Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 4 pp.129-135, November 2006

열차 시뮬레이터 조작 시 운전자의 생체신호 변화에 대한 연구

장혜연[1] · 장재호[1] · 김태식[1] · 한창수[2] · 한정수[3] · 안재용[4]

[1]한양대학교 기계공학과 / [2]한양대학교 기계공학과 / [3]한성대학교 기계시스템공학과
/ [4]성균관대학교 의과대학 삼성제일병원

A Study on Driver's Physiological Response in Train Simulator

Hye Yoen Jang[1], Jae Ho Jang[1], Tea Sik Kim[1], Chang Soo Han[2], Jung Soo Han[3], Jae Yong Ahn[4]

[1]Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791
[2]Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791
[3]Department of Mechanical Engineering, Hansung University, Seoul, 136-792
[4]Samsung Cheil Hospital(Dept of Orthopedic Surgery).
School of Medicine, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

ABSTRACT

he purpose of this study is to measure bio-signal to investigate the driver's physiological response change under real situation using train simulator. The train simulator used in this study is KTX model and according to changes of driving situation, The bio-signal controlled by autonomic nervous system, such as GSR(Galvanic Skin Response), SpO_2(Saturation percent O_2), HR(Heart Rate), ECG(Electrocardiograph), EEG(Electroencephagram) and movement and response of eye were measured. Statistically significant difference in bio-signal data and eye movement activity pattern were investigated under several different driving speeds using analysis of variance (p<0.05). The GSR and HR value measured in average and mission speed operation is higher than in high-speed operation. β wave of EEG in average speed operation become more activated than in high speed operation. In accordance with a characteristic of rail vehicle, movement and response of eye in high-speed operation requiring relatively simple maneuver become less activated than in either average or mission speed operations. Conclusively, due to more careful driving controls in average and mission speed operation are required than in high-speed operation, level of mental and physical stresses of train driver was increased and observed through changes of bio-signal and eye movement measured in this study.

Keyword: Simulator, Biosignal, ECG, EEG, GSR, SpO_2, Perclos

*본 연구는 2006년도 건설교통부 철도종합안전기술개발사업 지원과제임.
교신저자: 한창수
주 소: 426-791 경기도 안산시 상록구 사1동 1271, 전화: 031-400-4062, E-mail: cshan@ihanyang.ac.kr

1. 서 론

최근 고속열차의 도입과 함께 열차의 속도가 300km/h에 달하는 등 고속화 되어가면서 운행시간이 매우 짧아져 승객에게 편의를 제공하고 있다. 하지만 고속열차는 사고가 일어날 경우 대형사고로 이어질 수 있다. 또한 열차사고도 자동차사고처럼 운전자의 과실에 의한 사고를 무시할 수 없다. 실제 우리나라 철도직원의 직무사고는 10년간 총 741건 중 규정위반 등 본인 부주의 90%(667건), 외부요인 6%(44건), 근무환경 4%(30건)순으로 발생하였다.

본 연구는 열차사고의 90% 이상이 본인 부주의에 의한 사고이므로 열차운행속도에 따른 운전자의 각성상태와, 졸음 정도를 생체신호를 이용하여 측정하고, 연구하였다. 이와 같은 원인에 의한 운전자 과실의 경우 신호 등 지시의 오인, 기기 오작동, 고장에 대한 대처미흡, 졸음운전 등으로 이어질 수 있다.

사고의 최종 원인자인 운전자에 대한 연구가 자동차의 경우 활발히 진행되어 왔으며 많은 보고서들이 발표되고 있지만 열차에 관한 연구는 자동차에 비해 많이 진행되지 않고 있다.

열차 안전사고의 경우 실제 열차에서의 실험에 많은 위험이 따르므로 열차 시뮬레이터를 이용하여 실제로 속도를 조절해가며 운전을 하는 시뮬레이션 방식으로 실험하였다. 시뮬레이터는 실제 상황과 유사한 환경을 제공하여 주며 다양한 응급 상황을 시간과 공간의 제약에 구애 받지 않고 구현해 줄 수 있다.

이러한 시뮬레이터를 이용한 실험 결과는 실차 제작 시 안전시스템 개발 및 개선에 사용된다. 특히 운전자의 생리학적 반응에 대한 변화를 정량적으로 측정하여 생리학적 작업부하를 판단함으로써 기관사를 포함한 전체 열차시스템의 안전 점검 및 개선에 사용될 수 있다.

운전자의 작업 부하를 판단할 수 있는 생체신호는 EEG (Electroencephagram), ECG(Electrocardiograph), EMG (Electromyogram), EOG(Eletrooculomotorgraphy), SKT (Skin Temperature), GSR(Galvanic Skin Response), PPG(Peripheral Photoplethysmogram) 등이 있다. 여러 생체신호 중에 외부자극에 대하여 발생하는 중추신경계, 특히 인간의 감성에 따르는 자율신경계와 연관이 많은 생체신호로 EEG, ECG, GSR 등이 있다.

혈중 산소 포화도를 뜻하는 SpO_2의 경우 95~98%가 건강한 일반인의 수치이며 95% 이하가 되면 인지능력이 다소 감소하게 되고, 90% 이하가 되면 저산소증으로 처음에는 호흡곤란으로 나타나다가 점차 다른 인체의 장기에 영향을 줄 수 있다. 또한 뇌에 산소가 부족하게 되어 쉽게 피곤하고, 집중력이 떨어지며, 기억력이 감소하여 결국 일의 능률을 떨어트린다.

GSR은 종래 불안과 스트레스 연구에서 사용되어 왔으며, 거짓말 탐지방법의 한 가지로 사용되기도 한다. 교감신경계 자극에 반응하는 한선(Sweat gland)의 활동은 전도성을 증가시킨다. 그런데 교감신경계 활동과 정서적인 각성 사이에는 밀접한 관련이 있다. 그러므로 생리학적으로는 한선의 활동과 교감신경계의 변화를 반영하는 지표가 된다.

EEG는 뇌의 대뇌피질에서 나온 미약한 전기활동을 기록한 것을 말한다. 뇌파를 관찰할 때 그 주파수와 진폭에 따라 분류하기도 한다. δ파의 경우 0.5~4Hz 사이의 파를 말하며 깊은 잠이나 혼수상태에서 나타난다. 이와 같은 δ파 상태에서 많은 양의 성장호르몬이 나오기도 한다. θ파는 4~8Hz 사이의 파를 말하며 꾸벅꾸벅 졸거나 잠들었을 때에 나타나는 파형이다. α파의 경우 스트레스 없이 명상같이 편안한 상태를 말하며 몸이 이완되고, 의식이 높고 몸과 마음이 조화를 이루었을 때 나타나는 파형이다. 끝으로 β파는 우리가 일상생활을 할 때 활성화 되고, 그에 따라 운동력 향상에 도움을 주기도 하지만, 이 상태가 지속되면 초조해지고 학습 효율이 저하된다.

우리가 적당히 긴장한 상태에서 활성화 되기도 하는 β파는 지나치게 긴장할 경우 빠른 β파로 전환이 된다. 스트레스가 지속되면 암, 위궤양, 면역기능 저하, 고혈압 당뇨 등 각종 성인병에 걸리기가 쉬운 것이다. 그러므로 β파를 줄이고 α상태를 만들어 주어야 질병을 예방하고 건강을 유지할 수 있다.

자율신경계에 의한 생체반응을 이용한 작업 부하 측정은 자동차 분야에서 활발히 연구되고 있다. DE Waard와 Brookhuis[1993], 김정룡[1999] 등의 많은 학자들은 고속주행 시 운전자의 생체신호를 측정하여 운행환경(속도)에 따라 운전 작업 부하가 얼마나 민감하게 반응하는지 조사하였다. 본 연구에서는 열차 시뮬레이터를 이용하여 각 주행상황에 따른 운전시 운전자의 생체신호(ECG, EEG SpO_2, GRS, HR)와 안구 운동도(Perclos)를 측정하였다. 이를 통하여 운전환경에 따른 기관사의 생체신호 변화를 비교함으로써 열차 안전 운전시스템 개발을 위한 기초 데이터를 제공하려 한다.

2. 연구 방법

실험은 신체 질환이 없는 건강한 20대 남성을 대상으로 하였다. 특히, 열차 시뮬레이터를 능숙하게 사용할 수 있는 사람을 선정하여 시뮬레이터 조작 미숙에 의해 결과에 영향

을 받지 않도록 실험하였다. 또한, 확실한 기저상태에서의 측정을 위하여 실험 전 충분한 휴식과 동시에 자율신경계에 영향을 미칠 수 있는 흡연, 음주, 운동은 삼가도록 주의를 주었다.

그림 1. 피험자의 생체신호 측정을 위한 전극부착

실험 시 사용된 생체신호 측정장비는 SpO_2, GSR, HR, EEG를 측정하기 위하여 Biopac System사의 Biopac MP-100 series를 사용하였으며, ECG 측정을 위해서는 NIHON KOHDEN사의 Cardiofax를 사용하였다. 또한 Perclos 측정을 위해서 Seeing Machine사의 비전을 이용한 FaceLAB을 사용하였다. 분석을 위한 소프트웨어는 각 장비에서 제공하는 Acqknowledge ver 3.8.1과 ECG Viewer II, FaceLAB 소프트웨어를 사용하였다. 열차 시뮬레이터는 Microsoft Train Simulator를 사용하였다.

2.1 실험 과정

열차 시뮬레이터를 조작하기 전 기저상태 측정을 위하여 전극 부착 후 전극의 정확성과, 피 실험자의 안정상태 확보를 위해 10분의 휴식시간을 가졌다. 실험환경은 실내온도 섭씨 22℃와 습도 40%를 유지하였으며, 전극은 그림 1과 같이 ECG 측정을 위해 손목과 발목에 사지유도를 위한 전극을 부착하고, 흉부유도를 위해 6개의 전극을 흉부에, EEG 측정을 위해서는 β파가 주로 나타나는 전두부 부분의 신호를 측정하기 위하여 피험자의 이마에 전극를 부착하였다. 뇌파는 512Hz로 샘플링 하였으며, 분석은 측정 소프트웨어를 이용하였다. 또한 GSR의 측정을 위해 왼손검지와 중지에

그림 2. Train Simulator 의 KTX 조종실 화면

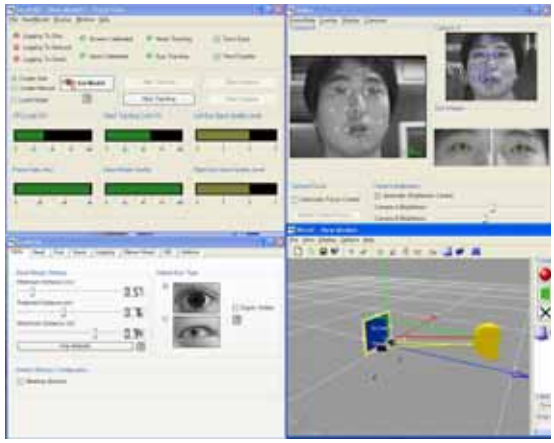

그림 3. Perclos 측정 소프트웨어(FaceLAB) 화면

그림 4. 생체 신호 측정을 위한 실험 순서

평균속도운행 : 한국 KTX의 평균시속인 250~270km/h의 속도를 유지
고속운행 : 300km/h 이상의 속도로 운전
미션수행 : '철로 별 규정속도를 숙지하라' 라는 미션이 주어졌을 경우

그림 5. 본 연구에서 사용된 속도 별 정의

전극을 부착하였고, HR과 SpO_2의 측정을 위해서는 왼손약지에 집게형태의 전극를 부착시켰다. 가급적 오른손은 자유롭게 하여 열차를 운행하는 동작에 의한 영향을 작게 받도록 실험하였다. 열차 시뮬레이터를 평균시속운행과 고속운행 및 미션수행운행 등으로 나누어 시뮬레이터 별 각 10회

씩 20초간 실험을 실시하였다. GSR의 경우 피 실험자의 적응반응에도 영향을 받기 때문에 목표한 속도가 되었을 경우부터 20초간 짧게 측정하여 적응반응에 대한 영향을 배제하였다.

2.2 실험 데이터 분석

일반적으로 생체신호는 개인적 차이에 따른 특성 때문에 정규화 과정을 거쳐야 분석의 신뢰도를 높일 수 있다. 하지만 본 실험에서는 절대적인 수치가 아닌 변화의 양상만을 확인하기 위함으로, 한명의 피 실험자를 여러 번 측정하였다.

한명의 피 실험자를 대상으로 하였으므로 정규화 과정을 하지 않고 절대적인 SpO_2, HR, GSR, EEG, ECG 수치의 변화를 유의수준 0.05의 분산분석을 통해 신뢰성 검토 후 결과를 비교하였다. 안구 운동은 Perclos를 측정하여 데이터간의 절대치를 비교, 분석하였다.

3. 연구 결과

3.1 SpO_2

그림 6에서는 각 변인별 SpO_2의 평균 및 표준편차를 보여주고 있다. SpO_2의 경우 일반적 정상치인 95~98%안에 들어 있으며 기저치를 제외한 각 변인에 따른 유의성도 찾기 힘들었다. 기저치에 비해 평균시속운행 시 SpO_2 수치가 증가하였고, 고속운행 시와 미션수행운행 시에도 기저에 비해 수치가 증가하였지만 분산분석 결과 유의하게 증가하지는 않았음을 알 수 있었다(p>0.05). 즉, SpO_2의 경우, 기저치에 비해 기차운전 시 SpO_2가 증가하였지만, 그것은 안정상태보다 작업을 할 경우 어느 정도의 활동성이 생김에 의한 작은 변화라고 할 수 있을 것이다.

오히려 평균시속운행 시나 고속운행 시 등 운행환경에 의해서 영향을 받지 않으므로, 운행속도에 의한 작업 부하나 스트레스 보다는 주변 대기환경에 영향을 받아 변화가 생겨, 일정한 공간에 있는 시뮬레이터에서는 큰 변화가 없음을 예측할 수 있다.

표 1. 각 운행속도 별 SpO_2의 평균과 표준편차

SpO_2 (%)	기저	평균속도주행 (250km/h)	고속주행 (300km/h 이상)	미션주행 (구간규정속도)
평균	96.3	96.6	96.6	96.8
표준편차	0.27	0.12	0.10	0.20

시뮬레이터 실험에서는 실제 운행 시처럼 대기환경을 조성할 수 없었지만 실제 열차운행 시는 매연 등 CO를 많이 흡입할 경우 SpO_2가 더 떨어지는 영향을 받을 것이다.

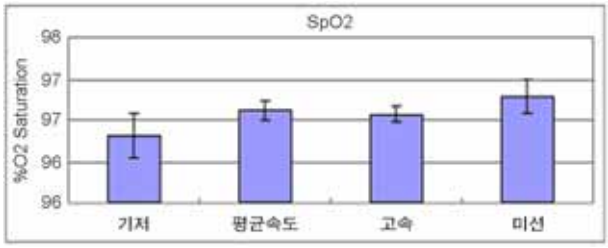

그림 6. 각 운행속도 별 SpO_2의 평균과 표준편차

3.2 HR

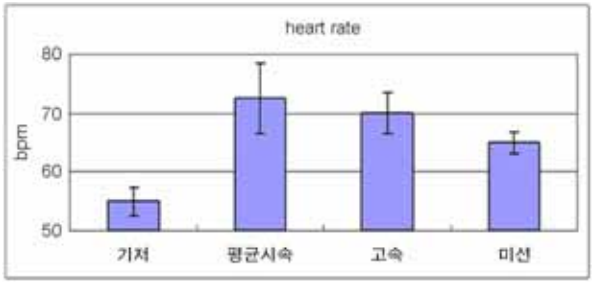

그림 7. 각 운행속도 별 HR의 평균과 표준편차

표 2. 각 운행속도 별 HR의 평균과 표준편차

HR (bpm)	기저	평균속도주행 (250km/h)	고속주행 (300km/h 이상)	미션주행 (구간규정속도)
평균	54.93	72.44	69.85	64.87
표준편차	2.33	5.97	3.56	1.69

HR는 기저상태보다 평균시속운행 시와 고속운행 시, 미션수행운행 시 모두 유의하게 증가하였다(p<0.05). 하지만 SpO_2와 마찬가지로 기저치에 비해서는 모두 유의하게 증가하였지만 속도차이에 의한 HR수치의 차이는 유의하게 크지 않았다(p>0.05).

3.3 GSR

GSR은 다른 생체신호에 비하여 교감신경계의 반응에 가장 민감하게 반응하는 생체신호다. GSR의 경우, 기저치에 비해 평균시속운행의 경우, 고속운행의 경우 그리고 미션수행운행의 경우에도 유의하게 GSR수치가 증가함을 알 수 있었다(p<0.05). 열차의 평균시속운행 시와 고속운행 시 GSR 수치를 비교해 보았을 때 유의하게 평균시속운행일 경

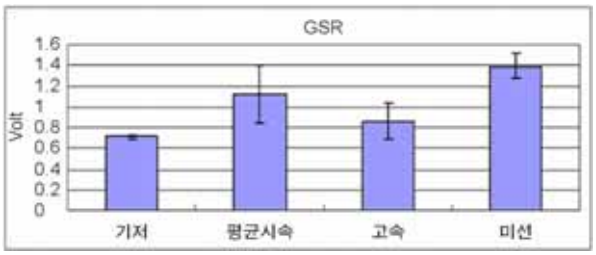

그림 8. 각 운행속도 별 GSR의 평균과 표준편차

우가 고속일 경우보다 오히려 GSR의 수치가 높아짐을 알 수 있다(p<0.05). 그리고 평균시속운행 시와 미션수행운행 시의 유의한 차이는 없다고 할 수 있었다(p>0.05). 평균시속주행을 할 경우보다 열차의 고속주행 시 오히려 긴장감이나 운전자의 각성 정도, 작업 부하 등이 감소한다는 결과이다.

3.4 ECG

표 3. 각 운행속도 별 ECG각 interval의 평균과 표준편차

ECG(ms)	PR Int.	QRS Int.	QT Int.
기저군	150.2	87.6	425.2
평균속도주행 (250km/h)	151.4	87.6	387.8
고속주행 (300km/h 이상)	149.8	86	392.2
미션주행 (구간규정속도)	150.4	86.6	383

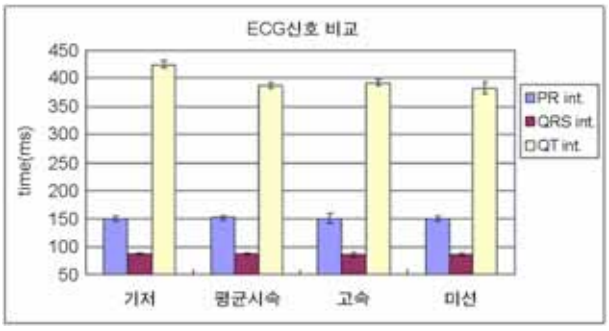

그림 9. 각 운행속도 별 ECG 평균과 표준편차

임상에서 부정맥 등의 이상적인 심장활동을 진단하는 주요 생체신호인 ECG는 PR interval, QRS interval, QT interval 등의 결과로 분석한다. 기저치보다 시뮬레이터 운행 시 QT interval의 경우만 조금씩 빨라짐을 알 수 있었지만 본 실험에서의 결과는 각 변인 별 변화에 따른 유의성을 찾을 수 없었다(p>0.05).

3.5 EEG

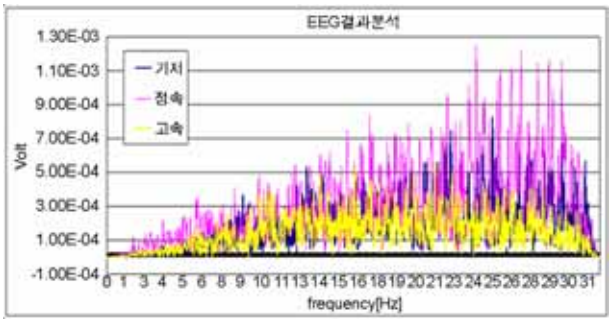

그림 10. 속도에 따른 EEG 활성화 상태

EEG의 경우 앞의 GSR, Perclos와 같은 결과를 유의하게 나타내었다.

측정된 뇌파 중, 사람이 활발하게 활동할 때, 주로 나타나는 생체신호인 β파를 분석하기 위해 time domain으로 측정된 것을 다시 frequency domain으로 변환하였고, β파가 어느 정도 활성화 되어있는지 그 정량적인 양을 분석하여 분산분석을 통해 증명하였다.

측정 결과 평균시속주행의 경우 기저에 비해 크게 β파가 활성화 되는 경향을 알 수 있었고, 고속주행의 경우는 기저치와의 유의성이 발견되지 않았다. 그러므로 평균시속운행을 할 경우가 고속주행을 할 경우보다 β파가 지속적으로 활발해져 운전자에게 피로감을 준다는 것을 알 수 있었다.

처음 어느 시기까지의 β파는 졸음을 없애고, 활동성을 증가시켜 주지만, 열차운행처럼 장시간 지속적으로 β파가 활성화 된다면, 피로가 급격히 쌓이게 될 것이다.

그림 11. 각 운행속도 별 EEG값의 비교

3.6 Perclos

Perclos는 일반적으로 인체 피로 정도를 나타내는 지표

로 식(1)과 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$P=\frac{\sum d(c)}{w} \quad (1)$$

$d(c)$: *duration*
w: *size of time window*

표 4. 각 운행속도 별 Perclos의 평균

Perclos (%)	평균속도주행 (250km/h)	고속주행 (300km/h 이상)	미션주행 (구간규정속도)
평균	0.047	0.31	0.03

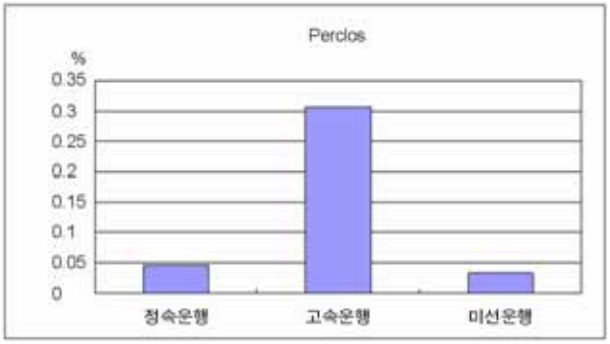

그림 12. 각 운행속도 별 Perclos값의 비교

p는 Perclos이며, 1분간 눈동자의 70~80% 이상 눈꺼풀에 의해 덮인 시간을 백분율로 나타낸다. 그림 12는 각 운행속도 별 Perclos를 나타낸다. Perclos는 평균시속운행과 미션수행운행과 같은 경우에는 0.05% 미만으로 낮은 눈의 피로도를 보였으나, 고속운행일 경우 Perclos가 0.3% 이상으로 높아짐을 알 수 있다(p<0.05).

이는 고속주행 시 평균시속주행 시보다 더 졸음 또는 피로함을 많이 느낀다는 것이다.

4. 결론 및 검토

본 연구에서는 열차 시뮬레이터 조작에 따른 운전자의 생체신호 및 안구 운동에 대하여 실험하였다. 본 실험 결과는 열차의 운행속도 및 조작 차이로 인한 생체신호 및 안구 운동의 차이를 확인하였다. 분석 결과, 열차는 출발 시 많은 확인 작업이 필요하며 평균시속주행을 하기 위해서는 지속적인 주의와 운행조작을 요함으로 HR와 EEG, GSR이 기저치에 비해 확연히 증가함을 알 수 있었다.

하지만 고속의 경우에는 운전자의 조작이 거의 없고, 특히 궤도 차량의 특성에 따라 속도만 계속적으로 올려주면 되어 별다른 조작이 필요 없다. 또한 운전 시 앞으로 내다보이는 장면이 거의 유사함으로 주의력 감소로 인하여 오히려 GSR은 감소하며 EEG는 β값이 평균시속주행일 경우보다 오히려 활성화 정도가 떨어지게 되며, Perclos는 증가함을 확인하였다. 그러므로 평균시속운행 시보다 고속운행 시 속도는 많이 빠르지만 조작이 간단하다는 점과 철도 레일이 대부분 직선이라는 점에서 기관사의 긴장감이나 민감도가 오히려 더 떨어지고 그에 따라 졸음이 많이 오고 눈꺼풀이 많이 감기는 등 피로가 더 쌓인다는 것을 실험 결과를 통해 알 수 있었다. 또한 평균시속운행의 경우와 미션수행운행의 경우 유의한 GSR 수치의 변화가 없다는 결과가 나왔다. 이는 평균시속운행속도를 KTX의 평균운행속도로 가정하였고, 각 미션운행 시 주어지는 철로구간마다의 규정 속도 역시 평균시속운행 시의 속도와 크게 다르지 않았다는 점에서 비롯되었을 것이다. 또한 두 개의 변인 모두 주어진 속도에 맞추어 일정속도를 유지하는 운전을 해야 하는 비슷한 운전조작이 있었다는 점도 위와 같은 결과를 뒷받침해준다.

결과와 같이 생체신호 및 안구 운동을 통하여 열차의 운행 시 열차속도에 따른 기관사의 생체반응은 자동차 등의 다른 교통수단과 다르게 궤도차량의 특성에 따른 분명한 차이가 있음을 알 수 있었다. 기존의 열차차량이 아닌 자동차 운전시 생체신호를 통한 운전자의 심리, 생리상태를 측정하였을 경우, 많은 연구에서 속도가 증가 할수록 운전자의 각성상태가 증가함이 뚜렷한 경향과 반대되는 결과라고 할 수 있다. 그러므로 그 동안 많은 연구가 진행되어 온 자동차 안전 측정 시스템과는 다른 열차 특성에 맞는 안전시스템 개발이 필수적이라 사료된다. 앞에서 언급한 것처럼 이 연구는 절대적인 수치에 대한 분석에 관한 것 보다는 환경변화에 따른 생체신호의 변화의 가능성에 대한 연구로, 신호의 변화가 뚜렷하게 나타나는 신호들을 이용해 여러 가지 안전시스템을 구축하는데 이용되는 것에 목적이 있다. 그러므로 다른 피험자의 경우, 변화하는 생체신호의 경향은 사람마다 다를 수 있다. 하지만 환경 변화에 민감하게 반응하는 생체신호들에 대한 정의가 확실하게 된다면, 그러한 점을 이용하여 운전자의 안전시스템을 구축하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 저자는 추후 좀 더 현실감 있는 열차 시뮬레이터에서의 보다 많은 피험자를 대상으로 다양한 실험을 하여 데이터의 객관성을 확보하려 한다.

참고 문헌

정순철, 이현정, 민병찬, 김승철, 안정상태에서 외부의 산소공급에 따른 혈중산소포화도, 심박동율, 피부전도도의 변화, *한국감성공학회 추계 학술대회 논문집*, 71-73, 2003.

김상균, 민병찬, 정순철, 민병운, 오지영, 김유나, 신정산, 김철중, 박세진, 급출발, 급제동에 따른 자동차 탑승자의 피부전도도 반응, *대한인간공학회 학술대회 논문집*, 253-256, 1999

정순철, 이봉수, 민병찬, 생리신호를 기반으로 한 자동 감성 평가 전문가 시스템의 개발, *대한인간공학회지*, 제 23권 1호, 1-11, 2004

박재범, 운전자 행동 및 반응검지 차량 개선연구, *한국도로공사 도로연구소 연구보고서*, 1999

신호철, 바이오피드백(biofeedback)개요-Classic Biofeedback을 중심으로, *가정의학회지*, Vol 26, NO,11,2005

김정룡, 윤상영, 생체신호를 통한 운전자 심리·생리상태 판단 방법 비교, *대한인간공학회 창립20주년기념 학술대회 논문집*, 309-312, 2002.

김정룡, 윤상영, 이돈규, 곽종선, 고속도로 직선 구간별 운전자 생리반응 분석, *대한인간공학회 학술대회 논문집*, 7-10, 1999.

최수주, 양미경, 곽미숙, 김지애, 이상민, 김명주, Sentinel 임파절 생검에 사용되는 Isosulfan Blue와 Methylene Blue가 맥박산소계측기 측정 산소 포화도에 미치는 영향, *대한마취과학회*, Vol 49. No 6, 771-775, 2005.

정순철, 유지혜, 이정한, 손진훈, 30%의 고농도 산소가 정상성인의 사이클운동 시 심박동률과 혈중 산소포화도에 미치는 영향, *한국감성과학회*, Vol 9. No 1, 1-7, 2006.

철도안전종합계획, 건설교통부, 제1차(2006~2010), 6-14.

Brookhuis, K. A, De Waard. D. and Mudler, L. J. M., *Measuring driving performance by car-following in traffic*, argonomics, 1993.

저자 소개

❖ 장 혜 연 ❖ hyjang82@hanyang.ac.kr
한성대학교 기계시스템공학과 학사
현 재: 한양대학교 기계공학과 석사과정
관심분야: 로보틱스, 생체역학

❖ 장 재 호 ❖ jeaho6644@hotmail.com
한양대학교 정밀기계공학과 석사
현 재: 한양대학교 기계공학과 박사과정
관심분야: 로보틱스, 생체역학

❖ 김 태 식 ❖ ttasigy@hotmail.com
한양대학교 기계공학과 학사
현 재: 한양대학교 기계공학과 석사과정
관심분야: 로보틱스

❖ 한 창 수 ❖ cshan@hanyang.ac.kr
University of Texas at Austin 기계공학과 박사
현 재: 한양대학교 기계공학과 교수
관심분야: 로보틱스

❖ 한 정 수 ❖ jshanjs@gmail.com
University of Iowa 기계공학과 박사
현 재: 한성대학교 기계공학과 교수
관심분야: 생체역학

❖ 안 재 용 ❖ jahn50147@ hanmail.net
경희대학교 정형외과학 박사
현 재: 성균관대학교 의과대학 교수
관심분야: 정형외과

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 07월 06일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 10월 09일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 11월 24일