

■ 論 文 ■

## 운전자 생리신호로 본 노면요철포장의 설치효과분석

Evaluation of Shoulder Rumble Strip Effectiveness based on Driver's Physiological Signal

김 주 영

(한양대학교 첨단도로연구센터 연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

### 목 차

- |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 기존문헌고찰</p> <p>1. 노면요철포장</p> <p>2. 운전자의 각성수준</p> <p>III. 자료수집 및 분석방법론</p> <p>1. 실험대상지역 선정</p> | <p>2. 피실험자 선정</p> <p>3. 자료수집 및 분석방법</p> <p>IV. 사례연구</p> <p>1. 노면요철포장설치구간과 본선구간 분석</p> <p>2. 노면요철포장설치구간의 반복주행 분석</p> <p>V. 결론 및 향후연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Key Words : 차로이탈, 요철포장, 생체신호, 뇌파, 운전자  
Rumble Strip, Runoff, Driver, Biosignal, Effectiveness

### 요 약

최근 개통되고 있는 고속도로는 설계속도 및 제한속도가 상향되고 있어 주행환경의 양호성 확보와 함께 이에 따른 다양한 안전시설물들이 설치되고 있다. 특히 양호한 선형으로 인한 졸음운전이나 야간 및 이상기후로 차로를 제대로 볼 수 없을 때 차량의 차로 이탈사고를 미리 방지할 수 있도록 하는 노면요철포장(rumble strip)의 설치가 꾸준히 증가하고 있다. 그러나 이러한 시설물이 운전자에게 미치는 효과의 크기가 얼마나 되는지에 대한 실질적인 연구가 미흡하여 명확한 효과를 제시하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 운전 중인 운전자 뇌파를 측정하여 도로구간에서 적정한 데이터를 수집하고 수집된 자료로부터 노면요철포장(rumble strip)의 효과를 분석할 수 있는 방법 및 생체 신호 파라미터를 제시하였다.

분석결과 뇌의 중심엽 부위에서 추출된 세타파 값은 본선 2차로 주행구간에서 0.619, 노면요철포장(Rumble strip)구간에서 0.157으로 0.462가 감소하여 본선 2차로 구간대비 약 74% 수치 감소를 보였으며 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다.

이러한 수치의 감소는 운전자의 각성이 그 만큼 증가하였음을 의미하는 것으로 노면요철포장의 효과에 대한 운전자 측면의 수치적 해석이 가능함을 나타낸다.

Most researches about rumble strips have presented only the before-and-after analysis of the accidents. So, Researchers have not dealt with the estimation of rumble strip's effectiveness on the driver's alertness.

In this study, the effectiveness of the rumble strips on the driver's alertness was estimated by measuring the bio-signal transmitted from the driver. The bio-signal acquired for this experiments were theta wave in central lobe.

The experimental results revealed that the theta waves as measured from the drivers' head while in the rumble strip section differed from those while in non-rumbled section: 74 percent decrease in theta wave value, respectively.

This fact finding could mean that the driver's alertness increased from 74 percent while in the rumble strip section of the road. In all five trials of driving experiments on the rumble strip section, all the drivers showed the best alertness as measured by the theta waves in the first driving trial.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

작년 말 개통한 진주~통영 고속도로에는 고속도로 주행시 양호한 선형으로 인한 졸음운전이나 야간 및 이상기후로 차로를 제대로 볼 수 없을 때 차량의 차로 이탈사고를 미리 방지할 수 있도록 노면요철포장(Rumble Strip)을 설치하였다. 노면요철포장(rumble strip)이란 고속도로 갓길 부분에 폭 40cm크기의 홈을 파 놓은 형태로 이 시설은 차량 통과시 타이어에서 발생하는 마찰음과 차체 진동을 통해 운전자의 경각심을 높여 졸음운전을 예방하는 등 안전운행을 유도하도록 되어있다. 특히 경찰은 노면 요철포장(rumble strip) 설치 후 운전자들로부터 호응을 얻음에 따라 선형이 단조로워 주행 중 졸음운전이 우려되는 구간, 안개가 잦은 교통사고 취약구간, 터널 입구 추돌사고 우려 구간 등으로 점차 확대·설치해 나갈 계획을 갖고 있다.

미국을 비롯한 선진국들에서는 1990년대부터 노면요철포장(rumble strip)에 대한 설치 전·후의 조사연구가 실시되어 도로 이탈사고의 약 70%를 감소시킨다고 보고하고 있다.

국내에서도 2000년 말에 한국도로공사에서 노면요철포장에 대한 시험시공계획서를 작성하였고, 지속적인 시험시공을 통해 2002년에는 노면요철포장 적용기준 검토보고서를 제작하기도 하였다. 그러나 이러한 시설물 설치와 관련하여 설치 전·후의 사고건수 감소비교 및 운전자 설문조사결과와 같은 분석자료만 있을 뿐 실제적인 시설물의 효과에 대하여서는 평가방법의 부재 등으로 인해 미비한 실정이었다.

이에 본 연구에서는 운전자의 정신적 각성수준(Mental Workload)자료를 수집·분석하여 본 시설물의 효과를 평가할 수 있는 방법을 제안하였다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 평일의 맑은 날, 주간 10:00~11:00를 대상으로 실험당일의 교통량 서비스 수준이 C수준으로 선정하였으며 공간적 범위는 제2중부고속도로에서  $\pm 1\%$ 의 종단경사를 갖는 350.0km 전·후 지점을 대상으로 하였다.

자료수집 범위로는 대상도로의 기하구조 특성, 교통량, 운전자의 생체적 반응 자료 등이 수집되었다. 수집된 자료의 분석방법은 실제 도로주행을 통해 운전자의 뇌파 자료를 수집하고 이를 Fast Fourier transform을 통해 상대파워스펙트럼을 추출하여 피실험자별로 정규화과정을 통해 대상구간에서의 변화를 비교·분석하였다.

본 연구는 실험조건 등의 현실적 제약으로 인하여 실제조건과 동일하게 비인지 상황에서의 실험자료를 수집·분석하지는 못하였다.

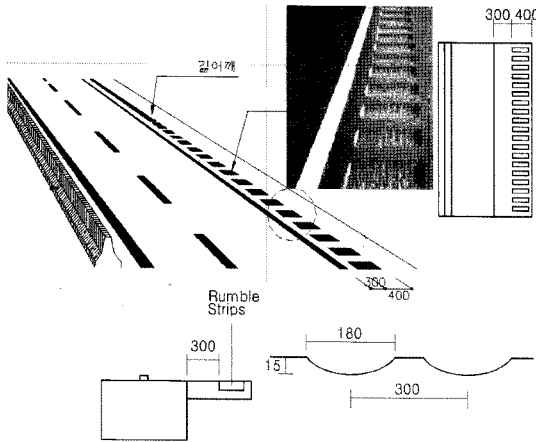
본 논문에서 사용한 용어를 정리하면 아래와 같다.

- 각성수준(workload) : 작업부하라고도 하며 외부 작업시, 한사람이 감수해야 할 능력을 의미하며 인적능력과 작업에서 요구하는 정도와 관련이 된다고 말할 수 있다. 즉, 어느 작업에서 요구되는 자원이 적정 수준 이상으로 많아 질수록 작업부하량은 증가되고 작업의 수행도는 떨어지게 되는 것이다.(발췌 : 이근희, 인간공학, 상조社, 1994, Wickens, Engineering psychology and human performance, Charles E. merrill publishing company, 1984)
- 중심엽(Central lobe) : 두뇌의 각 부분은 인간의 지각 및 반응에 대해 고유한 영역을 갖는데, 중심엽 부위는 뇌의 종합처리를 담당하는 감각영역이다(발췌 : R. Cooper, EEG Technology, 1980)
- 세타파( $\theta$  wave) : 세타파는 20~200 $\mu V$ 의 진폭과 4~7Hz의 주파수를 갖는 파형으로 어린아이가 유쾌하거나 불쾌한 경우와 졸릴 때 나타나는 파형이다.(발췌 : R. Cooper, EEG Technology, 1980)

## II. 기존문헌고찰

### 1. 노면요철포장

노면요철포장은 주행차로나 길어깨부의 노면을 높이거나 홈을 내서 만든 포장의 형태로서 이탈차량 진입시 소음 및 진동을 발생시켜 도로여건의 변화를 운전자에게 주의·환기시킴으로서 졸음운전 및 야간, 안개 등의 시야불량 등 이상기후로 발생할 수 있는 도로이탈 사고예방에 효과적인 시설로 알려져 있으며, 미국의 경우 뉴욕, 펜실베이니아, 뉴저지 등의 각주(state)에서 다양한 테스트를 실시하여 현재에는 대부분 주간선도로에



〈그림 1〉 노면요철포장 설치 규격

설치하고 있다.

〈그림 1〉은 본 연구대상구간에 설치된 노면요철포장의 설치규격을 나타내고 있다. 시공방법은 포장면절삭기를 이용하였으며 설치규격은 폭 400mm, 너비 160~180mm, 중심간격 300mm, 홈깊이는 15mm이다.

이와 관련된 연구를 살펴보면, 미국의 FHWA에서는 길어깨부에 설치된 노면요철포장(rumble strip)의 설치와 효과연구에서 뉴욕, 펜실베이니아, 뉴저지주 등에 설치전·후의 도로이탈사고를 비교·분석함으로써 도로이탈사고의 70~72%가 감소하였음을 보여주었다. 또한 미국 펜실베이니아주에서는 SNAP(Sonic Nap Alert Pattern)이라는 노면요철포장(rumble strip)을 설치하고 차량주행거리당 사고율을 조사하여 최대70%까지 이탈사고감소를 나타냈다고 하였다.(John J. 1997)

Mikko R.(2005)은 곡선부의 차선유지를 위해 중앙선부 노면요철포장의 우수성을 차선 페인트를 다시 칠하는 경우와 정면충돌사고건수로 비교하고, 재페인트칠의 경우 9.2%에서 2.5%로 감소하였으며 노면요철포장(rumble strip)의 경우 정면충돌사고가 한건도 없었다고 보고하였다. Griffith, MS(1999)는 캘리포니아와 일리노이주의 고속도로에 설치된 노면요철포장(rumble strip)에 대해 차로이탈차량사고의 전·후 비교를 통해 18.3~21.1%의 사고감소율을 언급하였다. Noyce의(2006)는 노면요철포장(rumble strip)의 형태와 운전자의 반응을 드라이빙 시뮬레이터를 제작하여 설문평가하였으며 노면요철포장의 패턴이 복잡할수록 우수함을 밝혔다.

그러나 노면요철포장(rumble strip)의 효과평가와 관련하여 대부분의 연구가 설치 전·후의 도로이탈사고건수 및 사고율 비교 및 통계검정으로 연구가 수행되었

을 뿐 시설을 직접으로 이용하게 되는 운전자의 입장에서 평가한 사례가 미비하였다.

## 2. 운전자의 각성수준

운전자의 정신적 각성수준(Mental workload)을 알아내기 위해서는 주관적인 평가, 관찰에 의한 평가, 측정에 의한 평가 등의 방법이 있으나 본 연구에서는 객관적 수치로 제시되고 재현성이 뛰어난 측정에 의한 평가방법인 생체신호분석방법을 이용하였다.

생체신호란 사람이 생각하고 행동하고 활동할 때 사람의 몸의 각 부분에서 발생하는 전위차를 측정하여 얻어낸 값이다. 1970년대부터 미국을 중심으로 다양한 연구를 통해 운전자의 생체신호가 운전자의 각성수준을 설명함을 밝혀내고 있다.

Kecklund와 Akerstedt(1993)는 28명의 트럭운전자를 대상으로 장시간 트럭운전 시 뇌의 중심엽부에서 세타파와 알파파가 증가함을 밝혔다. 이러한 파형은 비운전상황에서 많이 증가하는 것으로 운전자가 피로하거나 졸음상태에 빠져들 때도 증가하는 것으로 보고하였다.

O'Hanlon의(1993)는 장시간 동안의 야간주행에 따른 운전자의 생리반응 변화를 연구하였는데 주행시간이 길어질수록 운전자 뇌파기록상에는 델타파와 세타파가 증가하는 것을 발견하고 장시간의 주행이 졸음운전을 유발할 가능성이 있음을 객관적으로 나타내었다.

자동차를 오랜시간 운전하게 되면 운전자의 수행능력이 감소하게 되며 이러한 것은 뇌파 스펙트럼 분석에서 세타파와 알파파로 나타난다고 Brookhuis 외(1991)는 주장하였다.

Akerstedt의는 고속도로 주행 중에 나타나는 과소부하는 굴곡이 심한 우로굽은 도로에서 발생되며 이것은 운전수행능력을 감소시키는 원인이 되며 이러한 현상은 운전자의 운전수행능력과 생리현상을 결합시킨 연구를 통해 입증하였다.

Beatty 외는 운전자의 운전수행 저하는 각성수준의 저하와 상관이 높으며 이는 뇌파의 세타파의 증가와 관련이 있다고 하였다.

이처럼 세타파를 이용한 운전자 각성수준 연구가 있었으며 이외에 알파파, 베타파를 이용한 연구도 진행되어 있었다.

이순철 외(1995)는 속도증가에 따른 운전자의 반응 연구에서 고속주행인 100~110km/h로 주행시 뇌파

〈표 1〉 연구대상지역 특성

| 구 분                  | 시점<br>(km)    | 종점<br>(km)    | 제한속도<br>(km/h) | 도로 특성                                                              |
|----------------------|---------------|---------------|----------------|--------------------------------------------------------------------|
| 본선 주행구간              | 제2중부고속도 360.0 | 제2중부고속도 340.0 | 110            | -편도 2차로도로<br>-평면선형 : 직선도로<br>-종단선형 : $\pm 1\%$ 이내                  |
| Rumble Strips설치 주행구간 | 제2중부고속도 333.8 | 제2중부고속도 333.6 | 110            | -편도 2차로도로(길어깨 부)<br>-평면선형및 종단선형<br>: 직선도로, 오르막내리막 도로, 좌·우로 굽은도로 포함 |

의 베타파가 안정주행인 70km/h일 때 보다 상대적으로 증가하였음을 밝혔다.

Cristi 외(1991)는 외부자극의 복잡성 정도가 뇌파 가운데 알파파의 활성화에 관여하며 지각에도 영향을 미친다고 하였다. 자극이 복잡할수록 긴장이완과 상관이 높은 알파파의 활성화는 차단되고 각성수준의 향상과 관련이 높은 베타파의 활성화가 증가된다고 하였다.

박재범 외(2001)는 2시간 이상의 장시간 고속도로 주행실험을 통해 좌우측 전두엽의 알파파와 베타파를 분석하였으며 주행 후 60분 이후, 즉 90분을 경계로 운전자의 각성이 저하됨을 밝혔다. 또한 정봉조 외(2002)는 고속도로 설계요소와 관련된 운전자 연구를 하였는데 연속적인 직선구간 주행으로 인한 졸음의 유발가능성을 언급하면서 좌우측 전두엽과 후두엽의 베타파를 수집, 분석하였다. 분석결과에서 설계속도의 30배까지는 연속적인 직선도로가 운전자에게 큰 영향을 미치지 않음을 입증하였다.

본 연구에서는 기존의 문헌조사에서 주로 분석적용하고 있는 세타파, 알파파, 베타파 중에서 중심엽 부위의 세타파를 대상으로 분석하였다. 이는 기존연구에서 장시간주행에 영향을 보이는 파형으로 알파파, 베타파 보다는 세타파를 언급하고 있기 때문이다. 세타파는 주행시간이 길어질수록 증가하여 장시간의 주행운전상황이 졸음운전을 유발할 수 있는 점에 비추어 볼 때 본 연구결과에서 제시한 세타파의 변화는 노면요철포장(rumble strip)구간에서 운전자의 긴장감을 일시적으로 더하여 효과가 있음을 보여준다고 할 수 있다.

### Ⅲ. 자료 수집 및 분석방법론

#### 1. 실험대상지역 선정

연구대상지역은 다음의 조건을 만족시키는 지점으로

사전답사 및 기하구조 자료를 토대로 하여 선정하였으며 선정구간의 특성은 〈표 1〉과 같다.

- 표지판이 과다하게 설치되거나, 사고발생과 같은 이벤트가 발생하지 않은 구간
- 교통량의 변화가 크지 않아 교통량으로 인한 각성변화가 크게 변화되지 않는 구간  
(일반 구간 및 노면요철포장(rumble strip)본선구간의 서비스 수준(LOS) = C)
- 차로수 변화가 없는 구간으로 날씨가 흐리거나 비, 눈오는 날은 배제

이러한 조건을 고려하여 〈표 1〉에서 보듯이 노면요철포장(rumble strip) 현장조사구간으로 제2중부고속도로 338.0km~336.0km 구간을 선정하였으며 일반비교구간은 직선도로 구간으로  $\pm 1\%$ 의 종단경사를 갖는 제2중부고속도로 350.0km 전후를 선정하였다.

노면요철포장(rumble strip) 현장조사구간에서는 피실험자 별 총 5회에 걸쳐 자료수집이 이루어졌다. 자료수집은 실험차량의 우측바퀴가 노면요철포장(rumble strip)에 닿아 소음과 진동을 발생시키기 시작하는 시점부터 자료를 수집하였으며 비교구간인 본선구간에서는 50초 동안 수집하였다.

#### 2. 피 실험자 선정

피실험자 구성은 Between subject 구성법을 적용하여 노면요철포장(rumble strip) 구간과 비교를 위한 본선주행구간에서 피실험자들의 차이를 찾고자 하였다. 총 5명을 대상으로 노면요철포장(rumble strip) 구간과 비교구간을 주행토록 하였으며 고속도로에서 운전 중인 운전자에게서 계측장비를 이용하여 데이터를 수집하는 것은 교통 안전상에 위험요소가 될 수 있어 피 실험자는 가능한 한 운전경력이 많은 운전자를 선정

〈표 2〉 피실험자의 인체계측자료

|       | 나이<br>(세) | 성별 | 신장<br>(cm) | 몸무게<br>(kg) | 실제 운전경력<br>(년) |
|-------|-----------|----|------------|-------------|----------------|
| 피실험자1 | 31        | 남  | 176        | 72          | 4              |
| 피실험자2 | 27        | 여  | 173        | 53          | 4              |
| 피실험자3 | 34        | 남  | 169        | 64          | 8              |
| 피실험자4 | 36        | 남  | 170        | 56          | 10             |
| 피실험자5 | 30        | 남  | 170        | 74          | 11             |
| 평균    | 31.6      | -  | 171.6      | 63.8        | 7.4            |

하였다.

운전자 개인별 생체신호의 분산이 크게 나타남을 고려하여 피 실험자의 선정시 연령별, 성별의 차이를 고려하지 않았으며 고속도로 운전이 어려운 것으로 판단 되는 운전경력을 가진 이를 제외한 남성 및 여성을 기준으로 하였다.

따라서 피 실험자는 운전면허를 소지하고 1년 이상의 운전경력을 가지며 최근 교통사고를 낸 경험이 없고 교정시력 0.5이상으로 시각기능에 이상이 없는 건강한 20대 후반~30대 초반의 남성 및 여성 중에서 5명을 선정하였다. 선정된 피 실험자들의 인체계측자료에 대한 값은 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉에서 보듯이 피실험자의 평균나이는 31.6세이며 실제운전경력 7.4년이다. 이들은 과거에 뇌질환이나 심장질환으로 인해 입원하거나 치료를 받은 적이 없고, 색맹, 색약 등 시각기능에 이상이 없는 신체 건강한 정상인을 대상으로 하였다. 실험실시 전에는 약물 복용이나 흡연, 커피, 알코올(술)을 복용하지 않도록 하였으며, 피로가 누적되지 않은 상태에서 실험에 참여토록 하였다.

### 3. 자료수집 및 분석방법

생체신호 측정장비를 차량에 설치하고 피실험자에게 간단한 주의사항을 언급해 주고 신호수집을 위한 센서를 부착한 뒤 운전자의 거부반응이 없도록 충분한 휴식시간을 주었다. 생체신호 측정장비로는 차량의 진동으로 인해 발생하는 생체신호 노이즈를 줄이기 위해 Biopac사의 뇌파측정장비를 차량에 부착하여 자료를 수집하였으며, 실험차량에는 진동 및 충격방지 시설을 설치하였다.

구두를 통해 운전자가 충분한 안정을 찾은 경우 안정상태의 운전자 생체신호를 5분 이상 수집하였다. 안정상태에서 수집된 생체신호는 Normalization 분석과정에서 사용되며 이러한 과정을 통해 개개인의 차이를

없앨 수 있다.

실험은 피실험자가 실험차량을 운전하여 노면요철포장(rumble strip)이 설치된 구간에서 차량의 우측전·후륜 바퀴가 노면요철포장(rumble strip)을 밟도록 주행시켰으며 1회의 주행실험에서 5번 반복출입을 실시하였다. 실험차량의 속도는 시속 90km내외로 주행토록 하였다.

수집자료에는 생체신호(뇌의 중심엽 뇌파자료)와 실험차량의 속도, 주변 주행환경 자료를 수집하였다. 뇌의 중심엽은 종합적인 정보처리 감각영으로 알려져 있어 운전자의 종합적인 각성수준을 평가하는데에 적합하



〈그림 2〉 실험차량과 피실험자 모습

여 선정하였다.

본 연구에서는 수집된 생체신호의 정량화 방법은 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 통하여 뇌파의 주파수 대역별로 상대 파워스펙트럼 값(식(1))을 구하고 이 중에서 운전자의 졸음 및 각성과 관련을 가지는 것으로 알려진 세타파 값을 분석하였다. 분석 파라미터로는 상대파워스펙트럼 분석에서 얻어진 값을 Normalization 분석하여 얻어진 값(식(2))을 사용하였다. 분석과정에서 최대 값 및 최소 값을 제거하는 노이즈 필터링과정을 포함하였다.

$$R_{power} = \frac{E_{power}}{\sum(A_{power})} \quad (1)$$

여기서, Rpower : 상대파워스펙트럼 값  
Epower : 특정파워스펙트럼 값  
Apower : 모든 파워스펙트럼 값

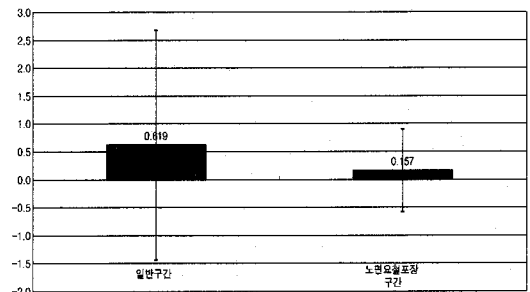
$$N_p = \frac{P_{driving}}{P_{resting}} \quad (2)$$

여기서, Np : Normalization 값  
Pdriving : 운전상황 생체신호 값  
Presting : 무자극시 생체신호 값

## IV. 사례연구

### 1. 노면요철포장(rumble strip) 설치구간과 본선 비교구간 분석

노면요철포장(rumble strip) 설치구간과 본선 비교구간의 분석결과는 <그림 3>과 같으며 피실험자 총 5명의 평균값이다. 분석결과 중심엽 세타파는 일반구간 0.619에서 노면요철포장(rumble strip) 설치구간 0.157으로 약 0.462의 감소를 보여 일반주행구간에 비해 노면요철포장 구간에서 약 74%의 각성증가 효과를 보인 것으로 나타났다. 이 차이는 통계적으로 유의하게 나타났으며 그 분석결과는 <표 3>에 제시하였다. 특히 본 연구에서 선정한 파라미터 값인 중심엽 세타파에서 74%의 운전자 각성차이를 보인 것은 의미 있는 결과이다. 즉 이러한 시설물의 효과와 관련하여 실제로



<그림 3> 노면요철포장 인식구간과 본선비교구간에서의 운전자의 세타파 변화

<표 3> 분산분석결과

| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr>F     |
|--------|----|----------------|-------------|---------|----------|
| Model  | 4  | 5.998          | 1.4995      | 4.13    | 0.0134** |
| Error  | 20 | 7.263          | 0.3631      | -       | -        |
| Total  | 24 | 13.612         | -           | -       | -        |

운전자가 느끼는 그 영향정도를 파악하였다는 점에서 중요한 의미를 갖는 것이다.

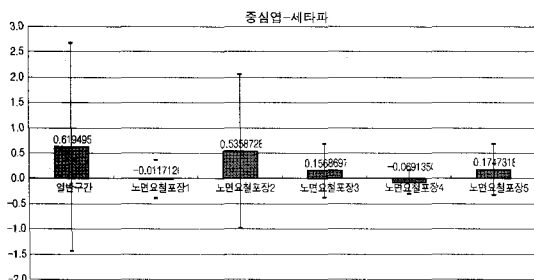
### 2. 노면요철포장(rumble strip) 구간의 반복주행 분석

앞 절에서 노면요철포장(rumble strip) 구간에서의 운전자 각성이 본선비교구간과 비교하여 볼 때 74%의 증가를 보인 것으로 나타났다. 노면요철포장(rumble strip) 주행차레별로 운전자의 각성변화를 파악하기 위해 시설설치구간 5회 주행별 분석을 실시하였다.

노면요철포장(rumble strip)이 설치된 구간을 총 5회 반복 출입하여 데이터를 수집하고 출입순서에 따라 수집된 생체신호를 비교, 분석하였다. 그 결과는 <그림 4>에 나타내었으며 총 5명의 피실험자의 평균값이다.

분석결과 일반구간에 비해 노면요철포장(rumble strip) 첫 번째 주행 시에 운전자의 각성이 가장 크게 나타났으며 전 구간에 걸쳐 일반구간에 비해 운전자의 각성값은 더 크게 나타나는 추세를 보였다.

반복출입횟수별 운전자의 반응을 살펴보면 각 횟수마다 일반주행구간(value=0.61)에 비해 운전자의 각성수준(value=-0.06~0.53)이 증가(세타파는 그 값이 작을수록 운전자의 각성수준 증가를 의미함)하였음을 보여주고 있다. 특히 노면요철포장(rumble strip) 두 번째 출입시에 각성수준증가정도가 다른 출입시 값에 비해 적게 나타났는데 이는 운전자의 학습효과에서



〈그림 4〉 반복출입횟수에 따른 운전자의 세타파 변화

기인한 것으로 판단되나 추후 추가적인 연구분석이 요구된다.

## V. 결론 및 향후연구과제

최근 개통되고 있는 고속도로는 설계속도 및 주행제한속도가 상향되고 있어 주행환경의 양호성 확보와 함께 이에 따른 다양한 안전시설물들이 설치되고 있다. 특히 양호한 선형으로 인한 졸음운전이나 야간 및 이상기후로 차로를 제대로 볼 수 없을 때 차량의 차로 이탈사고를 미리 방지할 수 있도록 하는 노면요철포장(rumble strip)의 설치가 꾸준히 증가하고 있다. 그러나 이러한 시설물이 운전자에게 미치는 효과의 크기가 얼마나 되는지에 대한 실질적인 연구가 미흡하여 명확한 효과를 제시하지 못하고 있는 실정이었다.

본 연구에서는 운전 중인 운전자의 뇌파를 측정하여 도로구간에서 적절한 데이터를 수집하였고 수집된 자료로부터 노면요철포장(rumble strip)의 효과를 분석할 수 있는 방법 및 생체신호 파라미터를 제시하였다.

연구결과, 기존문헌에서 운전자의 종합적 감각령으로 제시하고 있는 중심엽에서의 세타파는 노면요철포장(rumble strip)의 효과평가에 적절한 것으로 나타났으며, 본선 2차로 주행구간에서 0.619, 노면요철포장(rumble strip) 갓길구간 0.157으로 0.462가 감소하여 본선 2차로 구간대비 약 74% 수치 감소를 보여(신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 결과) 시설물의 운전자 측면의 효과를 계량화 할 수 있음을 보였다.

본 연구에서 제시한 운전자의 평가 방법론은 단기적 기간 내에 운전자와 관련된 효과를 평가하거나 노면요철포장(rumble strip)의 도입평가에 적절할 것으로 판단된다.

추후 노면요철포장(rumble strip)의 반복적 출입에

따른 운전자 변화연구가 수행된다면 보다 자세한 효과 특성분석이 가능할 것이다. 다양한 성별 및 연령대별 피실험자 구성을 통해 운전자 특성에 따른 효과평가가 요구되며 다양한 노면요철포장(rumble strip) 형태에 따른 평가도 필요할 것이다. 이와 함께 다양한 생체신호의 변화에 대해서도 연구가 진행되어야 할 것이며, 주행속도 및 진입각도 등에 따른 평가가 요구되며 실제 조건과 비슷하게 장시간 운전상황이나 야간운전 등의 피로상태에서의 운전자의 시설물에 대한 사전인지 없이 실험자료를 수집하여 분석할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 김정룡 외(1999), 고속도로의 직선구간별 운전자 생리반응분석, 대한인간공학회 논문집, pp.7~10.
2. 김주영·장명순(1999), 고속도로 합류부에서 운전자의 심리·생리적 작업 부하 연구, 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.69~79.
3. 건설교통부(2000), 도로구조·시설 및 기준에 관한 규정, pp.77~84.
4. 윤상영(1997), 운전시 부작용이 수행도와 심리적 작업부하에 미치는 영향, 한양대학교.
5. 이주향(1997), 우리나라 고속도로 교통사고 특성 분석 및 모형개발, p.20.
6. 정봉조·강정규·김주영·장명순(2002), 운전자 작업부하를 고려한 최장 허용 직선길이 결정에 관한 연구, 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.17~26.
7. 한국도로공사(2002), 도로안전도 평가모형 개발연구.
8. Brookhuis, K. A., Waard, D. and Mulder, L. J. M(1993), Measuring Driving Performance by Car-following in traffic.
9. Brookhuis, K.A., Waard, D. de(1991), The use of psychophysiology to assess driver status, Ergonomics, 36, pp.1099~1110.
10. Esther Kloeppel Wagner(1999), Effects of partial and total sleep deprivation on driving performance, public roads, pp.2~6.
11. Mikko Rasanen(2005), Effects of a rumble strip barrier line on lane keeping in a curve, Accident Analysis and Prevention 37(2005)575-581, ELSEVIER.

12. GORAN KECKLUND(1993), sleepiness in long distance truck driving : an ambulatory, EEG study of night driving, *Ergonomics journal* Vol 36, No 9, pp.1007~1017.
13. Kecklund, G. and Akerstedt, T.(1993), Sleepiness in Long Distance Truck Driving: an Ambulatory EEG Study of Night Driving, *Ergonomics*, 36(9), pp.1007~1017.
14. KAREL A. Brookhuis(1993), the use of psychophysiology to assess driver status, *Ergonomics journal* Vol 36, No 9, pp.1007~1017.
15. LAWRENCE R. ZEITLIN(1995), Estimates of driver mental workload : a long-term field trial of two subsidiary tasks, *Human factors journal*, 37(7), pp.611~621.
16. Martin G. Helander(1975), Physiological Reactions of Drivers as Indicators of Road Traffic Demand, TRB 530.
17. Myungsoon Chang(2001), Evaluation of Driver's Psychophysiological Load at Freeway Merging Area, TRB Annual Meeting 2001.
18. R. COOPER(1980), EEG Technology third edition, Butterworths.
19. Wierwille, W. W. & Eggemeier, F. T.(1993), Recommendations for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment, *Human Factors*, 35(2).
20. Kerry Perrillo,(1998), The Effectiveness and Use of Continuous Shoulder Rumble Strips, Highway Engineer Federal Highway Administration Albany, New York.
21. John J. Hickey, Jr.(1997), Shoulder Rumble Strip Effectiveness: Drift-Off-Road Accident Reductions on the Pennsylvania Turnpike, Pennsylvania Turnpike Commission TRB Research Record 1573.
22. Neal E. Wood, P.E.(1994), Shoulder Rumble Strips: A Method to Alert "Drifting" Drivers, Pennsylvania Turnpike Commission (Retired) TRB No. 940312.
23. Griffith, MS(1999), Safety Evaluation of Rolled-in Continuous Shoulder Rumble Strips installed on Freeways, Transportation Research Record 1665.
24. Noyce, David A.(2006), Development and Evaluation of Unique Centerline Rumble Strip pattern to Improve Driver Comprehension, Transportation Research Board 85th Annual Meeting.

✻ 주 작 성 자 : 김주영

✻ 교 신 저 자 : 김주영

✻ 논문투고일 : 2006. 5. 30

✻ 논문심사일 : 2006. 6. 28 (1차)

2006. 8. 11 (2차)

2006. 8. 22 (3차)

2006. 9. 22 (4차)

2006. 10. 30 (5차)

✻ 심사판정일 : 2006. 10. 30

✻ 반론접수기한 : 2007. 4. 30