

# Development of an Evaluation Method for a Driver's Cognitive Workload Using ECG Signal

Wongi Hong<sup>1</sup>, Wonsup Lee<sup>1</sup>, Kihyo Jung<sup>2</sup>, Baekhee Lee<sup>1</sup>, Suwan Park<sup>3</sup>,  
Yunsuk Park<sup>3</sup>, Joonwoo Son<sup>3</sup>, Seikwon Park<sup>4</sup>, and Heecheon You<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Gyeongbuk, 790-784

<sup>2</sup>School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, South Korea, 680-749

<sup>3</sup>Public & Original Technology Research Center, DGIST, Daegu, South Korea, 711-873

<sup>4</sup>Department of Industrial Engineering, Air Force Academy, Cheongwon, Chungbuk, 363-849

## ABSTRACT

**Objective:** The present study is to develop an effective evaluation method for a driver's cognitive workload using electrocardiography (ECG) signal. **Background:** ECG measures such as heart rate (HR) and heart rate variability (HRV) have been used for cognitive workload evaluation. Since ECG changes by cognitive workload vary largely depending on personal characteristics, an optimal analysis protocol of ECG needs to be tailored to each individual accordingly; however, existing studies have not considered personal characteristics in ECG analysis for cognitive workload evaluation. **Method:** The proposed evaluation method uses the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC). A preliminary analysis was conducted with ECG data collected in a driving simulator while an n-back task was conducted. AUC analysis was performed for four ECG metrics (mean IBI, SDNN, RMSSD, and RMSE), three window spans (20, 30, and 40 seconds), and three update rates (1, 2, and 3 seconds). **Results:** It was identified that the optimal ECG analysis parameters of metric, window span, and update rate maximizing the discriminability of cognitive workload evaluation varied between individual drivers. **Conclusion:** The finding of the present study supports the use of an individually customized ECG analysis protocol for better evaluation accuracy of a drivers' cognitive workload. **Application:** The proposed ECG analysis method for cognitive workload evaluation can be applied to development of a safe driving support system.

Keywords: ECG, Cognitive workload, Heart rate, Heart rate variability, AUC analysis

## 1. Introduction

운전자의 인지 부하를 파악하기 위한 안전 운전 지원 시스템 개발에는 심전도(electrocardiography; ECG)가 적용될 수 있다. 운전시 인지 부하는 장시간 운전, 악천후 환경, 또는 추돌의 위험 상황 등에 의해 순간적으로 높아질 수 있다. 인지 부하가 높아지면 아드레날린 호르몬의 영향으로 심박의 빈도가 높아지는데, 자동차가 운전자의 심박 변화를 감지하여 인지 부하를 예측한다면 운전자에게 경고 또는 자동 안전 장치를 제공하며 대형 사고를 미연에 방지하도록 할 수도 있다. 그러므로 안전 운전에 도움을 줄 수 있는

시스템 개발에 ECG를 적용하기 위해서는 ECG의 정확한 파악 및 분석이 중요하다.

인지 부하 파악을 위한 ECG 분석에는 다양한 정량화 척도들(예: mean IBI, SDNN, RMSSD)이 사용된다. ECG는 심박률(heart rate; HR)과 심박 변이도(heart rate variability; HRV)의 척도로 정량화된다. HR을 예로 들면, Yao et al. (2008)은 ECG를 HR로 정량화하여 비행기 착륙 작업이 휴식 또는 지상에서 운행할 때보다 심박률이 유의하게 증가하는 것으로 보고하였다. HRV는 SDNN, RMSSD, 그리고 RMSE와 같은 정량화 척도로 변환되어 인지 부하 변화 측정에 적용될 수 있다. 예를 들어, Wood et al. (2002)과 Schubert et al. (2009)은 각각 단순 반응 작업이나 구두 발표 작업의

난이도에 따라 SDNN이 변화하는 것으로 발표하였다. Gould et al. (2009)은 복잡도가 상이한 선박 navigation 방법들에 대한 심박 변이도 분석에 RMSSD를 사용하였으나, RMSSD는 선박 navigation의 사용 난이도에 따른 인지 부하 변화를 적절하게 반영하지 못하는 것으로 보고하였다. 또한, 이원섭 외(2010)는 운전 중 인지부하 상황 발생 시 심박이 갑자기 높아졌다가 서서히 원상태로 회복되는 양상을 고려하기 위해 RMSE를 ECG 정량화 척도로 사용하기도 하였다.

기존의 ECG 기반의 인지 부하 분석 연구들은 개인별 심박 특성 차이를 고려하지 못한 한계를 지니고 있다. 이원섭 외(2010)는 인지 부하 수준의 변화를 민감하게 나타내는 ECG 정량화 척도가 사람마다 차이가 있음을 파악하였으나 개인별 심박 특성 차이를 운전 인지 부하 분석에 적용하는 방법은 제시하지 못하였다. 따라서 ECG 기반의 인지 부하 분석 방법을 안전 운전 지원 시스템에 적용하기 위해서는 개인별 최적화된 ECG 정량화 척도를 파악하고, 인지 부하 측정에 적용하는 방법의 개발이 중요하다. 또한 안전 운전 지원 시스템이 개인별 ECG 특성을 고려하여 운전자의 인지 부하를 실시간으로 분석하기 위해 개인에게 최적화된 실시간 분석 조건(예: ECG sampling 간격 및 시간)을 파악하여 시스템에 적용할 필요가 있다.

본 연구는 운전자 개인의 심박 특성이 고려된 인지 부하 판별을 위하여 개인별 최적 ECG 정량화 척도(예: mean IBI, SDNN, RMSSD, RMSE)를 파악하는 방법을 개발하였다. 운전자 개인별 최적 정량화 척도를 판별하기 위해 area under the ROC curve(AUC) 분석을 통하여 작업 부하 수준에 따른 인지 부하 간 변별 능력을 파악하였다. 또한 실시간 분석을 위한 data sampling 조건(window span 및 update rate)에 따른 정량화 척도별 AUC를 분석하여, 개인별 최적의 실시간 data sampling 조건을 파악하였다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

본 연구의 실험에는 심혈관계 질환 경험이 없고 운전 경력이 3년 이상인 20대 남성 15명이 참여하였다. 실험 참여자들의 평균 연령은 27.7세(range = 25 ~ 34, SD = 3)로 나타났다. 실험 참여자들에게는 금전적

보상이 이루어졌다.

### 2.2 Apparatus

본 연구는 STISIM Drive™ (Systems Technology Inc., USA)을 사용하여 자동차 시뮬레이션 주행이 수행되었다. STISIM Drive™은 그림 1과 같이 자동차 도로 주행 화면(해상도 = 1024 × 768)을 실험 참여자에게 제공한다. Driving scenario는 편도 2차로의 고속도로(도로 폭 = 4.57 m)를 약 30 km를 주행하는 것으로 고안되었다. 실험 참여자의 ECG 생체신호는 MEDAC System/3 (Biomation, USA; 이하 MEDAC)을 사용하여 목 뒤와 양쪽 손목에 각각 1개와 2개의 센서를 부착하여 유선으로 연결되어 측정되었다.



Figure 1. A driving screen on STISIM (illustrated)

### 2.3 Experiment Design

본 연구는 서로 다른 인지 부하를 제공할 수 있는 4가지 난이도의 작업(secondary task)을 운전 중에 제시하여, 각 작업 시에 측정된 ECG data를 비교 분석하였다. 인지 부하는 4개의 수준(무 부하, 낮은 부하, 중간 부하, 높은 부하)으로 설계되었으며, 부하 수준의 유발은 N-back 작업(낮은 부하: 0-back, 중간 부하: 1-back, 높은 부하: 2-back)으로 이루어졌다. N-back 작업은 무작위 숫자들이 연속적으로 제시될 때 임의의 시점에 N번째 이전 숫자를 기억해내는 암기 작업이다(Son et al., 2010).

실험은 5단계의 절차(실험 소개 및 동의서 작성, 센서 부착, 연습 실험, 본 실험, 사후 설문 작성)로 진행되었다. 먼저, 실험에 대한 소개를 실험 참여자에게 설명한 후, 실험 참여자에게 동의서를 받았다. 그리고 MEDAC을 실험 참여자에게 부착하였으며, N-back 작업 연습(10 ~ 30분)과 시뮬레이터 주행 연습(5 ~ 10분)을 수행하였다. 본 실험은 먼저 운전하지 않는 상황의 무 부하 조건(baseline)에서 ECG 생체신호를 5분간 측정 후, 3가지 조건의 부하 수준(낮은

부하, 중간 부하, 높은 부하)에 대한 생체신호를 각각 2분씩 무작위 순서로 측정하였다. 각 부하 수준의 작업 간에는 2분간의 휴식이 주어졌다. 3가지 부하 조건에서의 작업 후에는 시뮬레이터에서 운전을 수행하며 동일한 실험 과정을 거쳤다. 마지막으로, 실험을 완료한 후 실험 참여에 관한 설문조사를 수행하였다.

## 2.4 Analysis Method

### 2.4.1 Data for analysis

본 연구는 개인에게 최적화된 ECG 정량화 척도를 파악하는 방법을 개발하고 실험 참여자 1명(연령: 25세)의 ECG data를 분석에 적용하였다. 분석에는 운전하지 않을 때의 data를 사용하였는데, 이는 인지 부하 작업(N-back task) 수행 시 운전과 다른 인지 부하의 변동을 배제하고 ECG를 측정하기 위함이다.

본 연구는 시간에 따라 변화하는 ECG 특성을 면밀하게 분석하기 위해 특정 시간 구간(window span)만큼의 data를 특정 구간갱신속도(update rate)마다 sampling하여 분석에 적용하였다. Window span이란 일정 시간(예: 20초, 30초, 40초) 동안 측정된 data를 임의의 구간 동안 나누어 계산하기 위하여 분석에 사용하는 data 구간이다. Update rate은 window span이 이동하는 속도(예: 1초, 2초, 3초)를 의미하며 1초로 설정된다면 매 1초마다 동일한 window span 구간에 대해 지속적으로 sampling하여 분석에 사용한다. 예를 들어, 2분간 측정된 ECG raw data는 30초의 window span, 1초의 update rate 조건에서 90개 분석 data로 sampling된다. ECG 분석을 위해 sampling된 data들은 ECG 정량화 척도(mean IBI, SDNN, RMSSD, RMSE)로 변환되어 AUC 분석에 사용된다.

### 2.4.2 Distinction method for individual optimal ECG quantification measure

개인별 최적 ECG 정량화 척도를 파악하기 위해서는 주어진 4가지의 작업간 변별 능력(discriminability)을 비교해야 한다. 4가지의 척도(mean IBI, SDNN, RMSSD, RMSE), 3가지의 window span(20초, 30초, 40초), 그리고 3가지의 update rate(1초, 2초, 3초)의 36가지 조합 조건에서의 인지 부하간 변별 능력을 비교하였다. 또한, 작업 간 data 병합을 통해 2가지 또는 3가지의 작업을 병합하였을 시의 인지 부하간 변별

능력을 비교하였다. 예를 들어, baseline (BL)과 0-back (0B) 작업을 합하였을 때의 인지 부하와 1-back (1B)과 2-back (2B) 작업을 합하였을 때의 인지 부하 간의 변별 능력을 비교하였다. 이와 같이 본 연구는 다양한 인지 부하 비교 조건에 대하여 개인별로 최적의 인지 부하간 변별 능력을 보이는 경우(예: BL-0B vs. 1B-2B)를 파악하여 개인별 인지 부하 분석에 적용하였다.

본 연구는 실시간 ECG 분석을 위해 window span과 update rate라는 parameter를 사용하여 인지 부하 상황의 ECG raw data를 sampling하고 AUC를 적용하여 sampling된 data를 분석하였다. Sampling된 data는 이론적으로는 통계 분포를 따를 것으로 생각되나, 실제로는 분포가 성립되지 않아 인지 부하 작업 간의 변별성 분석에 ROC curve를 이용하기 어렵다. 따라서 본 연구는 ROC curve 대신에 AUC 분석 방법을 적용하여 인지 부하 작업 간의 변별성을 파악하였다. 그림 2는 window span 20초, update rate 1초, 그리고 mean IBI 척도의 분석 조건에서 실험 참여자 1명의 무 부하(baseline)와 낮은 부하(0-back) 작업 간의 변별 능력을 AUC로 나타낸 결과로(AUC = 0.8), 이 경우 실험 참여자의 무 부하와 낮은 부하 작업 시의 인지 부하 수준은 mean IBI에 의해 변별이 용이한 것으로 해석될 수 있다.

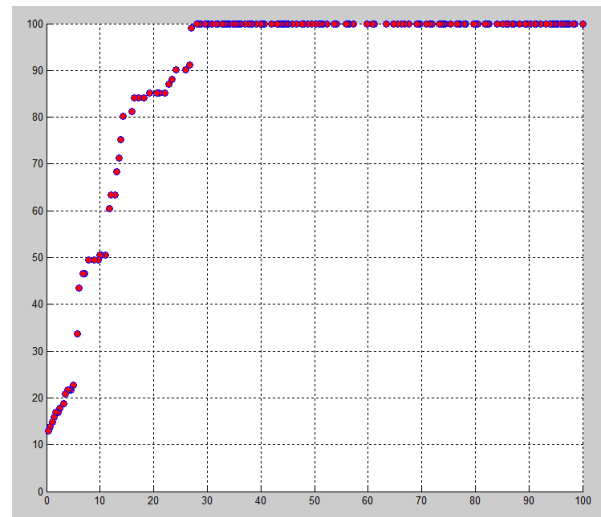


Figure 2. AUC analysis plotted (illustrated)

## 3. Result

본 연구는 실험 참여자 1명에 대해 제안된 최적

ECG 정량화 파악 방법을 사용하여 AUC 분석을 통해 두 가지와 세 가지 작업 간 인지 부하 data 분포에 대한 분석을 수행하였다. 두 가지 작업 간 인지 부하 data 분포 분석 결과, 실험 참여자의 경우, baseline, 0-back, 그리고 1-back 작업을 합하여 2-back 작업과 비교한 경우(BL-0B-1B vs. 2B) window span 40 초, update rate 1초, 그리고 RMSSD 척도를 사용하여 ECG를 정량화 할 때, 인지 부하간 변별 능력이 가장 높은 것으로 나타났다(AUC = 0.989). 두 번째는 BL-0B과 1B-2B 간의 인지 부하간 변별 능력이 windows span 30초와 update rate 1초인 경우 mean IBI

조건에서 높게 나타났다(AUC = 0.95).

세 가지 작업 간 인지 부하 data 분포 분석 결과, BL vs. 0B-1B vs. 2B 간의 분석 시 window span 20초, update rate 3초, 그리고 mean IBI 척도 조건에서 인지 부하 간 변별 능력이 가장 높은 것으로 나타났다(AUC = 1.683). 그리고 BL vs. 0B vs. 1B-2B 간 분석에서는 window span 20초, update rate 1초, 그리고 mean IBI 조건에서 변별 능력이 높게 나타났으며(AUC = 1.679), BL vs. 0B-1B vs. 2B 간 분석에서는 window span 20초, update rate 3초, 그리고 mean IBI 조건에서 변별 능력이 높게 나타났다(AUC = 1.655).

**Table 1.** Results of AUC analysis

(Note: Bold values are the maximums in each comparison among tasks)

(a) AUC analysis between two tasks

Workload		Result of AUC Analysis			
		BL-0B vs. 1B-2B	BL-0B-1B vs. 2B	0B vs. 1B-2B	0B-1B vs. 2B
20 & 1	Mean IBI	0.944	0.870	<b>0.782</b>	0.740
	SDNN	0.511	0.589	0.165	0.445
	RMSSD	0.696	0.980	0.037	0.253
	RMSE	0.499	0.666	0.296	0.486
20 & 2	Mean IBI	0.941	0.866	0.774	0.733
	SDNN	0.501	0.581	0.147	0.433
	RMSSD	0.888	0.975	0.395	0.702
	RMSE	0.493	0.657	0.298	0.485
20 & 3	Mean IBI	0.945	0.873	0.782	<b>0.754</b>
	SDNN	0.233	0.356	0.167	0.441
	RMSSD	0.166	0.599	0.057	0.329
	RMSE	0.328	0.399	0.301	0.487
30 & 1	Mean IBI	<b>0.950</b>	0.785	0.753	0.606
	SDNN	0.398	0.600	0.141	0.516
	RMSSD	0.711	0.985	0.021	0.123
	RMSE	0.464	0.579	0.156	0.421
30 & 2	Mean IBI	0.945	0.780	0.745	0.603
	SDNN	0.415	0.603	0.142	0.516
	RMSSD	0.931	0.980	0.149	0.491
	RMSE	0.466	0.585	0.171	0.430
30 & 3	Mean IBI	0.941	0.763	0.769	0.591
	SDNN	0.168	0.425	0.128	0.499
	RMSSD	0.658	0.745	0.255	0.644
	RMSE	0.192	0.295	0.162	0.391
40 & 1	Mean IBI	0.948	0.778	0.723	0.554
	SDNN	0.276	0.586	0.059	0.419
	RMSSD	0.659	0.988	0.020	0.172
	RMSE	0.271	0.515	0.068	0.398
40 & 2	Mean IBI	0.945	0.778	0.720	0.554
	SDNN	0.275	0.568	0.059	0.394
	RMSSD	0.877	<b>0.989</b>	0.069	0.344
	RMSE	0.249	0.504	0.077	0.375
40 & 3	Mean IBI	0.946	0.777	0.715	0.540
	SDNN	0.111	0.349	0.064	0.430
	RMSSD	0.563	0.661	0.053	0.322
	RMSE	0.109	0.305	0.074	0.384

(b) AUC analysis among three tasks

Workload		Result of AUC Analysis		
		BL-0B vs. 1B vs. 2B	BL vs. 0B-1B vs. 2B	BL vs. 0B vs. 1B-2B
20 & 1	Mean IBI	1.647	1.673	<b>1.679</b>
	SDNN	1.122	1.122	1.062
	RMSSD	1.115	1.159	0.934
	RMSE	1.085	1.081	1.192
20 & 2	Mean IBI	1.639	1.657	1.670
	SDNN	1.104	1.096	1.044
	RMSSD	1.405	1.601	1.291
	RMSE	1.058	1.086	1.195
20 & 3	Mean IBI	<b>1.655</b>	<b>1.683</b>	1.678
	SDNN	0.753	0.752	1.064
	RMSSD	0.948	1.023	0.953
	RMSE	0.933	0.821	1.198
30 & 1	Mean IBI	1.521	1.472	1.650
	SDNN	1.098	1.178	1.038
	RMSSD	1.113	1.049	0.918
	RMSE	1.097	1.140	1.052
30 & 2	Mean IBI	1.512	1.463	1.641
	SDNN	1.113	1.185	1.039
	RMSSD	1.442	1.411	1.046
	RMSE	1.057	1.138	1.067
30 & 3	Mean IBI	1.484	1.367	1.666
	SDNN	0.747	0.837	1.025
	RMSSD	1.249	1.348	1.151
	RMSE	0.725	0.782	1.059
40 & 1	Mean IBI	1.481	1.492	1.620
	SDNN	0.864	1.032	0.956
	RMSSD	1.124	1.062	0.917
	RMSE	1.012	1.088	0.965
40 & 2	Mean IBI	1.472	1.486	1.616
	SDNN	0.859	0.998	0.956
	RMSSD	1.305	1.226	0.965
	RMSE	0.993	1.058	0.974
40 & 3	Mean IBI	1.463	1.471	1.611
	SDNN	0.695	0.761	0.960
	RMSSD	1.020	1.006	0.950
	RMSE	0.684	0.732	0.971

## 4. Discussion

본 연구는 안전 운전 지원 시스템 개발에 적용할 수 있는 개인별 최적 ECG 정량화 척도 파악 방법을 개발하였다. 제안된 방법은 실험 참여자 1명의 data를 사용하여 AUC 분석이 수행되었다. 본 연구에서 분석한 실험 참여자에 대해서는 mean IBI 척도가 가장 높은 변별 능력을 보이는 것으로 파악되었고, window span과 update rate은 각각 20초와 3초가 최적인 것으로 나타났다. 본 연구는 AUC를 적용한 운전 인지 부하 분석 방법을 통해 인지 부하 측정의 정확도 및 인지 부하간 차이의 변별성이 높은 개인별 최적의 ECG 분석 조건을 파악할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 사용한 AUC 분석 방법은 시간에 따라 data를 sampling하여 사용하는 방법으로, AUC를 통해 운전 중의 인지 변화를 실시간으로 분석할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 향후 본 실험에 참여한 15명의 ECG data를 면밀하게 분석할 예정이다. 그리고 4가지 factor (window span, update rate, ECG 정량화 척도, 작업 부하 수준)간 ANOVA 분석을 통해 통계적으로 의미가 있는 factor 수준을 분석하고자 한다. 또한 시뮬레이터 환경뿐 아니라 실차 주행 환경에서 인지 부하 수준에 따라 측정된 ECG data를 분석함으로써, 향후 자동차의 안전 운전 지원 시스템에 적용할 수 있는 ECG 분석 방안을 제안하고자 한다.

## Acknowledgements

This work was funded by grants from Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST).

## References

- Gould, K. S., Røed, B. K., Saus, E., Koefoed, V. F., Bridger, R. S., and Moen, B. E., Effects of navigation method on workload and performance in simulated high-speed ship navigation, *Applied Ergonomics*, 40(1), 103-114, 2009.
- Lee, W., Jung, K., Hong, W., Park, S., Park, Y., Son, J., Park, S., and You, H., "Analysis of drivers' ECG biological signal under different levels of cognitive workload for intelligent vehicle", *Proceedings of the 2010 Fall Conference of Ergonomics Society of Korea*, 2010.
- Schubert, C., Lambertz, M., Nelesen, R. A., Bardwell, W., Choi, J.B., and Dimsdale, J. E., Effects of stress on heart rate complexity: A comparison between shortterm and chronic stress, *Biological Psychology*, 80(3), 325-332, 2009.
- Son, J., Reimer, B., Mehler, B., Pohlmeier, A. E., Godfrey, K. M., Orszulak, J., Long, J., Kim, M., Lee, Y., and Coughlin, J. Age and cross-cultural comparison of drivers' cognitive workload and performance in simulated urban driving, *International Journal of Automotive Technology*, 11(4), 533-539, 2010.
- Wood, R., Maraj, B., Lee, C. M., and Reyes, R., Short-term heart rate variability during a cognitive challenge in young and older adults, *Age and Aging*, 31, 131-135, 2002.
- Yao, Y. J., Chang, Y. M., Xie, X. P., Cao, X. S., Sun, X. Q., and Wu, Y. H., Heart rate and respiration responses to real traffic pattern flight. *Psychophysiology Biofeedback*, 33(4), 203-209, 2008.

## Author listings

**Wongi Hong:** wonkiman@postech.ac.kr

**Highest degree:** BS, Department of Electrical Engineering, University of Ulsan

**Position title:** Master candidate, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Human computer interaction, Bio-signal analysis, Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation

**Wonsup Lee:** mcurry@postech.ac.kr

**Highest degree:** BS, Industrial and Media Design, Handong University

**Position title:** PhD student, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design

**Kihyo Jung:** kjung@ulsan.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Industrial Engineering, POSTECH

**Position title:** Assistant Professor, School of Industrial Engineering, University of Ulsan

**Areas of interest:** Digital human model simulation, Anthropometric product design, Human performance evaluation

**Baekhee Lee:** x200won@postech.ac.kr

**Highest degree:** M.S., Department of Industrial Engineering, POSTECH

**Position title:** Ph.D., Department of Industrial Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Vehicle Ergonomics

**Suwan Park:** psuwan@dgist.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Computer Engineering, Kyungpook National University

**Position title:** Research Engineer, HumanLAB, DGIST

**Areas of interest:** Driver aware vehicle, Driver's workload assessment (On-Road & Simulator), Advanced Human-Vehicle Interface

**Yunsuk Park:** pys@dgist.ac.kr

**Highest degree:** BS, International Commerce, Keimyung University

**Position title:** Research Engineer, HumanLAB, DGIST

**Areas of interest:** Survey participants, Driver's workload assessment (On-Road & Simulator)

**Joonwoo Son:** json@dgist.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Mechanical Engineering, Pusan National University

**Position title:** Project Leader, HumanLAB, DGIST

**Areas of interest:** Designing for older drivers, Driver's workload assessment (On-Road & Simulator), Advanced Human-Vehicle Interface

**Seikwon Park:** ergoparks@gmail.com

**Highest degree:** PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Professor, Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy

**Areas of interest:** Human factors in aviation and aerospace, Fatigue/Stress modeling & assessment, Human performance & workload assessment, Bio-signal measurement and analysis techniques, Biofeedback training

**Heecheon You:** hcyou@postech.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

**Position title:** Associate Professor, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

**Areas of interest:** Ergonomic product design & development, User interface design & evaluation, Digital human modeling & simulation, Human performance & workload assessment, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) prevention, Usability testing