

■ 論 文 ■

오토 차량 운전시 보조 발판이 제동 시간에 미치는 영향

The Effect of the Heel Rest on Braking Reaction Time while Driving Vehicle with Automatic Transmission

김 정 룡

(한양대학교 정보경영공학과 교수)

조 영 진

(한양대학교 산업공학과 박사과정)

박 지 수

(한양대학교 산업공학과 박사과정)

서 경 배

(한림재활의학과 의원)

목 차

- I. 서론
- II. 연구방법
 - 1. 실험개요
 - 2. 실험참가자
 - 3. 실험장비
 - 4. 실험설계
 - 5. 실험과정
- III. 연구결과
 - 1. 모의 운전장치 적응 결과
 - 2. 반응 시간 측정 결과
- IV. 토의 및 결론
- 참고문헌

Key Words : 보조 발판, 주행 안전, 급제동, 반응 시간, 모의 운전 실험

요 약

본 연구에서는 오토차량 운전자의 피로를 덜어주기 위해 개발된 보조 발판(heel rest)에 대한 안전성 테스트를 실시하였다. 기존에 개발된 자동차 모의 운전장치를 이용하여 30대, 40대, 50대 운전자 남녀 각 10명씩 60명의 실험참가자를 대상으로 보조 발판을 장착했을 때와 그렇지 않을 때 주행 상황 하에서의 주행 중 급제동 능력(반응 시간)을 측정하였다. 30초간의 자율적인 초기 적응 과정과 실험 환경에 적응하기 위한 훈련을 진행하고, 반응 시간 측정을 실시하였다. 반응 시간 측정 실험에서는 실험참가자로 하여금 가상 주행 운전 상황에서 임의의 시간에 주어 진 갑작스런 신호(붉은색 신호등 표시)에 대하여 반응을 하도록 하였다. 실험 결과, 보조발판은 사용하지 않았을 때와 비교하여 급제동시 반응 시간에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운전자의 하지 관절과 근육 피로를 감소시키기 위한 보조 발판이 급제동과 같은 위급한 상황에도 일반 페달과 유사한 반응시간을 보인다는 것을 확인해 주었다.

The purpose of this study was to test the safety of the heel rest which was made for reducing the automobile driver's muscle fatigue with automatic transmission. Sixty subjects participated in the test, including ten males and ten females in 30s, 40s, 50s, respectively. Simulator consisted of automobile cockpit, accelerator and brake pedal sensor, heel rest, and driving displays. 30 seconds were given to subjects to be accustomed to the simulator environment. They also had one pre-trial to use the brake pedal according to the experimental scenario. They were told to step on the brake pedal immediately as soon as the red light was on the display. The reaction time representing the foot travel time between accelerator and brake pedal was measured with/without the heel rest. In results, there was no significant difference in reaction time between conditions with/without heel rest. The result indicated that the heel rest used in this study would be a safe accessory for drivers who need to reduce the fatigue of the muscle or joint during driving.

1. 서론

국내 자동차 보유대수의 증가와 더불어 국내 운전 가능 인구가 증가하고 있다. 2004년 경찰청의 통계에 따르면 국내 인구 중 약 2,200만 명의 인구가 운전면허를 소지하고 있으며, 이 중 여성의 운전면허 보유율이 37%를 차지할 정도이고, 고령운전자의 수도 늘어나고 있는 현실이다.

일반적으로 수동 변속기가 장착된 자동차의 운전자들은 자동차 페달을 동작하기 위해 클러치, 제동 페달, 가속 페달의 조작을 많이 하게 되고, 이러한 조작은 운전자들의 반복적인 하지 동작을 유발하게 한다. 따라서 운전자들은 페달 조작을 조금이나마 줄이기 위하여 자동 변속기가 장착된 자동차를 선호하게 되고 이에 대한 보급대수가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 이러한 자동변속기 장착차량의 증가는 오른쪽 다리만을 반복적으로 사용하는 상황을 만들어 장시간 운전이나 하지근육이 약해진 운전자에게는 또 다른 불편요인으로 작용하기도 한다.

통계청의 운수업 통계조사에 따르면 2003년 현재 오토 차량을 소유하고 있는 운전자 중에서 하루 8시간 이상을 운전하는 운수업 종사자가 97만에 이른다고 한다. 이러한 현실에서 운전자 하지 근육의 피로감을 줄일 수 있는 방안이 연구되었고, 그 대안으로 보조 발판(heel rest)이 개발되었으며, 보조 발판 피로도 효과의 검증에 관한 연구가 진행되어 왔다. 김정룡(2002, 2005)은 선행 연구에서 운전자의 피로를 줄일 수 있도록 개발된 보조 발판이 하지근육 피로에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였고, 그 결과 보조 발판이 근육 사용의 감소와 근육 피로도를 감소시키는 유의한 효과를 나타낸다고 밝혔다. 그러나 기존 연구에서는 보조 발판의 안전도에 대한 검증이 실시되지 않았다.

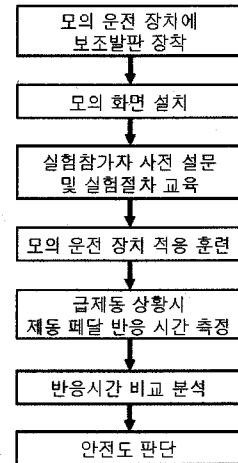
따라서 본 연구에서는 기존에 개발된 보조 발판 사용 시, 안전성의 문제를 살펴보기 위해, 운전자의 발 움직임 변화가 제동시간에 어떤 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험개요

본 실험은 자동변속기 자동차 운전자를 대상으로 보조발판의 사용이 안전도에 미치는 영향을 평가하기 위

하여 계획되었다. 보조발판의 유무에 따라 급제동 상황 시 가속페달과 제동페달 이동 간 반응 시간을 측정하고 이를 안전도 판단의 기준으로 사용한다. 실험의 전체적인 흐름은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 보조발판의 안전도 판단 흐름도

2. 실험참가자

실험장비와 실험계획에 대한 검증을 위해 예비 실험에 10명의 실험참가자가 참여하였다. 실험참가자의 운전습관에 따른 결과의 편향성을 최소화하기 위해 운전면허 소지자 및 운전면허 미소지자를 혼합하여 선정하였다. 본 실험에서는 다양한 연령과 성별을 고려하여 30대, 40대, 50대 남/여 각 10명씩 총 60명을 실험에 참여시켰으며, 운전면허 소지자와 미소지자간의 차이가 발견되지 않아 운전면허를 소지한 사람으로만 구성하였다. 운전면허를 소지하고 있는 운전자에 대한 정보는 <표 1>과 같다.

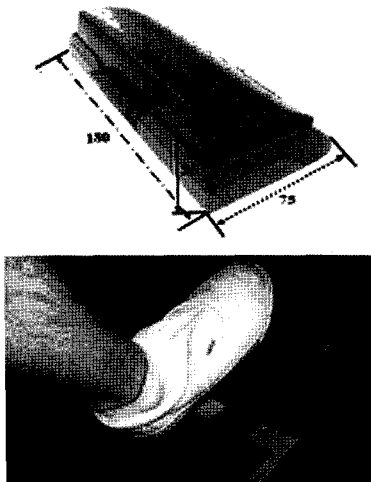
<표 1> 실험참가자의 정보

성별 \ 연령		30대	40대	50대
		나이	32.5±2.0세	45.7±2.5세
남자	키	177.1±6.0cm	170.1±5.2cm	165.6±5.4cm
	운전경력	7.8±4.1년	19.7±6.7년	25.2±7.4년
	나이	34.5±3.9세	44.9±2.5세	52.1±1.6세
여자	키	159.2±2.7cm	161.8±3.6cm	155.8±5.0cm
	운전경력	7.8±5.6년	7.0±4.1년	11.7±4.6년
	나이	33.5±3.2세	45.3±2.4세	53.1±2.4세
계	키	168.2±10.2cm	166.0±6.1cm	160.7±7.1cm
	운전경력	7.8±4.7년	13.4±8.5년	18.5±9.2년

3. 실험장비

1) 보조 발판

보조 발판의 기존의 연구(김정룡, 2002, 2005)에서 평가되었던 보조 발판을 사용하였다. 실험에 사용된 보조 발판은 에드보우사 (ED BEAU Co. Ltd)의 'LEGFORT' 제품을 사용하였고, 발판의 부착 형태는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 보조 발판의 모양과 부착위치

2) 자동차 모의 운전장치

실험을 위하여 인체공학연구소에서 제작한 자동차 모의 운전장치(driving simulator)를 사용하였다. 모

의 운전장치는 정적 모의 운전장치로 <그림 3>과 같은 형태로 구성이 되었고 각각의 기능은 다음과 같다.

(1) 제동 페달, 가속 페달

화면에 나타나는 주행상황에 대하여 반응하며 페달을 밟았을 때 유격의 정도가 엔코더로 전달된다.

(2) 엔코더(encoder)

페달을 밟은 정도를 감지하며 유격에 비례하여 신호를 나타낸다.

(3) 데이터 수집 시스템(control station)

엔코더의 신호를 정량적으로 변환하며 프로그램을 통하여 시간에 따른 제동 페달과 가속 페달의 반응을 감지한다.

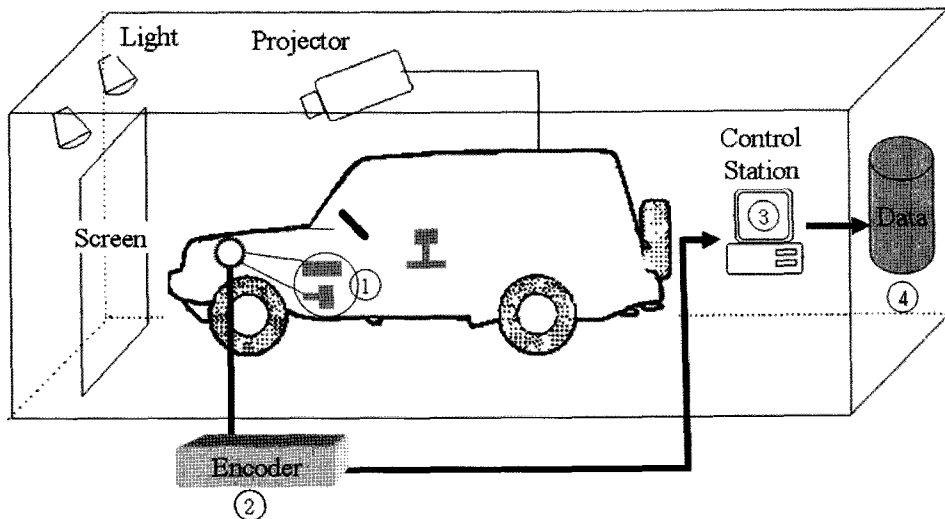
(4) 데이터(data)

컴퓨터를 통해 변환된 데이터를 이용하여 제동 페달과 가속 페달의 반응을 시간으로 환산하여 반응정도를 계산하고 저장한다.

4. 실험설계

1) 귀무가설

제동 페달과 가속 페달을 조작하는 과정에서 하지에 피로를 감소시켜 줄 목적으로 사용된 보조 발판이 주행



<그림 3> 자동차 모의 운전장치의 구성

안전도에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 “보조 발판의 사용은 주행 중 제동 페달 조작 시 반응 시간에 영향을 미치지 않는다.”라는 귀무가설을 설정하였다.

2) 실험계획

본 실험은 3(나이) × 2(성별) × 2(보조발판 유무) mixed-factors design (2 between-subjects factors, 1 within-subject factor)으로 나이, 성별, 보조 발판의 유무를 독립변수로 사용하였고, 가속 페달 조작 간 제동 페달을 밟는 반응 시간을 종속변수로 선정하였다. 반응 시간은 운전자가 가속 페달을 밟고 주행하는 도중 돌발 신호를 발견한 후 가속 페달에서 발이 떨어지는 시점부터 제동 페달을 밟기 시작하는 시점까지의 시간을 측정하였다 (William 외 3인, 2003).

5. 실험과정

실험은 사전 설문 및 교육, 모의 운전장치 적응, 반응 시간 측정의 세 단계로 진행되었다.

1) 사전 설문 및 교육

실험참가자는 실험을 하기 전에 실험자에 대한 기본적인 설문을 실시한다. 기본적인 설문은 운전자의 나이, 키, 성별, 운전경력, 현재 운전차량 등의 내용을 포함하고 있다. 설문이 끝난 후 실험자는 실험참가자에게 자동차 모의 주행 운전에 대한 실험 진행절차, 실험 중 유의사항 등에 대한 설명을 하였다. 실험자는 실험참가자로 하여금 실험을 위해 편안한 신발(평소 운전에서 사용하는 신발)을 착용하도록 하되 여성 운전자의 경우 신발의 굽 높이에 의한 영향을 최소화하기 위하여 5cm 이하의 굽을 착용하도록 통제하였다.

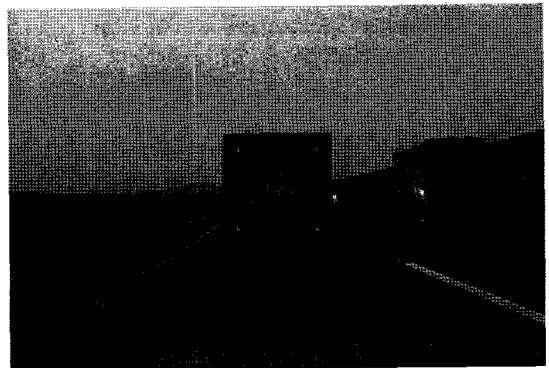
2) 모의 운전장치 적응

실험참가자는 실험 개요에 대한 설명을 듣고 자동차 모의 운전장치에 착석하도록 하였다. 자동차 모의 운전장치와 페달의 위치에 대한 적응을 위해 시내 주행 상황 화면을 보면서 30초 동안 자율적으로 페달 밟는 연습을 하도록 유도하였다. 그 후 실험을 위해 제시될 주행화면 및 반응 실험 과정을 이해시키기 위해 4분 20초 동안 주행 중 화면 내 신호등의 정지 신호에 따라 5회의 제동 페달 조작 리허설을 진행하였다. 이 과정에

서는 녹음된 멘트를 사용하여 실험 과정을 유도하여 실험자의 불규칙한 멘트에 의해 발생할 수 있는 오차를 예방하였다. 실험 리허설은 녹색 신호등 표시에 가속 페달을 밟고 있다가 붉은색 신호등이 나타나면 빠른 속도로 제동 페달을 밟는 과정을 반복하는 것으로 하였다. 리허설 후 최종적으로 3분 동안 5회의 페달 반응 속도 평가를 통해 안정된 수행도를 나타내는 것을 확인한 후 본 실험에 들어갔다. <그림 4>는 모의 운전장치 적응 훈련 및 반응시간 평가를 위한 화면이다.

3) 반응 시간 측정

페달 적응 훈련을 통과한 실험참가자를 대상으로 자동차 모의 주행 중 급 제동시 반응 시간을 측정하였다. <그림 4>와 같이 80km의 고속도로 주행화면이 사용되었고, 화면에 붉은색 신호등이 들어오면 즉각적으로 제동 페달을 밟도록 하였다. 실험참가자 중 절반은 보조발판이 장착된 페달을 먼저 사용하였고 나머지 반은 보조발판이 장착되지 않은 일반 페달을 먼저 사용하였다. 실험 순서는 성별과 나이에 따라 랜덤하게 배열하였다.



<그림 4> 모의 운전장치 적응실험 및 반응시간 측정용 화면 (정지 신호)

6. 데이터 분석

본 실험은 반응시간 측정용 정지신호에 대한 페달의 반응 시간을 측정하는 것으로 통제할 수 있는 변수 외의 조건(주의분산 등)을 배제시킬 필요가 있었다. 그리하여 실험과정에서 얻은 데이터 중 실험 참가자의 주의 부족이나 화면에 대한 이해부족으로 즉각적인 제동이 이루어지지 않은 경우에는 화면 상황에서 요구하는 반응 시간을 대변하는 데이터로 볼 수 없어 분석에서 제

외시켰다.

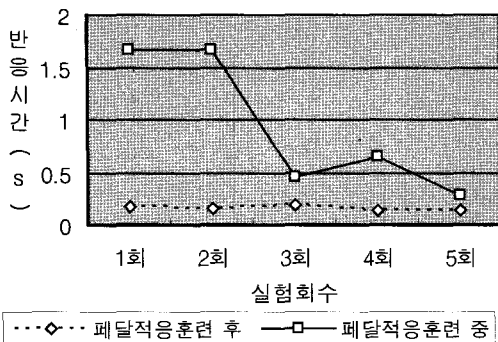
30대, 40대, 50대의 나이에 의한 그룹별, 남, 녀 성별, 보조 발판의 사용 유무에 대한 집단 간 비교를 위해 반응 시간에 대한 분산분석(analysis of variance)을 실시하였다.

분산분석 결과를 바탕으로 주요 인자에 대한 단순효과분석(simple effect test)을 실시하고 그 결과를 제시하였다.

III. 연구결과

1. 모의 운전장치 적응 결과

예비실험으로부터 실험참가자들은 30초 이내의 자율적 페달 조작과 실험 환경에 적응하기 위한 5분간 5회의 급제동이 포함된 리허설을 통해 실험환경에 적응한 것으로 판단되었다. <그림 5>는 모의 운전장치 적응 훈련(리허설) 중, 반응 시간의 변화 및 리허설 후의 반응 시간의 변화를 보여주고 있다. 적응 훈련 과정에서는 반응 시간의 변동이 많이 나타나지만 적응 훈련이 끝난 후에는 매우 안정된 반응시간을 보여주는 것을 관찰할 수 있었다.



<그림 5> 모의 운전장치 적응 훈련 과정(리허설) 중과 적응 훈련(리허설) 후의 반응 시간

2. 반응 시간 측정 결과

연령, 성별, 보조발판의 유무에 따른 반응시간의 변화를 통계적으로 분석하기 위해 분산분석을 실시하였다. 그 결과 <표 2>와 같이 연령, 보조발판의 유무는 1%의 유의 수준 내에서 유의한 결과를 나타내지 않았

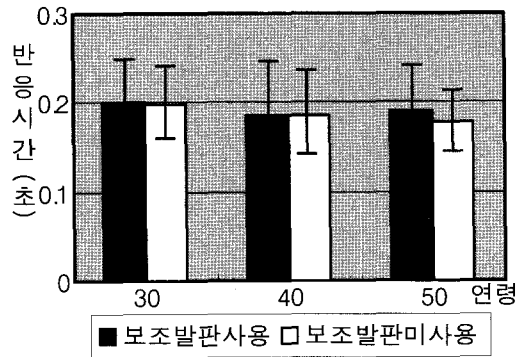
<표 2> 연령, 성별, 보조발판의 유무에 따른 페달 반응시간의 분산분석 결과

Source	df	SS	MS	F value	Pr > F
연령	2	0.56044319	0.28022160	0.72	0.4901
성별	1	5.32863452	5.32863452	13.76	0.0005*
연령×성별	2	0.37252021	0.18626011	0.48	0.6210
보조발판유무	1	0.06555668	0.06555668	1.22	0.2753
연령×보조발판유무	2	0.06639885	0.03319942	0.62	0.5440
성별×보조발판유무	1	0.04353754	0.04353754	0.81	0.3730
연령×성별×보조발판유무	2	0.02975465	0.01487733	0.28	0.7598

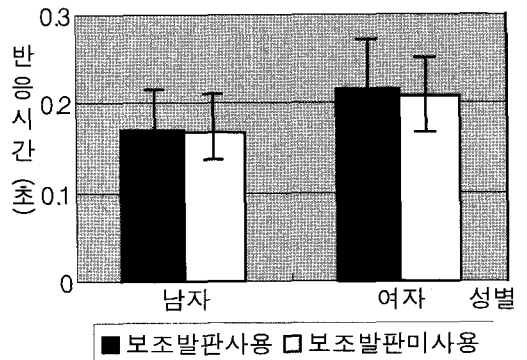
* p < 0.01

고, 성별에 대해서만 유의한 차이를 나타냈다. 또한, 연령, 성별, 보조발판의 유무의 상호작용에서도 유의한 차이가 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다.

이것은 통계적으로 "보조발판의 사용이 페달의 반응 시간에 영향을 미치지 않는다."는 귀무가설을 기각할 수 없다는 것을 의미한다. 즉 보조발판의 사용은 운전자의 페달 반응시간에 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. <그림 6>, <그림 7>은 각각 연령대와 성별에 따른 반응 시간의 변화를 나타내고 있다.



<그림 6> 보조발판의 사용 유무에 따른 연령대별 반응 시간의 차이



<그림 7> 보조발판의 사용 유무에 따른 성별 반응 시간의 차이

IV. 토의 및 결론

기존 연구(김정룡 외 2인, 2002; 김정룡, 서경배, 2005)에서는 보조 발판의 기능이 근육의 피로도를 감소시켜주는 효과가 있다는 것이 밝혀졌으나, 이러한 보조 발판을 실제 운전 상황에 적용하기 위해서는 무엇보다도 사용 시 안전성에 대한 검증이 요구되었다.

그러므로 본 연구에서는 실제 차량에 장착이 용이하도록 설계된 보조 발판을 가지고, 과연 이러한 보조 발판이 급제동시 운전자의 제동동작에 어떤 영향을 주는지를 관찰하였다. 주 운전 연령대인 30~50대 60명의 운전자를 대상으로 실험을 실시하였고, 그 결과 보조 발판을 사용한 경우와 사용하지 않았을 경우 주행 중 주어지는 급제동 상황에 대한 운전자의 페달 반응 시간에 유의한 차이가 없음을 발견하였다. 보조 발판을 처음 사용하는 경우, 보조 발판의 위치가 운전자의 뒤꿈치 밑에 있기 때문에 급제동시 발의 전방 이동을 방해하여 안전운전에 지장을 줄 수도 있을 것으로 예상할 수 있으나, 실제로는 기존 페달과 별다른 차이 없이 안전한 제동이 실행되었음을 알 수 있었다.

한편, 실험참가자들은 마치 새로운 자동차를 탔을 때와 같이 모의 자동차 환경에 적응하는데 일정한 시간을 소요하였다. 이러한 현상은 보조 발판의 장착 유무와 상관없이 이루어졌다. 실험참가자들은 보조 발판이 달린 페달을 사용하는 경우에도 짧은 시간 안에 페달작동에 익숙해지는 모습을 보여주었다. 실제로 운전자들은 30초간의 자율적 페달 연습과정과 실험자가 제공한 주행 화면을 보면서 단 5회의 페달 제동 연습을 하였다. 실제로, 보조 발판은 새로운 발목 동작을 요구하지 않고, 다만 발의 초기 위치의 변화에 익숙해지지만 하면 되기 때문에 이를 위한 운전자의 추가적인 노력과 시간이 소요되어야 한다고 보기는 어렵다. 그러므로 보조 페달 적응 시간은 운전자가 새로 구입한 자동차의 페달에 익숙해지는데 필요한 시간 정도가 될 것으로 판단되었다.

〈그림 5〉에서 보면 페달 반응 시간의 평균을 보면, 40대, 50대가 30대 보다 다소 빠른 경향을 나타내고 있는데, 이것은 40대나 50대 실험참가자의 대부분의 운전경험이 30대에 비해 상대적으로 오래되었기 때문이라고 추정된다.

〈그림 8〉, 〈그림 9〉는 남녀 성별에 따른 연령대별 반응 시간의 차이를 나타내고 있다. 성별 반응 시간을 비교한다면 남자 운전자의 경우가 여자 운전자의 경우보다 30대, 40대, 50대 모두 빠른 반응 시간과 적은

변이(표준편차)를 나타내고 있다. 그러나 이러한 차이는 성별 차이 외에도, 남성과 여성의 신발에 의한 기능적 차이 또는 운전 경력의 차이일 수도 있어 성별 차이로만 결론을 내리기는 어려운 점이 있다.

실험이 끝나고 설문에서는 보조 발판 사용 후 장/단점에 대해 의견을 물어보았다. 장점으로는 페달 조작 시 발이 편해서 제동에 유리했다는 의견이 60명 중에 17명(28.3%)이 있었고, 불편한 점으로는 처음 사용하는 것이어서 익숙하지 않다는 의견이 8명(13.3%)이 있었다.

결론적으로 자동차 운전 중 운전자의 피로를 덜어주기 위해 개발된 보조 발판은 본 실험에 사용된 페달의 형태와 재질에 한정되기는 하나, 짧은 학습시간 동안에 적응이 가능하고, 급제동시 제동시간에 영향을 미치지 않는다는 것을 보여주었다. 추후, 이러한 보조페달 장비는 장시간 운전자나 하지 피로를 감소시키고자 하는 운전자에게 유용한 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 사이버 경찰청(2004), 남녀별 운전면허 소지자 현황, <http://www.police.go.kr/>.
2. 통계청(2003), 운수업 통계조사, <http://www.nso.go.kr/>.
3. 김정룡, 서경배, 박형진 (2002). "인체공학적 자동차 페달의 평가를 위한 근육 피로도 및 족압 측정", 대한인간공학회 추계학술대회, pp.173~177.
4. 김정룡, 서경배 (2005). "자동차 페달 반복 사용 시 보조 발판이 하지근육 활동과 피로에 미치는 영향", 대한인간공학회지, 24(4), pp.55~62.
5. William C., Peter D., Matthew W., and William P. B. (2003), "Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response", Accident Analysis and Prevention, 35, pp.495~500.

✉ 주 작성자 : 김정룡

✉ 교신저자 : 김정룡

✉ 논문투고일 : 2005. 10. 13

✉ 논문심사일 : 2005. 11. 22 (1차)

2005. 12. 27 (2차)

✉ 심사판정일 : 2005. 12. 27

✉ 반론접수기한 : 2006. 6. 30