

운전자 주행적합성 진단을 위한 연구 III: 진단모델 개발 및 검증

김정룡[†] · 윤상영

한양대학교 정보경영공학과

The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility III: Development and Validation of Diagnostic Model

Jung-Yong Kim · Sang-Young Yoon

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

In order to determine the level of safety on highway driving, the relationship between the psychophysiological signal and driving condition was investigated. In particular, a Demand-Effort model was conceptualized and used in this study to diagnose the suitability of driving by reading the patterns of psychophysiological signals. To run the model, threshold values were determined to categorize the high, moderate and low level of effort. To examine the sensitivity of the model, a cross-validation process was performed by collecting additional data. Further investigation need to be conducted to improve the sensitivity of the model for practical application.

Keywords: driver's psychophysiological state, Demand-Effort model development

1. 서론

차량 주행 시, 운전자 요인(human factor)은 도로나 자동차 요인과 함께 교통사고를 발생시키는 중요한 원인으로 인식되고 있다. 이러한 운전자 요인에 의한 사고를 분석하기 위해, 운전자의 행동반응이나 생체신호를 측정하는 연구들이 빈번히 이루어지고 있다. 특히, 뇌파(EEG)와 같은 생체신호 또는 눈깜박임, 심장박동수와 같은 운전자의 생리반응을 측정하여, 운전자의 정신부하를 예측하거나 사고를 예방할 수 있는 방법을 찾기 위한 연구가 진행되어 왔다(Brookhuis and Waard, 1993; Kecklund and Akersted, 1993; Waard *et al.*, 1995; Gundel *et al.*, 1995; Milosevic, 1997; Richter *et al.*, 1998; Gobel *et al.*, 1998).

국내에서는 한국도로공사를 중심으로 1998-1999년에 걸쳐 운전자의 심리·생리적 변화를 측정하기 위한 '운전자 행동 및 반응검지 차량'이 개발되었고, 이 차량을 이용하여 추출된 생체신호를 토대로 지속적인 연구가 수행되고 있다. 하지만,

운전중 추출된 생체신호를 이용하여, 운전자의 안전운전 상태를 진단하기에는 운전상황의 다양성, 운전자 생체신호의 큰 변이도 등 통계적 분석을 어렵게 하는 요인들이 산재되어 있어, 운전자 주행적합성 평가에 이용하기에는 어려운 면이 조사되었다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 신호의 크기에 대한 분석은 물론 신호 패턴의 변화를 판독하는 데 사용되는 의료전문가들의 접근방법을 도입하여 생체신호를 분석하기로 하였다. 특히, 본 연구에서는 동 연구자에 의해 개념화된 Demand-Effort 모델(Kim *et al.*, 2001a; Kim *et al.*, 2001b; Kim *et al.*, 2002)을 도입하여, 이를 현장에 사용하기 위한 추가적인 threshold 값을 결정하였다. Threshold 값을 결정하기 위해 실제 도로주행에서 얻어진 심리·생리적 반응을 수집·정량화하였고, 주행적합성 진단을 위한 threshold 값을 결정하였으며, 이 threshold 값에 따라 운전자의 주행 적합성을 평가할 수 있는 알고리즘을 구축하였다. 본 연구는 운전자 주행적합성 진단을 위한 연

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

2003년 3월 접수; 2003년 12월 수정본 접수; 2004년 1월 게재 확정.

구의 일부로서 전체 연구과정 중 현재 연구의 진행단계를 <Figure 1>에 나타내었다.

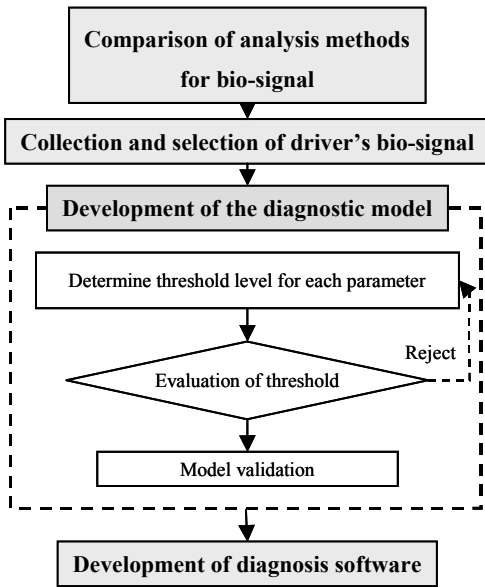


Figure 1. Process of development of diagnostic model for road-driver compatibility. This study covers the flow chart in dashed line.

2. 선행 연구 요약

본 연구는 운전 주행적합성 진단을 위해, 개념적 모델을 현장 활용이 가능한 실용적인 도구로 사용하기 위해 threshold 값을 결정하는 단계로, 기존 모델의 개념과 생체신호 수집, 선정과정을 다음과 같이 요약하였다.

2.1 진단모델(Demand-Effort model) 개념

기존의 진단적 접근방법을 사용함에 있어 신호의 증감 패턴

을 이용하여 주행적합도를 판단할 수 있는 방법이 요구되었다. 그러므로, 본 연구에서는 운전자 생체신호와 이에 대응하는 운전상황 간의 관계를 관찰하여, 기존 혹은 신설된 도로의 운전 적합도 판정 또는 진단을 가능하게 해주는 Demand-Effort 모델의 개념을 도입하게 되었다(<Figure 2> 참조).

Demand-Effort 모델은 각 도로환경에 따라 안전운전을 위해 운전자에게 요구되는 정신부하(mental stress)를 “Demand”로 정의하고, 이를 극복하기 위하여 사용해야 하는 운전자의 정신적 노력을 “Effort”로 정의하였다. 그리고, 각각의 도로환경에 따른 운전자의 demand와 effort 크기를 등급별로 나타내고, 이를 모델에 적용하여 운전자의 주행적합성을 평가하고자 하였다. 즉, 각 운전상황으로부터 발생한 정신부하와 운전자가 발휘하는 정신적 노력이 어느 정도 부합(match)하는가를 <Figure 2>와 같이 평가하게 된다. 예를 들어, <Figure 2>의 over-paced driving으로 정의된 부분은 운전자의 정신적 노력이 운전자가 받는 정신부하에 비해 지나치게 큰 경우를 의미하며, 이때 일정 시간 주행 후 운전자가 쉽게 피로할 수 있어 안전운전에도 영향을 미칠 수 있다고 가정하였다. 또한 risky driving으로 정의된 부분은 over-paced driving과는 반대로 운전자의 정신적 노력이 운전자에게 요구되는 정신부하에 못 미치는 상태이며, 이러한 경우에는 운전자가 운전상황에 적절히 대처하지 못하는 경우가 발생할 수 있다고 가정하였다. 이러한 가정은 일반적인 작업시 적절한 stress 조건이 주어질 때, 가장 높은 수행도(performance)를 보일 수 있다는 Welford(1973)의 개념을 응용한 것이고, 또한 Wilson과 Corlett(1995)의 자극과 작업부하 사이의 관계를 표현한 연구결과와도 유사한 개념적 맥락을 갖는다.

2.2 생체신호 수집

선행 연구에서 뇌질환이나 심장질환으로 인해 입원 또는 치료를 받은 적이 없고, 시각기능에 이상이 없는 80명의 정상인을 대상으로 2년에 걸쳐 생체신호를 추출하였으며, 73명은 영동고속도로와 서해안고속도로에서 실험을 실시하였고, 7명의

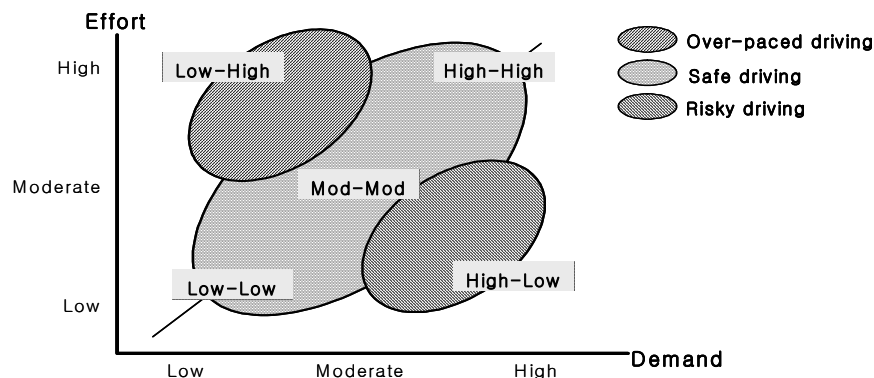


Figure 2. Diagram of Demand-Effort model.

피실험자는 검증을 위해 서울 외곽순환도로와 영동고속도로에서 실험을 실시하였다.

한국도로공사에서 개발한 실험용 차량을 사용하였으며, Biopac MP100 System을 사용하여, 총 16채널(뇌파(EEG): 7ch, 눈동자 움직임(EOG): 2ch, 근전도(EMG): 2ch, 심전도(ECG): 2ch, 피부표면온도(SKT): 1ch, 혈압(PPG): 1ch, 피부전도도(GSR): 1ch)의 생체신호를 측정하였다.

2.3 생체신호 변수 선정과정

선행 연구(Kim and Yoon, 2004)에서는 운전자 생체신호 분석을 위해, 1) 결정적 접근방법(Deterministic Approach), 2) 확률적 접근방법(Probabilistic Approach), 3) 진단적 접근방법(Diagnostic Approach)을 시도하였다. 그 중 평균과 분산값을 사용한 결정적 접근방법은 피실험자들 생체신호의 변이도를 매우 크게 보여 주어, 도로상황에 따른 운전자 생체신호를 구분하는데 민감하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 생체신호를 전체 분포함수에 대한 상대적 위치로 이해하려고 한 확률적 접근방법은 유사한 조건의 측정구간 내에서도 시간변화에 따른 개인의 생체신호 변이도가 너무 커, 도로평가를 위한 일관된 개인 운전자 정보를 얻기에 어려움이 있다고 판단되었다. 따라서, 운전자 생체신호를 분석하기 위해서는 새로운 접근방법이 요구되었고, 진단적 방법이 검토되었다.

진단적 접근방법의 정량적 분석을 위해 선정된 생체신호의 수리적 파라미터는 생체신호의 크기(amplitude)와 시간의 변화에 따른 생체신호의 기울기(slope)로 계산되었다. 예를 들어, 생체신호의 크기는 중추신경계 생체신호(EEG)를 FFT를 통해 얻어진 상대 스펙트럼 값을 사용하였으며, 자율신경계 생체신호(EOG, ECG, SKT, GSR)는 RMS 값을 사용하였다(Kim *et al.*, 2004).

또한, 다양한 생체신호 가운데 운전상황에 민감하게 반응하는 생체신호 변수를 3단계에 걸쳐 선정하였다. 첫째, 기존 연구결과와 일치하거나 유사한 경향을 나타낸 생체신호 변수를 선정하였고, 둘째, 생체신호를 30초 간격으로 나누고, 각 간격의 생체신호 평균을 구하여, 일정 시간 동안 이 평균값의 변화를 관찰한 후, 같은 주행구간에서 비교적 일정한 증감 패턴을 나타내는 생체신호 변수를 선정하였다. 마지막으로, 10초 간격으로 생체신호를 나누어, 두 번째 단계와 같은 방법으로 일정 시간 동안의 신호변화 패턴을 관찰하였고, 도로환경에 따른 증감 패턴이 일정한 생체신호 변수를 선정하였다(Kim *et*

al., 2004).

총 30개의 생체신호 파라미터(15ch별 크기와 기울기) 중, 3단계에 걸친 선정과정을 통해, 좌측 전두엽 β/α , 우측 전두엽 β/α , 중심엽 θ , 두정엽 θ , 좌우 안구운동도, 상하 안구운동도, 피부온도, 피부전도도의 기울기 파라미터와 좌측 전두엽 β/α , 우측 전두엽 β/α , 후두엽 β/α , 좌우 안구운동도, 상하 안구운동도의 크기 파라미터로, 총 13개의 생체신호 파라미터를 최종 선정하였다.

3. 연구방법

3.1 Demand-Effort의 수준 결정

Demand의 경우, 도로가 운전자에게 부과하는 demand 수준을 도로형태와 사고빈도를 바탕으로 3수준으로 결정하였다. 즉, 사고다발지역을 high demand 구간으로 선정하고, 연속 5km 이상 직선구간을 low demand 구간으로 선정하였으며, high demand 구간과 low demand 구간을 제외한 구간을 moderate demand 구간으로 선정하였다. Effort의 경우, demand 수준에 따른 운전자의 effort 수준을 생체신호 변수별로 추출하여, 3수준으로 구분할 수 있도록 threshold 값을 결정하였고, 생체신호 변수의 평균(μ)과 편차(σ)를 이용하여 threshold 값을 결정하는 과정은 다음과 같다.

1. Moderate effort 수준을 결정하는 threshold 값의 기본범위는 $\mu \pm 0.5\sigma$ 로 결정하였다. 1σ 의 경우, moderate effort 범위가 너무 넓어 high 또는 low effort 범위와 중복되는 경우가 발생하여, 0.5로 수정하였다. 이때, moderate effort의 범위는 전체 운전자 분포를 정규분포로 가정했을 때, 약 40%정도를 포함하게 된다. 범위를 나타내는 0.5는 신호의 변이도와 진단의 민감도를 고려하여 추후 조정이 가능하도록 하였다.
2. High effort 수준의 upper threshold 값은 측정된 생체신호 변수의 최대값을 포함하도록 하고, low effort 수준의 lower threshold 값은 측정된 생체신호 변수의 하한값을 포함할 수 있도록 하고, 두 구간이 서로 겹치지 않도록 high effort의 하한값과 low effort의 상한값을 조절하였다.

결정된 threshold의 범위를 그림으로 표현하면 <Figure 3>과 같다.

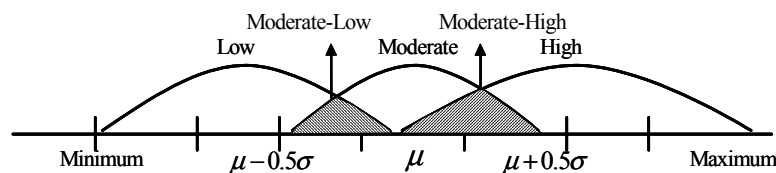


Figure 3. An example of determining threshold.

3.2 Match 비율 결정방법

운전자의 정신적 노력(effort)이 도로의 요구(demand)와 열이나 부합(match)되는지를 생체신호 변수별로 결정하였다. Match의 개념은 Demand-Effort 모델에 따라 각 생체신호별로 도로의 demand 수준과 운전자의 effort 수준을 고려하여 <Table 1>과 같이 정의하고, 몇 개의 생체신호가 지정된 구간에서 match 상태를 보여주는가 하는 것을 overall match ratio로 나타내었다. 단, 운전자 생체신호의 effort 수준은 <Figure 3>에서 high, moderate, low 수준에 따라 겹치는 영역이 존재하므로, 겹치는 부분을 각각 moderate-high와 moderate-low로 구분하여 총 5수준으로 평가를 실시하였다. Match/Mismatch 여부를 결정할 때에는, 운전자 생체신호의 변이도를 고려하여, 운전자의 effort 수준과 도로의 demand 수준이 분명히 틀리게 나타나는 경우만을 mismatch로 판정하였다.

Table 1. An example of Match/Mismatch decision rule

Effort \ Demand	High	Moderate	Low
	High	Match	Mismatch
Moderate-High	Match	Match	Mismatch
Moderate	Match	Match	Match
Moderate-Low	Mismatch	Match	Match
Low	Mismatch	Mismatch	Match

각 생체신호별로 운전자 effort 수준과 도로의 demand를 비교하여, Match/Mismatch가 결정되었으면, 운전자의 주행적합성 평가를 위한 overall match ratio를 식 (1)에 의해 계산하였다.

$$\text{Overall match ratio}(\%) = \frac{\text{match로 판정된 생체신호 개수}}{\text{전체 생체신호 개수}} \times 100(\%) \quad (1)$$

Table 2. Threshold values of individual parameters derived from central nerve system response

Variable	Parameter Demand Threshold	Normalized slope		
		High	Moderate	Low
Left frontal lobe (β/α)	Lower threshold	0.043	-1.527	-13.986
	Upper threshold	26.716	3.957	-0.058
Right frontal lobe (β/α)	Lower threshold	-0.294	-2.270	-19.085
	Upper threshold	14.500	2.435	-0.309
Central lobe (θ)	Lower threshold	-31.410	-3.950	0.295
	Upper threshold	0.658	6.663	29.172
Parietal lobe (θ)	Lower threshold	-23.167	-5.350	0.786
	Upper threshold	0.706	5.157	32.032

4. 결 과

4.1 파라미터별 threshold의 결정

운전상황에 따라 민감하고 일관된 변화경향을 나타내는 생체신호 파라미터 13개 중(Kim et al., 2004) 새롭게 제시된 β/α 와 관련된 5개의 파라미터에 대해서는 기존의 연구결과들을 고려하여 모델에 적용하였다. 즉, 기존 연구에서 α 파는 긴장할수록 감소하며, β 파는 증가하는 경향이 있는 것으로 나타나므로, 이에 비추어 도로의 demand가 증가할 때, β/α 파라미터가 감소하는 3개의 파라미터를 제외하고 총 10개의 파라미터를 모델에 적용하였다.

중추신경계 생체신호인 뇌파 관련 파라미터 중에서, 운전자의 각성상태를 반영하는 뇌파활성도(β/α)의 기울기 파라미터가 좌·우 전두엽에서 선택되었으며, 운전자의 졸리움을 반영하는 θ 파의 기울기 파라미터가 중심엽과 두정엽에서 선택되어, 모델에 적용하기 위한 threshold가 결정되었다. 자율신경계 생체신호에서는 운전자의 전방 주의정도를 알 수 있는 수평·수직 눈동자 움직임과 긴장정도를 반영하는 피부표면온도와 피부전도도에 대한 기울기 파라미터가 선택되었으며, 수평 눈동자 움직임과 피부전도도는 생체신호 크기 파라미터가 선택되었다. 선택된 파라미터는 threshold 결정방법에 따라, 파라미터별로 threshold가 <Table 2>와 <Table 3>과 같이 결정되었다.

4.2 Demand-Effort 모델의 검증

현재 결정된 threshold를 바탕으로 Demand-Effort 모델을 검증하기 위해 운전자 7명에 대한 생체신호 추출을 실시하였다. 분석구간의 도로환경과 연간 사고건수를 바탕으로 각 구간의 예상 demand 수준을 결정하였다. 사고건수가 연 5회 이상이고, 일반적인 도로환경이 아닌 구간은 high demand 구간으로, 사고건수가 연 5회 미만이거나 굽은 형태의 구간은 moderate

demand 구간으로, 사고 발생건수가 없고 굽은 형태의 구간은 low demand 구간으로 설정하였다. 또한 선정된 도로에 대해 각각 다른 demand 수준을 적용해 보았다. 이때 가장 높은 match 비율을 보여주는 demand 수준이 예상 demand 수준과 일치하는지 알아볼 수 있고, 이를 통해 모델에서 철저한 demand 수준의 타당성을 확인해 보고자 하였다.

이에 따라, 서울 외곽순환도로 하행 6.0~6.8km 구간을 high demand 구간으로 결정하고 주행한 결과, 도로의 demand 수준과 운전자의 effort 수준 간의 match 비율이 73.3%로 높게 나타났다. 즉, high demand 구간의 주행에서 대부분의 운전자가 high effort를 발휘했으므로, 주행상에 문제가 발생하지 않았으

며, demand-effort 모델에 의해 safe driving을 수행했다고 볼 수 있다. 반면, 서울 외곽순환도로 상행 6.4~6.8km 구간은 high demand 구간으로 분류되었음에도 불구하고, 대부분의 운전자가 moderate effort를 발휘했으므로, 경우에 따라서는 risky driving으로 해석될 수 있으며, 실험중에는 사고가 발생하지 않았지만, 사고 발생 가능성을 전혀 배제할 수 없는 경우로 볼 수 있다.

Moderate demand로 분류되는 영동고속도로 상행 44.6~44.8km 구간에서는 운전자가 moderate effort를 발휘하는 것으로 나타나므로, safe driving으로 해석할 수 있으며, 영동고속도로 하행 38.0~38.1km 구간은 특징적인 운전자의 effort 수준을

Table 3. Threshold values of individual parameters derived from autonomic nerve system response

Variable	Parameter Demand Threshold	Normalized slope			Normalized amplitude		
		High	Moderate	Low	High	Moderate	Low
Horizontal eye movement	Lower threshold	0.000	-0.056	-0.255	1.019	0.978	0.800
	Upper threshold	0.255	0.054	-0.001	1.600	1.086	1.018
Vertical eye movement	Lower threshold	-0.023	-0.077	-0.286	-	-	-
	Upper threshold	0.300	0.052	-0.025	-	-	-
Skin temperature	Lower threshold	-10.082	-0.351	-0.080	-	-	-
	Upper threshold	-0.086	0.340	6.296	-	-	-
Galvanic skin response	Lower threshold	0.000	-0.003	-0.031	0.105	0.876	0.985
	Upper threshold	0.048	0.002	-0.001	0.983	1.049	1.083

Table 4. Match ratios when high/moderate/low demand were assumed

Analysis area	Characteristics (no. of accident per year)	Expected demand level	Match ratio with each demand level assumed (%)			Interpretation
			High demand	Moderate demand	Low demand	
Seoul Highway Circle (downbound 6.0~6.8km)	Tunnel (11)	high	73.3	70.0	26.7	Driver's effort is high level. Safe driving is expected.
Seoul Highway Circle (upbound 6.4~6.8km)	Slightly curved to the right and tollgate (6)	high	53.3	63.3	46.7	Driver's effort is moderate level. Risky driving is expected.
Youngdong Highway (upbound 44.6~44.8km)	Slightly curved to the left (4)	moderate	55.0	60.0	45.0	Driver's effort is moderate level. Safe driving is expected.
Youngdong Highway (downbound 38.0~38.1km)	Interchange (3)	moderate	50.0	57.5	52.5	Low match ratios. No definite interpretation.
Youngdong Highway (downbound 23.5km)	Curved to the right (0)	low	51.4	67.1	47.1	Driver's effort is moderate level. Over-paced driving is expected.

찾을 수 없었다.

Low demand 구간으로 분류된 영동고속도로 하행 23.5km 구간에서는 대부분의 운전자가 moderate effort를 수행하여, 장기간 운전할 경우, over-paced driving이 될 수 있다는 것을 보여 주었다.

Demand-Effort 모델을 통해 운전자의 주행적합성을 평가한 결과를 <Table 4>에 요약하였다.

5. 토 의

생체신호의 변이도

초기 현장실험 시(35명의 피실험자가 지정된 구간을 1회씩만 주행), 피실험자 간 오차가 운전자 생체신호의 변이도를 더욱 크게 만들어 측정결과의 신뢰도가 낮아지는 결과를 보였다. 따라서, 나머지 38명의 피실험자에 대해서는 한 운전자가 상이한 구간을 반복 주행하는 방법(repeated measure design)을 실시하여 개인별 생체신호 특성에 따른 측정오차를 최소화하고자 하였다. 이때, 실험설계의 일관성을 유지하기 위해 초기 실험에 참여하였던 동일한 피실험자를 재사용하여 전체 실험 결과가 within-subject design 하에서 얻어질 수 있도록 하였다. 실제로 초기 35명의 데이터만을 분석하였을 때보다는, 후기 38명의 데이터를 포함한 73명의 자료를 분석하였을 때, 운전자가 생체신호의 변이도가 줄어드는 것을 관찰할 수 있었다. 그러므로, 운전자 생체신호의 경우 피실험자 간에 발생하는 생체신호의 개인적 특성의 차이에 대한 추가적인 연구가 가능할 것으로 예상된다.

생체신호 최소 분석단위

예비분석을 통해 생체신호 분석을 위한 단위시간을 10초로 선정하였다. 실제로 1분 간의 단위시간을 사용해 보았으나, 이것은 100km/h로 주행 시 약 1.8km에 해당하는 구간이므로, 생체신호의 일관된 변화가 관찰된다 하여도 실제 도로구간과의 연관성을 추출하기가 어렵다고 판단되었다. 그러므로, 순간적인 도로환경의 변화나 지속적으로 변화하는 운전자의 심리·생리상태에 대응하기 위해서는 작은 시간단위로 분석하는 것이 필요하였다.

하지만, 1, 2초와 같이 너무 짧은 시간단위로 분석할 경우, 현장에서 생체신호를 유발시키는 변인(자극)들을 정밀하게 분석하기 어렵고, 짧은 시간 안에 심리·생리 변화가 나타나지 않을 경우, 생체신호의 신호의 단순한 생체신호의 오르내림(fluctuation)과의 구별이 어려웠다. 그러므로, 100km/h 주행 시 10초 동안에 약 278m를 주행하므로, 이를 생체신호 최소 분석단위로 정하고, 전후 50초 구간(측정지점 전 30초, 측정지점 10초, 측정지점 후 10초)의 생체신호 변화를 측정하였다. 이 최소 분석단위는 전후 결과에 따라 증감이 가능할 것으로 예상된다.

진단모델의 타당성

Demand-Effort 모델은 도로의 demand와 운전자의 effort가 일치(match)하는 상태가 안전운전 상태라는 인간공학적 가정을 사용한 모델로서 적용 가능성에 대한 cross-validation을 실시하였다. 즉, 새로운 7명의 운전자가 이전에 주행하지 않았던 서울 외곽순환도로와 영동고속도로를 안전하게 주행한다고 가정할 때, 과연 도로의 demand 수준에 따라 effort 수준이 변화하여 “부합(match)”의 상황을 만들어내는가 하는 것이었다.

그 결과, 전반적인 사고건수에 따른 demand 수준이 증가함에 따라 안전운전을 하기 위한 운전자들의 effort도 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다(<Table 4>). 이는 Demand-Effort 모델의 가정을 가지고 현장에서 일반적으로 적용시킬 수 있다는 예를 보여 주었다. 이러한 시도가 보다 다양한 도로상황에서 이루어질 수 있다면, 실험을 통한 모델의 타당성이 추가적으로 검토되어질 수 있을 것이다.

진단모델의 한계성

구간의 demand 수준은 한국도로공사의 사고지역 통계자료와 도로의 기하학적 구조를 고려하여 결정되었다. 이는 첫째, 과거 사고율의 데이터가 없는 신설 도로에 대한 demand 평가를 어렵게 하고, 둘째, 교통량이나 기타 요인으로 인한 demand 변화를 간과하는 단점이 있다. 그러므로, Demand-Effort 모델을 이용하여 운전자의 주행적합성을 정확하게 진단하기 위해서는 위에 언급한 내용을 바탕으로 도로에 대한 demand 수준을 결정하는 정량화된 평가기준 확립이 필요하다. 또한, 이러한 정량화된 평가기준이 확립된다면, 본 연구에서 제안된 Demand-Effort 모델의 적용과 고속도로 진단에 대한 민감도를 높이는 데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

또한, Demand-Effort 모델을 사용한 진단과정에서 각 생체신호는 외부 자극의 종류에 관계없이 생체신호가 유사하게 반응한다는 가정하에 같은 가중치를 사용하여 식 (1)과 같이 match 비율을 계산하였다. 그러나 모든 생체신호의 민감도가 운전상황에 따라 다르게 반응할 수 있으므로 개개의 민감한 생체신호에 대한 가중치를 밝혀내고, 이를 모델에 적용한다면, 진단 모델의 민감도를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

6. 결 론

본 연구에서는 운전자 주행적합성을 진단하기 위해 Demand-Effort 모델의 개념을 도입하였고, 도로 환경과 주행환경에 따른 운전자의 심리·생리적 변화에 따른 생체신호를 정량화된 파라미터로 표현하였으며, 실험을 통해 수집된 운전자 생체신호를 토대로 진단을 위한 파라미터의 threshold값을 결정하였고, 모델의 진단 가능성을 검증하였다.

현재 운전자의 생체신호를 측정할 수 있는 차량이 제작되어

있어, 본 연구에서 제안하고 검증된 Demand-Effort 모델을 사용하여, 기존의 고속도로 또는 신설도로에 대한 주행적합성을 측정하는 것이 가능하다. 실제로, 현재 모델의 활용을 극대화하기 위한 추가적 생체신호 수집 및 분석이 현장에서 이루어지고 있으며, 향후 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 전망이다. 이러한 연구결과는 궁극적으로 지금까지 인간의 실수로 인식되었던 사고의 원인을 과학적으로 분석하여, 이를 미연에 방지할 수 있는 방법론을 제시할 수 있으리라 기대된다.

예를 들어, 도로의 demand 수준이 높은 수준으로 유지가 된다면, 운전자가 휴식을 취할 수 있는 휴게소를 설치함으로써 demand 수준을 정상수준으로 낮출 수 있고, 도로의 demand가 너무 낮은 상태를 유지한다면, 운전자의 각성을 돕기 위한 구조물이나 안내판 등의 설치를 제안할 수도 있다. 결론적으로, 본 연구의 결과는 운전자와 운전환경하의 상호부조화로 인해 발생할 수 있는 사고를 예방하는 데 기여할 것으로 기대한다.

참고문헌

- Brookhuis, K. A. and Waard, D. D. (1993) The Use of Psychophysiology to Assess Driver Status, *Ergonomics*, **33**(9), 1099-1110.
- Gobel, M., Springer, J., and Scherff J. (1998) Stress and Strain of Short Haul Bus Drivers: Psychophysiology as a Design Oriented Method for Analysis, *Ergonomics*, **41**(5), 563-580.
- Gundel, A., Drescher, J., Maas, H., Samel, A., and Vejvoda, M. (1995) Sleepiness of civil airline pilots during two consecutive night flights of extended duration, *Biol. Psychol.*, May; **40**(1-2), 131-41.
- Kecklund, G. and Akerstedt, T. (1993) Sleepiness in Long Distance Truck Driving: an Ambulatory EEG Study of Night Driving, *Ergonomics*, **36**(9), 1007-1017.
- Kim, J. Y. and Yoon, S. Y. (2004), The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility I: Comparison of Methods for Bio-Signal Analysis, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **30**(1), 44-49.
- Kim, J. Y., Park, J. S., Yoon, S. Y., Lee, H. Y., Park, J. B. and Kim, J. Y. (2001a) Analysis of driver's bio-signal affected by easy-driving condition, *Proceedings of 2001 Spring Conference of Ergonomics Society of Korea*, 240-245.
- Kim, J. Y., Yoon, S. Y. and Park, J. S. (2004), The Study to Diagnose the Road-Driver Compatibility II: Data Collection, Variable Selection and Parameter Quantification, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **30**(1), 50-57.
- Kim, J. Y., Yoon, S. Y., and Whang, M. C. (2002) The Development of "Demand-Effort Model" To Evaluate the Psychophysiological Response of Drivers on the Highway, *4th International Conference on Psychophysiology in Ergonomics*. The University of Glasgow.
- Kim, J. Y., Yoon, S. Y., Park, J. S., Lee, H. Y., Park, J. B. and Kim, J. Y. (2001b) Pattern Classification and Diagnosis of driver's bio-signal on highway, *Proceedings of 2001 Spring Conference of Ergonomics Society of Korea*, 234-239.
- Milosevic, S. (1997) Drivers' Fatigue Studies, *Ergonomics*, **40**(3), 381-389.
- Richter, P., Wagner, T., Heger, R., and Weise, G. (1998) Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads-a quasi-experimental field study, *Ergonomics*, **41**, 593-609.
- Waard, D. D., Jessurun, M., and Steyvers, J. J. M. F. (1995) Effect of Road Layout and Road Environment on Driving Performance, Drivers' Physiology and Road Appreciation, *Ergonomics*, **38**(7), 1395-1407.
- Welford, A. T. (1973) Stress and Performance, *Ergonomics*, **16**(5), 567-580.
- Wilson, J. R., and Corlett, E. N. (1995) Evaluation of Human Work, Taylor & Francis Group.