

## 자동차 시뮬레이터와 롤러코스터 시뮬레이터 주행에 따른 감성 비교

### Comparison of Human Sensibility in Driving Simulator and Roller-Coaster Simulator

민병찬\* · 전효정\*\* · 강인형\*\* · 성은정\*\* · 김철중\*\* · 윤석준\*\*\*

Byung-Chan Min, Hyo-Jeong Jeon, In-Hyeng Kang, Eun-Jung Sung,

Chul-Jung Kim, Suk-Jun Yoon

**Abstract** : In an experimental study, we assessed human sensibility in terms of psychophysiological response according to change of speeds (40, 70, 100km/h) in a driving simulator and application of motion filters (washout filter, non-washout filter) in a roller coaster simulator. For the driving and roller coaster simulators, a group of 12 healthy men in their twenties and a group of 8 healthy men in their twenties, respectively, participated. Participants each completed a simulator sickness questionnaire (SSQ), a subjective assessment of sensations of pleasantness, tension, and arousal, and perception of speed. Physiological signals were measured by 1/f fluctuation of EEG (electroencephalogram), ECG (electrocardiogram), and GSR (galvanic skin response). These were measured pre-to-post under the experimental conditions for each simulator. Subjective pleasantness, tension, arousal, and perception of speed and physiological responses indicating a feeling of pleasantness by 1/f fluctuation were higher for the roller coaster simulator than those measured for low speed driving in the driving simulator. The mean frequency of alpha band (8-13Hz) in EEG increased with exposure to the driving simulator relative to that for the roller coaster simulator. Heart rate variability and GSR were significantly changed between pre- and post- under each condition in the driving and roller coaster simulators. The data suggest that subjective sensibility was elevated according to gain of speed and variety of simulator motion, and physiological responses were activated with increased speed.

**Key words** : Human sensibility assessment, Psychophysiological response, Simulator

**요약** : 본 실험은 자동차 시뮬레이터의 속도 변화(40, 70, 100km/h)와 롤러코스터 시뮬레이터의 운동성 구현 방법(washout 필터 적용, washout 필터 비적용)에 따른 인간 감성을 탑승자의 심리·생리적 반응을 통하여 비교 평가하였다. 자동차 시뮬레이터, 롤러코스터 시뮬레이터에 각각 건강한 20대 남자 12명, 8명을 대상으로 simulator sickness, 쾌적감, 긴장감, 각성감, 속도감에 대한 주관적 평가 및 생리신호로 뇌파의 변동리듬, 심전도, 피부전기저항을 주행 전후에서 측정하였다. 결과, 자동차 시뮬레이터에서의 저속 주행보다 운동 형태가 다양한 롤러코스터 시뮬레이터 주행시 쾌적감, 긴장감, 각성감, 속도감, 뇌파 변동리듬을 통한 쾌적도가 높았다. 뇌파의 알파파 대역의 평균 주파수는 롤러코스터 주행보다 자동차 주행에서 더 높았고, 심박률과 피부전기저항은 각 주행 조건에서 주행 전후간 유의하게 변화하였다. 이상에서 주행 속도의 증가, 다양한 운동 형태의 시뮬레이터 주행시 주관적 감성은 높았고, 생리적 반응은 주행 속도 증가에 따라 활성화됨을 알 수 있었다.

**주제어** : 감성 평가, 심리생리적 반응, 시뮬레이터

\* 국립한밭대학교 산업경영공학과 인간공학연구실(Ergonomics Lab., Dept. of Industrial & Management Engineering, Hanbat National University)

\*\* 한국표준과학연구원 인간정보그룹(Ergonomics & Information Technology group, Korea Research Institute of Standards and Science)

\*\*\* 세종대학교 기계항공우주공학부(Dept. of Mechanical & Aerospace Eng. Sejong University)

## 1. 서론

인간의 감성적 변화를 측정하고 이에 대한 데이터 베이스를 구축하기 위해서는 다양한 환경과 실제 상황에서 인간이 느끼는 변화를 관찰하여야 한다. 그러나 실제 상황에서는 여러 가지 실험관찰에 관련된 변수들의 통제가 불가능하기 때문에 통계적으로 유의한 실험결과를 얻기 어렵고, 비용이 많이 드는 등 현실적으로 어려운 점이 많이 있다[1]. 근래 가상 현실과 같은 시뮬레이터 시스템을 이용하여 동적 환경에서 인간의 심리·생리적 반응의 변화에 대한 연구가 이루어지고 있다. 가상 시뮬레이터나 동적 시뮬레이터에서 자동차 주행 시뮬레이션을 이용한 속도 변화 및 급출발, 급제동과 같은 운전 형태의 변화에 따른 운전자의 심리·생리적 변화를 살펴보았다[3,4]. 또한 자동차와 항공 시뮬레이션을 이용하여 가상 현실 환경에서 인간의 심리·생리적 반응을 분석한 연구 등 여러 연구 결과가 보고되고 있다. 시뮬레이터와 관련된 연구는 자동차나 항공 시뮬레이션에서 운전자나 조종사의 피로도와 작업수행도, 작업 부하를 주관적 평가나 생리적 반응을 통하여 측정 및 평가하여 사고 예방이나 안전성을 목적으로 한 경우가 많이 있다[5-12]. 또한 시뮬레이터, 시뮬레이션과 같은 가상 현실에 노출되었을 때 실제감이나 현실감의 차이로 인한 부작용으로 심리적, 생리적 반응을 통한 Simulator Sickness에 대한 연구도 수행되었다[13,14]. 시뮬레이터와 같은 동적 가상 환경 시스템은 실제 환경에서 측정시 위험 부담을 줄이고 다양한 동적 환경을 제시할 수 있어 앞으로 널리 이용될 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 동적 시뮬레이터의 형태로 자동차 시뮬레이터와 롤러코스터 시뮬레이션을 바탕으로 한 Gimbal형 모션 시스템의 시뮬레이터를 이용하여 운전자나 탑승자의 주관적 평가 및 생리적 반응의 변화로 동적 시뮬레이터의 모션 형태에 따른 인간의 감성 변화를 비교하고자 한다.

본 실험은 동적 환경 제시 측정 시스템으로 구축된 동적 시뮬레이터에서 자동차 주행 시뮬레이션에서 속도 변화에 따른 운전자의 주관적 감성 및 생리적 반응

을 측정하였다. 그리고 Gimbal형 모션 시스템으로서 롤러코스터 주행 시뮬레이션에서 운동성 구현 방법에 따른 탑승자의 심리·생리적 반응을 관찰하였다. 그리고 2종류의 시뮬레이터에서 주행 조건에 따라 탑승자의 심리·생리적 반응을 비교 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 피험자

자동차 시뮬레이터에 대한 감성 평가에는 운전 경력이 1년 이상인 20대 남자 12명(평균연령 :  $23.5 \pm 1.5$  세)을 대상으로 하였고, 롤러코스터 시뮬레이터를 이용한 감성 평가 실험에서는 실제 롤러코스터에 대한 경험이 있는 세종대학교 남자 대학생 8명(평균연령 :  $23.2 \pm 3.7$  세)이 피험자로 참여하였다. 실험 전 피험자들에게 신경계에 영향을 줄 수 있는 음주 및 담배, 카페인 음료의 섭취를 금하였고, 실험과정을 충분히 이해시킨 후 실험을 실행하였다.

### 2.2 실험장비

실험에 이용한 자동차 시뮬레이터는 본 연구원에 설치되어 있으며, 3D graphic을 사용하여 80 inch real projection screen 위에 30(H)×25(V)의 FOV를 가지는 영상을 30frame/sec으로 투사되는 방식이고, motion은 6축의 유압시스템으로 구성되어 있다(그림 1). 주행은 기어 변속 없이 휠과 페달만을 이용하도록 하였고, 각 조건에서 제시한 속도로 3분간 일정한 차선에서 주행하도록 하였다.

롤러코스터를 모사 대상체로 한 시뮬레이터는 Gimbal형 모션 시뮬레이터로 빔 프로젝터에 의해 영상이 제시되고 시트에 안전벨트가 부착되어 있으며 몰입감을 위하여 천으로 둘러 외부와 차단시켰다(그림 2). 시뮬레이터 주행은 롤러코스터를 모의하였고 1회 주행시간은 160초로 되어 있다.

실험은 동일한 롤러코스터 주행 구간을 워시아웃

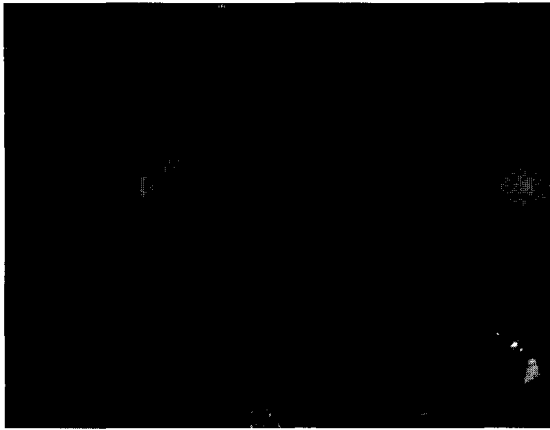


그림 1. 자동차 시뮬레이터와 주행 모습

필터를 적용한 조건(Washout)과 적용하지 않은 조건(Dynamic)의 2가지 조건으로 실시하였다.

### 2.3 주관적 평가 및 생리신호 측정

주관적 평가로서 Simulator Sickness는 Kennedy와 Lane(1993)의 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)를 이용하였고, 주관적 감성은 쾌적감, 긴장감, 각성감, 속도감에 대하여 VAS(Visual analogue scale) 식을 이용하여 평가하였다.

생리적 반응을 알아보기 위하여 심전도(ECG ; electrocardiogram)와 피부전기저항(GSR ; galvanic skin response)의 생리신호를 MP 100 system과

Acqknowledge 프로그램을 이용하여 측정하였고, sampling rate는 256Hz로 설정하였다. 심전도는 CM5 법을 이용하여 피험자의 흉부에 표면전극을 부착하였고, 피부전기저항 전극은 오른손 검지와 중지 에 부착하였다. 그리고 뇌파(EEG ; electroencephalogram)는 좌우전두엽 부위(Fp1, Fp2)의 1/f 변동리듬을 측정하였다.

### 2.4 실험과정

자동차 시뮬레이터에서 주행 조건은 40km/h, 70km/h, /h로 3분간 정속 주행하도록 하였다. 각 주행 조건에서 주행 전후에 Simulator Sickness와 주관적 감성을 측정하였고, 생리신호는 주행 전과 주행 중에 3분간 측정하였다. 피험자는 한 주행 조건에 대한 실험이 끝나면 충분한 휴식을 취한 후 다음 주행 조건에 대한 실험을 실시하였다. 피험자마다 주행 조건의 순서는 무작위로 실시하였다.

롤러코스터 시뮬레이터에서는 동일한 주행구간을 위시아웃 필터를 적용한 조건(Washout)과 적용하지 않은 조건(Dynamic)의 2가지 조건으로 실시하였고, 제시 순서는 동일한 피험자가 2가지 조건에 대하여 무작위로 실시하였다. 각 주행 조건마다 주행 전과 주행 후에 Simulator Sickness 및 주관적 감성을 측정하였고, 생리신호는 3분간 측정하였다.



그림 2. 롤러코스터 시뮬레이터의 내부 모습 및 외형

## 2.5 분석

Simulator Sickness는 SSQ 계산법에 의하여 Total sickness score를 구하였다. 주관적 감성은 피험자가 표시한 위치를 mm로 측정하여 0-100점 단위로 환산하였다. 뇌파는 좌우 평균 주파수와 주파수의 변동리듬 추출에 의하여 쾌적도를 구하였다. 심전도에서 R-peak를 추출하여 3분간 평균 R-R 간격을 구하였고, 피부전기저항은 3분간 진폭의 평균을 구하였다. 측정된 값은 모두 평균과 표준편차를 구하였고, 평균 R-R 간격과 피부전기저항은 각 주행 조건에서 주행 전에 대한 주행 후의 변화량을 구하여 분석하였다. 통계적 분석은 각 주행 조건과 주행 전후의 분석값에 대한 유의차는 SPSS 프로그램을 이용하여 paired t-test로 검증하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 Simulator Sickness

그림 3과 같이 Total score로 분석한 Simulator Sickness는 다른 주행 조건에 비해 자동차 시뮬레이터로 100km/h 주행 후, 롤러코스터 시뮬레이터에서 주행한 후 더 높았지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

### 3.2 주관적 감성 평가

쾌적감은 그림 4와 같이 자동차 시뮬레이터에서 주행시 주행 전보다 40km/h, 100km/h 주행 후에서 유의한 차이가 있었고( $p < 0.05$ ), 속도 변화에 따라서는 40km/h 주행 후보다 70km/h와 100km/h 주행 후 높았다( $p < 0.05$ ). 시뮬레이터 주행 조건에 따른 쾌적감은 40km/h 주행 후보다 롤러코스터에서 주행시 주행 조건에 관계 없이 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).

긴장감은 그림 5에서 자동차 시뮬레이터에서 주행시 70km/h 주행 전후간에 유의한 차이가 있었고( $p < 0.05$ ), 속도 변화에 따라서는 100km/h 주행 후의

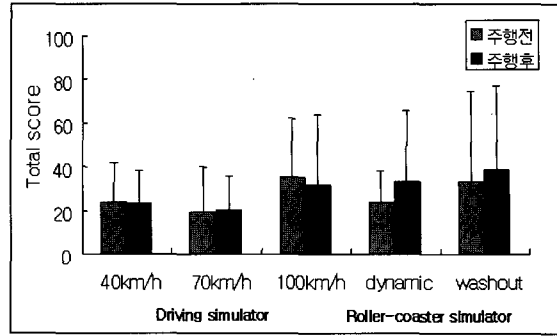


그림 3. 주행 조건에 따른 Simulator Sickness

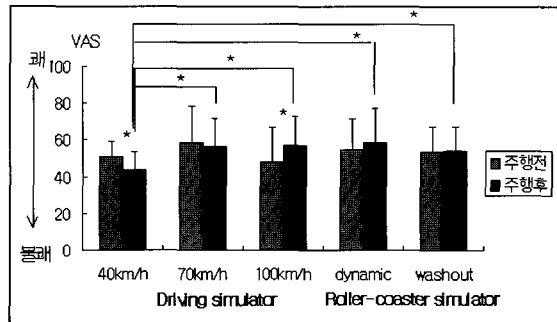


그림 4. 주행 조건에 따른 쾌적감(\*  $p < 0.05$ )

긴장감이 40km/h와 70km/h 주행 후보다 높았다( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). 시뮬레이터 주행 조건에 따른 긴장감은 40km/h 주행 후보다 롤러코스터에서 주행시 높았고( $p < 0.05$ ), 70km/h 주행 후보다 롤러코스터의 dynamic 조건에서 주행시 더 높았다( $p < 0.05$ ).

각성감은 그림 6과 같이 자동차 시뮬레이터에서 40km/h, 100km/h 주행 전후간 유의한 차이가 있었다( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). 속도 변화에 따른 각성감은 40km/h 주행 후와 70km/h 주행 후, 70km/h 주행 후와 100km/h 주행 후 두 주행 조건 간에 유의한 차이가 있었고( $p < 0.01$ ), 40km/h 주행 후보다 100km/h 주행 후에서도 유의한 차이가 있었다( $p < 0.001$ ). 각 시뮬레이터에서 주행 조건에 따른 각성감은 자동차 시뮬레이터에서 40km/h, 70km/h 주행에 비해 롤러코스터에서 dynamic 조건으로 주행시 유의하게 높았고( $p < 0.01$ ), 40km/h 주행에 비해 washout 주행에서도 더 높았다( $p < 0.05$ ).

속도감은 그림 7에서 자동차 시뮬레이터에서

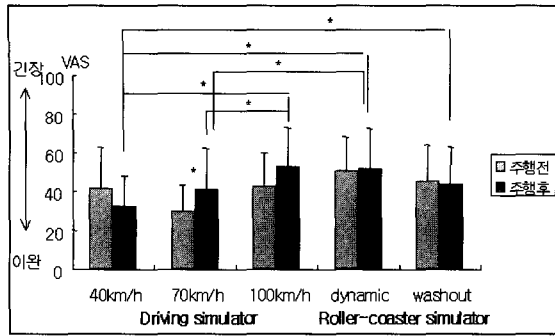


그림 5. 주행 조건에 따른 긴장감(\* p<0.05)

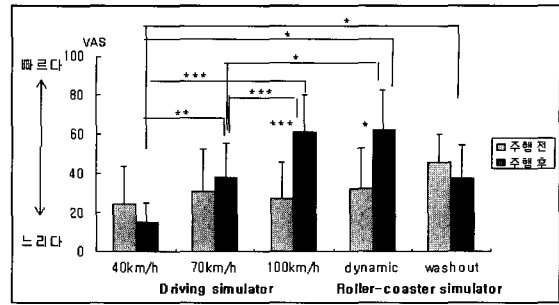


그림 7. 주행 조건에 따른 속도감(\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001)

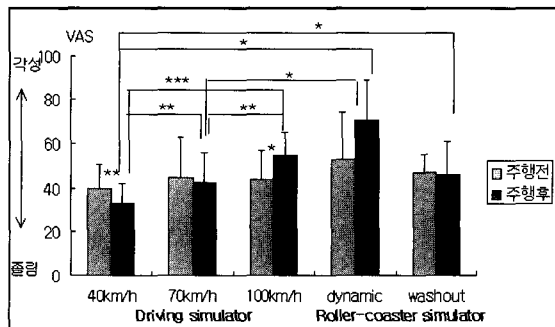


그림 6. 주행 조건에 따른 각성감(\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001)

100km/h, 롤러코스터 주행 조건에서 dynamic 주행시 주행 전후간 유의한 차이가 있었다(p<0.001, p<0.05). 속도 변화에 따른 속도감은 40km/h 주행 후보다 70km/h 주행 후에서 유의하게 높았고(p<0.01), 40km/h와 70km/h 주행 후보다 100km/h 주행 후 유의하게 높았다(p<0.001). 주행 조건에 따라서는 40km/h 주행 후보다 dynamic 조건과 washout 조건으로 주행시 속도감은 유의하게 높았고(p<0.001, p<0.05), dynamic 조건에서의 주행시 70km/h 주행 후보다도 높았다(p<0.05).

### 3.3 생리적 반응

각 시뮬레이터에서 주행 조건에 따른 뇌파의 1/f 변동리듬을 통해 측정된 좌우뇌  $\alpha$ 파 대역(8~13Hz)의 평균 주파수는 그림 8과 같다. 좌우 평균 주파수는 자동차 시뮬레이터에서 주행시 롤러코스터 주행 조건에서보다 높았으며 washout 주행 조건에 비해 70km/h,

100km/h 주행에서 유의하게 높았다(p<0.05).

뇌파의 주파수 fluctuation(변동 리듬) 추출 원리에 의하여 쾌적도도 산출하였다. 각 시뮬레이터에서 주행 조건에 따른 쾌적도는 그림 9와 같이 자동차 시뮬레이터에서 주행했을 때보다 롤러코스터에서 주행시 더 높았다. 통계적으로 40km/h 주행보다 롤러코스터에서 dynamic, washout 조건에서 쾌적도는 유의하게 높았고(p<0.05), 70km/h 주행에 비해 washout 조건에서 주행시(p<0.01), 100km/h 주행에 비해 dynamic, washout 주행 조건에서도 유의하게 높았다(p<0.05, p<0.01). 이와 같은 분석 결과에서 쾌적도는 자동차 시뮬레이터에서 속도 변화에 따른 주행 조건과 롤러코스터의 dynamic 주행 조건보다도 washout 주행 조건에서 특히 더 높았다.

심전도에서 각 시뮬레이터에서 주행 조건에 따른 평균 RR 간격은 그림 10과 같다. 그림에서 가로축은 주행 전의 평균 RR 간격이며 세로축은 주행 전에 대한 주행시 평균 RR 간격의 변화량이다. 주행 전보다 모든 주행 조건에서 평균 RR 간격은 감소하였으나 조

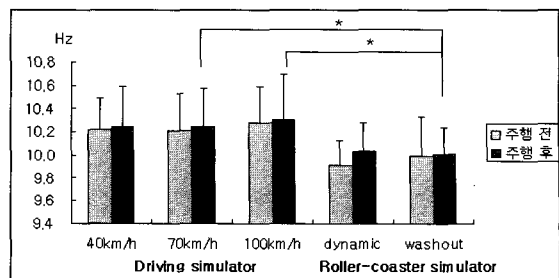


그림 8. 주행 조건에 따른  $\alpha$ 파 대역의 평균 주파수(\* p<0.05)

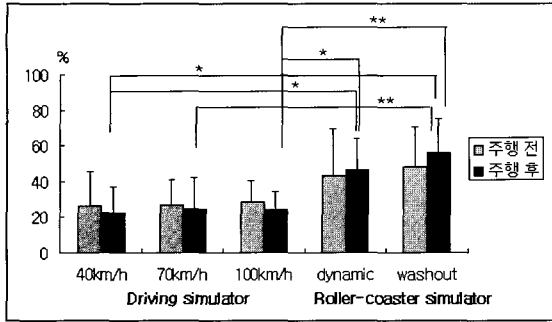


그림 9. 주행 조건에 따른 쾌적도 (\* p<0.05, \*\* p<0.01)

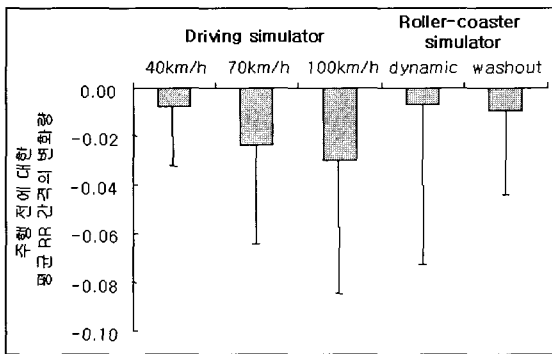


그림 10. 주행 조건에 따른 평균 RR 간격의 변화

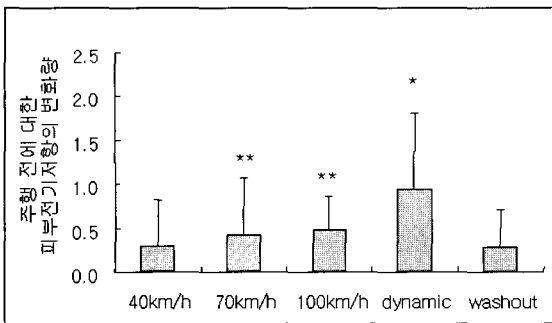


그림 11. 주행 조건에 따른 피부전기저항의 변화 (\* p<0.05, \*\* p<0.01)

건간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 자동차 시뮬레이터에서 주행 속도 조건에 따라서는 주행 전보다 주행 속도가 증가할수록 평균 RR 간격은 감소하는 것으로 나타났다.

각 시뮬레이터에서 주행 조건에 따른 피부전기저항의 변화는 그림 11과 같이 주행 전보다 모든 주행 조건에서 피부전기저항의 진폭은 증가하였다. 자동차 시뮬레이터에서는 70km/h, 100km/h 주행 전후간 피부

전기저항 변화량의 유의한 차이가 있었고(p<0.01), 롤리코스터의 dynamic 주행 조건에서도 피부전기저항은 주행 전후간 유의한 차이를 나타냈다(p<0.05). 그러나 주행 조건 간에는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

#### 4. 요약 및 토의

본 실험은 자동차 시뮬레이터에서 속도 변화에 따른 주행, 롤리코스터 모사 시뮬레이터에서 Gimbal형 모션 시스템의 주행 조건에 따른 탑승자의 심리적, 생리적 반응을 비교 평가하였다. 두 종류의 시뮬레이터에서 주행 조건에 따라 탑승자의 심리·생리적 반응을 비교한 결과 주관적 감성은 쾌적감의 경우 자동차 시뮬레이터에서 저속 주행(40km/h)에 비해 롤리코스터에서 주행시 더 높았다. 긴장감, 각성감, 속도감은 탑승자가 저속 주행에 비해 롤리코스터에서 dynamic, washout 조건에서 주행시, 70km/h 주행보다 dynamic 조건에서 주행시 더 크게 느꼈다. 그리고 자동차 시뮬레이터에서 속도 변화에 따른 감성은 속도가 증가할수록 쾌적감, 긴장감, 각성감, 속도감을 더 크게 느낀 것으로 나타났다. 뇌파의 1/f 변동 리듬을 이용한  $\alpha$ 파 대역의 평균 주파수는 롤리코스터 주행보다 자동차 시뮬레이터 주행 조건에서 더 높았지만, 쾌적도는 평균 주파수의 경향과 다르게 롤리코스터 주행 조건에서 더 높게 나타났다. 생리 신호 분석 결과 자동차 시뮬레이터에서 주행 속도가 증가할수록 평균 RR 간격은 감소하여 심박률은 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 피부전기저항은 일부 주행 조건에서 주행 전후간에 진폭 변화량의 유의한 차이를 나타냈다. 속도 변화에 따른 심리·생리적 반응에 대한 선행 연구와 비교하면 가상 및 동적 시뮬레이터, 실제 차량을 이용한 주행 실험에서 주행 속도가 증가할수록 쾌적감과 긴장감을 더 많이 느낀 것으로 나타난 결과와 유사하였고, 피부전기저항과 심박률의 변화도 비슷하였다[3,4,15]. 심박변화율은 동적 환경에서 피험자의 감정이나 생리적 부하를 평가하는 데 유용하다고 한다

[5.기. 본 실험에서 주행 속도에 따른 심박률의 변화는 확인할 수 있었으나 롤러코스터 주행 조건에 따른 변화의 차이는 크게 나타나지 않았다. 1/f 변동 리듬을 이용한 뇌파는  $\alpha$ 파 성분의 평균 주파수가 롤러코스터에서 주행했을 때보다 자동차 시뮬레이터에서 주행시 더 높았는데, 이는 자동차 시뮬레이터에서 주행시 운전자가 직접 속도 및 방향을 조정해야 하므로 피험자가 직접 조정하지 않은 롤러코스터보다 더 주의력이 필요하였다고 생각된다. 쾌적도는 자동차 시뮬레이터에서보다 롤러코스터에서 주행시 더 높았는데, 롤러코스터 주행은 갑작스런 속도 변화, 낙하, 360° 회전 등 자동차 주행보다 더 다양한 동적 변화가 피험자에게 영향을 준 것으로 추측된다. 그리고 Simulator Sickness는 고속 주행(100km/h), 롤러코스터에서 주행시 다른 주행 조건에 비해 높은 경향을 나타냈으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었으므로, 이 실험에 큰 영향을 미치지 않는 것이다.

이와 같은 결과에서 주행 속도의 증가, 운동성이 다양한 환경에서 탑승자의 주관적 감성은 더 높았으며, 생리적 반응은 더 활성화되었다.

시뮬레이터를 이용한 동적 환경에서의 감성 평가는 실제 상황에 따르는 위험 부담을 최소화할 수 있고, 복합적인 자극 제시가 가능하여 제품에 대한 평가에 다양하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 감성은 사회, 문화적 경험에 따라 그 특성이 다르므로 개인간의 차이를 최소화하여 객관화된 감성을 도출하기 위해서는 앞으로 더 많은 대상자에 대한 측정 자료가 요구된다.

### 참고문헌

[1] 박세진(1997). 감성측정평가 시뮬레이터의 개발 및 전망, 전자공학회지, 24-11, 1344-1349.  
 [2] Kennedy, R. S., & Norman, E. L.(1993). Simulator Sickness Questionnaire : An enhanced method for quantifying simulator sickness, *The International Journal of Aviation Psychology*, 3-3, 203-220.

[3] 정순철, 민병찬, 김유나, 신미경, 김철중(2000). 가상 시뮬레이터에서 속도 변화에 따른 운전자의 감성 측정에 관한 연구, 한국감성과학회지, 3-2, 103-112.  
 [4] 정순철, 민병찬, 신미경, 김철중(2001). 동적 시뮬레이터에서 속도와 운전 형태 변화에 따른 운전자의 감성 평가, 산업경영시스템학회지, 24-65, 51-63.  
 [5] Jang, D. P., Kim, I. Y., Nam, S. W., Wiederhold, B. K., Wiederhold, M. D., & Kim, S. I.,(2002). Analysis of physiological response to two virtual environments : driving and flying simulation, *Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 5-1, 11-18.  
 [6] Jorna, P. G.,(1993). Heart rate and workload variations in actual and simulated flight, *Ergonomics*, 36-9, 1043-1054.  
 [7] Roge, J., Pebayle, T., & Muzet, A.,(2001). Variations of the level of vigilance and of behavioural activities during simulated automobile driving, *Accident ; analysis and prevention*, 33-2, 181-186.  
 [8] Matthews G., Dom, L., Hoyes, T. W., Davies, D. R., Glendon, A. I., & Taylor, R. G.(1998). Driver stress and performance on a driving simulator, *Human Factors*, 40-1, 136-149.  
 [9] Thiffault P., & Bergeron, J.(2003). Monotony of road environment and driver fatigue : a simulator study, *Accident; analysis and prevention*, 35-3, 381-391.  
 [10] Ylonen, H., Lyytinen, H., Leino, T., Leppaluoto, J., & Kuronen, P.(1997). Heart rate responses to real and simulated BA Hawk MK 51 flight, *Aviation, space, and environmental medicine*, 68-7, 600-605.  
 [11] Veltman, J. A., & Gaillard, A. W.(1996). Physiological indices of workload in a simulated flight task, *Biological psychology*, 42-

- 3, 323-342.
- [12] Joma, P. G.(1993). Heart rate and workload variations in actual and simulated flight, *Ergonomics*, 36-9, 1043-1054.
- [13] Miller, J. C., Sharkey, T. J., Graham, G. A., & McCauley, M. E.(1993). Autonomic physiological data associated with simulator discomfort, *Aviation, space, and environmental medicine*, 64-9, 813-819.
- [14] 민병찬, 전효정, 성은정, 정순철, 김철중(2003). 동적 자동차 시뮬레이터에서 Simulator Sickness와 생리적 반응에 대한 연구, *한국산업경영시스템학회지*, 26-1, 22-29.
- [15] Min, B. C., Chung, S. C., Park, S. J., Kim, C. J., Sim, M. K., & Sakamoto,K.(2002). Autonomic responses of young passengers contingent to the speedand driving mode of a vehicle, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 187-198.