

**내리막길에서 카트(Cart)를 타고 내려가는 인체의
안면 근육, 땀, 맥박, 호흡 변화에 대한 연구**
**Facial EMG, Skin Conductance, Heart Beat and Respiration Changes
to Short Downhill Cart Riding**

김영수, 박준호, 유일선, 김원준, 임솔이, 유경진, 이면우

서울대학교 산업공학과 인간공학 연구실

ABSTRACT

속도의 변화가 있는 운동을 하는 사람의 생체 신호 특성을 파악하기 위해 내리막길에서 카트를 타고 내려가는(이하 카트 라이딩) 인체의 안면 근육 EMG, Sweat rate, 맥박, 호흡 변화를 측정했다. 내리막길의 경사는 10°였고 독립변수로는 카트 라이딩의 구간(출발, 가속, 감속, 정지), 피실험자의 성별(남, 여), 탑승 횟수(1 회, 2 회)를 설정하였다. 종속변수는 안면 근육의 EMG(부정적, 긍정적 감정을 대표하는 두 부위), Sweat rate, 맥박, 호흡이었다. 자료의 통계적 분석 결과를 보면 구간별로 안면 근육의 EMG 근전도(남 : 5.0~23.0 μ V, 여 : 7.1~57.3 μ V), Sweat rate(남 : 6.3~7.3 μ V, 여 : 4.7~8.2 μ V)에서 유의한 변화($p < 0.05$)를 보인 반면 맥박과 호흡은 유의한 변화를 나타내지 않았다. 또한 성별효과를 보면 Sweat rate 를 제외한 여성 피실험자들의 생체 신호 amplitude 가 남성 피실험자들에 비해 컸다(amplitude 차이 : 안면 근육 EMG = 4.69 μ V, 17.52 μ V, 맥박 = 4.47bpm, 호흡 = 12.38bpm). 마지막으로, 반복 탑승에 따른 생체 신호의 증가가 둔해진다는 것도 알 수 있었다.

1. 중력을 이용한 놀이기구 탑승자들의 인체 반응

우리는 주변에서 흔히 미끄럼틀, 썰매와 같이 중력을 이용한 놀이기구를 볼 수 있는데, 이처럼 사람들이 내리막길을 타고 내려가는 이유는 재미와 스릴 때문이다(Harris, 2008). 기존 연구 결과에 의하면, 내리막길에서 사람이 느끼는 중력과 가속도는 사람의 전정기관, 압력 기관, 촉각 신경,

시/청각 신경 등에 자극을 준다(BIAA, 2003). 이때 나타나는 인체 반응으로는 긴장감, 두려움, 짜릿함 등이 있고, 이러한 환경적인 변화에 대응하기 위하여 인간은 평형 감각을 발휘하고 동공을 확장하여 정면을 응시함으로써 상황에 대처하고자 한다(NASA, 2000).

그러나 현재까지 중력과 가속도를 이용한 놀이기구에 대해서 연구된 바로는 물리학적인 운동과 역학(임성민, 2002), 사고 및 안전(신동주,

2000; Frost, 2002) 그리고 중력과 가속도에 의한 각종 인체 반응(NASA, 2000; BIAA, 2003)이 주를 이루고 있지만, 그 연구 분야가 광범위하고 대개 신체 기관 중에서도 시각과 감각 기관에만 국한되어 있다.

기존 연구와 달리 본 논문은 중력과 가속도를 이용한 카트 라이딩 운동시 나타나는 생체 신호들 중 안면 근육의 EMG 와 Sweat rate, 맥박, 호흡의 변화에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 놀이기구 탑승 중에 나타나는 인체의 반응에 대한 기존 연구

빗면에서의 가속도를 이용한 놀이기구의 대표적인 예에는 미끄럼틀과 워터슬라이드 그리고 썰매가 있으며 그 밖에 다른 형태로 중력을 이용하는 놀이기구들의 예에는 그네, 시소, 보트스윙 그리고 롤러코스터가 있다 (표 1). 이들에 관여하는 인체 기관에는 시각, 청각, 촉각, 전정기관, 운동기관 등이 있다.

빗면에서 미끄러져 내려가는 물체의 운동을 살펴보면, 놀이기구의 요소들 중 가장 큰 것을 차지하는 것이 바로 경로와 힘 (중력 또는 외부동력) 이다. 구체적으로, 운동 방향이 단방향인지 양방향인지에 따라 나뉘며, 또한 외부동력의 사용 여부에 따라 나뉘기도 한다.

표 1. 놀이기구의 분류

		경로	
		고정	가변
외부동력사용안함	단방향	미끄럼틀	썰매
	양방향	시소	그네
외부동력사용함	고도 (전방향)	보트스윙	롤러코스터

3. 실험 설계

실험의 분석을 위해 세운 실험 계획은 ‘부분 균형 불완비 블록 설계 (partially balanced incomplete block design)’ 로 하였으며, 전체 실험의 독립변수와 종속변수들은 표 2 에 요약하였다.

표 2. 생체 신호 측정을 위한 실험계획

독립변수			종속변수
탑승횟수	성별	라이딩 구간	
1 회 (19 명)	남 (12 명)	출발 전 5 초	안면근전도 (추미근, 대관골근) 피부전기전도 맥박 호흡수
	여 (7 명)	출발~가속 (2 초) 가속~감속 (3 초)	
2 회 (18 명)	남 (12 명)	감속~정지 (3 초)	
	여 (6명)	정지 후 5 초	

3.1 경사면

실험은 서울대학교 공과대학 39 동 대학원 교육 연구동의 지하 2 층 주차장 입구에서 수행되었다. 연구동 건물의 지하 2 층 주차장의 높이는 그림 1 과 같이 아랫면으로부터 3 m, 경사

각도는 10° 로, 총 활주 거리는 16.1 m 이며 정지 거리는 6.75 m 였다.

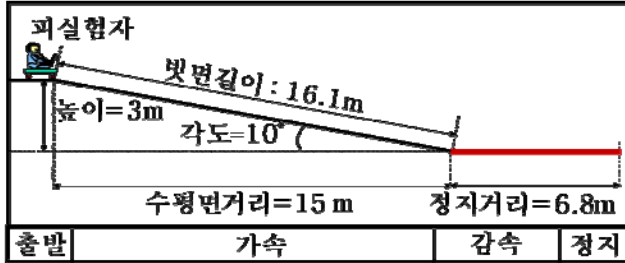


그림 1. 본 연구에 사용된 경사면의 단면도

실험에 사용한 카트는 그림 2의 화물용 운반구로, 가로 46.5cm, 세로 74.5cm 였고, 바퀴 지름은 11cm, 수레의 두께는 4cm, 카트 판의 모서리와 바퀴 사이의 길이는 15cm 였다.

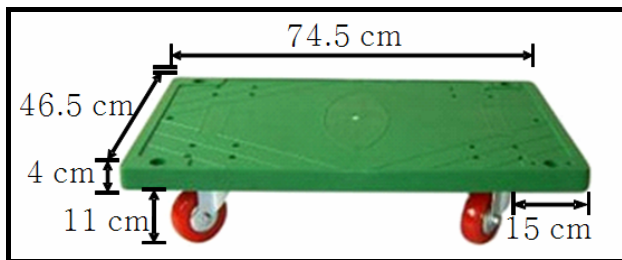


그림 2. 피실험자가 탑승한 카트

3.2 피실험자

피실험자들은 생체신호 측정에 지장이 없는 남자 22 명 및 여자 13 명을 모집하였고(나이 분포 27.38 ± 5.34) 질병이 있거나 건강 상태가 좋지 않은 피실험자들은 모집 대상에서 제외하였다 (예: 호흡/Sweat rate 가 불안정한 감기 환자, 근육통이 있거나 과로한 학생 등).

3.3 생체 신호 측정

생체 신호 측정을 위해 Thought Technology 社의 ProComp+ 를 사용하였다.

센서를 부착한 피실험자의 모습과 측정 부위는 아래의 그림 3 과 같다.

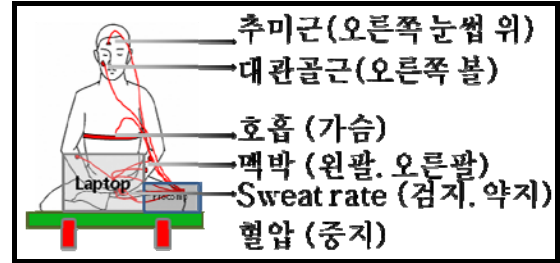


그림 3. 카트에 앉은 피실험자의 정면도 및 생체 신호 측정 항목, 부위 및 명칭

각 센서로부터 기록된 생체신호 데이터는 Thought Technology 社의 Biograph 2.0 분석 소프트웨어를 사용하여 추출하였으며, 원 생체신호의 추출 시 근전도, Sweat rate, 혈압 그리고 호흡 센서의 신호 기록 속도는 32 Hz, 심전도 센서의 데이터 기록 속도는 256 Hz 였다.

신호 추출률은 근전도, Sweat rate, 혈압 그리고 호흡 센서에 대해서 32 Hz, 심전도와 이의 파생 변수인 맥박과 호흡수의 추출률은 4 Hz 였다. 근전도와 Sweat rate 그리고 심전도 신호의 단위는 μV (microvolts), 혈압과 호흡의 원 생체신호 단위는 %, 맥박과 호흡수의 단위는 bpm (beats per minute) 이었다.

4. 생체 신호 분석 결과

측정된 신호내 잡음을 처리하기 위해 웨이블릿 필터링을 통해 신호를 전처리하고 통계 분석을 위한 토대를 마련하기로 하였다. 각 생체신호를 1Hz 에서의 주파수 이상의 대역폭을 필터링함으로써 그림 4 와 같이 측정치들의 잡음들을 제거하였다. 웨이블릿 필터링을 위해서 AutoSignal 1.7 평가판을 사용하였다.

카트 라이딩 중에 발생한 피실험자들의 생체 신호들을 분석하기 위해 기초통계량을 구하고 SPSS15.0 과 R 을 사용해 다변량/단변량 분산분석 (ANOVA/MANOVA)을 수행했다. 그리고 그 결과를 토대로 Tukey 의 최소제곱차이 분석을 하여, 구체적으로 독립변수의 어떤 특성들이 종속변수들에게 통계적으로 유의한 차이를 얼마나 발생시켰는지를 확인하였다

4.1 구간 및 성별에 따른 생체 신호 반응의 증/감 현상

개별 생체 신호의 변화가 구체적으로 어떠한 양상을 띠는지를 살펴보기 위하여 기초 통계량을 구간별로 추출하였다.

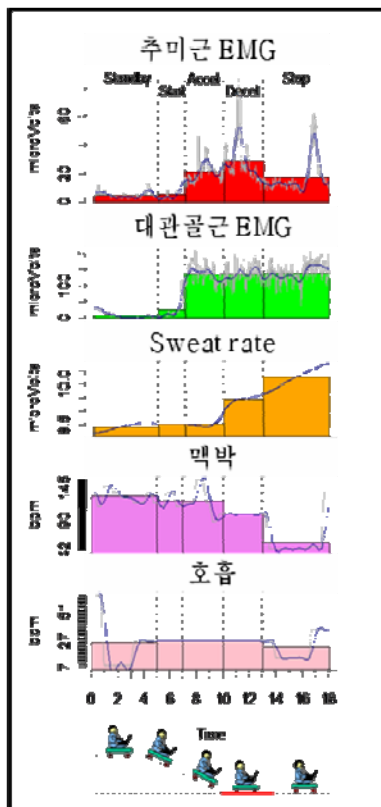


그림 4. 카트 라이딩 중 측정한 생체 신호(회색), 웨이블릿 filtered 신호(남색) 그리고 각 구간별 평균

안면 근육은 출발에서 가속할 때 까지는 추미근의 반응이 증가하다가 (남:3.3~6.2 μV , 여:5.8~13.4 μV), 감속하기 시작할 때부터 정지할 때까지는 위 근육의 반응이 점차 낮아지면서 대관골근 근육의 반응(그림 6)이 증가함을 볼 수 있다 (남:17.6~23.0 μV , 여:40.7~43.1 μV).

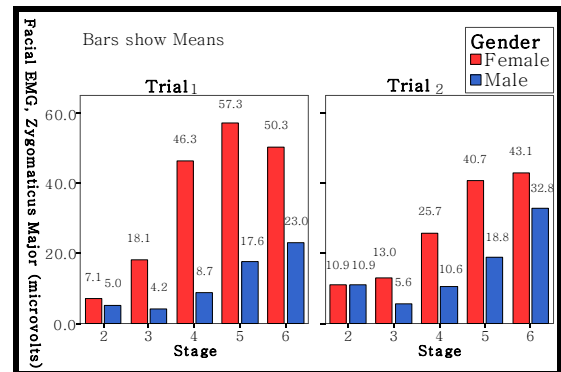


그림 6. 피실험자들의 안면 근육 변화(대관골근, μV)

긴장/흥분의 정도를 측정하는 Sweat rate (그림 7)는 가속하기 시작할 때부터 서서히 증가하다가 (남:6.0~6.6 μV , 여:4.7~6.2 μV), 정지한 뒤에는 다시 감소하는 양상으로 변화하였다.

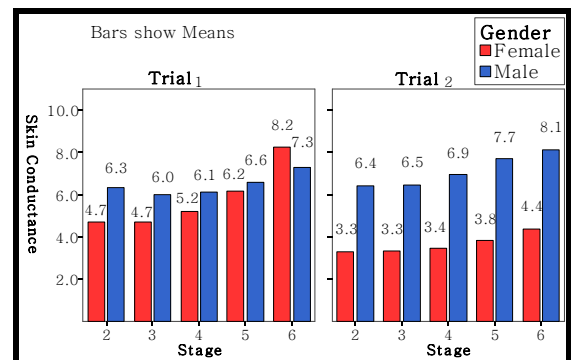


그림 7. 피실험자들의 Sweat rate 변화(μV)

맥박은 각 구간별로 특별한 차이를 보이지 않았지만, 성별에 따라서는 차이를 보였다. 특히 여자 피실험자들의 경우 평균 맥박(96.5 μV)이 남자 피실험자들의 경우(86.6 μV) 보다 높았기

때문에 짧은 내리막길 카트 타기에 대한 반응이 남성보다 더 강하다고 말할 수 있다.

호흡 신호는 실험의 각 구간별로 차이가 있는데, 남자 피실험자들의 경우 실험 전에는 호흡이 정상시의 상태를 유지하다가 가속 구간에서 호흡이 빨라졌음을 알 수 있다 (23.1~37.0bpm). 여자 피실험자들의 경우에는 첫 번째 실험에서는 실험 전에 정상시의 수준을 유지하다가 카트를 타면서부터 호흡이 급격하게 증가했음을 볼 수 있다(33.7~54.6bpm).

다변량 분산분석 결과, 주효과 세 가지, 카트 라이딩의 구간(출발, 가속, 감속, 정지), 피실험자의 성별(남, 여), 탑승 횟수(1 회, 2 회)에 따른 생체 신호 반응의 차이가 존재했다.

다변량 분산분석 결과, 각 구간별로 안면 근육 근전도와 Sweat rate 가 유의하게 변화하였으며($p<0.05$), 맥박과 호흡은 유의한 차이를 보이지 않았음을 알 수 있다. 또한 맥박에는 성별 차이도 존재하지 않는다는 것을 알 수 있다.

표 5 의 인체 반응에 대한 성별 쌍대 비교를 보면, 안면 근육 두 부위의 EMG amplitude(4.69, $17.52\mu V$) 와 호흡 수(12.38bpm)는 피실험자들 중 여자들이 남자들보다 더 높다고 나타났으며($p<0.05$), 피부전기전도의 경우 남자들보다 오히려 감소하였음을 보여준다 ($-2.07\mu V$).

표 5. 인체 반응의 성별 쌍대 비교 결과

Dep. Var	Gender	Diff. (I-J)	Std. Error	Sig.*	95% C.I.	
					Lower	Upper
fEMGc	F M	4.69	0.76	0.00	3.19	6.19
fEMGz	F M	17.52	3.20	0.00	11.22	23.83
SC	F M	-2.07	0.41	0.00	-2.87	-1.27
IIR	F M	4.47	2.64	0.09	0.73	9.67
RR	F M	12.38	3.73	0.00	5.03	19.73
Based on estimated marginal means						

마지막으로 탑승 반복 수에 따른 생체 신호에 대해 표 6 을 보면, 통계적으로 유의한 변화를 나타낸 생체 신호는 부정적인 감정의 측정에 사용되는 추미근 의 근전도 신호뿐이며($p<0.05$), 안면 근육 중 대관골근의 근전도, 피부전기전도, 맥박 그리고 호흡은 유의한 변화를 보이지 않았다.

표 6. 반복에 따른 인체 반응의 쌍대 비교 결과

Dep. Var	Trial	Diff. (I-J)	Std. Error	Sig.*	95% C.I.	
					Lower	Upper
fEMGc	1 2	1.96	0.76	0.01	0.46	3.46
fEMGz	1 2	2.55	3.20	0.43	-3.76	8.86
SC	1 2	0.75	0.41	0.07	-0.05	1.55
HR	1 2	4.51	2.64	0.09	-0.69	9.71
RR	1 2	0.99	3.73	0.79	-6.36	8.34
Based on estimated marginal means						

5. 결론 및 추후 연구 방향

본 논문에서 수행한 실험의 결과를 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다:

1. 카트 라이딩 중에 안면 근육 근전도, Sweat rate, 맥박 및 호흡이 일시적으로 증가한다.
2. 카트 라이딩을 반복해서 할 경우 생체 신호 반응의 변화량이 줄어든다.
3. 카트 라이딩에 대해 여성 피실험자들이 남성 피실험자들보다 더 큰 변화를 보였다.

이러한 결론을 도출하는 데에 있어서 본 연구의 부족한 점에는 다음과 같은 점들이 있었다:

1. 실험 외부 환경 통제가 부족하였다. 날씨나 기온, 차량 통행이 완벽히 통제되지 못했고, 실험 반복의 시간 간격에 격차를 두어야 했음에도 불구하고 그렇게 하지 못하였다.

2. 실험 장비를 피실험자가 들고 타야 했으며, 안전장치가 없었기 때문에 불안함을 느꼈을 수도 있다.

3. 카트가 내려오면서 회전하는 것을 방지할 방법이 없었다.

추후 연구에서는 경사 각도, 주행 길이에 따라, 생체 신호 반응이 어떠한 양상으로 나타나는 지에 대하여 더 깊은 연구를 할 수 있을 것이다. 또한 카트 라이딩의 트랙 내에서 운동 각도가 변하는 ‘곡선’ 가속 운동 중의 생체 신호 반응이 어떻게 변하는 지에 대하여 연구할 수도 있을 것이다. 마지막으로, 실제 롤러코스터처럼, 빗면을 따라 내려갈 때뿐만 아니라 올라갈 때에도 발생하는 생체 신호를 측정하여 빗면 운동 전의 생체 신호 반응에 대하여 연구할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김청택, 2008, 2008 년 2 학기 다변량분석법 강의록, 다변량분석 MANOVA
- Harris T., 2008, How Roller Coasters Work, <http://science.howstuffworks.com/roller-coaster1.htm>, 접근 일자: 2009 년 5 월 14 일
- Brain Injury Association of America(BIAA), 2003, Blue Ribbon Panel Review of the Correlation Between Brain Injury and Roller Coaster Rides, National Institute of Child Health and Human Development
- NASA, 2000, Review of NASA's Biomedical Research Program, National Academy of Sciences
- 임성민, 2002, 놀이공원의 재미와 물리학 - 특집, <http://mulli2.kps.or.kr/~pht/11-6/020617.htm>, 접근일자 2009 년 6 월 9 일
- 신동주, 2000, 유치원과 보육시설의 놀이시설물 안전사고 실태 및 안전사고의 원인에 대한 교사들의 인식 조사, 한국영유아보육학 25:223-241
- Frost J., Sutterby J., Therrell J., Brown P. and Candra Thronton, 2002, Does height matter? - Playgrounds - Cover Story - preventing accidents, http://findarticles.com/p/articles/mi_m1145/is_4_37/ai_85882887/, 접근일자 2009 년 6 월 10 일
- Horai J., 1976, The Effects of Sensation Seeking, Physical Attractiveness of Stimuli, and Exposure Frequency on Liking, Social Behavior and Personality 4-2:241-246