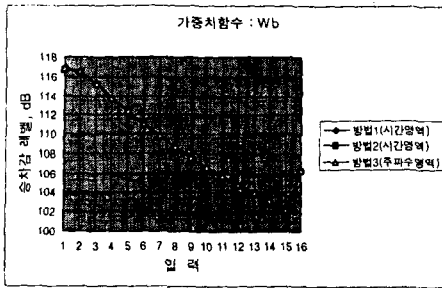


그림5 승차감 레벨 비교(ISO 2631, 2nd edition)

그래프에서 입력 1부터 15까지는 진동 크기가 같고 주기가 다른 정현파(5Hz~75Hz, 5Hz 간격)의 진동파형을 주었을 경우의 결과이고, 입력 16은 랜덤진동파형을 주었을 경우의 결과이다. 3종류의 방법에 대하여 동일한 진동파형을 주었을 때 승차감 레벨이 $\pm 0.5\text{dB}$ 이내로 거의 오차가 없는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 UIC/CEN 규격의 승차감 지수를 동일한 랜덤진동파형을 주고 3종류 방법으로 시뮬레이션을 한 결과, ①방법의 경우는 1.63, ②방법의 경우는 1.66, ③방법의 경우는 1.7로 최대오차는 약 4%이었다.

4. 결론

다른 교통수단과의 경쟁력을 더욱 강화를 위해 여객수송의 품질 향상에 대한 요구가 증가하고 있고, 이를 달성하기 위한 승차감의 개선이 절실한 실정이다. 승차감을 개선하기 위한 현실적인 방법으로 진동을 감소시킬 수 있는 기술의 개발보다는 승차감의 측정 및 평가방법의 표준화가 더욱 필요하다. 최근들어 여러나라에서 철도의 승차감의 측정 및 평가방법을 표준화하기 위한 많은 노력을 하고 있고, 그 결과로 여러 종류의 규격들이 제정되고 있다. 그러나, 승차감의 평가에 대하여 규격마다 서로 다른 방법을 제시하고 있기 때문에 그 규격을 적용하기 위하여는 적용환경에 대한 검토가 필요하게 된다. 특히, 대부분의 규격이 유럽에서 제정되고 있고, 그 바탕이 되는 자료가 서양인들의 감정을 기본으로 한 것이므로 국내의 적용할 때에 그에 대한 검토가 필요하게 된다. 또한, 규정된 평가방법에 적합한 측정장비의 개발도 승차감의 올바른 평가를 하기 위하여 필요한 과제임에 틀림없다. 본 연구에서는 철도 승차감의 측정 및 평가에 대한 검토가 차후에 국내 적용 및 전용 승차감 측정장치 개발에 도움을 주리라 생각된다.

참고문헌

- 1) ISO 2631-1, 1985.
- 2) ISO 2631-1, 1997.
- 3) ORE: Final reports, B153/RP 18, 1989.
- 4) UIC 513 R, 1994
- 5) CEN DRAFT prENV 12299, 1997
- 6) JIS E 4023: 鐵道車輛の振動特性 - 測定方法, 1990.
- 7) KS R 9160: 철도차량의 진동측정방법, 1993.
- 8) 鈴木浩明: 各種交通システムにおける乗り心地評價法, 鐵道總研報告, Vol. 10, No. 10, 1996.
- 9) Dynamics of railway vehicle systems, pp68-76, V.K.Carg, 1984, Academic Press
- 10) 철도차량 승차감 측정방법, 철도기술연구보 Vol. 23, No. 1, 1989