

운전자 주행 적합성 진단을 위한 연구 I: 생체신호 분석방법 비교

김정룡[†] · 윤상영

한양대학교 정보경영공학과

The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility I: Comparison of Methods for Bio-Signal Analysis

Jung-Yong Kim · Sang-Young Yoon

Dept. of Information & Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

The aim of this study is to compare the methods in analyzing bio-signals representing measure driver's psychophysiological status. This study has considered three approaches: first, the deterministic approach calculating the mean and standard deviation of bio-signal, second, probabilistic approach converting driver's bio-signal values to probability density function and identifying individual state relative to overall distribution, and third, diagnostic approach identifying the pattern change of signal over certain period of time. For evaluation of analysis methods, driver's bio-signal was collected under various road conditions, and three analysis approaches were applied respectively. In result, the deterministic approach was found to be simple to use, but generated a large variability of bio-signal. The probabilistic approach provide a relative status of individual driver among overall population, but too much affected by temporal variability of individual driver. The diagnostic approach seemed to reasonably find driver's psychophysiological change over certain period of time, but still needs to develop quantification method of the bio-signal.

Keywords: driver's psychophysiological state, diagnostic approach

1. 서론

현재 국내의 자동차 등록대수의 증가와 더불어 교통사고 수 역시 매년 증가하고 있는 실정이나, 중요한 교통사고 발생요인 중 하나인, 운전자 요인에 대한 연구와 사고예방을 위한 대책이 부족한 현실이다. 이는 운전자 요인에 대한 객관적인 자료를 측정하고 분석할 수 있는 방법이 적다는 것이 주원인이며, 이러한 여건하에서는 도로-운전자 간의 복합적인 상호작용에 대한 연구수행이 어려울 뿐 아니라, 효과적인 교통안전 대책을 수립하는 데도 많은 어려움이 있다고 할 수 있다.

최근, 외국의 연구에서는 Helander(1975)와 Brookhuis(1993)와 같은 심리·생리학자들이 차량에 각종 계측장비를 부착하

여 주행중인 운전자에게 나타나는 생리적 반응을 측정하고 분석하려는 시도를 하였다. 이러한 연구결과 역시 생체신호의 강도를 분석하는 데 초점이 맞추어져 있어 현장 활용도가 그다지 높은 편은 아니지만, 운전자의 인적 요인(Human Factor)을 객관적으로 설명하기 위한 연구로서 본 연구개발의 중요한 계기가 되었다.

국내에서는 1998~1999에 걸쳐 한국도로공사 도로연구소를 중심으로 운전자의 심리·생리적 변화를 측정하기 위한 '운전자 행동 및 반응검지 차량'이 개발과제로 수행되었고, 이때 개발된 차량을 이용하여 운전자의 생체신호에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다(한국도로공사, 1999). 그러나, 주행 중인 운전자의 심리·생리상태를 측정할 생체신호는 다양한

본 연구는 한국도로공사의 지원으로 수행되었음.

[†] 연락저자 : 김정룡 교수, 426-791 경기도 안산시 상록구 사1동 한양대학교 공학대학 정보경영공학과, Fax : 031-406-5007,

E-mail : jykim@eml.hanyang.ac.kr

2002년 10월 접수, 2003년 12월 수정본 접수, 2004년 1월 게재 확정.

동적 환경에서 추출되었기 때문에, 기존의 정적인 상황에서 사용되었던 생체신호 해석방법으로 정확한 분석이 가능한지에 대한 검토가 필요한 상황이다.

그러므로, 본 연구에서는 동적인 상황에서 추출된 생체신호를 보다 체계적이고 정량적으로 분석하기 위하여 다양한 생체신호 분석방법을 비교 검토하였다. 이러한 과정은 운전자 심리·생리신호를 통한 주행 적합성 진단연구의 첫 단계로서 생체신호 분석방법에 대한 설명과 비교, 그리고 실험을 통해 추출된 결과에 대한 장·단점을 분석하는 데 초점을 맞추었다. 운전자 주행 적합성 진단을 위한 전반적인 연구과정은 <Figure 1>과 같으며, 본 논문에서 다루어질 구체적인 범위는 점선 안에 표시되었다.

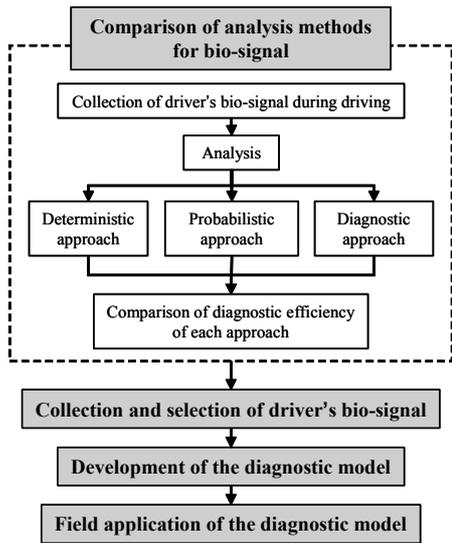


Figure 1. Process of development of diagnostic model for road-driver compatibility. This study covers the flow chart in dashed line.

2. 생체신호 분석방법 및 결과

다양한 생체신호 분석방법을 비교하기 위해 현장실험을 통해 추출된 45명의 운전자 생체신호 중 필요에 따라 일부 자료가 사용되었다. 피실험자 선정은 1년 이상 지속적으로 운전을 실시하였으며, 신체질환, 약물복용 등이 없는 건강한 사람을 대상으로 하였다. 선정된 피실험자의 구성은 20~30대 남자로 구성하였으며, 평균 나이는 32.8세, 평균 운전경력 7.5년이었다. 추출된 생체신호에는 중추신경계 생체신호인 뇌파가 7개의 채널을 통해 측정되었으며, 중추신경계 생체신호는 분석방법에 따라 8채널을 통해 안구운동도(EOG), 심전도(ECG), 피부표면온도(SKT), 피부전도도(GSR), 근전도(EMG), 혈압(PPG) 등이 수집되었고, 그 중 일부 자료가 필요에 따라 사용되었다.

본 논문에서는 수집된 생체신호 중 뇌파를 중심으로 생체신호 분석방법의 비교분석을 실시하였다.

2.1 결정적 접근방법 (Deterministic Approach)

결정적 접근방법은 다양한 도로상황에서 추출된 운전자의 생체신호의 크기와 편차를 가지고 각 도로상황에서의 운전자 주행적합도를 측정하기 위한 의도를 가지고 사용되었다. 이를 위해 도로상황에 따라 우로 굽은 도로, 좌로 굽은 도로, 직진도로, 인터체인지(I.C.), 교차로(junction), 터널로 구분하여 운전자 생체신호를 수집하였고, 도로상황별로 검출된 생체신호의 크기를 비교·분석하였다.

수집된 뇌파와 같은 중추신경계 생체신호는 고속 푸리에 변환(FFT)을 통해 주파수 분석을 실시하였다. 운전자의 뇌파를 분석하는 경우, 긴장이 완화되거나 풀릴 때 α 파가 증가하고, 긴장할 때 β 파가 증가하는 경향이 있어(Andreassi, 1995), 각 파형에 대해 분석을 실시했으며, 뇌파활성도(β/α)라는 변수(김정룡, 2001)를 사용하여 α 파와 β 파의 상대 스펙트럼 값의 증감비율에 따른 해석을 시도하였다. 생체신호의 분석은 개인마다 가지고 있는 고유한 생체신호 변이영역이 있으므로, 운전자의 안정상태를 기준으로 정규화(normalization)시켜, 개인차에 의한 오차를 최소화하고(식 (1)), 운전자 생체신호의 평균과 편차를 계산하였다. 각 도로상황별 운전자 생체신호의 평균과 편차를 이용해 분산분석(ANOVA)를 실시하였으며, 도로상황별 생체신호의 차이를 알아보기 위해 Duncan test를 실시하였다.

정규화된 생체신호값
(normalized bio-signal)

$$= \frac{\text{실제운전상황에서의 생체신호값} - \text{안정상태에서의 생체신호값}}{\text{안정상태에서의 생체신호값}}$$

(1)

2.2 결정적 접근방법에 의한 분석 결과

운전자의 생체신호 중 뇌파의 평균과 편차를 이용하여 분석한 결과의 일부를 <Table 1>, <Figure 2>, <Figure 3>에 나타내었다. <Table 1>에서 운전자의 후두엽 β 파의 편차값 변화범위는 0.445~0.519로 나타나, 두정엽, 후두엽의 α 파 편차범위와 두정엽 β 파의 편차범위에 비해 비교적 작게 변화하는 것으로 나타났다. 상대적으로 안정된 신호가 추출된 후두엽 β 파에 대한 분산분석을 실시한 결과, 운전상황별로 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났지만(유의수준 $\alpha = 0.01$), <Figure 2>에서 나타난 Duncan test 결과, 주로 터널에서 측정된 β 파의 크기의 상승에 의한 것으로, β 파의 스펙트럼 값을 바탕으로 운전상황을 구분하기에는 적절치 않은 것으로 나타났다.

뇌파활성도(β/α) 분석 결과, α 파나 β 파에 비해 비교적 적

은 편차를 나타내었으나, <Figure 3>의 Duncan test 결과, 뇌파 활성도를 이용하여 도로상황을 구분하는 것도, 피실험자 간의 뇌파신호의 변이도가 너무 크게 나타나, 한계가 있는 것으로 나타났다.

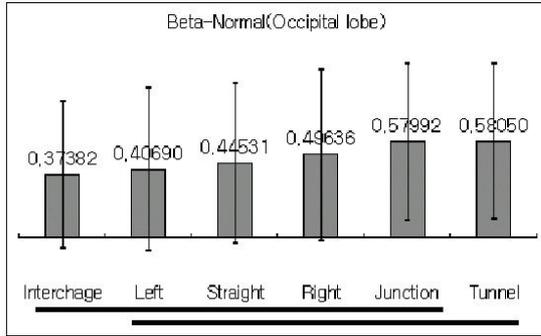


Figure 2. Result of occipital's β -wave and Duncan test.

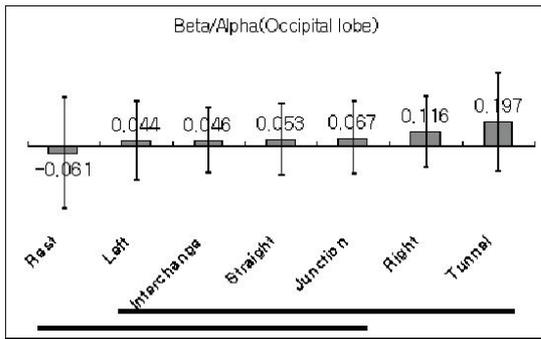


Figure 3. Result of occipital's β/α and Duncan test.

2.3 확률적 접근방법 (Probabilistic Approach)

결정적 접근방법의 단점을 보완하기 위해, 전체 운전자 생체신호의 확률밀도함수를 추출하고, 이를 기반으로 개별 운전자 생체신호 크기의 정규성 여부를 평가하기 위해 확률적 접근방법을 도입하게 되었다. 즉, 정상운전 상태는 90% 신뢰수준을 기준으로 생체신호의 크기가 전체 분포의 하위 5%에서부터 상위 5%까지의 경우이고, 비정상운전 상태는 그 나머지에 해당하는 영역으로 결정하였으며, 정상운전 영역의 산출은 생체신호의 확률밀도함수가 정규분포라는 가정하에 식 (2)와 같이 산출되었다.

$$\mu - 1.65\sigma \leq \text{정상운전영역값} \leq \mu + 1.65\sigma \quad (2)$$

2.4 확률적 접근방법에 의한 분석결과

도로상황에 따른 운전자의 생체신호 확률밀도함수의 예는 후두엽에서 나타난 α 파와 β 파의 분포를 <Figure 4>와 <Figure 5>에 나타나 있다. α 파나 β 파의 상대 스펙트럼 값이 $\mu \pm 1.65\sigma$ 영역에 위치할 때, 정상적인 운전자의 심리·생리 반응으로 간주할 수 있다. 반면에 운전자의 상대 스펙트럼 값이 정상운전 범위를 벗어나는 구간에 위치하게 될 때, 이상치로 판단되고 비정상적인 운전자 반응으로 간주하게 된다. 그러나, 운전자 생체신호의 변이도로 인해 같은 운전상황이라 하더라도 진단시점이 바뀌는 경우에는 같은 도로환경이라 하더라도 이전 진단시점과 전혀 다른 생체신호가 추출되어, 진단결과가 운전 상황과 함께 분석시점의 변화에도 큰 영향을 받는 것을 발견하였다.

Table 1. Example of normalized mean and standard deviation of driver's bio-signal on each driving condition

Waves on lobe		Driving condition	Right curve	Left curve	Straight	I.C.	Junction	Tunnel	Range of variation	Magnitude of S.D. [Max S.D. - Min S.D.]
Parietal lobe	α	Mean	0.631	0.508	0.341	0.497	0.559	0.250	0.250~0.631	
		S.D.	1.738	1.321	1.054	1.319	1.442	0.949	0.949~1.738	0.789
	β	Mean	0.780	0.712	0.568	0.738	0.656	0.879	0.568~0.879	
		S.D.	0.932	0.954	0.777	0.799	0.705	0.868	0.705~0.954	0.249
	β/α	Mean	-0.069	-0.125	-0.122	-0.105	-0.120	0.202	-0.125~0.202	
		S.D.	0.359	0.335	0.331	0.303	0.320	0.770	0.303~0.770	0.467
Occipital lobe	α	Mean	0.263	0.255	0.279	0.211	0.384	0.258	0.211~0.384	
		S.D.	0.708	0.617	0.620	0.557	0.641	0.616	0.557~0.708	0.151
	β	Mean	0.496	0.406	0.445	0.373	0.579	0.580	0.373~0.580	
		S.D.	0.519	0.491	0.484	0.445	0.476	0.471	0.445~0.519	0.074
	β/α	Mean	0.115	0.044	0.052	0.046	0.067	0.197	0.044~0.197	
		S.D.	0.294	0.327	0.292	0.269	0.297	0.410	0.292~0.410	0.118

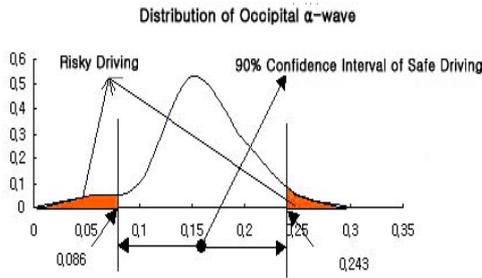


Figure 4. Distribution of occipital α -wave($X \sim N(0.12, 0.04^2)$).

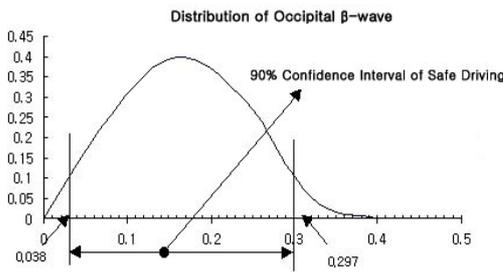


Figure 5. Distribution of occipital β -wave($X \sim N(0.13, 0.06^2)$).

2.5 진단적 접근방법 (Diagnostic Approach)

진단적 접근방법은 운전 및 도로상황에 따라 운전자에게 부가되는 정신적 스트레스가 시간 변화에 따라 운전자의 생체신호를 어떻게 변화시키는지에 초점이 맞추어져 있다. 즉, 결정적 접근방법이나 확률적 접근방법이 일정 시간대에서 운전자의 반응을 분석한 것에 비해 진단적 접근방법은 시간변화에 따른 생체신호의 증감 패턴을 관찰하기 위한 방법이다. 도로

환경에서 부가되는 스트레스에 일정하게 반응하는 생체신호 패턴이 있다면 이를 감지, 관찰하여 진단에 이용하려는 의도이다. 이를 위해 각 도로상황 혹은 사고율에 따라 운전자의 생체신호가 어떠한 패턴을 보이는지 관찰을 시작하였다. 관찰의 정확도와 효율을 높이기 위해 변화 패턴을 첫째, 신호가 도로상황에서 급격하게 증가하고 감소하는 경우, 둘째, 완만하게 증가하고 감소하는 경우, 셋째, 지속적으로 증가하고 감소하는 경우, 넷째, 불규칙한 경우로 나누고, 생체신호의 증감 형태에 따라 패턴을 분류하였으며, 그 예를 <Table 2>에 나타내었다.

2.6 진단적 접근방법에 의한 분석결과

시간변화에 따라 운전자의 생체신호는 몇 가지 패턴을 나타내고 있었으며, 그 예가 <Figure 6>, <Figure 7>에 나타나 있다. <Figure 6>에서 보면 좌측 전두엽 뇌파활성도는 a구간에서 운전자의 뇌파활성도가 점차 감소하는 경향을 나타내다가 b구간에서는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 변화를 운전상황과 연결하여 볼 때, 운전자는 터널 구간 초반에는 긴장이 완화되는 경향을 나타내다가 후반에 이르러서는 다시 긴장하는 것으로 볼 수 있다. 또한 <Figure 6>의 c구간에서는 운전자의 심리·생리변화가 변화하지 않는 것으로 나타났다. 같은 구간에서 수집된 후두엽의 뇌파활성도는 d구간의 뇌파활성도 변화가 좌측전두엽 a구간에서 나타났던 변화 패턴과 다르게 상승하는 경향을 나타냈었지만, 터널 내부인 e구간에서는 다른 구간에 비해 운전자 뇌파활성도가 감소하여, 전반적으로 터널 구간에서는 낮은 뇌파활성도 변화 패턴을 나타내었다. 그리고, 운전자의 생체신호 변화 패턴뿐만 아니라 공통적으로 나타나는 생체신호 크기에 대한 정보도 함께 고려된다면, 좀더 정확한 분석이 가능할 것으로 나타났다. <Figure 6>과 <Figure 7>에 나타난 운전자 생체신호를 <Table 2>에서 구분한 패턴에 따라 구분하여 <Table 3>에 정리하였다.

Table 2. Example of classification of bio-signal pattern

Pattern of bio-signal	Description	Example of interpretation
	Sharp increase and decrease	These patterns could be found possibly when driver was frightened, tensed or relaxed too much or sleepy.
	Sharp decrease and increase	
	Moderately increase and decrease	These patterns could be found possibly when driver was in a proper level of tension, relaxation or attention.
	Moderately decrease and increase	
	Continuously increase	They reflect driver's psychophysiological responses when driver is continuously tensed or relaxed.
	Continuously decrease	
	No particular change	No influence on drivers.
	Random	Cannot be interpreted.

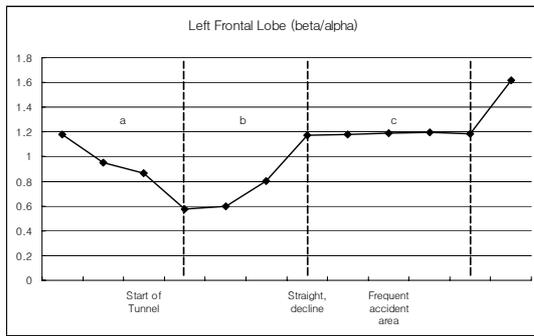


Figure 6. Example of β/α pattern on left frontal lobe.

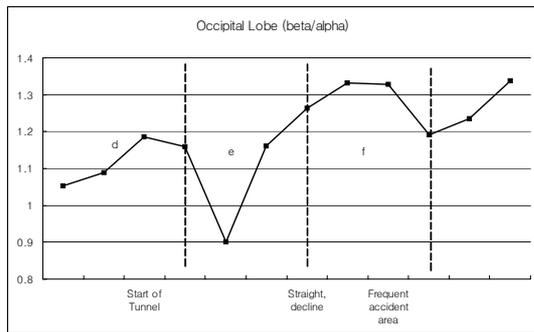


Figure 7. Example of β/α pattern on occipital lobe.

3. 분석방법 비교

본 연구에서 운전자 생체신호를 분석하기 위해 결정적, 확률적, 진단적 접근방법을 사용하였다. 각 접근방법에 대한 도입의도, 특징, 운전자 주행적합성 평가의 적용한계에 대해 <Table 4>에 정리하였으며, 접근방법에 따른 장·단점에 대해 <Table 5>에 정리하였다.

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 운전중에 수집된 운전자의 생리신호에 대해 3가지 분석기법을 적용하여 분석을 실시하였으며, 이를 운전자 주행 적합성과 관련하여 해석을 시도하였다.

평균과 분산을 이용한 결정적 접근방법론은 운전자의 생체신호를 실제 도로주행에 적용시키는 것에 있어 정량적이며 손쉬운 방법으로 활용될 수 있었다. 하지만, 실험결과의 평균과 표준편차만으로 생체신호를 분석하기에는 운전자 생체신호의 변동도가 매우 크게 나타나 운전상황 변화에 대해 민감도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 운전자의 생체신호를 이용하여 도로를 평가하기에는 각 생체신호의 의미를 이해하기도 쉽지

Table 3. Example of classification of bio-signal pattern and interpretation

Lobe	Region	Pattern	Interpretation
Left frontal lobe	a		Brain activity continuously decreased, that could reflect that driver's strain or attention level were decreasing.
	b		Brain activity continuously increased, that could reflect that driver's strain or attention level were increasing.
	c		No variation of driver's strain and attention.
Occipital lobe	d		Moderate increase and decrease of driver's strain or attention level.
	e		Sharp increase and decrease of driver's strain or attention level.
	f		Brain activity moderately increased and decreased, and driver's strain and attention showed same pattern, and generally it maintained a high activity level.

Table 4. Summary of analysis methods of driver's bio-signal

	Intention	Characteristics of analysis result	Limits of application
Deterministic approach	To predict a risky area with statistical value of bio-signal.	No statistical significant difference was found due to large variation of bio-signal.	It is difficult to find road-driver compatibility by using only amplitude of bio-signal.
Probabilistic approach	To identify abnormal bio-signal of driver by using the probability density function of driver's bio-signal.	Identify the position of individual bio-signal relative to population distribution.	It is difficult to find a consistent tendency for a single driver, and this approach requires further study.
Diagnostic approach	To analyze the temporal pattern of bio-signal.	The pattern of bio-signal was categorically classified according to driving condition.	It is necessary to develop quantification method for the pattern of bio-signal and to increase the sensitivity of this approach.

Table 5. Comparison of analysis methods

	Advantage	Disadvantage	Diagnosticity
Deterministic approach	<ul style="list-style-type: none"> Calculation is easy Basic quantification method 	<ul style="list-style-type: none"> Low sensitivity because of large variation of bio-signal. To decrease variation, many subjects are required. 	Poor
Probabilistic approach	<ul style="list-style-type: none"> Identify the population distribution of bio-signal. Identify the normal range of driver's bio-signal. 	<ul style="list-style-type: none"> Not very robust due to temporal intra-subject variability. 	Low reliability
Diagnostic approach	<ul style="list-style-type: none"> Pattern classification and analysis could be performed with temporal information. Mathematical parameter could be used to identify the pattern of bio-signal. 	<ul style="list-style-type: none"> Need a pattern quantification scheme. 	Possible measure but no assurance of sensitivity

않을 뿐만 아니라, 그 의미를 명확하게 판단하기가 쉽지 않다는 것을 의미한다.

확률적 접근방법의 경우, 일정 시점에서 개인의 안전운전 상태를 평가할 수 있는 방법으로 사용될 수도 있으나, 측정시점에 따른 개인의 생체신호 변화폭이 너무 크게 나타나, 일관된 해석을 하기 어려운 점을 보여 주었다. 이러한 생리신호의 확률적 특성(stochastic property)을 고려한 확률적 분석은 도로 상황에 따른 운전자의 생리신호 반응에 대한 확률적 해석을 시도하였다는 데 중요한 의의가 있다고 할 수 있으며, 이에 대한 신호의 확률적 특성에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

진단적 접근방법론을 적용한 결과, 개인간 패턴 변화의 정도는 있었지만, 운전상황에 따라 다수의 운전자로부터 공통적으로 나타나는 생체신호 변화 패턴을 발견할 수 있었으며, 이를 통한 개인의 운전상태를 진단할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 다만, 개인의 운전적합도 진단을 위해서는 현재의 정성적인 관찰을 정량적으로 표현할 수 있는 방법이 필요한 것으로 나타났으며, 후속 연구에서 운전자의 주행적합성 진단방법을 개발하는 데 반영되었다.

본 연구에서는 생체신호 측정결과를 운전자의 주행적합성 평가에 이용하고자 다양한 분석방법을 사용하여 그 장·단점을 비교·분석하여 보았다. 이러한 분석방법이 운전자의 주행

적합성 진단방법론으로 확립되기 위해서는 더 많은 실험과 검증을 통하여 객관적인 진단이 이루어질 수 있어야 하고, 특히, 운전자의 심리·생리상태를 명확하게 판단할 수 있는 정량적 기준 수립이 필수적이라 하겠다. 또한, 생체신호를 이용한 주행적합성 진단을 위해서는 그 과정이 복잡하더라도 최종사용자들이 손쉽게 사용할 수 있는 도구를 개발하는 것이 중요한 과제라고 할 수 있다.

참고문헌

Andreassi, J. L. (1995), *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response*, 3rd Ed., Lawrence Erlbaum Associates.

Brookhuis, K. A. and Waard, D. D. (1993), The Use of Psychophysiology to Assess Driver Status, *Ergonomics*, **33**(9), 1099-1110.

Helander, M. G. (1975), Physiological reactions of driver's as indicators of road traffic demand, *Transportation Research Record*, **530**, 1-17.

Kim, J. Y., Yoon, S. Y., Park, J. S., Lee, H. Y., Park, J. B. and Kim, J. Y. (2001), Pattern Classification and Diagnosis of driver's bio-signal on highway, *Proceedings of 2001 Spring Conference of Ergonomics Society of Korea*, 234-239.

Korea Highway Corp. (1999), Development and Installation of Driver's Behavior and Response Detecting System in Vehicle.