

■ 論 文 ■

고속도로 합류부에서 운전자의 심리·생리적 작업 부하 연구

Evaluation of Driver's Psychophysiological Load at Freeway Merging Area

김 주 영

(한국도로공사 도로연구소 연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통공학과 교수)

목 차

- | | |
|---------------------|------------------------|
| I. 서론 | 2. 합류완료후 주행구간의 분석 |
| II. 관련문헌 검토 | 3. 가속차로 거리별 분석 |
| III. 자료의 수집 및 정리 | 4. 가속차로 누적 구간별 분석 |
| 1. 조사대상지역 및 피실험자 선택 | 5. 가속차로에서의 운전자 각성증가 분석 |
| 2. 자료의 수집 | V. 결론 및 건의 |
| 3. 자료의 정리 | 1. 결론 |
| IV. 자료의 분석 결과 | 2. 건의 |
| 1. 합류구간의 단계에 따른 분석 | 참고문헌 |

요 약

본 연구에서는 고속도로의 기본구간과 비교해 볼 때, 고속도로 합류부에서의 운전자의 각성정도의 변화를 생리적 신호 중 후두엽부(Occipital Lobe)의 뇌파 중 β 파를 측정하여 정량화하여 살펴보았다. 고속도로 기본구간 3지점과 합류부 구간 3지점에서 실험차량을 이용하여 남자 8명, 여자 2명, 총 10명의 피실험자를 대상으로 실험한 결과 고속도로 운전자는 합류부 구간(램프주행구간, 가속차로시점에서 합류직전 구간, 합류부 영향이 남아 있는 주행구간)에서 운전시 기본 주행구간에 비하여 가속차로 시점에서 합류 직전구간에서 2.21배로 가장 큰 각성정도를 보였다. 또한 고속도로 운전자는 합류를 완료한 후에 4초간 합류과정으로 인한 영향이 남아 있는 것으로 분석되었다.

특히 운전자들은 고어지점으로부터 80m구간이내에서 합류하는 것이 충분한 가속주행을 한 것보다 더 각성정도를 보였다.

I. 서론

일반적으로 교통사고는 인적요인과 차량요인, 환경요인에 의해 발생되며 특히, 이들 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하는 경우가 대부분이다. 그러나 최근까지도 교통사고 방지를 위한 대책들은 교통사고 원인의 3대요소인 운전자, 차량, 도로 중에서 도로의 결함 해소나 차량의 성능향상에만 노력을 해 오고 있으며, 교통사고에서 중요한 위치를 차지하고 있는 운전자 당사자 측면에 대한 관심은 거의 없어왔다. 이와 같은 결과를 초래한 원인에는 교통사고 발생직전의 운전상황에 따른 운전자의 행동특성을 교통사고 발생 후에는 수집, 분석하기가 어렵고, 상황여건에 따라 바뀌는 인간의 주관적이고 복잡 미묘한 심리과정을 연속적으로 포착하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라, 심리특성과 행동간의 관계를 객관적인 수치로 정량화 시키기가 어렵기 때문일 것이다. 따라서 운전자에 대한 관심은 더욱 필요하며, 특히 고속도로를 주행중인 운전자 요소를 계량화하여, 도로와 운전자간의 복합적인 영향에 대한 연구수행 관심이 대두되고 있다.

최근 교통분야와 관련성을 크게 보이는 인간공학분야에서는 작업부하(Workload)로 인한 육체적/정신적 피로에 대한 연구 및 주어진 작업에 대한 수행(Performance) 정도의 질적 저하, 주의집중 저하 등에 대한 객관화 작업을 통하여 자동차 운전자나 비행기 조종사의 육체적/정신적 부담을 측정하여 작업부하를 줄일 수 있는 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 고속도로 주행에서 운전자에게 영향을 줄 수 있는 기하구조 특성이 운전자의 수행도(Performance)와 작업부하(Workload)에 영향을 준다는 사실을 기반으로 하여, 고속도로 합류부 구간(Freeway Merging Area)에서의 운전자의 심리·생리적 작업부하(Psychophysiological Load)를 정량적으로 측정하여 작업 부하량의 변화를 파악하고자 한다. 특히, 본 연구에서 합류부를 선택한 이유는 고속도로합류가 입체교차시설의 연결로를 통하여 이루어지며, 이때 고속도로 본선 교통류와 연결로 유입 교통류가 합쳐지는 구간에서 합류 교통류의 운전자는 일반 주행형태와 다른 주행환경을 만나게 되며, 본선 교통류, 시거불량, 합류를 위한 차선변경 필요성 등으로 인하여, 고속도로 일반 기본구간에 비해 많은 집중력을 요구받게 되기 때문이다.

II. 관련문헌 검토

1. 심리·생리적 부하(Load) 측정

작업부하는 외부작업시, 한사람이 감수해야 할 능력으로 인적능력과 작업에서의 요구정도와 관련이 된다고 말할 수 있다. 즉, 어느 작업에서 요구되는 자원이 적정 수준 이상으로 많아 질수록 작업부하량은 증가되고 작업의 수행도는 떨어지게 되는 것이다.

운전중 운전자에게 영향을 미치는 인자들을 정량화하기 위해서 주로 시도되고 있는 방법이 작업부하를 측정하는 것이다. 현재까지 많은 작업부하 측정기법들이 발표되었으나, 작업 부하 측정기법들을 사용함에 있어서 많은 실험자들이 어떤 기법을 사용해야 할지 선택하기 힘들 정도로 그 방법이나 장·단점이 다양하다. 대부분의 선행연구들은 자극에 의해 유발되는 작업부하의 변화를 설문지 등의 주관적인 평가를 통해서 측정 및 분석을 해 왔으나 작업부하의 객관적 정량화 문제를 해결하기에는 역부족임을 보였다. 그러나 기술의 발달로 계측장비를 이용한 측정기법들이 소개되면서 생리신호를 이용해서 작업부하를 측정, 분석하려는 연구들이 시작되었다.

생리적인 측정에는 동공크기 측정, 심장 박동률의 변화, 두뇌 활동 등을 알아보기 위하여 뇌파, 근전도, 심전도 등의 기록을 보는 방법 등이 있다. 생리적 측정은 작업자의 주작업을 방해하지 않는 한도 내에서 측정이 되어야 하며, 다른 측정법과는 달리 연속적인 정보를 준다는 장점이 있다.(Wickens, 1992)

본 연구에서는 작업부하를 측정하기 위하여 좀더 객관적인 평가방법이며 정량적인 데이터를 추출할 수 있는 생리학적 측정방법을 사용하여 분석하고자 한다. 이러한 측정법에서 얻어지는 생체신호로는 뇌파, 근전도, 안구운동, 심전도, 피부전기 활동이 측정되고 있으며, 생체신호 측정기는 이러한 신경계에서 발생되는 전기적인 활동을 탐지해 낸다.

2. 뇌파 (EEG : ElectroEncephaloGram)

뇌파란 뇌세포 집단의 미세하며 율동적인 전기 활동을 두피에 전극을 부착하여 유도하고 이를 뇌파계(electroencephalograph)로 증폭시켜 전위를 증축, 시간을 횡축으로 해서 기록하는 것으로 수시로

변화하는 뇌의 기능 상태를 잘 나타내는 생체 신호이다.

EEG 신호의 해석 방법은 시간영역(time domain)에서의 해석과 주파수영역(frequency domain)에서의 해석으로 크게 나누어 진다. 시간영역에서의 해석은 시각적 특징 요소, 즉 주기성과 크기 등의 패턴을 가지고 관심의 대상이 되는 파형들을 직접 감지하는 방법이며, 다른 해석 방법으로는 주파수 영역 해석으로 스펙트럼 특성에 의해 신호를 정량화하는 방식이다. 스펙트럼 특성은 신호가 변동이 없다는 가정하에서 통계적인 계수들을 이용하여 나타내어진다.

뇌파는 진폭과 주파수에 따라 α 파, β 파, δ 파, θ 파로 보통 나누어지며, 이외에도 카파파, λ 파의 뇌파 파형이 있다. α 파는 20~60 μ V의 진폭과 8~12 Hz의 주파수로 나타나는 리드믹한 파형으로 흔히, 눈을 감고 이완된 자세로 앉아 있는 경우에 발생된다. β 파는 2~20 μ V의 진폭과 12~40Hz의 주파수로 나타나는 불규칙한 파형으로 보통 정신적이거나 신체적인 활동에 관여할 경우에 발생된다. δ 파는 20~200 μ V의 진폭과 0.5~4Hz의 주파수로 나타나는 파형이며 정상인의 경우 수면중에 주로 발생된다. 그리고, θ 파는 20~100 μ V의 진폭과 4~8Hz의 주파수로 나타나며, 흔치 않게 나타나는 파형 가운데 하나이다. 보통 성인보다는 아동이 불쾌 및 유쾌한 경우나 졸린 경우에 볼 수 있다. 흥분상태에서는 진폭이 작고 주파수가 높은 파형이 주를 이루며, 수면단계가 깊어질수록 진폭이 크고 주파수가 낮은 파형이 주를 이루게 된다.

뇌의 부위중에서 뇌의 후두엽(Occipital Lobe)은 운전중인 운전자의 시각 기능을 담당하는 부분으로 주로 굽은 도로 및 좌로 굽은도로, 차선의 변경시에 크게 반응하게 된다. 또한, Frontal Lobe에서도 일부 시각기능을 담당하는 것으로 알려져 있다.

운전자의 상태 변화가 생리신호에 반영된다는 사실에서 운전자의 뇌파를 탐지하여 "각성(Vigilance) 수준"을 알아보는 연구들이 많이 수행되고 있다. 운전수행의 저하는 각성수준과 상관이 높다고 보고한 몇몇 연구자들은 운전자에게 운전에 가장 적합한 각성수준으로 향상시키는 실험을 하기도 하였다.(Beatty et al. 1974)

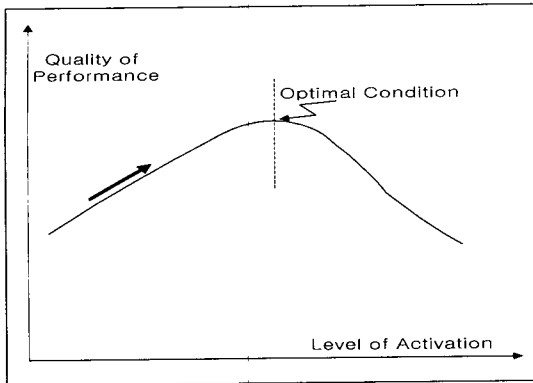
뇌파측정과 관련된 연구로는 외부자극의 복잡성 정도가 뇌파 활성화에 관여하여 결국 지각에도 영향을 미친다는 연구결과를 보고하였다. 그들은 자극이 복

잡할수록 긴장이완과 상관이 높은 파의 활성화는 차단되고, 각성수준의 향상과 관련이 높은 β 파의 활성화는 증가된다고 주장하였는데, 이러한 현상은 운전자의 과부하(Overload)를 통해 설명할 수 있다. 운전행동을 하는데 있어 외부자극이 많은 경우(Overload가 큰 경우)에는, 이를 정보 처리하기 위한 주의집중력이 요구되고 그에 따라 각성수준은 증가하게 된다.(Cristi, Delafield, 1972)

신용균, 오애령외(1995)는 생리측정장치를 통해 실제 주행상황에 따른 운전자의 심리·생리적인 변화를 정량화 시켜 측정하였다. 각성수준이 증가하는 위험 상황에 따라 변화하는 운전자의 뇌파, 피부 전기 반응, 심장 활동, 호흡활동 등을 측정하여 분석하였다. 약 70km구간을 2시간 동안 운전하게 하는 동안의 속도변화 70km~110km사이의 변화와 위험상황에 직면할 때의 운전자의 생리적인 반응들이 변화하는 양상을 보였다. 속도 증가시 위험상황에서 뇌파의 경우 δ 파와 θ 파는 감소하였고 β 파는 활성화 되었으며, 피부 전기 반응이나 심장박동을 역시 증가 하는 양상을 보였다. 이를 통해 운전자는 위험상황에 처하게 되면 정신적인 부담이 증가한다는 사실을 객관적으로 증명하였다.

스웨덴의 Martin G. Helander(1975)는 운전자의 행동과 생리반응에 대한 변화를 동시에 측정하기 위해 실험차량에 생리반응 변화(피부전기반응, 심전도, 근전도) 및 운전행동 변화(속도, 브레이크 압력, 주행거리)등을 측정할 수 있도록 제작하여, 어떠한 교통관련 이벤트나 서로 다른 설계요소의 상대적인 영향을 평가하고자 하였다. 분석결과, 운전자 변화를 일으키는 구간으로는 다리가 있는 교차부, 가속차로 진입전, 본선 차로로 합류 직전으로 나타났다.

또한 Martin G. Helander(1975)는 그의 연구 논문에서 활성화수준과 수행정도 사이의 관계에 대해 <그림 1>과 같이 제시하면서, 대부분의 운전자들은 최적의 상태(Optimal Condition)로 운전하려고 애쓴다고 하였다. 만약에 운전자가 일반적인 운전상황 하에서 충분히 자극을 받지 않은 상태라면 주행속도의 증가 및 라디오 청취, 대화 등을 통하여 자신을 자극하여 어느 수준으로 각성수준을 증가시킨다고 하였다. <그림 1>에서 커브의 왼쪽부분에서는 운전자는 만족적인 자극을 받지 못하는 상태이기 때문에 부작용



〈그림 1〉 활성화수준과 수행정도 사이의 관계

을 통하여 만족상태로 이동하려고 한다. 또한 High Level Activation에서는 운전자의 Quality of Performance가 부적절하게 됨을 보이며, Level of Activation은 교감부분과 자율신경계의 부교감 부분의 활동으로 볼 수 있다고 하였다.

Goran Kecklund와 Torbjorn Akerstedt(1993)는 18명의 트럭운전자를 대상으로 하여 수행도의 저하 평가를 위한 EEG Test를 수행하였다. 그 결과 밤 시간대에 주관적인 수행도가 더 낮은 것으로 나타났으며, 이 때의 운전자의 α 파와 θ 파는 더욱 활성화되는 것으로 분석되었다.

O'Hanlon과 Kelly(1977)는 장시간 동안의 야간 주행에 따른 운전자 생리반응의 변화를 연구한 바, 주행시간이 길어질수록 운전자 뇌파기록상에는 δ 파와 θ 파가 많이 증가하는 것을 발견하고 장시간의 주행이 졸음운전을 유발할 가능성이 있음을 객관적으로 규명하였다.

De Waard와 Brookhuis(1993)는 고속도로에서 운전자의 상태를 파악하기 위해 생체 신호의 변화를 연구하였다. 운전자의 상태를 파악하기 위해 고속도로에서 경계 운전 상태(Driving under Vigilance Condition)로 150분 연속운전이 핸들 조작에 미치는 영향을 20명의 피실험자에 대해 차량의 치우침 정도와 선행하는 차량의 속도변화에 따라 뒤쫓아가는 실험을 실시하였다. EEG에서 나타나는 신호에 대해 에너지 계수((Theta+Alpha)/Beta)를 측정하였다. 실험 결과 핸들 움직임의 표준편차가 증가하고, 분당 핸들을 반대로 돌리는 수는 감소하였는데, 둘 다 매우 유의한 것으로 나타났다. 피실험자의 에너지 계수는 선행하는 차량을 뒤쫓아가는

실험에서 시간이 흐름에 따라 점차로 감소하였다. 이들의 연구를 통해 ECG는 전반적인 운전 상태를 설명하는 좋은 척도로 사용되어질 수 있으며, EEG는 피실험자의 즉각적인 행동반응에 대해 ECG에 비해 다소 직접적인 결과를 나타내 주는 경향을 나타냄을 밝혔다.

III. 자료의 수집 및 정리

1. 조사대상지역 및 피실험자의 선택

본 연구에서 기본주행구간은 평지로서 약 $\pm 1\%$ 구배를 가지는 끝은 도로를 선택하였으며, 합류부구간은 연결로, 가속차로 시점에서 합류전, 합류후 일정구간에 대해 분석가능한 지점을 선택하였다.

이러한 조사지점 선정은 다음 조건을 만족 시키는 지점을 대상으로 선정하였다.

- 운전자의 각성수준 변화에 기하구조 특성외의 대형 광고판, 공사지점등의 다른 영향이 크게 미치지 않는 구간
- 조사의 편의성을 위해 조사차량이 본선과 분류후 10분 이내에 본선 합류부로 진입할 수 있으며, 일정 거리 내에 동일한 기하 구조를 가지는 지점이 존재하는 구간

상기조건을 만족시키는 대상지점은 사전답사 및 기하구조 자료를 토대로 <표 1>, <표 2>와 같이 영동고속도로 신갈~원주구간(총 90.3km)중 기본 주행구간(Basic section, 200m), 합류부 구간(Merging Area)을 각 3곳씩을 선정하여 조사 대상지역으로 하였다.

〈표 1〉 합류부 구간 조사 대상 기하구조 특성

위치	지점 (신갈지점, Km)	IC 이름	연결로 설계속도 (KPH)	합류부 구간 도로특성
1	10.5	용인	50	가속차로 : 1차로 구배 : -0.688
2	25.5	덕평	50	가속차로 : 1차로 구배 : -1.422~0.964
3	52.5	여주	50	가속차로 : 1차로 구배 : -0.363

〈표 2〉 기본 주행구간 조사 대상 특성

위치	지점 (Km.신갈지점)		기본 구간 도로 특성	
	시점	종점	종단선형(%)	평면선형
1	3.5	4.0	+0.439	직선
2	13.0	13.5	+0.735	직선
3	39.0	39.5	-0.33	직선

〈표 3〉 피실험자의 인체 계측 자료

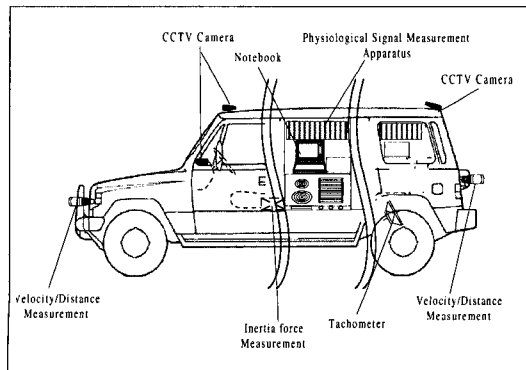
구분	나이 (년)	몸무게 (Kg)	키 (Cm)	운전경력 (년)	피실험자 수 (명)	
남	20대	26.4	59.6	171.6	5.6	6
	30대	33.5	71.25	171.0	10.5	2
여	20대	25.0	45.0	160	2.5	1
	30대	33.0	54.0	156	3.5	1

피실험자의 선택은 운전면허를 소지하고 1년 이상의 운전경력을 가지며, 최근 교통사고를 낸 경험이 없고, 시각기능에 이상이 없는 운전자 10명을 선정하였으며, 피실험자에 대한 인체계측 자료는 〈표 3〉과 같다.

2. 자료의 수집

1) 실험차량

본 연구를 위한 실험 차량은 한국도로공사에서 제작 보유하는 실험차량을 사용하였다. 이 차량은 주행 중 운전자의 각종 신체, 감성적 변화량을 정량화 할 수 있는 생체신호 및 외부환경 정보를 수집하는 장치를 탑재하고 있다. 실험차량은 〈그림 2〉와 같다.



〈그림 2〉 실험 차량의 구성

실험 차량은 겔로퍼 V6차량을 개조하여, 운전자 생체신호 및 주변 환경 정보 모니터링이 가능토록 되어 있다. 측정 가능한 운전자의 생체신호는 주행중 운전자의 뇌파(Electro-encephalo-graphy : EEG), 피부전기반응(Skin Conductance Response : SCR), 심전도(Electrocardiography, ECG), 근전도(Electromyogram : EMG), 안구운동(Electro-oculomotorgraphy : EOG) 등이며, 주변 환경정보로는 실험차량의 주행속도, 운전자의 행동 변화, 주변 차량의 접근 및 접근속도/거리 등을 측정할 수 있다.

생체신호 측정 장치 및 자료의 수집 및 입력은 시중에서 구입가능한 기기 및 프로그램이 사용되었다. 또한, 각 생체신호를 측정하여 증폭시키는 16개 채널의 증폭기(Amplifier)와 Interface Module 및 Simulator Module 등이 탑재되어 있다.

실험시에는 피실험자에게 전극을 붙이는 모든 부위는 피지제거용 크림으로 닦아내어 피부상의 불순물을 제거하도록 하였으며, 전극부착 완료 후에는 장비와의 연결상태를 점검하도록 하였다.

본 연구에서는 운전중 운전자의 뇌파신호를 측정하여, 주행중 운전자의 각성정도를 분석하고자 하였다. 이를 위하여 운전자의 시각기능을 담당하는 후두엽(Occipital Lobe)의 β 파 변화를 파악하고자 한다.

본 연구를 위해 수집된 자료를 정리하면 다음과 같다.

- 피실험자의 특성(나이, 운전경력, 성별, 시각기능 이상유무)
- 합류부 EEG 생체신호자료(후두엽)
- 합류부 구간 기하구조 특성자료
- 연결로의 Gore에서 본선 합류시까지의 합류거리
- 실험차량 합류시 본선 교통량 자료

2) 실험방법

피실험자가 도착하면 피실험자의 면허경력, 나이, 성별 등의 자료를 측정하고 미리 선정된 각 신체부위에 신호추출을 위한 Electrode와 Lead선을 연결하고 각 채널별 생체신호가 제대로 나타나는지 확인한다.

피실험자가 차량을 운전하여 조사지점인 합류부구간(Merging Area)을 통과할 때 나오는 생체신호를 측정, 기록한다. 또한 일반적인 도로조건(구배가 약 $\pm 1\%$, 직선 평지도로)에서의 생체신호를 측정, 기록하여 합류부 구간과의 비교자료로 활용한다.

본 연구에서 신호 추출을 위한 합류부 구간의 설정은 연결로 시작점에서부터 합류를 위한 가속 차로를 주행하여 본선 합류후 10초까지로 하였다. 또한, 합류부 구간중 가속차로 구간에 대해서는 뇌파의 변화와 합류거리를 비교할 수 있도록 하기 위하여 가속차로에 거리를 파악할 수 있도록 표시(Marking)를 하였다. 표시는 사전조사를 통하여 신호 분석이 가능한 40m 마다 하였다. 여기서, 40m는 실험차량 장비의 분석단위가 1초이내는 신호분할이 되지 않기 때문이다.

차량내의 비디오 레코드에는 차량 전방의 모습이 시간과 같이 저장되므로, 분석시 분석구간의 시간을 찾아낸 후에 그 시간의 생체신호를 분석 프로그램을 사용하여 분할하였다. 분할된 신호는 컴퓨터 프로그램을 통하여 주파수대로 변환하여 본 연구에서 연구자 하는 후두엽의 β 파를 구하였다.

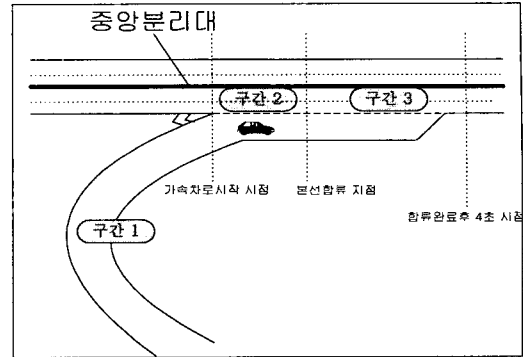
3) 신호 분석 방법

운전중 운전자에게 크게 영향을 미치는 요인으로는 청각 및 후각보다도 시각적 영향 일 것이다. 본 연구에서는 이러한 사실을 기반으로 하여 시각령이 분포하고 있는 후두엽의 뇌파 데이터를 분석하였다. 수집된 데이터는 FFT(Fast Fourie Transform)분석을 통하여 뇌파의 주파수 대역별 δ (0.5~4Hz), θ (4~8Hz), α (8~12Hz), β (12~30Hz)로 상대 Power Spectrum을 구하였으며, 이 중에서 운전자의 각성과 관련을 가지는 β 파의 값을 사용하였다.

3. 자료의 정리

수집된 주행중인 차량의 비디오 화면은 화면탐색을 통하여 크게 연결부 주행, 고어(Gore)에서 합류직전까지의 주행, 합류후 일정 시간 주행의 3단계로 구분하여 단계별 β 파의 변화값을 구하였다. 기본 주행구간에 대해서도 마찬가지로 방법으로 주행구간동안의 β 파의 상대 스펙트럼 값을 산정하였다.

<그림 3>에서 구간1은 차량이 연결로로 진입하여 가속차로로 진입하기 전 까지이며, 구간2는 Gore부에서부터 시작하여, 차량이 본선의 교통량을 파악하고, Gap Searching과 가속을 하면서 본선으로 합류하는 단계이다. 구간3은 본선으로의 합류완료후, 일정시간동안을 나타낸 것으로써 합류중의 생체변화가 합류후에도 영향을 일정시간동안 미치는 지 알아 보기 위함이다.



<그림 3> 합류과정의 구간 분할

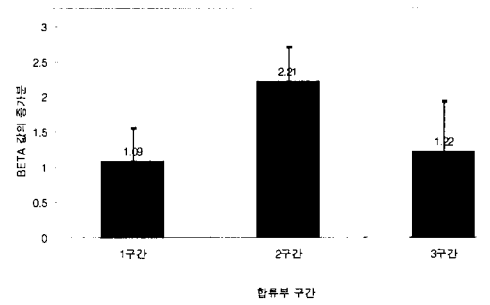
실험차량이 연결로 주행구간을 벗어나, 합류를 위해 가속차로에 진입시부터 합류직전까지의 본선 2차로 교통량이 생체신호 수집과 동시에 이루어 졌다. 측정은 실험차량내에 설치된 비디오화면을 통하여 이루어졌으며, 실험차량이 고어(Gore)에 진입시부터 합류부구간을 완전히 벗어날 때까지의 교통량이 측정되었다. 이 교통량은 차량의 종류별 구분을 하지 않은 자료이며, 동일한 상황을 제시할 수 있도록 1시간 교통량으로 환산하였다. 차량의 비디오 화면을 통한 신호분할과 함께 마킹을 확인하여 차량의 합류거리를 파악하였다. 또한, 신호는 40m 거리별로도 시간을 확인하는 과정을 통하여 β 파를 산정하였다. 또한, 본 연구에서 사용한 β 파의 증가는 아래 식(1)과 같이 산정되었다.

$$\beta \text{ 파의증가율} = \frac{\text{합류부 주행구간 } \beta \text{ 파}}{\text{기본 주행구간 } \beta \text{ 파}} \quad (1)$$

IV. 자료의 분석결과

1. 합류구간의 단계에 따른 분석

<그림 4>는 3구간으로 구분한 합류과정의 β 파 증가치를 비교 분석하였다. <그림 4>에서 보듯이 기본 주행구간에 비하여 1구간(램프부 주행구간)에서는 1.09배, 2구간(가속차로 주행 및 합류)에서는 2.21배, 3구간(합류완료후 4초)에서는 1.22배의 평균증가량을 나타내어 운전자는 가속차로를 주행하면서 합류를 할 때까지 각성수준이 기본 주행구간에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과에 대하여 분산분석



〈그림 4〉 합류과정에 따른 후두엽의 베타파 증가

〈표 4〉 합류과정별 분산분석

source	df	sum of squares	mean square	F value	Pr>F
model	2	3.24012659	1.62006329	11.35	0.0003**
error	27	3.85408571	0.14274392		
total	29	7.09421229			

〈표 5〉 Duncan's Test결과

Duncan Grouping	Mean	n	Section
A	1.09	10	구간 1
B	2.21	10	구간 2
A	1.22	10	구간 3

을 실시하였으며, 〈표 4〉에서 보는 바와 같이 5% 유의수준에서 구간간에 유의한 차이가 있음을 보였다. 이에 대하여 그 차이를 보다 명확히 살펴보기 위하여 추후 분석으로 Duncan's Test를 실시하였으며, 그 결과는 〈표 5〉와 같이 나타나서, 1구간과 2구간, 2구간과 3구간은 차이를 나타내는 구간으로 설명된다. 즉, 2구간이 각성수준이 가장 큰 구간이라고 설명할 수 있다.

β 파의 증가량 데이터는 피실험자 한명당 3개의 자료를 얻을 수 있으며, 그 값의 평균값을 구하였으므로 구간별로 10개씩의 자료를 얻을 수 있다. 이 과정에서 4.3절의 거리별 분석에서 1초이하의 거리에 대해 발생하는 분석불가 데이터는 제거하여 자료의 일관성을 갖도록 하였다.

본 분석결과에서 기본 주행구간의 운전자 각성도와 비교시, 운전자가 가속차로를 거쳐 합류가 완료될 때까지의 구간인 2구간에서의 각성정도가 2.21로 가

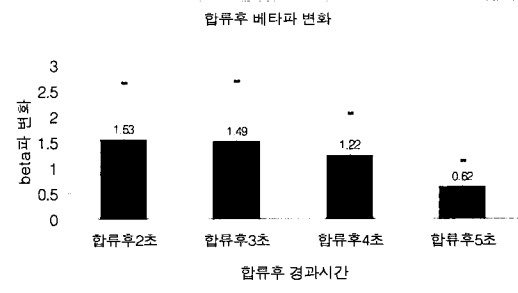
장 크게 나타났으며, 유의했다. 이는 이 구간에서 연결로 및 본선의 두 개의 교통류가 합쳐지게 되고, 이때 두 개의 교통류는 각기 원활한 흐름을 유지하기 위하여 서로 상충 및 경쟁하게 되는데 이를 위하여 많은 량의 시각정보를 요구받게 되기 때문인 것으로 보인다.

또한, 합류가 완료후 4초간에도 1.22의 증가치를 보이는데, 이는 가속차로에서 본선으로 합류후에도 합류에 있었던 영향이 남아 있는 것으로 분석된다.

2. 합류 완료후 주행구간의 분석

운전자가 가속차로로 진입하여 합류하기 직전까지의 운전자의 각성정도가 증가하는 것을 기반으로 하여, 이러한 영향이 합류후에도 지속되는 지에 대해 분석하고자 하였다.

이를 위하여, 합류후 지점을 기준으로 하여 2초간, 3초간, 4초간, 5초간의 경우로 나누어서 운전자의 β 파를 분석하였다. 〈그림 5〉에서 보듯이 합류후 2초간은 1.53, 3초간은 1.49, 4초간은 1.22, 5초간은 0.62로 분석되었다. 이 결과로 보면, 합류후 4초간은 운전자가 합류과정에서 느낀 각성이 유지되는 것으로 나타났는데, 이에 대하여 분산분석을 실시하여 그 차이를 알아 보기로 하였다. 먼저, 차이유무를 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였으며, 그 차이를 보다 자세히 알아보기 위하여 Duncan's Test를 실시하였다. 〈표 6〉에서 보듯이 합류후 4초간과 합류후 5초간에 차이가 있는 것으로 나타나 합류후 4초간 합류로 인한 영향이 유지된다고 말할 수 있다.



〈그림 5〉 합류후 시간별 베타파 변화

자료는 합류후 경과시간별로 구분하여 분석하였으며, 각 구간별로 피실험자당 3개씩하여 30개의 자료를 얻었다.

〈표 6〉 합류과정별 분산분석 및 Duncan's test

source	df	sum of squares	mean square	F value	Pr>F
model	3	16.0065898	5.33552995	5.82	0.0010**
error	116	106.419545	0.91740987		
total	119	122.426135			

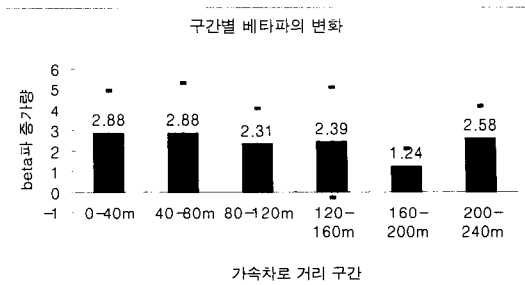
Duncan Grouping	Mean	n	Section
A	1.53	30	합류후 2초
A	1.49	30	합류후 3초
A	1.22	30	합류후 4초
B	0.62	30	합류후 5초

3. 가속차로 거리별 분석

앞의 분석에서 운전자는 가속차로 진입시부터 합류직전까지의 각성이 가장 크게 분석되었다. 이 단계에 대하여 더욱 자세하게 분석하기 위하여, 운전자가 가속차로 진입시부터 합류직전까지의 구간을 신호분석이 가능한 거리인 40m간격으로 구분하여 고어(0m)~240m까지 구간별 β 파의 증가량을 산정하였다. 〈그림 6〉에서 보듯이, 기본 주행구간에 비하여 1.24배~2.88배까지의 증가량을 보이는데, 이는 합류하기전까지 운전자들은 기본구간에 비해 2배 이상의 각성정도를 유지하게 된다고 볼 수 있다. 단, 160m~200m 구간에서는 1.24배의 값을 나타내었는데, 이는 이 구간에서 운전자의 각성을 상쇄시킬 수 있는 다른 요인이 영향을 미친 것으로 판단된다.

또한, 각 거리 구간별로 차이가 나는 지를 보기 위하여 분산분석과 Duncan's Test를 수행하였으며, 그 결과 160m~200m구간을 제외하고는 다르다고 말할 수는 없었다. 즉, 대부분의 운전자들은 처음 고어(Gore)부로부터 40m까지와 40m~80m에서 각성정도가 증가되는 경향을 보였다.

데이터는 피실험자 1명당 3개의 자료를 얻을 수 있어 총 180개의 자료가 얻어지며, 이 중 1초이하의 거리구간은 분석이 불가하므로 이에 대한 자료를 삭제하여 총 132개의 자료가 수집되었다.



〈그림 6〉 합류직전까지를 40m 간격으로 구분시 베타파 변화

〈표 7〉 합류과정별 분산분석 및 Duncan's test

source	df	sum of squares	mean square	F value	Pr>F
model	5	40.4134956	8.08269912	2.87	0.0173**
error	126	354.841478	2.81620221		
total	131	395.254973			

Duncan Grouping	Mean	n	Section
A	2.88	22	고어(0m)~40m
A	2.88	22	40m~80m
A	2.31	22	80m~120m
A	2.39	22	120m~160m
A	2.58	22	200m~240m
B	1.24	22	160m~200m

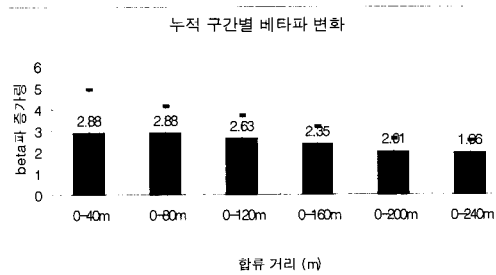
4. 가속차로 누적 구간별 분석

가속차로 구간별 분석과 별도로, 가속차로의 시점에서부터 운전자가 합류하기 전까지의 누적된 거리에 대한 β 파의 변화를 살펴 보았다. 이는 합류를 하기 위해 주행한 가속차로의 총 거리동안의 각성정도를 얻을 수 있다.

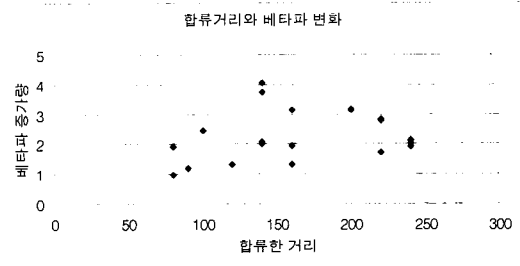
분석결과, 운전자들이 0m~40m와 0m~80m 범위에서 합류시에 합류를 위한 가속차로 시점에서 합류까지의 각성정도가 각각 2.88로서 가속차로를 충분히 주행한 0m~200m의 2.01, 0m~240m의 1.96보다 크게 나타났다.

누적구간별로 차이가 있는지를 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였으며, 차이가 있는 것으로 나타나 이러한 차이를 규명하기 위하여 Duncan's Test를 수행하였다. 그 결과, 0m~40m와 0~80m의 2개구간은 0m~200m와 0m~240m의 2개구간과 차이를 보인다고 나타났다.

사용된 자료는 IV. 3절과 동일하게 사용되었다.



〈그림 7〉 가속차로 누적 구간별 베타파 변화

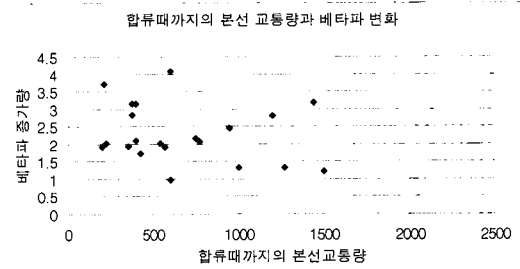


〈그림 8〉 합류거리와 베타파의 변화

〈표 8〉 합류과정별 분산분석 및 Duncan's test

source	df	sum of squares	mean square	F value	Pr>F
model	5	18.6692011	3.73384022	3.08	0.0118**
error	126	152.832884	1.21295940		
total	131	171.502085			

Duncan Grouping	Mean	n	Section
A	2.88	22	0m~80m
A	2.88	22	0m~40m
A B	2.63	22	0m~120m
A B	2.35	22	0m~160m
B	2.01	22	0m~200m
B	1.96	22	0m~240m



〈그림 9〉 합류때까지의 본선 교통량과 베타파 변화

하여 회귀분석을 통하여 분석하였다. 그 결과는 식 (2)와 같다.

5. 가속차로에서의 운전자 각성 증가분석

본 장에서는 운전자가 가속차로로 진입하여 합류하기 직전까지의 각성정도를 기반으로 하여 가속차로에서의 운전자의 각성정도를 나타내는 관계식을 찾고자 하였다.

운전자가 가속차로에 진입 후 합류 직전까지의 가속차로 주행구간(합류거리)에 대하여 운전자의 각성 수준을 계산하기 위하여 EEG 후두엽의 β 파 증가량을 산출하였다. 본 연구에서는 이러한 β 파 증가는 가속차로에서 합류를 위한 거리와 차량이 가속차로로 주행하여 본선으로 합류하기 직전까지의 본선 교통량, 이 두 변수에 의하여 많은 영향을 받는 것으로 보고 이들의 관계식을 추정하였다.

데이터는 피실험자 1명당 3개의 자료를 얻을 수 있어 총 30개의 자료가 얻어지며, 이 중 1초이하의 거리구간으로 분석이 불가했던 자료는 삭제하였으며, 또한 추정식 산정을 위한 과정에서 아웃라이어 판정된 데이터를 삭제하여 총 21개의 자료가 사용되었으며, 도출된 회귀식은 통계프로그램을 사용

$$\Delta \beta = 0.04565759 \times Distm - 0.00447506 \times Vol + 0.00000261 \times V2 - 0.0001258 \times D2 \quad (2)$$

$$(R^2 = 0.92)$$

여기서,

$\Delta \beta$: 기본 주행구간과 비교시 베타파의 증가량(후두엽)

Vol : 합류하려는 차량이 가속차로 시점에 진입시 부터 합류직전까지의 거리동안의 본선의 교통량

Distm : 합류하려는 차량이 가속차로 시점에 진입시 부터 합류직전까지의 거리

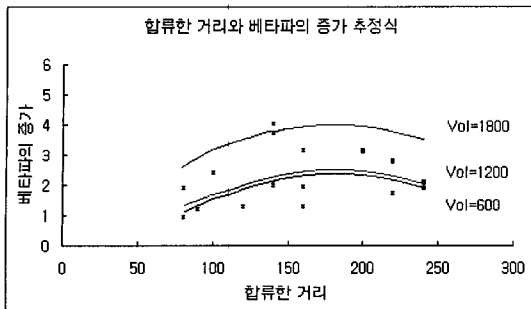
V2 : Vol²

D2 : Distm²

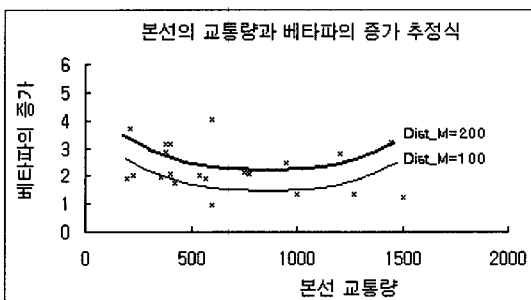
이다.

이렇게 구하여진 추정식은 가속차로 거리별 및 본선교통량별로 정리하면 〈그림 10〉과 같다.

가속차로 운전시, 운전자의 시각적 각성정도는 합류 거리에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 보이며, 본선의 교통량이 많을수록 가속차로를 주행중인 운전자는 더 큰 각성상태에 들어가게 된다.



〈그림 10〉 가속 차로 합류거리별 베타파의 증가량 추정식



〈그림 11〉 본선의 교통량별 베타파의 증가량

V. 결론 및 추후 연구방향

1. 결론

본 연구에서는 일반 기본구간과 비교해 볼 때, 고속도로 합류부에서의 운전자의 각성정도의 변화를 정량화하여 살펴보았다. 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 고속도로 운전자는 합류부 구간인 램프주행 구간, 가속차로시점에서 합류직전 주행구간, 합류후 영향이 남아있는 주행구간에서 기본 주행구간에 비하여 1.09배에서 2.21배까지로 각성정도가 증가하는 것으로 나타났으며, 가속차로 시점에서부터 합류직전까지의 주행구간이 2.21배로 가장 큰 각성을 보이는 것으로 분석되었다.

둘째, 고속도로 운전자는 합류를 완료한 후에 4초간 합류과정으로 인한 각성이 남아 있는 것으로 분석되었다.

셋째, 운전자들은 고어(Gore)에서 80m구간에서 합류하는 것이 충분한 가속주행을 한 가속차로에서 240m구간에서 합류한 경우보다 각성이 더 크게 나

타났다.

다섯째, 운전자의 시각적 각성정도는 합류 거리에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 보이며, 본선의 교통량이 많을수록 가속차로를 주행중인 운전자는 더 큰 각성상태에 들어가게 되는 것으로 분석되었다.

2. 추후연구방향

추후 연구로 피실험자의 수를 연령별, 성별로 구분하여 분석할 필요가 있으며, 생리학적 분석방법과 동시에 주관적 측정기법을 함께 사용하여 분석하여야 할 것이며, 분석과정에서 통계적 기법 이외의 뉴럴-퍼지 등의 분석 도구와 접목시켜 분석해 볼 수 있을 것이다.

또한, 본 연구를 기초로 하여 추가적 연구가 수행된다면, 일반적인 운전자의 각성 MOE(measure of effectiveness)이상이 되는 구간 파악이 가능할 것이며, 그 구간에 대해 기하구조 설계시 고려사항으로 시지의 확보, 위험구간에 대하여 한 차원 높은 안전장치를 추가 할 수 있을 것이다.

그리고, 합류부 기하구조 자체가 지나는 운전자의 각성정도 저하로 인하여 발생하는 안전성의 저하를 상쇄시킬 수 있는 방안이 제시될 수 있으며, 그러한 방안이 얼마나 저하를 막는지에 대한 더욱 세밀한 연구가 수행될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김유진(1997), "고속도로 합류부에서의 연결로 유입 영향 및 합류용량의 평가", 서울대학교 석사논문, pp.1~50.
2. 신용균, 이건호, 강수철(1996), "고속도로 기하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향".
3. 신용균, 오애령, 이건호, 강수철, 이순철(1995), "여행시간과 속도가 운전자 운전부하에 미치는 영향".
4. 이원영, 김인석, 김원중(1997), "운전자 위험에 측훈련 프로그램개발에 관한 연구", pp.17~140.
5. 이주황(1997), "우리나라 고속도로 교통사고 특성분석 및 모형개발", pp.14~20.
6. 윤상영(1997), "운전시 부작용이 수행도와 심리적 작업부하에 미치는 영향".

7. Brookhuis, K. A., Waard, D. and Mulder, L. J. M.(1993)., "Measuring Driving Performance by Car-following in traffic".
8. Dieter Klebelsberg(1987), "교통심리학", pp. 72~181.
9. John R Wilson and E Nigel Corlett(1995), "Evaluation of Human Work".
10. Leonard Evans(1991), "Traffic Safety and The Driver".
11. Martin G. Helander(1975), "Physiological Reactions of Drivers as Indicators of Road Traffic Demand", TRB 530.
12. R. S. Bridger, Ph. D.(1995), "Introduction To Ergonomics".
13. Wilson, J. R. & Rutherford, A.(1989), "Mental Models : Theory and Application in Human Factors", Human Factors, 31(6).
14. Wierwille, W. W. & Eggemeier, F. T.(1993), "Recommendations for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment", Human Factors, 35(2).
15. WIM VAN WINSUM(1996), "Speed choice and Steering Behavior in Curve Driving", Human Factors.
16. Wierwille, W. W., J. C., Hicks, T. G. & Muto (1977), "Secondary task measurement of Workload as a function of simulated vehicle Dynamics Driving Conditions", Human Factors.