Title

Driving Performance of Adaptive Driving Controls using Drive-by-Wire Technology for People with Severe Physical Disabilities

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to develop and evaluate high technology adaptive driving controls, such as mini steering wheel-lever system and joystick system, for the people with physical disabilities in the driving simulator.

Background: The drivers with severe physical disabilities have problems in operation of the motor vehicle because of reduced muscle strength and limited range of motion. Therefore, if the remote control system with driver-by-wire technology is used for adaptive driving controls in people with physical limitations, the disabled people can improve their quality of life by driving a motor vehicle.

Method: We developed the remotely controlled driving simulator with drive-by-wire thechnology, e.g., mini steering wheel-lever system and joystick system, in order to evaluate driving performance in a safe environment for people with severe physical disabilities. STISim Drive 3 software was used for driving test and the customized Labview program was used in order to control the servomotors and the adaptive driving devices. Thirty subjects were participated in the study to evaluate driving performance associated with three different driving controls: conventional driving control, mini steering wheel-lever controls and joystick controls. We analyzed the driving performance in three different courses: straight lane course for acceleration and braking performance, a curved course for steering performance, and intersections for coupled performance.

Results: The mini steering wheel-lever system and joystick system developed in this study showed no significant statistical difference ($p > 0.05$) compared to the conventional driving system in the acceleration performance (specified speed travel time, average speed when passing right), steering performance (lane departure at the slow curve road, high-speed curve road and the intersection), braking performance (brake reaction time). However, conventional driving system showed significant statistical difference ($p<0.05$) compared to the mini steering wheel-lever system or joystick system in the heading angle of the vehicle at the completion point of intersection and the passing speed of the vehicle at left turning. Characteristics of the subjects were found to give a significant effect ($p<0.05$) on the driving performance, except for the braking reaction time ($p>0.05$). The subjects with physical disabilities showed a tendency to relatively slow acceleration ($p <0.05$) at the straight lane course and intersection. The steering performance and braking performance had been confirmed that there was no statistically significant difference ($p>0.05$) according to the characteristics of the subjects.

Conclusion: The driving performances with mini steering wheel-lever system and joystick control system showed no significant statistical difference compared to conventional system in the driving simulator.

Application: This study can be used to design of primary controls with driver-by-wire technology for adaptive

vehicle and to improve their community mobility in people with severe physical disabilities.

Keywords: Primary Driving Controls, Driving Simulator, Drive-by-Wire

1. Introduction

운전면허 관리공단 통계자료에 따르면 2012 년도 기준으로 2 천 8 백만이 넘는 인구가 운전면허를 보유하고 있으며, 전체 인구 중에서 20 세 이상 70 세 미만은 약 3 천 3 백만명이며(Statics Korea, 2012), 운전면허 취득가능한 연령의 운전면허 보유율을 계산하면 84%가 된다. 250 만 명의 등록장애인(Employment Development Institute, 2012) 가운데 운전면허를 소지한 장애인수는 13 만 6 천명이다(Road Traffic Authority, 2012). 장애인 중에서 시각, 지적, 자폐, 정신 및 간질 장애와 같이 자가운전에 다소 무리가 있는 유형을 제외하면 약 200 만 명이 잠재적인 자가운전자이며, 그 중 9.5%의 인구만 운전면허를 보유하고 있다. 비장애인과 비교하면 11% 수준의 운전면허 소지율을 보이고 있다.

2013 년도에 개정된 신체장애인의 운전면허 조건부과 기준 및 기능시험 또는 도로주행 시험에 사용되는 차량을 살펴보면 신체장애인의 경우 자동 변속기, 수동 가속 페달, 수동 브레이크, 좌측 보조 엑셀러레이터, 우측 방향지시기 또는 핸들 선회 장치등과 같이 상지및 하지의 손상된 신체기능을 보완하기 위한 장치가 장착된 자동차와 장애인의 신체 장애 정도에 적합하게 제작 승인된 자동차를 이용하여 기능시험 또는 도로주행시험에 응시하게 하고 있다. 특히, 조향장치나 그밖의 장치를 뜻대로 조작할 수 없는 등 정상적인 운전을 할 수 없다고 인정되는 신체장애인의 경우 신체장애 정도에 적합하게 제작 승인된 자동차를 특수제작 승인차라고 하며, 운전면허 응시자가 직접 자기에게 적합한 특수제작 승인차를 가지고 운전면허 시험에 응시하도록 규정하고 있다(Road Traffic Enforcement Rule, Article 54, 61 and 70, 2013).

국내 운전면허 시험장의 경우 대부분 수동 가속페달, 수동 브레이크, 좌측 가속 페달, 우측 방향지시기, 핸들 선회장치 등 비교적 경증의 신체장애인용 운전보조장치를 구비하고 있지만, 중증 장애인용 운전보조장치는 전무한 실정이다. 따라서, 운전면허 취득이 불확실한 상태에서 중증장애인이 개인적으로 많은 비용을 들여 자신의 신체 상태에 적합하게 개조한 차량을 이용하여 운전면허 시험에 응시하는 것은 현실적으로 거의 불가능하다 (Oh, 2010).

하지만, 미국, 캐나다, 독일, 스웨덴, 프랑스 등의 선진국에서는 장애인의 손상된 신체 기능을 보완하기 위한 장치 뿐만아니라 잔존하는 신체의 근력 및 관절의 움직임 모두 제약이 있는 중증 장애인의 경우에도 조이스틱 시스템과 소형 조향 휠-레버 시스템을 비롯한 다양한 운전보조 장치를 개발하여 다양한 장애 유형의 대상자가 운전을 할 수 있도록 하고 있다(Jung and Kim, 2012). 중증 장애인의 경우 전자식 Drive-by-Wire 시스템과 같이 좀더 특수한 보조장치가 필요하며, 이와 같은 특수 장치는 일반적인 운전보조장치에 비해 매우 고가 이기 때문에 신체의 근력이 매우 부족하거나 동작범위가 제한된 중증 장애인에게 적합하다. 대부분 Drive-by-Wire 시스템을 이용하는 중증 장애인의 경우 운전하기 위하여 두손을 사용하게 되며, 한손으로 몸 가까이 위치한 소형 조향 휠을 움직임으로써 차량의 조향을 원격으로 제어하고, 다른 한손으로 레버 형태의 장치를 전후로 움직임으로써 차량의 가감속을 원격으로 제어하게 된다. 만약, 한손 사용만이 가능하다면, 몸 가까이 위치한 조이스틱 장치를 한 손으로 전후좌우 움직임으로써 원격으로

조향 및 가감속을 제어하게 된다 (Electronic Mobility Control, Drive-Master, Mobility Engineering and Development Inc., Paravan GmbH).

이러한 전자제어 시스템을 적용한 운전보조장치의 경우 중증장애인의 신체적인 능력평가를 통해서 적합한 운전보조장치를 선택하고, 운전 훈련을 진행하게 된다. 중증 장애인의 경우 상대적으로 운전 훈련기간이 많이 소요되기 때문에 실제 차량을 이용하여 훈련을 하는 경우 많은 사고 위험에 노출되기 쉽다. 또한 중증장애인이 많이 사용하고 있는 상용화된 장비인 소형 조향 휠-레버 시스템과 조이스틱 시스템에 대한 연구가 거의 없기 때문에 보다 안전한 시뮬레이터 환경에서 이러한 전자식 원격제어 운전 시스템에 대한 체계적인 분석이 매우 필요한 실정이다.

기존의 장애인을 위한 운전보조장치의 사용성 평가와 관련된 연구의 경우 가장 중요한 성능이 위급한 상황에서의 급제동과 관련된 제동 반응 시간 (Brake Reaction Time)이기 때문에 이와 관련된 연구가 많이 수행되어 왔으며 (Richter & Hyman, 1974; Koppa, 1980; Reger et al., 1981; Peters, 2001; Fowler et al., 2010), 조향과 관련된 운전 성능의 경우 차선 유지나 차선 이탈과 같은 항목을 분석함으로써 조향 성능을 평가하게 된다(Peters, 2001; Fowler, 2010). 또한 장애인이 운전보조장치를 사용함으로써 비장애인과 같이 안전하게 운전이 가능함을 검증하기 위하여 장애인과 비장애인을 대상으로 비교 실험을 수행하게 된다 (Koppa, 1990).

따라서, 본 연구에서는 중증장애인용 전자식 Drive-by Wire 운전시스템인 소형 조향 휠-레버 시스템과 조이스틱 시스템을 개발하고, 장애인과 비장애인을 대상으로 기존 차량의 운전장치와 조향 및 가감속 운전성능을 비교 평가함으로써 중증장애인의 운전면허 취득 및 자가운전을 통한 삶의질 개선을위한 체계적인 토대를 마련하고자 한다.

2. Method

2.1 Subjects

운전 성능에 영향을 주는 주요 변인으로 운전 보장 장치의 종류에 의한 영향과 운전자의 특성에 의한 영향이 있을 수 있다. 본 연구에서는 운전자의 특성과 관련하여 운전 경험과 장애의 유무를 고려하고자 하였다. 전자제어 Drive-by-Wire 운전보조장치의 성능을 확인하기 위해서 다음과 같이 3 개의 그룹으로 나누어 평가 실험을 수행하였다. 장애가 없으며 현재 운전면허가 있는 Group A(10 명), 장애가 없으며 운전면허가 없는 Group B(10 명), 장애로 인해 적합한 운전보조장치가 없어서 현재 운전을 할 수 없는 Group C(10 명)으로 나누어서 실시하였다. 피실험자 그룹 및 특성 현황은 Table 1 과 같다.

Table 1. Characteristics of subjects

		Group A	Group B	Group C
Age (Averag)		26.4±1.9	22.7±1.7	37.5±9.3
Sex	M	50%	50%	100%
	F	50%	50%	0%

장애인 피실험자 (Group C)는 Table 2 에서 보는 바와 같이 뇌성마비, 뇌졸중 및 척수장애를 갖고 있으며, 5 명의 피실험자는 사고 이전에 운전면허를 취득하였다. 운전 가능성과 적합한 운전보조장치를 선택하기 위하여 도수근력검사(Manual muscle test(MMT))를 실시하였으며, 한손 사용만이 가능한 대상자는 조이스틱 원격제어 시스템을 적용하였고, 두손 사용이 가능한 대상자는 소형 조향휠-레버 시스템을 적용하였다. 신체적 능력 이외에 뇌병변 장애인의 운전 수행에 필요한 시지각 능력을 평가하기 위해서 (Lee et al, 2002) 시지각 평가도구인 Motor free visual perception test(MVPT)를 이용해 평가 하였으며, 대부분 정상범주에 속하는 것으로 나타났다.

Table 2. Clinical evaluation results and adaptive driving control devices of disabled group C

No.	Disability	MVPT	MMT	Adaptive driving devices
1	Cerebral palsy	33	Both hands normal but low coordination	Joystick
2	Stroke	20	Right hands normal	Joystick
3	Stroke	31	Left hands normal	Joystick
4	SCI (C5-6)	33	Right hands normal	Joystick
5	Cerebral palsy	32	Right hands possible	Joystick
6	SCI (T3-4)	30	Both hands normal	Mini Steering - Lever
7	SCI (C5-6)	36	Both hands possible	Mini Steering - Lever
8	SCI (T7-8)	31	Both hands good	Mini Steering - Lever
9	SCI (C4-5)	35	Both hands good	Mini Steering - Lever
10	SCI (T3-4)	36	Both hands normal	Mini Steering - Lever

2.2 Experimental Setup

2.2.1 Hardware configuration of driving simulator

중증장애인을 위한 전자식 Drive-by-Wire 운전 보조장치를 실제 차량에 바로 적용하여 평가하는 것은 많은 비용이 들고 안전상의 어려움이 발생하기 때문에(Kim & Kim, 2012) 가상의 환경에서 시험주행을 할 수 있도록 차량 운전용 시뮬레이터를 구축하였다. 중형급 승용차를 B 필라까지 절단하여 외형을 제작하였고 조향장치 및 페달장치의 기구학적 구조를 원형 그대로 유지하여, 개발된 중증 장애인용 전자식 운전보조장치가 향후 실차량에 적용하기 용이하도록 설계하였다(Figure 1). 전원공급장치를 통해 좌우측 신호장치, 와이퍼 등 주변조작 장치를 작동할 수 있게 하였다. 차량의 보닛 안쪽에 시뮬레이터용 PC 와 액츄에이터 제어용 PC 를 탑재하였다. 조향장치의 액츄에이터는 차량의 핸들축과 모터축에 기어를 맞물려 회전 운동이 전달되도록 하였고, 페달장치의 액츄에이터는 시계방향으로 작동하면 레버암을 통해 제동 페달이 눌러지고, 반시계방향으로 작동하면 와이어를 통해 가속 페달을

안쪽으로 당겨 눌러지게 된다. 또한 모터의 작동 명령을 주기 위해 Labview 2011(National Instruments, USA) 프로그램과 모션카드(NI PCI-7390)를 제어용 PC 에 설치하였다. 디스플레이 출력 장치는 HDMI 를 지원하는 와이드형 프로젝터를 통해 16:9 배율의 120 인치형 고휘도 스크린을 사용하였으며, 운전 수행을 위한 프로그램은 STISIM Drive(System Technology Inc., USA)를 이용하여 운전 보조장치의 성능을 평가하기 위한 직선도로, 곡선도로 및 교차로를 설계하였다(Song and Kim, 2015).

Figure 1. Experimental setup in driving simulator

2.2.2 Adaptive driving control devices with Drive-by-Wire system

본 연구에서 개발한 2 가지 형태의 중증 장애인을 위한 전자제어식 Drive-by-Wire 운전보조장치는 소형 조향휠-레버 시스템과 조이스틱 시스템으로 구성되어 있다. 소형 조향휠-레버 시스템의 경우 운전하기 위하여 두손을 사용하게 되며, 한손으로 원격으로 동작하는 소형 조향휠과, 다른 한손으로 가감속을 위한 레버장치로 구성되어 있다. 조이스틱 시스템의 경우 조향과 가감속을 한손으로 할 수 있는 2 축 방향의 움직임이 가능한 조이스틱 장치로 구성되어 있다.

(1) Mini steering wheel-lever driving system

일반적인 조차량의 조향휠을 사용하기에 적합하지 않는 중증 장애인을 위한 첫번째 운전보조장치로써 소형 조향 휠- 레버 시스템을 개발하였다. 개발한 소형 조향휠을 장착하기 위해 스마트 패드를 차량 내에 거치할 수 있는 램마운트 거치대를 사용하였으며, 다양한 신체 조건의 사용자에 맞춰 운전하기 적합한 위치에 고정할 수 있도록 설계하였다. 소형 조향휠의 지름은 8cm, 10cm, 12cm 로 변경이

가능하며, 설치된 엔코더를 통해서 제어용 PC 에 회전 각도 정보가 전달된다. 소형 조향휠과 실제 차량의 조향휠과의 조향비는 2:1 이며, 소형 조향휠을 두바퀴 돌리는 동안 차량의 조향휠이 한바퀴 회전하게 된다 (Figure 2).

레버 시스템은 전방으로 움직일수록 페달제어 액츄에이터를 통해서 브레이크 페달을 누르게 되고, 후방으로 움직일 수록 가속 페달을 누르도록 설계하였다(SAE J 1903, 1997). 레버장치의 작동 거리는 약 10cm 이며, 해외의 상용 제품과 동일한 사양으로 설계하였다. 한편 시뮬레이터에 구성된 실차의 가속 체달 및 제동 페달의 작동 거리는 각각 10cm 이므로 레버 시스템과 실차와의 반응비는 1:2 로 설계하였다.

레버시스템은 아날로그 전기 신호를 내보내며, 이를 신호 수집장치를 통해서 제어용 PC 에 전달된다. 소형 조향휠은 베어링과 엔코더로 간단히 현결되어 있으며 엔코더 카운터 신호가 제어용 PC 에 전달된다. NI 회사의 LabVIEW 프로그램을 통해 전달 받은 신호를 바탕으로 실차형 하드웨어의 조향 및 페달 장치를 작동하게 된다(Figure 3).

Figure 2. Mini steering wheel and lever driving system

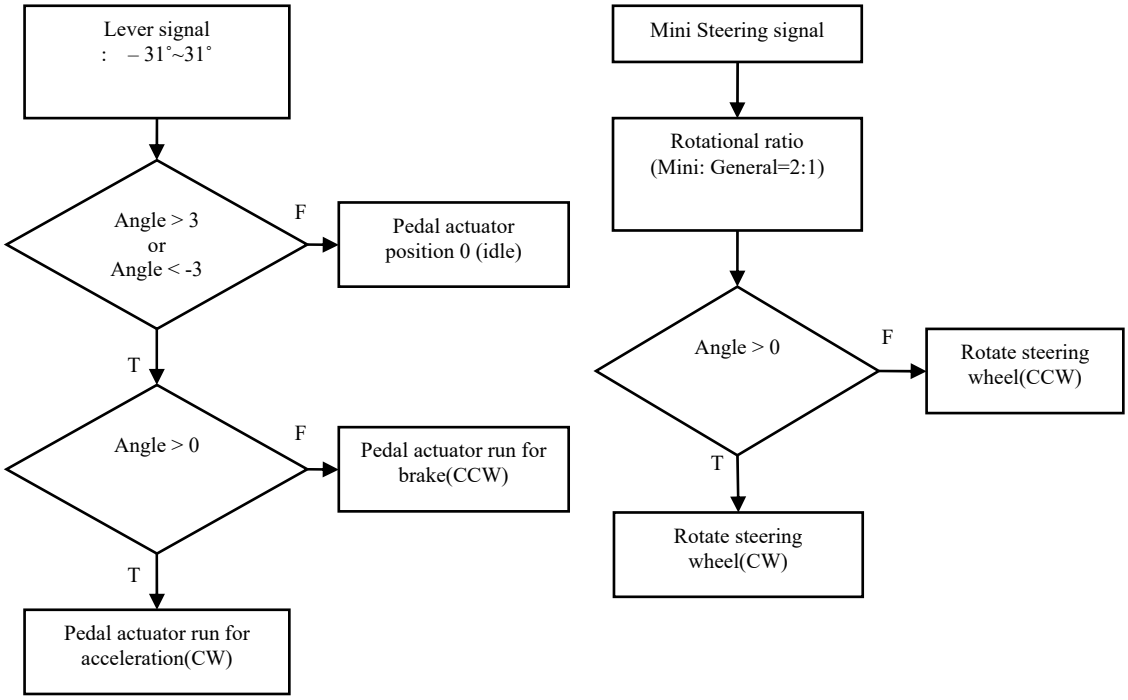
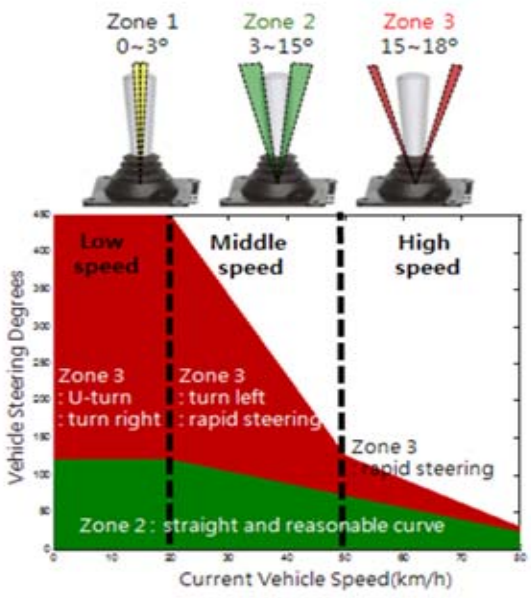


Figure 3. Control algorithms of mini steering wheel and lever driving system

(2) Joystick driving system

한 손만을 사용하는 중증 장애인의 경우 소형 조향휠-레버 시스템을 사용할 수 없기 때문에 조이스틱을 통해 차량의 조향휠과 가속 및 제동 페달을 제어해야 한다. 전동 휠체어를 사용하여 이동할 수 있는 사람이 자가운전을 할 수 있도록, 일반적으로 전동휠체어에 사용하는 사양의 조이스틱으로 운전 보조장치를 제작하였다. 우선 EMC 회사의 조향 각도 구간에 따른 하이브리드 조이스틱 제어 방법과 Ostlund(1999)가 제안한 차량의 속도에 따른 제어 방법을 적용해 보았으나 조향을 제어하는데 어려움이 발생하여 두 알고리즘의 장점을 보완한 새로운 알고리즘을 제안하여 적응형 조이스틱 시스템을 개발 하였다.

일반적으로 차량을 운전할때는 조향 휠의 움직임과 차량의 속도가 밀접한 관계가 있기 때문에 조향각이 가장 크게 움직이는 것은 주차 상황과 U-turn 상황이며 이때 차량의 속도는 일반적으로 시속 10km/h 이내이며, 다음으로는 교차로의 우회전을 할때의 차량의 일반적인 속도는 시속 20km/h 이내이다. 따라서, 조이스틱의 동작범위를 3 개의 영역으로 나누고 차량의 현재 속도를 반영하여 Figure 4 와 같이 조이스틱-조향핸들의 조향비 변화 곡선을 적용하여 직선주행,곡선주행, 교차로, U-turn 등과 같은 조향을 제어하는 알고리즘을 개발하였다.



Range	Function
Zone 1	Centering Band
Zone 2	Straight & Curve
Zone 3	Turn, U-turn, Rapid Steering

Figure 4. Control algorithms for joystick driving system

2.3 Experimental procedure

차량운전의 기본적인 성능을 검사하기 위해서 통제 가능한 단순한 도로의 시나리오가 필요하기 때문에 본연구에서는 가속 및 제동 성능, 곡선 주행 성능, 그리고 교차로 통행 성능으로 3 개의 모듈별 주행 시나리오를 설계하였다 (Fowler, 2010). 모든 도로의 폭은 3.5m 그리고 차량의 폭은 1.6m 로 설정하였으며 주행 데이터는 0.1 초 간격으로 도로 환격, 차량 위치, 속도, 조종장치 입력 값 등을 실시간으로 기록하였다(Figure 5). 실험 참여 대상자는 무작위 순서대로 조종 장치를 사용하여 모든 시나리오를 주행하였으며, 자율 주행을 통해 시뮬레이터 환경에 적응할 시간을 주었고 시뮬레이터 질병이 발생하는지 확인하였다. 그 후 각 모듈별 2 회 연습 후 3 회 반복 실험하였다.

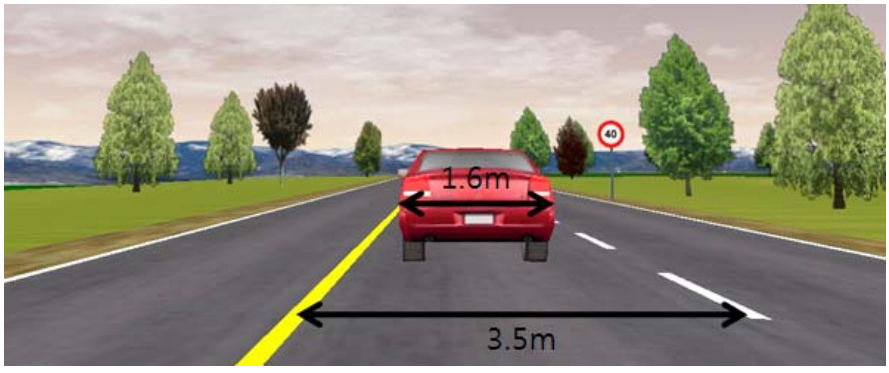


Figure 5. Design parameters of road and vehicle

2.3.1 Acceleration and braking performance test

개발된 중증장애인을 위한 전자식 운전 보조장치의 가속 및 제동 성능 검사를 위한 시나리오는 2 차선 도로에서 주행 시작과 동시에 차량의 속도를 80km/h 까지 증가시킨후 유지하다가 화면 중앙에 STOP 표시가 나타나면 가능한 빨리 차를 정지하도록 요구하였다. 이 때, 지정속도까지 도달한 시간과 STOP 이벤트 발생시점부터 차량의 제동 페달을 완전히 작동시킨 시간을 분석하였다(Figure 6).

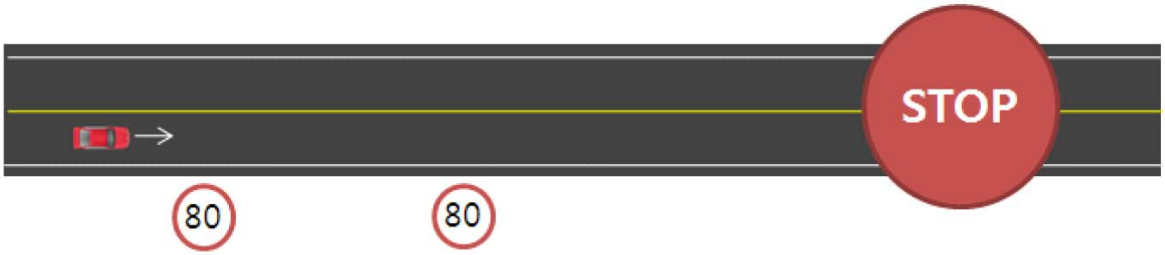


Figure 6. Test scenario for acceleration and braking on straight road

2.3.2 Curve performance test

곡선 주행 성능 검사는 저속(40km/h)과 고속(80km/h)로 나누어 수행하였다. 차선 이탈을 고려하여 4 차선 도로로 구성하였다(Figure 7). 피실험자에게 지정된 속도를 유지하며 최대한 일차로로 주행할 것을 요구하였다. 이 때, 차선 이탈을 평가하기 위하여 곡선 주행시 차로를 벗어난 면적(meters* seconds)을 분석하였다.

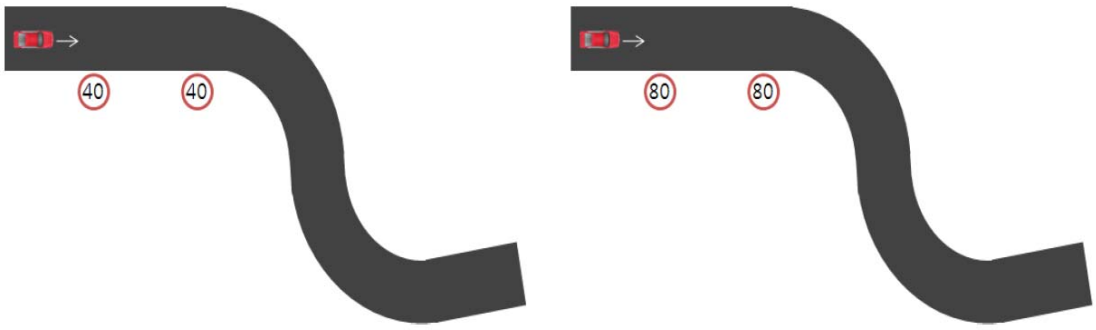


Figure 7. Test scenarios for driving on curved road

2.3.3 Intersection test

교차로 주행 성능 검사는 좌회전과 우회전으로나누어 수행하였다. 도로는 차선 이탈 및 교차로 통행 반경을 고려하여 6 차선으로 구성하였다(Figure 8). 음성안내를 통해 다음 교차로에서 통행할 방향을 알려주고 교차로에서 일단 정지 후, 좌회전은 1 차로에서 1 차로로, 우회전은 2 차로에서 2 차로로 진입할 것을 요구하였다. 이 때, 교차로 통행 완료점에서의 차량 이탈 거리, 차량의 진행 방향 각도, 그리고 교차로 통행 평균 속도를 분석하였다.

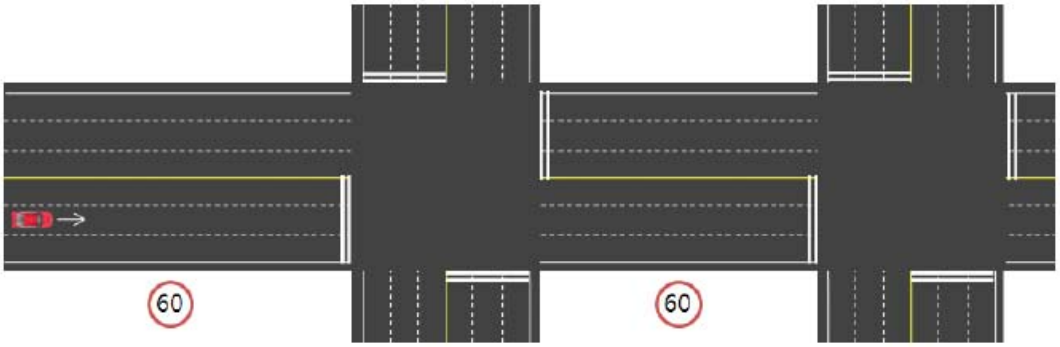


Figure 8. Test scenario for driving through intersection

2.4 Data analysis

차량형 운전시뮬레이터에서 3 가지 운전보조장치의 종류(기존 조향휠 및 페달 (GS), 소형 조향휠-레버 (MS), 조이스틱 (JS))와 3 개 그룹 (비장애인 운전면허 그룹(Group A), 비장애인 무면허그룹(Group B), 장애인 그룹(Group C))에 대한 차량의 기본 성능을 분석하기 위하여 통계분석 프로그램인 SPSS 20.0 을 이용하였다.

독립변수(운전보조장치와 대상자그룹)에 대한 종속 변수인 운전 성능 특성(가감속 성능, 곡선 주행 성능, 교차로 성능)을 비교하기 위하여 Two-Way ANOVA 방법을 사용하였다. p 값이 0.05 미만인 경우에 통계학적인 유의성이 있는 것으로 정의하였으며, 분산분석에서 유의성이 나타나는 경우 사후 검정 방법으로 Tukey test 를 이용하여 그룹 상호간의 통계학적인 유의성 검정을 추가적으로 진행하였다.

3. Results

3.1 Acceleration and braking performance

지정속도 도달시간에 대한 실험 결과는 Figure 9에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p<0.05$)과 인간성능 요인($p<0.01$) 모두 유의미한 차이를 보였다. Tukey 사후검정 결과 운전보조장치 요인 중에서 소형핸들 시스템과 비교해서 조이스틱 시스템의 경우 평균 지정 속도 도달 시간이 27.6% 증가하였다($p<0.05$). 인간성능 요인에서는 면허가 없는 장애인 그룹 C 가 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 평균 지정 속도 도달 시간이 57.2% 증가하였으며($p<0.01$), 면허가 없는 비장애인 그룹 B 보다 39.8% 증가하는 것으로 나타났다($p<0.01$). 장애인 그룹 C는 전체적으로 시뮬레이터 차량을 가속하는데 조심스러워 하는 경향을 보였다.

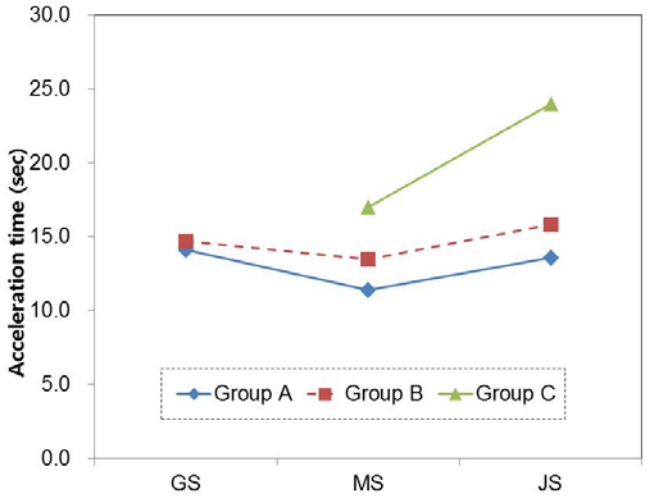


Figure 9. Reaction time to accelerate to a target speed

위급한 상황을 대비한 제동반응시간에 대한 실험 결과는 Figure 10 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p>0.05$)과 인간성능요인($p>0.05$) 모두에서 통계학적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 즉 평균 제동 반응 시간의 경우 운전보조 장치나 실험 대상자 그룹에 따라서 차이가 없는 것으로 나타났다.

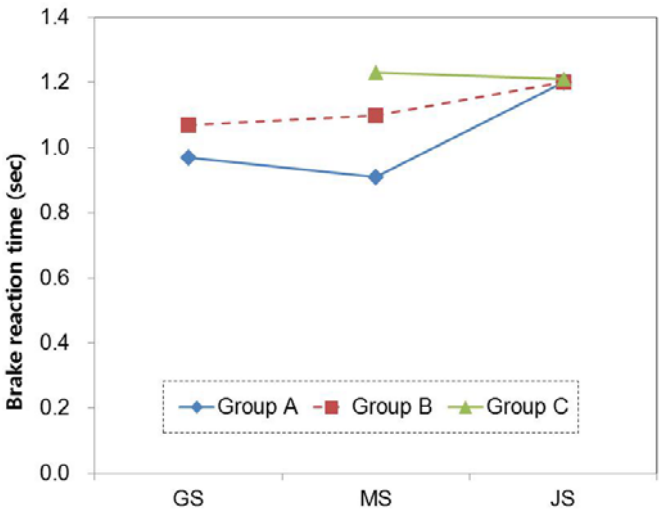


Figure 10. Brake reaction time

3.2 Curve performance

40km/h 의 저속에서 곡선 주행 성능을 차선 이탈면적을 통해 나타내었고(Figure 11), Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p>0.05$)은 유의미한 차이가 없었으며, 인간성능 요인($p<0.01$)에서 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 면허가 없는 비장애인 그룹 B 가 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 평균 차선 이탈 면적이 17.8 배 증가하는 것으로 나타났다 ($p<0.05$).

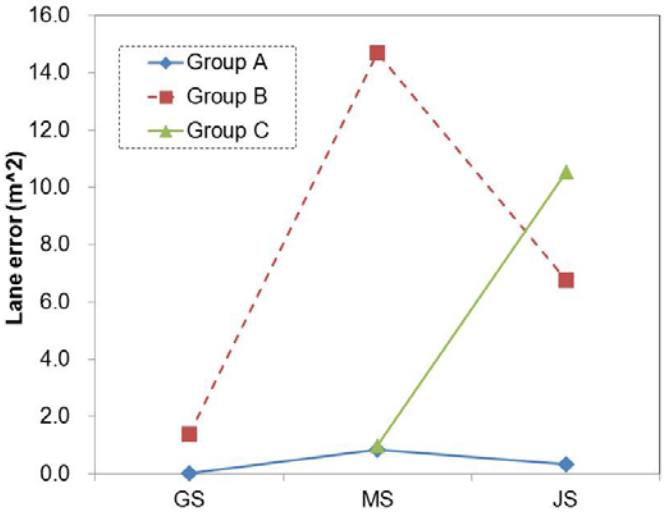


Figure 11. Lane error on curved road for low speed

80km/h 의 고속에서의 곡선 주행 성능의 결과는 저속 곡선 주행과 동일하게 차선 이탈 면적을 계산하였으며(Figure 12), Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p>0.05$)은 유의미한 차이가

없었으며, 인간성능 요인($p<0.01$)에서 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 면허가 없는 비장애인 그룹 B 가 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 평균 차선 이탈 면적이 17.7 배 증가는 것으로 나타났다($p<0.01$).

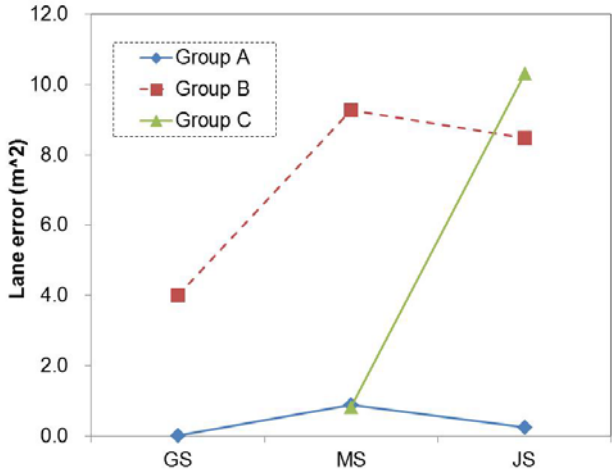


Figure 12. Lane error on curved road for high speed

3.3 Intersection performance

교차로는 좌, 우회전을 검사하였으며 각각 완료시점에서의 차선 이탈거리, 차량의 진행방향각도, 그리고 교차로를 통과하는 동안의 차량의 평균속도를 종속변인으로 설정하였다.
좌회전 완료시점에서의 차선 이탈거리 결과는 Figure 13 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p>0.05$)은 유의미한 차이가 없었으며, 인간성능 요인($p<0.01$)에서 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 면허가 없는 비장애인 그룹 B 가 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 차선 이탈 거리가 평균 6 배 증가하는 것으로 나타났다($p<0.01$).

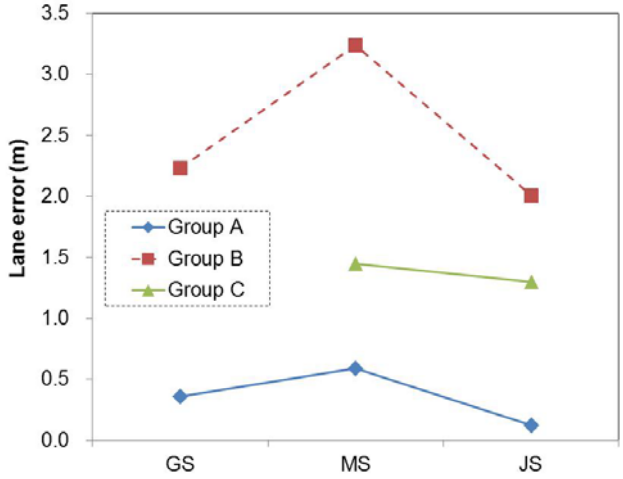


Figure 13. Lane error of left turning at intersection

좌회전 완료점에서의 진행방향각도에 관한 결과는 Figure 14 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p<0.05$)에서 유의미한 차이가 나타났으며, 인간성능 요인($p<0.01$) 역시 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 일반핸들 시스템이 소형핸들 시스템보다 좌회전 완료 시점에서의 평균 진행 방향 각도가 30.8% 감소하였으며($p<0.05$), 면허가 있는 비장애인 그룹 A 가 면허가 없는 비장애인 그룹 B 보다 35.1% 감소하는 것으로 나타났다($p<0.01$).

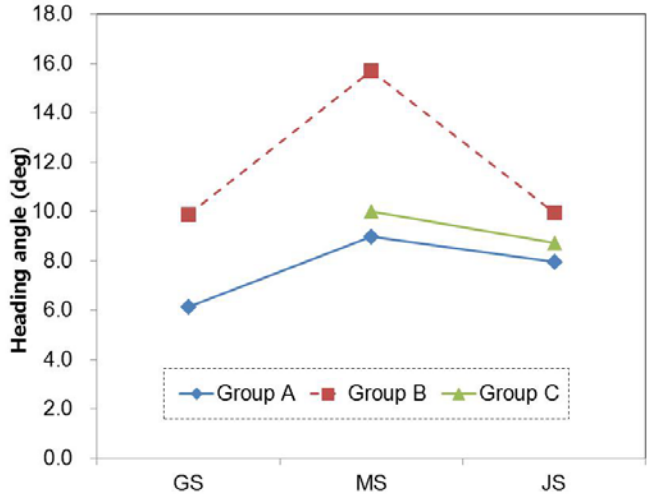


Figure 14. Heading angle of the vehicle during left turn at intersection

좌회전시 평균 주행 속도에 관한 결과는 Figure 15 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p<0.01$)은 유의미한 차이가 나타났으며, 인간성능 요인($p<0.01$)에서도 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 운전보조장치 요인에서는 일반핸들 시스템이 조이스틱 시스템보다 좌회전시 평균 주행 속도가 57.3% 증가하였으며 ($p<0.01$), 소형핸들 시스템이 조이스틱 시스템보다 평균 주행 속도가 37.7% 증가하였다($p<0.01$). 반면, 인간성능 요인에서는 면허가 있는 비장애인 그룹 A 는 면허가 없는 비장애인 그룹 B 보다 좌회전시 평균주행 속도가 12.3% 감소하였으며($p<0.05$), 면허가 없는 장애인 그룹 C 는 면허가 없는 비장애인 그룹 B 보다 평균 주행속도가 27.4% 감소하였다($p<0.01$).

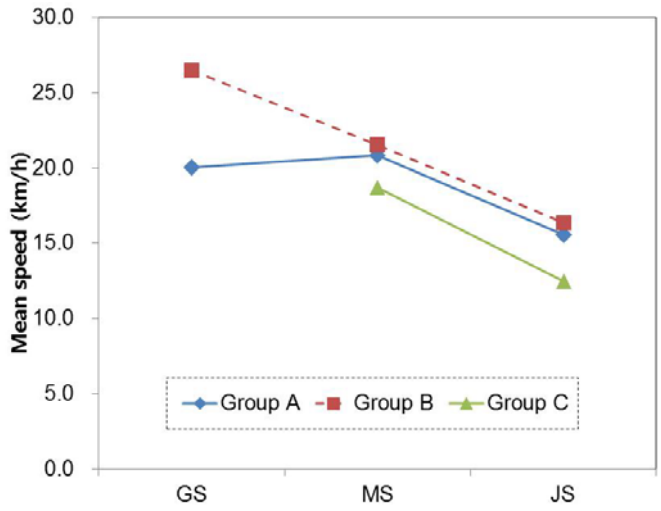


Figure 15. Average speed of left turning at intersection

우회전 완료시점에서의 차선 이탈거리 결과는 Figure 16 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p>0.05$)은 유의미한 차이가 없었으며, 인간성능 요인($p<0.01$)에서 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 면허가 없는 비장애인 그룹 B 가 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 차선 이탈 거리가 평균 4.4 배 증가하는 것으로 나타났다($p<0.01$).

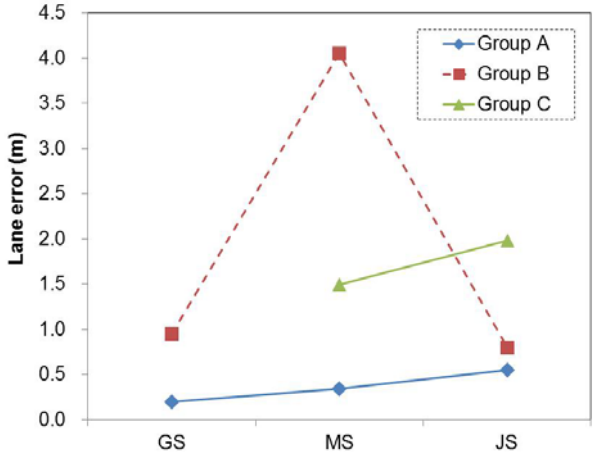


Figure 16. Steering results of right turn

우회전 완료시점에서의 진행방향각도에 관한 결과는 Figure 17 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p<0.01$)에서 유의미한 차이가 나타났으며, 인간성능 요인($p<0.01$) 역시 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 운전보조장치 요인에서는 소형핸들 시스템이 일반핸들 시스템보다 우회전 완료 시점에서의 진행 방향 평균 각도가 66.4% 증가 하였으며($p<0.01$), 조이스틱 시스템은 일반핸들 시스템 보다 진행 방향 평균 각도가 49.8% 증가하였다($p<0.05$). 인간성능 요인에서는 면허가 없는 비장애인 그룹 B 가 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 54.3%

증가하였으며($p<0.01$), 면허가 없는 장애인 그룹 C 는 면허가 있는 비장애인 그룹 A 보다 60.3%증가하는 것으로 나타났다($p<0.01$).

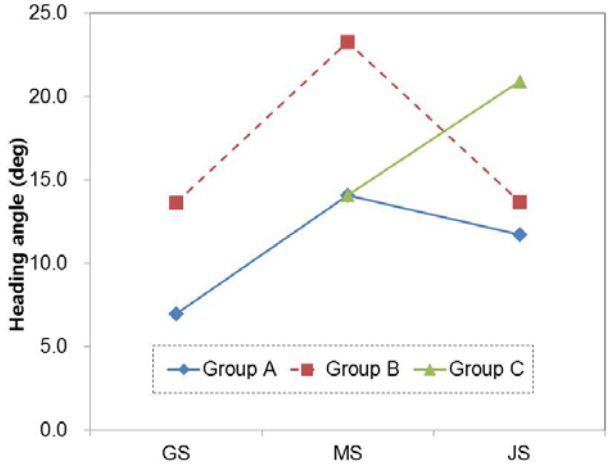


Figure 17. Heading angle of the vehicle during right turn

우회전시 평균 주행 속도에 관한 결과는 Figure 18 에 나타내었다. Two-Way ANOVA 분석결과 운전보조장치 요인($p>0.05$)은 유의미한 차이가 없었으며, 인간성능 요인($p<0.01$)에서 유의미한 차이가 나타났다. Tukey 사후검정 결과 면허가 있는 비장애인 그룹 A 는 면허가 없는 비장애인 그룹 B 보다 우회전시 평균 주행 속도가 16.3% 감소하였으며($p<0.05$), 면허가 없는 장애인 그룹 C 는 면허가 없는 비장애인 그룹 B 보다 우회전시 평균 주행 속도가 30.14% 감소 하였다($p<0.01$).

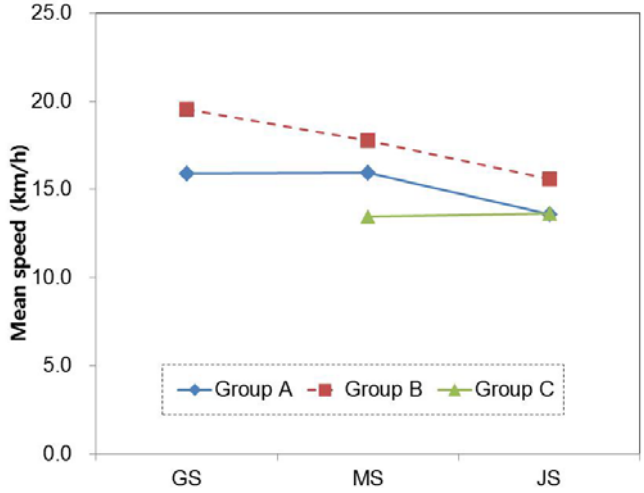


Figure 18. Average speed of right turning

4. Conclusion

본 연구에서 개발한 소형핸들 시스템과 조이스틱 시스템은 일반핸들 시스템과 비교하면 7 가지 항목에 대한 가속 성능(지정속도 도달시간, 우회전시 평균 통과 속도), 조향 성능(저속 곡선 도로, 고속 곡선 도로, 좌회전 및 우회전 교차로에서의 차선 이탈), 제동 성능(제동 반응시간)에서 일반 핸들과 통계학적으로 유의한 차이가 발생하지 않은 것으로 나타났다($p>0.05$). 하지만, 교차로에서의 좌회전 및 우회전시 완료 시점에서의 차량의 각도, 좌회전 교차로 통과시 평균 속도에서는 통계학적으로 유의하게 일반 핸들 시스템이 소형핸들 시스템이나 조이스틱 시스템보다 향상되는 것으로 나타났다($p<0.05$).

반면, 운전성능에 가장 많은 영향을 주는 요인은 실험대상자 그룹인 인간성능 요인으로서 운전 면허의 유무가 10 가지 항목 중에서 제동 반응시간($p>0.05$)을 제외하고, 9 가지 항목($p<0.05$)에 대하여 통계학적으로 유의한 영향을 주는 것으로 확인되었다. 장애인 그룹은 직진 가속과 좌회전, 우회전 교차로 통행에서 비교적 천천히 가속하는 경향을 보인 것으로 나타났으며 ($p<0.05$), 조향 성능 (저속 곡선 도로, 고속 고선도로, 좌회전 및 우회전 교차로에서의 차선이탈, 좌회전 및 우회전 완료 시점의 평균 차량 각도) 및 제동 성능(제동 반응시간)에서는 통계학적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 확인되었다($p>0.05$). 따라서, 장애가 있는 사람도 적절한 운전보조장치를 사용하여 연습을 통해 운전면허를 취득하면 비장애인과 같은 운전 성능을 갖게 될 것으로 판단된다.

기본주행성능평가는 통제된 환경에서 평가 되었으며, 운전 시뮬레이터가 아닌 실제 차량에서의 운전 능력 평가가 이루어진다면, 보다 많은 중증장애인들이 운전할 수 있는 기반이 마련될 것이다. 이러한 기술과 연구를 통하여 머지않아 중증장애인들의 이동권이 확보되고 그들의 삶의 질을 향상시키는데 기여할 것으로 생각된다.

References

Employment Development Institute, Survey on the employment status of the disabled in business, 2010, http://edi.kead.or.kr

Fowler, M. R., Testing and evaluation of a novel virtual reality integrated adaptive driving system, Master's thesis, University of South Florida, USA, 2010.

Jung, W., Kim, Y., Development of smart driving system using iPod and its performance evaluation for people with severe physical disabilities in the driving simulator, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 31(5), 637-646, 2012.

Kim, Y., Kim, Y., Driving performance evaluation using bio-signals from the prefrontal lobe in the driving simulator, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 31(2), 319-325, 2012.

Koppa, R.J., McDermott Jr, M., Raab, C., Sexton, D.J., Human factors analysis of automotive adaptive equipment for disabled drivers, U.S. National Highway Traffic Safety Administration, 1980.

Koppa, R.J., State of the art in automotive adaptive equipment, Human Factors, 32(4), 439-455, 1990.

Lee, E.S., Park, S.W., Lee, B.S., Shin, O.S., Lee, J.H., Kim, B.S., Evaluating driving ability of brain damaged subjects with MMSE and MVPT, Annals of Rehabilitation Medicine, 26(3), 268-272, 2002.

National Human Rights Commission of Korea, Driver license system meeting, 2002.

Oh, K.S., Problems and solutions in Korea driving system for the people with severe physical disabilities identified through literature review and Internet search, Journal of Vocational Rehabilitation, 20(2), 67-95, 2010.

Ostulund, J., Joystick-controlled cars for drivers with severe disabilities, VTI rapport 441A, Swedish National Road and Transport Research Institute, 1999.

Peters, B., Driving performanc and workload assessment of drivers with tetraplegia: An adaptation evaluation framework, Journal of Rehabilitation Research and Development, 38(2), 215-224, 2001

Reger, S.I., McGloin, A.T., Law, D.F., Spence, R.E., Claus, C., Aid for training and evaluation of handicapped drivers, Bulletin of Prosthetics Research, 18(2), 35-39, 1981

Richter, R.L., Hyman, W.A., Research note: driver's brake reaction times with adaptive controls, Human Factors, 16(1), 87-88, 1974

Road Traffic Act, Article 54, 61 and 70, 2013, http://law.go.kr.

Road Traffic Authority, driver's License Examination Office, http://www.dla.go.kr.

Song, J., Kim, Y., Development and valuation of smart secondary controls using iPad for people with hemiplegic disabilities in the driving simulator, Journal of the Ergonomics Society of Korea, 34(2), 85-101, 2015.

Statics Korea, Survey of census population, 2012, http://www.kostat.go.kr.