

역사 내 쾌적성 · 승차감 · 열차멀미 등 철도 쾌적성의 평가기술



서사범
(주)서헌기술단 부사장
공학박사/철도기술사
T.010.6219.1369
suh7484@hanmail.net

I. 머리말

안전성이나 정확성, 속달성이 높은 철도에서의 부가가치로서 향후에 더욱 레벨향상이 요구되는 것은 이편(利便)성과 쾌적성일 것이다. 쾌적성에는 여러 가지 요소가 있지만, 본고에서는 역사 내의 쾌적성, 승차감, 열차멀미 등의 평가방법에 관하여 논의한다.

최근의 터미널 역은 철도이용 뿐만 아니라 식사나 쇼핑 등과 같은 다양한 목적으로 이용되고 있기 때문에 이전보다도 역구내에서의 이용자 흐름이 복잡하게 됨과 함께 역 콩코스(concourse)에서의 체류시간이 길어지는 경향이 있다. 이 때문에 역의 계획 시점(時點)에서 쾌적성에 관하여 충분히 검토할 필요성이 커지고 있다.

한편, 철도의 고속화에 수반하여 차내의 고주파 진동이 증가하는 경향이 있지만, 승차감 평가방법의 하나인 승차감레벨은 고주파진동을 과소평가하기 때문에 일본에서는 이 승차감 평가방법을 개량하였다. 이에 따라 고속철도에서는 체감에 맞춘 평가가 가능하게 되고 일반철도에서도 지금까지와 같이 평가에 이용할 수가 있다.

열차멀미의 평가지표로서 MSDV-y가 널리 이용되고 있다. MSDV-y는 차량의 좌우 진동에서 열차멀미를 일으키기 쉬움의 정도를 평가하는 것이지만, 좌우방향 이외의 진동도 고려할 수 있으면 평가 정밀도를 더욱 향상시킬 수 있는 가능성도 있다. 또한, MSDV-y는 30분간의 진동에 적용하는 것이지만, 더 짧은 시간의 데이터에 적용할 수 있으면

현장에서 사용하기 쉬움의 정도를 더욱 향상시킬 수 있는 가능성이 있다.

본고에서는 역의 쾌적성에 크게 영향을 미치는 여객유동, 온열환경, 음 환경의 쾌적성 평가기술에 대하여 소개한 후에 상기의 개량 승차감 평가방법 및 승차감 평가방법에 관한 국제기준의 동향을 소개하고, 마지막으로 차멀미 평가법의 개량에 대하여 소개한다.

II. 역 콩코스 쾌적성의 평가

1. 역의 여객유동

(1) 역에서의 여객유동의 특징

터미널 역에서는 많은 이용자가 오가고 있다. 이와 같이 역 안에서 이동하는 여객의 흐름을 여객유동이라고 부른다. 예를 들어, 열차에서 내려 개찰구로 향하는 여객이나 다른 플랫폼 간을 갈아타려는 역 이용자의 흐름을 가리킨다. 역의 여객유동은 시간이나 장소에 따라 여러 가지의 모습을 보인다.

철도는 공공교통기관 중에서도 대량수송능력을 갖고 있는 특징이 있으므로 다른 교통기관에 비하여 한 번의 이용자가 많고 이용시간대도 집중되는 경향이 있기 때문에 역 안을 이동하는 여객유동도 작은 개울과 같은 흐름뿐만 아니라 큰 강과 같은 흐름이 생기는 일이 있다. 그 때문에 이들 여객유동의 규모에 대하여 충분한 크기와 수량의 계

단이나 통로, 적절한 크기의 만남 공간을 가진 역이 건설되어 왔다.

역의 여객유동이 가진 특징의 하나로서 ‘파동’이 있다. 철도의 이용방식에는 사람들의 생활리듬을 반영한 시간적인 파(波)가 있어 역의 이용자도 이에 따라 증감한다. 승차와 하차의 ‘파동’은 역에 따라 다르기 때문에 각각의 역 특성에 따라 역의 계획을 진행할 필요가 있다[7].

역 플랫폼 계단의 통과인원수의 경우에 하차여객은 열차의 도착과 동시에 역구내로 대량으로 출현하기 때문에 일반적으로 큰 파(波)로 되는 경향이 있다. 한편, 승차여객은 도보나 자전거, 버스 등으로 서서히 역에 도착하는 일이 많기 때문에 다른 철도선로부터의 갈아타기 등이 없는 한, 통상은 그다지 큰 파동으로 되지 않는다.

이와 같이 역에서는 조석의 러시아워 시간대를 중심으로 대량의 여객이 집중하기 때문에 다른 건물에서는 보이지 않는 혼잡상태가 일상적으로 발생된다. 그 때문에 이용자가 조금이라도 원활하고 쾌적하게 이용할 수 있도록 하는 배려가 중요하게 된다.

여객유동을 원활하게 하는 기본적인 고려방법으로서 흐름이 막히는 병목(bottleneck)을 제거하는 것이 열거된다. 일상적인 병목에는 차량도어, 플랫폼 계단, 개찰구 등이 있으며, 이들의 통과를 원활하게 하기 위하여 차량혼잡의 균등화, 계단 폭의 확장, 에스컬레이터·계단·개찰구의 증설·배치 검토, 개찰기의 고속화·IC화 등의 여러 가지 대책이 취해진다.

(2) 여객유동 시뮬레이션

이와 같은 에스컬레이터나 개찰구를 증설한 효과나 현상의 문제점을 검토하는 데에 유용한 것이 컴퓨터 시뮬레이션이다.

여객유동 시뮬레이션에서는 CAD 등의 역 계획도면을 베이스로 하여 계단·에스컬레이터·개찰구의 위치, 통로 폭 등을 설정하고 계다가 여객수·여객의 이동경로·여객의 발생패턴 등을 입력함으로써 역구내에서의 군집 움직임을 의사(疑似)적으로 재현하여 흐름이나 체류의 상태를 가시화하는 것으로 여객유동의 문제점을 파악하기 쉽게 한다. 이 여객수나 발생패턴은 실태조사에 의거하는 경우와

가상의 조건에 의거하는 경우가 있으며, 계산상으로 여객수를 증가시켜 악조건을 재현시키기도 하고 계단의 증설이나 확폭의 효과를 검증하기도 하여 여러 가지 상정이나 대책을 시도하여 결과를 비교함으로써 설계단계에서 역의 유동실태에 적합한 대책을 사전에 검토할 수가 있다.

상기와 같은 시뮬레이션을 행한 후에 다음 단계로서 시뮬레이션에 따른 계산결과를 어떻게 평가하는가가 중요하다. 그래서 역의 여객유동 상태와 그곳에서의 걷기어려움 정도의 관계를 조사하기 위하여 교착(交錯)한 흐름이 있는 콩코스, 혼잡한 계단, 긴 승차대기 행렬이 형성된 플랫폼 등, 역의 다양한 혼잡을 재현하는 피험자 실험을 하였다. 실험결과에서 콩코스, 계단, 플랫폼 위 등 장소에 따른 걷기어려움 정도를 지표화한 ‘걷기어려움 정도 평가지표’를 작성하였다.

여객유동 시뮬레이션 결과에서 역의 걷기어려움 정도 평가지표를 산출하여 그것을 가시화한 여객유동평가 시뮬레이션의 일례를 보면 개찰구 부근, 플랫폼 위의 에스컬레이터 앞이나 계단 앞에서 혼잡으로 인해 걷기 어렵게 되어 있는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 역구내에서 여객이 보다 걷기 어렵다고 느끼는 개소를 타 개소와는 다른 색으로 나타냄으로써 역이 가진 여객유동 상의 과제를 한층 알기 쉽게 표현할 수가 있다.

2. 온열환경

(1) 쾌적한 온열환경

역의 쾌적성에는 상기의 여객유동 외에 온열환경이나 음 환경과 같은 물리환경의 영향도 받는다. 물리환경 중에 온열환경은 쾌적성에 관한 주요한 요인의 하나이다.

온열환경의 쾌적성에는 기온, 온도, 풍속, 복사열[☞ 참조], 대사량(代謝量)[☞ 참조], 착의 량의 영향을 받는다고 알려져 있다. 역 콩코스에는 이들의 요인이 크게 변화하고 있기 때문에 역 콩코스의 온열환경을 평가하기 위해서는 이들 6개의 요인을 고려할 수 있는 지표가 적합하다고 한다. 이와 같은 지표 중에 대표적인 것으로 PMV[☞ 참조]가 있다.

ISO에서는 PMV값과 그 환경을 불만족하다고 느끼는 사람의 비율인 불만족률 간의 관계를 정리하고 있다. 그러

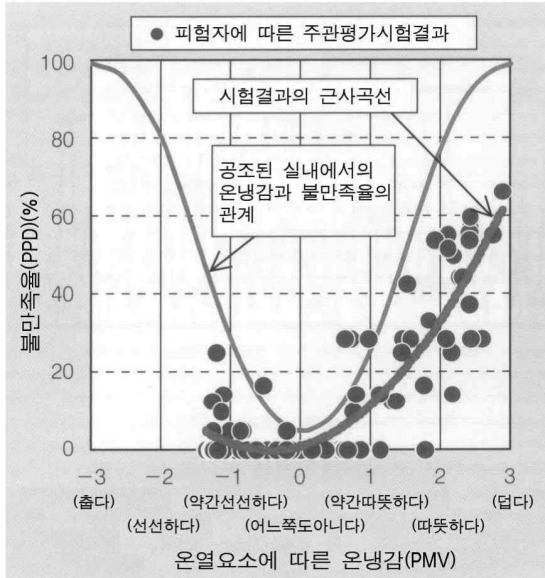


그림 1. PMV와 불만족율의 관계

나 ISO에서는 공조(空調)된 주택의 거실이나 사무소의 집무실과 같은 비교적 긴 시간 체재하는 공간을 상정하고 있다. 역 콩코스에서는 이들의 거실만큼 긴 시간 체재하는 것이 아니기 때문에 PMV값과 불만족률 간의 관계가 ISO에서 나타나고 있는 것과는 다를 가능성이 있다.

그래서 일본에서는 수도권의 터미널 역에서 피험자를 대상으로 하여 PMV값과 불만족률 간의 관계를 조사하였다. 조사결과를 그림 1에 나타낸다. -1에서 +1인 범위에서는 대부분의 피험자가 불만족하지 않다고 회답하고 있다. 이 그림에서는 ISO에서 나타나고 있는 PMV와 불만족률 간의 관계를 녹색의 선으로 나타내고 있다. 피험자 경험의

결과는 그 곡선을 하회하고 있는 점에서 역이용자의 온열 환경에 대한 요구수준은 일반 실내만큼 높지 않다고 한다.

(2) 온열환경 시뮬레이션

온열환경에 대하여도 여객유동과 마찬가지로 보다 좋은 환경을 실현하기 위해서는 계획 시에서의 수치 시뮬레이션이 유효하다. 시뮬레이션은 역의 단열성이나 환기량 등의 영향을 해석할 수 있기 때문에 예를 들어 개구부의 최적 위치, 형상 등의 검토에 이용할 수가 있다.

3. 음 환경

(1) 소음레벨과 시끄러움 정도

터미널 역에서는 열차나 여객에 기인하는 많은 음원이 있다. 게다가 타일이나 금속판 등과 같은 음을 반사하기 쉬운 마감재가 많이 사용되어 있기 때문에 일부의 역에서는 소음이 높게 되기도 하고 안내방송을 청취하기 어렵게 되기도 하는 경우가 있다.

그림 2는 일본 수도권의 역 콩코스를 대상으로 한 소음레벨과 시끄러움 정도 간의 관계를 조사한 결과이다. 소음레벨과 시끄러움 정도 간에는 높은 상관성이 있어 소음레벨이 60 dB에서 '약간 조용하다', 65 dB에서 '어느 쪽도 아니다', 70 dB에서 '약간 시끄럽다' 로 되어 있다. 동시에 불쾌도에 관한 질문도 하여 소음레벨이 60 dB에서 '불쾌하지 않다', 70 dB에서 '약간 불쾌' 라는 결과가 얻어졌다.

이들의 시험으로부터 소음레벨이 높게 됨에 따라서 시끄러움 정도나 불쾌감이 높게 되는 것이 확인되었다. 또한 소음레벨이 65 dB 이하일 경우에 어느 쪽이냐면 '조용하

☞ 복사열

겨울철의 추운 옥외에서도 모닥불을 쬐면 따뜻하게 느껴진다. 이것은 모닥불의 열에너지를 인체가 직접 받기 때문이다. 이와 같은 어떤 물체에서 직접 얻는 열을 복사열이라 한다. 실내의 기온이 같은 20~25℃이라도 여름철은 반소매 셔츠로 쾌적한데 겨울철은 긴팔 셔츠나 스웨터를 입지 않으면 춥다고 느껴지는 것은 창유리나 벽으로부터의 열의 차이로 인한 것이다.

☞ 대사량

대사량(代謝量)은 사람의 활동량을 나타내는 지표의 하나이다. 기온이나 습도가 같더라도 앉아있을 때와 달리고 있을 때는 체감온도에 차이가 있다. 대사량은 met라고 하는 단위가 사용되며, 의자에 앉아있을 때가 1met, 서있을 때는 1.4 met, 보행 시는 3 met 정도이다.

☞ PMV

PMV(predicted mean vote; 예측 평균 온냉감)은 기온, 습도, 풍속, 복사열, 대사량, 착의 량의 6 요소로부터 산출되는 온열환경에 관한 대표적인 평가 방법의 하나이다. PMV가 높을수록 더운 환경, 낮을수록 추운 환경, 0에서는 덥지도 춥지도 환경으로 되어있다. 그림 1의 ISO 평가곡선(그림 중에 녹색 선)을 보면, PMV가 0이어도 불만족률이 5%이며, 모든 사람을 만족시키는 것의 곤란하기 정도가 암암리에 나타내어져 있다.

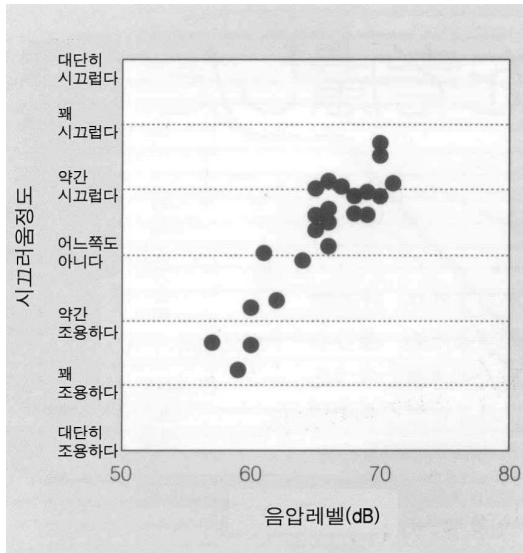


그림2. 소음레벨과 '시끄러움 정도'의 관계

다'로 판단되며, 불쾌도도 그만큼 높게 되지 않는 것도 알 수 있었다.

(2) 음향 시뮬레이션

온열환경 등과 마찬가지로 역 계획 시에 음 환경에 대하여 검토할 경우에도 수치 시뮬레이션이 유효하다.

음향 시뮬레이션 방법의 하나로 음선추적방법[☞ 참조]이 있다. 이러한 수치해석을 함으로써 어떤 음원에 따른 음 크기의 분포를 알 수가 있다. 또한, 스피커로부터 흘러나오는 안내방송의 전달방법도 계산할 수 있기 때문에 스피커의 설치위치를 검토하는 것도 가능하다. 음원과 계산결과를 합성함으로써 안내방송이 어떻게 들리는가를 귀로 확인할 수도 있는 등, 음에 관한 문제가 생기지 않도록 여러 가지의 검토를 할 수가 있다.

☞ 음선추적방법

음선추적방법(音線追跡方法)은 음원으로부터 음향에너지 정보를 가진 다수의 빔(音線)을 방사하여 벽이나 천정에서의 반사경로를 탐색하여 실내의 음향에너지 분포를 계산하는 것이다. 컴퓨터를 이용한 수치계산이 보급되기 이전에 음악 홀을 설계할 때 손 계산으로 음의 전달방법을 작도하고 있었던 것을 컴퓨터 상에서 재현한 방법이다.

☞ ISO

International Organization for Standardization의 약어로 본부를 스위스의 제네바에 둔 국제표준화기구 및 여기서 발행한 국제규격을 말한다.

☞ 가중곡선

진동주파수의 차이가 인간에 미치는 영향의 크기를 나타내고 있다(값이 크면 영향도 크다는 것을 의미한다).

Ⅲ. 고주파진동의 영향을 고려한 승차감 평가 방법

1. 개요

승객 쾌적성에는 여러 가지 요인이 있지만, 그것의 기반으로 되는 것은 진동승차감이다. 승차감을 향상시키기 위해서는 여객이 느끼는 승차감을 어떻게 추정하는가, 즉 승차감 평가방법이 필요하다. 그를 위하여 국제적으로는 ISO나 EN(유럽규격)이 있고, 일본에서는 '승차감레벨'이라고 하는 국철시대로부터의 평가지표를 주로 사용하고 있다. 그렇지만, 근년에 승차감레벨이 고속주행 시나 터널 내 등에서 증가하기 쉬운 드르르하는 고주파수 진동(이하에서는 '고주파진동'이라 한다)의 승차감 영향을 그다지 반영하지 않는 것이 문제로 되어 있다. 이 장에서는 새로 제안되고 있는, 고주파진동에도 대응 가능한 승차감레벨에 대하여 논의한다.

2. 승차감 평가기준의 국제적인동향

(1) ISO 2631

승차감의 국제기준으로서 ISO 2631이 있다[☞ 참조]. ISO 2631은 1974년에 책정된 것으로 건물, 탈것, 산업기계(트랙터 등) 전반에서 전진진동폭로 한계치의 규정과 그에 의거한 가중곡선[☞ 참조]이 제안되어있다. 그림 3에 가중곡선을 나타낸다.

ISO 2631은 그 후 1997에 대폭으로 개정되었다. 개정대상의 하나는 가중곡선으로서 전후·좌우방향에는 Wd(그림 3(a)의 청색 점선), 상하방향은 Wk(그림 3(b)의 청색 점선)이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 전후·좌우방향의 개정(그림 3(a)의 흑색실선→청색점선)은 전체로 가중이

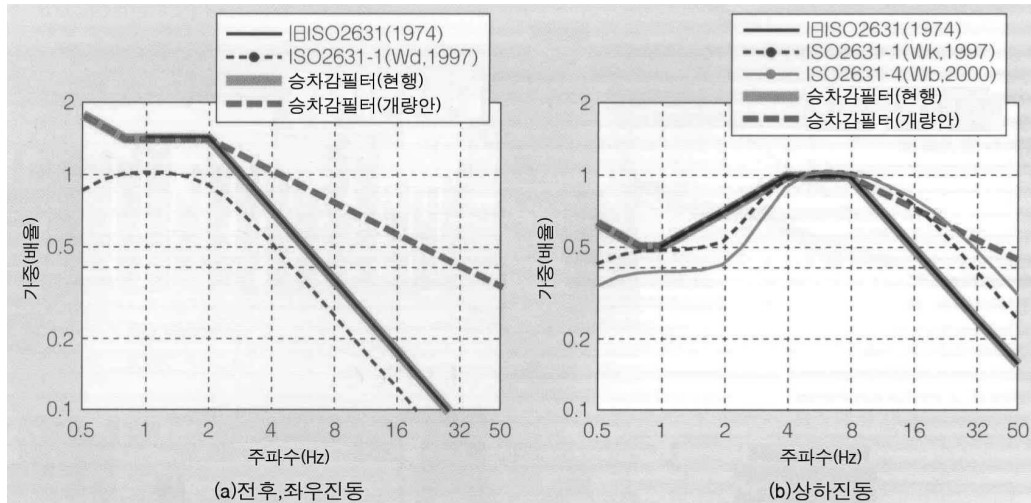


그림 3. ISO 2631 개정 전후의 가중곡선과 승차감 필터(현행과 개량안)

내려져 0.5 Hz까지 확장하기는 하였으나 거의 구(舊)ISO를 답습하였다. 한편, 상하방향의 개정(그림 3(b)의 흑색실선 → 청색 점선)은 8 Hz 이상 고주파의 가중은 크고 역으로 2 Hz 부근의 가중은 작게 되었다. 또한, 2000년에 철도를 포함한 궤도차량의 승차감으로 한정된 가이드라인이 제안되어 여기서는 Wk보다 더욱 이 경향이 강한 Wb(그림 3(b)의 녹색 선)의 사용도 인정되었다.

ISO 개정의 또 한 가지 특징은 12축 측정의 추천(床面 3 방향에 座面 6 방향과 등받이 3 방향을 더한 12축)이며, 시트 배면(背面)용 및 회전축용의 가중곡선도 제안되었다. 그러나 측정이나 처리의 번잡성도나 악화원인을 특정하기 어렵기 때문에 일본의 철도 분야에서는 상면(床面)만의 측정으로 산출할 수 있는 승차감레벨(후술)이 주로 이용되고 있다.

(2) EN 12299

철도가 복수의 국가를 횡단하는 유럽에서는 유럽기준 EN 12299(1999년)가 사용되고 있다. 이용되는 가중곡선은 ISO와 같으며 전후 · 좌우 진동은 Wd, 상하진동은 Wb를 이용하고 있다. EN 12299는 평가의 방법이 보다 구체적으로 제안되어 있으며, 평가치의 산출시간도 5분간으로 정해져 있다. 평가식은 표준식과 상세식(座位용과 立位용)

이 있으며 상세 식의 입위(立位)용에서는 ISO와 마찬가지로 상면(床面) 뿐만 아니라 좌면(座面)이나 등받이의 가속도 측정이 필요하다. 표준식은 상면 3축의 가속도 계측으로 구해진다. 5분간의 평가구간을 5초씩 구획지어 방향별로 실효치를 계산하여 그 95% 타일 값(tile-value)을 다음 식과 같이 구성하여 구한다.

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{(a_{XP95}^{W_a})^2 + (a_{YP95}^{W_a})^2 + (a_{ZP95}^{W_b})^2}$$

$a^{W_i}(t)$: 가중처리 후의 가속도 실효치

$a_{XP95}^{W_i}$: 5분간의 $a^{W_i}(t)$ 의 95% 타일 값

3. 승차감레벨

일본의 철도분야에서 이용되고 있는 가장 대표적인 승차감 평가방법은 ‘승차감레벨’이며, 1981년에 책정되었다. 승차감레벨에서는 당시의 ISO 2631이 나타낸 전신(全身)진동폭로의 한계치를 기초로 0.5~1 Hz의 범위를 확장하여 상하방향, 좌우 · 전후방향의 진동주파수에 대한 ‘등(等)감각 곡선’을 정의하고 있다(그림 4의 흑색 일점쇄선). 등감각 곡선은 주파수마다의 ‘같은 크기’로 느끼는 가속도 실효치로 나타내어 이 값이 작을수록 그 진동주파수는 크게 느끼기 쉬운 것을 의미한다. 승차감레벨은 이 등감각 곡선을 근거로 한 ‘승차감필터(승차감레벨용의 가중곡

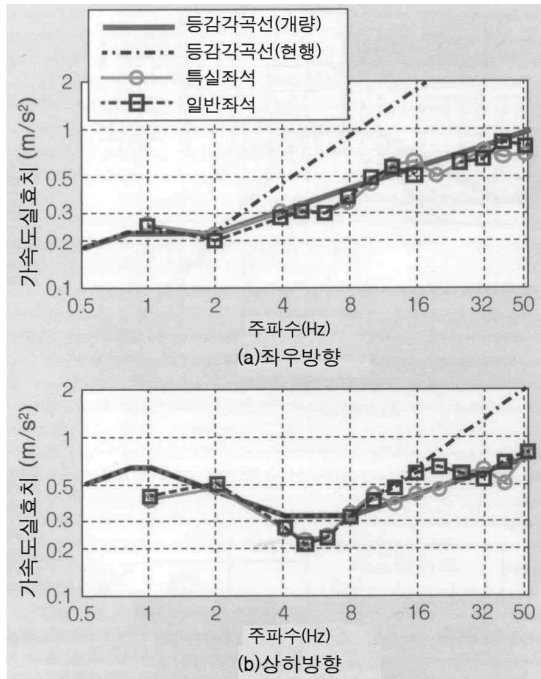


그림 4. 등감각 곡선과 허용한계 평균치(실험결과)

선, 그림 3의 연보라색 굵은 선'를 이용하여 진동에 포함 되는 주파수성분마다로 가중 처리하여 그 실효치로부터 산출한다.

4. 보다 체감에 맞는 평가방법으로 개량

(1) 승차감필터의 개량

지금까지의 승차감레벨은 승차감레벨에 대한 고주파진동의 영향을 거의 반영하지 않았다. 지금까지는 철도에 고주파진동이 그다지 포함되지 않았기 때문에 문제로 되지 않았지만, 근년의 고속화나 쾌적성의 고품질화에 따라 고주파진동의 영향도 반영할 수 있는 보다 체감에 맞는 평가방법이 요구되고 있다.

고주파진동이 과소평가되는 원인은 기반으로 되는 등감각 곡선이 '불쾌감'으로는 되지 않는 '크기'가 같게 느끼는 가속도를 나타내고 있기 때문이다. 크게 느끼기 쉬운 주파수의 진동은 불쾌하게 느끼기 쉽기 때문에 이와 같은 대역에서는 문제가 없지만, 고주파진동은 비록 불쾌하여도

'큰' 인상은 주지 않기 때문에 등감각 곡선에 의거하는 가운데서는 과소평가하게 되는 것이다. 이 때문에 일본에서는 '철도의 승차감으로서의 불쾌감'이라고 하는 척도로 여러 가지 주파수의 진동에 대한 감도를 다시 조사하여 그 결과를 기초로 승차감필터를 개량하였다.

철도용 좌석을 설치한 차내 진동소음평가 시뮬레이터를 이용하여 진동에 대한 감도를 조사하였다. 평가대상은 1~50 Hz의 14 종류의 진폭이 증감하는 사인파 진동으로 하고 피험자는 진동마다로 '고속철도의 승차감으로서 불쾌'하게 느껴진다면 평가버튼을 누른다. 평가버튼의 ON·OFF 시의 진동대 상면(床面)의 가속도를 측정하여 이 평균을 자극(刺激) 주파수에 대한 허용한계치로 하였다.

이 실험을 좌석종별, 팔걸이 이용, 리클라이닝(reclining)의 정도, 개안(開眼) 폐안(閉眼)의 차이 등, 여러 가지 조건에서 반복 실시하였으며, 여기서는 대표적인 결과(좌석종별의 차이)를 그림 4에 나타낸다(청색: 일반좌석, 녹색: 특실좌석).

실험결과로부터 고주파역에서는 현행의 등감각 곡선은 보다 작은 가속도에서 승차감으로서의 허용한계에 달하여 있고 변화의 기울기도 완만하다는 점을 알 수 있었다. 또한, 이 경향은 좌석종별뿐만 아니라 자세나 개안상태, 성별이 달라도 같았기 때문에 상기의 여러 가지 실험결과를 기반으로 그림 중의 적색 선의 근사 선을 구하였다. 그리고 이것을 기반으로 승차감필터의 개량 안(그림 3의 적색 점선)을 제안하였다.

(2) 개량 안(案)의 타당성 검증

승차감필터의 개량 안은 상기와 같은 사인파 진동을 이용한 실험결과에 의거하였지만, 실제의 주행진동에서도 적용가능한가를 확인할 필요가 있다. 이 때문에 고속차량을 이용한 주행시험과 진동대를 이용한 일반선로와 고속선로 주행진동의 관능평가 실험을 하였다.

○ 주행시험에 의거한 검증

1회 10분 전후의 평가구간을 복수 설정하여 피험자가 5초 간격으로 승차감을 5단계 척도([1]: 문제없음 ~ [5]: 대단히 불쾌)로 평가하였다. 이에 대하여 상면(床面) 가속도에서 각종 가중필터를 이용하여 5초마다의 승차감레벨 값을 계산하여 주관(主觀)평가와의 상관을 구하였다. 이용

한 필터는 ① 개량 승차감필터, ② 현행 승차감필터, ③ ISO 2631의 가중곡선 등 3 종류이다.

승차감레벨의 값과 주관평가 간의 상관계수가 1에 가까울수록 주행시험 결과가 주관평가와 잘 일치하고 있음을 의미한다. 실제차량 시험을 하고 각 필터를 이용하여 산출한 승차감레벨의 값과 주관평가 간의 상관계수의 그림으로부터 개량 승차감필터가 좌우, 상하진동 모두 모든 평가 구간에서 주관평가와의 상관이 타 필터보다 높거나 동등함을 알 수 있었다. ISO의 가중곡선을 이용한 경우와 비교하면, 상하진동에서는 그다지 차이가 없지만, 좌우 진동에서는 개량 승차감필터가 양호한 결과로 되었다. 이것은 ISO에서는 고주파진동에 대한 수정을 상하진동밖에 행하지 않았기 때문이라고 생각된다.

○ 일반선로와 고속선로 진동에 의거한 검증

차내 진동소음 평가시물레이터를 이용하여 일반선로와 고속선로의 주행진동을 재현하여 피험자가 평가하는 실험을 하였다. 피험자(126 명)는 자극(刺激)진동을 전술의 주행시험과 같이 5초 간격으로 5단계로 평가하였다.

이들의 시험결과로부터 고속선로 조건에서는 개량 승차감필터를 이용한 쪽이 주관평가와의 상관이 높고, 상기의 주행시험과 같은 결과이었다. 또한, 일반선로 조건에서는 승차감레벨이 현행과 개량 어느 쪽의 필터를 이용하여도 거의 같은 값으로 되어 일반선로와 같이 고주파성분의 기여도가 낮은 경우는 개량 필터를 이용하여도 값이 변하지 않음, 즉 사용에 문제가 없음을 알 수 있었다.

승차감레벨과 현행 ISO 2631의 평가방법은 필터뿐만 아니라 그 후의 계산방법도 다르기 때문에 필터만을 이용한 이번 검토는 참고로만 하여야 하지만 진동의 방향이나 고속선로 · 일반선로의 차이에도 불구하고 개량필터를 이용한 쪽이 주관평가와의 상관이 높다는 것이 확인되었다.

IV. 멀미 평가방법의 개량

1. 멀미 평가와MSDV-y

진차차량은 곡선구간의 속도향상을 도모하는 데에 유력한 수단이지만, 경우에 따라서는 멀미가 지적되는 일이 있으므로 이 문제를 해소하는 것이 요망된다. 그를 위해서는 먼저 멀미를 일으키기 쉬움의 정도를 정확하게 평가하는 방법이 필요하다.

철도에서의 멀미(이하에서는 열차멀미라고 한다) 평가에는 MSDV-y라는 지표가 알려져 있다. 이 지표는 일본에서 8 선구, 14 형식의 일반철도 특급열차(그 중에 8 형식이 진차차량)로 실시한 4천 명 규모의 여객양케트 및 이와 동시에 측정된 진동데이터를 분석하여 얻어진 것이다. 이 연구에서는 차량의 각종 진동이 열차멀미에 미치는 영향은 상하진동 등에 비하여 좌우 진동의 비중이 높고, 승차감의 평가에서 지적되고 있는 롤(roll) 각속도의 영향은 그다지 크지 않은 점이 밝혀지게 되었다[☞ 참조].

그리고 배의 상하동요로 생기는 멀미(배 멀미)를 평가하

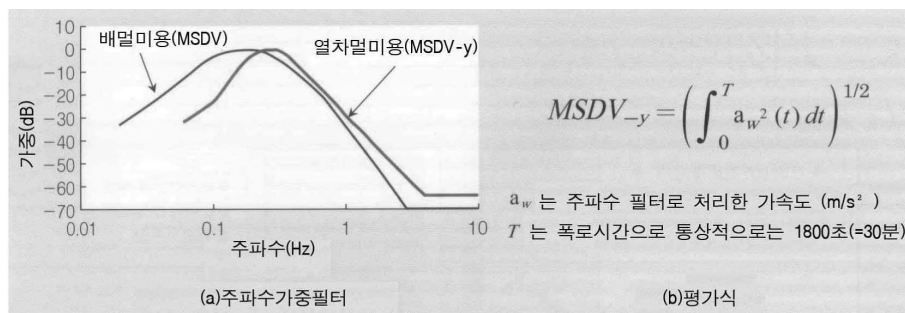


그림 5. MSDV-y를 이용한 평가방법

☞ 롤 각속도의 영향
진차차량의 승차감 평가에서는 좌우 가속도와 롤 각속도의 영향이 큰 것이 밝혀져 있다. 한편, 열차멀미에는 롤 각속도의 영향은 그다지 크지 않은 것이 밝혀져 있다.

기 위하여 개발된 지표인 MSDV (motion sickness does value ; motion sickness는 멀미, does value는 폭로 량의 의미)를 철도에 적용하기 위하여 열차의 좌우 진동용의 주파수 가중필터[참조]를 제안하였다(그림 5(a)). 이에 따라 철도차량의 좌우 진동으로부터 열차멀미를 평가하는 것이 가능하게 되었다. 이 지표는 좌우방향(여기서는 Y축 방향)의 진동에 기초하여 평가하는 것에 연유하여 MSDV-y라고 불리고 있다.

2. 열차멀미 평가의 개량 가능성

MSDV-y의 도입에 따라 열차멀미의 평가가 진행되었지만, 더욱 개량할 수 있는 가능성이 2가지 정도 고려된다.

그 하나는 좌우 진동 이외의 물리량을 평가대상으로 취할 가능성이다. 열차멀미에서 좌우 진동의 비중이 높은 것은 상기와 같지만, 그렇다고 하더라도 좌우 진동만으로 열차멀미의 모든 것을 설명할 수 있는 것은 아니다. 한편, 열차가 곡선구간을 주행할 때에는 곡선의 앞에서 일단 감속하고 곡선의 뒤에서 다시 가속하기 때문에 열차의 전후방향 가속도가 생긴다. 이러한 전후 가속도가 연속하여 일어나면, 좌우 진동의 영향과 어울려서 멀미가 조장되는 것은 아닌가라고 이전부터 말해지고 있다. 그 진위는 밝혀져 있지 않지만, 혹시 정말로 조장된다고 하면 평가대상에 전후 가속도를 추가함으로써 열차멀미의 평가 정밀도를 향상시킬 수 있다고 생각된다.

또 하나는 단시간의 진동에 MSDV-y를 적용할 수 있도록 하는 가능성이다. MSDV-y는 30분간의 진동에서 산출하는 것을 전제로 하고 있다. 이것은 멀미라고 하는 현상으로는 진동의 누적적인 영향이 큰 점에서 상기의 연구에서는 평가시간이 30분이 되도록 검토가 행하여졌기 때문이다. 그러나 진동 관리의 관점에서 보면, 30분 동안에 열차가 많은 곡선을 통과하여버리므로 문제개소를 특정하기가 곤란하게 된다. 문제개소를 특정할 수 있을 정도로 짧은 진동데이터에 적용할 수 있어 열차멀미가 일어나기 쉬운 정도를 평가할 수 있는 방법이라면, 진동 관리의 니즈에 응하는 것

이 가능하게 된다. 이러한 목적에 맞도록 단시간의 진동에 MSDV-y를 적용할 수 있도록 하는 것이 제2의 가능성이다.

그래서 이들의 2 가지 가능성을 찾기 위하여 이하의 검토를 하였다.

3. 열차멀미를 재현할 수 있는가

먼저, 준비를 위하여 행한 검토는 실내시험으로 열차멀미를 재현할 수 있는가라는 것으로 하였다. 일반적으로 실물차량 시험과 실내시험은 자전거의 양분과 같은 것으로 각각 장점과 단점이 있다. 이 연구는 시험조건의 조작성이나 재현성의 면에서 메리트가 큰 실내시험으로 행하였지만, 그 때문에 얻어진 결과가 실물차량의 현상(열차멀미)에 정합하고 있는 것을 확인할 필요가 있다.

다만, 실물차량에서 열차멀미가 발생할 확률은 결코 높지는 않기 때문에 실물차량과 완전히 같은 환경을 재현하는 것만으로는 시험의 효율이 아무래도 나쁘게 된다. 그래서 흔들림의 지속시간을 길게 하기도 하고, 피험자에게 일부러 독서하게도 하여 멀미가 일어나기 쉬운 상황을 만들어냈다. 이러한 상황 하에서 차내 쾌적성 시뮬레이터를 이용하여 좌우 가속도를 60분간에 걸쳐 피험자에게 폭로시키고 그동안 2분마다 앙케트 형식의 멀미 평가를 반복하였다.

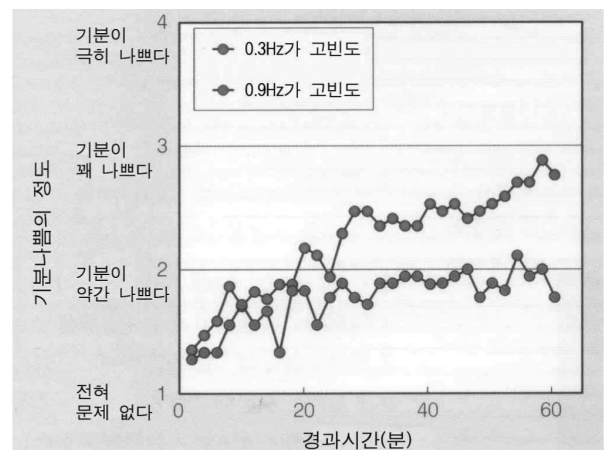


그림 6. 기분이 나쁜 정도의 시간변화

주파수 가중필터

인체에 대한 진동이나 가속도의 영향은 그 주파수에 의존하는 것이 알려져 있다. 영향이 큰 주파수의 가중을 크게 하고 영향이 작은 주파수의 가중을 작게 하도록 작성된 필터를 주파수 가중필터라고 한다.

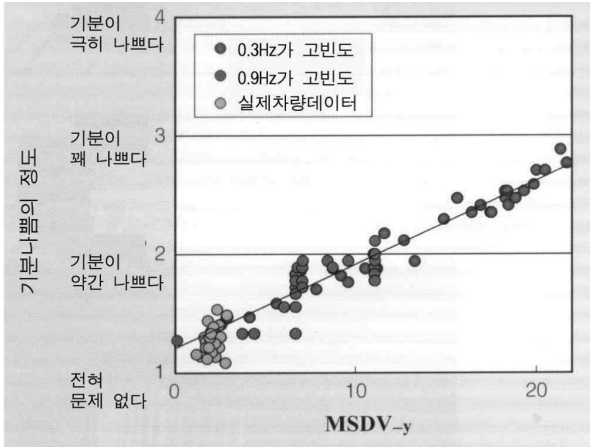


그림 7. MSDV-y와 기분이 나쁜 정도의 산포

그 결과가 그림 6이다. 열차멀미는 0.3Hz 전후의 좌우 가속도가 빈발하는 때에 일어나기 쉬운 것이 밝혀져 있지만, 실내시험에서도 마찬가지로 0.3 Hz의 흔들림이 빈발한 경우에 불쾌감의 심해짐이 현저하게 보였다.

또한, 앙케트 평가를 실시한 타이밍에 맞추어 60분까지의 임의의 시간에 MSDV-y를 산출하여 불쾌감과 대응관계를 조사하였더니 MSDV-y와 불쾌감 간에 극히 높은 상관이 보이고 게다가 실물차량으로 얻어진 데이터도 이 블록과 정합되는 것을 확인하였다(그림 7).

즉, 열차멀미의 주파수 의존성은 실내시험에서도 마찬가지로 보이고 실물차량의 조사에서 도출된 MSDV-y가

실내시험에도 잘 적합되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 점에서 실내시험에서 일어난 멀미는 열차멀미와 정합한다고 생각된다.

4. 전후 가속도의 영향은 있는가

그래서 이번에는 좌우 가속도에 전후 가속도를 복합시킨 상태로 같은 모양의 시험을 하였다.

이에 앞서 실물차량이 곡선구간을 주행하는 장면의 진동해석을 할 경우에 복수의 선구에 공통하여 많이 보인 전후 가속도의 주파수는 0.05 Hz 정도이었지만, 조금씩 감속과 가속이 반복되었다고 생각되는 선구에서는 0.1~0.2 Hz 정도의 주파수성분도 보였다.

그래서 실내시험에서는 전후 가속도의 주파수를 0.05 Hz로 한정시킨 경우와 0.1~0.2 Hz의 범위로 넓게 분산시킨 경우의 2종류의 조건을 검토하였다. 또한, 전후 가속도의 강도에 대하여도 실물차량에서 일어나는 범위로 한정된 경우(실효치는 0.51 m/s²)와 그것을 넘는 경우(실효치는 0.85 m/s²), 그리고 전후 가속도가 일어나지 않는 경우(좌우 진동만 폭로) 등 3 종류의 조건을 검토하였다.

그 결과는 그림 8과 같다. 전후 가속도의 주파수를 0.05 Hz로 한정시킨 경우는 전후 가속도가 강하게 되어도 불쾌감이 심해짐의 상태는 특별히 변하지 않았다(그림 8a). 한편, 전후 가속도가 0.1~0.2 Hz로 넓게 분산된 경우는 전후 가속도가 강하게 되면, 불쾌감의 심해짐이 현저하게 보였

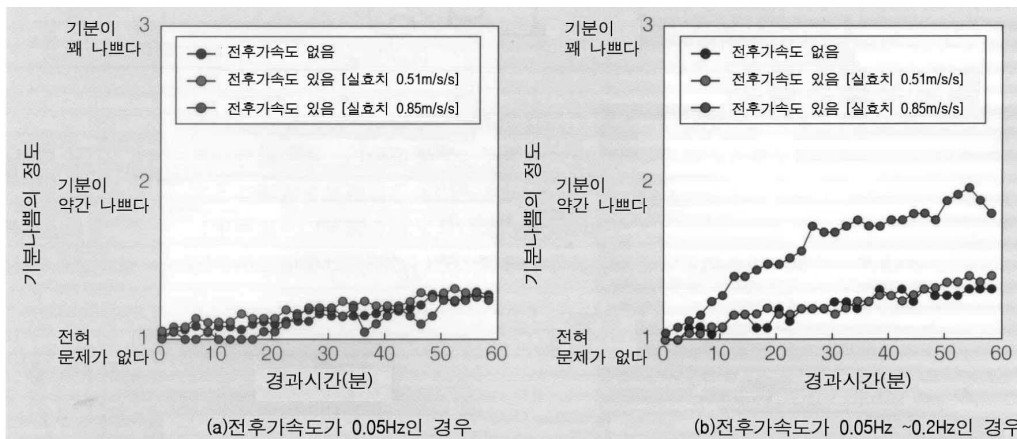


그림 8. 기분이 나쁜 정도의 시간변화

다(그림 8b). 다만, 이것은 전후 가속도의 강도가 실물차량에서 일어나는 범위를 넘는 경우뿐이며, 실물차량에서 일어나는 범위로 한정시킨 경우는 불쾌감이 심해짐의 상태에 변화가 보이지 않았다. 이 점에서 전후 가속도의 주파수나 강도에 따라서는 떨미가 조장될 가능성이 있기는 하나, 실물차량에서 일어나는 범위에서는 그 가능성이 낮다고 생각된다.

5. 단시간의 진동에 적용할 수 있는가

마지막으로 단시간의 진동에 MSDV-y를 적용할 수 있도록 하는 가능성에 대하여 논의한다.

전술한 것처럼 실내시험에서 좌우 진동을 60분간에 걸쳐 피험자에게 폭로시킨 경우에 일정시간마다 반복한 불쾌감의 평가와 이에 대응하여 산출한 MSDV-y 간에는 말끔한 선형관계가 보였다(그림 7). 이것은 바꿔 말하면 MSDV-y가 임의의 평가시간에 대하여 적용할 수 있는 것을 의미하고 있다. 불쾌감의 평가를 행한 시간의 범위는 20초~60분이므로 최단 20초에서 최장 60분까지의 임의의 시간에 MSDV-y를 적용할 수 있음이 사람에 따른 평가데이터에 의하여 뒷받침된 것으로 된다.

다음으로 진동해석 면에서의 요건을 고찰한다. 열차 떨미에는 진동의 저주파성분이 강하게 영향을 주는 것이 알려져 있으므로 가속도의 주파수에 관하여는 최저 0.05 Hz 정도까지 평가대상에 포함할 필요가 있다. 진동의 주기를 고려하면, 그를 위해서는 최저 20초간의 데이터가 필요하게 된다. 그리고 이 20초라고 하는 길이는 개개의 곡선을 완화곡선도 포함하여 평가하는 것을 고려하여도 타당하다고 생각된다.

다만, MSDV-y의 평가 식(그림 5b)에서 알 수 있는 것처럼 MSDV-y의 산출치는 평가대상 시간의 길이에 따라서 단조로이 증가한다. 그러나 진동 관리에서 궤도나 차체제어 등의 여러 가지 조건을 비교하기 위해서는 평가시간이 가지런한 쪽이 알기 쉽기 때문에 30분 이외의 평가시간에 대하여 MSDV-y를 적용하는 경우는 평가시간이 30분 상당으로 되도록 환산할 필요가 있다고 생각된다.

V. 맺음말

역의 쾌적성에는 제Ⅱ장에서 소개한 것 외에도 색채, 밝기 등 많은 요인이 영향을 준다. 또한, 근년에는 고품자나 에너지 절약에 대한 배려 등도 요구되고 있다. 이와 같은 다면적인 관점에서 쾌적한 역을 실현시킬 필요가 있다.

한편, 차내 진동에 고주파진동이 많이 포함되어 있어도 체감에 맞는 승차감 평가를 할 수 있도록 승차감레벨을 개량하였는바 이 개량방법은 일반선로와 고속선로에 사용할 수 있고 실용에서는 현행의 승차감레벨에 이용되고 있는 승차감필터를 이 개량 필터로 치환만 하여도 사용할 수 있다. 더욱이, 제Ⅲ장에서 소개한 국제규격의 가중필터와 비교하였지만, 개량 승차감필터와 주관평가 간의 상관계수는 동등하든가, 그 이상의 결과로 되었다.

열차떨미 평가방법의 개량에 대하여 2가지의 가능성을 검토한 결과, 곡선구간의 전후에 생기는 전후 가속도가 떨미를 촉진할 가능성에 대하여 부정적인 결과가 얻어졌다. 향후에 평가 정밀도의 향상을 목적으로 하면, 시각의 영향 등 진동 이외의 요인에도 눈을 향할 필요가 있다고 생각된다. 또한, 단시간의 진동에 MSDV-y를 적용할 수 있도록 하는 가능성에 대해서는 MSDV-y가 20초 이상 임의 길이의 진동에 대하여 적용 가능함이 사람에 따른 평가데이터에 의하여 뒷받침되었다. MSDV-y가 더욱 탄력적으로 적용되는 것이 기대된다. ☺

♣ 참고 문헌

- [1] M. Yamamoto, M. Ishizuki, T. Aoki : A Passenger Flow Simulation to Evaluate Ease of Walking in Station, RTRI Report, Vol 23, No. 12, 2009
- [2] C. Nakagawa, R. Shimamaune, H. Takami, K. Watanabe, Y. Yokoyama : Method of Evaluating Ride Comfort Reflecting Passengers' Subjective Sensation to High Frequency Vibration, RTRI Report, Vol 26, No. 1, 2012
- [3] H. Suzuki, H. Shiroto, K. Tezuka : Low Frequency Vibration Influencing Motion Sickness in Trains, RTRI Report, Vol 18, No. 2, 2004
- [4] Hiroaki Shiroto, Chizuru Nakagawa, Hiroaki Suzuki : Development and Utilization of Ride Comfort Simulator RTRI Report, Vol 18, No. 2, 2004
- [5] 中川 千鶴 : 高速鉄道の乗心地評価を考える. <http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0004/2010/0004005252.pdf>
- [6] 中川 千鶴; 高周波振動対する体感を反映した乗心地性価手法の改良 <http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0011/2013/0011002167.pdf>
- [7] 서사범, "철도역의 여객유동과 피난안전성 및 역사의 내진", 철도저널 Vol. 15, No. 4, pp. 27~35, 2012
- [8] 서사범, "철도의 경계문제로서 진동승차감의 이해", 한국철도학회지 Vol. 11, No. 3, pp. 72~80, 2008