

Driver's Status Recognition Using Multiple Wearable Sensors

Euiseob Shin[†] · Myong-Guk Kim^{††} · Changook Lee^{†††} · Hang-Bong Kang^{††††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new safety system composed of wearable devices, driver's seat belt, and integrating controllers. The wearable device and driver's seat belt capture driver's biological information, while the integrating controller analyzes captured signal to alarm the driver or directly control the car appropriately according to the status of the driver. Previous studies regarding driver's safety from driver's seat, steering wheel, or facial camera to capture driver's physiological signal and facial information had difficulties in gathering accurate and continuous signals because the sensors required the upright posture of the driver. Utilizing wearable sensors, however, our proposed system can obtain continuous and highly accurate signals compared to the previous researches. Our advanced wearable apparatus features a sensor that measures the heart rate, skin conductivity, and skin temperature and applies filters to eliminate the noise generated by the automobile. Moreover, the acceleration sensor and the gyro sensor in our wearable device enable the reduction of the measurement errors. Based on the collected bio-signals, the criteria for identifying the driver's condition were presented. The accredited certification body has verified that the devices has the accuracy of the level of medical care. The laboratory test and the real automobile test demonstrate that our proposed system is good for the measurement of the driver's condition.

Keywords : Wearable, Sensor, Physiological Signal, HRV, Respiration Rate, PPG

다중 웨어러블 센서를 활용한 운전자 상태 인식

신의섭[†] · 김명국^{††} · 이창욱^{†††} · 강행봉^{††††}

요약

본 논문에서는 자동차의 안전운전을 위해서 운전자의 생체정보를 수집하여 운전자의 상태에 따라 운전자에게 적절한 경보를 하거나, 직접 자동차를 제어할 수 있는 기반 시스템을 제시하였다. 기존의 운전자 얼굴정보를 활용하여 정보를 획득하거나, 운전자의 시트나 스티어링 휠에 센서를 장착하여 생체정보를 획득하는 방식이 부정확하거나 단순적인 정보만을 얻을 수 있는데 비하여, 본 논문에서 제시한 웨어러블 장치는 의료장비 수준의 정확도를 얻을 수 있었으며, 지속적으로 높은 정확도의 생체신호를 얻을 수 있었다. 개발된 웨어러블 장치에는 심박, 피부전도도, 피부온도를 측정할 수 있는 센서를 장착하였으며, 자동차에서 발생하는 각종 잡음을 제거할 수 있는 필터 기술을 적용하였고, 가속도센서와 자이로 센서를 장착하여 측정 오차를 제거하는 기술을 적용하였다. 수집된 생체신호를 바탕으로 운전자의 상태를 판별할 수 있는 기준을 제시하였고, 공인인증기관에 의뢰하여 의료수준 정도의 정확성이 있음을 검증하였다. 실험실 시험과 실차 시험을 통하여 개발된 장치가 운전자의 상태를 측정할 수 있는 장치로 활용될 수 있음을 검증하였다.

키워드 : 웨어러블, 센서, 생체신호, 심장박동, 호흡률, 피로도

1. 서론

자동차의 꾸준한 증가와 이에 따른 교통체증 등으로 인하여 자동차 운전자는 많은 스트레스를 받게 된다. 운전 스트

레스는 운전자 자신도 인지 못하는 난폭운전, 졸음운전 등 교통사고를 유발하고 있다. 또한 최근에는 운전 중 DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 시청이나 휴대전화 사용이 급증하여 이로 인한 전방주시 태만 등으로 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다[1]. 또한 운전자의 노령화는 인지 능력저하, 위험대처 능력 저하, 신체기능 저하 등으로 많은 사고를 유발시키는 원인이 되고 있다[3, 4]. 교통사고를 예방하기 위해 운전자의 상태를 파악하여 운전이 적합하지 않은 상태일 경우, 운전자에게 경보를 발생하거나, 자동차의 속도를 줄이는 등 직접 제어하여야 한다.

그동안 운전자의 상태를 측정할 수 있는 다양한 기술이

※ 이 논문은 국토교통부의 교통물류연구 프로그램의 지원으로 연구되었음 (과제명: 운전자 생체신호 인식센서 모듈 및 상태인식 알고리즘 개발 [14LTP-B08564-01]).

† 정 회 원 : 가톨릭대학교 디지털미디어학과 박사과정

†† 정 회 원 : 유정시스템(주) 책임연구원

††† 정 회 원 : 유정시스템(주) 연구소장

†††† 총신회원 : 가톨릭대학교 디지털미디어학부 교수

Manuscript Received : March 3, 2017

Accepted : March 17, 2017

* Corresponding Author : Hang-Bong Kang(hbkang@catholic.ac.kr)

개발되었다. 대학 등의 연구팀은 주로 자동차에 쉽게 장착할 수 있는 카메라를 활용하여 운전자의 시야와 눈 깜박임 상태를 측정하였고[2, 3, 5, 6], 자동차의 구조에 직접 접근할 수 있는 자동차 제조사는 정확도를 높이기 위하여 운전자의 몸에 직접 접촉하는 상태에서 운전자의 생체신호를 얻을 수 있는 자동차의 스티어링 휠이나 운전자의 시트에 센서를 장착하는 방식으로 개발하였다[7-11].

카메라를 활용하여 운전자의 시야 혹은 운전자의 얼굴을 촬영하여 생체 신호를 얻는 방법은 카메라의 성능 향상과 이미지 프로세싱 기술의 향상으로 인하여 활성화 되었으나 운전자 마다 서로 다른 운전 특성과 개인차로 인하여 정확도가 많이 떨어진다. 스티어링 휠이나 운전자의 시트에 심박센서를 장착하여 생체신호를 얻는 방식은 카메라를 활용하는 방식보다는 정확한 생체신호를 얻을 수 있었으나 운전자가 항상 바른 자세로 운전하지 않기 때문에 고른 생체신호를 얻기에는 힘든 상황이다.

최근에는 센서기술의 발전으로 경박단소화된 장치의 개발이 가능해짐에 따라 웨어러블(wearable) 장치의 활용이 많아졌다[13]. 웨어러블 장치를 활용한 생체 인식 장치는 운전자의 몸에 부착하는 장치에 비해 운전자의 행동을 제약하지 않고 운전자에게 거부감을 주지 않는다. 또 스티어링 휠이나 운전자 시트가 운전자의 자세에 따라 생체정보를 일정하게 얻기 힘든 반면, 웨어러블 장치는 운전자의 몸에 밀착되어 일정하게 자료를 획득할 수 있다. 다양한 용도의 웨어러블 장치가 개발되고 있으나, 최근의 웨어러블 장치는 주로 운동량의 측정 등에 초점을 맞춰 개발되어서 운전자의 생체신호를 수집하여 운전자에게 경보를 주거나 자동차를 직접 제어하는 용도에는 부적합하다. 따라서 운전자의 생체신호 수집에 적합한 웨어러블 장치와 수집된 생체신호를 적절히 처리할 수 있는 컨트롤러의 개발이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 운전자의 상태를 측정하기 위한 다양한 방법을 검토하였고, 각 방법에 대한 문제점을 파악하였다. 각 방법의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 운전자의 생체신호 수집이 가능한 웨어러블 장치를 고안하여 제시하였고, 이 장치를 기존의 의학용 생체신호 수집 장비와 비교 분석하여 활용도가 높음을 보였다. 이 장치를 활용하여 운전자의 생체신호를 지속적으로 수집하였고, 운전자의 생체신호 변화 부분을 추적하여 변화된 부분이 졸음상태임을 판단할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 운전자의 획득 가능한 생체신호에 대해 설명한다. 또 자동차 개발사에서 제시한 운전자의 생체신호 획득 방법에 대해 소개하고 이에 대한 문제점을 분석한다. 3장에서는 자동차 개발사에서 개발한 생체신호 획득 장치의 단점을 개선한 웨어러블 장치와 수집된 정보를 분석 처리할 수 있는 통합운전자지원시스템을 제안한다. 4장에서는 제안한 장치를 기존의 의학용 생체신호 장비와 비교하여 제안한 장치의 성능을 평가하고 실차 검증을 하였다. 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 생체신호 측정

사람에게서 측정할 수 있는 생체신호는 매우 다양하나, 통상적인 의료기구로 쉽게 측정할 수 있는 신호는 체온(body temperature), 심박수(Heart Rate), 맥박(pulse), 혈압(blood pressure) 그리고 피부전도도(EDA: Electrodermal Activity, skin conductance, GSR: Galvanic Skin Response) 등이 있다. 운전자의 생체신호 변화를 직접적으로 측정하는 가장 효과적인 방법은 뇌파(EEG: Electro-encephalography)와 심박변이도(HRV: Heart Rate Variability)의 측정으로 알려져 있다[3, 4]. 그러나 뇌파와 혈압의 경우, 실험 환경 조성이 어렵고, 실제 자동차가 운행 중인 도로 상에서 획득이 어렵다는 단점이 있다. 생체신호 중 심박수와 심박변이도는 개인의 모든 행동에 따른 변화를 보인다. 심박수는 운동을 할 때나 소음이 심할 때 등 빨라지며, 낮은 심박수는 평온한 상태를 나타낸다. 항공분야와 자동차 운전환경 등 많은 분야에서 작업인지능력과 피로도 연구 등에 이용되고 있다[2, 6]. 심박변이도는 시간에 따른 심박의 주기적인 변화를 나타낸다. 이는 내·외적인 환경 요인에 대한 자율신경계의 항상성 조절 메커니즘을 평가할 수 있는 수단이다. 또, 사람은 수면상태일 때 보다 각성상태일 때 호흡의 크기가 크고 호흡 주파수가 빨라지므로 호흡정보는 운전자의 상태를 감지할 수 있는 중요한 요소이다 [5]. 피부전도도는 땀의 배출 등에 의한 피부 전기저항의 변화와 전위의 변화를 측정하는 것으로 운전자의 스트레스 정도를 쉽게 측정할 수 있는 신호이다[6].

2.2 운전자 생체신호 수집

운전자에게서 생체신호를 수집하는 방법은 주로 카메라를 활용하여 운전자의 얼굴 부위를 촬영하는 방법과 생체신호를 획득할 수 있는 다양한 센서를 운전자의 몸에 부착하여 생체신호를 얻는 방법이다. 카메라를 이용하여 운전자의 얼굴 부위를 촬영하는 방법은 주로 눈동자의 주시 방향과 눈꺼풀의 깜박임 속도, 혈색, 얼굴의 방향 등을 측정하여 운전자의 상태를 파악하는 방법으로 운전자의 전방주시 정도를 파악하여 안전운전에 도움이 될 수 있도록 경보를 주는데 주로 활용한다[18]. 그러나 이 방식은 운전자 마다 특성이 서로 다르고 운전자의 시야의 변동에 둔감해서 정확도가 많이 떨어진다.

운전자의 몸에 센서를 부착하여 생체정보를 수집하는 방법은 운전자의 상태를 비교적 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있으나, 몸에 직접 부착하는 센서는 운전자의 행동에 제약을 줄 수 있고, 운전자에게 거부감을 줄 수 있기 때문에 제약을 주지 않고 생체정보를 수집하는 다양한 방법이 제시되고 있다.

벤츠에서 제안한 톱핏트럭(TopFitTruck) 프로젝트는 운전자의 능동안락(Active Comfort)을 추구하는 연구과제이다

[7]. 운전자의 쾌적성 향상은 주행 안전성의 향상으로 받아들여진다. 주행 안정성 향상을 위한 연구개발 활동에 스포츠과학, 수면연구, 음악학, 인체생물학, 생리학, 교통과학, 세포생리학 등 다양한 분야의 전문가들이 참여하고 있다. 졸음운전은 교통사고를 유발하는 가장 큰 요인의 하나로 파악하고 충분한 수면을 취하지 못한 운전자가 더욱 난폭한 운전을 한다는 것을 증명하였다. 운전자의 맥박을 측정하여 맥박이 빠를수록 운전자의 심리적 압박감이 심하고, 심각한 상황에서 위험 가능성이 더욱 높다는 것을 파악하였다. 이것을 바탕으로 톱핏트릭에 운전자의 생리학적 안전과 운전자의 쾌적성 향상을 위한 다양한 장치를 추가했다. 예를 들어 신체 온도를 높이면서 대체적으로 에너지 소모를 덜하도록 하는 에어컨디셔닝 시스템, 심리적 안정감을 추구하는 오디오 자동선곡, 긴장을 풀어주는 마사지 시트와 특수 향기 등의 다양한 기능을 추가하였다.

도요다의 웰니스(wellness) 프로젝트 중에는 Fig. 1(A)의 모양과 같이 스티어링 휠에 심박측정(ECG: Electrocardiogram)센서를 삽입한 프로토타입이 있다[8]. 이 휠은 운전자의 심박과 관련된 정보를 수집하여 이상을 감지하면 운전자에게 휴식이나 의료조치의 필요성을 알려 운전자의 심장마비나 블랙아웃(blackout)에 대비하도록 한다. 또 그 이상의 위험 상태에 이르면 자동으로 감속하고 정차하는 기능을 수행하도록 설계되어 있다[8].

BMW는 뮌헨기술대학(TUM) 연구팀과 함께 스티어링 휠에 심박측정센서를 통합해 운전자의 건강 상태를 측정할 수 있는 시스템을 개발했다[9]. 연구진은 스티어링 휠의 센서를 통해 심박, 피부전도도, 혈액 내 산소포화도와 같은 생체신호를 측정한다. 연구진은 측정된 자료를 처리하고 이를 자동차의 컨트롤러와 연동하는 장치도 함께 개발했다. 이는 자료의 효용을 확장시켜 운전자 건강 상태에 대해 높은 신뢰성을 지니는 시스템의 개발을 위해 혈압 모니터와 같은 추가적 외부장치와의 무선 연결을 가능토록 했다. 프로젝트의 목적은 운전자의 상태를 측정하여 운전자의 상태가 좋지 않을 때 자동차가 이를 감지하여 적절한 조치를 조기에 취할 수 있도록 하는 것이다.

Ford에서는 Fig. 1(B)에서 보인 것과 같은 6개의 심박측

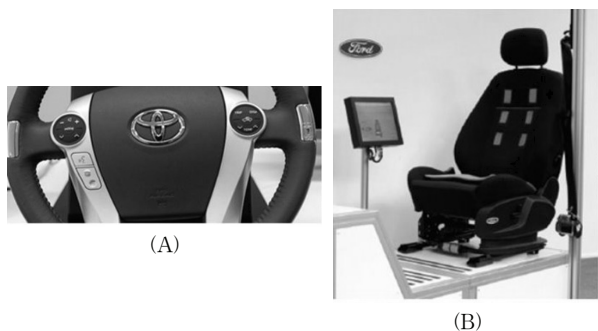


Fig. 1. (A) Toyota Steering Wheel with ECG Sensor
(B) Ford Driver's Seat with Capacitive Electrodes

정센서가 장착된 운전자 시트를 선보였다[10]. 6개의 센서는 1 리드(lead) ECG와 유사한 신호를 나타낸다. 단거리 비접촉 전기 활동을 감지하는 전기용량성 전극(capacitive electrodes)으로 이뤄진 시트 내장 센서는 독일의 아헨대학이 개발했다. 이 센서는 얇은 천을 통과해 운전자의 ECG를 검출한다. 천이 두꺼울 경우 정확한 측정이 어렵지만 두께 2.5mm의 천에서도 명확한 QRS파(QRS-complex)를 식별할 수 있다. 다양한 필터 기술이 신체 움직임에 의해 야기되는 문제를 줄여준다. 포드는 운전자 95%에 대해 운전시간의 98% 동안 정확한 신호를 감지해 낸다고 밝혔다. 그러나 Ford는 규모가 큰 장비를 줄이고 운전자에게 간편하게 장착할 수 있는 웨어러블 추세에 맞춰 이 프로젝트를 중단했다[11].

영국의 Plessey는 피부접촉 없이 옷을 통해 생체신호를 감지할 수 있는 EPIC (Electric Potential Integrated Circuit)를 선보였다[12]. 진폭이득을 낮추고 입력 임피던스를 높여 운전자의 시트에 장착할 수 있도록 설계됐다.

3. 생체신호 수집 장치 및 분석 장치의 개발

3.1 신체변화 측정을 위한 생체신호 선정

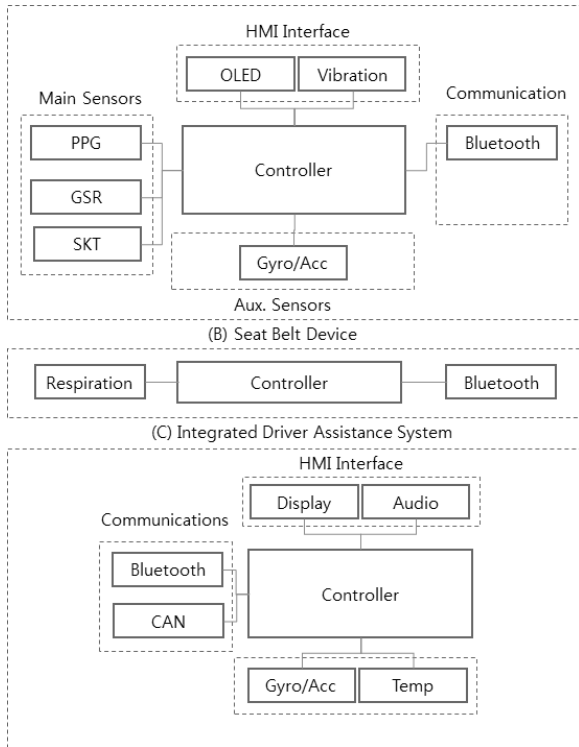
사람의 신체 변화를 가장 빨리 반영하는 생체신호는 심박수이고 이에 기반한 심박변이도의 측정이 가장 중요하다. 호흡수의 변화와 피부전도도의 변화는 긴장 상태를 알 수 있는 척도이다. 가장 효과적인 생체 신호는 뇌파이나 잠음이 많고 실험환경을 구축하기 어려운 자동차에서는 측정하기 어려운 신호이다. 혈압 측정도 바람직하나 꾸준한 측정이 어렵다는 단점이 있다. 꾸준히 측정이 가능한 신호 중에는 체온이 있으나 외부 환경의 영향을 쉽게 받고, 신체 변화를 쉽게 측정하기에는 어렵다.

본 논문에서는 웨어러블 장치로 구현이 가능하고 생체신호 획득에 효과적인 심박수, 호흡수, 피부전도도 그리고 피부온도를 측정하였다. 또한 심박수를 바탕으로 심박변이도를 추출하여 활용하였다. 피부온도는 쉽게 측정 가능하나, 주변 환경과 체질에 영향을 많이 받기 때문에 극적인 변화를 이끌어내는 생체신호로 활용은 미흡하였다.

3.2 생체정보 수집 장치 및 통합운전자지원시스템

측정된 생체신호를 수집/정제하여 운전자의 상태를 판단하고, 운전자의 상태에 따라 운전자에게 경보를 발생하거나, 자동차의 내부 장치와 통신할 수 있는 통합운전자지원시스템이라 명명한 컨트롤러를 개발하였다.

운전자의 생체정보를 수집하기 위해 개발된 시스템은 Fig. 2, Fig. 3과 같다. Fig. 2(A)와 Fig. 3(A)는 대부분의 생체정보를 수집하는 웨어러블 장치의 블록 다이어그램과 구현된 웨어러블 장치이다. Fig. 2(B)와 Fig. 3(B)는 호흡수를 수집하기 위해 개발된 안전벨트에 삽입된 장치의 블록다이어그램과 구현된 장치이다. Fig. 2(C)와 Fig. 3(C)는 수집된 운전자의 생체정보를 종합 판단하는 통합운전자지원시스템이다.



OLED : organic light emitting diode
 PPG : Photoplethysmograph
 GSR : galvanic skin response
 SKT : Skin Temperature
 CAN : controller area network

Fig. 2. Block Diagram for Driver Physiological Signal Collecting System

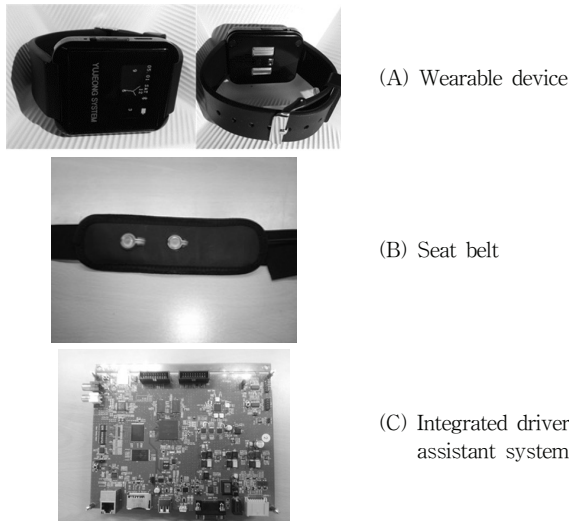


Fig. 3. Prototypes for Collecting Driver Physiological Signal

Fig. 4는 통합운전자지원시스템 내부의 신호 흐름이다. Fig. 4(A)는 웨어러블 장치와 안전벨트에서 발생된 센서 자료를 수집하여 적정한 자료로 처리한다. Fig. 4(B)는 개인을 식별하고 개인별 특징 자료를 추출하고 저장한다. Fig. 4(C)

는 센서 신호 변화에 대한 특징 추출하고 Fig. 4(D)는 개인의 특징 정보와 변화된 신호를 바탕으로 운전자의 상태를 판단한다. Fig. 4(E)는 외부 환경변화를 검출하여 운전자의 상태를 판단하는데 오류가 나지 않도록 도움을 준다. Fig. 4(F)는 운전자의 상태에 따라 자동차 내부와 통신하는 모듈이다.

웨어러블 장치에는 ECG를 측정하기 위해 PPG (Photoplethysmography) 센서를 장착하였다. 피부전도도를 측정하기 위해 GSR 센서를 장착하고 체온을 측정하기 위해 온도 센서를 장착하여 SKT (Skin Temperature)센서로 활용하였다. 호흡률의 측정은 PPG센서를 활용할 수 있으나, 정확한 측정을 위하여 운전자의 안전벨트에 압력(FSR: Force Sensitive Resister)센서 2개를 병렬로 장착하여 호흡센서로 활용하였다. 각 속도/가속도(Gyro/Acc)센서는 움직임이 큰 자동차에서 발생하는 큰 신호에 대한 오류를 감소시키기 위한 보조 센서로 활용한다. 각 장치는 Bluetooth 프로토콜을 사용하여 통합운전자지원시스템과 통신한다.

통합운전자지원시스템은 수집된 생체정보와 보조 정보를 활용하여 운전자의 상태를 파악하여 운전자에게 경보를 보내거나, 자동차를 강제로 조정하는 신호를 자동차의 각 장치로 보내게 된다.

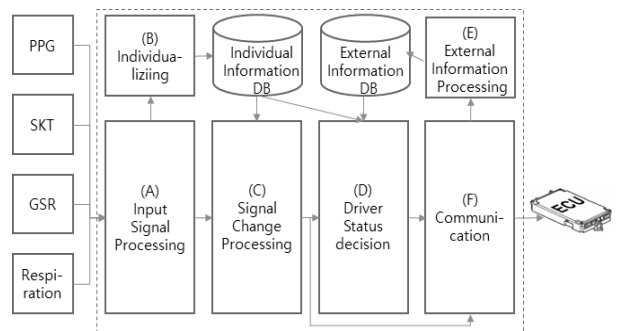


Fig. 4. Signal Flow in the Integrated Driver Assistance System

3.3 생체정보 수집 장치 차량 동잡음(artefact) 제거

움직임이 많고, 자체 진동과 주변의 소음이 많은 자동차 환경에서 운전자의 생체정보를 깨끗한 상태로 수집하기는 매우 어려운 일이다. 운전자의 생체정보 획득을 위하여 다음과 같은 잡음 제거 기술을 활용하였다.

1) BandPass 필터 적용

동잡음이 큰 경우 필터로 보정하여도 기존 누적 자료를 왜곡시킬 수 있다. 개발된 장치는 IMU (Inertial Measurement Unit) 센서를 기반으로 양호한 신호만을 취하고 있다. 잡음을 적절히 제거하며 왜곡이 적은 Butterworth 필터를 적용하였다. Butterworth 필터는 0.5~2Hz 밴드패스필터(band pass filter)로 설정하였다. Equation (1)은 Butterworth 필터의 일반식이다.

$$|H_a(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\Omega}{\Omega_c}\right)^{2N}} \quad (1)$$

2) 가속도센서 기반 신호 선택

일반적으로 사람의 운동량 보다는 차량의 가속 또는 진동이 크다, 차량의 진동 및 가속도를 Gyro/Acc 센서를 활용하여 감지하였다. 사람의 움직임보다 큰 신호가 감지되었을 때 생체 센서 값의 신뢰도를 낮추어 적용하였다.

3) 저장된 신호기반 유사 주기성 판단

3주기 정도의 Raw data를 저장하여 이전 값의 기울기와 진폭을 크게 벗어난 값은 제거하여 수집된 생체신호의 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다.

4) RRI(R-R interval) 10회 평균의 ±35% 외 제거

ECG에서 측정된 값의 첨탑(peak) 간 시간 간격을 RRI (R-R interval)라고 한다. 이전 첨탑 간격 10회 평균의 ±35% 이상 벗어난 값은 잡음으로 인식하여 적용하지 않도록 하였다.

5) 호흡센서 2채널 다중 측정

1차 프로토타입 개발 시 선(line)형태의 FSR 센서의 한 부분이 세계 눌러서 오류를 발생하는 문제나 박리 등의 내구성 문제를 해결하기 위해 2차 프로토타입 개발에서는 Fig. 3(B)와 같이 점(spot) 형태의 FSR 센서로 변경하였으며, FSR 센서를 2개 장착하여 측정되는 값을 동시에 처리하여 신호가 강한 센서의 신호를 선택적으로 사용하여 측정되는 신호의 신뢰도를 향상하였다. Fig. 5는 Fig. 3(B)에서 보인 두 개의 압력센서에서 발생한 신호를 나타낸 그래프 예이다. 두 개의 신호 중 Resp "Sensor A"에서 발생한 신호가 더 크므로 A를 활용한다.

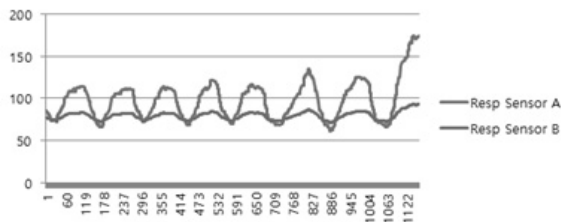


Fig. 5. Signals from Respiration Sensors

6) PPG signal DC offset correction 및 calibration 기능 구현으로 센서 정밀도 확보

생체인식장치 초기 부팅 시, PPG 센서의 LED off 상태에서 주변광을 파악하여 초기값을 설정하였으며, LED 전원 및 이득을 조정하여 DC 성분이 최소화 하도록 조정하였다.

7) PPG 주변광 제거를 고려한 기구 제작

PPG 센서의 경우 LED 빛을 피부에 주사하여 반사되는 빛을 측정하는 것이므로 Fig. 6과 같이 외부의 빛에 의한 영향이 크다. 이를 차단하기 위하여 PPG 센서 수/발광부와 피부사이에 유리를 장착하여 웨어러블 장치가 피부에 밀착하도록 설계하여 주변광의 영향을 적게 받도록 하였다.

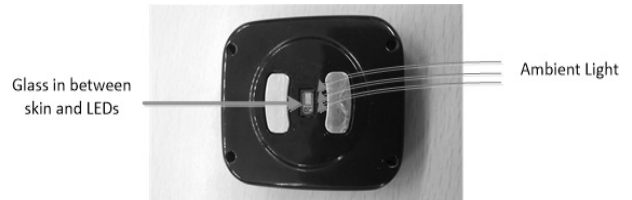


Fig. 6. Manufacture of Instruments Considering Ambient Light

3.4 상용 의료 장비와 비교

ICT 제품에 대한 인증을 담당하는 “한국정보통신기술협회(TTA: Telecommunications Technology Association))에 시험을 의뢰하여 개발된 장치에서 측정된 생체신호의 정확성을 검토하였다[17]. TTA에서는 상용 의료용 제품을 사용하여 20명의 20~60대의 남녀 일반인을 대상으로 비교 검토하는 실험을 하였다. 이 실험은 실험실에서 이루어졌고 상

Table 1. Comparison List for Sensors of Wearable Device with Commercial Medical Devices

	Items of Test	Target range	remarks
1	measurement of signal	50 ~ 200 bpm	check the number of heart rate displayed at the device
2	recognition rate	90%	must up to the target range

(A) Target range of PPG sensor

	Items of Test	Target range	remarks
1	measurement of signal	5 ~ 40 μ -siemens (25K Ω ~ 200K Ω)	check the number of GSR displayed at the device
2	recognition rate	90%	must up to the target range

(B) Target range of GSR sensor

	Items of Test	Target range	remarks
1	measurement of signal	4 ~ 30 breaths/min	check the number of respiration rate displayed at the device
2	recognition rate	90%	must up to the target range

(C) Target range of respiration sensor

용 의료제품과의 오차 범위가 10% 이내일 경우 합격으로 하였다. Table 1은 TTA에 의뢰한 시험평가 항목이다. 상용 의료장비 개발 회사에서 적용한 시험범위를 준용하여 시험하였다. Table 2는 시험평가에 사용한 상용의료장비 목록이다. 시험결과 상용의료장비와 PPG 센서는 94.6%, GSR 센서는 96.3% 그리고 호흡센서는 98.4% 일치하여 운전자의 생체신호를 측정하는데 무리가 없음을 보였다.

Table 2. Target Commercial Medical Devices

Target	Commercial medical device	Manufacture
PPG	Ubpulse 360	Laxtha
GSR	MAXREFDES73#	MAXIM INTEGRATED
respiration	NeuLog WIFI-201	NEULOG

4. 운전자 피로도 측정

4.1 피로도 측정을 위한 심박동 정보

1996년 유럽 심장 학회와 북미 심조율 전기 생리학회는 HRV 신호의 분석방법과 표준에 관한 가이드 라인을 제시하였으며, 현재 심박동 분석과 관련된 의료기기의 대부분은 이 표준을 따르고 있고[15], 1996년 미국 Heartmath Research Center에서 만든 자율신경 평가 및 해석을 위한 가이드 라인을 근거로 LF (Low Frequency, 0.04~0.15 Hz), HF (High Frequency, 0.04~0.4 Hz), LF/HF, mean BPM (Beat Per Minute), SDNN (Standard Deviation of N-N intervals), RMSSD (Root Mean Square of Standard Deviation) 등 각 항목의 연령대별 표준을 따르고 있다[16]. Table 3은 각 연령대 별 심박동 관련 일부 발췌한 표이다[15].

국내에서 운전자는 대부분 20대에서 60대까지이므로 이 연령대의 값을 활용하였다. 피로도 측정에 활용한 값은 SDNN이고 20대에서 60대까지의 운전자는 고른 분포라고 가정하였다.

4.2 운전 시뮬레이터 활용 생체 정보 수집 및 분석

웨어블 장치에서 수집된 PPG 신호를 기반으로 HRV 신호를 추적하였고[14], 안전벨트에서 수집된 호흡률과 HRV를 기반으로 운전자의 피로도를 측정하였다.

운전자의 생체정보 수집을 위한 운전 시뮬레이터는 버스와 유사한 Euro truck을 사용하고 Thrustmaster 사의 휠과 페달을 사용하여 실제 주행환경과 유사한 환경에서 실험하였다. 차량 시뮬레이터에 차량 전방 및 실험자의 영상 촬영이 가능하도록 카메라를 설치하였고, 컴퓨터와 연결된 버튼을 설치하여 운전자가 졸음을 인지하였을 경우, 버튼을 누르고 자동으로 시간을 기록할 수 있도록 하였다.

단조로운 구간 운행을 위해 시뮬레이터의 도로 구간을 고속도로 60Km/h 정속운행, 주변 차량은 제거 상태로 설정하였다. 실험자는 운전이 미숙하지 않은 자로 선정하였으며, 당일 음주, 흡연, 커피 등 졸음에 영향을 줄 수 있는 요인을 제거하였다. 또 수면부족 현상이 발생하도록 수면시간을 4시간 이하로 제한하고 2시간 이상 운전하게 하였다.

촬영된 영상에서 1분 동안 1.5초 이상 눈 깜박임 횟수와 졸음인지 입력으로 졸음 정도를 파악하였고, 개발된 장치와 비교 분석하였다.

5분절 HRV 분석을 적용하기 위한 가중치 산출을 위해 20~30대 16명, 40~50대 7명 등 남녀 23명에 대해 생체인식 장치를 20분간 착용 상태로 피로도에 대한 지필 평가를 실시하였다. 육체피로, 탈진, 불안, 각성에 대한 각각 5점 척도 3개 문항과 주관적 피로도 10점 척도로 설문조사를 실시하였다. 피로도 산출 단계에서는 상대적으로 객관성이 떨어지는 주관적 피로도 항목을 제외하고 육체적 피로도와 정신적 피로도 항목의 합을 기반으로 산출한 가중치로 Table 3에서 제시한 연령대별 HRV 범위를 보정하여 피로도 단계 산출에 활용하였다.

HR과 호흡률 기반 피로도 인식 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같다. Fig. 7의 왼쪽 그래프와 같이 “피로도 1단계” 상태는 5분절 HRV가 150이하로 떨어지고, Fig. 8(A)와 같이 호흡률이 정상상태에서의 평균 호흡률 보다 많으며 증가 기울기

Table 3. Age Ranges and Cutoff Values for Time Domain Variables

Range	Heart Rate		SDNN		SDANN	
	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
10-20	64.01	99.99	94.39	265.65	78.99	247.28
21-30	62.52	98.50	88.71	249.57	74.24	232.41
31-40	61.03	97.01	83.37	234.66	69.78	218.43
41-50	59.54	95.53	78.35	220.54	65.58	205.30
51-60	58.08	94.04	73.64	207.27	61.64	192.95
61-70	58.57	92.55	69.21	194.81	57.93	181.35

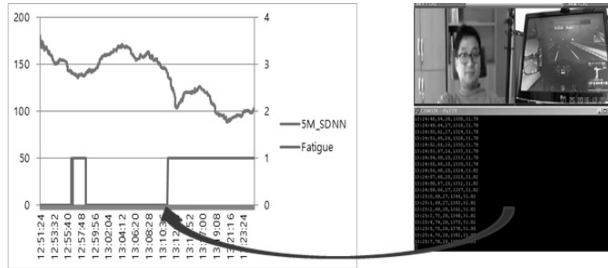


Fig. 7. Judgement of Fatigue Level 1 Based HRV Base

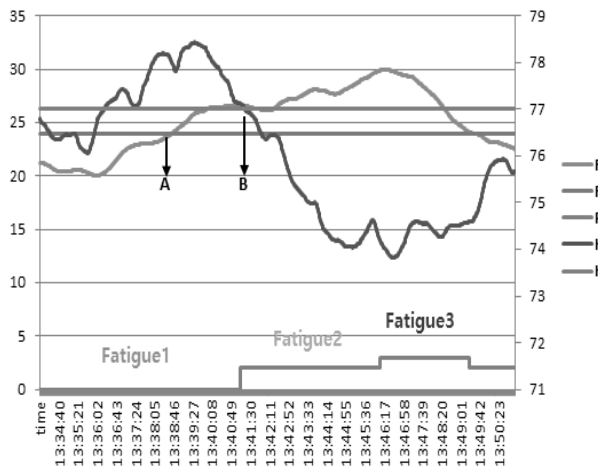


Fig. 8. Judgement of Fatigue Level from HR + Respiration Rate Base

를 가진다. “피로도 2단계” 상태는 Fig. 8(B)와 같이 심박수가 정상 상태에서의 평균 심박수 보다 적으며 감소 기울기를 가지고 Fig. 9에서 설명하는 GSR 측정결과 이완 단계를 보인다. “피로도 3단계”는 “피로도 2단계”의 상태를 유지한 채 5분이 경과한 경우이다. Fig. 7의 오른쪽 위 그림은 실험실에서 운전자가 시뮬레이터를 활용하여 생체신호를 수집하는 장면이며 Fig. 7의 오른쪽 아래는 수집된 생체신호의 Raw Data 이다.

GSR 인식 결과는 Fig. 9에 보인 것과 같이 평균 GSR

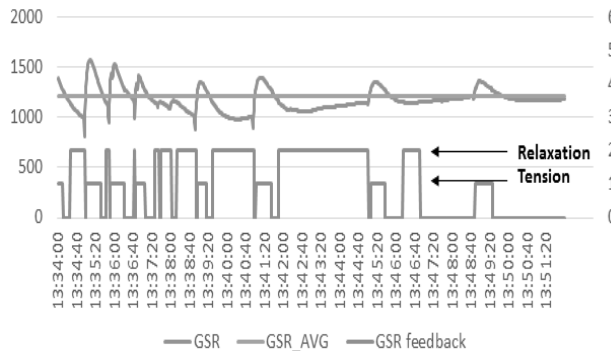


Fig. 9. Judgement of Concentration GSR Average Base

Table 4. Level of Fatigue

fatigue level	fatigue status	signal	applied algorithm
3	drowsiness Unmasking	eye blinking up to 2 sec and over 2 times in a minute	HR + respiration (GSR +SKT)
2		action for yawning or awakening	
1	drowsiness masking	start of drowsiness	HRV
0	normal	normal	

(GSR_AVG) 보다 105% 큰 경우 긴장(Tension), 95%보다 작은 경우 이완(Relaxation)으로 판단하였다.

HRV 신호와 호흡률 그리고 GSR 신호를 기반으로 Table 4와 같이 졸음척도를 제시하였다. 졸음은 수면 시간 부족 등의 원인으로 운전자의 의도적이지 않은 생리적 현상으로 주행에 필요한 주의를 빼앗긴 상태로 정의하며 이를 기준으로 Table 4와 같이 피로도 단계를 총 4단계로 정의하였다.

4.3 실차 기반 기능 검증

개발된 장치의 실제 환경에서의 검증을 위하여 서울 인근의 고속도로환경과 비슷한 자유로에서 총 10회의 실차 기반 검증을 실시하였다. 카메라를 설치하여 운전자의 상태를 모니터링 하여 개발된 장치와 비교하였다. 그리고 Fig. 10과 같이 상용의료장비인 LATHA 사의 PolyG-I 장비를 활용하여 개발 장비와의 신호를 비교하였다. Fig. 10(A)는 PolyG-I

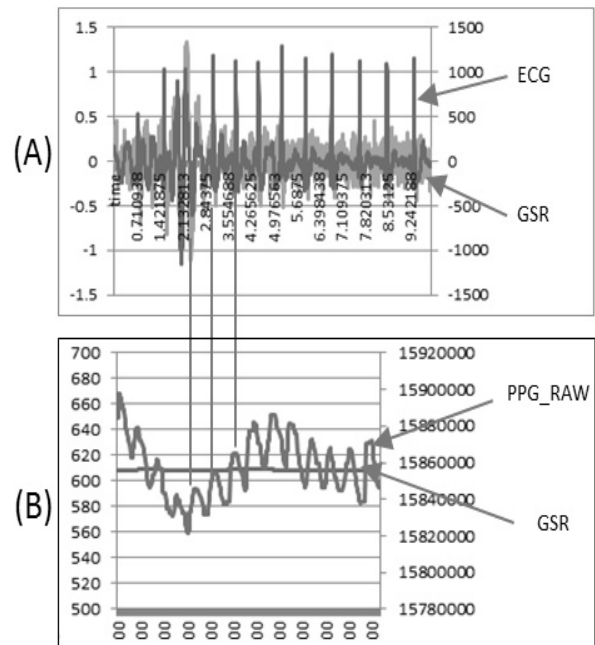


Fig. 10. (A) PolyG-I Signal, (B) Wearable Device Signal

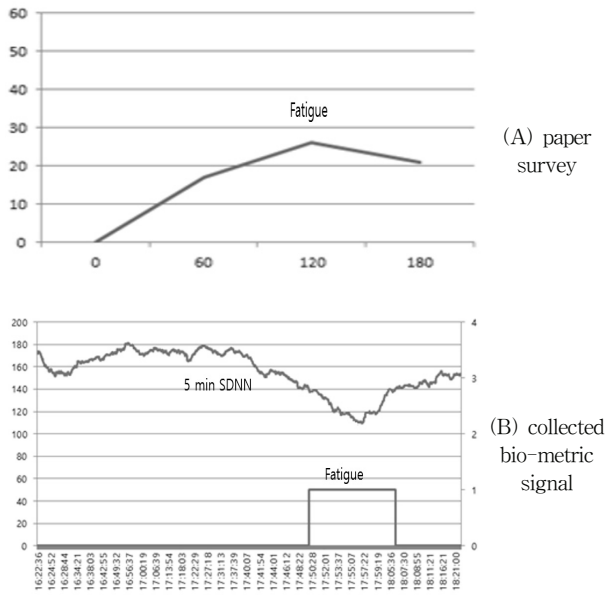


Fig. 11. Fatigue Test Result

장비의 신호이다. 변위신호로 추출된다. Fig. 10(B)는 개발된 웨어러블 장비에서의 PPG 신호와 GSR 신호이다. 웨어러블 장치는 측정된 값으로 표시된다. 시간 축으로 비교했을 때, PolyG-I의 신호와 웨어러블 장치가 서로 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

30분마다 피로도에 대한 설문조사를 하였고, 180분간 운전을 하여 생체신호를 수집하였다. 실차 검증 결과 HRV 기반 피로도 인식과 영상 및 지필에 의한 피로도 분석이 Fig. 11과 같이 유의한 결과를 보였다. 즉 시스템에 의해 인식된 결과와 지필평가에 의해 나타난 결과가 유사한 피로도 상태를 보여주고 있다. 그러나 지필평가에 의한 피로도 평가가 자의적으로 수정되고 판단될 수 있어서 ECG 자료를 직접 취득하여 비교할 필요가 있었다.

4.4 실험 결과 및 고찰

운전자용 웨어러블 장치를 개발하여 운전자의 피로도에 관련된 실험을 실시하였다. 운전자의 생체정보를 수집하기 위하여 PPG, GSR 등의 센서와 운전자와 자동차의 이동/진동상태를 측정할 수 있는 가속도/자이로 센서 등 다양한 센서를 시계 형태의 장치에 모두 장착하고 운전자의 안전벨트에 호흡센서를 장착하여 운전자가 자각하거나 구속되지 않은 상태에서 실험을 진행할 수 있었다. 향후 다양한 생체신호 측정에 필요한 장치의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

측정된 운전자의 생체신호를 바탕으로 운전자의 피로도를 분석할 수 있는 알고리즘을 개발하였고 피로도 단계를 제시하였다. 판단된 피로도 단계에 따라 운전자에게 경보를 주는 등의 적절한 처리가 가능할 것이다. 향후 운전자의 심장마비, 블랙아웃(black out)이나 휴대폰 사용, DMB 시청 등

의 운전자 상태 파악신호와 통합이 필요하다. 그러나 생체신호는 성별, 연령과 개인의 건강 상태에 따라 개인차가 큰 신호이므로 영상신호와의 결합, 학습 알고리즘을 활용하여 개인화 DB 구축 및 오인식 개선이 필요하다.

5. 결 론

본 논문에서는 자동차의 안전운전을 위해서 운전자의 생체정보를 수집하여 운전자의 상태에 따라 운전자에게 적절한 경보를 하거나, 직접 자동차를 제어할 수 있는 기반 시스템을 제시하였다. 운전자의 생체정보를 정확하게 수집하기 위한 장비는 대체로 운전자에게 직접 부착하는 것이 바람직하나, 운전을 방해하는 요소가 되기 때문에 운전자에게 부담을 주지 않는 웨어러블 장치를 개발하여 제시하였다. 이 장치에는 심박수 및 심박변화도를 측정할 수 있는 센서와 피부전도도, 체온 등을 측정할 수 있는 센서를 장착하여 다양한 생체신호를 수집할 수 있도록 하였다. 또 운전자의 안전벨트에 호흡센서를 장착하여 정교한 호흡률을 얻을 수 있었다. 이는 기존의 카메라를 활용한 장치, 스트어링 휠 또는 운전자 시트를 활용한 장치보다 더 정교하고 지속적으로 생체신호를 측정할 수 있기 때문에 상당한 유용성을 보였다.

공인인증기관을 통하여 상용 의료용 장비와 비교 실험을 실시하여 개발된 장비가 상용 의료용 장비와 큰 차이가 없음을 보였고, 실험실과 실제 환경에서의 실험을 통해 운전자의 피로도를 측정하여 피로도에 따른 단계별 조치가 가능함을 보였다.

향후과제는 운전자의 심장마비, 블랙아웃 혹은 휴대폰 사용이나 DMB 시청 또는 음주운전에 따른 생체신호를 측정하고, 이에 대한 경보를 할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이다. 또, PPG 센서로 부터 호흡률을 계산할 수 있는 알고리즘 개발과 차내 공기가 운전자에게 미치는 영향에 대한 파악 등 생체신호와 센서에 관련된 연구와, 전방 카메라로부터 주변 환경을 인식하여 가장 안전한 방법으로 운전자를 보호하는 시스템을 개발하는 것이다.

References

[1] Transport Safety Agency, "A Study on types and causes of distracted driving in a vehicle accident," Korea Transportation Safety Authorization, Policy-research 2012-1, 2012.
 [2] Y. Heo, J. Lee, and Y. Kim, "Analysis and Processing of Driver's Biological Signal of Workload," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol.20 No.3, pp.87-93, 2015.

[3] H. Kang, "Various approaches for driver and driving behavior monitoring: a review," *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, 2013.

[4] D. Koh and H. Kang, "Smartphone-based modeling and detection of aggressiveness reactions in senior drivers," *Intelligent Vehicles Symposium(IV) IEEE*, 2015.

[5] J. Kim, J. Park, and J. Lee, "A pressure sensor system for detecting driver's drowsiness based on the respiration Paper Template for the KITS Review," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol.12, Issue 2, pp. 45-51, 2013.

[6] J. Healey, J. Seger, and R. Picard, "Quantifying Driver Stress: Developing a System for Collecting and Processing Bio-metric Signals in Natural situations," MIT Media Lab Perceptual Computing Section TR No. 483, 1999.

[7] Active Comfort provides for stress-free driving and recuperation in the car: Mercedes cars take on the role of personal coach (april 2012) [Internet], <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Active-Comfort-provides-for-stress-free-driving-and-recupera.xhtml?oid=9916585> (Accessed Feb., 15 2017).

[8] Toyota demos ECG sensing steering wheel (July 26, 2011) [Internet], <http://www.mobihealthnews.com/12128/toyota-demos-ecg-sensing-steering-wheel> (Accessed Feb., 15 2017).

[9] Smart Steering Wheel Monitors Vital Signs, Diagnoses Irrational Road-Rage (Nov., 2011) [Internet], <http://www.medgadget.com/2011/11/smart-steering-wheel-monitors-vital-signs-diagnoses-irrational-road-rage.html> (Accessed Feb., 15 2017).

[10] The Ford heart rate monitoring seat (May 2011) [Internet], http://www.medtees.com/content/ecg_seat_fact_sheet_2.pdf (Accessed Feb., 15 2017).

[11] Ford Ends its ECG seat Plans (May., 2015) [Internet], <http://www.ccsinsight.com/blog/ford-ends-its-ecg-seat-plans> (Accessed Feb., 15 2017).

[12] Plessey PS25003 EPIC Demonstration Kit [Internet], <http://kr.mouser.com/new/Plessey-Semiconductors/plessey-ps25003-epic-demo-kit/> (Accessed Feb., 15 2017).

[13] M. Joo, D. Ko, and H. Kim, "Development of Smart Healthcare Wear System for Acquiring Vital Signs and Monitoring Personal Health," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.19 No.5, pp.808-817, May 2016.

[14] K. Ann, "A P-Peak Detection Algorithm for HRV Analysis with Arterial Pulse Waveform," Mater's Thesis of Daejin Univ. 2014.

[15] "Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use," *European Heart Journal*, (1996) 17, pp.354-381, 1996.

[16] "Autonomic Assessment Report: A Comprehensive Heart Rate Variability Analysis," HEARTMATH Research Center, 1996.

[17] Report of Test : 3 types of Bio-metric sensor for Yujeong System, TTA-N-16-0549-TR00, TTA, July 2016.

[18] H. Kim, M. Choi, and Y. Bae, "Driver drowsiness recognition system based on camera image analysis," *Processing of the Spring Conference of the Korea Information Processing Society*, Vol.23 No.1, pp.719-722, April 2016.



신 의 섭

e-mail : shine@paran.com

1984년 한양대학교 전자공학과(학사)

1986년 한양대학교 전자공학과(석사)

현재 가톨릭대학교 디지털미디어학과 박사과정

관심분야 : Big Data, Virtual Reality, Computer Vision, Machine Learning, HCI, Artificial Intelligence



김 명 국

e-mail : vincisbench@yjsys.co.kr

2000년 건국대학교 전기공학과(학사)

현재 유정시스템(주) 책임연구원

관심분야 : Deep Learning, Machine

Learning, HCI, Artificial

Intelligence, Big Data



이 창 욱

e-mail : cwlee@yjsys.co.kr

1990년 한양대학교 전자공학과(학사)

1992년 한양대학교 전자공학과(석사)

1997년 한양대학교 전자공학과(박사)

1997년~2000년 한국전자통신연구원

현재 유정시스템(주) 연구소장

관심분야 : Deep Learning, Machine Learning, HCI, Artificial Intelligence, Big Data



강 행 봉

e-mail : hbkang@catholic.ac.kr

1980년 한양대학교 전자공학과(학사)

1986년 한양대학교 전자공학과(석사)

1989년 Ohio State Univ. 컴퓨터공학(석사)

1993년 Rensselaer Polytechnic Institute
컴퓨터공학(박사)

1993년~1997년 삼성종합기술원 수석연구원

1997년~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학부 교수

관심분야: Computer Vision, Machine Learning, HCI, Artificial
Intelligence, Computer Graphics, Big Data