

## 화상 자동차 시뮬레이터를 이용한 돌발 상황 발생 시 젊은 남녀 운전자의 운전 수행 능력과 생리 반응의 차이에 관한 연구

민병찬\* · 강진규\* · 민수영\* · 이수정\*\* · 김효성\*\* ·  
양재웅\*\* · 최미현\*\* · 정순철\*\* · 임대운\*\*\* · 이정환\*\*†

\*국립 한밭대학교 공과대학 산업경영공학과  
\*\*건국대학교 의료생명대학 의공학부, 의공학 실용기술 연구소  
\*\*\*동국대학교 정보통신공학과

## Differences of Driving Performance and Physiological Responses Between Young Male and Female Drivers for Unexpected Situation Using a Graphic Vehicle Simulator

Byung-Chan Min\* · Jin-Kyu Kang\* · Soo-Young Min\* · Su-Jeong Lee\*\* · Hyo-Seong Kim\*\*  
Jae-Woong Yang\*\* · Mi-Hyun Choi\*\* · Soon-Cheol Chung\*\* · Dae-Woon Lim\*\*\* · Jeong-Whan Lee\*\*†

\*\*Dept. of Industrial and Management Engineering, Hanbat National University

\*\*Dept. of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering,  
College of Biomedical and Health Science, Konkuk University

\*\*\*Dept. of Information and Communication Engineering, Dongguk University

The purpose of this study was to investigate the differences of driving performance and physiological responses between young male and female drivers for unexpected situation using a graphic vehicle simulator. The participants included 20 college graduates; 23 males aged  $24.3 \pm 1.4$  with  $2.3 \pm 1.5$  years of driving experiences and 23 females aged  $23.2 \pm 2.1$  with  $2.2 \pm 1.7$  years of driving experience. The participants were instructed to drive the vehicle simulator which was programmed unexpected situation for two minutes. The physiological measurements used were autonomic responses of electrocardiogram (ECG) and skin conductance response (SCR), and the driving performance measurements used were the reaction time of break and the rate of collision for unexpected situation. Results showed that there were no significant differences between male and female drivers in the reaction time of break and the rate of collision for unexpected situation. Averaged R-R interval decreased and LF/HF and SCL amplitude increased for unexpected situation. There were no significant differences between male and female in the averaged R-R interval and LF/HF for unexpected situation. On the other hand, SCL amplitude of female was higher than male. Rising time to maximum SCL amplitude of female was longer than male.

**Keywords** : Driving Performance, Physiological Responses, Gender, Unexpected Situation

논문접수일 : 2009년 12월 11일    논문수정일 : 2009년 12월 11일    게재확정일 : 2009년 12월 21일

† 교신저자 jwlce95@kku.ac.kr

※ 이 논문은 건국대학교 학술 진흥 연구비 지원에 의한 논문임.

## 1. 서 론

운전 수행과 관련된 인간의 행동 및 생리 변화를 연구하기 위해 초기에는 실제 차량을 이용하여 차량 운전자 및 탑승자를 대상으로 연구가 수행되었다[5, 8, 13, 22]. 자동차 속도를 변화 시키면서 속도 증가에 따른 긴장도의 변화를 자율신경계의 분석으로부터 추출하고자 하는 연구[5], 정속 주행과 급출발, 급제동 시 자율신경계 반응의 차이 연구[8], 동적 시각 자극과 도로굴곡 변화에 따른 자율신경계 반응 연구[13] 등이 진행되었다. 이러한 연구들로부터 실제의 동적 환경에서도 운전 수행과 관련된 생리 신호를 측정할 수 있다는 가능성을 확인하였고, 긴장도가 증가하는 상황일수록 교감 신경계의 활성화가 증가한다는 사실을 알 수 있었다. 즉, 긴장도가 증가함에 따라 평균 R-R 간격의 감소, 피부전도도의 증가를 관찰할 수 있었다. 그러나 실제 차량을 이용한 연구는 항상 사고의 위험성이 존재하고, 실험 환경을 정확하게 통제할 수 없다는 단점이 존재한다[5, 8, 13, 22].

이러한 단점들을 극복하기 위해 근래에는 자동차 시뮬레이터를 이용한 연구가 시도되고 있다. 즉, 운전 능력에 영향을 미치는 파라미터 추출 연구, 화상 및 동적 자동차 시뮬레이터에서 속도 및 운전 형태에 따른 운전자 감성 평가 연구, 운전 중 피로도 조사, 작업 부하에 따른 운전자의 피로도 연구, 운전 상황에 따른 남녀 운전자의 운전 수행 능력 비교, 주행 중 타 차량의 경적음이 자율신경계 반응에 미치는 영향 등의 연구가 활발히 진행되고 있다[1~4, 6, 7, 9~12, 14~21, 23~25]. 그러나 자동차 시뮬레이터를 이용하여 운전자의 운전 수행과 관련된 행동 및 생리 변화를 다각도로 연구하기 위해서는 돌발 상황 등과 같이 다양한 시나리오에 대한 추가 연구가 필요한 실정이다. 또한 동일한 운전 상황이라도 남녀 간에 운전 수행 능력이나 생리 신호에 차이가 있다는 몇몇 연구 결과가 보고되기도 하였으나, 성별에 따라 일치되는 결과가 나타나지 않았다[1, 4].

그러므로 본 연구에서는 화상 자동차 시뮬레이터를 이용하여 예측하지 못한 돌발 상황 시 생리 변화를 관찰하고자 하였다. 특히 동일한 돌발 상황에 대한 남녀의 운전 수행 능력과 생리 반응 차이를 규명하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

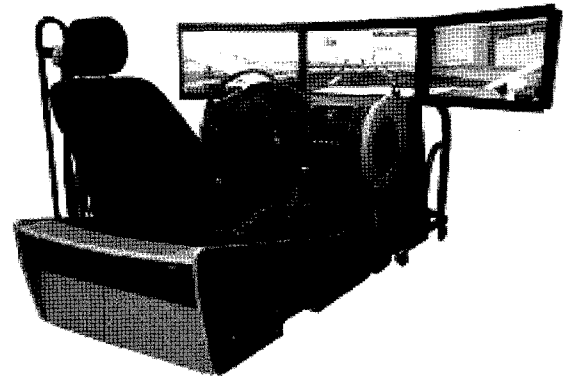
### 2.1 실험 대상

운전 경력이  $2.3 \pm 1.5$ 년인 신체 건강한 23명의 남자(평균  $24.3 \pm 1.4$ 세) 대학생과 운전 경력이  $2.2 \pm 1.7$ 년인

23명의 여자(평균  $23.2 \pm 2.1$ 세) 대학생을 피험자로 선정하였다. 실험 전 각 피험자는 생리 변화에 영향을 줄 수 있는 카페인이나 흡연, 음주를 금하였고, 실험 전 실험 내용을 충분히 설명한 후 실험을 실시하였다.

### 2.2 화상 자동차 시뮬레이터

본 실험에 이용된 화상 자동차 시뮬레이터(GDS-300S, Gridspace Co.)는 실험실에 설치되어있는 모의용 기기로 3대의 32인치 LCD 모니터를 통해 운전 시 필요한 정면과 좌/우 환경 정보들을 제공하도록 구성되었다<그림 1>. 차량 모델은 현대 자동차의 '클릭' 모델로서 운전장치(핸들, 가속페달, 브레이크 페달, 파킹브레이크, 방향지시등 레버, 비상등, 와이퍼 레버, 전조등 레버, 기어 레버, 안전벨트 등)와 표시장치(방향 지시등, 속도계, RPM 미터, 온도게이지, 연료량 게이지, 각종 경고 등)는 실제 차량과 동일하였다. 핸들 장치는 motor driven poer steering(MDPS)의 모터제어 방식을 사용하였다.

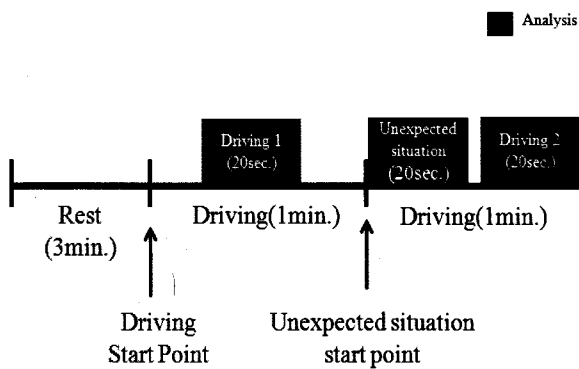


<그림 1> 화상 자동차 시뮬레이터

### 2.3 실험 절차

피험자들을 자동차 화상 시뮬레이터 운전석에 앉힌 뒤, 심전도 및 피부전기반응의 생리 신호 측정을 위한 전극을 부착하였다. 본 실험에 들어가기에 앞서 10분간 안정을 취하도록 하였다. 3분 간의 안정구간과 2분 간의 주행기간 동안 생리 신호를 측정하였다<그림 2>.

피험자는 시뮬레이터 화면에 표시되는 선행 차량과의 거리를 확인하면서 20m의 일정한 차간 거리를 유지하게 하고, 왕복 4차선 도로를 55~65km/h의 속도로 주행하게 하였다. 앞선 선행차량이 대형 차량으로 전방 신호등 정보를 전혀 인식할 수 없도록 하였다. 전방의 신호등이 갑자기 적색으로 바뀌어 대형 차량이 급정거를 하고 뒤따르던 본인의 차량도 급정거하는 시나리오로



<그림 2> 실험 절차

순간적인 돌발 상황을 유도하였다. 이때 선행 대형 차량이 급정거 하는 순간을 돌발 상황 시작점이라고 정의하였다.

2.4 데이터 측정 및 분석

돌발 상황 시 브레이크 반응 시간 및 사고 발생여부를 측정하였다. 이를 통해 남녀 간에 운전 수행 능력에 있어서 차이가 있는지를 독립 검정 t-test를 통해 분석하였다.

Biopac System의 MP100과 Acqknowledge 3.8.1(Biopac System, Inc. USA)을 이용하여 500Hz의 sampling rate로 심전도(electrocardiogram: ECG)와 피부전기반응(skin nconductance level: SCL) 신호를 측정하였다. 심전도와 피부전기반응은 자율신경계의 반응을 대표하는 생리신호이다[5~8, 13]. 심전도 신호를 측정하기 위해 참조전극은 + 전극과 대칭되는 우흉부, +/- 전극은 각각 좌흉부와 흉골 최상부에 부착하였고, 왼손 검지와 중지에서 피부전기반응을 측정하였다. 데이터 분석은 <그림 2>와 같이 처음 주행 기간 1분 중 중간의 20초(주행 1), 돌발 상황 발생부터 20초(돌발 상황), 그리고 주행 종료 직전 20초(주행 2) 기간의 세 구간 동안 측정 된 생리 신호를 분석하였다. 각각의 피험자에 대해 각 구간별(주행 1, 돌발상황, 주행 2)로 생리신호의 평균값을 계산하였다. 주행 1구간에서 모든 피험자의 생리신호의 평균을 기준으로 각 피험자의 주행 1, 돌발상황, 주행 2구간의 생리신호의 평균값을 정규화 하였다. 심전도는 R-R 간격과 low frequency (LF)와 high frequency (HF)를 이용하여 부교감 신경에 대한 교감신경의 활성비를 나타내는 LF/HF를 분석하였다. 이때 LH의 주파수 범위는 0.04-0.15Hz, HF의 범위는 0.15-0.4Hz로 설정하였다. 피부전기반응은 신호의 진폭을 계산하였다. R-R 간격, LF/HF 비 및 피부전도수준이 성별에 따라 그리고 세 구간(주행 1, 돌발 상황, 주행 2)에 따라

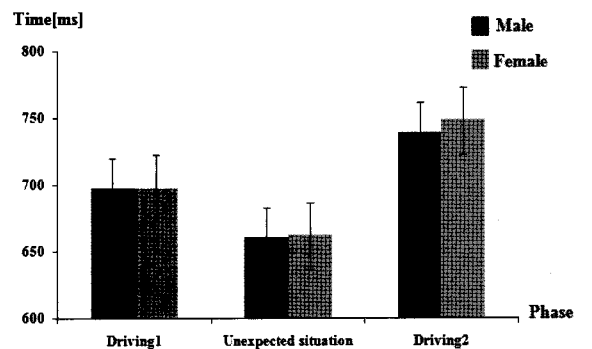
통계적으로 어떠한 차이가 있는지를 알아보기 위하여 혼합변량분석(two-way repeated measures ANOVA)을 이용하였다.

3. 결과

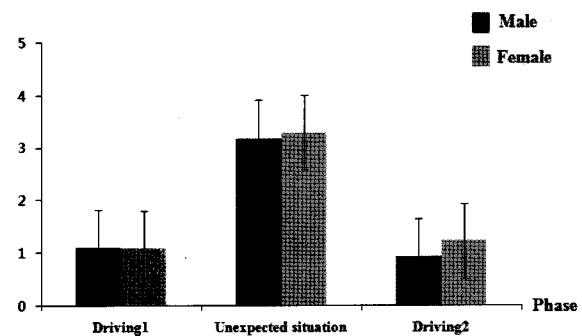
돌발 상황 시 추돌 사고 발생율은 남자가 91%, 여자는 83% 이었지만, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 돌발 상황 시 평균 브레이크 반응 시간은 남자가 0.46sec, 여자는 0.38sec이었지만, 유의한 차이는 나타나지 않았다 ( $p > 0.05$ ).

세 구간에 대한 심전도 및 피부전기반응 분석 결과를 <그림 3>에 나타내었다. 남녀 모두 돌발 상황의 R-R 간격은 주행 1, 2에 비하여 감소하였다. 이원 반복측정 변량 분석 결과 구간에 따라서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만( $p < 0.05$ ), 성별에 따라서는 유의한 차이가 없었다. 주행 1, 2에 비해 돌발 상황 시 남녀 모두 LF/HF의 비가 증가하였다. 구간에 따라서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났지만( $p < 0.05$ ), 성별에 따라서는 유의한 차이가 없었다.

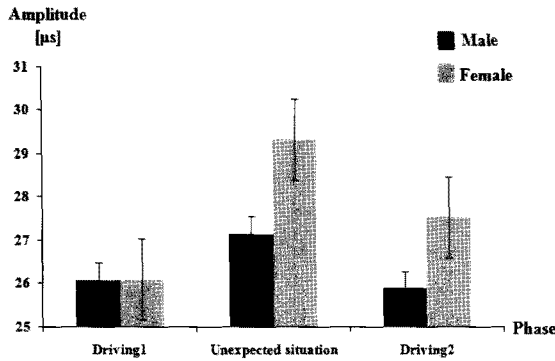
남녀 모두 주행 1, 2에 비해 돌발 상황 시에 피부전기반응의 진폭이 증가하였다. 심전도 결과와 달리, 피부



(a) R-R 간격



(b) LF/HF비



(c) 피부전기반응

<그림 3> 세 구간의 심전도 및 피부전기반응 신호의 남녀비교

전기반응은 구간 뿐만 아니라 성별에 따라서도 통계적으로 유의한 차이가 나타났다<표 1>. 즉, 여자가 남자보다 피부전기반응 크기가 더 크게 나타났다. 또한 구간과 성별에 따라 상호작용효과가 존재하여 세 구간에서 피부전기반응의 변화 양상이 남녀에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 이 또한 남자에 비해 여자의 피부전기반응의 크기가 주행 1, 2에 비해 돌발 상황 시 더 커졌다는 사실을 의미하는 것이다.

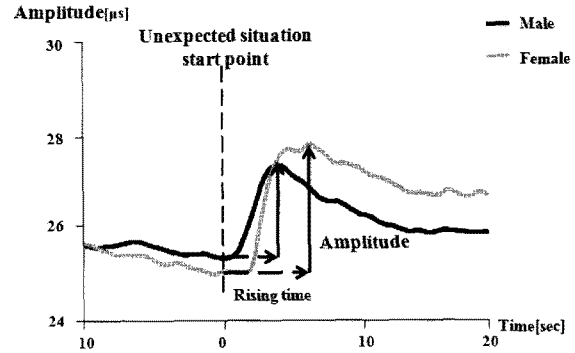
<표 1> 성별과 구간을 독립변수로 하는 피부전기반응 신호의 혼합변량분석 결과

Source	type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Phase	112.865	2	56.433	21.953	.000
Gender	55.870	1	55.870	6.170	.017
Phase*Gender	29.528	2	14.764	5.744	.005

돌발 상황 시 남녀의 평균 피부전기반응 신호의 raw data를 <그림 4>에 나타내었다. 돌발 상황이 일어난 시점을 기준으로 남자에 비해 여자가 피부전기반응의 최대 크기가 더 컸으며, 최대점까지 도달하는 시간도 더 길게 나타났다. 또한 남자에 비해 여자가 높은 수준의 피부전기반응 신호(긴장도)의 지속시간도 더 길게 나왔다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 화상 자동차 시뮬레이터를 이용하여 선행 차량이 급정거를 하고 뒤따르던 본인의 차량도 급정거해야 하는 예측하지 못한 돌발 상황 발생 시 남녀의 운전 수행 능력과 생리 반응 차이를 규명하고자 하였다.



<그림 4> 돌발 상황 시 성별에 따른 피부전기반응 신호 비교

긴장 상황을 유발시킨 선행 연구들과 마찬가지로[1, 4, 5, 8, 9, 13~16], 본 연구에서도 돌발 상황 시 심전도 및 피부전기반응 신호를 이용하여 분명한 교감 신경계 활성화를 관찰하였다. 이것은 화상 자동차 시뮬레이터를 이용하여 운전 중 인간의 감성 변화를 관찰 할 수 있다는 사실을 다시 한번 확인하는 결과이다.

주행 중 타 차량의 경적음이 갑자기 울리는 상황에서 남녀의 자율신경계 반응의 차이에 대한 연구가 수행된 바 있다[1]. 경적음 제시에 의해 남녀 모두 교감신경계의 활성화가 증가하였으나, 여자에 비해 남자의 증가량이 유의하게 더 컸다고 보고하였다. 이를 통해 경적음과 같은 경고 신호에 대한 반응이 여자에 비해 남자가 더 크고, 이로 인해 비상 상황에 대처하는 남녀의 운전 수행 능력이 다르게 나타날 수 있을 것으로 예측하였다. 남녀의 운전 수행 능력을 직접 비교한 선행 연구가 수행된 바 있다[4]. 교차로에서 갑자기 버스가 출현하는 상황에서는 남자가, 옆차로 차량이 갑작스런 끼어드는 상황에서는 여자가, 맞은편 차량의 중앙선 침범 상황에서는 남자가 더 많은 충돌 사고를 냈고, 시나리오에 따라서 브레이크 반응 시간의 남녀 차도 다르게 나타났다고 보고되었다[4]. 이러한 선행연구들을 통해 시나리오, 즉 운전 상황에 따라 남녀 운전자의 운전 수행 능력이 차이가 있을 수 있고[4], 운전 수행 능력과 생리 신호 간에 관련이 있을 수 있다는 사실을 예상할 수 있다[1].

본 연구에서 유발한 돌발 상황에서는 브레이크 반응 시간 및 사고 발생율에 있어서 남녀 차가 나타나지 않아 남녀 간에 운전 수행 능력 차이를 발견하지 못하였다. 또한 심전도 신호를 이용하여 돌발 상황 시 남녀의 차이를 살펴본 결과 남녀의 차이를 변별하지 못하였다. 이는 20초의 짧은 구간의 심전도 신호만을 분석한 것이 하나의 이유라고 사료된다. 추가 실험을 통해 남녀의 심전도 차이에 대한 정확한 검증이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 피부전기반응 신호를 이용한 결과에서는 분명한 교감 신경계 활성화 차이를 관찰할 수 있었다.

즉, 남자에 비해 여자가 피부전기반응의 최대 크기가 더 컸으며, 최대점까지 도달하는 시간도 더 길었다. 이것은 동일한 수준의 운전 수행 능력 유지를 위해 남자에 비해 여자가 더 높은 긴장도가 필요할 수 있다는 가능성을 제시하는 결과로 해석할 수 있다.

그러나 본 실험은 사고율이 80% 이상이었다. 높은 사고율 때문에 남녀 운전 수행 능력의 차이를 발견하지 못할 가능성이 있다. 또한 단순히 사고 발생으로 유발된 남녀 긴장도의 차이에 의해 교감신경계 활성화에 차이가 났을 가능성도 완전히 배제할 수 없을 것으로 사료된다. 향후 돌발 상황 사고율(난이도)에 따른 추가 연구가 수행되어야만 남녀 운전 수행 능력과 생리 신호 차이를 보다 명확히 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 실험 상황에 따라 그리고 분석 방법에 따라 차이가 있겠지만 운전 수행 시 남녀의 긴장도 변화를 변별하는데 있어서 심전도에 비해 피부전기반응 신호가 보다 더 변별력 있는 생리 신호가 될 수 있음을 예상할 수 있다. 또한 남녀 운전자의 운전 수행 능력과 생리 신호 간에 관련이 있을 수 있다는 사실을 예상할 수 있다.

향후 정확한 남녀 운전 수행 능력과 생리 신호간의 상관관계 규명을 위해서는 다양한 운전 상황과 난이도에 대한 실험이 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 김영수, 민수영, 고복수, 김진수, 이동형, 강진규, 민병찬, “자동차 화상 시뮬레이터에서 주행중 타차량의 경적음이 남녀운전자의 자율신경계 반응에 미치는 영향”, 한국산업경영시스템학회 2008년도 추계학술대회 논문집, 248-255, 2008.
- [2] 김원식, 황인태, 이미애, 김훈, “도로조명 방식에 따른 운전자 시선 및 감정 특성 연구”, 조명·전기설비학회 논문지, 22(9): 8-16, 2008.
- [3] 김종민, 노관섭, 정봉조, “차량 시뮬레이터를 이용한 장대터널 운전자 특성 연구”, 한국도로학회 2007년도 학술발표논문집, 133-138, 2007.
- [4] 김재석, 이영송, 김영석, 이운성, 박종철, 박종찬, “돌발 상황에 대한 운전자 반응 연구”, 2004년도 한국법과학회 제9회 춘계학술대회, 175, 2004.
- [5] 김철중, 민병찬, 정순철, 김상균, 오지영, 민병운, 김유나, “자동차 속도 변화에 따른 자율신경계의 반응 연구”, 공업경영학회지, 22(52): 203-210, 1999.
- [6] 도철웅, 김원근, “차량시뮬레이터 및 아이카메라를 이용한 도로안전성 평가기법 개발”, 한국도로학회 논문집, 7(4): 185-202, 2005.
- [7] 민병찬, 김유나, 정순철, 김수진, 민병운, 김철중, 신미경, “화상 시뮬레이터에서 저속과 고속 운전 중 향에 따른 자율신경계 반응” 감성과학, 3(1): 7-16, 2000.
- [8] 민병찬, 정순철, 김상균, 민병운, 오지영, 장진경, 신정상, 김유나, 김철중, 박세진, “운전 및 도로 상황에 따른 자율신경계의 반응”, 한국감성과학회지, 2(1): 61-68, 1999.
- [9] 배준형, 원웅재, 손준우, “돌발 상황에 따른 연령별 운전자 생리반응 비교를 위한 생체신호 추출, 선정 및 정량화”, 2008년도 한국자동차공학회 창립 30주년 기념 학술대회논문집, 1147-1152, 2008.
- [10] 성홍모, 차동익, 김선웅, 박세진, 김철중, 윤영로, “HRV 분석을 이용한 운전피로도에 관한 연구”, 대한의용생체공학회지, 24(1): 1-8, 2003.
- [11] 이순철, “자동차 경적과 운전 중 의사소통”, 교통안전연구 논문집, 10: 19-27, 1991.
- [12] 이운성, “교통안전 연구를 위한 차량 시뮬레이터의 개발 및 급발진 사고 응용 연구”, 한국법과학회 2002 제 3회 춘계학술대회, 64, 2002.
- [13] 정순철, 민병찬, 김상균, 민병운, 오지영, 김유나, 김철중, “동적 시각자극과 도로 굴곡 변화에 따른 자율신경계 반응”, 감성과학, 2(2): 75-82, 1999.
- [14] 정순철, 민병찬, 김유나, 신미경, 김철중, “화상 시뮬레이터에서 속도변화에 따른 운전자의 감성측정에 관한 연구”, 감성과학, 3(2): 103-112, 2000.
- [15] 정순철, 민병찬, 신미경, 김철중, “동적 시뮬레이터에서 속도와 운전 형태 변화에 따른 운전자의 감성 평가”, 산업경영시스템학회지, 24(65): 51-63, 2001.
- [16] 전효정, 민병찬, 성은정, 김철중, “자동차 시뮬레이터에서의 급출발 및 급제동에 따른 운전자 감성 평가”, 한국감성과학회지, 5(4): 51-57, 2002.
- [17] Jennifer A. H. and Rosalind W. P., “Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors,” IEEE Transaction on Intelligent Transportation system, 6(2): 2005.
- [18] Jeffrey B. B., Glenn F. W., and Carolyn R. S., “Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control,” *Biological Psychology*, 42: 361-377, 1996.
- [19] Kim, J. Y., Whang, M. C., Park, J. S., and Yoon, S. Y., “Analysis of optimal and pleasant driving condition using physiological signals,” *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 7(3): 27-35, 2004.
- [20] Kim, J. Y., Yoon, S. Y., and Park, J. S., “This study to diagnose the road-driver compatibility I: Comparison of methods for Bio-signal analysis,” *Journal of the*

- Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1) : 44-49, 2004.
- [21] Lee, W. S., Cho, J. H.; "Development of a Full scale driving simulator for traffic accident reconstruction and analysis," *International Conference on Automotive Engineering*, 198-202, 2001.
- [22] Min, B. C., Chung, S. C., Park, S. J., Kim, C. J., Shim, M. K., and Sakamoto, K.; "Autonomic responses of young passengers contingent to the speed and driving mode of a vehicle," *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(4) : 187-198, 2002.
- [23] Min, Y. K., Chung, S. C., You, J. H., Yi, J. H., Lee, B., Tack, G. R., Chun, J. H., Park, M. S., and Min, B. C.; "Young adult drivers' sensitivity to changes in speed and driving mode in a simple vehicle simulator," *Perceptual and Motor Skills*, 103 : 197-209, 2006.
- [24] Mori, Y., K. Iida, and J. Kim.; "development of the laboratory test system using virtual reality simulation investigation of reproducibility at the entrance of tunnel on expressway," *Proceedings of 21st World Road Conference*, C4-04-08(CD-ROM).
- [25] Thaomas, D. B., Herberg, K. W., Brookhuis, K. A., Muzet, A. G., Poilvert, C., Tarriere, C., Norin, F., Wyon, D. P., Schievers, G., and Mutschler, H.; "Edmonstration experiments concerning edriver status monitoring," *TUVRheinland*, 1989.