

Assessment of Driver's Arousal State to Test Highway Drowsiness Prevention Facilities

Jung Yong Kim¹, Dong Joon Kim¹, Yong Duck Park¹, Seong Eun Kim¹, Ji Soo Park¹, Bong Jo Jung²

¹Department of Industrial Management Engineering, The Hanyang University, Ansan, 426-791

²Korean Expressway & Transportation Research Institute, Hwaseong, 445-812

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to develop an evaluation method that can determine whether a highway drowsiness prevention facilities suitably induced driver's arousal state. **Background:** In August 2010, Korea transportation safety authority investigated the cause among 1,000 drivers with traffic accidents. As a result, drowsy driving covered the highest percentage of 36.7%. Therefore, in order to reduce the number of traffic accidents, the preventing of drowsy driving is essential. **Method:** Based on the reviewing research, we define a new terminology, "Arousal shift", which is the intermediate stage between drowsiness and arousal. In addition, we used the psychophysiological and behavioral parameters of driver, which can determine the level of drowsiness. We collected driver's psychophysiological and performance data by using a virtual driving simulator. We computed the correlation between KSS and collected data. **Results:** We choose the variables showing high correlation with KSS score, and suggested a multiple regression model that could predict the drowsiness of driver. In addition, we suggested a probabilistic approach to decide driver's state in terms of KSS. **Conclusion:** We showed the possibility to find a method of preventing the driver's drowsiness by defining "arousal shift". Due to the 60% of explanatory power of model, the practical field application needs to be done with a group of drivers showing actual change in PKSS.

Keywords: Drowsiness, Driver's state, Driving performance, Psychophysiology

1. Introduction

본 연구의 목적은 각성과 졸음의 정의 또는 각 수준을 정량적으로 판별할 수 있는 기준을 제시하여 운전자 졸음 방지 연구 및 실질적인 예방법을 설계할 수 있는 과학적 자료를 제공하는 것이다. 이를 위하여 심리, 생리 신호 변수 또는 파라미터를 선정하고 그에 따른 측정방법을 제시한다.

2010년 8월 교통안전공단이 안전불이행에 대한 국민들의 의식과 경험을 조사하기 위해 사고가 났던 1,000명의 운전자를 대상으로 설문조사를 실시한 결과 졸음 운전이 36.7%, 운전 중 휴대전화 사용이 20.0%, 급제동, 핸들 과대조작 등과 같은 운전 미숙이 18.3%를 차지한다고 하였다(교통안전공단, 2010).

졸음 운전에 대하여 운전자를 대상으로 하는 인적 요인(human factors)의 연구는 연구 장비나

방법론의 개발에 많은 제약이 있었기 때문에 체계적인 연구를 수행하는데 어려움이 있다. 따라서 아직까지 졸음 운전 수준의 정의에 대한 기초적인 연구가 부족한 실정이다. 특히, 졸음 운전을 예방하기 위한 다양한 표지판, 도로시설의 설치가 실제로 운전자의 각성에 도움이 되는지를 판별할 수 있는 과학적 도구가 없는 상황에서 졸음 운전과 졸음 운전에서 벗어난 운전자의 상태를 정의하는 방법을 연구하는 것은 매우 의미 있을 것이다. 본 연구를 통하여 운전자의 졸림 현상 또는 졸음의 상태에 대한 기준을 마련하고 궁극적으로 졸음운전 예방의 과학적 접근을 통해 졸음 운전 사고를 감소시키고자 한다.

2. Method

2.1 Definition of driver's drowsiness level

조사결과 졸음을 의미하는 영어 단어는 ‘drowsiness’로 나타났다(R. Broughton and J. Hasan, 1995, M. Johns, 1998, M. W. Johns, 2000, R. Parasuraman, 1984). 한편, ‘졸림’은 진행 상태의 의미가 있어서 상태를 의미하는 ‘졸음’보다 다소 넓은 의미로 느껴질 수도 있다. 따라서 ‘졸림’을 수면 전 단계라고 명확하게 정의하는 것은 어려움이 있었다. 어의적으로는 ‘drowsiness’가 ‘졸림’에 더욱 가까우나, ‘졸림’과 ‘졸음’의 구체적인 차이를 구별하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 보다 상용적으로 사용되는 ‘졸음’을 표준 번역으로 사용하기로 하였다.

본 연구의 목표를 달성하기 위하여, 졸음 운전 전단계에 대한 정의가 필요하였다. 즉, 운전자가 안전 각성 수준을 유지할 수 있도록 졸음과 적정 각성(돌발 상황을 인지하고 대처할 수 있는 상태) 사이의 교집합 부분을 ‘변성(變醒)단계’(arousal shift)로 정의하고 변성단계의 진입 또는 진출 여부에 따라 위험 수준과 안전 수준을 나누어 연구를 진행하였다(Figure 1).

2.2 Selection of variable to measure drowsiness

본 연구에서 졸음 수준을 평가하기 위하여 주관적 평가방법인 KSS(Karolinska sleepiness scale)를 사용하였다. KSS는 상황 별 졸음 평가가 가능한 지표이며, 변동에 민감하다(T. Akerstedt and M. Gillberg, 1990). 또한, 각성 상태에 따라 상승하는 KSS점수는 하루 시간대별 각성 또는 졸음 상태와 강한 상관관계가 있다(G. Kecklund and T. Akerstedt, 1993). Table 1은 KSS의 각 점수의 영문 표현이다.

Table 1. KSS 1~9 score descriptions

Rate	Verbal description
1	Extremely alert
2	Very alert
3	Alert
4	Fairly alert
5	Neither alert nor sleepy
6	Some signs of sleepiness
7	Sleepy, but no difficulty remaining awake
8	Sleepy, some effort to keep alert
9	Very sleepy, great effort to keep alert, fighting sleep

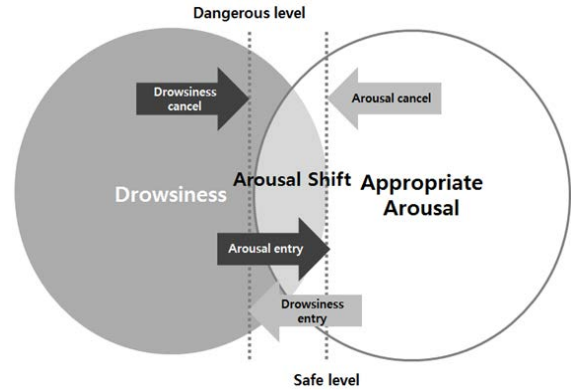


Figure 1. Definition of “Arousal shift”

졸음 수준의 정량적 평가를 위하여 최근 5년간 (2008년부터 2013년까지) 졸음 수준 판별 논문과 주행 중 졸음 운전 판별, 수면의 단계의 관한 논문을 조사하여 종속 변수를 선정하였다. 대부분의 실험에서 3개 이상의 생체신호를 사용하였고 EEG, ECG, EOG, 동공크기 및 눈 깜빡임, EMG 순으로 측정 변수들이 사용되고 있음을 확인하였다. 따라서, 가장 많이 사용되고 있는 EEG, EMG, PERCLOS(일정 시간 동안 눈을 감고 있는 비율) 변수들을 심리, 생리 변수로 선정하였다. 또한 시뮬레이터에서 측정 가능한 운전수행도 관련 변수 중에 운전자의 집중력이 저하되거나 졸음에 의해 눈동자의 움직임이 바뀌는 것을 측정할 수 있는 기계적 변수도 사용하였다. 기계적 변수는 정면 응시도(frontal staring), 속도유지도(speed control), 차선유지도(lane keeping)를 선정하였다. 본 연구에서 사용된 변수는 Table 2과 같다.

Table 2. Dependent variable

	Dependent variable
Mechanical variable	Frontal staring
	Speed control
	Lane keeping
Psychophysiology variable	EEG (8ch)
	EMG (electromyography)
	PERCLOS (percentage closure of eyes)

2.3 Experiment Participants

실험참가자는 운전 경력이 1년 이상이고 교정 시력은 0.7 이상인 20대 32명(남자 16명, 여자 16명)을 대상으로 하였다.

Table 3. Terms of participants

Number of participants	Pilot test: 3
	Main experiment: 32
Driving career	1 year over
Age	Twenties
Gender	Male: 16
	Female: 16
Corrected eyesight	0.7 over

2.4 Experiment equipment

본 실험은 차량의 속도, 차량의 중심과 도로 중심과의 거리 데이터 등을 측정할 수 있는 차량 시뮬레이터를 사용하였다. 정면응시도, PERCLOS 데이터를 수집하기 위하여 faceLab5 (Seeing-machines)를 이용하였다. 데이터 획득 주기는 60Hz로 설정하였다.

EEG, EMG 데이터를 수집하기 위하여 MP150 (Biopac)을 이용하였다. 시뮬레이터의 전자파 영향을 최소화하기 위하여 원거리에서 무선으로 취득하였으며, 데이터 획득 주기는 1,000Hz로 설정하였다. EEG 측정을 위하여 10-20 방법으로 F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2에 센서를 부착하여 신호를 추출하였다. EMG는 운전시 피로도 측정을 위하여 등세모근(trapezius)에 표면 전극을 부착하고 신호를 추출하였다.

2.5 Experiment process

실험 참가자가 시뮬레이터에 탑승하면 실험의 목적과 절차를 설명하고 주의사항을 설명하였다. 또한, 시뮬레이터 실험 환경을 소개하고 사고에 대비하여 안전교육을 하였다. 실험 참가자에게 실험 내용에 대해 충분히 숙지시킨 뒤에 EEG, EMG 측정 장비를 부착하고, FaceLab을 설정하였다. 측정장비의 착용을 완료한 후에 5분간 신호 안정성을 확인하였다. 실험 참가자에게 5분간 시뮬레이터 적응 운전을 실시한 후 시뮬레이터 적응이 완료되었다고 판단되었을 때 운전상황과 신호 측정을 70분 동안 실시하였다.

2.6 Analysis method

KSS 점수는 객관성을 최대한 유지하기 위하여 관찰자를 2인 1조로 총 2개 조를 구성하여 상호

검증을 실시하였다. 녹화된 실험 영상을 통하여 실험 참가자의 얼굴 표정, 행동 양상 등을 관찰하여 판단하였다.

실제 운전상황과 비슷하게 시뮬레이터를 구현하여 실험하였으나 실제 운전과는 실질적으로 차이가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 효과들을 배제하기 위하여 다음의 기준에 의하여 특정 측정 구간을 추출하였다.

(1) 초기 적응 시간의 데이터를 배제할 수 있어야 한다.

(2) 변성단계 의심구간(KSS:5~7)의 KSS점수를 모두 포함해야 한다.

본 연구에서는 위와 같은 조건을 만족시키기 위하여 측정구간을 졸음 해지와 졸음 진입이 모두 발생할 수 있는 “U턴 구간 전후 각 5분”으로 설정하였다. 추출된 데이터는 10초 간격으로 분석하였고, KSS: 3수준을 기준으로 정규화(normalization)하였다. 설정한 구간 안에서 각 실험 참가자 별로 KSS-변수에 대하여 상관분석을 실시하여 KSS에 민감하게 반응하는 변수들을 추출하였다. 추출한 변수들을 대상으로 정규성 검토(normality test)를 실시하여 이상 수치를 검출하고 확인을 통하여 제거하였다. 정규성이 확보된 데이터에 대하여 다중회귀분석을 실시하고 임계치를 설정하였다.

3. Results

3.1 Individual correlation in the measurement interval

본 연구에서는 각 변수가 KSS에 얼마나 민감하게 반응하는지 알아보기 위하여 각 실험참가자 별로 KSS와 각 측정 파라미터 간의 Pearson 이변량 상관분석을 하였다. 총 32명의 데이터 중에서 2명은 이상데이터로 판명되어 제외하였고 30명의 데이터를 대상으로 분석하였다. 현재 PERCLOS는 실험참가자들의 과도한 움직임으로 인하여 측정이 누락되어 분석에서 제외하였다. 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 4. Summary of result for correlation analysis

Significant person(N)	방향성	Significant person(N)
-----------------------	-----	-----------------------

Frontal staring	10	+	8
		-	2
Speed control	7	+	3
		-	4
Lane keeping	8	+	3
		-	5
EEG1A	29	+	29
		-	-
EEG2A	29	+	29
		-	-
EEG3A	29	+	29
		-	-
EEG4A	29	+	29
		-	-
EEG1B	30	+	30
		-	-
EEG2B	29	+	29
		-	-
EEG3B	29	+	29
		-	-
EEG4B	29	+	29
		-	-
EMG	10	+	2
		-	8
PERCLOS	exclusion		

상관분석 결과를 바탕으로 KSS점수와 높은 상관관계를 갖는 변수를 선정하였다. EEG데이터 외에는 KSS와 상관성이 떨어진다고 판단하고 최종적으로 EEG 변수를 사용하였다.

3.2 PKSS prediction equation

선형회귀분석은 다른 실험참가자들보다 상대적으로 상관성이 높고(약 $r > 0.75$), 정규화가 원활하게 이루어진 실험참가자 9명의 데이터를 대상으로 분석하였다. 종속변수: PKSS (Predicted KSS), 독립변수: EEG 파라미터를 사용하여 선형회귀분석을 실시하였다(Table 5).

Table 5. Result for linear regression analysis

Model	r	r ²	Adjusted r ²
1	0.801	0.641	0.636
2	0.801	0.641	0.636
3	0.801	0.641	0.637

Table 5의 결과를 보면 조정된 r²값이 3번 모형

에서 가장 높은 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에 적합한 모형은 3번 모형으로 판단하였고, 3번 모형에 대한 계수는 Table 6과 같다.

Table 6. Result for coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	p-value
	B	SE			
Constant	3.875	.086		44.874	.000
F4	-.572	.186	-.219	-3.070	.002
C4	.953	.214	.304	4.442	.000
P4	.820	.290	.264	2.826	.005
O1	.949	.182	.311	5.212	.000
F3	.857	.206	.295	4.164	.000
P3	-.348	.188	-.116	-1.852	.065

3번 모형에 대한 다중회귀식은 식(1)과 같이 구하였다.

$$PKSS=3.875-0.572F4_{\theta}+0.953C4_{\theta}+0.820P4_{\theta}+0.949O1_{\theta}+0.857F3_{\theta}-0.348P3_{\theta} \quad (1)$$

회귀식의 설명력이 60%로 나타났다.

3.3 Setting the threshold of EEG

KSS값에 따른 뇌파의 차이를 조사하였다. 예를 들어, KSS: 4-5, KSS: 7-8 단계를 구분 짓기 위해 신호탐지이론에서 사용하는 critical β 값을 구하였다. 이를 활용하여 KSS를 구분 짓는 EEG의 임계치를 설정할 수 있다.

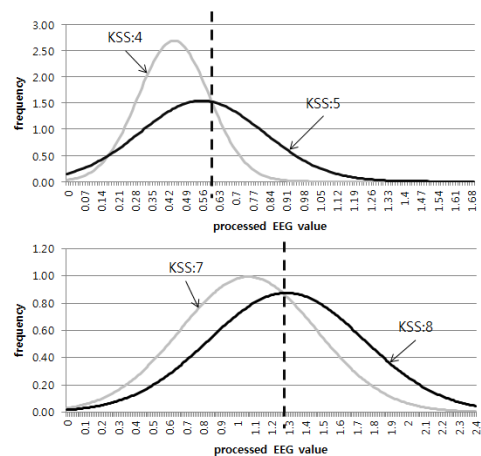


Figure 2. Example of threshold value for F4 ch

4. Discussion

본 연구에서 선정된 차선유지도, 속도유지도, 정면응시도와 같은 각성 상태의 운동제어(motor control) 능력을 필요로 하는 운전수행도 변수들은 현재 시뮬레이터 환경에서 KSS 지표와는 매우 낮은 상관관계를 보였다. 이는 시뮬레이터 상황이 실제 운전의 긴장감이나 민감한 차량의 반응을 반영하지 못한 결과로 판단된다. 이 중 정면응시도는 변성단계에서 정면응시도의 불규칙성(Irregularity)이 증가되는 현상을 보여 이를 활용한 새로운 변수로써 개발이 가능할 것으로 추측된다.

본 연구에서 도출된 회귀모델은 특정 집단에 한하여 도출된 것이기 때문에 현장에서 다수의 테스트 드라이버를 사용하여야 한다. 특히 측정하고자 하는 구간 전후에서 PKSS값의 변화가 없는 사람은 졸음 방지 시설물 평가 시 제외해야 한다. 예를 들어, 다수의 운전자가 실험에 투입되고 그 중 PKSS값의 변화가 감지되는 운전자가 최소 5명 이상 되고 그 중 3명 이상이 변성단계 진입 또는 진출현상을 보일 때 졸음 방지 시설물에 대한 의미 있는 평가 결과가 나올 수 있는 것으로 판단된다.

또한, KSS: 1-3 특정 구간(U턴 후)에서 충분한 각성 상태(KSS: 1-3 수준)로 전환되지 못하였기 때문에 제외하였다. 이는 운전 시뮬레이터 환경이 실제 운전과 같은 긴장감을 유지할 수 없는 것으로부터 기인한 것으로 판단되었다. 이에 본 측정모델은 KSS점수 4점부터 추출된 자료로 이루어져 있다.

5. Conclusion

본 연구에서는 졸음의 전단계를 변성단계를 정의함으로써 졸음 운전자 연구를 보다 현실적으로 접근할 수 있는 틀을 제공하였다. 본 연구에서 개발한 1차 예측모델의 설명력은 60%로 도로상황에서 활용하기 위해서는 실험 운전자군을 활용할 때 의미 있는 예측을 할 수 있는 것으로 나타났다. 추후 추가적인 자료의 수집과 분석, 실제 도로상황에 대한 자료를 추가한다면 설명력은 더욱 높아질 것으로 기대된다. 본 연구를 통해 운전자 졸음을 예방시설의 효용성의 정량적 평가방법의 가능성을 확인하였다.

Acknowledgements

This work was funded by grants from Korean Expressway & Transportation Research Institute.

References

- Åkerstedt, T., and Gillberg, M. Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, Broughton, R., and Hasan, J., Quantitative topographic electroencephalographic mapping during drowsiness and sleep onset. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 12(4), 372andhyhen, 1995.
- Johns, M., Rethinking the assessment of sleepiness. *Sleep Medicine Reviews*, 2(1), 3-15, 1998.
- Johns, M. W., A sleep physiologist's view of the drowsy driver. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 3(4), 241-249, 2000.
- Kecklund, G., and Åkerstedt, T., Sleepiness in long distance truck driving: an ambulatory EEG study of night driving. *Ergonomics*, 36(9), 1007-1017, 1993.
- Parasuraman, R., Sustained attention in detection and discrimination. *Varieties of attention*, 243-271, 1984.

Author listings

Jung Yong Kim: jungkim@hanyang.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, The Ohio State University

Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Cognitive psychology, Human interface design

Dong Joon Kim: whatsdream@naver.com

Highest degree: BS, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

Position title: Master & PhD's student, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Human Error, HCI, Safety, UI/UX, Musculoskeletal disorders

Ji Soo Park: jspark21@hanyang.ac.kr

Highest degree: MS, Department of Industrial Engineering, Kyonggi University

Position title: Doctoral candidate, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Psychophysiology, Bio-signal processing, PUI design

Seong Eun Kim: havocangel@naver.com

Highest degree: Ph.D, Department of Sports Sciences, Sunmoon University

Position title: PostDoc, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Motion analysis

Yong Duck Park: duck234515@gmail.com

Highest degree: BS, Department of Industrial Engineering, Sunmoon University

Position title: Master's student, Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

Areas of interest: Biomechanics, Cognitive psychology, Human interface design, Musculoskeletal disorders