

생체신호 기반의 틸팅 열차 승차감 평가 방법 연구

이영범, 신광수, 송용수*, 한성호*, 이명호
연세대학교, *한국철도기술연구원

Ride comfort Evaluation based on Bio signal Analysis for Tilting Train

Youngbum Lee, Kwangsoo Shin, Yongsoo Song*, Sungho Han* and Myoungho Lee
Yonsei University, *Korea Railroad Research Institute

Abstract - 기존 열차 승차감은, 주행중인 철도차량에서 승객이 느끼는 진동에 대하여 쾌적함의 정도라고 정의할 수 있으며, 기존 열차 승차감 기준으로는 ISO규격, Wz 평가법, UIC규격, KS규격 등이 있다. 기존의 열차 승차감 기준은 진동, 속도, 노이즈 등 기계적 요소만을 고려하므로, 승객이 느끼는 쾌적함을 평가하기에 한계가 있으며, 특히 곡선부 승차감을 평가하지 못하는 문제점이 있으므로, 틸팅열차의 승차감을 평가하는데 어려움이 있다. 생체 신호를 기반으로 한 열차 승차감은, 기계적 요소들이 승객에게 미치는 영향이 심박, 혈압, 체온 등의 변화로 나타나므로, 이러한 생체 파라미터를 이용하여 열차 승차감을 평가하는 것이다. 특히 틸팅열차의 곡선부 운행에 따른 틸팅 정도에 따라 발생하는 승차감의 변화를 측정하는데 적합하다.

1. 서 론

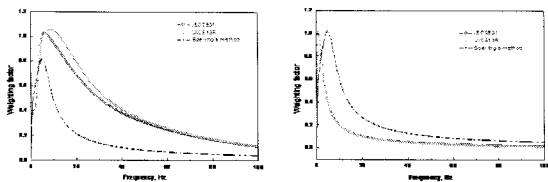
철도에서 승차감이란 주행 중인 차량에서 승객이 느끼는 쾌적함을 말한다. 넓은 의미로서는 승객에 미치는 차내의 진동, 소음, 온도, 습도, 조도, 개인 공간, 좌석의 질감, 천장의 높이, 전망, 통풍의 모든 요소가 승차감을 종합적으로 고려하여 승객의 쾌적성을 평가한다. 하지만 모든 요소를 객관적으로 평가할 수 없기 때문에 좁은 의미로서의 승차감으로서 일반적으로 진동 요소만을 고려한다. 본 연구에서는, 기존의 기계적인 진동 요소만을 고려하는 방법에 대한 대안으로서, 탑승자의 생체 신호를 이용하여, 열차의 승차감을 평가하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 철도 승차감 평가 연구

기존 열차 승차감은, 주행중인 철도차량에서 승객이 느끼는 진동에 대하여 쾌적함의 정도라고 정의할 수 있으며, 기존 열차 승차감 기준으로는 ISO규격, Wz 평가법, UIC규격, KS규격 등이 있다. 기존 열차 승차감 평가법은 주파수 보정된 진동 가속도를 이용하여 승차감을 평가하는 것이며 각 기준마다 평가 주파수 대역이 다르다. 예를 들어, ISO 규격은 0.5-80 Hz, Wz 평가법은 0.5-30 Hz, UIC 규격은 0.4-80 Hz이다. 동일 크기의 강도를 갖는 진동이 인간에게 작용하였을 때에 인간이 느끼는 감응은 진동 주파수에 따라 차이를 나타내며, 이를 합수화시킨 것이 주파수 보정곡선이다.

- ISO 규격 : 수직방향과 수평방향에 대해 4~12Hz와 0.6~2Hz에서 빈감
- UIC 규격 : 수직방향 4~16.5Hz에서, 수평방향 0.6~2Hz에서 빈감
- Wz 방법 : 수직방향과 수평방향에 대해 모두 3~7Hz 부근에서 빈감



<그림 1> 주파수 보정 곡선

대표적인 열차 승차감 기준인 UIC 규격의 경우, 3축(x, y, z 방향)에 따른 해당 가속도 값의 가중치를 승차감 지수로 정의하고, 그 값의 크기에 따라 '매우 안락함'에서부터 '매우 안락하지 않음'까지 5단계로 평가하고 있다.

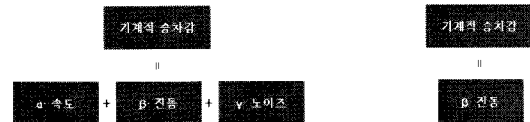
<표 1> UIC 규격

승차감 지수 N	평가
N < 1	매우 우수
1 < N < 2	양호
2 < N < 4	보통
4 < N < 5	조금 불편함
N > 5	불편함

기존의 열차 승차감 기준은 진동, 속도, 노이즈 등 기계적 요소만을 고려하므로, 승객이 느끼는 쾌적함을 평가하기에 한계가 있으며, 특히 곡선부 승차감을 평가하지 못하는 문제점이 있으므로, 틸팅열차의 승차감을 평가하는데 어려움이 있다.

기계적 승차감

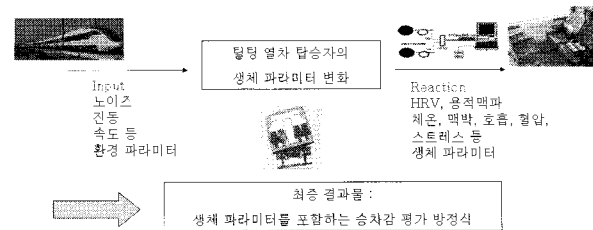
- * 기계적 승차감을 평가하는 요소로는 속도, 진동, 노이즈 등이 있으며 다음과 같은 식에 의해 승차감을 평가한다.
- * 현재 철도 승차감 평가방법에는 진동만을 고려



<그림 2> 기계적 승차감

2.2 생체 파라미터를 이용한 승차감 평가방법 제시

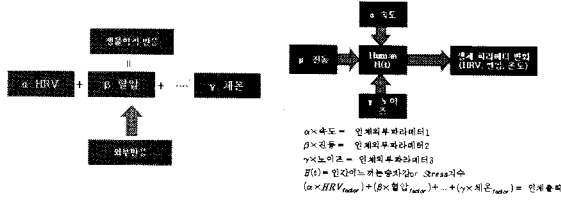
생체 신호를 기반으로 한 열차 승차감은, 기계적 요소들이 승객에게 미치는 영향이 심박, 혈압, 체온 등의 변화로 나타나므로, 이러한 생체 파라미터를 이용하여 열차 승차감을 평가하는 것이다. 특히 틸팅열차의 곡선부 운행에 따른 틸팅 정도에 따라 발생하는 승차감의 변화를 측정하는데 적합하다.



<그림 3> 생체 파라미터를 이용한 승차감 평가방법

생물학적 승차감

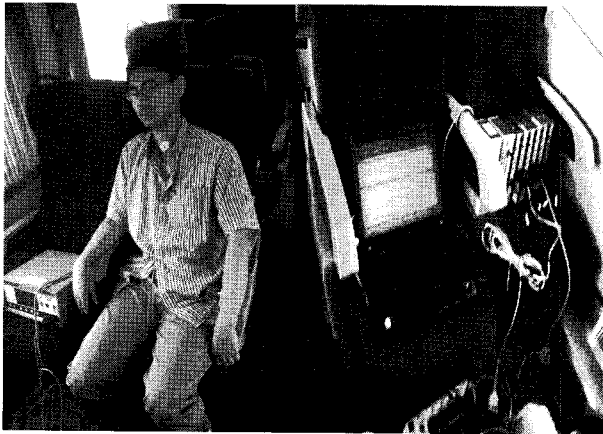
- 생물학적 승차감은 기계적인 요소에 생물학적인 반응 상태를 반영한다. 생물학적 반응으로 HRV(Heart Rate Variability), 혈압, 인체 온도 등이 있을 수 있으며 다음과 같이 표현할 수 있다.
- 생물학적 승차감의 기본원리는 외부입력에 따라 생체 파라미터가 변하는 원리로
- 인간의 느끼는 고통 시스템을 정의



〈그림 4〉 생물학적 승차감

2.3 실험 방법 및 분석 결과

본 연구에서는, 틸팅 열차 탑승자에 대해서 ECG, GSR 및 EMG 신호를 측정 및 분석하여, 열차 탑승 시간에 따른, 흥분성, 각성도 및 근피로도를 추정하였다.



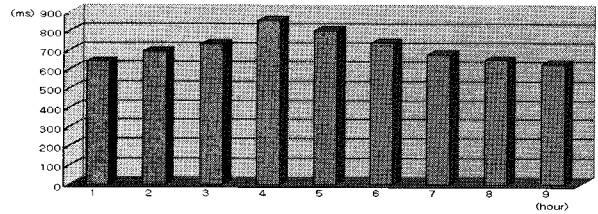
〈그림 5〉 측정자 및 장비 셋팅

2.3.1 실험 방법

- ECG 상의 RR 간격 및 흥분성 평가방법
인체의 심장 박동수는 신경계로부터의 교감, 및 부교감의 길항작용을 바탕으로 조절되며 따라서 ECG상의 RR간격을 측정하는 것은 승차감에 있어서 인체의 흥분 상태를 알 수 있는 중요한 요인이 된다.
- GSR 및 각성도 평가 방법
GSR은 활동적인 GSR에 대한 측정된 저항을 갖고 신체를 통과 시키는 것 과 수동적인 GSR에 대해 몸 자체 측정된 신체에 의해 생성시키는 것 2가지가 있다. GSR을 통한 인체 각성 정도는 일정 구간의 이벤트수와 면적 (peak까지의 삼각형의 면적)의 합을 통하여 각성 정도를 판별할 수 있다.
- EMG 및 근피로도 평가 방법
EMG는 표면 근전도로 한 근육을 구성하는 많은 Motor Unit들의 활동전위(MUAPs)들을 합한 결과이다. EMG를 이용하여 근육의 피로도를 측정하기 위해서는 일반적으로 진폭이 증대되며, 주기가 연장된다. 주파수적 측면에서 본다면 기존의 정상상태보다 저주파성이 증가하게 된다. 이는 시계열적 측면에서 zero crossing 횟수와 평균 신호 크기를 통하여 분석할 수 있다.

2.3.2 분석 결과

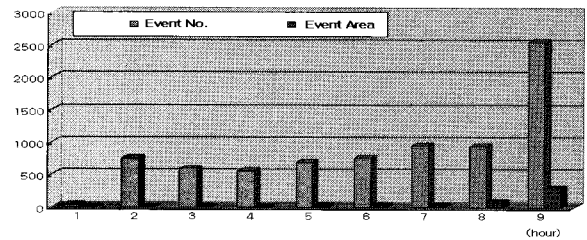
- 시간에 따른 경향성 파악
동일한 실험환경과 조건 대상으로 6일 동안의 실험을 통해서 종합적으로 분석하였다. 측정된 ECG, EMG, GSR 데이터를 모두 1분 단위로 분할하였고 1시간씩 통합하여 하루 9시간의 데이터를 분석하였으며 측정기간 6일의 데이터를 통하여 각 생체 파라미터의 시간에 따른 경향성을 파악하였다.
- ECG의 RR 간격을 통해서 본 인체 신경계의 변화
RR간격은 증가하다가 감소하는 추세를 보였다. 보통의 건강한 사람이 700~800ms의 RR 간격을 보이는 것을 감안할 때, 승차 후 3.5~4.5시간이 될 때까지 안정성을 찾아가는 경향을 보인다. 본 인체 모델의 경우 승차 후 3.5~4.5시간이 지나게 되면 RR 간격이 줄어들어 인체 자체는 교감신경의 영향을 더 크게 받고 있음을 알 수 있다.



〈그림 6〉 평균 RR 간격 그래프

(3) GSR을 통한 각성도 변화

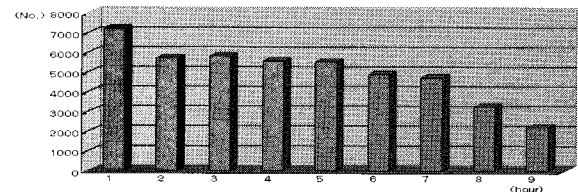
GSR은 수동적인 GSR의 의미만을 고려 하였으며 이벤트 개수와 이벤트 측정면적은 승차 후 8~9시간 정도부터는 아주 민감한 반응을 보이는 것으로 나타났다. 이벤트의 개수도 50배 이상 이벤트 측정 면적은 1500배 정도 증가하였다. 본 인체 모델의 경우 GSR의 수치를 통해서 본 각성도는 8~9시간이 지난 후부터 급속히 증가하며 예민해지는 경향성을 가지고 있다.



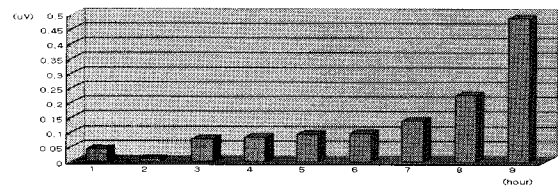
〈그림 7〉 GSR의 이벤트 개수 및 총 면적 그래프

(4) EMG를 통해 알아본 하지 근육 근피로도

EMG는 저주파성 파악을 위한 Zero Crossing의 개수와 신호의 크기를 측정하였으며 승차 시간이 길어질수록 Zero Crossing의 개수가 줄어드는 경향을 보였다. 또한 평균 크기는 증가하여 제시된 이론의 결과 대로 근피로도가 증가하는 경향을 보였으며 Zero Crossing의 개수는 선형적 감소 추이를 보이는 반면 크기의 측면에서 볼 때 각성도가 증가하는 시점인 8~9시간에 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.



〈그림 8〉 EMG의 Zero Crossing 개수 그래프



〈그림 9〉 EMG의 크기 그래프

3. 결 론

본 연구에서는 생체신호 기반의 틸팅 열차 승차감 평가를 위한 기초적인 실험 방법 및 분석 결과를 제시하였다. 향후 지속적인 열차 탑승 실험 및 피험자수를 확대하여 생체신호 기반의 틸팅 열차 승차감 평가 기준을 마련하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y.G. Kim, et al., "Correlation of Evaluation Methods of Ride Comfort for Railway Vehicles", Proc. Instn. Mech. Engrs(IMechE), Vol. 217 Part F, 2003
- [2] Suzuki, H., et al., "Research Trends on Riding Comfort Evaluation in Japan", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 212 Part F, 1998,
- [3] Griffin, M. J., "Handbook of Human Vibration", Academic Press, 1990.
- [4] Johan Forstberg, "Ride comfort and motion sickness in tilting trains" TRITA-FKT Report 2000, 2000