

운전자 작업부하와 도로용용기술 발전에 대한 고찰



정 봉 조 | 정회원 · 한국도로공사 경기지역본부 동서울지사

1. 서론

교통사고 발생에 기여하는 3대요인 중 인적요인과 관련된 것이 90% 이상인 것으로 알려져 있다 (Shinar, 1978). 그러나 교통사고 발생원인을 분석하는데 있어 인적요인을 가려내기란 여간 어려운 일이 아닐 수 없다. 운전자의 운전능력은 기분, 개인성향, 교육 등에 따라 개인별로 차이가 크게 나타나기 때문이다. 또한 다양한 교통여건과 시간적으로 변화하는 도로주행조건은 교통문제에서 인적요인을 규명하는데 어려움을 가중시키고 있다. 그러나 이러한 어려움에도 불구하고 최근 운전작업과 관련하여 인적요인으로 인한 영향을 찾으려는 다양한 노력이 시도되고 있다.

운전상황에서 운전자의 행동특성을 이해하는 것은 매우 어려운 문제인데 이는 상황여건에 따라 바뀌는 인간의 주관적이고 복잡 미묘한 심리과정을 매번 포착하기가 힘들뿐만 아니라 심리과정과 행동특성간의 상호관계를 객관적인 수치로 정량화시키기가 매우 어렵기 때문이다. 운전자 요소를 계량화하기 위해서 주로 시도되고 있는 방법은 운전자 작업부하(driver workload)를 측정하는 것이다. 현재까지 많은 작업

부하 측정기법들이 발표되었으나 이들 작업부하 측정기법들을 사용함에 있어서 실험자들이 어떤 기법을 사용해야 할지 선택하기 힘들 정도로 그 방법이나 특성이 다양하다.

본고에서는 도로기하구조의 안전성 평가를 위한 여러 접근방법 가운데 운전자의 작업부하를 이용한 평가에 대해 이론적 배경과 국내의 연구개발 동향을 살펴보고자 한다.

2. 작업부하에 관한 이론적 고찰

2.1 작업부하 측정방법

Wilson & Rutherford(1989)는 작업자의 작업부하 측정기법을 크게 세 가지로 아래와 같이 구분하였다.

2.1.1 수행도 기준 측정방법(performance-based techniques)

작업환경 내에서 수행하는 작업자의 작업능력을 평가하는 것이다. 수행도 기준측정에는 주작업 측

정과 부작업 측정이 있으며, 주작업 측정은 어떤 시스템이나 오퍼레이터를 평가하고자 할 때 관심 있는 시스템의 수행을 조사하는 것이다. 그러나 작업의 난이도에 따라 민감하게 반응하지 못한다는 단점이 있다(Wickens 1992). 이것은 작업에서 요구하는 능력이 증가하면 작업자도 늘어난 요구를 맞추기 위해 자신의 특별한 능력을 발휘하거나 작업 수행방법의 변화를 통해 작업을 쉽게 할 수도 있기 때문이다. 부작업 측정은 주작업과 함께 시간추정, 간단한 계산 등의 작업을 함께 수행하도록 하여 주작업 수행이 어느 정도 영향을 받는가를 측정하는 것이다.

2.1.2 주관적 측정방법(subjective techniques)

피실험자의 주관적인 판단에 근거하여 측정하는 것으로 평점측척(Rating Scale)으로 측정이 된다. 주관적 측정법에는 NASA Task Load Index(NASA-TLX), Subjective Workload Assessment Technique (SWAT), Modified Cooper-Harper(MCH) Technique 등이 있다. MCH에 비해 SWAT와 NASA-TLX는 작업부하에 대해 다차원적인 정보를 제공하기 때문에 작업부하의 측정과 진단이 용이하다는 장점이 있다. 주관적 측정의 장점은 작업자의 주작업을 방해하지 않으며 비교적 쉽게 산출이 된다는 점이다. 다만 작업자의 언어적 진술이 실제로 작업자가 느끼는 작업부하를 잘 반영하고 있는지에 대해 불확실하다는 것이 단점으로 지적된다.

2.1.3 생리적 측정방법(physiological techniques)

피실험자의 생리적인 반응을 측정하는 것으로 생리적인 측정법에는 동공크기 측정, 심장박동률의 변화, 두뇌활동을 알아보기 위한 EEG(electroencephalograph)기록을 보는 방법 등이 있다. 생리적 측정은 작업자의 주작업을 방해하지 않는 한도 내에서 측정이 되어야 하며, 다른 측정법과는 달리 연속적인 정보를 준다는 장점이 있다. 생리적 측정은 주로 단일 감각기관에 의존하는 작업에 대한 신경부하를 측정

할 때 이용된다. 이러한 측정의 원리는 정신활동이 중앙신경시스템의 활용에 바탕을 두고 있다는 점에 착안하여 이를 측정하는데 있다.

수행도기준 측정방법과 주관적 측정방법은 피실험자의 개인적인 능력이나 학습능률 그리고 기분 등 피실험자의 의식적인 판단에 따라 측정치가 영향을 받아 객관적인 판단을 하는데 있어서 보다 세심한 분석이 필요하게 된다. 생리학적 측정방법은 피실험자의 의식적 판단과 행동에 의한 수집 데이터의 오류를 최소화할 수 있고 최근 측정장비의 발전으로 보다 정확하고 효과적인 측정 데이터를 얻을 수 있게 되어 많은 연구기관에서 이 분야에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 여기서는 생리학적 측정방법에 의하여 운전작업부하를 측정하고 여러 가지 교통행태를 분석하는 방법과 사례를 중심으로 정리하고자 한다.

2.2 생리학적 측정방법

생리학적 측정방법은 생체신호를 이용하는 것으로, 생체내의 전기적인 흐름을 분석하는 것이다. 즉, 신경세포와 근섬유 사이의 정보전달을 위해서 이온들이 막을 통과하게 되면 이때 화학적이며 전기적인 변화가 일어난다. 이러한 생리적 반응들은 일반적으로 뇌의 지배를 받아서 생성 및 소멸하게 된다. 생체신호의 측정에 있어서 중요한 문제는 가능한 정확하게 원하는 신호변수를 측정하는 것이다.

생리적인 측정법과 관련있는 인간의 신경계는 중추신경계(Central nervous system)와 말초신경계(Peripheral nervous system)로 나뉜다. 말초신경계는 체신경계(Somatic nervous system)와 자율신경계(Autonomic nervous system)로 나눌 수 있다. 체신경계는 외부의 자극에 대한 감각과 수용에 관여하는 수의적 신체운동을 지배하는 신경계이며, 자율신경계는 불수의적인 심장이나 내장 등의 운동기관을 지배한다.

자율신경계는 다시 교감신경계(Sympathetic nervous

system)와 부교감신경계(Parasympathetic nervous system)로 나누어지는데 인체의 각 기관들에 연결되어 상호보완적 작용을 한다. 부교감신경계의 경우, 휴식이나 몸의 이완 등의 복원적 기능을 기본적으로 담당하고 있으며, 생리적으로는 HR(Heart Rate)의 감소, 혈압감소, 소화계의 자극으로 인한 침 분비나 장운동의 증가, 동공의 수축, 수면 등과 관련되어 있다. 교감신경이 흥분하면 심장박동이 빨라지고, 혈압이 상승하고, 동공이 확대되는 등 신체에너지 소비를 보이고, 신진대사 속도도 증가하는 경향을 보이지만, 부교감신경이 흥분하면 심장박동은 느려지고, 혈압이 강하되며, 동공이 축소되는 식의 국부적인 에너지 보존을 보이며, 신진대사 속도도 감소하는 경향을 보이게 된다.

심장의 박동이나 호흡의 리듬 및 체온 등도 우리가 의식하지 못하는 사이에 일정하게 유지되도록 하는 생체항상성의 유지기능이 신경계에 의하여 조절되어지고 이때마다 우리 몸에서 검출될 수 있는 생체신호에 변화가 발생하게 된다. 생명체 내에서의 이온의 이동 및 활동전위의 전달에 의하여 발생하는 전위를 총괄하여 생체신호라고 하는데, 이러한 생체신호는 인체의 어느 곳에서도 검출되어질 수 있으며, 적절한 검출부위와 검출방법의 선택에 따라서 각 신호들에 대한 의미를 부여할 수 있다. 인간의 활동과 관련되어 연구되어온 주요 생체신호의 종류와 특성은 다음과 같다.

2.2.1 뇌파 (Electroencephalogram : EEG)

1) 종류

인간의 뇌는 모든 정보를 종합하여 판단하고 기억하며 실행시키는 것을 담당하고 있다. 뇌에는 운동과 감각을 주재하는 운동영역과 감각영역이 있으며 특히 정서, 감정, 학습, 기억, 언어, 사고, 판단, 창조적 정신기능이 이루어지는 곳이다.

뇌파란 이러한 뇌의 활동을 알아보기 위한 것으로 뇌세포 집단의 미세한 전기활동 측정을 하기 위해 두

피에 전극을 부착·유도하고 이를 증폭시켜 전위를 증축, 시간을 횡축으로 하여 기록하는 것을 말한다. 이런 뇌파를 측정하는 방법으로는 두피표면에 부착한 전극으로부터 유도된 두피뇌파(Electroencephalogram : EEG), 대뇌피질의 표면에서 유도되어진 피질뇌파(Electrocorticogram : ECoG), 뇌피질 내에 전극을 삽입해서 유도되는 심부뇌파(Depth EEG) 등이 있다. 두피표면에 전극을 부착 유도하는 두피뇌파를 가장 많이 사용하고 있다. 즉, 뇌파는 뇌의 율동적 전기활동을 뇌파계(Electroencephalograph)로 증폭하여 기록하는 것으로 수시로 변화하는 뇌의 기능상태를 잘 나타내고 있다.

뇌파는 진폭과 주파수에 따라 α 파, β 파, δ 파, θ 파로 나누어 사용하며, 이외에도 κ 파, γ 파 등의 뇌파파형이 있다. α 파는 흔히 20~60 μ V의 진폭과 8~13Hz의 주파수로 나타나는 비교적 규칙적인 파형이며 휴식 중과 같이 눈을 감고 충분히 근육이 이완되었을 때 잘 나타난다. β 파의 경우는 2~20 μ V의 진폭과 14~30Hz의 주파수를 갖고 나타나는 다소 불규칙한 파형으로 주로 정신적이거나 신체적인 활동이 활발해질 때 쉽게 관찰된다. 쉬고 있다가 갑자기 활동을 시작하게 되면 α 파의 진폭이 감소하는 동시에 주파수가 높고 진폭이 낮은 β 파가 증가하는 추세를 보이게 된다. 이때 신체의 중추신경계와 자율신경계가 주변상황에 대처하기 위해 활발한 움직임을 시작한다는 것을 감지할 수 있다. 흔치 않게 나타나는 파형 중에 θ 파가 있는데 이는 20~200 μ V의 진폭과 4~7Hz의 주파수로 나타나고 보통 성인보다는 아동의 경우 윤택하거나 불쾌할 때, 졸릴 때 관찰된다. 그림 1은 뇌전위에서 나타나는 $\delta, \theta, \alpha, \beta$ 파형의 예를 나타내고 있다. 그림 2는 흥분상태, 이완상태, 그리고 수면단계에 따라 변화하는 뇌파의 형태를 나타낸 것이다. 흥분상태에서는 진폭이 작고 주파수가 높은 파형이 주를 이루고 있고, 수면단계가 깊어질수록 진폭이 크고 주파수가 낮은 파형이 주를 이루고 있음을 알 수 있다.

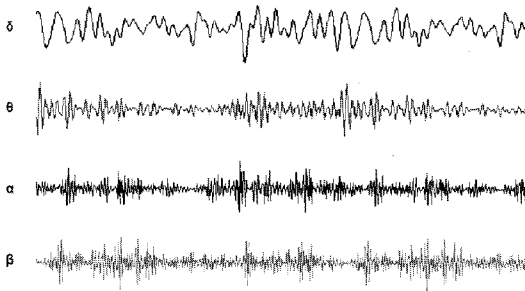


그림 1. 뇌전도에서 나타나는 $\delta, \theta, \alpha, \beta$ 파형

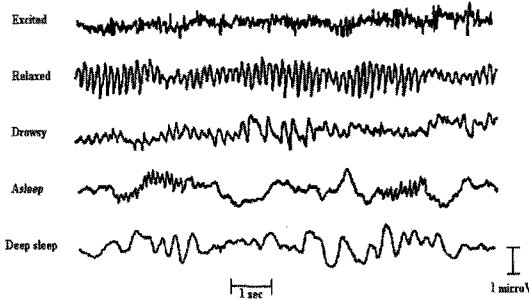


그림 2. 흥분, 이완 및 수면상태에 따라 변화하는 뇌파

EEG 해석방법은 시간영역(Time Domain)에서의 해석과 주파수영역(Frequency Domain)에서의 해석으로 크게 나뉘어진다. 시간영역에서의 해석은 시각적 특징요소, 즉 주기성과 크기 등의 패턴을 가지고 관심의 대상이 되는 파형들을 직접 감지하는 방법이다. 따라서 많은 관찰과 실험을 통하여 파형들에 대한 기준값(Criteria)들을 얻어야 하는 것이 중요한 과제이다. 이러한 시간영역 방식의 주된 장점은 사람이 육안으로 신호를 분석할 때 얻고자 하는 파형 감지정보를 자동해석을 통하여 직접 제공한다는 것이다. 또한 이 방법은 일반적으로 하드웨어가 간단하고 구현이 용이하다는 장점이 있는 반면 파형 감지를 위한 기준값들을 경험에 의해 얻어야 한다는 임의성과 일반적으로 잡음에 민감하다는 단점들이 있어 실제 응용에는 한계를 주고 있다.

주파수영역 해석은 스펙트럼 특성에 의해 신호를 정량화하는 방식이다. 스펙트럼 특성은 신호가 정주기(Stationary)하다는 가정하에서 통계적인 계수들을 이용하여 나타내어진다. 이러한 주파수영역 해석 방식은 해석적인 신호처리방법, 특히 FFT 및 고속 계산 알고리즘의 출현에 따라 광범위하게 응용되는 기법이다. 이 방식에서는 일정구간 EEG 신호의 파워스펙트럼을 추정하고 얻어진 각 구간의 스펙트럼 데이터는 여러 종류의 패턴 분류 알고리즘을 통하여 해석된다.

2) 측정방법

뇌파는 서로 다른 두 부위간의 전위차를 기록하는 것으로서 두 개의 입력전극(Grid1, Grid2, G1, G2)이 있으며, 이 두 개의 입력전극에 들어온 전위차를 증폭하여 기록한다. 뇌파측정을 위한 전극의 배치법은 국제뇌파학회 방식에 의한 10-20 전극법(10-20 Electrode System(Montreal법, Jasper법))과 Gibbs (Illinois법), Cohn법, Arid법 등 여러 가지가 있으며 현재는 국제적으로 10-20 전극법이 표준으로 일반화되어 있다. 10-20 전극법은 비근(Nasion, N)에서 후두극(Inion, I)까지의 정중선상을 10%와 20%로 분할하고 좌우의 외이공 사이를 10%와 20%로 나눈 교점을 C_2 로 한다. 양이공과 비근 및 후두극을 연결하는 머리의 원주선을 생각하여 그 좌우 각각을 10%와 20%로 나누어 전극 위치를 결정한다. 그 위치는 그림 3과 같다.

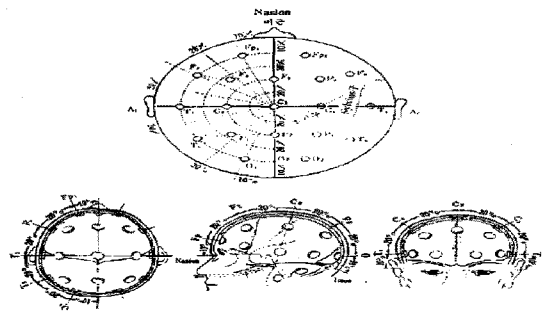


그림 3. 국제전극배치법 전극부착

2.2.2 안구운동(Electrooculomotorgraphy:EOG)

인간의 안구운동은 안구(Eye Ball)의 외벽에 붙어 있는 일련의 근육들과 뇌신경(Cranial Nerve), 그리고 대뇌의 피질하 시스템(Subcortical System)에 의해 통제된다. 안구의 고정(Eye Fixing)에 관여하는 뇌부위는 후두(Occipital)와 전두(Frontal) 피질 부위이다. 뇌신경의 지배를 받아 안구를 움직이는 3쌍의 근육은 한 쌍이 수축하는 동안 다른 쌍은 이완하여 서로가 상호 배타적으로 활동한다. 안구운동이 일어나는 이유는 눈의 중심영역을 자극하여 사물에 시각초점을 고정시키기 위함이다.

안구운동은 EOG를 통해 측정되는데, EOG는 눈의 각막(Cornia)의 양성전기와 망막(Retina)의 음성전기 사이에 존재하는 전위차(0.4~1mv)를 측정한 것이다. 만일 눈이 정면을 주시하고 있는 경우에는 EOG는 안정된 Baseline Potential로 기록될 것이고 안구운동이 시작되면 전위가 바뀌게 되어 안구의 운동방향에 따라 그림 4와 같이 일정한 패턴의 파형을 보여주게 된다. 현재 EOG를 통해서서는 눈의 중심점에 서 좌우 70° 정도의 움직임을 기록할 수 있다(Pope, 1995). 이러한 안구운동 측정기능은 주행 시 운전자의 시각적 행동양식을 측정하는데 사용한다.

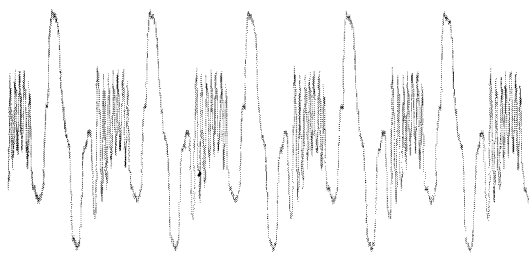


그림 4. EOG 신호의 전형적인 형태

2.2.3 피부전기반응(Galvanic Skin Response:GSR)

1888년 프랑스의 신경학자인 Charles Fere는 다양한 물리적 또는 정서적인 자극이 피부의 전기활동을 변화시킬 수 있음을 최초로 보고하면서, 이러한 전기적인 변화를 신경계가 흥분한 지표로 간주하였다

(Woodworth & Schlosberg, 1954, Neumann & Blanton, 1970). 피부전기활동의 측정을 위해서는 피부의 전위수준, 전기저항 또는 전도율의 측정을 주로 사용하는데 이를 위한 대표적인 측정방법으로는 손바닥의 발한에 따른 전기저항의 변화를 측정하는 피부전기반응(Galvanic Skin Response:GSR) 방법이 있다.

3. 운전 작업부하의 평가기준

3.1 운전 작업부하와 생체신호 지표

생체신호를 이용하여 사람들의 활동을 분석하고 평가하는 작업은 교통과 관련된 여러 분야에서 사용하고 있다. 특히, 항공 및 철도분야에서 조종사의 교육이나 피로도, 운전에러 등을 측정하고 평가하는데 널리 사용하고 있다. 다음 문헌들은 운전자 운전수

표 1. 생체신호를 이용한 운전자 평가연구 비교

운전자 생체신호	생체신호 표현방법	변화 경향	운전자 반응 설명	참고 문헌
뇌파(theta) (전두엽)	상대 파워 스펙트럼 분석법	증가	기억부하 증가	Lorenz 등(1992)
뇌파(alpha, theta) (두정엽, 후두엽, 중심엽)		증가	졸음증가	Kecklund(1993) Akerstedt(1993) Gundel(1995)
뇌파(alpha, theta) (두정엽, 중심엽)		감소	정신적 스트레스 증가	Roscoe(1987, 1993) Hankins/Wilson(1998) Serman/Mann(1995)
심장활동 (ECG)	HR (Heart rate)	증가	기억부하 증가	Roscoe(1987, 1993), Hankins/Wilson(1998), Kakimoto(1998) Gobel(1998) Svensson(1997) Richter(1998)
안구운동 (EOG)	RMS (root mean square)	증가	스트레스 증가	Stern(1994) Richter(1998),
		감소	피로증가	Torsvall/Akerstedt(1987)
피부온도변화(SKT) 피부전기저항(GSR)		증가	운전 조작성의 어려움	Boucsein(1992) Richter(1998) Heino(1990)

행능력을 객관적으로 측정하기 위하여 그동안 발표되었던 Human Factors 관련 문헌 중 생체신호를 측정하여 운전과 관련하여 다양한 작업의 작업부하를 측정하고자 하였던 시도들이다.

Human Factors 관련연구에서 인간의 여러 가지 생리현상을 설명하는 지표가 발표되고 활용되었으며 대표적인 연구와 활용된 생체신호는 표 1과 같다.

3.2 생체신호 분석 방법

생체신호를 분석하는 방법에는 활성비, FFT(Fast Fourier Transformation), RMS(Root Mean Square) 등이 있다.

3.2.1 활성비 (β/α)

김정룡 외(1999)는 고속도로 주행 시 나타나는 운전자의 생체신호 중에서 뇌파신호를 추출하여 각 로브(Lobe)별 뇌파의 특성이 운전작업부하를 얼마나 민감하게 나타내는지 알아보는 조사에서 운전자의 각성수준이 올라가면서 α 파는 감소하고 β 파는 증가하는 현상을 제시하였다. 그러나 이들의 값이 서로 상반되는 현상을 나타내지 않음을 분석하고 보다 민감도가 높은 방법으로 활성비 (β/α)를 제시하였다. 활성비는 부분적으로 운전상황과 비운전상황의 차이를 구분하는 것에 효과적인 것으로 나타났다 고 하였다. 활성비를 구하는 식은 식 (1)과 같다.

$$\text{활성비} = (\beta_{\text{spectrum}} - \alpha_{\text{spectrum}}) / \alpha_{\text{spectrum}} \quad (1)$$

3.2.2 FFT(Fast Fourier Transform)

일반적으로 뇌파는 시간(Time)과 진폭(Amplitude)이 연속적인 Analog형태의 파형으로서 시간영역(Time Domain)으로 표현되어지고 있다. 그러나 뇌파를 단순히 수집해서 시간영역에서 분석하는 것만으로는 충분한 분석을 할 수가 없다. 이러한 신호들 속에 내포되어 있는 중요한 정보들을 도출하기 위해서는 시간영역뿐만 아니라 주파수 영

역(Frequency Domain)에서도 각각의 신호들이 가지고 있는 특성들을 고려하여 분석할 필요가 있다. 대부분의 뇌파신호들은 자계의 영향, 다른 장비들에 의해서 발생하는 RF(Radio Frequency)간섭 및 피실험자의 움직임 등에 의한 잡음성분(Noise)에 의해서 왜곡될 수가 있다. 그러므로 이러한 뇌파신호들의 주파수 성분을 처리하여 시간영역에서 분석할 수 없었던 정보들을 주파수영역으로 변환하여 분석할 수 있도록 변화시켜주는 과정이 필요한데 이러한 방법이 푸리에 변환이다.

3.2.3 RMS

뇌파신호 외의 생체신호를 분석하는데 유용한 변수로 RMS가 있다. 식 (2)에서 보는 바와 같이 시간영역에서 생체신호 값을 제공하여 계산하며 측정된 생체신호의 Power나 Energy와 관련이 깊다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (y_i)^2}{N}} \quad (2)$$

여기서, N : 총 샘플수

y_i : 샘플 i 에 대한 생체신호 값

4. 국내외 연구동향

4.1 국내 연구동향

국내에서는 90년대 후반부터 여러 도로교통 관련기관과 학계를 중심으로 교통사고 발생요인의 하나인 운전자 요인을 평가하여 도로의 안전도를 개선하려는 연구가 다양하게 이루어지고 있고, 이러한 운전자 행동에 관한 연구는 설문지나 관찰을 통한 측정보다 점차 도로주행 시뮬레이터와 현장 주행차량을 제작하는 등 보다 객관적인 운전자 행동에 관한 데이터를 수집하여 도로안전성을 평가하려는 노력이 시도되고 있다.

김정룡(2002, 2003), 정봉조(2005)는 운전자의 작업부하를 분석하여 도로환경이 요구하는 요구수준

과 운전자가 도로환경을 주행하면서 나타내는 작업 부하인 노력수준과의 상호관계를 토대로 하여 도로의 위험도를 판단할 수 있는 요구-노력(Demand-Effort)모형을 제시하고 발전시키고 있다. 신용균은 주위 환경요인의 영향을 최소화할 수 있는 터널을 선정하여 터널 유입전 200m와 터널 유입후의 운전자의 운전행동 및 생리반응을 평가하고 상호 비교하여 그 차이점을 제시하고자 하였다. 박재범 외(2000)는 β 파의 분석을 통해 그 결과, 각 운전상황(좌로 굽은 도로, 우로 굽은 도로, 직진상황, Interchange, Junction, 터널)에 대해 분석하였다.

이순철 외(1995)는 속도증가에 따른 운전자의 반응연구에서 고속주행인 100~110km/h로 주행 시 뇌파의 β 파가 안정주행인 70km/h일 때 보다 증가하였음을 확인하였다. 정봉조 외¹⁾는 고속도로에서 연속적인 직선구간 주행으로 인한 졸음의 유발가능성과 관련된 연구에서 좌우측 전두엽과 후두엽의 β 파 분석을 통하여 설계속도의 30배까지는 연속적인 직선도로가 운전자에게 큰 영향을 미치지 않음을 확인한 바 있다.

4.2 국외 연구동향

도로환경요소와 이에 대응하는 운전자의 작업부하와의 관계비교를 통한 교통사고 원인설명에 Blumenthal, M²⁾에 의해서 제안된 도로환경요구와 운전자 능력의 비교(그림 5)를 통한 사고발생모형에서 잘 나타나고 있다. 운전자의 능력수준이 도로환경의 요구수준 이상으로 유지되는 동안은 사고가 발생하지 않고(A점), 환경적 요구수준이 낮아지거나 운전자가 감속을 통해 이러한 도로환경의 요구수준을 감소시킬 경우(B점), 운전자의 능력이 필요한 도로환경의 요구수준보다 높기 때문에 사고는 발생하지 않는다. 비상상황시 운전자에게 요구되는 부하량

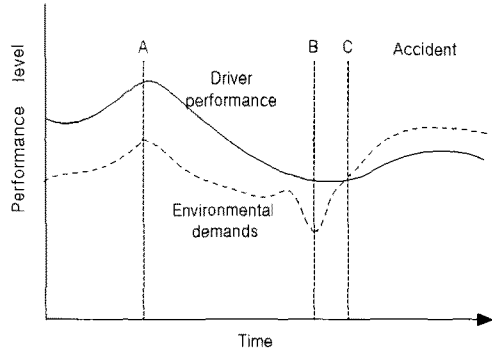


그림 5. 도로환경요구와 운전능력 및 사고와의 관계

은 운전자의 능력이상으로 커지게 된다. 이러한 경우는 그림의 C지점에서 보듯이 두 선이 만나게 되며 이때 사고가 발생하게 된다.

이러한 내용은 그림 6의 Wilson, J. R. & Corlett, E. N.의 자극(Stimuli)과 작업부하(Workload)와의 상관관계 연구결과³⁾에서도 찾아 볼 수 있다. 즉, 주변 자극이 높은 경우 작업을 원만히 수행하기 위해 작업자의 정신적 작업부하가 증가한다는 것이다. 반면 자극이 없을 경우 지루함에 의해 작업부하가 높아지는 경우도 있다. 요구-노력모형의 경우는 위의 두 가지 경우 외에 주변자극이나 운전자 요구가 적을 경우에는 작은 노력을 들이더라도 적절한 수행을 할 수 있는 경우를 추가적으로 포함하도록 개발되었다.

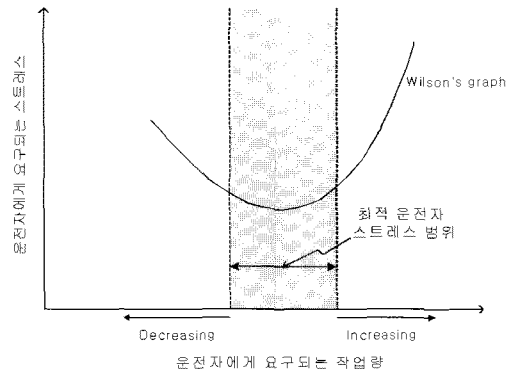


그림 6. 스트레스와 작업부하와의 상관관계

1) 정봉조, 강정규, 김주영, 장명순, 운전자 작업부하를 고려한 최장 허용직선길이 결정에 관한 연구, 대한교통학회지, 2002, 4
 2) Blumenthal, M. Dimension of the traffic safety problem. Traffic Safety Research Review, 1968, 12, 7-12.
 3) Taylor & Francis, Valuation of human work: A practical ergonomics methodology 2nd, pp864-884, 1995

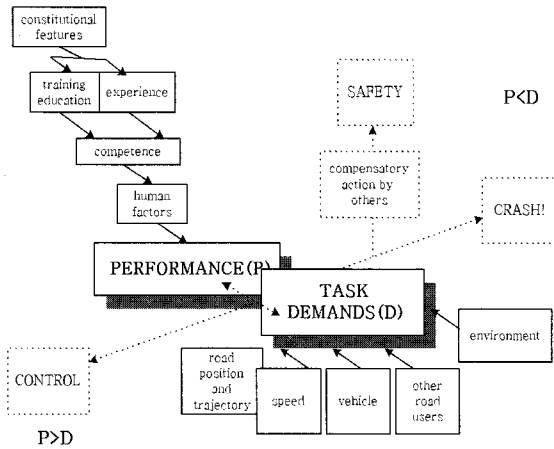


그림 7. Task-Capability Interface Model의 구조

Fuller, R.⁴⁾은 그림 7에 나타난 바와 같이 도로조건, 차량속도, 다른 도로 이용자들, 도로 외적환경 등 도로 및 교통환경에 의하여 운전자에게 부과되는 작업량을 Task Demand, 이에 적응하는 운전자의 능력, 즉 기본적인 운전자의 역량에다 교육, 훈련 및 경험에 의해 축적된 운전자의 능력을 Performance (Capability)라 규정하고 Task Demand와 Capability관계에서 Task Demand가 운전자의 Capability보다 클 때 사고가 발생하고 운전자의 Capability가 Task Demand보다 클 때는 안전하게 운행이 가능해진다는 Task-Capability Interface Model를 발표하였다.

Goran Kecklund 외 2명(1993)은 장거리 트럭 운전에서의 졸음과 관련한 야간주행의 영향조사를 위하여 18명의 피실험자를 대상으로 EEG(C_2-A_2)와 EOG의 δ 파, θ 파, α 파, β 파의 스펙트럼 값을 분석하여 Night group에서 주행 마지막 2시간동안 졸음이 증가되면서 수행도가 저하되었는데 이는 α 파와 θ 파의 증가로 나타났으며 피실험자들의 졸음 정도는 total work hours, arrival time과 관련되며 나이와는 무관하다고 주장하였다.

Thomas C, Hankins 외 (1998)는 비행중인 조

종사의 정신적 부하측정방법으로 HR, HRV, 눈 깜빡임, EEG α 파와 θ 파가 설명력을 갖는지 알아보기 위하여 15명의 남성 조종사를 대상으로 ECG, EOG, EEG와 HR, HRV, eye blink횟수를 조사하였다. 그 결과 EEG α 파는 비행시작과 동시에 증가하여 비행이 끝날때까지 증가하였고, θ 파는 비행 중 정신적 생각의 증가(조작행동과 관련)가 생길 시에 증가하는 것으로 나타났다. Alexander Gundel 외(1995)는 첫 번째 비행(10시간 야간비행)과 두 번째 비행(10시간 야간비행)에서 민간 비행기 조종사의 졸음을 평가하였다. EEG α 파, θ 파, β 파, δ 파와 EOG를 조사하였으며 10-20방법으로 자료가 24시간 동안 수집되었다. 졸음증가의 2가지 Indicator로 α 파 주파수 범위의 파워값과 α 파의 desynchronization 값을 제시하고 분석하였다.

4.3 생체신호 계측방법 및 장비개발 ; Driving Simulator

도로교통과 관련된 Human Factors 연구는 자동차 제작·개발분야와 교통심리학분야에서 많은 연구가 진행되었고 주로 주행상태에 대한 설문이나 관찰에 의해서 운전자 행동에 관한 연구가 이루어져 왔다. 운전자 행동에 관한 연구들은 실제 현장 주행실험에 의한 데이터 수집이 필요하지만 피실험자의 안전성과 실험 당시의 교통상황 및 기후변화 등에 의한 주변여건의 변화와 수집된 운전자 행동 데이터의 일관성 등 질 높은 연구성과를 내는데 많은 장애요인이 산재해 있다. 그러나 현실상황의 실험에서는 이러한 제한요인을 제거하고 실험을 수행하는 것이 불가능하므로 가상현실기법을 이용하여 주행상황을 재현하고 피실험자의 안전과 연구수행의 유연성을 확보하면서 비용절감의 효과를 가지고 있는 도로주행 시뮬레이터(driving simulator)가 필요하게 되었다.

4) Fuller, R. The "Task-Capability Interface Model of the driving process". Recherche Transports Securite, 66, 47-59, 2000

도로주행 시뮬레이터는 초기에 주로 자동차 제작 개발과 운전기술 향상 및 연구를 위하여 개발되었지만, 최근에는 도로 기하구조 분석이나 교통사고 해석과 운전자 능력평가 등의 연구를 위하여 도입되고 있다. 도로 설계단계에서부터 도로의 안전성 및 주행성을 미리 검증하기 위한 장비인 도로주행 시뮬레이터의 개발 및 활용의 필요성이 대두되었으며, 그 중요성에 대한 인식도 점차 증가하고 있다. 특히, 1990년대 이후 우리나라는 자동차 문화가 비약적으로 발달하면서 나타난 교통사고와 지정체 등 교통역기능의 문제를 해결하기 위한 노력으로 인간공학에 대한 관심이 높아져 학계와 연구소를 중심으로 인간공학에 대한 초기연구가 진행되었고 최근에는 응용연구가 활발하게 진행되고 있다.

한국도로공사에서는 1997년부터 3개년에 걸쳐 실제 주행환경에서 운전자 생체신호 변화를 측정하고 분석할 수 있는 차량을 개발하여 도로주행 시 주변상황 변화에 따라 나타나는 운전자의 반응을 측정하는 생체신호측정 및 자료입력장비와 교통환경 정보를 수집하는 주변환경 측정이 가능토록 구축되었다. 이 실험차량에서 측정 가능한 운전자의 생체신호는 주행 중 운전자의 뇌파, 피부전기반응, 심전도, 근전도, 안구운동 등이며, 주변환경 정보로서는 실험차량의 주행속도, 전후방의 접근차량의 속도 및 거리차이, 운전자의 얼굴 표현변화, 주변차량의 접근 등을 측정할 수 있다. 이와 함께 실내 운전자 반응분석 시뮬레이터를 개발하여 실내에서도 다양한 도로환경에 따른 운전자 반응을 분석할 수 있는 기반을 마련하였다.

도로교통공단은 현장주행 실험차량과 실내 시뮬레이터를 구축하여 교통안전과 관련된 다양한 연구를 수행하고 있다. 실험차량은 운전중인 운전자의 생체신호를 모니터링하기 위하여 뇌파, 피부전기반응, 심전도, 근전도, 안구운동, 호흡 및 피부온도변화를 측정할 수 있도록 하였으며, 차량 내에 탑재된 신호수집장치를 이용하여 차량의 주행속도, 핸들링 각도, 기어변속 위치, 브레이크, 클러치, 엑셀조작과

CCD카메라를 이용하여 운전자의 발동작, 차량의 전후방 모습을 관찰할 수 있도록 하였다. 시뮬레이터는 안전운전과 관련된 운전자의 운전행동에 관한 연구를 위하여 운전자의 생체신호 수집장치를 갖추고 있다.

한국건설기술연구원은 운전자 반응 데이터를 수집할 수 있는 실내시뮬레이터를 갖추고 도로기하구조의 최적화와 운전자 중심의 도로설계를 중점으로 연구를 진행하고 있다. 특히 도로경관과 운전자간의 정보 인터페이스 문제에 중점적인 연구가 이루어지고 있다. 주요설비는 자동차의 동적 주행상태 모사와 자동차 전방향의 도로구현을 목표로 시스템을 구축하고 있으며 운전자의 다양한 생체신호 수집과 분석시스템 그리고 자동차의 운동과 운전자의 상태를 연계분석하는 시스템을 구축하고 있다. 최근의 연구로는 국도의 최적화 설계를 위한 인간중심의 도로설계 자동화기법 연구와 도로표지의 디자인 연구가 이루어지고 있다.

아주대학교는 AHS Driver-Vehicle Interface의 Human Factors 평가를 통한 운전자 영향분석 및 행동 모델링에 관한 연구사업에서 인간공학 평가용 간이형 AHS 차량 시뮬레이터를 구축하고 AHS 도로와 일반도로 주행시 운전자 부하 및 행동을 비교 분석하였다. 시뮬레이터는 실제 자동차 운전석을 개조한 간이형 고정식 시뮬레이터로서 운전석에 각종 조종입력장치 및 스위치입력장치, 계기구동장치, 경고등과 AHS 관련 디스플레이를 설치하였으며 전면 시야각 45~55°의 1면 스크린에 PC를 베이스로 하고 있다.

국민대학교 차량제어실험실(Vehicle Control Laboratory)에서는 4채널의 영상 시스템을 갖추어 운전자에게 전방 150×40도, 후방 60×40도의 넓은 시야를 제공하고, 전기식 2자유도 운동 시스템을 갖추어 자동차의 운동을 효과적으로 재현하는 Full-Scale 차량 시뮬레이터(KMUDS-3)를 개발하였다. 국민대학교 차량 시뮬레이터(KMUDS)는 현재 차량제어시스템 설계, 운전자 인지연구, 지능형 교통

시스템(ITS), 사고재현 및 분석 등과 같은 분야에 이용되고 있으며, 이와 관련해 '주행환경의 속도감에 대한 인자 분석', '음주운전자의 운전특성 분석', 그리고 '급발진사고 재현 및 운전자 반응 분석' 등 다양한 연구들이 진행되고 있다.

부산대학교 기계기술연구소는 차량 운전교육 및 차량성능 평가, 운전자 심리평가 등을 목적으로 운전자 입력에 의한 실시간 차량주행 시뮬레이터를 개발하였고, 현대자동차는 차량 전자제어 시스템 개발 및 운전자 인지반응 연구를 위한 고성능 차량 시뮬레이터를 개발하고 있다. 표준과학연구원 인간정보연구그룹에서는 인간의 감성을 평가하기 위한 연구를 수행하면서 운전자의 반응을 보다 쉽게 측정하여 표준적 지표를 이끌어 내기 위한 연구를 수행하고 있다. 국립재활원에서는 실제 도로상의 운전을 대신할 수 있는 가상현실을 이용한 운전 시뮬레이터 프로그램을 한양대학교 의공학교실과 함께 개발하여

가상 도로상에서 장애인의 운전능력평가 및 훈련에 이용하고 있다.

5. 결론

우리나라에서 도로교통분야에서 인간공학이 접목되기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 교통안전 분야에서 시작된 Human Factors 연구는 도로 기하구조와 경관설계의 최적화에 대한 관심으로 이어져 각 연구기관과 대학을 중심으로 활발한 시설투자와 연구가 진행되고 있다. 또한 정부의 교통 R&D 투자에서도 두드러진 실적을 나타내고 있다. 현재의 도로교통문제를 해결하는 고전적인 공학기술의 한계를 극복하려는 하나의 수단으로 Human Factors를 도입하는 학문적 융합이 이루어지고 있다고 볼 수 있다. 최근의 이러한 연구동향을 보면서 도로 및 교통문제를 해결하고자 하는 연구흐름 특성에 대하여 다음과 같이 생각해 볼 수 있다.

첫째, 현재의 도로교통문제를 해결하는데 있어서 고전적 공학기술적 사고에서 전환이 일어나고 있다. 지금까지의 도로나 자동차 구조적 향상 등 하드웨어의 개선을 통한 문제해결방식은 비용과 물리적 환경의 많은 제약에 직면하고 있다. 운전자 중심의 문제해결방식은 이러한 한계를 극복하는 새로운 분석 틀로서 연구자의 관심을 받고 있다.

둘째, 현재 사회의 문제점은 하나의 학문으로 해결하기는 너무 복잡한 양상을 나타내고 있다. 도로교통은 도로/자동차/운전자가 함께 공유하는 사회적 공간으로 다양한 교통현상을 나타내고 있어 이를 분석하는데 단순히 기술적 접근만으로는 한계를 가지고 있다. 여기에는 그 사회의 문화·경제·법과 규칙 그리고 인간 생활환경 등 다양한 요소가 내제되므로 문제해결을 위해서는 다자간 학문융합이 나타나게 되었다.

셋째, 교통문제 해결방식에 있어서 공급이나 하드웨어 측면보다는 보다 근원적인 운전자에게서 찾으



그림 8. 다양한 형태의 연구용 자동차 및 시뮬레이터

려는 노력이 나타나고 있다. 교통을 구성하는 요소는 도로와 자동차의 무생물적 요소뿐만 아니라 인간이 참여하는 유기적 상호관계를 가지고 있으므로 기존의 공학기술만으로 문제를 해결하는 데는 한계를 가지고 있다. 따라서 교통참여자의 한축을 담당하는 인간에 대한 이해와 분석을 통하여 교통문제를 해결하는데 근원적으로 접근하는 방법이 제시되고 있다.

넷째, 기술발달은 이전에 불가능했던 정보수집을 가능하게 하고 있다. 감지센서기술, 컴퓨터기술, 시스템공학과 의공학기술의 발달은 교통체계에서 그간 데이터 수집이 불가능했던 실시간의 운전자 정보에 대한 직접적인 데이터 수집이 가능해져 운전자에 대한 직접적인 연구분석이 가능하게 되었다. 또한 각종 시뮬레이터 기술의 발달은 통제된 도로시설 공간을 실험실에 제공하여 보다 세분화되고 상세한 도로 시설별 운전자 행태변화에 대한 연구가 가능하게 되었다.

이제 우리나라도 도로교통문제를 해결하는데 Human Factors 측면에서 접근하려는 노력이 가시화되고 적극적인 연구투자와 함께 다양한 연구가 진행되고 있다. 1990년대 이후 자동차문화가 우리사회의 한 축을 담당하면서 나타나는 교통사고와 지·정체, 사회적 비용의 증가 등 교통역기능을 해결하는 하나의 수단으로 고전적인 도로교통의 공학적 접근방법에서 Human Factors를 적용하는 학문융합과 새로운 연구방법론이 점차 증가하고 있는 추세이다. 그러나 아직은 일천한 연구역사를 가지고 있어 몇 가지 한계를 나타나내고 있다. 우선은 많은 교통문제와 과제에도 불구하고 도로교통영역에 있어서 Human Factors 전문가의 부족과 이로 인한 기초연구의 부족으로 현장에서 요구하는 여러 가지 문제를 해결하는데 한계를 가지고 있다. 또한 Human Factors 연구는 초기 투자비용과 연구비용이 과다하게 소요되나 지금까지 나타난 연구결과의 불확실성으로 소극적인 연구투자가 이루어지고 있다. 운전자 관련 연구에서 가장 어려움을 겪는 문제는 기존 타학문의 연구에 비해 연구결과의 재현성과 검증에

어려움이 있다는 것과 데이터 수집의 어려움으로 많은 표본을 사용할 수 없어 통계분석 시 표본수 한계에 대한 인식이 부족하다는 점이다. 그리고 도로교통영역에 있어서 Human Factors를 적용하는데 명확한 한계와 분석 틀이 미흡하고 아직은 이 분야에 대한 많은 연구가 이루어지지 않고 있어 연구결과의 상호비교를 통한 검증의 필요성이 증대되고 있다.

이상과 같이 도로교통분야에 Human Factors를 도입하고 적용하는데는 현재 많은 한계를 가지고 있으나 현재의 도로교통문제를 해결하는 새로운 학문적 틀을 제공하고 있다는 점에서 Human Factors는 큰 의의를 가지고 있다고 하겠다.

참고문헌

1. 김정룡, 이돈규, 윤상영, 곽종선, "고속도로의 직선구간별 운전자 생리 반응 분석", 대한인간공학회, 1999년 춘계학술대회 논문집, pp.7~10, 1999
2. 박재범 외, 운전자 행동 및 반응검지차량 개발 연구, 한국도로공사, 2000
3. 이순철 외, 여행시간과 속도가 운전자 운전부하에 미치는 영향, 도로교통안전협회, 1995
4. 정봉조, 강정규, 김주영, 장명순, 운전자 작업부하를 고려한 최장 허용직선길이 결정에 관한 연구, 대한교통학회지, 2002
5. 정봉조, 장명순, 김정룡, 박재완, Demand/Effort모형의 수준결정을 위한 수리적 방법연구, 대한인간공학회, 2005
6. Alexander Gundel, Sleepiness of civil airline pilots during two consecutive night flights of extended duration, BIOLOGICAL PSYCHOLOGY, 1995
7. Alan H. Roscoe, Heart rate as psychophysiological measure for in-flight workload assessment, ERGONOMICS, 1993
8. Bong-Jo Chung, Jae Beam Park, Ju Young Kim, Jung Young Kim, A study on analysis methodology of drivers' psycho-physiological

- signal to evaluate road safety level, EAST Journal, 2003
9. Blumenthal. M. Dimension of the traffic safety problem. Traffic Safety Research Review, 1968, 12, 7-12.
 10. E. Svensson, Information complexity-mental workload and performance in combat aircraft, ERGONOMICS, 1997
 11. Fuller, R. The Task-Capability Interface Model of the driving process. Recherche Transports Securite, 66, 47-59, 2000
 12. Goran Kecklund, Torbjorn Akerstedt, Sleepiness in long distance truck driving : an ambulatory EEG study of night driving, ERGONOMICS, 1993
 13. J. Lorenz, B. Lorenz, and M. Heineke, Effect of task load on fronto-central theta activity in a deep saturation dive to 450msw, Undersea Biomedical Research, 1992
 14. John A. Stern, Blink Rate : A possible measure of fatigue, HUMAN FACTORS, 1999
 15. Jung-Yong KIM, The development of Demand-Effort Model to evaluate the psychophysiology response of drivers on highway, Proceeding of the 4th International Conference on Psychophysiology in Ergonomics, 2002
 16. Matthias Gobel, Stress and strain of haul bus driver, ERGONOMICS, 1998
 17. Peter. Richter, Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural road, ERGONOMICS, 1998
 18. Pope, A. T. Bogart, E. H., Bartolome, D. S. (1995). Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task, Biol. Psychol. May:40(1-2), pp.187-95
 19. Shinar, D., Psychology on the road: The human factor in traffic safety. New york: Wiley, 1978
 20. Taylor & Francs, Valuation of human work: A practical ergonomics methodology 2nd, pp864-884. 1995
 21. Thomas C. Hankins, A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight, aviation, space, environmental medicine, 1998
 22. Wickens, C. D. Engineering psychology and human performance, Charles E. Merrill Publishing Company, 1992
 23. Wilson, J. R. & Rutherford, A. "mental models : Theory and application in human factors", Human Factors, Vol 31 No 6, 1989
 24. Yukiko Kakimoto, Crew workload in JASDF C1 transport flight, aviation, space, environmental Medicine, 1988

회비 납입 안내

회원 여러분께서 납부하시는 회비는 학회 운영의 소중한 재원으로 쓰이고 있습니다.
회원 제위께서는 체납된 회비를 납부하시어 원활한 학회운영에 협조하여 주시기 바랍니다.

- 회비납부는 한국씨티은행 : 102-53510-243
- 찬조금은 한국씨티은행 : 102-53512-294
(예금주(사)/한국도로학회)

• 지로번호 : 6970529

〈학회사무국〉