*Journal of the Ergonomics Society of Korea*
Vol. 29, No. 5 pp.783-788, October 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.5.783

# 교차로 상황에 따른 고령운전자의 중추신경계 반응: 황색신호 딜레마를 중심으로

이영창[1] · 김보성[1] · 김현우[1] · 임동훈[1] · 박미선[1] · 민병찬[2] · 민윤기[1]

[1]충남대학교 심리학과 / [2]한밭대학교 산업경영공학과

# The CNS Responses of Elderly Driver due to Signal Types at the Intersection: Focused on Yellow Interval Dilemma Situation

Young-Chang Lee[1], Boseong Kim[1], Hyun-Woo Kim[1], Dong-Hoon Lim[1],
Mi-Seon Bak[1], Byung-Chan Min[2], Yoon-Ki Min[1]

[1]Department of Psychology, Chungnam National University, Daejeon, 305-764
[2]Department of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 305-719

**ABSTRACT**

This study was to examine to the CNS(Central Nervous System) responses of elderly drivers at the green, yellow, and red signal types. To examine this result, the older adults over age 65 who has more than 5 years of driving experience participated this experiment. In addition, we used audio-visual film clips as the stimulus than driving simulator, because the CNS reponses are sensitive to movement such as steering wheel. While subjects were watching one car's driving among green, yellow, or red signal types at the intersection, we measured their EEG(electroencephalogram) using monopolar electrodes from Fz, Cz and Pz sites. As a result, relative sizes of beta waves were changed due to the signal type conditions, and pre- and post-time of entering the intersection at the measured sites, separately. It suggests that the elderly drivers' CNS responses were different by the signal types.

Keywords: Intersection, Elderly Drivers, CNS Responses, EEG

## 1. 서 론

교통신호기는 복잡한 교차로의 교통상황에 맞춰 적절한 시간 간격으로 통행 우선권을 할당하기 위해 1868년 영국에서 처음으로 도입되었다. 그 후 다양한 교통신호 단계간의 변동을 규제할 필요가 대두되었고 이에 따라 상충되는 하나의 교통 흐름을 교차로에서 제거한 후 다른 흐름을 진행시키는 방법으로 황색신호를 사용하게 되었다. 황색신호는 1940년 Van Dazer가 교통신호기의 녹색 단계에서 적색 단계로 변하는 순간에 위험을 경고하는 중간 신호로서 황색신호를 권장하면서 처음으로 도입되었다.

이러한 황색신호에서의 의사결정은 황색신호가 점등 되는 순간 운전자가 정지할 것인지 아니면 통과할 것인지에 대해 순간적으로 판단하고 결정해야 하는 매우 어려운 의사결정이며, 운전환경에서 교차로의 황색신호는 신호의 변경을 미리 알려 운전자가 바뀔 신호에 적응적으로 대처를 하게 한다는 점에서 중요하다. 그러나 교차로 상황에서 황색신호의

교신저자: 민윤기[1], 민병찬[2]
주 소: [1]305-764 대전광역시 유성구 궁동 220번지, 전화: 042-821-6364, E-mail: ykmin@cnu.ac.kr
[2]305-719 대전광역시 유성구 덕명동 16-1번지, 전화: 042-821-1227, E-mail: bcmin@hanbat.ac.kr

인지는 운전자의 행동결정에 있어서 딜레마를 유발하기도 한다. 이러한 황색신호의 인지에 의해 발생하는 딜레마를 황색신호 딜레마라 하며, 황색신호가 점등된 후 안전하게 통과할 수 없거나 안전하게 정지할 수 없는 구간에서 발생하는 딜레마를 의미한다(Liu, Herman, & Gazis, 1996).

황색신호에 대한 도로교통법 시행규칙 제6조 2항을 보면 황색신호의 점등 시 '차마는 정지선이나 횡단보도가 있을 때에는 그 직전이나 교차로 직전에 정지하여야 하며, 이미 교차로에 진입하고 있는 경우에는 신속히 교차로 밖으로 진행하여야 한다.'라고 명시되어 있다. 그러나 교통법을 준수하는 것은 역동적인 운전 상황에서 매우 어려울 수 있다. 만약 교차로에 진입하기 얼마 남지 않은 상황에서 황색신호가 점등되는 경우 급제동을 하여 규정을 준수하게 된다면 후방의 차량과의 사고 발생률이 높아질 수 있다. 또한 황색신호가 점등된 직후 교차로를 통과하기 위하여 교차로에 진입하였을 경우 측면에서 신호를 보고 출발하는 차량과 충돌사고가 발생할 수 있다. 실제로 도로교통공단의 2005~2007년 교통통계정보를 보면 단일로에서는 매년 평균 220여건의 사고가 증가한 반면, 교차로에서는 매년 평균 5,200건의 사고가 증가한 것으로 보고되고 있으며, 교차로 사고 중 신호위반(10.2~12.2%)과 교차로운행방법위반(7.2~8.3%)이 2003~2008년 법규 위반 별 교통사고 발생건수 비율에서 상위를 차지하고 있다(도로교통공단, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009). 이와 더불어 현대는 고령운전자의 비율이 인구의 연령 증가와 함께 늘어나고 있는 추세이다. 호주의 경우, 인구 증가율을 살펴보면 고령 연령 집단이 다른 연령 집단에 비하여 급격하게 증가하고 있으며, 2030년에는 85세 이상의 인구가 4배 증가할 것으로 예측하였다. 미국의 경우, 현재 65세 이상의 고령 인구가 4천만에 이르는 것으로 나타났다. 우리나라의 경우, 현재 65세 이상의 고령 인구가 차지하는 비율이 2000년에 7.2%에 이르러 고령화 사회에 접어들었고, 2019년에 14.4%로 고령 사회에 진입할 것이며, 2026년에는 20%로 초고령 사회에 도달할 것으로 전망하고 있다. 또한 65세 이상인 고령운전자들의 운전면허 소지 비율을 살펴보면, 1999년에는 8.2%였지만 2020년에는 230만 명인 33.8%에 도달할 것으로 예측된다. 인구 고령화 추세와 더불어 고령운전자 사고로 인한 피해가 크게 증가하고 있다(도로교통공단, 2009). 교통 사망사고에서 제1당사자의 연령대를 살펴보면, 61세 이상 고령층의 사망사고 점유율이 4.3%로 가장 높았으며, 면허소지자 1만 명당 사망사고는 61세 이상이 4.2건으로 가장 많았다. 2009년의 통계자료를 보면 연령이 만 65세 이상인 고령 운전자의 사고는 10,155건이 발생하여 559명의 사망자와 15,035명의 부상자를 발생시켜 전년도에 비해 발생건수와 사망자수가 각각 21.9%와 9.2%가 증가하는 것으로 나타났다.

이에 따라 본 연구는 황색신호 딜레마에 대한 종합적인 이해를 위해 고령운전자를 대상으로 인간의 중추신경계의 반응을 검증고자 한다. 운전수행의 연장선상에서 황색신호와 그 신호에 의해 발생하는 딜레마는 인간의 생리적 변화를 초래할 수 있다. 예를 들어, 운전수행에서 외부적인 상황의 변화는 인간의 생리적 각성수준을 증가시키며(Clarion, et al., 2009), 인지적 부하의 증가 또한 생리적 변화를 초래한다(김보성, 강진규, 민병찬, 민윤기, 2009). 일반적으로 각성의 증가는 과제의 특성을 고려할 때 최적의 과제수행과 관련이 높다. 즉 각성과 수행의 관계는 역 U자형 모형이며, 지나치게 높은 각성은 과제의 수행에서 오류나 실수를 유발시킬 수 있다(이수정 등, 2009). 또한 운전수행에서 뇌전도(Electroencephalogram: EEG)를 사용해 중추신경계의 반응을 측정한 연구들은 운전수행시 내적인 부하와 외부의 다양한 자극에 의해 알파파는 감소하고 베타파는 증가한다는 결과를 일관적으로 보고하고 있다(Ray & Cole, 1985; Mark, 2000). 하지만 생리적 변화에 초점을 맞춘 황색신호 딜레마에 대한 연구는 거의 없으며, 이에 따라 본 연구에서는 뇌전도(EEG)를 이용하여 황색신호 딜레마 상황에서 나타나는 인간의 중추신경계의 반응을 검증하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상

운전경력이 5년 이상의 D시에 거주하는 남자 고령운전자 24명이 실험에 참여하였다. 실험참여자들의 평균 연령은 69.7세(SD±3.12세)였으며(표 1), 시뮬레이터의 영상을 통해 나타나는 자극을 지각하고 행동하는데 있어 문제가 없었다.

**표 1.** 실험참여자의 인구통계학적 특징(N=24)

| | 평균 ± 표준편차 | 최대값 | 최소값 |
|---|---|---|---|
| 연령 | 69.7±3.12세 | 75세 | 62세 |
| 운전경력 | 8.4±2.37년 | 13년 | 5년 |

### 2.2 실험자극

실험자극은 Gridspace Co.에서 제작한 GDS-300S의 시뮬레이터를 이용하여 교차로 상황을 주행하는 동영상을 제작하였다(그림 1). 실험자극은 80km의 등속도로 운전을 수행하는 장면으로 교차로에 진입하기 10초 전부터 교차로를 통과한 후 10초까지 모두 20초로 이루어져 있다. 제작된 동영상은 녹색신호 조건과 황색신호 조건에서는 모두 교차

로를 통과하고 적색신호에서는 교차로에서 멈추는 내용이며, 총 18장으로 각 교차로 상황의 조건(녹색, 적색, 황색신호)이 6번씩 포함되어 있다. 동영상 자극은 보다 실제적인 운전 상황을 유발하기 위하여 전면 시뮬레이터화면의 75cm 전방에서 실험참여자 간 역균형화하여 무선적으로 제시되었다.

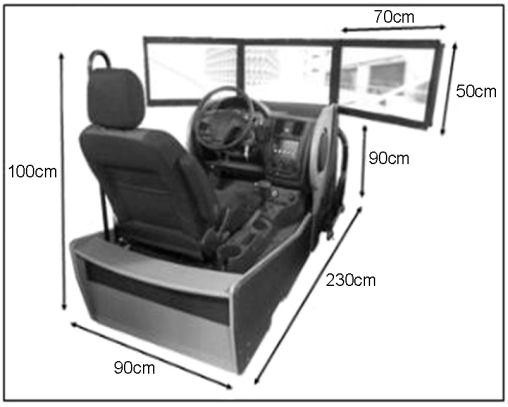


**그림 1.** 운전시뮬레이터

### 2.3 측정도구 및 실험절차

뇌전도는 두피에 부착된 전극을 이용하여 뇌에서 발생하는 전기적인 신호를 측정하는 방법으로 뇌의 활동성에 의해 전기적 신호의 성분이 달라지는데 일반적으로 스트레스가 높은 상황에서는 베타파성분이 높고 명상과 같은 이완된 상태에서는 알파파성분이 증가한다. 뇌전도는 Biopac Systems Inc.(USA)에서 제작한 Biopacamp.를 사용하였고 자료 입력 및 분석은 MP100WS의 AcqKnowledge (version 3.9.1)를 사용하였다. 뇌전도 데이터는 sampling 500Hz, band pass filter 0.1~80Hz로 수집되었으며 국제 10~20체계에 의해 정의된 Fz, Cz, Pz의 세 영역에서 단극으로 측정하였다(그림 2).

실험참여자는 간단한 설문을 작성한 후 시뮬레이터에 탑승을 하게 되며, 시뮬레이터에 탑승한 후 Fz, Cz, Pz의 세 영역에 전극을 부착하였다. 전극 부착이 끝나면 2분간의 안정 상태를 위한 휴식시간이 주어졌고 휴식시간 후에 자극이 제시되었다. 실험참여자는 총 20초 길이의 동영상 자극을 18번 시청하게 되며, 6번의 자극제시 후에 1분간의 휴식시간이 주어졌다.

### 2.4 분석 방법

뇌전도 데이터는 80km의 등속운전으로 녹색신호 조건과 황색신호 조건의 교차로를 통과하는 시간을 고려하여 통과

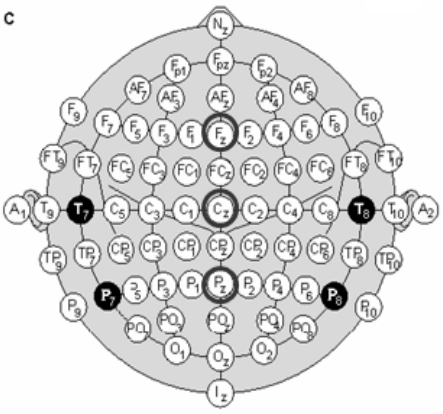


**그림 2.** 뇌전도 측정위치

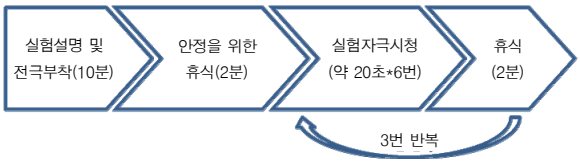


**그림 3.** 실험 절차

전후 5초를 분석하였다. 각 조건을 6번 반복해서 시청하게 되고 한 번의 시행에서 교차로에 진입해서 통과 전까지 10초 중 5초와 통과 후 10초 중 5초를 분석에 사용하였다. 즉, 실험참여자 당 각 조건의 교차로 상황 30초와 교차로 통과 후 30초가 분석에 사용되었으며(통과 전 5초*6번, 통과 후 5초*6번), 사용된 변수는 알파파와 베타파의 상대적인 크기를 이용하였으며(beta / alpha + beta), 통계분석은 SPSS 15.0을 사용하여 각 조건(녹색, 적색, 황색)과 통과 전후의 3 * 2 반복측정변량분석을 실시하였다.

## 3. 연구 결과

각 교차로 상황에 따른 고령운전자의 중추신경계 반응의 기술 통계치는 표 2와 같다. 각 교차로 상황에 따른 고령운전자의 중추신경계 반응을 검증하기 위해 교차로 상황과 교차로 통과 후에 따른 반복측정변량분석을 실시하였다(표 3~5).

그 결과, Fz 영역에서는 통과 전후의 주효과가 유의한 것으로 나타났다($F_{(1,23)}=14.89$, $p<.001$). 그리고 Cz 영역에서는 통과 전후의 주효과가 유의한 것으로 나타났으며($F_{(1,23)}=4.69$, $p<.05$), 교차로 조건 * 통과 전후의 상호작용효과도 유의한 것으로 나타났다($F_{(1,23)}=3.33$, $p<.05$).

**표 2.** 영역별 교차로와 통과 전후에 따른 고령운전자의 뇌전도 반응 기술 통계치 N(24)

| 영역 | 전후 | 교차로 조건 | 평균 | 표준편차 | 최대값 | 최소값 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fz | 통과 전 | 녹색신호 | 0.647 | 0.107 | 0.737 | 0.359 |
| | | 황색신호 | 0.664 | 0.062 | 0.727 | 0.523 |
| | | 적색신호 | 0.674 | 0.107 | 0.754 | 0.350 |
| | 통과 후 | 녹색신호 | 0.627 | 0.102 | 0.732 | 0.362 |
| | | 황색신호 | 0.620 | 0.090 | 0.703 | 0.442 |
| | | 적색신호 | 0.639 | 0.093 | 0.730 | 0.383 |
| Cz | 통과 전 | 녹색신호 | 0.628 | 0.107 | 0.745 | 0.343 |
| | | 황색신호 | 0.661 | 0.058 | 0.726 | 0.545 |
| | | 적색신호 | 0.641 | 0.096 | 0.712 | 0.344 |
| | 통과 후 | 녹색신호 | 0.617 | 0.099 | 0.730 | 0.358 |
| | | 황색신호 | 0.621 | 0.098 | 0.745 | 0.435 |
| | | 적색신호 | 0.634 | 0.099 | 0.733 | 0.363 |
| Pz | 통과 전 | 녹색신호 | 0.634 | 0.105 | 0.721 | 0.349 |
| | | 황색신호 | 0.664 | 0.049 | 0.726 | 0.550 |
| | | 적색신호 | 0.674 | 0.100 | 0.706 | 0.339 |
| | 통과 후 | 녹색신호 | 0.621 | 0.097 | 0.714 | 0.357 |
| | | 황색신호 | 0.619 | 0.090 | 0.742 | 0.430 |
| | | 적색신호 | 0.635 | 0.099 | 0.742 | 0.362 |

**표 3.** 교차로 조건과 통과 전후에 따른 EEG의 PSD 분석 결과(Fz)

| 변산원 | *SS* | *df* | *MS* | *F* | $n^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 교차로 조건 | .010 | 2 | .005 | .835 | .035 |
| 오차 | .274 | 46 | .006 | | |
| 통과 전후 | .041 | 1 | .041 | 14.89** | .393 |
| 오차 | .063 | 23 | .003 | | |
| 조건*전후 | .004 | 2 | .002 | 2.065 | .082 |
| 오차 | .040 | 46 | .001 | | |

*$p$<.05, **$p$<.01

**표 4.** 교차로 조건과 통과 전후에 따른 EEG의 PSD 분석 결과(Cz)

| 변산원 | *SS* | *df* | *MS* | *F* | $n^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 교차로 조건 | .009 | 2 | .005 | .845 | .035 |
| 오차 | .521 | 46 | .005 | | |
| 통과 전후 | .013 | 1 | .013 | 4.694* | .169 |
| 오차 | .066 | 23 | .003 | | |
| 조건*전후 | .007 | 2 | .004 | 3.332* | .127 |
| 오차 | .051 | 46 | .001 | | |

*$p$<.05, **$p$<.01

또한 Pz 영역에서도 통과시간의 주효과가 유의한 것으로 나타났으며($F_{(1,23)}$=5.23, $p$<.05), 교차로 조건*통과 전후의 상호작용효과도 유의한 것으로 나타났다($F_{(1,23)}$=6.51, $p$<.01).

**표 5.** 교차로 조건과 통과 전후에 따른 EEG의 PSD 분석 결과(Pz)

| 변산원 | *SS* | *df* | *MS* | *F* | $n^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 교차로 조건 | .005 | 2 | .003 | .511 | .022 |
| 오차 | .237 | 46 | .005 | | |
| 통과 전후 | .017 | 1 | .017 | 5.125* | .182 |
| 오차 | .077 | 23 | .003 | | |
| 조건*전후 | .009 | 2 | .005 | 6.507** | .221 |
| 오차 | .033 | 46 | .001 | | |

*$p$<.05, **$p$<.01

Cz 영역과 Pz 영역에서 나타난 교차로 조건 * 통과 전후의 상호작용효과를 검증하기 위해 교차로 조건을 나누어 통과 전후에 따른 단순 주효과 분석을 실시하였다. 그 결과, Cz 영역의 경우, 황색신호 조건에서만 교차로 통과 전보다 통과 후에 베타파의 상대적 크기가 유의하게 낮은 것으로 나타났으며($t_{(23)}$=2.44, $p$<.05), Pz 영역의 경우 황색신호

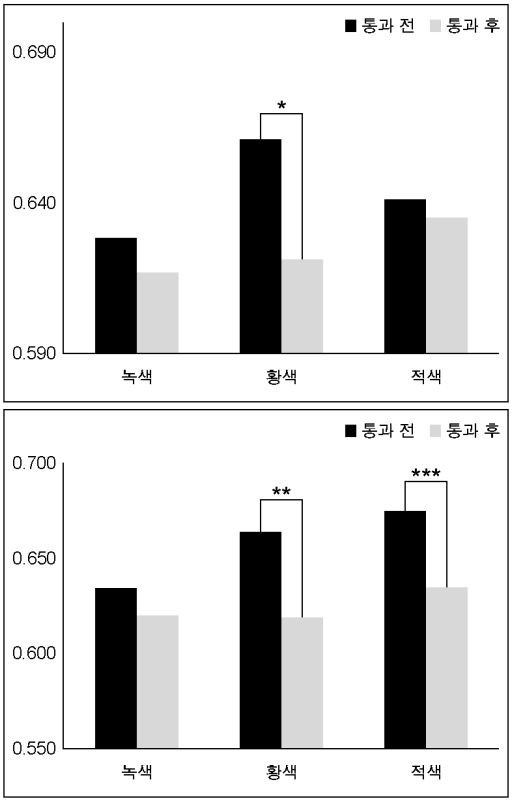


**그림 4.** 교차로 조건별 통과 전후에 따른 단순 주효과 분석 (상: Cz, 하: Pz, *$p$<.05, **$p$<.01, 단위 %)

조건($t_{(23)}$=3.04, $p$<.01)과 적색신호 조건($t_{(23)}$=4.16, $p$<.001)에서 교차로 통과 전보다 통과 후에 베타파의 상대적 크기가 유의하게 낮은 것으로 나타났다(그림 4).

## 4. 결론 및 검토

본 연구는 고령운전자를 대상으로 교차로 상황에서 발생할 수 있는 중추신경계의 변화를 검증하고자 하였다. 이를 위해 녹색, 황색, 적색의 교차로 상황에 대한 80km 등속주행동영상을 제시하고 뇌전도를 이용하여 중추신경계의 반응을 측정하였다. 그 결과 Fz, Cz, Pz 영역에서 모두 교차로 통과 전에 비해 통과 후에 상대적 베타파가 감소한 것으로 나타났다. 이는 교차로 상황을 통과한 후와 교차로 상황에 직면했을 때 뇌의 활성화가 서로 다름을 의미하며, 베타파가 보다 각성적인 상황과 관련성이 높고, 내적인 부하와 외부의 자극에 의해 증가한다는 점(Fernandez, et al., 1995)에서 교차로 상황에 직면했을 때 더 각성적인 뇌의 활성화를 반영하는 결과라 할 수 있다.

한편 Cz 영역과 Pz 영역에서는 교차로 조건에 따른 통과 전후의 차이가 다르게 나타났다. Cz 영역의 경우 황색신호 딜레마 조건에서만 통과 전후의 차이가 유의하게 나타났고, Pz 영역에서는 황색신호 딜레마 조건과 적색 조건에서 통과 전후의 차이가 유의하게 나타났다. 이러한 차이는 교차로의 신호 조건에 따라 뇌의 활성화가 다를 수 있다는 것을 의미한다. 이와 더불어 베타파가 인지적, 정서적 상황에 대한 처리에서 증가한다는 점(Ray & Cole, 1985; Mark, 2000)에서 고령운전자가 황색신호 딜레마에 직면했을 때 외부 상황에 대한 인지적인 부하가 증가하고 정서적인 변화를 경험할 수 있음을 시사한다. 또한 본 연구의 결과는 말초신경계의 지표들을 사용한 운전수행연구들과 유사한 결과로, 선행의 연구들은 운전수행에서 외부적인 상황의 변화가 인간의 생리적 각성수준을 증가시키며(Clarion, et. al., 2009), 특히 황색신호에서 교감신경계의 활성화를 유발한다고 보고하고 있다(이영창 등, 2010).

본 연구는 고령운전자를 대상으로 교차로의 각 조건에 따른 중추신경계 반응을 검증하였다는데 의의가 있다. 그러나 대상을 고령운전자로 한정하였다는 점과 중추신경계의 반응만을 측정하였다는 제한점을 가진다. 추후에는 연구대상을 확대하고 각 교차로 조건을 더 세분화하여 행동적, 생리적 반응을 모두 검증할 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 참고 문헌


김보성, 강진규, 민병찬, 민윤기. 운전 도로조건 복잡성에 따른 인지적 부하수준과 심박율의 변화. *Journal of The Korean Data Analysis Society*, 11(1), 241-251, 2009.

김중효. 도심부 신호 교차로 딜레마 구간상 운전자 행동심리 분석. *도로교통 안전관리공단 교수연구논문집*, 1, 2006.

도로 교통 공단. *2005년판 교통사고 통계*, 2005.

도로 교통 공단. *2006년판 교통사고 통계*, 2006.

도로 교통 공단. *2007년판 교통사고 통계*, 2007.

도로 교통 공단. *2008년판 교통사고 통계*, 2008.

도로 교통 공단. *2009년판 교통사고 통계*, 2009.

이영창, 김보성, 임동훈, 김현우, 지두환, 민병찬, 민윤기. 황색신호 딜레마 상황에서의 자율신경계 반응. *Journal of The Korean Data Analysis Society*, 12(1), 185-194, 2010.

이수정, 민윤기, 김보성, 최미현, 양재웅, 최진승, 전재훈, 탁계래, 민병찬, 정순철. 각성수준에 따른 3-back 과제 수행 능력의 차이. *감성과학*, 12(4), 373-380, 2009.

Clarion, A., Ramon, C., Petit, C., Dittmar, A., Bourgeay, J. P., Guillot, A., Gehin, C., McAdams, E. and Collet, C., An integrated device to evaluate a driver's functional state, *Behavior Research Methods*, 41(3), 882-888, 2009.

Femandez, T., Harmony, T., Rodrigue, M., Bermal, J., Silva, J. and Reyes, A., EEG activation patterns during the performance of tasks involving different components of mental calculation, *Electroencephalography and Clinicalneuriphy*siology, 94(3), 175-182, 1995.

Liu, C., Herman, R. and Gazis, D. C., A review of the yellow interval dilemma, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, l30, 333-348, 1996.

Mark, A. S., Change in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration, *International Journal of Psychophysiology*, 37, 155-162, 2000.

Ray, W. J. and Cole, H. W., EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive process, *Science*, 228, 750-752, 1985.


## 저자 소개


**이 영 창** kafka13@naver.com

충남대학교 심리학과 석사

현 재: 충남대학교 심리학과 박사과정

관심분야: 인지신경과학, 생체신호처리, 정서심리학, 인간공학

**김 보 성** exppsy2@cnu.ac.kr

충남대학교 심리학과 박사

현 재: 충남대학교 심리학과 시간강사

관심분야: 인지심리학, 인지공학, 공학심리학, 인간공학

**김 현 우** bighyul@naver.com
충남대학교 심리학과 학사
현 재: 충남대학교 심리학과 석사과정
관심분야: 인간공학, 인지공학

**임 동 훈** dhlim@cnu.ac.kr
충남대학교 심리학과 학사
현 재: 충남대학교 심리학과 석사과정
관심분야: 인지심리학, 공학심리학

**박 미 선** asong-4u@hanmail.net
현 재: 충남대학교 심리학과 학사과정
관심분야: 인지심리학

**민 병 찬** bcmin@hanbat.ac.kr
일본 국립전기통신대학 전기통신학연구과 박사
현 재: 한밭대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 인간공학, 복지공학, 감성공학, 생체신호측정

**민 윤 기** ykmin@cnu.ac.kr
미국 노스캐롤라이나 주립대학 심리학과 박사
현 재: 충남대학교 심리학과 교수
관심분야: 인지심리학, 인지공학, 감각 및 지각심리학, 인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 07월 16일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 08월 05일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 08월 13일