Title

Development and Evaluation of Smart Secondary Controls Using iPad for People with Hemiplegic Disabilities in the Driving Simulator

ABSTRACT

Objective: The purpose of this study was to develop and evaluate smart secondary controls using iPad for the drivers with physical disabilities in the driving simulator.

Background: The physically disabled drivers face problems in operation of secondary control devices that accept a control input from a driver for the purpose of operating the subsystems of the motor vehicle. Many of conventional secondary controls consist of small knobs or switches that physically disabled drivers have difficulty grasping, pulling or twisting. Therefore, their use while driving might increase distraction and workload because of longer operation time.

Method: we examined the operation time of conventional and smart secondary controls, such as hazard warning, turn signal, window, windshield wiper, headlights, automatic transmission and horn. The hardware of smart secondary control system was composed of iPad, wireless router, digital input/output module and relay switch. We used the STISim Drive3 software for driving test, customized Labview and Xcode programs for interface control of smart secondary system. Nine subjects were involved in the study for measuring operation time of secondary controls.

Results: When the driver was in the stationary condition, the average operation time of smart secondary devices was decreased 32.5% in normal subjects ($p<0.01$), 47.4% in subjects with left hemiplegic disabilities ($p<0.01$) and 38.8% in subjects with right hemiplegic disabilities ($p<0.01$) compared with conventional secondary devices. When the driver was driving for the test in the simulator, the average operation time of smart secondary devices was decreased 36.1% in normal subjects ($p<0.01$), 41.7% in subjects with left hemiplegic disabilities ($p<0.01$) and 34.1% in subjects with right hemiplegic disabilities ($p<0.01$) compared with conventional secondary devices.

Conclusion: The smart secondary devices using iPad for people with hemiplegic disabilities showed significantly reduction of operation time than conventional secondary controls.

Application: This study can be used to design of secondary controls for adaptive vehicle and to improve their quality of life in people with disabilities.

Keywords: Secondary Driving Controls, Smart Device, Driving simulator, Human machine interface (HMI)

1. Introduction

운전은 쉽기도 하고 복잡하지만, 이미 우리의 삶에 한 부분을 차지하고 있으며, 우리는 안전한 환경에서 운전을 하기 원한다. 그리고, 운전면허를 소지한 장애인들에게도 안전은 예외가 아니다. 2012년까지 우리나라 운전 면허를 취득한 장애인의 수는 136,616명으로 면허증을 소유한 전체 인구에서 약 0.5%를 차지하고 있으며(Road Traffic Authority, 2012), 매년 그 수는 꾸준히 증가하고 있지만, 여전히 비장애인은 장애인이 운전하는 것에 대하여 부정적인 생각을 가지고 있으며, 그 이유 중 가장 큰 부분을 차지하고 있는 것이 바로 안전문제에 관한 것이다(National Human Rights Commission of Korea, Driver license system meeting, 2002)

장애인 운전자의 경우 잔존하는 신체 기능에 맞도록 개조된 운전 보조장치를 이용하여 운전을 해야 안전하지만, 미국과 일본 등의 선진국에서와 같은 다양한 장애인 신체특성에 맞는 운전보조시스템이 국내는 없는 실정이며(Jung and Kim, 2012), 더욱이 차량 안의 와이퍼, 비상등, 방향지시기와 같은 주변조작장치에 대해서는 장애인의 안전 및 접근이 더 열악한 상태이다. 주변조작장치는 도로환경에서 차량간의 의사소통에 해당되기 때문에 안전에 아주 중요한 역할을 한다. 복잡한 도로환경에서 상호간에 언어전달체계일 수 있는 주변조작장치 사용은 운전자의 외부적 요인으로 오는 위험예방에 필수적이다. 왜냐하면 조향장치와 가속 및 제동장치는 자신의 능력에 따라서` 사고를 줄일 수 있지만, 주변조작장치의 사용은 상호간의 안전을 위한 것이기 때문이다. 하지만 장애인에게 접근과 사용에 부적절하게 설계된 주변조작장치를 사용할 때 주의분산과 직선주행에 지장을 초래할 수 있다(Roush and Koppa, 1992).

기존 차량내에 있는 주변조작장치는 차량의 개발과 디자인의 진보, 인간공학적인 설계에 따라 종류와 모양이 다양하다. 하지만 기존의 차량내에 있는 주변조작장치는 대부분 장애인의 신체 특성을 고려하지 않기 때문에, 자가 운전을 하는 장애인이 사용하기에 큰 불편함과 접근이 어려운 환경으로 설계되어 있다. 예를 들면, 레버 형식의 방향지시기와 와이퍼는 편마비 장애인의 경우 한 손으로 스티어링휠을 작동해야 하기 때문에 장애가 있는 쪽에 위치한 장치를 사용하기 어렵게 되며, 노브(knob)형식으로 되어 있는 전조등이나 푸시 버튼(push button) 형태의 전동 창문과 같은 조작 장치의 경우 손가락으로 잡고 회전하거나 손끝으로 작동해야 하기 때문에 상지 기능에 장애가 있는 경우 조작하는데 어려움을 갖게 된다.

운전 수행은 주의력을 모두 소진할 만큼 복합적인 작업이며 운전과 동시에 다른 일을 하는 것은 운전 수행 능력의 저하를 초래한다(Wester et al., 2008). 그리고 교통사고의 90% 이상이 인적요인을 원인으로 보고 있으며 차량자체 결함 요인은 단 3%에 불과한 것으로 조사되었다 (Najm et al., 1995). 인적 요인에 의한 교통사고는 일반적으로 운전 수행 능력이 미숙하거나 운전자가 다양한 상황에 대해 적절하게 반응하지 못할 때 발생한다(Summala, 1996; Merat et al., 2005). 하지만 비장애인의 운전 중 주변조작장치 사용을 보면 와이퍼, 비상등, 방향지시기와 같은 장치의 사용에 문제가 없지만, 좌측 편마비 장애인의 경우 왼쪽 손의 장애로 인하여 방향지시기의 사용이 어렵기 때문에 차선을 변경하거나 교차로에서 좌회전이나 우회전을 할 때에 운전자가 오른쪽 손으로 조향을 하면서 동시에 방향지시기를 사용해야 하는 작업부하 량이 증가하게 되어 운전수행능력에 저하가 올 수 있다. 이처럼 주변조작장치는 장애인 운전자가 운전하는데 있어

운전자의 작업 부하량을 증가시키고 주의력 분산으로 인한 전방주시태만을 일으키는 주요한 원인이다.

그리고 지금까지 주변조작장치에 대한 연구를 보면 비장애인의 주변조작장치 사용시간을 카메라 관찰로 비교(Dingus et al., 1988)한 연구와 차량 내 통합 컨트롤 유형에 따른 운전자 수행도 비교(Lim et al., 2007), 차량 안에서의 주변조작장치의 중요도 조사(Roush and Koppa, 1992) 등이 있고, 비장애인이 운전에 필요한 네비게이션(Baumann et al., 2004; Kun et al., 2009; Koo et al, 2009)과 휴대폰(Brookhuis et al., 1991; Patten et al., 2004; Shinar et al., 2005; Park et al., 2010)을 조작하면서 나타나는 운전부주의에 관한 연구는 많이 수행되고 있는 실정이지만, 장애인 운전자가 운전을 하면서 주변조작장치에 대한 접근성이 어려워 나타나는 운전부하 및 부주의에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

또한, 장애인을 위한 주변조작 장치의 개발과 관련하여 레버 형식의 길이를 확장 시켜 장애인에게 접근이 가능하도록 하는 장치(주차브레이크 레버, 우측방향지시기 등), 스티어링 휠에 부착하는 패드 형태의 버튼형 장치(Howell Ventures Ltd-RF360, Access Unlimited-mini touch)와 중증 장애인을 위한 터치 스크린 시스템(Electronic Mobility Control-Aevit System, Independent Driving systems, Inc.-IDS PROXIMA)이 개발되고 있다. 하지만 상지 기능에 장애가 있는 경우 레버 형태의 장치나 패드 형태의 버튼형 장치를 조작하기 어렵기 때문에 쉽게 조작할 수 있고, 작동 시간을 최소화할 수 있는 터치 스크린이 장착된 스마트 디바이스를 이용한 시스템의 개발이 필요한 실정이다. 그러므로, 본 연구에서는 기존 차량의 주변조작장치와 스마트 디바이스(iPad2)를 이용해 개발한 시스템간의 사용시간 측정비교를 통해 기존 장치에 대한 접근성을 보완하고 작동시간을 단축하여 운전부하를 줄여 운전자의 안전성을 높이고자 하였다.

제어장치 중 사용성에 있어 속도가 가장 높은 것은 터치스크린(Baber, 1997)이며, 사용시간을 측정하는 이유는 주변조작장치를 사용할 때 운전자의 시선은 장치에 머물게 되고 손은 장치에 접근하여 사용하게 된다. 운전자는 운전 중에 처리하는 정보는 거의 시각 경로로 획득하게 되는데(Mcknight and Adams, 1970), 도로에서 시선을 벗어나는 행동을 약 1.5 초로 제한하려는 경향을 가지고 있다(Rockwell, T H., 1988). 하지만 장치의 사용시간이 길어질수록 도로에서 시선이 벗어나는 시간도 함께 길어진다. 또한 2 초 이상 도로에서 시선이 벗어나는 행동 역시 사고 확률을 증가시킨다(Klauer, S. G., 2006).

따라서 본 연구에서는 상지 기능에 장애가 있어 레버형태의 장치나 패드 형태의 버튼형 장치를 조작하기 어려운 편마비 장애인 운전자를 대상으로 정차시와 주행시를 나누어 수행시간을 측정하여 기존 주변조작장치와 개발한 스마트 디바이스(iPad2) 시스템의 비교를 통해 동작 성능을 검증하고자 하였다.

2. Method

2.1 Subjects

주변장치 조작시스템의 성능을 평가하기 위해서 다음과 같이 3 개의 그룹으로 평가를 실시하였다. 운전면허를 취득한 후 10 년이상 운전 경력이 있는 비장애인 그룹(3 명)과 운전경력 20 년 이상의 중도장애를 갖고 있는 좌측 편마비 그룹(3 명), 운전경력 10 년이상의 중도장애 및 선천성 장애를 갖고 있는 우측 편마비 그룹(3 명)으로 나누어 실험을 수행하였고, 환측에 경직이 없으며 시지각 및 인지 평가에서 이상이 없는 대상자로 실험을 진행 하였다(Table 1).

Table 1. Characteristics of subjects

Subjects		Gender	Age (years)	Driving experience (years)	Time since injury (years)
Normal group	A	M	59	24	N/A
	B	M	32	10	N/A
	C	F	53	26	N/A
Left hemiplegic group	D	M	50	23	3
	E	M	49	21	3
	F	M	54	22	5
Right hemiplegic group	G	M	58	28	13
	H	M	34	14	33
	I	M	51	25	11

본 실험의 장애인 피실험자 대부분은 뇌졸중으로 인한 편마비 대상자이며, 정차 및 주행시 주변조작장치 사용에 대한 평가는 시지각 및 인지적인 부담을 주는 실험이기 때문에 실험전 대상자들의 시지각, 인지평가를 실시하였다. 뇌손상 장애인의 운전능력 평가중 시지각평가도구인 Motor free Visual Perception Test(MVPT)와 인지평가도구인 Trail making test(TMT) B 를 같이 사용하는 것이 운전에 대한 높은 예측도를 얻을 수 있기 때문에 MVPT 와 TMT A 와 B 를 사용하였고 (Barbara and Mazer, 1998), 주행 중 주변조작장치를 사용하려면 넓은 시야 각을 유지해야 하며, 시각적 주의의 측면도 중요하기 때문에 유효시야범위(Useful field of view, Visual Awareness Research Group, Inc., USA)를 측정하였다(Table 2).

Table 2. Visual-perception evaluation results of disabled group

Subjects		MVPT-R (score)	TMT A (sec)	TMT B (sec)	UFOV	
					Level	Risk
Left hemiplegic group	D	36.0	24.7	52.8	2	Low
	E	34.0	60.0	60.5	1	Very low
	F	30.0	82.1	122.8	3	Low to moderate
Right hemiplegic group	G	35.0	44.2	77.8	1	Very low
	H	30.0	22.0	150.0	4	Moderate to high
	I	35.0	17.5	64.0	1	Very low

시지각평가도구인 MVPT 검사 결과 점수가 32~36 점의 경우 정상범위에 속하게 되며, 인지평가도구인 TMT A 검사의 경우 소요 시간이 78 초 이상이 되면 인지능력에 문제가 있는 것으로 판단하게되고, TMT B 검사의 경우 273 초 이상이 되면 인지능력에 문제가 있는 것으로 판단하게 된다. 실험 대상자의 3 가지 평가결과를 보면, 실험자 F 의 TMT part A 의 평가 결과는 82.1 초(78 초 이상 문제 있음)로 나왔고 TMT part B 경우는 122.8 초(273 초 이상 문제 있음) 임으로, 분석한 결과 실험자 F 는 실험에 대한 긴장감과 손의 기능이 조금 떨어짐으로 part A 의 경우 문제가 있음으로 나왔지만, 더 난이도가 어려운 part B 의 경우 문제가 없음으로 나와 실험결과에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 실험자 H 의 경우 TMT A, B 는 문제가 없음으로 나왔지만 MVPT-R 의 낮은 점수와 UFOV 4 레벨의 높은 위험성(High risk)이 나왔다. 그러나 현재 운전을 하고 있으며 실험전 주변조작장치 사용과 시뮬레이터 운전 훈련시 연구결과에 영향이 없고, 평가시 긴장을 많이 하여 낮은 점수대가 편성되었다고 판단하여 실험에 참여시켰다.

2.2 Experimental Setup

기존 차량의 주변조작장치와 개발한 스마트 디바이스 통합장치의 사용시간을 비교 평가하기 위해서 가상 환경에서 주행 연습을 할 수 있도록 실차형 운전 시뮬레이터를 구축하였다. 가상운전 프로그램으로는 STISIM Drive(System Technology Inc., USA)를 설치하였고, 시뮬레이터는 중형급 승용차를 운전석 뒷부분인 B 필라 까지 절단하여 외형을 제작하였다. 실차형 시뮬레이터는 운전석을 실차와 그대로 유지하였고, 주변조작장치(방향지시등, 경적, 비상등, 창문 등)를 조작했을 때 작동 가능하도록 제작하였다. 그리고 차량의 보닛 안쪽에 컴퓨터와 공유기를 두었고, 스마트 디바이스로 주변조작 장치를 사용하기 위해 내쇼날 인스트루먼트(National Instruments Co., USA)사의 Labview 2012 프로그램과 디지털 입출력보드를 PC 에 설치하였다. 디스플레이는 120 인치 와이드형 빔프로젝터와 스크린을 이용하였다(Figure 1).

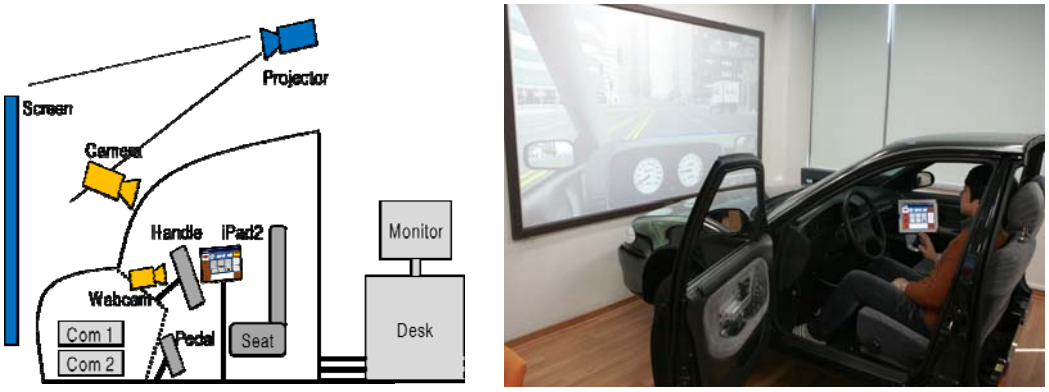


Figure 1. Experimental setup

주변조작장치의 동작 시간 데이터를 받기 위해 기존 차량의 핸들위에 2 개의 스위치를 설치하였고, 기존차량의 주변조작장치 위에도 스위치를 설치하였다. 그리고 스마트 디바이스의 디스플레이 디자인은 EMC 회사의 AEVIT System 을 참고하였고, 사용시간 데이터 측정은 화면 터치시 데이터가 와이파이를 통해 컴퓨터에서 데이터를 받아 출력보드를 통해 기존 차량의 주변조작장치를 작동시키게 하였다(Figure 2).

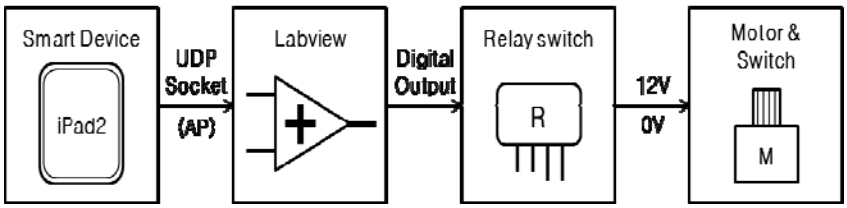


Figure 2. Smart interface system with secondary driving devices motor

스마트 디바이스를 거치하기 위해서 RAM MOUNTS 회사의 거치대를 사용하였고, 사용자의 사용 위치에 맞도록 위치 및 각도조절이 가능하도록 만들었다. 그리고 위치는 가장 높은 주변환경 시야와 가장 최적의 위치라고 판단되는 조건에 고정하였고(Koo et al., 2009), 실험에 사용할 주변조작장치는 차량안에서의 주변조작 장치의 중요도 조사 관련 연구(Roush and Koppa, 1992)를 바탕으로 장애인 운전자에게 가장 중요도가 높은 창문, 전조등, 방향지시등, 경적, 와이퍼, 비상등, 자동변속기로 총 7 가지를 설정하였다 (Figure 3).

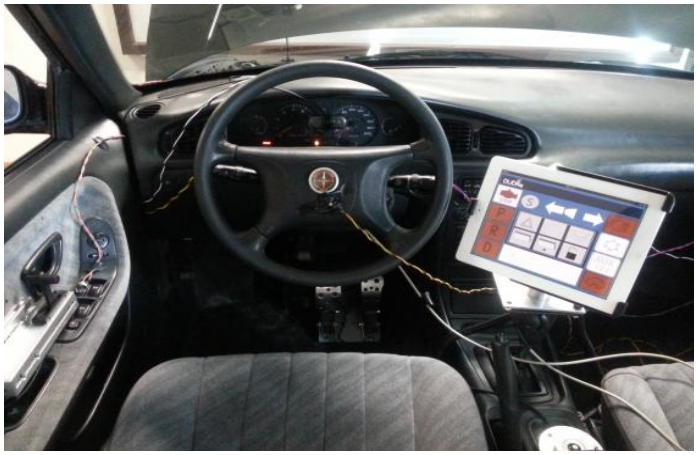


Figure 3. Smart device mounted in the vehicle

2.3 Control algorithms

디스플레이의 각 버튼마다 출력할 수 있는 아스키코드(ASCII code) 값을 설정하여 UDP 통신방식으로 소켓을 만들어 호스트 IP 로 전송하였으며, 전송 받은 데이터를 제어컴퓨터에서 프로그래밍하여 릴레이 스위치를 제어하였다. 즉, 디스플레이 버튼 터치시 출력되는 ON, OFF 의 아스키코드를 받아 ON 의 코드값이 들어올 때는 12V Digital 신호를 출력하고 OFF 의 코드값이 들어올 때는 0V Digital 신호가 출력되게 하였다(Figure 4).

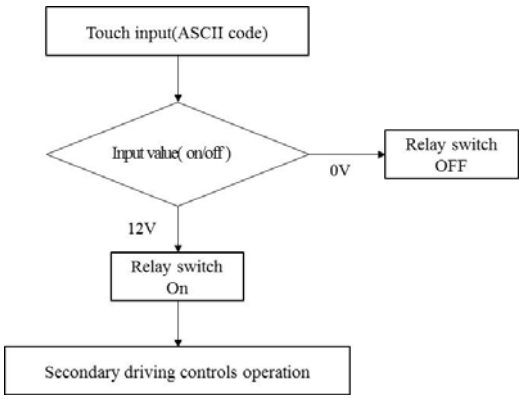


Figure 4. Control algorithms for smart device

2.4 Experimental procedure

본 연구에서는 시뮬레이터 상에서 운전자가 정차한 경우와 도로에서 주행하고 있는 2 가지 경우로 나누어 실험을 실시하였다.

정차시 실험에서 실험전 대상자는 실차형 시뮬레이터(DS1000) 안에 탑승하여 내부에 장착되어 있는 기존의 주변조작장치를 평가자의 지시에 따라 10 분 동안 무작위 지시에 따라 작동해보며, 장치의 위치를 익히게 된다. 또한 스마트 디바이스를 이용한 주변조작장치 실험 시작전 10 분 동안 평가자의 지시에 따라 장치를 작동해 봄으로써 디스플레이에 있는 버튼의 위치와 아이콘을 익힌 후 실험을 시작한다. 편안하게 앉아 정면에 움직이지 않는 화면을 주시하고 핸들에 손을 올린 뒤, 음성으로 지시 이벤트가 나오면 핸들 위의 스위치를 누른 후(Figure 5(a), (d)) 지시한 주변조작장치의 스위치를 눌러 장치를 작동시키고(Figure 5(b), (c)), 핸들로 돌아와 핸들 위 스위치를 누르고(Figure 5(c), (f)), 다시 정면을 주시하고 있으면 다음 지시 이벤트가 나오는 방식으로 스위치를 동작 하게 된다.

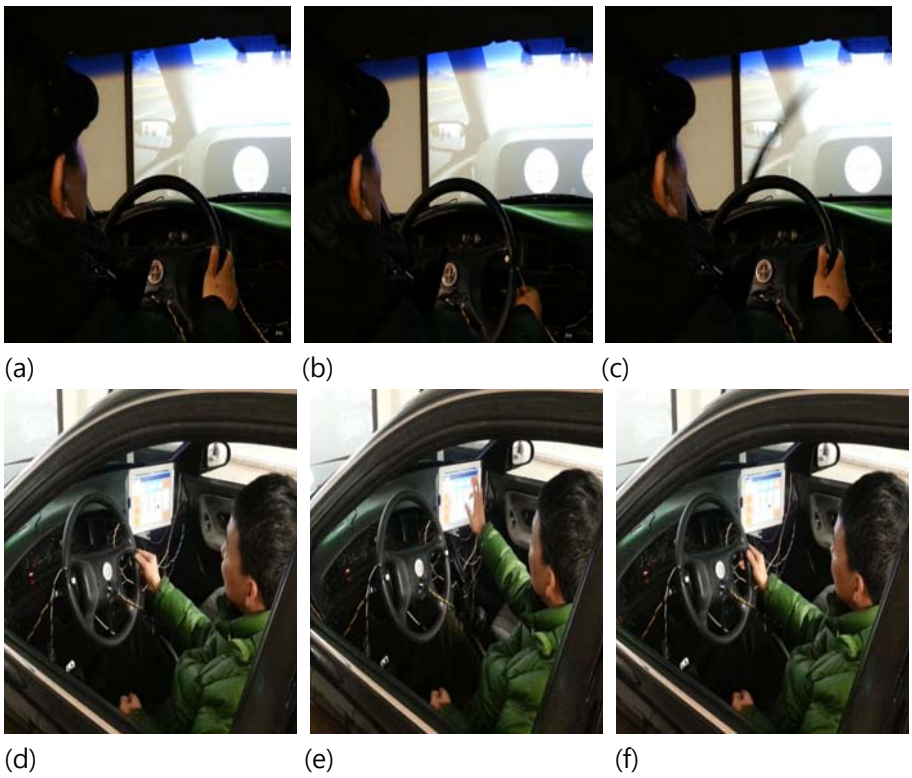


Figure 5. Movement step cycle of conventional and smart devices

정차시 실험에 사용하는 주변조작장치는 총 7 개(창문, 전조등, 방향 지시등, 경적, 와이퍼, 비상등, 자동변속기)로 경적과 자동변속기 작동을 제외한 5 개의 장치는 ON, OFF 지시 이벤트가 설정되어 있다. 장치마다 실험은 총 3 회씩 반복되며, 1 회의 실험에서 1 개의 장치당 2 번의 지시 이벤트가 설정되어 있다. 지시 이벤트의 간격은 10 초이며 각 실험마다 지시 이벤트는 무작위로 선택되어 나오며, 실험이 시작되면 실험에 대한 전달사항이 나온 후 지시 이벤트가 시작되며 실험 1 회에 걸리는 시간은 약 3 분이 소요된다. 지시 이벤트는 기존의 주변조작장치와 스마트 디바이스 실험시 동일하게 적용된다. 실험 중 장치 작동시 잘 못 작동한 경우 사용자 오류로 분류하였으며, 실험을 중지하지 않고 다시 작동하여 실험을 계속 진행하였다.

주변조작장치 사용시 장애인의 경우 정차 후 사용할 수 있지만, 정차할 수 없는 상황 속에서는 주행시 사용할 수 밖에 없다. 따라서, 주행시 실험은 실차형 시뮬레이터(DS1000) 안에 탑승하여 편안하게 앉아 화면을 주시하고 핸들에 손을 올린 뒤, 운전 시뮬레이션 프로그램(STISim Drive 3, System Technology Inc., USA)이 시작되면 제한속도 60km/h 로 정해진 코스를 따라 이동한다. 300m 간격으로 음성지시 이벤트가 나오며, 이벤트 발생시 주행을 계속 진행하고 있는 상태에서 정차시 평가와 동일하게 핸들위의 스위치를 누른 후 지시한 주변조작장치의 스위치를 눌러 장치를 작동시키고 핸들로 돌아와 핸들 위 스위치를 누른다. 300m 간격으로 음성지시 이벤트가 발생하기 때문에 속도에 따라 지시 간격에 차이가 조금 발생한다(Figure 6).

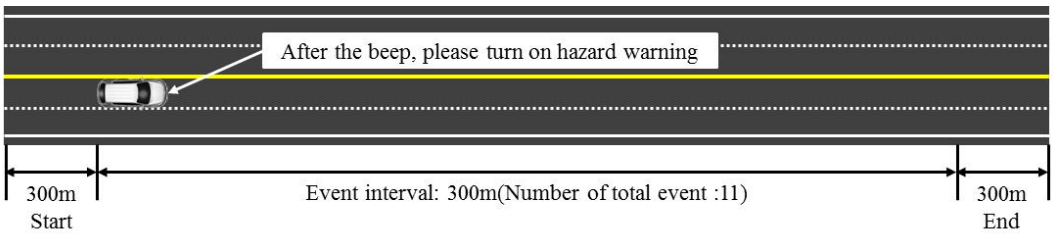


Figure 6. Test scenarios for secondary devices

주행시 실험은 자동변속기를 제외한 총 6 개의 장치로 각각 3 회씩 실시하며 1 회 시작시 주변조작장치 구분없이 ON/OFF 순서대로 무작위로 이벤트가 발생한다. 1 회 실험시간은 약 12 분으로 총 6 회를 실시할 때 총 72 분이 소요된다. 1 회 실시 후 10 분 휴식을 두었으며, 실험전 시뮬레이터에 의한 어지럼증을 체크한 후 다시 실시하였다. 정차시 실험과 동일하게 주행중 스위치 작동시간을 측정하였으며, 또한 주행시 도로주행 능력을 평가 하기 위하여 도로교통법 별표 26 '도로주행시험 채점기준'을 참고하여 100 점 만점에서 위반 사항을 감점 처리함으로써 운전 시뮬레이터에서 주변조작장치에 따른 도로 주행성능을 평가하였다.

2.5 Data analysis

운전 시뮬레이터에서 2 가지 주변 조작장치의 종류(기존 주변조작 장치와 아이패드를 이용한 스마트 주변조작 장치)와 3 개 그룹(비장애인 그룹, 좌측 편마비 그룹, 우측 편마비 그룹)에 대한 주변조작장치의 사용시간에 대한 영향을 분석하기 위해서 SPSS 18.0 통계 프로그램을 이용하였으며, 또한 2 가지 독립변수(주변조작장치의 종류와 대상자 그룹)에 대한 사용 특성을 분석하기 위하여 Two-way ANOVA 방법으로 사용하였다. 그리고 p 값이 0.05 미만인 경우에 통계학적인 유의성이 있는 것으로 정의하였다. 또한 분산분석에서 3 개의 실험 대상자 그룹간의 유의성이 나타나는 경우 사후 검정 방법으로 Tukey test 를 이용하여 3 개의 그룹 상호간의 통계학적인 유의성 검정을 추가적으로 수행하였다.

3. Results

3.1 Statistical analysis between subjects and secondary devices with Two-way ANOVA during stationary condition

정지 상태에서 실험 대상자(비장애인 그룹, 좌측 편마비 그룹, 우측 편마비 그룹) 와 입력 장치(기존 차량 입력장치, 아이패드를 이용한 스마트 입력장치)간의 상호 작용 및 독립적인 효과가 주변조작장치의 동작 시간에 어떠한 영향을 주는지 Two-way ANOVA 분석 결과는 Table 4 와 같다. 7 가지 주변조작 입력 장치에 의한 영향을 살펴보면 비상등, 방향지시기, 창문, 와이퍼, 전조등, 자동변속기, 경적 등 모두 기존 차량의 주변조작 장치보다 아이패드를 이용한 스마트 주변조작 장치의 경우 통계학적으로 유의하게 동작 시간이 감소하는 것으로 확인됐다($p<0.01$).

또한, 3 개 그룹의 실험대상자에 의한 영향을 살펴보면 방향지시기, 창문, 와이퍼, 전조등, 자동변속기에서 기존 차량의 주변조작 장치보다 아이패드를 이용한 스마트 주변조작 장치의 경우 통계학적으로 유의하게 동작 시간이 감소하는 것으로 나타났다($p<0.05$). 그리고, 실험 대상자와 주변조작 입력장치의 상호 작용에 의한 유의한 영향을 받는 보조장치는 비상등, 방향지시기, 창문, 와이퍼, 전조등으로 나타났다($p<0.01$).

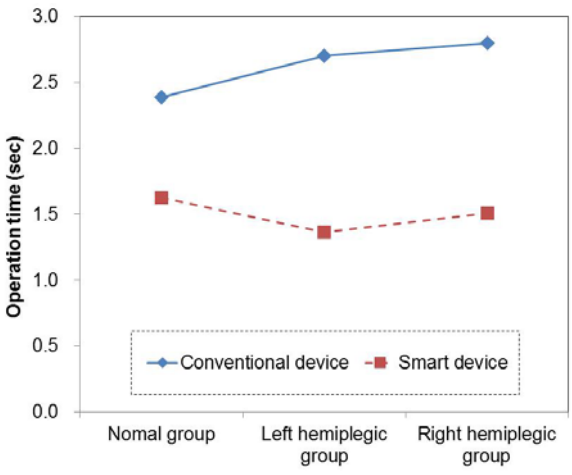
Table 4. Results of Two-way ANOVA

Variable		F-value	p-value
Hazard warning	Device	436.875	<0.001
	Subject	2.702	0.069
	Subject *Device	11.706	<0.001
Turn signal	Device	183.552	<0.001
	Subject	14.597	<0.001
	Subject *Device	18.396	<0.001
Window	Device	154.508	<0.001
	Subject	11.477	<0.001
	Subject *Device	16.514	<0.001
Windshield wiper	Device	348.402	<0.001
	Subject	16.454	<0.001
	Subject *Device	15.549	<0.001

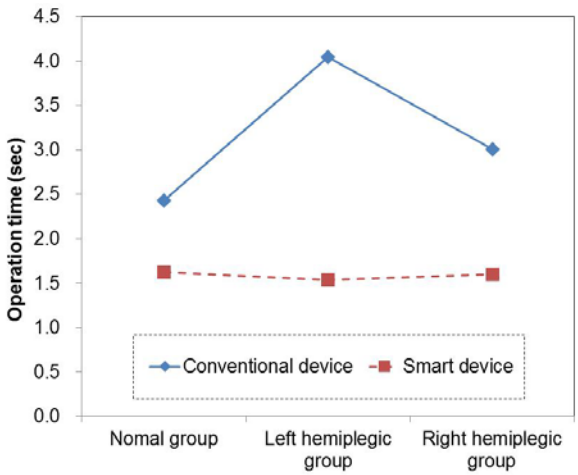
Headlights	Device	238.022	<0.001
	Subject	31.376	<0.001
	Subject *Device	36.278	<0.001
Automatic transmission	Device	275.264	<0.001
	Subject	3.545	0.032
	Subject *Device	.089	0.914
Horn	Device	94.946	<0.001
	Subject	0.652	0.523
	Subject *Device	0.348	0.707

정지 상태에서의 7 가지 주변조작장치간의 작동시간을 살펴보면 기존 장치를 사용한 경우는 대상자에 상관없이 모두 평균 2 초 이상 소요되는 것으로 나타났다(Figure 7), 하지만, 아이패드를 이용한 스마트 디바이스를 사용하는 경우는 대상자에 상관없이 모두 평균 2 초 미만으로 기존 장치에 비해 Two-way ANOVA 분석 결과 통계학적으로 유의한 차이가 있는것으로 나타났다($p<0.01$).

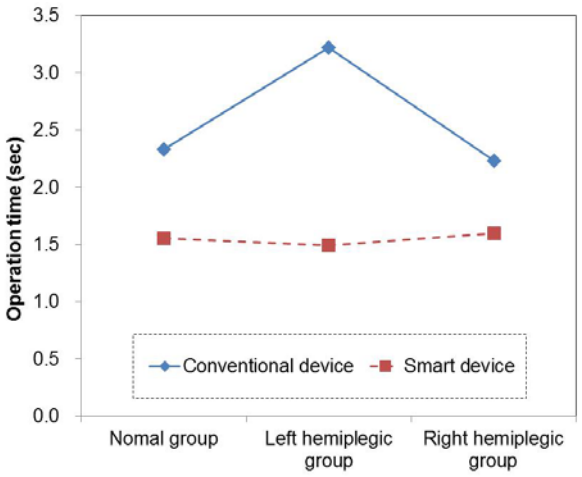
3 개 그룹의 실험 대상자에 대한 Tukey 사후 검정 결과 좌측에 위치한 방향지시기 (Figure 7(b)), 창문 (Figure 7(c)), 전조등 (Figure 7(e))의 경우 좌측 편마비 장애인 그룹과 비장애인 그룹, 좌측 편마비그룹과 우측편마비 그룹 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.01$). 또한, 우측에 위치한 와이퍼 (Figure 7(d)), 자동 변속기(Figure 7(f))의 경우 우측 펀마비 그룹과 비장애인 그룹, 우측 편마비 그룹과 좌측 편마비 그룹 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.05$).



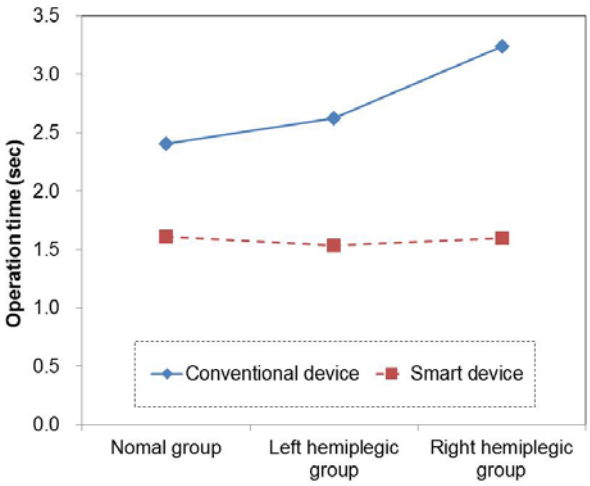
(a) Hazard warning



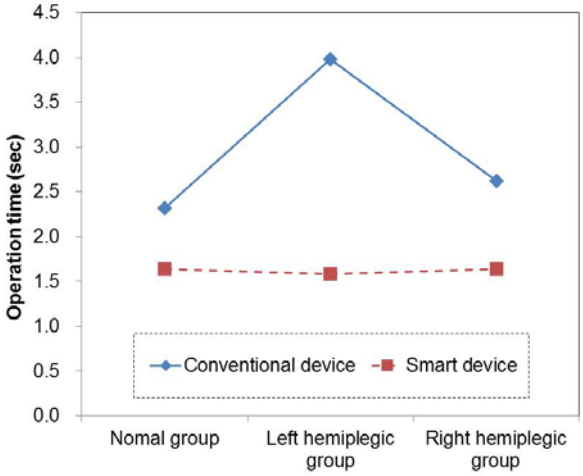
(b) Turn signal



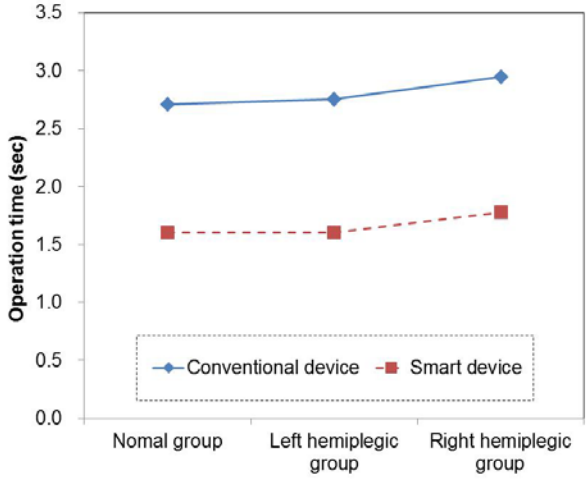
(c) Window



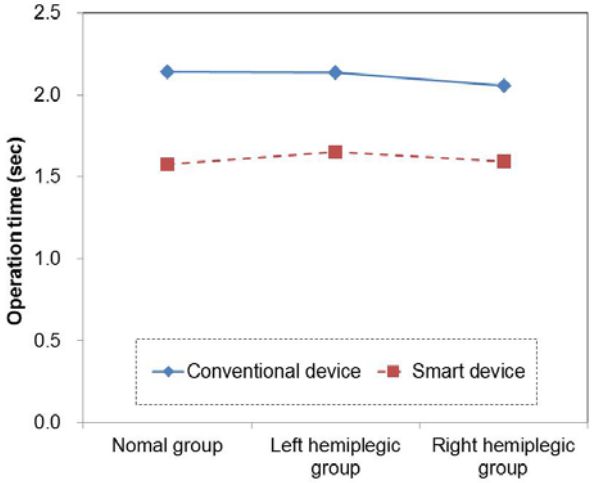
(d) Windshield wiper



(e) Headlights



(f) Automatic transmission



(g) Horn

Figure 7. Interaction plot (data means) during stationary condition

3.2 Statistical analysis between subjects and secondary devices with Two-way ANOVA during driving condition

시뮬레이터 상에서 주행시 실험 대상자(비장애인 그룹, 좌측 편마비 그룹, 우측 편마비 그룹) 와 입력장치(기존 차량 입력장치, 아이패드를 이용한 스마트 입력장치)간의 상호 작용 및 독립적인 효과가 주변조작장치의 동작 시간에 어떠한 영향을 주는지 Two-way ANOVA 분석 결과는 Table 5 에 나타내었다. 6 가지 주변조작 입력 장치에 의한 영향을 살펴보면 비상등, 방향지시기, 창문, 와이퍼, 전조등, 경적 등 모두 기존 차량의 주변조작 장치보다 아이패드를 이용한 스마트 주변조작 장치의 경우 통계학적으로 유의하게 동작 시간이 감소하는 것으로 확인됐다($p<0.01$).

또한, 3 개 그룹의 실험대상자에 의한 영향을 살펴보면 방향지시기, 창문, 와이퍼, 전조등에서 기존 차량의 주변조작 장치보다 아이패드를 이용한 스마트 주변조작 장치의 경우 통계학적으로 유의하게 동작 시간이 감소하는 것으로 나타났다($p<0.01$). 그리고, 실험 대상자와 주변조작 입력장치의 상호 작용에 의한 유의한 영향을 받는 보조장치는 방향지시기, 창문, 와이퍼, 전조등으로 나타났다($p<0.01$).

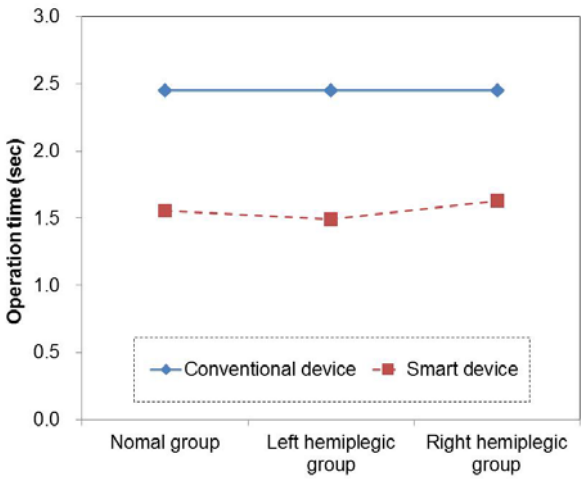
Table 5. Results of Two-way ANOVA

Variable		F-value	p-value
Hazard warning	Device	389.562	<0.001
	Subject	0.792	0.454
	Device *Subject	0.815	0.444
Turn signal	Device	235.259	<0.001
	Subject	8.977	<0.001
	Device *Subject	11.090	<0.001
Window	Device	294.228	<0.001
	Subject	9.888	<0.001
	Device *Subject	9.327	<0.001
Windshield wiper	Device	235.559	<0.001
	Subject	12.374	<0.001
	Device *Subject	8.699	<0.001
Headlights	Device	215.160	<0.001
	Subject	15.497	<0.001
	Device	16.870	<0.001

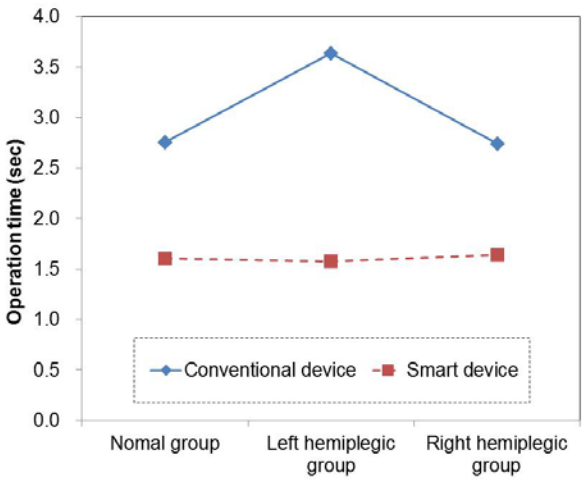
	*Subject		
Horn	Device	42.740	<0.001
	Subject	0.641	0.529
	Device *Subject	0.672	0.513

시뮬레이터 상에서 주행시 6 가지 주변조작장치간의 작동시간을 살펴보면 기존 장치를 사용한 경우는 대상자에 상관없이 모두 평균 2 초 이상 소요되는 것으로 나타났다(Figure 8). 하지만 아이패드를 이용한 스마트 디바이스를 사용하는 경우는 대상자에 관계없이 모두 평균 2 초 미만으로 Two-way ANOVA 분석 결과 기존 장치에 비해 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.01$).

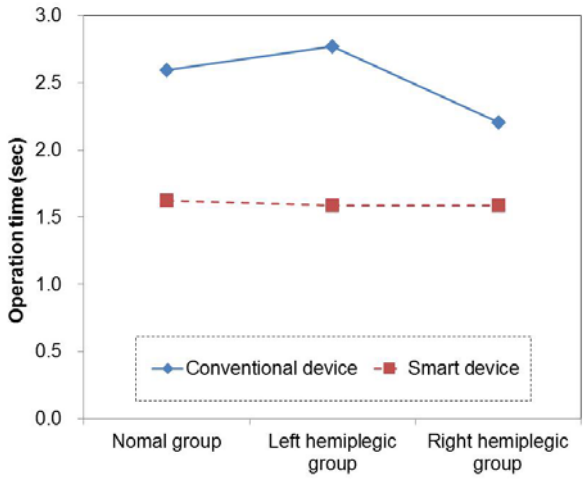
주행시 3 개 그룹의 실험 대상자에 대한 Tukey 사후 검정 결과 좌측에 위치한 방향지시기 (Figure 8(b)), 창문 (Figure 8(c)), 전조등 (Figure 8(e))의 경우 좌측 편마비 장애인 그룹과 비장애인 그룹, 좌측 편마비그룹과 우측편마비 그룹 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.01$). 또한, 우측에 위치한 와이퍼 (Figure 8(d))의 경우 우측 펀마비 그룹과 비장애인 그룹, 우측 편마비 그룹과 좌측 편마비 그룹 사이에 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.05$).



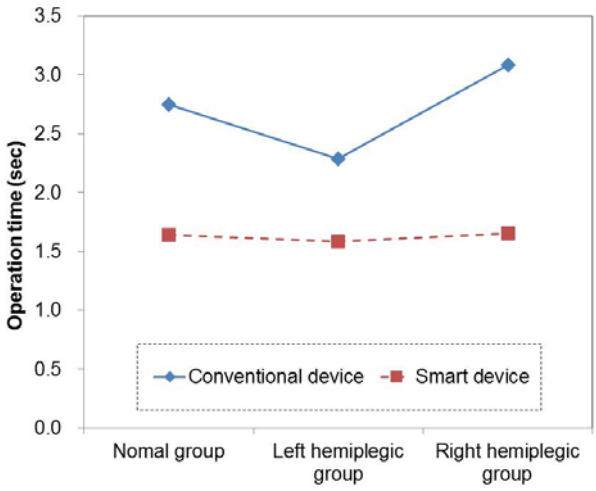
(a) Hazard warning



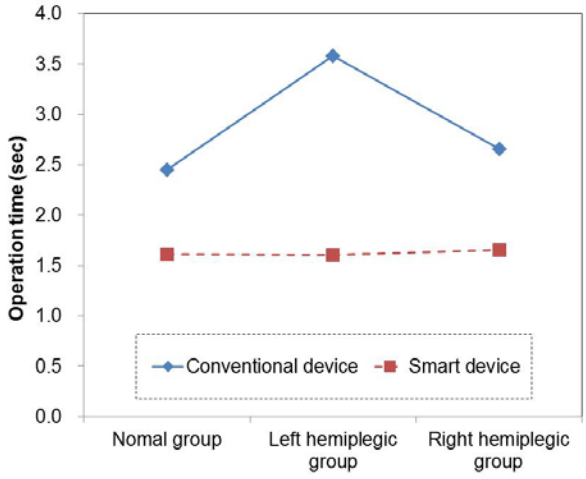
(b) Turn signal



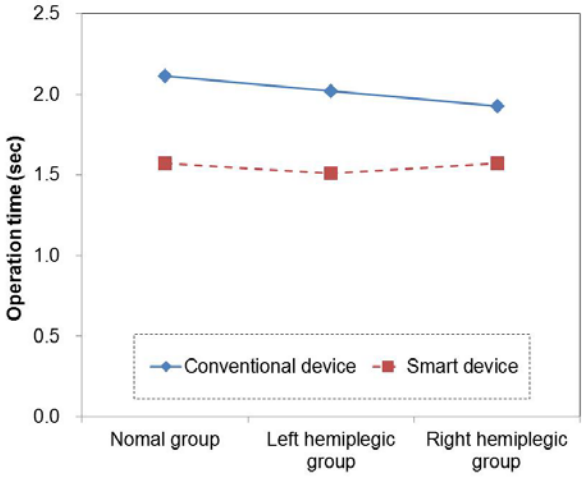
(c) Window



(d) Windshield wiper



(e) Headlights



(f) Horn

Figure 8. Interaction plot (data means) during driving conditions

3.3 Analysis of driving performance in different group

Figure 9 는 실험 대상자와 주변조작 입력 장치에 따른도로 주행 채점 평가 결과를 보여주고 있다. 먼저 비장애인 그룹에서는 기존 차량의 주변조작 장치를 사용하는 경우의 도로 주행 점수가 평균 52.7 점으로 나타났으며, 아이패드를 이용한 스마트 디바이스를 적용한 도로 주행 점수는 평균 69.4 점으로 31.7% 증가 하였다. 좌측 편마비 그룹에서는 기존 차량의 주변조작 장치를 사용하는 경우의 도로 주행 점수가 평균 54.0 점 이었으며, 스마트 디바이스를 적용한 도로 주행 점수는 평균 69.0 점으로 27.8% 증가 하였다. 우측 편마비 그룹에서는 기존 차량의 주변조작 장치를 사용하는 경우의 도로 주행 점수가 평균 47.8 점 이었으며, 스마트 디바이스를 적용한 도로 주행 점수는 평균 66.4 점으로 38.9% 증가 하였다.

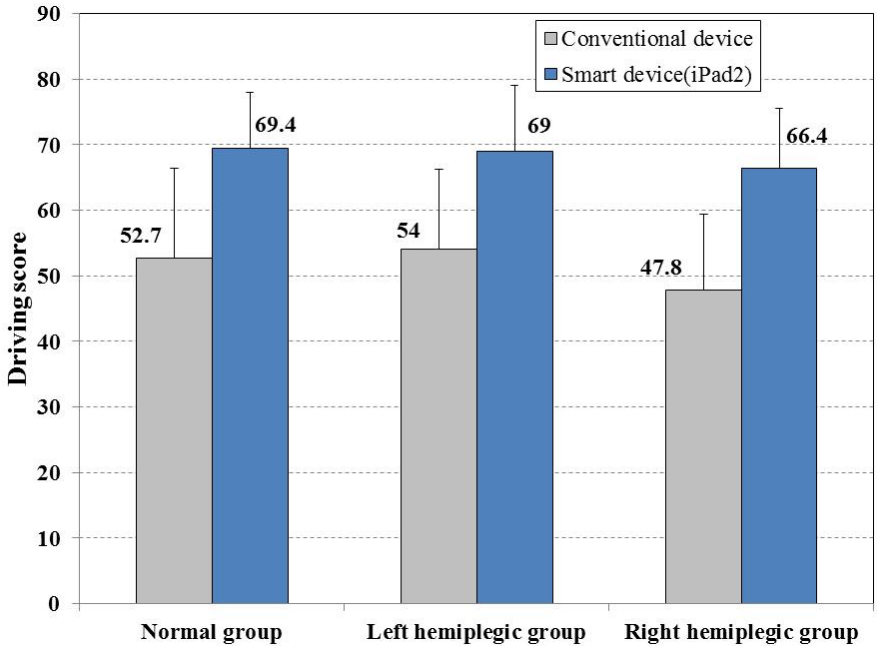


Figure 9. Driving evaluation results

4. Conclusion

첫째, 운전 시뮬레이터에서 정차시 아이패드를 이용한 스마트 장치를 사용하는 경우 동작 시간이 평균 2 초 미만으로 3 초 이상의 기존 장치보다 통계학적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다 ($p<0.01$). 또한 3 개 그룹의 실험 대상자에 대한 Tukey 사후 검정 결과 좌측에 위치한 방향지시기, 창문, 전조등의 경우 좌측 편마비 장애인 그룹의 동작 시간이 다른 대상자 그룹보다 통계학적으로 유의하게 증가 하는 것으로 나타났으며($p<0.01$), 우측에 위치한 와이퍼, 자동변속기의 경우 우측 편마비 장애인 그룹의 동작 시간이 다른 대상자 그룹보다 통계학적으로 유의하게 증가 하는 것으로 나타났다($p<0.01$).

둘째, 운전 시뮬레이터에서 도로 주행시 아이패드를 이용한 스마트 장치를 사용하는 경우 동작 시간이 평균 2 초 미만으로 3 초 이상의 기존 장치보다 도로 주행시에도 통계학적으로 유의하게 감소하는 것으로 나타났다 ($p<0.01$). 또한 3 개 그룹의 실험 대상자에 대한 Tukey 사후 검정 결과 좌측에 위치한 방향지시기, 창문, 전조등의 경우 좌측 편마비 장애인 그룹의 동작 시간이 도로 주행시에도 다른 대상자 그룹보다 통계학적으로 유의하게 증가 하는 것으로 나타났으며($p<0.01$), 우측에 위치한 와이퍼의 경우도 우측 편마비 장애인 그룹의 동작 시간이 다른 대상자 그룹보다 통계학적으로 유의하게 증가 하는 것으로 나타났다($p<0.05$).

셋째, 도로 주행 채점 결과 기존 차량의 주변조작장치를 사용하는 경우보다 스마트 디바이스를 사용하는 경우 비장애인 그룹에서 31.7%, 좌측 편마비 그룹에서 27.8%, 우측 편마비 그룹에서 38.9% 주행 점수가 증가하는 것으로 나타났다.

Acknowledgements

This research was supported by R&D grant on rehabilitation by Korea National Rehabilitation Research Institute, Ministry of Health & Welfare.

References

Babara, L., Mazer, B.L., Predicting ability to drive after stroke, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79, 743-750, 1998.

Baber, C., Beyond the Desktop: Designing and Using Interaction Devices, *Academic Press*, USA, 1996.

Baumann, M. Keinath, A., Ktems, J. F., Bengler, K., Evaluating of in-vehicle HMI using occlusion techniques: experimental results and practical implications, *Applied Ergonomics*, 35, 197-205, 2004.

Brookhuis, K. A., Vries, G. D., Waard, D. D., The effects of mobile telephoning on driving performance, *Accident Analysis and Prevention*, 23(4), 309-316, 1991.

Dingus, T. A., Antin, J. F., Hulse, M. C., Wierwille, W. W., Human factors issues associated with in-car navigation system usage, *Proceedings of the Human Factors Society*, 1448-1452, 1988.

Jung, W. and 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.

Klauer, S. G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J. D., and Ramsey, D. J., The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data, *U. S. Department of Transportation*, 2006.

Koo, T., Kim, B., Ji, S., Bae, C., Park, J., Suh, M., A Study on workload of using telematics while driving, *Transactions of KSAE*, 17(2), 26-33, 2009.

Kun, A. L., Paek, Tim, Medenica, Z., Memarovic, N., Palinko, O., Glancing at personal navigation devices can affect driving: experimental results and design implications, *Proceedings of the First International Conference on Automotive user Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 129-136, 2009.

Lim, H. U., Jung, E. S., Park, S., Jeong, S. W., Comparisons of driver performance with control types of the driver information system, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(1), 1-10, 2007.

Mazer, B. L., Korner-Bitensky, N. A., Sofer, S., Predicting ability to drive after stroke, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(7), 743-750, 1998.

Mcknight, A. J. and Adams, B., Driver education task analysis: Vol. 1. Task description, *U. S. Department of Transportation*, 1970.

Merat, N., Anttila, V., Luoma, J., Comparing the driving performance of average and older drivers: the effect of surrogate in-vehicle information systems, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 147-166, 2005.

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

Park, S-S., Hu., H., Lee, W-S., A study on physical signal changes due to distraction in simulated driving, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 55-59, 2010.

Patten C. J. D., Kircher, A., Ostlund, J., Nilsson, L., Using *mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation, Accident* Analysis and Prevention, 36, 341-350, 2004.

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

Rockwell, T H., Spare visual capacity in driving-revisited: New empirical results for an old idea, Vision in Vehicle II, 317–324, *Elsevier Science*, Netherlands, 1988..

Roush, L. and Koppa, R., A survey of activation importance of individual secondary controls in modified vehicles, *Assistive Technology*, 66-69, 1992.

Shinar, D., Tractinsky, N., Compton, R., Effects of practice, age, and task demands, on interference from a phone task while driving, *Accident Analysis and Prevention*, 37, 315-326, 2005.

Summala, H., Accident risk and driver behavior, *Safety Science*, 22(1-3), 103-117, 1996.

Wester, A. E., Bocker, K. B. E., Volkerts, E. R., Verster, J. C., Kenemans, J. L., Event-related potentials and secondary task performance during simulated driving, *Accident Analysis and Prevention*, 40(1), 1-7, 2008.