

운전 중 돌발 상황과 관련된 인지 처리 및 감정 반응의 피부전도수준 해석

이수정¹ · 양재웅¹ · 김지혜¹ · 최미현¹ · 문경률¹ · 김한수¹ · 최진승¹
지두환² · 민병찬² · 탁계래¹ · 정순철¹

¹건국대학교 의료생명대학 의학공학부 / ²한밭대 산업경영공학과

Analysis of Skin Conductance Level for Cognitive and Emotional Responses associated with Unexpected Situation during Driving

Su-Jeong Lee¹, Jae-Woong Yang¹, Ji-Hye Kim¹, Mi-Hyun Choi¹, Kyung-Ryoul Mun¹, Han-Soo Kim¹,
Jin-Seung Choi¹, Doo-Hwan Ji², Byung-Chan Min², Gye-Rae Tack¹, Soon-Cheol Chung¹

¹Department of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering,
College of Biomedical & Health Science, Konkuk University, Chungju, 380-701

²Department of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 305-719

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the skin conductance level (SCL) induced by unexpected situation which reflected the emotional and cognitive responses during driving. The participants included 57 college graduates; 28 males aged 24.5 ± 1.3 with 2.3 ± 1.5 years of driving experiences and 29 females aged 23.6 ± 2.6 with 2.2 ± 1.7 years of driving experience. Reaction time of brake, averaged SCL, maximum SCL, and rising time to maximum amplitude were measured. They were analysed according to condition (crash, non-crash) and gender (male, female). The reaction time of brake was more faster and averaged SCL was greater during non-crash condition than during crash condition. There were no significant differences between male and female drivers in the reaction time of brake and averaged SCL whether or not it crash. There were no significant differences between crash and non-crash conditions in the maximum SCL and rising time to maximum amplitude, but there were significant differences between male and female in them. These results support the hypothesis that averaged SCL is more related to cognitive response and maximum SCL and rising time to maximum amplitude are more related to emotional responses.

Keywords: Unexpected situation, Skin conductance level, Cognitive and emotional responses, Crash and non-crash, Gender

*이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0084784).

교신저자: 정순철

주 소: 380-701 충북 충주시 단월동 322번지, 전화: 010-7449-3352, E-mail: scchung@kku.ac.kr

1. 서 론

피부전기반응 또는 피부전도수준은 각성 수준에 따라 피부에서 발생하는 전기적 반응으로서, 각성 수준의 증감에 따라서 그 크기의 변화가 나타나게 된다. 피부전도수준은 비교적 안정적인 생리 지표이기 때문에 오랫동안 인간의 심리상태를 나타내는 객관적인 데이터로 활용되어 왔다 (Baumgartner et al., 2006). 또한 피부전도수준은 인간의 감정 및 인지 처리와 관련 깊은 생리 지표로 다양하게 활용되고 있다 (Ikehara and Crosby, 2005; Baumgartner et al., 2006; Vianna and Tranel, 2006; 이수정 등, 2009; 민병찬 등, 2010).

Ikehara와 Crosby(2005)는 인지 과제 수준에 따른 피부전도수준의 차이를 관찰하였다. 피부전도수준은 쉬운 과제에서는 낮았으며, 과제가 어려워지면 상승하는 것으로 나타났다. 즉, 인지 처리 또는 인지 부하가 증가하면 피부전도수준이 커진다고 보고하였다. 이수정 등(2009)은 피부전도수준을 이용하여 각성 수준을 평가하고, 각성 수준이 인지 수행에 어떠한 영향을 미치는지 관찰하였다. 그 결과 인지 처리와 무관하게 유발된 긴장도의 증가나 감소는 인지 수행 능력을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 필름자극을 사용해 피부전도수준을 측정된 Vianna와 Tranel(2006)의 연구에서도 공포에서 피부전도수준이 가장 큰 증가를 보였으며, 혐오에서도 피부전도수준이 증가하는 경향을 보였다고 보고하였다. 또한 복합자극을 사용한 Baumgartner 등(2006)의 연구에서도 공포와 슬픔에서 피부전도수준이 증가하는 결과를 보고하였다. 민병찬 등(2010)은 돌발 상황 발생 시 남녀 운전자의 피부전도도의 차이를 연구하였다. 그 결과 돌발 상황 시 남자에 비해 여자의 피부전도수준이 크다고 보고하였다. 이러한 선행 연구들로부터 피부전도수준은 각성을 수반하는 인지 처리 및 감정 변화에 민감한 생체 신호라는 것을 알 수 있다.

운전 수행은 복합적인 인지 처리가 필요하다. 자동차 주행 시 운전자에게 제공되는 운전 정보가 다양해질 경우, 운전자의 정보처리를 위해 운전자의 인지적 노력은 증가하게 된다 (이원섭 등, 2010). 또한 운전 수행은 다양한 교통 상황에 따라 운전자의 감정 변화도 유발하게 된다. 신용균(1995) 등은 운전 중 위험 상황에 따른 운전자의 심리, 생리적인 변화를 측정하였다. 이를 통해 운전자는 위험 상황에 처하게 되면 감정 변화를 통해 정신적인 부담이 증가한다는 사실을 증명하였다. 이와 같이 운전 상황에 따라 운전 수행은 인지 처리뿐만 아니라 지루함, 짜증남, 놀람, 긴장 등과 같은 감정과 관련이 있기 때문에, 이 두 가지의 효과가 중첩되어 운전자의 생리 반응은 변하게 된다.

지금까지 운전과 관련된 인지적 또는 감정적 반응 각각에 대한 연구가 훌륭히 수행되어져 왔으나, 이들의 영향을 동시에 고려한 연구는 미비하였다. 또한 인지 처리 및 감정 변화가 동시에 발생하는 상황에서 이들의 영향을 생리 신호로서 변별하고자 하는 시도도 없었다.

본 연구에서는 운전 시 인지 반응과 감정 반응이 모두 반영될 수 있는 돌발 상황을 유발하고 자율신경계의 반응을 대표하는 피부전기신호를 구체적으로 분석하고자 하였다. 특히 인지 및 감정과 관련된 각성 수준을 동시에 민감하게 반영하는 피부전기반응의 분석을 통해 피부전도수준의 파라미터 중 인지 반응과 감정 반응 각각에 민감한 파라미터가 있는지, 그리고 남녀 차가 존재하는지를 살펴보고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 실험 대상

운전 경력이 2.3 ± 1.5 년(평균±표준편차)인 신체 건강한 28명의 남자 대학생(24.5 ± 1.3 세(평균±표준편차))과 운전 경력이 2.2 ± 1.7 년(평균±표준편차)인 29명의 여자 대학생(23.6 ± 2.6 세(평균±표준편차))을 피험자로 선정하였다. 실험 전 각 피험자는 생리 변화에 영향을 줄 수 있는 카페인, 흡연 및 음주를 금지하였다. 또한 실험 전 실험 내용을 충분히 숙지할 수 있도록 피험자에게 설명하였다.

2.2 자동차 시뮬레이터

본 실험에 이용된 자동차 시뮬레이터(GDS-300S, Gridspace Co.)는 실험실에 설치되어 있는 모의용 기기로 3대의 32인치 LCD 모니터를 통해 운전 시 필요한 정면과 좌/우 환경 정보들을 제공하도록 구성되었다(그림 1). 차량



그림 1. 자동차 시뮬레이터

모델은 현대 자동차의 '클릭' 모델로서 운전 장치(핸들, 가속 페달, 브레이크 페달, 파킹브레이크, 방향지시등 레버, 비상등, 와이퍼 레버, 전조등 레버, 기어 레버, 안전벨트 등)와 표시 장치(방향지시등, 속도계, RPM 미터, 온도계이지, 연료량 게이지, 각종 경고 등)는 실제 차량과 동일하였다. 핸들 장치는 motor driven power steering(MDPS)의 모터 제어 방식을 사용하였다.

2.3 실험 절차

피험자들을 시뮬레이터 운전석에 앉힌 뒤, 피부전도수준의 생리 신호 측정을 위해 전극을 부착하였다. 본 실험에 들어가기에 앞서 10분간 안정을 취한 뒤, 3분간의 안정 구간(Rest 3min.)과 2분간의 주행 구간(Driving 1min., Unexpected situation 1min.)동안 생리 신호를 측정하였다(그림 2).

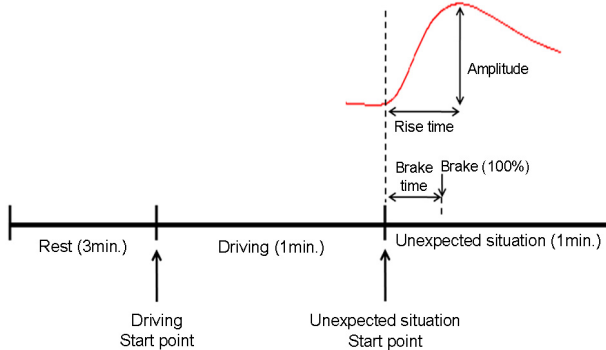


그림 2. 실험 절차

피험자는 시뮬레이터 화면에 표시되는 선행 차량과의 거리를 확인하면서 25m의 일정한 차간 거리를 유지하게 하였고, 왕복 4차선 도로를 55~65km의 속도로 주행하게 하였다. 앞선 선행 차량이 대형차량으로서 전방의 신호등 정보를 전혀 인식할 수 없도록 하였다. 전방의 신호등이 갑자기 적색으로 바뀌어 대형 차량이 급정거를 하고 뒤따르던 본인의 차량도 급정거하는 시나리오로 순간적인 돌발 상황을 유도하였다. 이때 선행 대형 차량이 급정거 하는 순간을 돌발 상황 시작점(Unexpected situation Start point)이라고 정의하였다.

2.4 데이터 측정 및 분석

Biopac System의 MP100과 Acqknowledge 3.8.1 (Biopac System, Inc. USA)을 이용하여 500Hz의 sampling rate로 피부전도수준(skin conductance level: SCL)을 측

정하였다. 자율신경계의 반응을 대표하는 생리 신호인 피부전도수준은 왼손 검지와 중지에 전극을 부착한 후 측정되었다(김철중 등, 1999; 민병찬 등, 1999; 정순철 등, 1999; 민병찬 등, 2000; 도철용과 김원근, 2005). 모든 피험자의 처음 운전 구간 1분(Driving 1min.)의 SCL의 평균값을 기준으로 2분간의 주행 구간(Driving 1min., Unexpected situation 1min.)의 SCL data를 정규화하였다.

돌발 상황 시작점 이후 브레이크를 100% 밟을 때까지의 시간을 브레이크 반응시간(Brake time)으로 정의하였다. 돌발 상황 시작점 이후 피부전도수준의 최대점까지의 평균 및 최대 크기를 각각 평균 피부전도수준(Average amplitude)과 최대 피부전도수준(Maximum amplitude)으로 정의하였고, 최대점까지 도달하는 시간을 rise time이라 정의하였다(그림 2). 또한 추돌 사고 발생 여부를 기록하였다.

추돌 여부에 따라 그리고 성별에 따라 브레이크 반응시간, 평균 피부전도수준, 최대 피부전도수준, rise time이 통계적으로 어떠한 차이가 있는지를 알아보기 위하여 이원변량분석(two-way ANOVA)를 이용하였다. 통계 분석 시 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

3. 연구 결과

표 1, 2 및 그림 3(a)와 같이 돌발 상황 시 브레이크 반응시간은 남녀 모두 추돌 사고가 발생하였을 때보다 추돌 사고가 발생하지 않았을 때 더 빨랐다($p < 0.001$). 표 1, 2 및 그림 3(b)와 같이 평균 피부전도수준은 추돌 사고가 발생하였을 때 보다 추돌 사고가 발생하지 않았을 때 남녀 모

표 1. 추돌 사고 여부 및 성별에 따른 브레이크 반응시간, 평균 피부전도수준, 최대 피부전도수준 및 Rise time의 평균과 표준편차

		Crash		Non-crash	
		Male	Female	Male	Female
Brake time [sec]	Mean	1.72	1.75	1.25	1.27
	S.D	0.25	0.32	0.50	0.41
Average amplitude [μs]	Mean	27.45	27.80	28.79	29.15
	S.D	0.70	1.60	1.54	0.82
Maximum amplitude [μs]	Mean	30.48	33.29	29.55	33.36
	S.D	2.42	4.14	1.89	4.67
Rise time [sec]	Mean	3.58	6.80	3.49	4.58
	S.D	1.20	4.60	0.91	1.82

표 2. 추돌 사고 여부와 성별을 독립변수로 하는 이원변량분석 결과

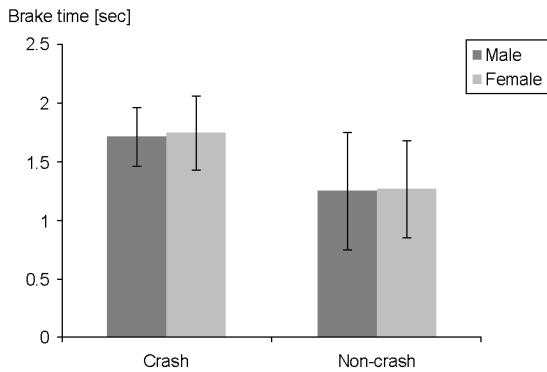
Source	type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Brake time					
Crash	2.056	1	2.056	17.987	.000
Gender	.005	1	.005	.048	.828
Crash*Gender	2.327E-5	1	2.327E-5	.000	.989
Average amplitude					
Crash	16.714	1	16.714	10.163	.003
Gender	1.149	1	1.149	.699	.408
Crash*Gender	.001	1	.001	.001	.982
Maximum amplitude					
Crash	1.693	1	1.693	.132	.718
Gender	101.500	1	101.500	7.916	.007
Crash*Gender	2.312	1	2.312	.180	.673
Rise time					
Crash	12.317	1	12.317	1.194	.281
Gender	43.103	1	43.103	4.178	.047
Crash*Gender	10.574	1	10.574	1.025	.317

두 더 크게 나타났다($p < 0.01$). 그러나 추돌 사고 여부에 따라 브레이크 반응시간과 평균 피부전도수준은 남녀 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(표 2).

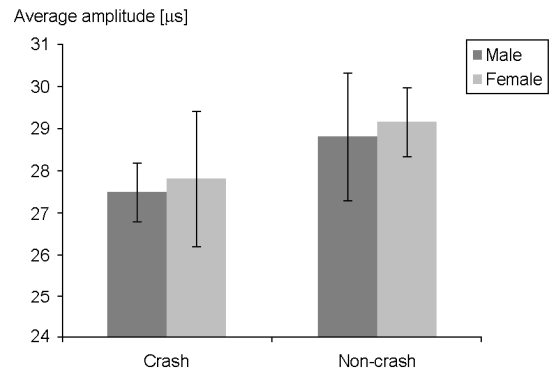
표 2 및 그림 3(c), (d)와 같이 최대 피부전도수준 및 rise time은 이원변량분석 결과 추돌 사고 여부에 따른 차이는 없었지만, 모두 성별에 따라(최대 피부전도수준 $p < 0.01$, rise time $p < 0.05$) 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 즉, 남자에 비해 여자가 더 크고, 더 길게 나타났다(표 1).

4. 결론 및 검토

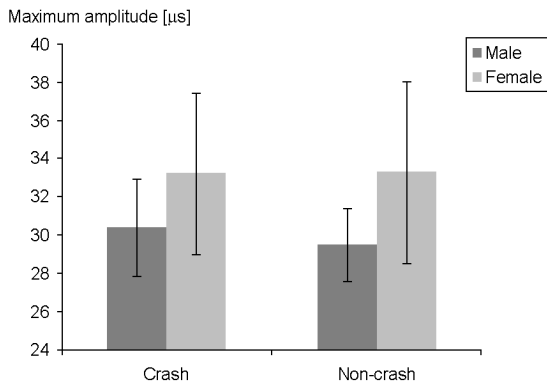
본 연구에서는 인지 반응과 감정 반응이 모두 반영될 수 있는 돌발 상황을 유발하고, 자율신경계의 반응을 대표하는 피부전기신호를 분석하여 인지 반응과 감정 반응을 민감하게 반영할 수 있는 피부전기신호의 파라미터를 규명하고자 하였다.



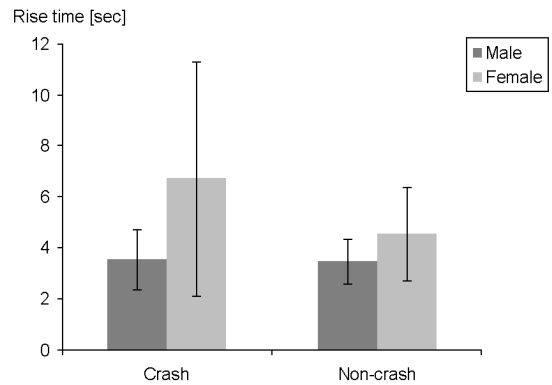
(a) 브레이크 반응시간



(b) 평균 피부전도수준



(c) 최대 피부전도수준



(d) Rise time

그림 3. 추돌 사고 여부에 따른 브레이크 반응시간, 평균 피부전도수준, 최대 피부전도수준 및 Rise time의 남녀 비교

Johansson과 Rumar(1971)는 unalerted 조건에서 경적 소리에 대한 운전자의 반응시간을 측정하였다. 도로를 주행하는 도중 경적소리가 나면 신속하게 브레이크를 조작하도록 실험을 수행하였다. 그 결과 브레이크 반응시간은 0.7~2.0초까지 나타남을 보고하였다. 본 연구에서도 선행 연구와 마찬가지로 추돌 사고 여부와 상관없이 브레이크 반응시간은 2초 이내로 나타났다.

본 연구 결과 남녀 모두 추돌 사고 여부에 따라 브레이크 반응시간 및 평균 피부전도수준에서 차이가 나타났다. 즉 돌발 상황 시 브레이크의 반응이 빠른 사람이 그리고 평균적인 피부전도수준이 높은 사람이 추돌 사고를 발생시키지 않았다. 이러한 결과로부터 돌발 상황 중 평균적인 각성도 또는 주의 집중이 높은 사람이 인지 반응, 즉 브레이크 반응을 빨리 할 수 있었고 이 때문에 추돌 사고를 발생시키지 않았을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 브레이크 반응시간과 평균 피부전도수준에서 남녀 차는 나타나지 않았다. 다양한 돌발 상황에서 남녀의 브레이크 반응시간이 차이가 있었다는 선행보고가 있었으나(Theodore et al., 1955; Johansson and Rumar, 1971; Shinar, 1978), 본 연구 결과와 비교하여 이러한 차이가 성별에 의한 차이였는지를 규명하기 위해서는 향후 운전 상황, 피험자 선정 등의 엄격한 실험 통제를 통한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

놀람, 긴장과 같은 자극이 주어졌을 때 남자에 비해 여자의 교감신경계 활성화가 더 크고 지속적이라는 것은 일반적인 사실이다(민병찬 등, 2010; 강현구와 고명연, 1995). 본 연구 결과 선행 연구 결과와 동일하게 최대 피부전도수준과 이와 관련된 rise time은 남자에 비해 여자가 더 크고 길었다. 그러나 최대 피부전도수준과 rise time은 추돌 여부에 따라 차이가 없었다. 그림 3(d)와 같이 최대 피부전도수준에 도달하는 rise time은 3초 이상으로, 브레이크 동작이 완료되는 2초 이후에도 지속적으로 또는 지연되어 나타나는 반응이다. 즉 최대 피부전도수준과 rise time은 돌발 상황 시의 운전자의 집중도 또는 각성도를 반영할 수도 있지만, 돌발 상황으로 유발된 운전자의 놀람, 긴장과 같은 감정 상황을 보다 더 민감하게 반영했을 수도 있기 때문에 추돌 여부에 따른 차이를 발견할 수 없었던 것으로 예상된다.

본 연구 결과 추돌 사고 여부에 따라 브레이크 반응시간과 평균 피부전도수준에서 분명한 차이가 있었기 때문에 평균 피부전도수준이 운전 상황과 관련된 인지 반응 또는 집중도와 관련이 높은 변수라고 판단된다. 그러나 최대 피부전도수준과 이와 관련된 rise time은 남녀 차는 나타났으나, 추돌 여부와는 관련이 없었기 때문에 운전 상황과 관련된 감정 반응과 관련이 높은 변수라고 판단된다. 본 연구는 인지 및 감정이 동시에 반영된 피부전도수준의 분석을 통해 각각에 민감한 생리 파라미터를 추출할 수 있다는 가능성을

제시한 것으로 감성 및 인지 연구에 의미 있는 결과라고 판단된다. 향후 운전과 관련된 다양한 인지 및 감정 반응을 보다 더 민감하게 변별할 수 있는 생체 신호에 관한 구체적인 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

- 강현구, 고명연, 치과시술에 따른 외래환자의 GSR 변화에 관한 연구, *대한구강내과학회지*, 20(1), 117-126, 1995.
- 김철중, 민병찬, 정순철, 김상균, 오지영, 민병운, 김유나, 자동차 속도 변화에 따른 자율신경계의 반응 연구, *공업경영학회지*, 22(52), 203-210, 1999.
- 도철웅, 김원근, 차량시물레이터 및 아이카메라를 이용한 도로안전성 평가기법 개발, *한국도로학회 논문집*, 7(4), 185-202, 2005.
- 민병찬, 정순철, 김상균, 민병운, 오지영, 장진경, 신정상, 김유나, 김철중, 박세진, 운전 및 도로 상황에 따른 자율신경계의 반응, *한국감성과학*, 2(1), 61-68, 1999.
- 민병찬, 김유나, 정순철, 김수진, 민병운, 김철중, 신미경, 화상 시물레이터에서 저속과 고속 운전 중 향에 따른 자율신경계 반응, *한국감성과학*, 3(1), 7-16, 2000.
- 민병찬, 강진규, 민수영, 이수정, 김효성, 양재웅, 최미현, 정순철, 임대운, 이정환, 화상 자동차 시물레이터를 이용한 돌발 상황 발생 시 젊은 남녀 운전자의 운전 수행 능력과 생리 반응의 차이에 관한 연구, *산업경영시스템학회지*, 33(1), 108-113, 2010.
- 신용균, 오애령, 이건호, 강수철, 이순철, *여행시간과 속도가 운전자 운전부하에 미치는 영향*, *도로교통안전협회*, 1995.
- 이수정, 민윤기, 김보성, 최미현, 양재웅, 최진승, 전재훈, 탁계래, 민병찬, 정순철, 각성 수준에 따른 3-back 과제 수행 능력의 차이, *한국감성과학*, 12(4), 373-380, 2009.
- 이원섭, 박장운, 김수진, 윤성혜, Xiaopeng Yang, 이용태, 손준우, 김만호, 유희천, 운전 생체신호 및 운전 수행도 분석 system 개발, *대한인간공학회*, 29(1), 47-53, 2010.
- 정순철, 민병찬, 김상균, 민병운, 오지영, 김유나, 김철중, 동적 시각자극과 도로 굴곡 변화에 따른 자율신경계 반응, *감성과학*, 2(2), 75-82, 1999.
- Baumgartner, T., Essle, M. and Janke, L., From emotion perception to emotion experience: Emotions evoked by pictures and classical music, *International Journal of Psychophysiology*, 60, 34-43, 2006.
- Ikehara, C. S. and Crosby, M. E., Assessing cognitive load with physiological sensors, *paper presented at the 38th Hawaii International Conference on Systems Sciences*, 2005.
- Johansson, G. and Rumar, K., Driver's Brake reaction time, *Human Factors*, 13(1), 23-27, 1971.
- Shinar, D., *Psychology on the Road*, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- Theodore, M. M., Wilbur, S. S. and Frederick, W. H., *Traffic Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1955.
- Vianna, E. P. M. and Tranel, D., Gastric myoelectrical activity as an index of emotional arousal. *International Journal of Psychophysiology*, 61, 70-76, 2006.

저자 소개

이수정 sj8618@kku.ac.kr

건국대학교 의학공학부 학사

현 재: 건국대학교 의학공학부 석사과정

관심분야: 생체 신호, 뇌기능 영상

양재용 jwyang1@kku.ac.kr

건국대학교 의학공학부 학사

현 재: 건국대학교 의학공학부 석사과정

관심분야: 생체 신호, 뇌기능 영상

김지혜 yeppari@hanmail.net

건국대학교 의학공학부 학사

현 재: 건국대학교 의학공학부 석사과정

관심분야: 생체 신호, 뇌기능 영상

최미현 mhchoi0311@gmail.com

건국대학교 의학공학부 석사

현 재: 건국대학교 의학공학부 박사과정

관심분야: 생체 신호, 뇌기능 영상

문경률 krmoon02@gmail.com

건국대학교 의학공학부 석사

현 재: 건국대학교 의학공학부 석사 졸업

관심분야: 의공학, 생체 역학

김한수 hanskim03@gmail.com

건국대학교 의학공학부 학사

현 재: 건국대학교 의학공학부 석사과정

관심분야: 의공학, 생체 역학

최진승 jschoi98@gmail.com

건국대학교 의학공학부 석사

현 재: 건국대학교 의학공학부 박사과정

관심분야: 의공학, 생체 역학

지두환 stayme157@nate.com

현 재: 한밭대학교 산업경영공학과 학사과정

관심분야: 인간공학, 작업연구, 감성공학

민병찬 bcmin@hanbat.ac.kr

현 재: 한밭대학교 산업경영공학과 교수

관심분야: 인간공학, 작업연구, 감성공학

탁계태 grtack@kku.ac.kr

미국 U. of Iowa, Biomedical Eng. 박사

현 재: 건국대학교 의학공학부 교수

관심분야: 의공학, 생체 역학

정순철 scchung@kku.ac.kr

한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

현 재: 건국대학교 의학공학부 교수

관심분야: 생체 신호, 뇌기능 영상

논문 접수 일 (Date Received) : 2010년 07월 21일

논문 수정 일 (Date Revised) : 2010년 09월 29일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 10월 01일