

운전 시간에 따른 피로도의 변화

김선웅, 성홍모*, 박세진
한국표준과학연구원 인간·정보그룹
연세대학교 보건과학대학 의용공학과*

An Evaluation of Driving Fatigue on Long-term Driving

S.W.Kim, H.M.Seong*, S.J.Park

Ergonomics and Information Research Group, KRISS*,
Depart. of Biomedical Engineering, Yonsei University,

Abstract

The type of physiological stress involved in driving is probably complex, and a comprehensive study involving recording of physiological signals such as electrocardiogram(ECG), electromyogram(EMG). Changes in relevant physiological parameters, such as ECG, EMG, reflected changes in driver status. In order to derive the mental and physical load of driving a motor vehicle from driving behaviour alone it is necessary to establish the relationship between changes in a driver's physiological parameters and behavioral parameters.

In this study, we choose two different condition and investigated driver's status using HRV analysis method. Many previous studies have shown that increasing driving time causes a variation of HRV signal.

Keyword : dariving fatigue, hrv, ecg

서론

장시간의 운전은 운전자의 피로도를 증가시킨다. 이렇게 누적되는 피로는 운전자의 주의를 분산시키거나 안전운행을 저해하는 요소가 될 수도 있으므로 운전자에게 가해지는 피로도에 대한 정량적인 분석에 대한 연구가 이루어져 왔다. 이전 연구들에서는 운전 시간이 증가함에 따라 운전자의 주의력이 떨어지고 조작 미숙으로 인한 사고의 위험이 높아진다고 보고되어져 왔으며 U.S Department of Transportation Federal Highway Administration 의 보고서에 따르면 고속도로에서 발생하는 사고 중 약 절반 이상의 원인을 운전자의 피로도 누적으로 인한 동작오류가 원인 이라고 보고하고 있다[1]. 따라서 운전자의 피로도 정도를 지속적으로 관측하고 알려주는 방법에 대한 연구는 안전을 위해 중요하다고 할 수 있다.

운전자의 피로도를 측정하는 방법으로는 운전자에게 자신의 상태를 설문지를 통해 평가하도록 하거나 생체신호를 통해 신체의 정신·생리학적 변화를 관측하는 방법이 있다. 생체신호를 통한 방법으로는 피부전기전도도(EDR), 뇌전도(EEG), 심전도(ECG)를 측정하는 연구들이 있었다. 이중 EDR, EEG는 신호가 피험자의 움직임에 민감하고 장시간 관측이 어렵다는 점에서 적합하지 않은 반면 심전도에서 계산되는 심박변화율(HRV)은 비교적 움직임에 대해 민감하지 않고 장시간 관측이 가능하며 자율신경계의 반응을 나타낸다는 점에서 적합한 매개 변수라고 할 수 있다. 또한 운전자세나 시트의 안락감에 대한 평가를 위해서는 근육의 활동정도를 측정하는 근전도를 사용하여 평가하게 된다.

장시간의 운전은 운전자에게 가해지는 일종의 스트레스라고 할 수 있으며 장시간 운전 시에

는 지속적인 스트레스를 받게 되므로 신체의 생리학적인 요소들에 변화가 일어나게 된다.

이러한 생리학적인 요소들의 변화는 여러 가지 생리신호를 통해서 나타나게 되며 이를 측정하여 분석하면 운전자의 상태를 알 수가 있게 하므로 운전자의 생리신호를 이용하여 상태를 알아보는 실험이 수행되어 왔다[2-3].

실험방법

피실험자 : 3년 이상의 운전경력이 있는 건강한 2-30대(평균 29세) 남성을 실험의 대상으로 선정하였으며, 실험에 참여한 피실험자는 모두 6명이었다. 전날의 수면시간은 7시간 이상 취하도록 하였으며 실험 전에는 각종 카페인 함유 음료수나 커피 등은 삼가도록 하였다. 실험을 실시하기 전에 충분한 적응 시간을 갖도록 예비 테스트 및 실험 환경과 동일하게 세팅을 한 후 시운전을 실시하여 전극 부착으로 인한 피로도의 증가 및 불편함을 최소화 하였다.

실험장비 : 자동차 운전에는 따른 피로도는 차량의 상태에 따라서 많은 영향을 받을 수 있기 때문에 실험에 사용된 차량은 출고된지 2년 미만의 무사고 차량을 실험차량으로 선정하였다. 실험이 특정 차량에 한정되지 않도록 하기 위해 800cc, 1500cc, 2000cc, 3000cc 등의 배기량 별로 1대씩 선정하였다. EMG와 ECG는 Biopac사의 MP100을 이용하여 측정하였으며 실험장비 및 측정자는 뒷자석에 배치하였다.

운전자세의 정의 : 운전자세는 피험자가 운전을 하는데 무리가 가지 않는 한도 내에서 등판의 각도를 크게 하여 elbow angle, shoulder angle, trunk-thigh angle 등을 크게 하였으며, 등판이 reclining 뒹에 따라 보다 넓은 시계를 갖게 되는 개방형 운전자세를 취하게 하였다. 폐쇄형 운전자세는 개방형운전자세에서 등판의 각도만 세워서 몸의 각 관절이 이루는 각도를 작게 하여 폐쇄형 운전자세를 취하도록 하였다.

도로주행 : 선정된 피실험자는 일반고속도로를 약 3시간 정도 왕복하였다. 거리는 약 250 km 였으며 주행속도는 100km/h 이하로 유지하도록 하였다.

신호의 측정 및 주관적 평가 : 신호의 측정은 그림 1의 과정과 같다. 출발전 안정상태, 출발 후 매 30분 간격으로 측정하였으며 마지막으로 도착 직후에 다시 한 번 측정하였다. 운전 중에는 멈추지 않고 계속 운전을 수행하면서 신호를 측정하였으며, 중간지점(약 90분 정도 운전)에서 주관적 피로도 평가를 위해 정차를 한 후 신호 및 주관적 평가를 수행하였다. 주관적 평가는 출발 전, 정차 시, 도착 직후 3회에 걸쳐 평가를 수행하였다.

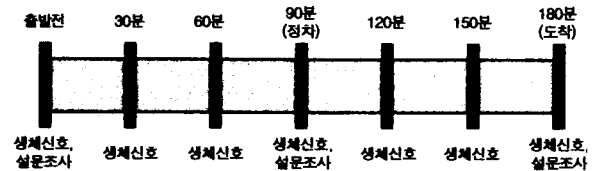


그림 1. 각 시간대별 측정.

근전도 분석 : 장시간 운전을 하게 되면 특정 부위의 근육에 피로가 오게 되어 근육의 활성도가 저하되며 활동력이 감소하게 된다. 이러한 활동력의 감소는 주파수영역의 해석을 통하여 분석하게 된다. 근피로도의 증가는 중간주파수(Median Frequency: MF)와 평균주파수(Mean Power Frequency: MPF)의 감소로 나타난다. 각각에 대한 정의는 다음과 같다.

- 중간주파수(median frequency) : 파워스펙트럼의 중간 값을 나타내는 주파수

$$\int_0^{f_{max}} Y(\omega) d\omega = \frac{1}{2} \int_0^{f_0} Y(\omega) d\omega \quad (1)$$

- 평균주파수(mean power frequency) : 파워스펙트럼의 평균값을 나타내는 주파수

$$f_{mean} = \frac{\int_0^{\infty} \omega Y(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} Y(\omega) d\omega} \quad (2)$$

본 연구에서는 목과 허리의 근피로도를 측정하기 위해서 승모근(Upper Trapezius)와 요추(L3)에 전극을 부착하였다.

심전도 분석 : 심박동율의 변화는 외부의 스트레스로 인한 정신·생리학적 변화를 나타내주며 지속적인 관측이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 심박동율은 다음의 그림2에 의해서 구하였다. 먼저 R-point를 검출한 다음 신호를 RR

간격으로 재구성 하고 5Hz로 down-sampling 하여 HRV 신호를 구하였다.

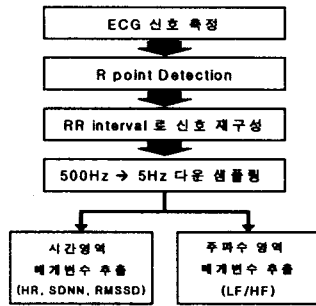


그림 2. HRV 분석 순서도

검출 파라미터의 선정은 European Society of Cardiology에서 권장하는 것들 중 다음의 매개 변수들을 선정하였다[4]. 심박변화율의 주파수 분석에는 20차 Burg 모델을 이용하였으며 LF는 0.04~0.15Hz로 정의하였고, HF는 0.15~0.4 Hz 영역으로 정의하여 그 비를 LF/HF로 나타내었다.

- ① 평균 RR 간격(mean heart rate : HR)
- ② RR 간격의 표준편차(standard deviation of RR intervals : SDRR)
- ③ 인접한 RR간격 차이의 합의 제곱근(square root of the sum of the squares of differences between adjacent RR intervals : RMSSD)
- ④ LF/HF

그림 3은 시간대 별로 주파수 분석을 한 예이다. 주행시간에 따라 LF, HF 대역의 변화가 있음을 볼 수 있었다.

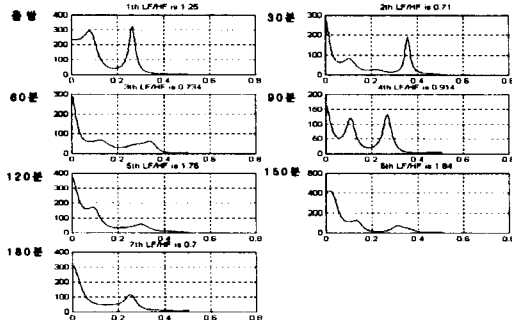


그림 3. AR 모델로 구한 HRV의 시간대별 주파수 대역의 변화의 예

측정시간별로 통계적 유의성은 출발전의 데이

터와 각 시간대 별 데이터를 비교하였는데 SPSS의 쌍체표본 T-검정을 이용하였고 유의 수준은 0.01과 0.05로 구분 하였다.

실험결과 및 분석

그림 4에는 시간에 따른 근전도의 MF, MPF의 변화를 나타내었다. 시간이 지남에 따라 모두 근전도가 감소하는 모양을 보이는데 이는 전극이 부착된 근육의 피로가 증가함을 의미한다.

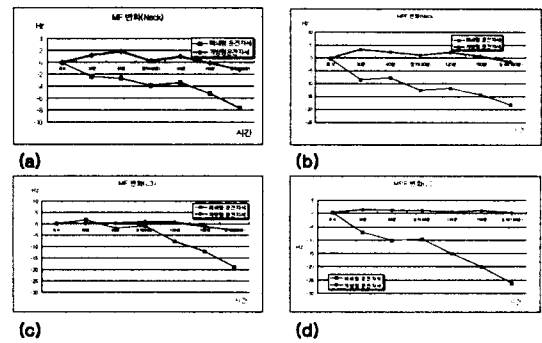


그림 4. 시간에 따른 MF, MPF의 변화, (a)목에서의 MF, (b) 목의 MPF, (c)허리의 MF, (d) 허리의 MPF

신체의 관절이 비교적 편안하게 위치하게 하였던 개방형 운전자세가 신체의 구속이 있었던 폐쇄형 운전자세에 비해서 근피로도의 증가가 적었음을 알 수 있었다. 간대별로 본다면 90~120분 이후의 변화가 그 이전의 비해서 더 크게 변했음을 볼 수 있다.

그림 5는 시간대별 HRV 파라미터의 변화를 나타내었다. HR는 시간이 경과함에 따라 계속 감소하는 경향을 보였으나 SDRR, RMSSD는 90분 이후로는 일정한 수준을 유지하였다. LF/HF의 변화는 시간영역에서의 파라미터들과는 다르게 변화하였다. Neil의 연구에서는 HRV의 LF 영역은 주행거리에 따라서 증가한다고 하였는데 본 연구에서도 이와 유사한 결과를 볼 수 있었다[5]. 출발, 정차, 도착 지점에서는 LF/HF의 값이 급격히 감소하는 반면 주행 중 측정했을 시에는 그 값이 선형적으로 증가 하였다.

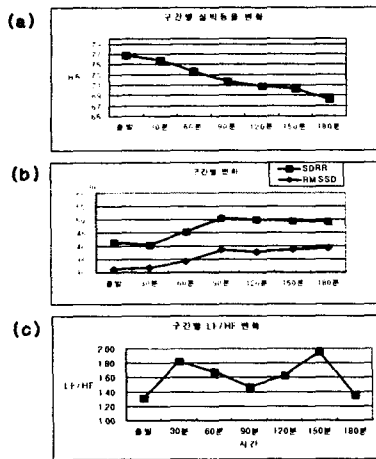


그림 0. 시간에 따른 HRV 파라미터들의 변화, (a) 평균심박율, (b)SDRR , RMSSD, (c) LF/HF

표2에서는 HRV의 각 파라미터들을 출발시 값과 비교해 통계적 유의성을 구해보았다. 모든 파라미터들은 약 1시간을 기준으로 출발시 값에 대해 통계적 유의성을 보임을 알 수 있다.

표 2. 시간에 따른 HRV 파라미터 평균값(* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

시간 변수	출발	30분	60분	90분	120분	150분	180분
HR	76.9	75.9	73.78*	71.73**	70.92**	70.36**	68.27**
SDRR	41.45	40.58	45.54	50.38**	49.94**	49.39**	49.26**
RMSSD	31.28	31.76	34.26	38.40**	37.64**	38.82**	39.24**
LF/HF	1.30	1.42**	1.67*	1.46	1.62	1.95**	1.35

졸림감에 대한 평가는 KSS(Kswansei gakuin sleepiness scale)를 이용하였다. KSS는 22개 항목 중 자신의 상태에 가깝게 표현되어 있는 항목을 스스로 선택토록 하고 이를 점수화해서 졸림 정도를 평가하게 된다[6].

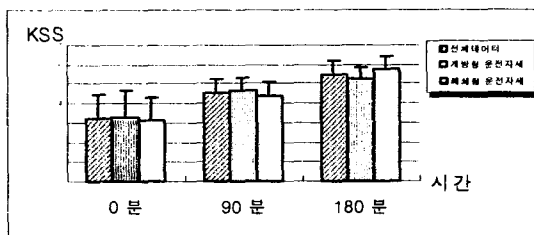


그림 6. 시간에 따른 졸림감 평가의 변화
그림6에는 시간 변화에 따른 졸림감 평가를 나타내었다. 운전시간의 증가와 졸림감은 서로

선형적으로 증가하는 관계를 가지고 변화한다.

결론

본 연구에서는 운전시간과 운전자의 상태 변화와의 관계를 주관적 평가와 생체신호처리를 이용해서 정량화함으로써 운전 시간에 따른 피로감을 평가하고자 하였다.

주관적 평가로는 KSS 값을 이용하여 운전자의 졸림 정도를 평가 하였고 생체신호를 이용하여 신체의 변화를 평가 하였다. 측정 결과 근전도의 경우에는 폐쇄형 자세에서 더 많은 근피로도가 발행하는 것으로 나타났다.

HRV의 변화는 정신·생리학적 변화를 나타내는데 약 1시간 정도를 기준으로 유의한 변화가 나타났다. 따라서 1시간 이상의 운전에서는 적절한 휴식이 필요한 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1.C.D.Wylie, T.Shultz, "Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study", Technical Report U.S Department of Transp, Federal Highway Administration Report No. FHWA-MC-97-001.
- 2.Ross J. Apparies., "A Psycophysiological investigation of the effects of driving longer-combination vehicles", Ergonomics, vol.41, no.5, pp581-592, 1998.
- 3.C.Tsopanakis, "Stress Hormonal Factors, Fatigue and Antioxidant Responses to Prolonged Speed Driving", Pharmacology Biochemistry, and Behavior, vol.60, no.3, pp747-751, 1998
- 4.Task Force of the Europ Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology, "HRV:Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use", European Heart Journal, vol.17, pp354-381, 1996.
- 5.Niels Egelubd, "Spectral analysis of heart rate variability as an indicator of driver fatigue", Ergonomics, vol.25, no.7, pp 663-672, 1982.
- 6.Kaneyoshi, et al., "Sleepiness scale and an experimental approach", The Japanese Journal of Psychology, Vol. 52, No. 6, pp. 362-365.