

생리신호 측정기법을 이용한 Joystick 운전방식의 HMI 평가연구

김 배 영¹⁾ · 구 태 윤¹⁾ · 배 철 호¹⁾ · 박 정 훈¹⁾ · 서 명 원^{*2)}

성균관대학교 기계공학부 대학원¹⁾ · 성균관대학교 기계공학과²⁾

A Study on HMI Assessment of Joystick Driving System Using the Physiological Signal Measurement Method

Baeyoung Kim¹⁾ · Taeyun Koo¹⁾ · Chulho Bae¹⁾ · Junghoon Park¹⁾ · Myungwon Suh^{*2)}

¹⁾Graduated School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea

(Received 11 February 2008 / Accepted 10 December 2009)

Abstract : Recently, the vehicle driving device has been designed for driver's convenience. Especially, the automobile industry develops the vehicle using the joystick instead of steering wheel from the concept car. The biggest strength of using the joystick is that the driver feels less workload and fatigue than when the driver uses steering wheel. However, this kind of study still needs more research and experiments for more accurate result. Therefore, this research evaluated workload according to the driving device by the survey and the measurement of physiological signal. The reason not only using the survey also using the measurement of physiological signal is to support the result of the survey which is not enough to bring the accurate result. There were tow different kinds of methods to carry out this research; SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) for the survey and the biopac equipment for the measurement of physiological signal. Furthermore, previously established driving simulator, GPS (Global Positioning System), and Seoul-Cheonan virtual expressway DB were used for the experiment. As the result of the experiment with 13 subjects, it was certain that using joystick device brings less workload and fatigue to the drivers than using steering wheel following both methods-the survey and the measurement of physiological signal. Also, it confirmed the significant result from the SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) statistics analysis program.

Key words : Joystick(조이스틱), Steering wheel(스티어링 휠), Workload(운전자부하), SWAT(주관적 평가 기법), Physiological signal(생리신호), Biopac(바이오팩), SPSS statistics analysis(SPSS 통계 분석)

1. 서 론

최근 자동차 산업에는 IT화를 통하여 자동차에 운전 이외의 부가적인 장치들이 많이 보급되고 있다. 특히 영화, 음악, 인터넷 및 DMB 시스템, 도로정보를 제공하는 Navigation 같은 텔레매틱스(teleatics) 산업¹⁾이 급성장하고 있다. 그리고 이러한 부가적인 장치들과 기존에 있던 공조장치들과의 통합을

통한 자동차 인테리어 레이아웃이 개발 및 상용화가 이루어지고 있다.

운전 이외의 부가적인 장치들의 개발 및 발전을 통하여 운전자는 편리함을 얻는 동시에 운전부하를 증가시키고 있다. 자동차 업계에서는 운전을 더 용이하게 할 수 있는 방법을 고안하여 Steering Wheel 대신 비행기에서 사용되고 있는 Joystick을 이용한 자동차를 개발하고 있다.

2000년 초 자동차 업계에서는 비행기에 적용된

*Corresponding author, E-mail: suhmw@skku.edu

FBW(Fly-By-Wire)기술을 자동차에 적용시킨 DBW (Drive-By-Wire)는 Joystick을 사용하여 가속, 제동, 조향 기능의 일부 또는 전부를 지원하는 방식으로 차세대 자동차에 적용이 검토되고 있다.²⁾ Mercedes Benz의 SCL-600, Italdesign-Giugiaro의 Vadho, 혼다의 Puyo등의 컨셉트 자동차에서는 Steering Wheel대신 Joystick을 이용하여 설계된 자동차를 발표하였다. 또한 국내에서는 손병석 등에 의해 실시간 다물체 동역학 차량 시뮬레이션 프로그램과 가상현실 3차원 그래픽으로 구성된 PC기반 저가형 시뮬레이터를 이용하여 조이스틱 차량 조작 장치에 대하여 연구하였다.³⁾

Steering Wheel대신 Joystick이 사용되는 주된 이유는 손목의 뒤틀림과 어깨의 움직임으로 인한 피로를 최소화하기 위해 동그란 Steering Wheel대신 Joystick이 적용된다. 하지만 Joystick이 Steering Wheel보다 운전이 더 쉽고 피로감이 최소화 되는지에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 또한, 이미 운전을 경험한 운전자들은 Steering Wheel에 익숙해져 있으므로 Joystick운전이 오히려 단점이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 Joystick운전 조작 장치와 관련된 기존의 연구와는 다르게 주관적 평가법과 생리 신호 측정을 통하여 운전방법에 따른 운전부하 비교실험을 수행하고자 한다. 이를 위해 구축되어 있는 가상환경 기반의 주행시뮬레이터, GPS(Global Positioning System) Simulator, 서울-천안간 가상 고속도로 DB를 이용하여 비교/평가 실험을 수행한다.

2. 실험구성

2.1 실험 환경

실험은 Steering Wheel과 Joystick을 장착할 수 있는 성균관대학교의 Fig. 1과 같은 SKUD III (Sungkyunkwan University Driving simulatorIII) 주행 시뮬레이터와 서울-천안간 가상 고속도로 DB를 이용하였다. 그리고 4가지 생리신호(심전도, 안구운동도, 근전도, 피부전기저항)를 측정할 수 있는 Fig. 2와 같이 바이오팩(Biopac)장비와 기존에 개발된 가상환경 안에서 네비게이션을 운영할 수 있는 GPS시뮬레이터 프로그램이 사용되었다.



Fig. 1 SKUDIII 실험

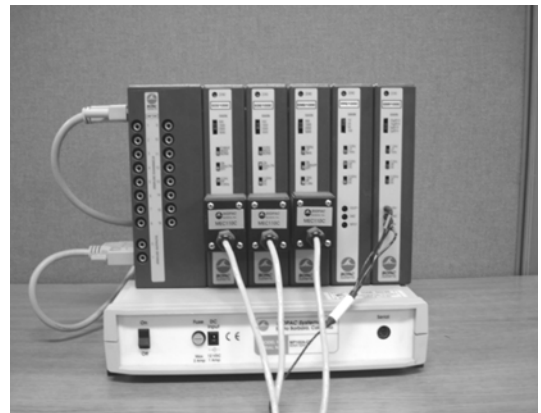


Fig. 2 Biopac 장비

피시험자는 신체 건강하고 운전이 능숙한 20대 남성 13명을 대상으로 하였다. 평균 연령은 25.2±2세, 신장 174.7±4.2cm, 체중 68.2±6.8kg, 운전 경력은 4.2±2.3년이며, 시뮬레이터에 설치된 실험 차량과 같은 차종의 운전 경험이 있는 자로 섭외하였다.

피시험자는 실험 당일 과격한 운동, 흡연, 약물 복용을 금하게 하였으며 차량 주행 시뮬레이터에 익숙해지도록 하고 과도한 시뮬레이터병(Simulator Sickness) 증상이 나타나는 지 여부를 관찰하기 위하여 탑승 후 30분간 적응 주행을 실시하도록 하였다. 이 과정에서 시뮬레이터병 증상이 나타나는 피시험자는 발생하지 않았다.

또한 피시험자가 실험 도중에 수행할 주관적 평가 및 실험방법에 대한 교육을 실험 전에 실시하였다.

2.2 실험 절차 및 조건

피시험자는 주행시물레이터에 탑승하고 난 후, 피시험자의 무부하 상태의 생리신호를 주행 시 생리신호와의 비교를 목적으로 5분 동안 편안한 상태를 유지하며 생리신호를 측정하도록 하였다.

무부하 상태 생리신호 측정을 마친 후, 피시험자는 최소 주행속도 100km에서 최대 주행속도 120km를 넘지 않도록 하여 서울-천안 톨게이트간 고속도로 주행을 운전방법(Steering Wheel 운전방법, Joystick 운전방법)에 따라 총 2번의 주행을 수행하도록 하였다. 2번의 주행에서는 데이터의 유의성을 위해 랜덤화하여 실험을 진행하였다.

주행 도중에 주관적 평가 법을 측정하기 위하여 총 5곳의 Block을 설정하여 운전을 멈추게 한 다음 주관적 평가 법을 측정하였다. 5곳의 Block은 Fig. 3과 같이 구성하였다.

주관적 평가 방법은 크게 3가지 방법이 있는데 본 연구에서는 설문지가 복잡한 NASA-TLX방법은 사용하지 않고 질문이 간단하고 결과 Data가 정확하게 나오는 SWAT(Subjective Workload Assessment Technique)방법을 사용하였다. SWAT설문지는 다음 Fig. 4와 같다.

2번의 주행 중, Biopac장비를 이용하여 근전도(EMG, Electromyography), 심전도(ECG, Electrocardiogram), 안구운동도(EOG, Electrooculography),

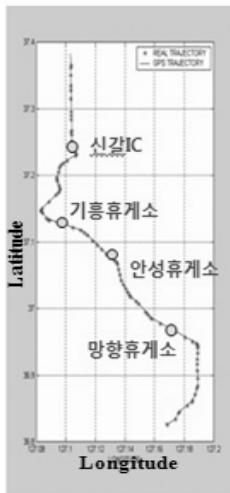


Fig. 3 Block별 위치

(1) SWAT Pair-wise comparison

1. 정신적 노력 부하 □ / 시간적 부하 □
2. 시간적 부하 □ / 정신적 스트레스 □
3. 정신적 스트레스 □ / 정신적 노력 부하 □

(2) SWAT rating

■ 정신적 노력 부하



■ 시간적 부하



■ 정신적 스트레스



Fig. 4 SWAT(Subjective Workload Assessment Technique)

피부전기저항(GSR, Galvanic Skin Response)을 측정하여 조건에 따른 생리신호를 비교·분석하였다.

3. 운전방법에 따른 운전부하 실험결과

3.1 주관적 평가 결과

본 연구에서는 실험 중간 Block마다 주행을 멈추게 한 다음 주관적 평가를 실시하였다. Fig. 5는 13명의 피시험자에 대한 SWAT설문지 결과 그래프를 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 시간(Block)에 따른 차이는 크게 확인되지 않았다. 하지만 운전방법(Steering Wheel 운전방법, Joystick 운전방법)에 따른 결과는 차이를 보인다. 13명의 피시험자는 대체적으로 Joystick 운전이 Steering Wheel 운전보다 Driver Workload가 적게 걸리는 것을 확인할 수 있었다.

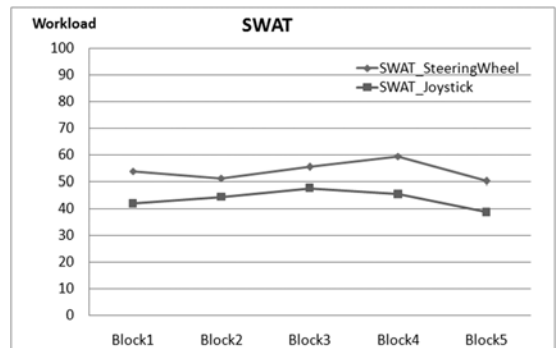


Fig. 5 SWAT결과 그래프

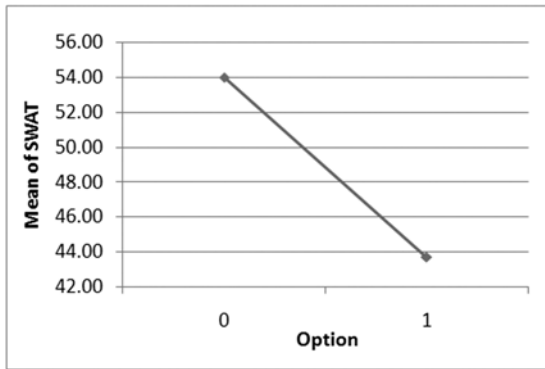


Fig. 6 운전방법에 따른 운전부하(주관적 평가)

Table 1 주관적 평가 ANOVA분석

SWAT	Block (Sig)	Option (Sig)
Between	0.709	0.07
Groups - Linear Term Contrast	0.874	0.07
Groups - Linear Term Deviation	0.549	-

또한, 시간(Block), 운전방법(Steering Wheel 운전방법, Joystick 운전방법)에 따른 유의차를 확인하기 위하여 통계분석을 하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS 15를 이용하였다. 유의차 확인을 위하여 SPSS 통계분석에서 많이 쓰이는 Tukey 방법을 사용하였으며, 유의차 Level은 0.05이하(p-value<0.05)로 정하여 분석을 하였다.

Table 1은 SPSS 프로그램을 사용하여 얻은 간(Block), 운전방법(Steering Wheel 운전방법, Joystick 운전방법)에 따른 유의차 결과이다. Table 1에서 시간(Block)에 따른 유의차는 보이지 않았다. 따라서 시간(Block)에 따른 운전부하는 나타나지 않았다고 결론을 낼 수 있다. 하지만 운전방법에 따른 유의차는 확인할 수 있었다. Fig. 6은 운전방법(Steering Wheel 운전방법, Joystick 운전방법)에 따른 운전부하를 평균적으로 나타낸 그래프이다. Joystick 운전이 Steering Wheel 운전보다 운전부하가 적게 받는다는 결론을 유의차 확인을 통하여 증명할 수 있었다.

3.2 생리신호 결과

본 연구에서는 주관적 평가 결과를 보완하고자 객관적 평가를 실시하였다. 객관적 평가 방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 운전자의 생리신호를 측정하였다.

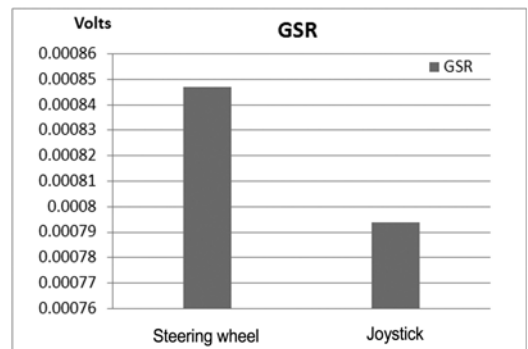
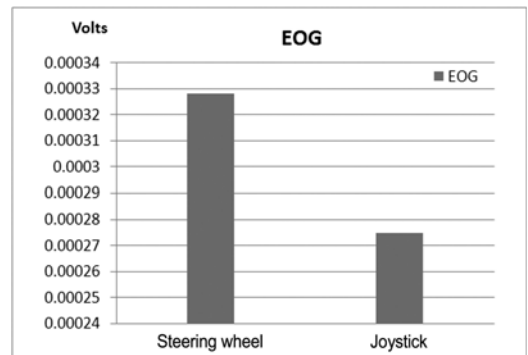
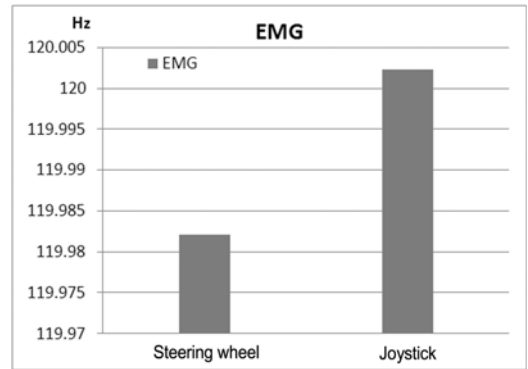


Fig. 7 운전방법에 따른 운전부하(생리신호)

생리신호 측정 역시 주관적 평가와 마찬가지로 Block마다 측정하였다. 본 연구에서 측정한 생리신호는 4가지(근전도, 안구운동도, 심전도, 피부전기저항)를 측정하였다.

시간에 따른 생리신호는 주관적 평가에서 쓰인 ANOVA 분석을 통하여 유의차가 없는 것을 확인하였다. 또한, 심전도 신호 같은 경우에는 시간, 운전방법 두 가지 모두 유의차가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 사용될 신호는 근전도, 안구운동도, 피부전기저항 3가지 신호이다.

Fig. 7은 운전방법에 따른 근전도, 안구운동도, 피부전기저항 3가지 생리신호 결과 그래프이며 운전방법에 따른 평균적인 운전부하를 나타낸 것이다. Fig. 7의 가로축은 운전방법의 차이이며, 근전도의 세로축은 Hz, 안구운동도와 피부전기저항의 세로축은 Volts이다.

Fig. 7의 근전도 주파수를 보면 Joystick으로 운전했을 경우 Steering Wheel로 운전했을 경우 보다 근전도 주파수가 높게 측정되었다. 운전자의 피로감은 근전도 주파수 값이 작아질수록 커진다. 즉, 본 연구에서는 Steering Wheel로 운전했을 경우 Joystick으로 운전했을 경우보다 운전자의 피로감이 더 컸다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7의 안구운동도 신호와 피부전기저항신호를 보면 Joystick으로 운전했을 경우 Steering Wheel로 운전했을 경우 보다 안구운동도 신호와 피부전기저항 신호가 낮게 측정되었다. 운전자의 운전부하는 안구운동도, 피부전기저항이 높을수록 많이 받는다. 즉, 본 연구에서는 Steering Wheel로 운전했을 경우 Joystick으로 운전했을 경우보다 운전자의 운전부하(스트레스)가 더 컸다는 것을 확인할 수 있다.

Table 2는 3가지 생리신호에 대한 ANOVA 분석을 한 것이다. 3가지 신호 모두 시간(Block)에 따른 유의차는 확인되지 않았다. 하지만 운전방법에 따른 유의차는 확인이 되었다.

즉, 주관적 평가방법에서 피시험자가 Joystick운전이 Steering Wheel운전보다 운전부하가 적게 받는다는 결과가 생리신호 결과를 통하여 확인이 되었다.

Table 2 생리신호 ANOVA분석

EMG	Block (Sig)	Option (Sig)
Between	0.312	0.046
Groups - Linear Term Contrast	0.049	0.046
Groups - Linear Term Deviation	0.833	-

EOG	Block (Sig)	Option (Sig)
Between	0.127	0.014
Groups - Linear Term Contrast	0.674	0.014
Groups - Linear Term Deviation	0.073	-

GSR	Block (Sig)	Option (Sig)
Between	0.491	0.013
Groups - Linear Term Contrast	0.105	0.013
Groups - Linear Term Deviation	0.858	-

4. 결론

본 연구에서는 주관적 평가방법과 생리신호 측정을 통하여 2가지 운전방법에 따른 운전부하실험을 수행하였다.

주관적 평가방법과 생리신호 측정을 통하여 Joystick운전이 Steering Wheel운전보다 운전부하가 적게 걸리고 피로감이 적은 것으로 확인되었다. 하지만 시간에 따른 결과의 유의차가 확인되지 않았다. 이것은 본 실험의 운전시간이 40분 정도였기 때문에 운전자가 시간에 따른 운전부하와 피로감을 느끼기에는 다소 적은 시간이었다고 판단된다. 향후 연구에서는 다양한 조건의 도로에서 실험을 수행하면 본 연구에서 나타나지 않은 시간에 따른 결과가 확인될 것으로 예상되며 이에 향후 자동차 설계에 큰 도움을 줄 수 있을 것이라 예상된다.

5. 부록

5.1 생리 신호

5.1.1 ECG(Electrocardiogram)

심전도는 심장이 수축함에 따라 심박동과 함께 발생하는 전위차를 곡선으로 기록한 것이다. 심장 근육은 동방결절에서 주기적으로 발생하는 전기적인 분극현상이 심근에 전도되어 순차적으로 수축이완되어지며 동방결절의 분극 현상은 자율신경계의 교감신경과 부교감신경에 의해 그 주기가 유동적으로 변화한다.⁴⁾ 이렇게 변화하는 심장 박동률 HR(Heart Rate)을 정량화한 것을 심박 변화율HRV(Heart Rate Variability)이라 한다. 운전 피로 연구에서 심박 박동률은 운전하는 동안 작업부하, 주의력과 관련성이 깊으며 피로의 생리학적 지표로 이용되고 있다.

Kalsbiik과 Ettma가 이진선택(Binary Choice) 실험에서 선택할 수가 늘어날수록 즉, 정신부하가 증가할수록 심박변화율이 감소하는 것으로 보고된 후 심박변화율은 피로감의 측정 지표로 널리 이용되고 있다.⁵⁾ Vincent 등에 의해 보다 구체적으로 HRV 전력 스펙트럼의 0.06 ~ 0.14Hz 영역이 정신부하가 높을수록 유의하게 낮아진 것으로 판명되었다.⁶⁾

HRV는 운전자의 정신적인 작업의 횟수가 증가

할수록 감소하지만, 정신적인 작업의 횟수가 증가한다. 피로로 인해 운전 작업에서 정신적 능력이 감소하게 되어 운전자가 피로를 더 많이 경험할수록 HRV의 중간 진폭수의 빈도가 증가하지만, 피로한 운전자가 자신의 운전 작업 수행 수준을 유지하기 위해 더 많은 노력을 하게 되어 중간 진폭수 빈도가 감소하기도 한다.⁷⁾

5.1.2 EMG(Electromyography)

근전도는 인체의 근섬유에서 발생하는 신호로서 근육에서 발생하는 전기적인 활동을 측정하는 것이다. 근전도의 크기는 보통 0 ~ 10mV(Peak to Peak), 0 ~ 1.5mV(Root Mean Square)로 알려져 있으며 근전도의 활동치를 보기 위해 주파수 분석을 많이 사용한다. 근전도의 주파수 범위는 보통 0 ~ 500Hz이며 주요 정보는 50 ~ 150Hz에 집중되어 있다.

근전도는 정신적인 피로감보다 물리적인 피로를 측정하는데 사용된다. 근육의 특정 부위에 지속적인 부하가 걸리면 그 부위를 측정할 근전도의 주파수가 저주파 대역으로 이동하고 그 크기가 증가하는 경향이 나타나는데, 이것으로 해당 부위의 근육이 피로해졌음을 알 수 있다.⁸⁾

5.1.3 EOG(Electrooculography)

안구 주변에 전극을 부착하여 안구운동에 의한 전위차를 측정한 것을 안구운동도(EOG; Electrooculography)라 한다.

안전도는 눈의 움직임에 통하여 피로와 졸음 현상을 측정하는 방법이다. 눈과 뇌 사이에는 다양한 감각과 운동이 연결되어 있고 눈의 움직임은 졸음의 징후를 알려준다. Lal과 Craig는 시뮬레이터를 이용하여 운전자의 직무 실험 결과, 각성 상태에서 빠른 눈 움직임과 눈 깜빡임이 피로로 전이되는 동안 눈의 움직임이 없었고 눈 깜빡임은 작고 빠른 리듬으로 변한다고 하였다. 또한 눈 깜빡임이 소멸하거나 눈 움직임이 상대적으로 정지 상태이면 초기 졸음 상태, 그 이전의 느린 눈 움직임과 뇌파의 α 파와 진폭 변화의 신호라고 제시하였다.⁹⁾

5.1.4 GSR(Galvanic Skin Response)

피부에서 발생하는 전기저항의 변화를 기록한 것을 피부전기활동(EDA: Electrodermal Active)라고 한다. 피부전도도는 평균이나 다른 통계적 조작에 대

해 안정적이고, 높은 수준의 활동이나 각성 시에 증가하고, 활동 수준이 낮을 때 감소하므로 주로 사용된다. 피부전기저항은 정신부하로 인한 피로감을 측정하는 방법으로 피부의 전기 저항의 변화를 측정할 수 있다.

Eason 등은 1시간동안 경계 작업을 계속 수행시킨 결과 피부 저항이 계속 증가하는 것을 확인하였다.¹⁰⁾

피부의 전기 저항의 변화로 피로감을 측정하는 것은 전도도에 영향을 주는 땀샘 활동의 절대 수준을 측정하는 것이 아주 어렵다는 단점도 있다.¹¹⁾ 그러나 비침습적(Non-Invasive)이고, 연속적으로 관찰이 가능하며, 측정 방법 및 장비가 비교적 간단하다는 장점 때문에 피로감 측정에 널리 이용되고 있다.

5.2 주관적 평가(설문지 조사법)

NASA-TLX는 1980년대 초반에 미 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration NASA)에서 개발한 주관적 직무난이도 평가 방법이다.¹²⁾

여러 산업재해와 사고를 통하여 인적수행도가 시스템의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 하나로 밝혀지면서 인적수행도 저하를 방지하기 위한 많은 연구들이 수행되었다. 그 결과로서 인적수행도 저하의 상당 부분이 직무 자체의 복잡성으로 인해 발생된다는 사실이 밝혀졌다. 즉 복잡한 직무를 수행하는 동안 운전원은 상당한 양의 인지적 부하(Cognitive Demand)를 경험하게 되는데,¹²⁾ 복잡한 직무로 인해 요구되는 인지적 부하가 운전원의 능력을 초과할 정도로 증가할 경우 급격한 인적수행도 저하가 발생된다는 것이다.^{13,14)} 이러한 사실은 작업자가 수행해야 하는 직무의 난이도를 체계적으로 평가하고 적절하게 관리하는 것이 인적수행도의 저하로 인한 사고 발생을 방지할 수 있는 중요한 수단임을 뒷받침해주고 있다.

대표적인 방법들로 NASA-TLX(NASA Task Load Index), Cooper-Harper Scale, SWAT(Subjective Workload Assessment Technique) 등이 알려져 있다.^{16,17)}

References

- 1) K. Y. Cho, C. H. Bae and M. W. Suh, "Overview

- of Telematics : A System Architecture Approach," *Int. J. Automotive Technology*, Vol.7, No.4, pp.509-519, 2006.
- 2) M. S. Sun, K. H. Oh, S. W. Shin, S. M. Cho and H. C. Yoo, "An Ergonomics Evaluation of Joystick Prototypes for New Generation Vehicles," *Journal of Ergonomics Society of Korea*, pp.17-20, 2002.
 - 3) B. S. Sohn, G. I. Lee, S. B. Lee, S. Y. Jung and S. S. Kim, "Development of a Joystick Driver-Vehicle Interface Using a Real Time Multibody Vehicle Simulator," *Spring Conference Proceedings, KSAE*, Vol.2, pp.536-541, 2001.
 - 4) J. D. Bronzino, *Biomedical Engineering Handbook*, CRC Press, 1995.
 - 5) D. Kalsbiik, *Attention and Effort*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
 - 6) K. J. Vincente and D. C. Thornton, "Spectral Analysis of Sinus Arrhythmia," *A Measure of Mental Effort, Human Factors*, Vol.29, No.2, pp.171-182, 1987.
 - 7) N. L. Harely and P. K. Arnold, "Indicators of Fatigue in Truck Drivers," *Applied Ergonomics*, Vol.25, No.3, pp.143-156, 1994.
 - 8) D. Wilder, M. L. Magnusson, J. Fenwick and M. Pope, "The Effect of Posture and Seat Suspension Designs on Discomfort and Back Muscle Fatigue during Simulated Truck Driving," *Applied Ergonomics*, Vol.25, No.2, pp.66-76, 1994.
 - 9) S. K. Lal and A. Craig, "A Critical Review of the Psycho-physiology of Driver Fatigue," *Biol Psychol*, Vol.55, No.3, pp.173-194, 2001.
 - 10) R. J. Eason, A. Beardshall and S. Jaffre, "Performance and Physiological Indicators of Activation in a Vigilance Situation," *Perceptual and Motor Skills*, Vol.20, No.1, pp.3-13, 1965.
 - 11) A. Crawford, *Fatigue and Driving*, *Ergonomics*, UK, pp.143-154, 1961.
 - 12) S. G. Hart and L. E. Staveland, *Development of NASA-TLX(Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research*, Elsevier Science Publisher B.V., pp.139-183, 1988.
 - 13) D. J. Campbell and K. F. Gingrich, "The Interactive Effects of Task Complexity and Participant on Task Performance: A Field Experiment," *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol.38, pp.162-180, 1986.
 - 14) American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*, New York: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, pp.15-17, 1994.
 - 15) D. D. Woods, "On Taking Human Performance Seriously in Risk Analysis: Comments on Dougherty," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.29, pp.375-381, 1990.
 - 16) Y. Liu and C. D. Wickens, "Mental Workload and Cognitive Task Automaticity: An Evaluation of Subjective and Time Estimation Metrics," *Ergonomics*, Vol.37, No.11, pp.1843-1854, 1994.
 - 17) K. C. Hendy, K. M. Hamilton and L. N. Landry, "Measuring Subjective Workload: When is One Scale Better Than Many?," *Human Factors*, Vol.35, No.4, pp.579-601, 1993.