

Neuro-Driving: 뇌 신호 분석을 통한 운전 중 상황 인식 기술

김 정 우* · 이 성 환**

1. 서 론

현대 사회에서 자동차는 많은 사람들이 편리하게 이용할 수 있는 보편적인 이동수단 중 하나로써 애용되고 있다. 그러나 자동차는 상황에 따라 운전자나 보행자의 생명을 위협할 수 있는 위험한 흥기로 돌변할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 특히, 도로교통공단의 최근 통계에 따르면 3명 이상의 사망자나 20명 이상의 사상자가 발생하는 대형 교통사고의 72% 이상이 운전자 본인의 부주의, 스트레스, 피로 등의 신체 및 정신적 상태가 문제가 되는 인적요인에 의해 발생한다고 보고되었다[1]. 때문에 운전자 상태의 지속적인 모니터링을 통해 사고를 발생시킬 수 있는 근본적인 원인을 미연에 제거함으로써 교통사고의 발생을 방지하는 것이 중요하다. 이에 따라 운전자에게 안전과 편의를 제공해줄 수 있는 자동차관련 기술들에 대한 관심이 증대되고 있으며, 국내외 연구기관과 기업들의 주도하에 연구 및 개발되고 있다.

독일의 Mercedes-Benz사는 차량 범퍼의 센서

와 스테레오 카메라를 이용하여 운전자의 주차를 보조하거나 차선 이탈과 같은 상황을 방지할 수 있는 기술을 상용화하였다. 독일 BMW사의 경우 레이더 센서를 이용해 앞선 차량과의 안전거리를 감지하고 유지할 수 있는 기술을 자동차에 적용하였다. 구글은 자율주행 자동차 프로젝트를 통해 각종 센서와 GPS를 기반으로 운전자의 개입이 없어도 주변 상황을 스스로 판단하고 운전할 수 있는 자율주행 자동차, ‘구글 카’를 개발하고 2020년까지 상용화하는 것을 목표로 하고 있다. 구글은 이 기술의 개발을 통해 교통사고의 발생을 예방하고 교통체증을 줄일 수 있을 것이라고 기대하고 있다. 하지만 이러한 기술들은 외부환경 변화에 의해 센서에 영향이 있을 수 있으며, 운전자의 의지가 반영되지 않기 때문에 운전자가 의도하지 않은 동작을 수행함으로써 발생할 수 있는 문제에 취약하다는 한계점이 있다. 특히 ‘구글 카’의 경우 사고발생 시 책임소재를 파악하기 어렵다는 도덕적 문제로 인해 논란이 되고 있다. 또한 최근 미국 미시간 대학교에서 발표된 설문 에 따르면 전체 응답자 1,533명 가운데 과반수가 자율주행 자동차 기술 개발 자체에 대해서는 긍정적으로 평가한 반면에 실제 탑승여부에 대해서는 과반수 이상이 탑승하길 원치 않거나 탑승하더라도 운전이 집중하겠다고 답변했다[2].

※ 교신저자(Corresponding Author): 이성환, 주소: 서울특별시 성북구 안암로 145 고려대학교 정보통신대학 뇌공학과, 전화: 02)3290-3197 FAX: 02)3290-3583, E-mail: sw.lee@korea.ac.kr

* 고려대학교 정보통신대학 뇌공학과
(E-mail: jw_kim@korea.ac.kr)

운전자에게 안전과 편의를 제공해줄 수 있는 기술개발을 위한 또 다른 접근방법으로 뇌 신호 분석을 통해 직접적으로 사용자의 의지를 인식하거나 상태를 파악할 수 있는 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI, Brain-Computer Interface) 기반의 기술들을 활용할 수 있다. 본 논문에서는 BCI에 대한 간략한 소개와 함께 BCI 기반의 뇌 신호 분석을 통해 운전에 영향을 미칠 수 있는 운전자의 상태를 조기에 감지하거나 운전 중 발생한 위험 상황을 신속하게 인식할 수 있는 기술인 ‘Neuro-Driving’ 기술을 소개하고자 한다.

2. BCI와 뇌 신호 획득 방법의 종류

BCI는 사용자의 뇌와 컴퓨터 간의 직접적인 소통을 위한 인터페이스 장치로 정의할 수 있다. 일반적으로 패턴인식 혹은 기계학습 기법 기반의 뇌 신호의 패턴 분석을 통해 사용자의 의도를 파악하여 마우스나 키보드 등의 별도의 입력장치를 거치지 않고 컴퓨터로 직접 명령어를 전달할 수 있는 시스템으로 구성된다. 컴퓨터로 전달된 명령어는 컴퓨터 내에서 적합한 기능을 수행하거나 다른 외부장치의 동작을 위한 제어신호를 생성하기 위해 활용된다.

BCI를 위한 뇌 신호 측정방법은 크게 두 종류, 별도의 외과적 수술이 필요한 침습적(invasive) 방법과 수술이 필요 없는 비침습적(non-invasive) 방법으로 구분할 수 있다. 대표적인 뇌 신호 획득 방법은 아래에 소개되어 있다.

2.1 피질전도 (ECoG, Electrocorticography)

두개골을 부분적으로 절개하고 대뇌 피질에 직접 전극을 부착하여 피질에서 발생하는 전기적 신호를 직접 측정하는 기술로 침습적인 뇌 신호

측정방법 중 하나이다. 두개골 내에서 직접 신호를 측정하기 때문에 외부잡음에 강인하고 높은 시간 해상도로 안정적인 신호 획득이 가능한 장점이 있으나, 외과적 수술로 인한 감염의 위험성 등으로 인해 상용화 기술 개발에 활용하기에는 많은 제약사항이 있다.



그림 1. ECoG 기반의 로봇팔 제어[3]



그림 2. EEG 측정을 위한 BrainAmp(좌)와 actiCap(우)[4]

2.2 뇌전도 (EEG, Electroencephalography)

별도의 외과적 수술 없이 두피에 부착한 전극을 통해 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 발생하는 전기의 흐름을 측정하는 방법이다. 다른 신호 획득 방법에 비해 공간해상도는 낮으나 시간해상도가 높고, 측정방법 또한 다른 방법에 비해 비교적 간단하고 편리하다는 장점이 있어 BCI 기반의 응용 기술 개발에 널리 활용되고 있다. 하지만 낮은 공간해상도로 인해 뇌 심부에서 발생하는 신경생리학적 활동을 관측하는 것

이 어려우며, 사용자의 움직임이나 외부잡음에 민감하다는 문제점이 있다. 또한 다른 방법들에 비해 측정 방법이 비교적 간단하다고 하나, 측정을 위해 별도의 캡을 착용하고 젤을 주입해야하는 점이 상용화의 장애물로 여겨지고 있다.

2.3 기능적 자기공명영상 (fMRI, functional Magnetic Resonance Imaging)

신경세포의 활성화로 인한 혈중 산소 농도의 변화를 나타내는 BOLD(Blood Oxygenation Level Dependent) 신호를 측정하는 방법이다. 특정 뇌 영역의 활성화에 의해 산소가 소모되고 이에 따라 발생하는 혈중 산소 농도의 차이를 자기장 내의 산화/비산화 헤모글로빈의 변화에 의해 유발되는 자성 변화를 관측함으로써 측정할 수 있다. 공간해상도가 다른 방법에 비해 매우 뛰어나기 때문에 다양한 뇌 영역에서 발생하는 신경생리학적 활동을 관측할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 시간해상도가 수 초 단위로 매우 낮으며, 장비의 규모가 매우 크고 가격 또한 매우 비싸기 때문에 실용적인 BCI 연구에 활용하기에는 많은 어려움이 존재한다.



그림 4. fMRI를 이용한 뇌 활성화 영역 분석[5]

2.4 근적외선 분광법 (NIRS, Near Infrared Spectroscopy)

신경세포의 활성화에 의해 유발되는 혈중 산소 농도의 변화를 측정하는 점은 fMRI와 유사하지

만 자기장을 이용하는 fMRI와 달리 NIRS는 약 630~1300nm 파장을 갖는 근적외선을 활용한다는 점에서 큰 차이가 있다. 두개골에 근적외선을 투과하고 혈중 산화/비산화 헤모글로빈에 따라 근적외선이 감쇠되는 정도를 측정하여 뇌 영역의 활성화를 간접적으로 관측하는 방법이다. fMRI와 유사한 시간해상도를 갖고 있으며, 공간해상도는 EEG보다 약간 높은 수준이기 때문에 많은 제약사항이 존재한다. 하지만 장비의 가격이 fMRI보다 저렴하고 크기 또한 작기 때문에 장비 활용이 용이하다는 장점이 있다.

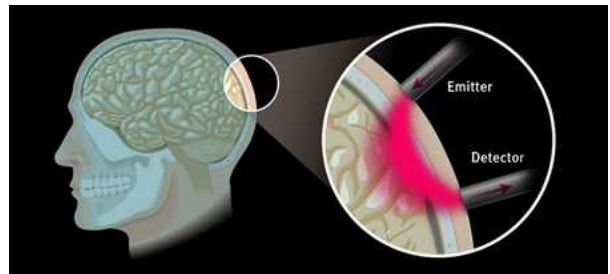


그림 3. 근적외선 신호원과 수신부를 이용한 NIRS 신호의 측정 방법[6]

3. 뇌 신호 분석 기반의 주행 중 상황 인식 기술

3.1 운전자의 상태 인식

졸음운전과 전방주시 태만은 인적요인으로 인해 발생하는 교통사고의 주요 원인이다. 이외에도 다양한 시청각자극이나 운전 상황에 의해 유발되는 운전자의 집중력 분산 상태나 스트레스에 노출된 상태 등의 여러 가지 요인이 존재한다. 국내외 다양한 연구기관에서는 교통사고의 발생 원인이 될 수 있는 운전자의 상태를 인식할 수 있는 기술에 대한 연구를 진행하고 있다. 이를 통해 운전자에게 미리 현재 상황에 대해 경고함으로써 교통사고가 발생할 수 있는 원인을 미연에 방지

할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

국내의 연세대학교와 부경대학교 연구실에서는 카메라 센서 기반의 눈 움직임 패턴 분석을 통해 운전자의 졸음 상태 감지와 피로도를 측정하는 방법에 대한 연구가 진행되었다[7, 8]. 또한 국외에서는 미국 필라델피아 템플대학교에서 눈과 머리의 움직임 분석을 통해 운전자의 졸음 상태나 운전 집중하지 않는 상태를 감지할 수 있는 기술을 연구하였다[9]. 하지만 카메라 센서에만 의지하는 이러한 방법들은 운전자의 선글라스 착용 등으로 인해 눈이 가려지거나 빛의 변화가 심할 경우 성능이 저하될 수 있고, 운전자의 심리 상태를 직접적으로 분석할 수 없다는 한계점이 있다.

운전자의 심리상태를 직접 반영할 수 있는 EEG 외에 안구전도(EOG, Electrooculography)와 심전도(ECG, Electrocardiography)를 측정하여 fuzzy wavelet-packet 기반의 신호 특징 추출 방법 기반의 분석을 통해 운전자의 졸음 상태를 감지할 수 있는 기술이 호주의 시드니 기술대학교 연구팀에 의해 제안되었다[10]. 미국의 시카고 대학은 fuzzy logic 기반의 EEG와 EOG 분석을 통해 운전자의 졸음 상태를 세 단계로 구분할 수 있는 방법에 대한 연구를 진행하였고[11], 대만의 국립교통대학교에서는 neural fuzzy system을 이용한 EEG 분석을 통해 운전자의 졸음 상태를 예측할 수 있는 방법을 제안하였다[12].

졸음 상태 외에도 뇌의 전두엽 부분에서 뇌 신호의 한 종류인 세타(θ)파의 증가가 운전자의 부주의함, 즉 집중력 분산과 관련이 있으며 부주의함의 척도로 활용될 수 있음이 대만 국립교통대학교의 연구팀에 의해 연구되었다[13]. 호주의 국방과학기술국에서 TVAR(Time Varying Auto-

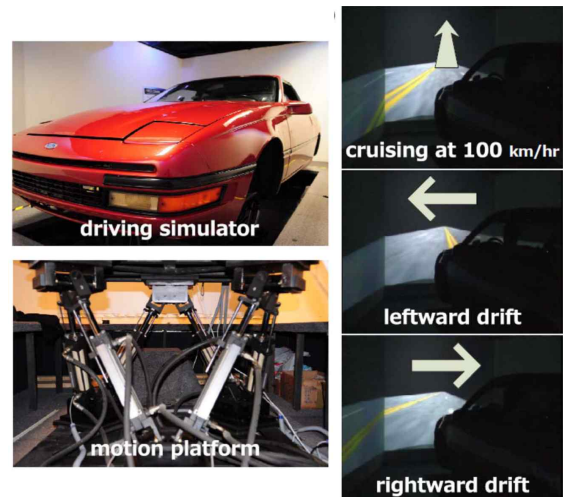


그림 5. 운전자의 졸음 상태 관련 EEG 측정을 위한 시뮬레이터 기반의 실험 환경[12]

regressive) 모델을 기반으로 뇌 신호의 ERD (Event-Related Desynchronization) / ERS (Event-Related Synchronization) 패턴 분석을 통해 청각자극으로 인해 유발되는 운전자의 집중력 분산을 감지할 수 있는 방법을 개발하였다[14]. 국내에서도 국민대학교 연구팀에 의해 뇌 신호의 알파(α)파와 베타(β)파에 대한 고속 푸리에 변환(FFT) 기반의 분석을 포함하여 심박수와 같은 생리 신호 분석을 기반으로 운전자가 스트레스에 노출되어 있는 상황을 감지할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되었다[15].



그림 6. 운전자가 스트레스와 관련된 생리 신호 측정을 위한 실험 환경 KMU DS-5[15]

이외에도 많은 연구들이 진행되고 있지만, 이와 관련된 대부분의 연구는 단일 상태에 대한 분석만을 수행하고 있다. 이를 보완하기 위해 고려대학교 뇌공학과에서는 운전자의 졸음, 집중력 분산 상태와 스트레스에 노출된 상태를 모두 유도할 수 있는 실험 환경을 구성하고 이를 기반으로 운전자의 세 가지 상태와 관련된 EEG를 측정하였다. 각각의 상태와 관련된 EEG에 FFT를 적용하여 주파수 성분을 추출하고, 선형분류기를 이용해 분석한 결과 높은 성능으로 운전자의 졸음, 집중력 분산 상태와 스트레스에 노출된 상태를 분류할 수 있었다[16]. 구축된 실험 환경을 기반으로 추가적인 실험과 분석을 통해 운전자가 졸음이나 집중력 분산 등으로 인해 운전 집중이 못할 때 공통적으로 발생하는 EEG 패턴의 검출 방법에 대한 연구를 진행할 수 있을 것이라 기대한다.

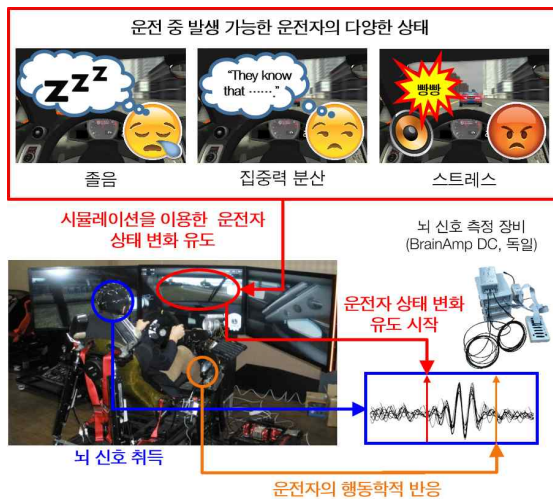


그림 7. 운전자의 다양한 상태 유도 및 EEG 측정이 가능한 시뮬레이션 기반의 실험 환경[16]

3.2 주행 중 발생한 위험 상황 인식

운전자의 상태 인식 기술은 교통사고를 발생시킬 수 있는 인적 요인을 최소화하여 위험한 상황

이 발생하는 것을 피하기 위한 방법으로 활용할 수 있다. 하지만 주행 중 발생할 수 있는 위험 상황은 이외에도 다양한 요인에 의해서 유발될 수 있기 때문에 이에 신속하게 대응하기 위한 방법 또한 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 운전자의 EEG 분석을 통해 위험 상황 발생 시 실제 행동보다 빠르게 위험 상황의 발생을 감지하고 이에 대응할 수 있는 방법에 대해 소개하고자 한다.

독일의 베를린 공대에서는 가상의 운전 환경에서 앞선 차량이 급정거하는 위험한 상황에서 이에 대응하는 운전자의 행동보다 빠르게 반응하여 발생하는 특징적인 EEG 패턴을 발견하고, 이를 인식할 수 있는 방법에 대한 연구를 진행하였다 [17]. 이후 실제 자동차 주행 환경에서 이와 유사한 위험 상황을 활용한 실험을 통해 실제 운전 환경으로의 해당 기술 적용 가능성을 확인하기 위한 후속 연구를 진행하고 있다.

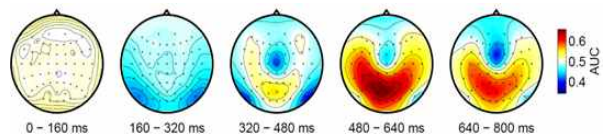


그림 8. 운전 중 발생한 위험 상황에 반응하여 유발되는 특징적인 뇌 신호 패턴[17]

그러나 실세계의 운전 환경에서는 앞선 차량이 급정거하는 상황 외에도 다양한 위험 상황이 발생할 수 있기 때문에 다른 위험 상황에 대한 추가적인 연구가 필요했다. 이를 위해 고려대학교 뇌공학과에서는 베를린 공대에서 구현하였던 가상의 운전 환경을 참고로 앞선 차량이 급정거하는 상황을 포함하여 옆 차선에 있던 차량이 예고 없이 갑자기 끼어드는 상황과 보행자가 갑자기 운전자의 차량 앞으로 달려오는 두 가지 상황을 추가적으로 구현하고, 세 가지 위험 상황에 대한 실

험을 진행하였다. 측정된 EEG를 분석한 결과 모든 상황에 대해 앞서 베를린 공대에서 발견했던 EEG 패턴과 유사한 패턴을 관측할 수 있었다. 또한, 기존에 사용되었던 ERP(Event-Related Potential) 특징 외에 RP(Readiness Potential)와 ERD 특징을 추가적으로 추출하고 융합하는 방법을 기반으로 더욱 높은 성능의 위험 상황 분류가 가능한 방법을 제안하였다[18]. 이후 실시간 실험을 통해 비록 가상의 운전 환경이지만 운전자의 실제 행동보다 빠르게 위험 상황을 감지하고 신속하게 차량의 제동을 수행할 수 있음을 확인하였다[19]. 이를 근거로 해당 기술에 대한 지속적인 보완 및 추가적인 연구 수행을 통해 실제 자동차에 적용 가능한 기술의 개발 가능성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

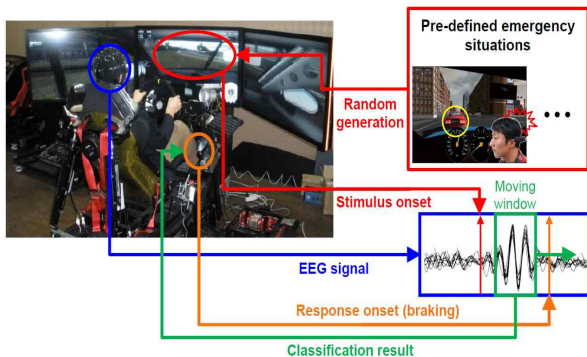


그림 9. 실시간 위험 상황 감지 및 긴급 차량 제어를 수행하기 위한 시스템 구성[19]

4. 결 론

본 논문에서는 운전자의 뇌 신호를 분석하는 EEG 기반의 BCI를 활용하여 도로 주행 시 사고를 야기할 수 있는 운전자의 상태나 사고 발생 직전의 위험한 상황을 감지할 수 있는 기술에 대해 소개하였다. 실제 자동차를 운전하는 운전자의 뇌 신호를 분석하여 운전자가 처해있는 상황

을 직접적으로 인식할 수 있는 방법이기 때문에 기존 외부 센서 기반 기술들의 한계점을 극복할 수 있는 방법 중 하나로 고려할 수 있다. 하지만 뇌 신호 측정 방법 자체의 문제로 인해 실제 운전 환경에 적용할 수 있는 실용화 기술 개발을 위해 반드시 해결해야 할 문제가 아직 남아있다.

EEG 기반의 BCI들은 일반적으로 고품질의 뇌 신호를 측정하기 위해 두피와 전극 사이에 젤을 주입하는 습식 전극을 활용한다. 이는 분명 ECoG나 fMRI, NIRS 등 다른 측정 방법 기반의 BCI에 비해 비교적 간단하지만 편하다고 할 수는 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 젤을 사용하지 않는 건식 전극이 연구 및 개발되고 있으나 아직 신호의 품질이 습식 전극에 비해 좋지 않다는 단점이 있기 때문에 새로운 전극 소재와 신호처리 기술 개발을 통해 신호의 품질을 향상시킬 수 있는 추가적인 연구가 반드시 필요하다.

뇌 신호는 매우 가변적이라는 특성을 지니고 있기 때문에 동일한 상황에 대해 전혀 다른 뇌 신호가 발생할 가능성이 높다. 이를 극복하기 위한 방법으로 가변적인 뇌 신호로부터 항상성을 유지할 수 있는 특징 추출 방법 개발을 생각해볼 수 있다. 혹은 뇌 신호의 가변성을 스스로 보정하여 학습할 수 있는 새로운 기계학습 기법의 개발을 통해 이 문제를 해결할 수 있을 것이다.

본 논문에서 소개된 연구결과들은 비록 많은 조건들이 철저히 제어된 실험 환경 하에서 얻어진 성과들이지만, 실용화 가능성을 엿보기에 충분했다. 추가적인 연구를 통해 언급되었던 문제들을 해결한다면 실생활에 해당 기술을 적용하여 운전자의 상태 혹은 운전자가 처해 있는 상황을 인식하고 이를 활용할 수 있는 날이 올 수 있을 것이라고 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 도로교통공단, 교통사고분석시스템(TAAS), 2012.
- [2] B. Schoettle and M. A. Sivak, "A Survey of Public Opinion About Autonomous and Self-Driving Vehicles in the U.S., the U. K., and Australia," Transportation Research Institute, University of Michigan, USA, 2014.
- [3] L. R. Hochberg, D. Bacher, B. Jarosiewicz, N. Y. Masse, J. D. Simeral, J. Vogel, S. Haddadin, J. Liu, S. S. Cash, P. Smagt, and J. P. Donoghue, "Reach and Grasp by People with Tetraplegia using a Neurally Controlled Robotic Arm," *Nature*, Vol. 485, No. 7398, 2012, pp. 372-375.
- [4] <http://www.brainproducts.com/productdetails.php?id=42>
- [5] <http://www.nimh.nih.gov/health/publications/neuroimaging-and-mental-illness-a-window-into-the-brain/index.shtml>
- [6] <http://www.iss.com/biomedical/instruments/imagent.html>
- [7] J.-I. Jo, S.-J. Lee, K.-R. Park, I.-J. Kim, and J.-H. Kim, "Detecting Driver Drowsiness using Feature-Level Fusion and User-Specific Classification," *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, No. 4, 2014, pp. 1139-1152.
- [8] B.-G. Lee and W.-Y. Chung, "Driver Alertness Monitoring using Fusion of Facial Features and Bio-Signals," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 7, 2012, pp. 2416-2422.
- [9] R. O. Mbouna, S.-G. Kong, and M.-G. Chun, "Visual Analysis of Eye State and Head Pose for Driver Alertness Monitoring," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 14, No. 3, 2013, pp. 1462-1469.
- [10] R. N. Khushaba, S. Kodagoda, S. Lal, and G. Dissanayake, "Driver Drowsiness Classification using Fuzzy Wavelet-Packet-Based Feature-Extraction Algorithm," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 58, No. 1, 2011, pp. 121-131.
- [11] A. Picot, S. Charbonnier, and A. Caplier, "On-Line Detection of Drowsiness using Brain and Visual Information," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, Vol. 42, No. 3, 2012, pp. 764-775.
- [12] F.-C. Lin, L.-W. Ko, C.-H. Chuang, T.-P. Su, and C.-T. Lin, "Generalized EEG-Based Drowsiness Prediction System by using a Self-Organizing Neural Fuzzy System," *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Regular Papers*, Vol. 59, No. 9, 2012, pp. 2044-2055.
- [13] C.-T. Lin, S.-A. Chen, T.-T. Chiu, H.-Z. Lin, and L.-W. Ko, "Spatial and Temporal EEG Dynamics of Dual-Task Driving Performance," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, Vol. 8, No. 1, 2011.
- [14] N. Dahal, D. Nandagopal, B. Cocks, R. Vijayalakshmi, N. Dasari, and P. Gaertner, "TVAR Modeling of EEG to Detect Audio Distraction during Simulated Driving," *Journal of Neural Engineering*, Vol. 11, No. 3, 2014, 036012.

- [15] 김용석, 박상수, 박성수, 심지성, 이만호, 이운성, “차량 시뮬레이터를 이용한 운전 중 스트레스에 대한 운전자 반응 연구,” 한국HCI학회 학술대회, 2010년 1월, pp. 277-297.
- [16] 김정우, 이성환, “시뮬레이션 운전 환경에서 뇌 신호 분석을 통한 운전자의 다양한 정신 상태 분류,” 한국정보과학회 제42회 정기총회 및 동계 학술발표회, 휘닉스파크, 2015년 12월.
- [17] S. Haufe, M. S. Treder, M. F. Gugler, M. Sagebaum, G. Curio, and B. Blankertz, “EEG Potentials Predict Upcoming Emergency Brakings during Simulated Driving,” Journal of Neural Engineering, Vol. 8, No. 5, 2011, 056001.
- [18] I.-H. Kim, J.-W. Kim, S. Haufe, and S.-W. Lee, “Detection of Braking Intention in Diverse Situations during Simulated Driving based on EEG Feature Combination,” Journal of Neural Engineering, Vol. 12, No. 1, 2015, 016001.
- [19] J.-W. Kim, I.-H. Kim, and S.-W. Lee, “Detection of Braking Intention during Simulated Driving based on EEG Analysis: Online Study,” Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Hong Kong, Oct. 9-12, 2015, pp. 887-891.



김 정 우

- 2012년 한성대학교, 컴퓨터공학과 학사
- 2012년~현재 고려대학교, 뇌공학과 석박사통합과정
- 관심분야 : BCI, Neuro-Driving, 기계학습 등



이 성 환

- 1984년 서울대학교, 계산통계학과 학사
- 1986년 한국과학기술원, 전산학과 석사
- 1989년 한국과학기술원, 전산학과 박사
- 1989년~1995년 충북대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2001년~2002년 MIT Brain and Cognitive Sciences학과 방문교수
- 1995년~현재 고려대학교 정보통신대학 뇌공학과 정교수
- 2010년~현재 IEEE Fellow, 한국과학기술한림원 정회원
- 2015년~현재 한국정보과학회 인공지능소사이어티 회장
- 관심분야 : 인공지능, 패턴인식, 뇌공학 등