

수면박탈과 운전 지속시간에 의한 피로가 운전 수행에 미치는 효과

이 재 식[†]

부산대학교 심리학과

본 연구에서는 운전자의 피로에 가장 중요하게 영향을 미칠 것으로 여겨지는 수면 부족(수면 박탈)과 운전 과제의 지속 시간이 운전자의 운전 수행에 어떠한 영향을 주는지 운전 시뮬레이션을 이용하여 살펴보았다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 차량에 대한 종적 통제 측면에서 보면 대부분의 실험 조건들에서 운전자들은 요구된 운전 속도 보다 더 빠르게 운전하는 경향을 보인 반면, 수면이 박탈된 상태로 60분 이상 운전한 조건에서의 운전자들은 다른 조건에 비해 목표 운전 속도에 밀도는 운전 속도로 운전하였을 뿐만 아니라 운전 속도의 변산성도 가장 컸다. 둘째, 차량에 대한 횡적 통제 측정치들에서 보면, 수면 박탈이나 운전 지속 시간에 의해 피로 정도가 증가할 경우 차량의 횡적 통제에 대한 운전자들의 수행은 일반적으로 저조해지는 것으로 보이지만 수면 박탈 조건에서 1시간 이상 운전한 운전자들은 중앙선으로부터 떨어져 운전함으로써 다른 조건에 비해 차선 침범 빈도가 상대적으로 더 적었던 반면 차선 안에서의 좌우 흔들림은 더 컸다. 셋째, 피로 정도에 대한 운전자의 주관적 평정 결과, 운전자들의 주관적 피로도도 정상 수면 조건보다는 수면 박탈에서, 그리고 운전 지속시간이 증가함에 따라 가산적으로 증가하였다. 본 연구 결과는 피로한 운전자들이 운전 수행의 몇몇 측면에서 운전 피로를 보상하여 운전하고자 하는 경향을 보이지만, 전반적으로는 운전 피로에 의해 운전 수행의 질이 저하된다는 것을 시사한다.

주요어 : 운전 피로, 수면박탈, 운전지속시간, 보상효과

[†] 교신저자 : 이재식, 부산대학교 심리학과
E-mail : jslee100@pusan.ac.kr, Tel : 051-510-2131

일상생활에서 ‘피로’라는 말은 권태, 졸음, 지겨움, 또는 신체적으로 지쳤다는 느낌이나 감각을 기술하는데 일반적으로 쓰이지만, 일상적인 용어의 의미로는 피로의 원인, 기제, 혹은 피로가 행동결과에 미치는 영향을 구체화시키지 못한다. 이런 관점에서 볼 때, 피로를 조작적으로 정의할 필요가 있다. 피로를 정의할 필요성에 대해서 생각한 연구자로는 Muscio(1921)가 처음으로, 그는 용인될만한 정의와 신뢰로운 측정방법 없이 피로 검사를 수행하는 것은 불가능한 일이라고 주장했다. 또한 Bills(1934)와 Platt(1964)는 가장 처음 피로를 정의한 연구자들로, 피로를 자신이 느끼는 피로감 정도에 따른 주관적 피로(subjective fatigue), 피로 정도에 따라 심박수나 피부전도 반응 및 근전도 등에서 차이를 보이는 생리적 피로(physiological fatigue), 그리고 눈꺼풀 반응이나 반응시간에서의 변화 등을 포함한 행동적 지표로 측정 가능한 객관적 피로(objective fatigue)로 나누었다. 대부분의 연구자들은 ‘피로’라고 불리는 단일한 상태가 없으며, 피로의 의미는 피로상황의 맥락으로부터 이해되어져야 한다는 데 의견을 같이 하는 것 같다.

피로한 상태로 운전할 경우 교통사고의 가능성 및 치사율이 크게 증가하여 일반 교통사고보다 3~4배 높아지며 이것은 음주 운전 이상으로 치명적 결과를 초래하는 것이라고 한다(삼성교통안전문화연구소, 2004). 이에 따라 운전에서 미치는 피로의 영향에 관한 연구는 적지 않다. 많은 초기 연구들은 운전 시간이 증가함에 따라 운전수행에 차이가 있는지를 평가하기 위해 사전 사후 검사를 사용하였다. 이러한 연구들 중에서 Herbert와 Jaynes(1964)는 운전 수행의 감소는 계속해서 운전한 시간과 밀접한 관계가 있고, 운전 시

간의 증가에 따른 수행 저하를 관찰하였다. Ryder, Madin 및 Kinsley 등(1981)은 과제 수행 도중 휴식을 취한 것의 여부와 상관없이 수면 박탈 운전자의 종적 운전 수행은 운전 지속 시간이 증가함에 따라 더 저하된다는 것을 관찰하였다. Forbes, Katz, Cullen, 그리고 Deterline(1958)은 극도의 수면 박탈(24~36시간)로 인한 속도 통제의 감퇴를 보고하였고, Platt(1964)는 운전 중에 작업과 관련된 스트레스의 효과를 제시하였다.

Kaluger와 Smith(1970)는 피험자로 하여금 24시간 동안 잠을 자지 않게 하고, 다음에 9시간 동안 계속하여 운전을 하도록 하면서 안구운동을 관찰한 결과, 피로한 운전자는 안구운동의 반응이 둔화한다는 것을 밝혔다. 이 때문에 피로한 운전자는 중요한 도로 표지 등에 주의를 기울이는 경향이 약화하고 차선에서 이탈하지 않으려는 데 집착하게 된다. Safford와 Rockwell(1967)의 연구도 24시간을 연속 운전하는 경우에 일정한 속도를 유지하거나 차선내에서 일정한 위치를 유지하는 것이 어려워짐을 밝히고 있다. Hulbert(1972)도 24시간 동안 잠을 자지 않은 다음에 운전을 시키면 1시간 이내에 줄기 시작한다는 것을 밝혔다.

좀더 구체적으로 운전 조작에 대한 피로의 영향을 연구한 사례들도 많이 있다. 예를 들어, 주행 중인 도로상에서 차선 위치를 유지하고, 적절한 방식으로 스티어링 휠을 조작하는 방법은 운전수행 중 자동차의 횡적 통제를 얼마나 잘했는지 알려주는 가장 중요한 변인들 중 하나이다. 특히, 운전자의 정신적 부하나 음주 혹은 피로의 영향을 측정하는데 매우 민감한 측정치로 사용되어 왔다. 일반적으로 스티어링 휠의 조작행동은 피로가 증가해감에 따라 정확도는 점점 떨어지나, 수행이 좋을

때는 작은 조작 범위로 빈번하게 입력된다. 몇몇의 연구들은 도로에서 운전할 때나 (Forbes 등, 1958; Greenshields, 1966; Platt, 1964; Sugarman & Cozad, 1972), 시뮬레이터를 운전할 때 (McFarland & Mosly, 1954), 그리고 일정하게 정해진 코스를 주행했을 때 (Michaut & Pottitt, 1964) 운전 시간이 증가함에 따라 스티어링 휠을 반대로 돌리는 비율이 감소한다는 것을 밝혀냈다.

피로가 운전에 미치는 효과를 운전자의 정보 처리 측면에서 살펴본 연구들도 있다. 예를 들어, Milosevic(1997)도 운전 작업과 감시(vigilance) 간에는 상당히 밀접한 관련이 있다고 보았다. 그는 운전중 감시 작업 수행에서의 감소가 자동차 사고의 원인에 있어서 상당히 많은 부분을 설명할 수 있다고 보았다. 또한 Wiener(1984)는 운전자들에게서 나타나는 수행수준의 감소 현상이 감시 작업 수행에서의 감소나 운전 피로에 의해 유발된다는 사실을 지적하였다. 그리고 Dureman과 Bodén(1972)은 운전 시뮬레이터를 이용하여 운전 시간의 경과에 따른 감시 작업 수행수준의 변화를 연구하였는데, 운전 시간이 경과함에 따라 운전자들의 감시 작업 수행수준이 감소한다는 사실이 밝혀졌다.

그러나 다른 연구들은 피로에 따른 운전자의 감시 과제 수행이나 운전 수행 자체의 변화에 대해 일관적이지 않은 연구 결과를 보고하고 있다(Brown, 1965; Brown 등, 1966; Greenshields, 1966). 예를 들어 피로의 증가에 따라 감시 과제 수행 능력이 저하된다는 연구 (McFarland와 Moseley, 1954)에서부터 운전 중에는 감시과제 수행 능력의 변화가 보이지 않는다고(Dobbins, Tiedemann과 Skordahl, 1963), 과제 수행 능력이 오히려 상승한다는 연구

(Brown, Simmons와 Tickner, 1967)와 같이 결과가 일정하지 않다. 특히, McFarland와 Moseley (1954)의 연구에서 20명의 트럭 운전자가 9시간을 계속해서 운전할 때의 행동 변화를 관찰한 결과, 근접사고(near accident) 횟수가 더 감소한다는 것이 관찰되었다. 이러한 결과에 대해 Näätänen과 Summala(1976)는 운전에 의해 최저 감시수준이 유지되고 있으며, 운전 행동에 관한 피드백을 지속적으로 얻고 있다는 사실, 그리고 실험 결과를 비교할 때 운전 중에는 단조로움이 심하지 않다는 사실을 제시하면서, 운전 중 감시 작업의 특징을 설명하려고 했다.

이상 살펴본 바를 정리하면, 피로는 일반적으로 운전 행동의 여러 측면에 영향을 미치지만 그 효과의 방향은 연구에 따라 달리 나타나는 것으로 보인다. 특히 운전 피로라는 관점에서 보면 수면 박탈이나 운전 시점(예를 들어, 야간 운전 등), 그리고 운전 지속 시간 등과 같은 요인들이 연구에 따라 혼합적으로 조작되어 운전 피로와 운전 사이의 관계를 검증하고 있다. 더구나 연구자들에 따라 운전자의 어떤 수행 측면을 측정했는지에 따라 피로에 의한 운전 수행의 저하 여부가 상이하게 보고되고 있다(예를 들어, 운전자의 안구 운동과 같은 감시 수행은 피로에 의해 대체적으로 저하되지만, 피로에 대한 운전자의 보상효과에 의해 차선 유지나 차량간 유지 수행은 외현적으로는 오히려 더 좋아지는 것으로 보인다).

본 연구는 수면 박탈과 운전 지속 시간에 의한 운전자의 운전 피로를 체계적으로 조작하되, 운전자의 운전 수행 중 어떠한 측면에서 상대적으로 더 많은 손상을 가져오는지 검토하고자 수행되었다. 동일한 운전자들에 대해 수면 박탈에 의한 피로와 운전을 지속적으

로 수행함에 따라 발생하는 피로의 효과를 체계적으로 조작하여 관찰함으로써 이 변인들의 운전 수행에 가산적으로 혹은 차별적으로(즉, 상호작용적으로) 영향을 주는지 살펴볼 수 있을 것이다. 좀더 구체적으로, 수면박탈 여부에 따라 운전 수행에 대한 운전 지속시간의 효과가 일정하게 증가하는지, 아니면 특정 시점에서 급속한 수행 저하를 가져오는지 관찰하고자 한다. 이를 통해 운전 피로와 관련된 안전 운전 행동에 중요한 시사점을 제공할 수 있을 것이다. 또한 피로에 의한 운전 수행에서의 변화도 운전 수행의 여러 측면을 좀더 세분화하여 분석함으로써 운전 수행의 어떠한 측면이 상대적으로 더 많은 손상을 받는지(혹은 어느 측면에서 보상 효과가 나타나는지) 살펴볼 수 있을 것이다.

방 법

본 연구는 수면 박탈 여부 및 운전 지속 시간에 따라 운전자의 차량 통제(목표 속도 유지와 운전 속도 변산성을 통해 측정된 차량의 종적 통제와 차선내 차량 위치, 차선내 차량 위치의 변산성 및 차선 침범 횟수 등을 통해 측정된 차량의 횡적 통제), 그리고 운전자들이 주관적으로 경험하는 피로도가 어떻게 달라지는지 운전 시뮬레이션 방법을 통해 살펴보고자 하였다. 본 연구의 구체적 방법은 아래와 같다.

실험참가자

미국 OO 지역의 트럭 운송 회사에 근무하는 10명의 운전자들(남 8명, 여 2명)이 실험에 참여하였다. 이들의 평균연령은 38.2세였고, 유

효한 상업용 차량 운전면허를 소지하였으며, 최소한 100,000 마일의 실제 운전 경험이 운전자들이었다. 실험 이전에 이들은 모두 시력 검사 등 기초적 의학 검사를 모두 통과하였으며, 실험의 성격상 실험 중에 과도한 피로나 시뮬레이터에 의한 멀미감 등을 경험할 수 있었으나 중도에 포기한 운전자는 없었다. 상업용 트럭 운전자들을 실험 참가자로 선발한 이유는 이들이 다른 운전자 집단과 비교하여 야간 운전 등의 이유로 빈번하게 수면 박탈을 경험하거나 장시간의 운전을 수행해야 하는 업종에 종사하는 운전자들이기 때문이다.

운전 시뮬레이터와 운전 시나리오

본 실험에 사용된 운전 시뮬레이터는 고정형 시뮬레이터(fixed-base simulator)로 일반 승용자동차에서 볼수 있는 모든 계기판들이나 컨트롤들이 설치되었으며, 트랜스미션은 오토매틱이었다. 운전자의 시뮬레이터 조작에 따른 도로나 주변장면의 움직임은 시뮬레이터와 연결된 컴퓨터가 생성한 이미지에 의해 제시되었으며, 운전속도등과 같은 운전수행 데이터는 시뮬레이터와 연결된 개인용 컴퓨터에 저장되었다. 시뮬레이터의 대쉬보드 중앙 상단에 디지털형의 속도계가 제공되었다. 도로상의 장면들(예를 들어, 차선이나 옆 차선의 자동차들)이나 도로외의 장면들(예를 들어, 도로 주변의 건물이나 경치)은 STISIM 운전 시뮬레이션 프로그램(버전 6.22, Systems Technology Inc.)에 의해 구성되었으며, 모든 장면들은 운전자 머리 2.5 미터 위에 설치된 SONY TV 프로젝터에 의해 가로 50도, 세로 40 도의 시각역(visual angle)을 제공하는 스크린 위에 투사되었는데, 이 시각역은 실제 운전 상황에서

운전자에게 제공되는 최소한의 시각영역을 만족시킬 수 있는 조건이었다(Haug, 1990).

각 과제조건에 따라 5분 정도의 연습을 위한 운전 시나리오와 90분의 본 실험을 위한 운전 시나리오가 준비되었다. 트럭 운전석에서 제공되는 도로 장면을 모사하기 위해 운전자의 눈높이는 8피트(약 2.4m)로 설정되었고, 각 실험조건에 따른 시나리오는 운전자의 연습효과를 제거하기 위해 도로 이외의 장면들(예를 들어, 건물의 모양은 약간씩 변경되었다. 피험자들이 운전하는 도로는 2차선 고속도로였으며, 고속도로에서 흔히 제공되는 다양한 표지판들은 동일한 수를 무선적으로 제시하였다. 연습 주행과 본 실험 주행을 위한 운전 시나리오의 운전 길이는 약 160km였다. 차선 너비는 3.6m이었고 직선 도로와 굴곡이 있는 도로를 무선적으로 제시하였다.

절차

실험 실시 전에, 피험자들은 그들의 운전 경력과 인구학적 특성을 보고하도록 하는 질문지를 완성하였고, 간단한 시력검사를 받았다. 특히 운전 시뮬레이터에 의한 멀미감 여부를 확인하기 위하여 연습 시행 중에 멀미를 경험하는지 여부를 확인하였고, 실험 참가 동의서에 서명하도록 하였다. 모든 운전자들은 정상 수면 조건과 수면 박탈 조건에 모두 참가하되 그 순서는 역균형화하였다. 그리고 한 운전자가 특정 수면 조건에서 실험을 수행한 이후에는 최소한 48시간의 시간이 경과한 이후에 다음 수면 조건의 실험에 참가하도록 하여 수면 박탈에 의한 이월효과를 제거하고자 하였다.

정상 수면 조건 및 수면 박탈 조건 각각에

서 운전자들은 90분 동안 계속해서 운전하도록 요구받았는데, 30분이 경과할 때 마다 주관적 피로도를 확인하기 위한 간단한 질문을 하고 이에 대한 운전자들의 응답을 기록하였다(질문을 실시하는 과정 중에도 운전자들은 운전을 계속하였다). 이러한 질문 과정이 운전자를 각성시키거나 운전 수행을 방해할 수 있었기 때문에 질문이 진행되는 시간의 운전 수행은 자료 분석에서 제외하였다.

피험자들은 운전 속도를 모든 조건에서 65mph(즉, 104.61km/h)로 유지하도록 요구받았다. 모든 피험자들은 특별한 요구가 없는 한 시뮬레이터를 정지하지 말고 계속 운전하라는 지시와 차선을 바꾸는 것 혹은 교차로에서 회전하는 것 등을 하지 말라는 지시를 실험 전에 받았다. 그리고 운전 중에 불편감이나 멀미를 경험할 경우, 실험자에게 즉시 보고하도록 하였으나, 실제 실험 중에 중도 탈락한 피험자는 없었다. 실험 종료 후 간단한 실험 후 설명이 주어졌고, 각 피험자들에게는 일정량의 보수가 지급되었다.

독립 변인

본 연구에서는 운전자의 피로를 유도하기 위해 수면 박탈과 운전 지속시간의 두 가지 독립변인을 조작하였다. 수면 박탈 변인의 정상 수면 조건에서 운전자들은 야간에 수면을 취한 후에 주간 근무를 하기 직전에 운전 시뮬레이션 실험실에 오도록 하였다. 수면 박탈 조건에서는 운전자들에게 잠에서 깨고 12시간이 경과 한 후에 실험실로 오도록 하였다. 특히 정상 수면 조건에서는 운전자들이 실험실에 도착한 후 즉시 실험을 실시하였으나, 수면 박탈 조건에서는 운전자들에게 피험자 대

기실에서 7시간 추가적으로 각성된 상태를 유지하고 있도록 요구하고 실험자가 이들과 함께 입실하여 감시하였는데 이 시간 동안에는 운전자들이 졸거나 커피와 같은 각성 기능을 하는 음료를 마시지 못하게 하였다.

수면 박탈과 마찬가지로 운전 과제 지속시간 변인도 운전자의 피로를 유도하기 위해 채택되었다. 모든 운전자들이 90분 동안 쉬지 않고 운전 시뮬레이터를 운전하도록 하였는데 90분 동안의 지속적 운전 수행을 30분 간격의 세 수준으로 나누어 각각의 구간에서 관찰되는 운전 수행의 변화를 측정/분석하였다.

종속 변인

본 연구에서는 운전 수행과 주관적 피로 정도의 두 가지 종속 측정치들이 분석되었다. 운전 수행 평가는 운전자가 차량을 얼마나 안정되게 유지하면서 운전하였는가를 알아본 것으로, 크게 운전 속도 제어와 차선 유지 등으로 구분되었다. 운전 속도 제어 측면에는 운전자의 (1) 목표 운전 속도로부터의 이탈 정도와 (2) 운전 속도 변산성이 포함되었다. 목표 속도로 부터의 이탈정도는 운전자들이 목표 속도인 65mph(약104.61km: 자료 분석에서는 모두 km 단위로 환산하였다)를 얼마나 잘 유지했는지를 나타내는 지표로 목표 속도와의 차이가 클수록 저조한 수행을 의미한다. 운전 속도의 변산성은 운전자가 얼마나 안정적으로 운전 속도를 유지했는지 나타내고, 변산성이 클수록 저조한 수행을 의미한다.

차선 유지 수행은 (1) 차선내 차량 위치와 (2) 차선내 차량 위치의 변산성, 그리고 (3) 차선 침범 횟수가 측정되었다. 차선내 차량 위치는 운전자들이 차선의 중앙으로부터 얼마나

이탈하여 운전하였는가를 나타내는 지표이다. 차선내 차량 위치의 변산성은 주행선의 중앙측, 차량의 최초 위치로부터 차량이 좌우로 움직인 정도를 나타내며 변산성이 클수록 저조한 수행을 의미한다. 차선 침범 횟수는 운전자의 차량이 중앙선을 넘어 반대 차선으로 넘어간 빈도이며 이 빈도가 클수록 저조한 수행을 나타낸다.

운전 수행과 관련된 측정치들은 서로 상관되어 있을 수 있지만(예를 들어, 차선내 차량 위치와 차량 위치 변산성 및 차선 침범 횟수), 각각의 측정치들을 모두 분석에 포함한 이유는 운전자의 운전 방향에 따라 각각의 종속치가 의미하는 바가 다를 수 있기 때문이다. 예를 들어, 운전자가 차선을 유지할 때 중앙선으로부터 떨어져 운전하고자 한다면 차선 침범 횟수는 상대적으로 더 낮을 것이지만 차선 내에서의 차량 위치의 변산성은 운전자들에 따라 다를 수 있기 때문이다.

차선 침범 횟수를 제외한 모든 운전 수행 측정치들은 운전 거리 100피트마다 측정되어 컴퓨터에 저장/분석되었고, 차선 침범 횟수의 경우 운전자가 노선을 넘어간 경우는 일차 분석 결과 거의 발견되지 않았기 때문에 중앙선을 침범만 횟수만 측정하였다.

운전 수행과 같은 객관적/행동적 수행 측정치와 함께 본 연구에서는 90분간의 운전 지속 시간 동안 모두 세 번에 걸쳐(즉, 매 30분마다) 운전자들이 주관적으로 보고한 피로 정도에 대한 평정치를 분석하였다. 주관적 피로 평정은 Pearson과 Bayer(1956)가 개발한 피로에 대한 단일 차원의 7점 척도(예: 1 = 전혀 피로하지 않고, 완전히 각성되어 있다, 4 = 중간이다, 7 = 수행이 불가능할 정도로 피로하다)를 사용하였다. 이 척도는 하나의 질문을

통해 운전자의 주관적 피로를 측정한다. 하나의 질문만 사용하는 척도를 사용한 이유는 운전 중간에 주관적 평정을 요구할 경우 이것이 운전자를 좀 더 각성시키거나, 운전 수행을 방해 하는 부작용이 있을 수 있고 질문 항목이 많을수록 더 그러할 것이기 때문이다. 또한 실험 전에 7-점 척도의 각 선택 항목(점수)이 무엇을 의미하는지 미리 숙지시켰다.

설계 및 분석

관찰된 운전 수행 측정치와 주관적 피로도 평정치에 대해 2(수면 박탈 여부: 정상 수면 vs. 수면 박탈) × 3(과제 지속 시간: 0-30 분 vs. 31-60분 vs. 61-90분) 반복 측정 변량분석(ANOVA)을 실시하였고 좀더 단순한 비교를 위해 조건에 따라 일원 변량분석과 paired t-test를 실시하였다. 모든 조건은 피험자내 변인이었다. 모든 종속치들에 대해 5%의 결정기준이 적용되었으나 필요하다면 근소하게 기각역을 벗어난 결과(예를 들어, $0.05 < p < 0.10$)는 보고에 포함하였다

결 과

운전 수행 측정치: 속도 제어

목표 운전 속도로부터의 이탈 정도

관찰된 결과는 그림 1에 제시되어 있다. 변량분석 결과 수면 박탈 여부의 주효과는 기각역을 약간 넘는 범위에서 유의하였으나, $F(1, 9) = 4.85$, $MSE = 191.48$, $p = 0.055$, 운전 지속시간의 주효과 [$F(2, 18) = 7.57$, $MSE = 42.23$, $p = 0.004$]와 수면 박탈 여부 및 운전

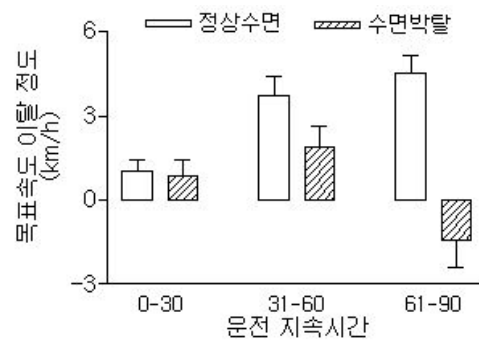


그림 1. 수면박탈여부와 운전지속시간 단위 :분 에 따른 목표 운전속도로부터의 이탈정도 막대는 표준오차임)

지속시간 사이의 상호작용 효과가 통계적으로 유의하였다, $F(2, 18) = 4.14$, $MSE = 44.41$, $p = 0.033$. 수면 박탈 여부 및 운전 지속시간 사이의 유의한 상호작용 효과의 소재를 살펴 보기 위해 각각의 운전 지속 시간 구간에서 수면 박탈 여부에 따른 목표 속도로부터의 이탈 정도 차이에 대해 paired t-test를 실시한 결과, 운전 시작 후 30분 이전까지는 수면 박탈 여부에 따른 목표 속도로부터의 이탈 정도에 유의한 차이가 관찰되지 않았으나, $t(9) = 0.262$, $p = 0.799$, 나머지 두 운전 지속 시간 조건에서는 그 차이가 통계적으로 유의하였다: 31-60분 구간, $t(9) = 2.622$, $p = 0.028$; 61-90분 구간, $t(9) = 3.317$, $p = 0.046$.

전반적으로 분석해 볼 때, 운전자들은 정상적 수면 조건에서는 목표 속도보다 3km 정도 더 빠르게 운전하는 경향을 보인 반면, 수면 박탈 조건에서는 거의 목표속도와 일치하는 속도로 운전하였다. 특히 수면 박탈 여부와 운전 지속 시간의 상호작용 효과가 시사하는 바와 같이, 정상적 수면을 취한 조건에서 운전자들은 운전 지속 시간이 증가함에 따라 목표 속도보다 더 빠르게 운전하는 경향을 보인

반면, 수면 박탈 조건에서는 운전 수행 시작 후 1시간 이후에는 급격히 운전 속도가 떨어져 다른 조건과 비교해볼 때 훨씬 느린 속도로 운전하였다는 것을 알 수 있다.

운전 속도 변산성

운전 속도 변산성은 운전자가 운전 속도를 얼마나 일정하게 유지했는지를 나타내며, 일반적으로 변산성이 클수록 저조한 수행을 의미한다. 변량 분석 결과, 변량분석 결과 수면 박탈 여부의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았으나, $F(1, 9) = 1.29$, $MSE = 3.92$, $p = 0.286$, 운전 지속시간의 주효과 $F(2, 18) = 11.91$, $MSE = 2.09$, $p = 0.001$ 와 수면 박탈 여부 및 운전 지속시간 사이의 상호작용 효과가 통계적으로 유의하였다, $F(2, 18) = 7.97$, $MSE = 1.25$, $p = 0.003$. 수면 박탈 여부 및 운전 지속시간 사이의 유의한 상호작용 효과는 첫 번째 운전 지속 시간에서는 수면 박탈의 여부에 따라 운전 속도의 변산성에 차이가 없었던 반면 $t(9) = -1.79$, $p = 0.108$, 두 번째 운전 지속 구간에서는 정상 수면 조건에서 $t(9) = 3.45$, $p = 0.012$ 그리고 세 번째 운전 지속 구간에서는 수면 박탈 조건에서 더 큰 운전 속도 변산성을 보였기 때문이다 $t(9) = -4.68$, $p = 0.001$. 이러한 결과는 운전 속도의 변산성에 대한 수면 박탈 여부의 효과가 과제 지속 시간에 따라 차별적으로 나타낸다는 것을 시사한다. 즉, 운전 지속 시간이 증가함에 따라 운전 속도의 변산성이 전반적으로 증가하는 추세를 보이지만 31-60분 구간에서는 정상 수면 조건이 더 큰 변산성을 보인 반면, 61-90분 구간에서는 수면 박탈 조건에서 더 큰 변산성을 보였다(그림 2).

목표 운전 속도로부터의 이탈 정도와 운전

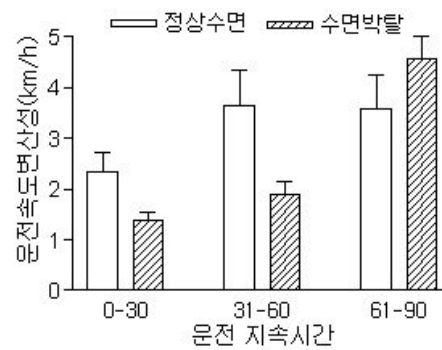


그림 2. 수면박탈여부와 운전지속시간 단위 별에 따른 운전속도 변산성 막대는 표준오차임)

속도 변산성을 종합적으로 검토해 보면 가장 주목할만한 결과는 수면 박탈 조건에서 운전 지속 시간이 1시간을 경과한 이후의 경우이다. 대부분의 실험 조건들에서 운전자들이 목표 속도 보다 더 빠르게 운전하는 경향을 보인 반면 이 조건에서 운전자들은 다른 조건에 비해 목표 운전 속도에 밀도는 운전 속도로 운전하였을 뿐만 아니라 운전 속도의 변산성도 가장 컸다. 이러한 경향은 운전자들이 수면 박탈과 지속적인 운전 수행으로 인해 차량의 속도 제어에 어려움을 겪을 수 있다는 것을 시사한다. 예를 들어, 수면이 박탈된 운전자들은 1시간 이상의 운전 결과, 목표 운전 속도 보다 느리게 운전하다가 갑자기 운전 속도를 높임으로써 목표 속도에 접근하려는 행동을 반복하였기 때문에 전반적인 운전 속도는 다른 조건에 비해 더 느린 대신 운전 속도의 변산성은 더 증가한 것으로 추측된다.

운전 수행 측정치: 차량 위치 제어

차량의 차선내 위치

McFarland와 Moseley(1954)의 연구에서도 시

사되었듯이 운전자가 피로하면 운전의 안전성이 저하되기는 하지만, 이에 대한 보상효과가 발생하여 차로 변경의 횟수를 줄인다든지 혹은 선행 차량과의 거리를 더 벌리려는 경향을 보인다. 고하였다. 마찬가지로 운전자가 차선의 어느 지점에서 차량을 유지하면서 운전하는지는 운전자의 신체적/심리적 상태를 반영할 수 있다. 예를 들어, 피로한 운전자는 차량의 핸들 조작 횟수가 감소할 수 있고, 이를 보상하기 위해(즉, 감소된 핸들 조작 횟수에 의한 차선 침범수를 줄이기 위해) 중앙선으로부터 좀 더 떨어진 위치에서 차량을 유지하고 자 할 것이다.

그림 3은 본 연구에서 관찰된 운전자의 차량 위치에 대한 자료를 분석한 결과이다. 그림 3에서도 보이듯이 운전자들은 전반적으로 차선 중앙으로부터 중앙선 쪽으로 약간 치우쳐 운전하는 경향을 보였지만(본 분석에서는 차량이 차선 중앙에 위치할 경우를 0으로 설정하였다. 음수값은 차량이 차선의 중앙으로부터 좌측 혹은 중앙선 쪽으로 치우친 것을 의미하는 반면, 양수 값은 차선의 중앙으로부터 우측 혹은 노면 쪽으로 치우친 것을 의미한다) 운전 지속 시간이 증가함에 따라 점차 중앙선으로부터 멀어지려는 경향을 보였다. $F(2, 18) = 3.75, MSE = 0.020, p = 0.043$.

특히, 각각의 수면 박탈 조건에서 운전 지속 시간의 효과를 분석하기 위해 일원 변량분석을 실시한 결과 수면 박탈 조건인 경우에서만 통계적으로 유의한 결과가 관찰되었다, $F(2, 18) = 21.47, MSE = 0.028, p < 0.001$. 수면 박탈 여부의 주효과와 수면박탈 여부 및 운전 지속시간 사이의 상호작용은 유의하지 않았다(그러나 그림 3에서 수면박탈과 운전 지속시간의 각 조합에 대한 결과를 함께 제시

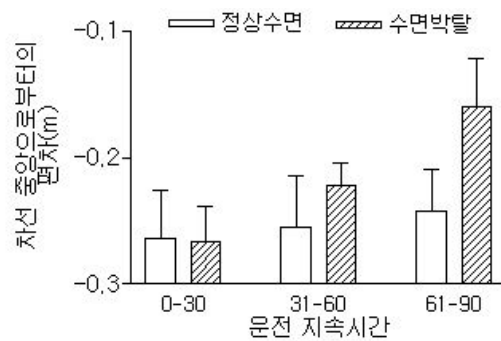


그림 3. 수면박탈여부와 운전지속시간 (단위: 분)에 따른 차선 중앙으로부터의 편차 (막대는 표준오차임)

한 이유는 아래에서 기술하는 다른 종속치들과의 관계를 살펴볼때 더 도움이 되기 때문이다). 이러한 결과는 수면 박탈된 운전 조건에서 운전자들은 운전 지속 시간이 증가함에 따라 중앙선으로부터 좀 더 떨어져 운전함으로써 수면 박탈 및 운전 피로에 의한 운전 수행의 저하(특히 차선 침범: 아래를 보라)를 보상하려는 경향을 보인 것으로 추측된다.

차선내 위치 변산성

그림 4에서도 보이듯이 운전자가 정해진 주행 차선내에서 얼마나 안정적으로 차선을 유지하며(즉, 좌우로 흔들리지 않고) 운전했는지의 측정치는 위에서 보고한 차량의 평균 위치 결과와 유사한 패턴을 보였다. 즉, 차선내 차량의 위치 변산성에 대한 수면 박탈 여부의 주효과 및 수면 박탈과 운전 지속 시간 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았던 반면, 운전 지속 시간의 주효과는 통계적으로 유의하였다. 운전자들은 수면 박탈 여부와 상관없이 운전 지속 시간이 증가할수록 더 큰 차선내 위치 변산성을 보였다, $F(2, 18) = 12.09, MSE = 0.137, p < 0.001$.

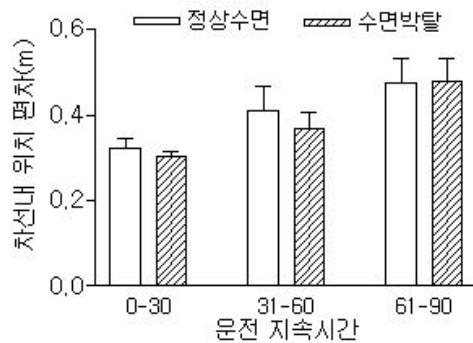


그림 4. 수면박탈여부와 운전지속시간 단위 :분 에 따른 차선내 위치편차(막대는 표준오차임)

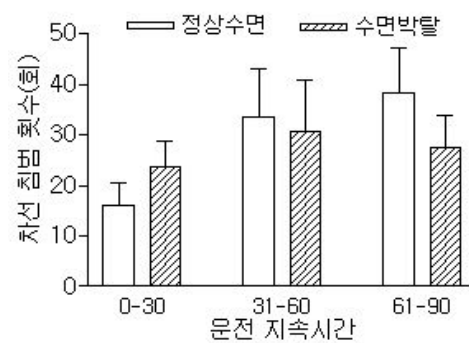


그림 5. 수면박탈여부와 운전지속시간 단위 :분 에 따른 차선침범횟수(막대는 표준오차임)

차선 침범 횟수

분석 결과, 운전자들은 수면 박탈 여부 및 운전 지속 시간에 따라 상이한 패턴의 차선 침범 횟수를 보여 주었다. 먼저 차선 침범 횟수에 대한 수면 박탈의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았던 반면, $F(1, 9) = 0.137$, $MSE = 57.037$, $p = 0.720$, 운전 지속과제의 주효과, $F(2, 18) = 4.49$, $MSE = 1066.654$, $p = 0.026$ 와 수면 박탈 및 운전 지속 시간 사이의 상호작용 효과는 유의하였다, $F(2, 18) = 4.32$, $MSE = 432.837$, $p = 0.029$. 특히, 각각의 수면 박탈 조건에서 차선 침범수에 대한 운전 지속 시간의 효과를 분석한 결과 정상 수면 조건에서는 운전 지속 시간이 증가함에 따라 차선 침범의 빈도가 유의하게 증가한 반면, $F(2, 18) = 8.47$, $MSE = 1380.058$, $p = 0.003$, 수면 박탈 조건에서는 운전 지속 시간에 따른 차선 침범 빈도에 유의한 차이가 관찰되지 않았다(그림 5).

위에서 언급한 차선 중앙에 대한 차량의 평균적 위치, 차선내에서의 차량 위치 변산성 및 차선 침범 횟수에 대한 결과를 종합적으로 고려해 보면, 수면 박탈이나 운전 지속 시간

에 의해 피로 정도가 증가할 경우 차량의 횡적 통제에 대한 운전자들의 수행은 일반적으로 저조해지는 것으로 보인다. 그러나 수면 박탈 여부 및 운전 지속 시간에 따라 운전자들이 보이는 운전 방략은 어느 정도 차별적일 수 있다는 가능성도 관찰되었다. 예를 들어, 수면 박탈 조건에서 1시간 이상 운전한 운전자들은 다른 조건들에 비해 차선 침범빈도가 상대적으로 더 적었는데 그 이유 중 하나는 이들이 가급적 중앙선으로부터 떨어져 운전하였기 때문일 것이다. 그러나 차선내 차량 위치의 변산성을 보면, 비록 이 조건에서의 운전자들이 더 적은 수의 차선 침범 횟수를 보였더라도 차선 안에서의 좌우 흔들림(weaving)이 다른 조건에 비해 더 큰 것으로 보아 여전히 피로에 의한 운전 수행의 저하는 관찰되었다고 할 수 있다.

주관적 피로 평정치

운전자들이 90분 동안 지속적으로 운전을 수행하는 동안 매 30분마다 모두 세 번에 걸쳐 운전자가 주관적으로 경험하는 피로도에

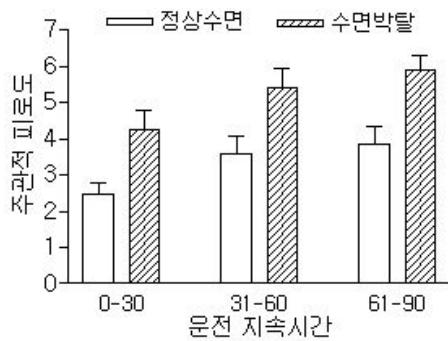


그림 6. 수면박탈여부와 운전지속시간 단위 분
에 따른 주관적 피로도 막대는 표준오
차임)

대해 7점 척도 점수가 높을수록 주관적 피로도가 높음을 의미한다)로 평정한 값에 대해 변량분석을 실시한 결과, 수면 박탈 여부 및 운전 지속 시간 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하지 않았던 반면, 수면 박탈 [$F(1, 9) = 22.25, MSE = 54.150, p = 0.001$]과 운전 지속 시간 [$F(2, 18) = 29.86, MSE = 12.629, p < 0.001$]의 주효과는 각각 통계적으로 유의하였다(그림 6).

이러한 결과는 전반적으로 수면 박탈된 조건의 경우가 정상 수면 조건에 비해, 그리고 운전 지속 시간이 증가함에 따라 운전자들이 주관적으로 경험하는 피로도가 증가한다는 것을 의미하며 수면 박탈의 효과와 운전 지속 시간의 두 효과는 운전자의 주관적 피로도에 가산적(additive)으로 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 앞에서 살펴보았듯이, 운전자들의 운전 수행에 대해 수면 박탈과 운전 지속 시간의 효과가 조건에 따라 차별적으로 나타난 것과 비교하면, 수면 박탈과 운전 지속 시간에 따른 주관적 피로도의 가산적 증가는 운전 피로에 대항하여 운전자들이 방략적으로 채택하는 보상 효과의 가능성에 대한 또 다른 증거가

될 수 있다. 예를 들어, 차선 침범 횟수의 경우 운전 지속 시간이 증가함에 따라 수면이 박탈된 조건에서의 운전자들은 그렇지 않은 조건에 비해 더 적은 침범수를 보였지만 이것은 피로에 대한 보상적 운전 수행의 결과일 수 있으며 실제로 이들은 다른 조건에 비해 더 높은 수준의 피로를 경험하였다고 할 수 있다.

논 의

본 연구에서는 운전자의 피로에 가장 중요하게 영향을 미칠 것으로 여겨지는 수면 부족(수면 박탈)과 운전 과제의 지속 시간이 운전자의 운전 수행(목표 운전 속도로부터의 이탈 정도와 운전 속도의 변산성을 통해 측정된 차량의 종적 통제 수행과, 차선내 차량 위치, 차량 위치의 변산성 및 차선 침범 횟수를 통해 측정된 차량의 횡적 통제 수행)에 어떠한 영향을 주는지 운전 시뮬레이션을 이용하여 살펴보고자 하였다. 본 연구에서 피로는 두 가지 방식으로 조작되었다. 먼저 수면 부족에 의한 운전 수행 저하 효과를 살펴보기 위해 운전자들을 정상 수면을 취한 조건과 수면 박탈을 한 조건에서 모두 운전을 수행하도록 하였다. 특히 수면 박탈에 의한 이월효과를 제거하기 위해 이 두 조건 사이에 최소한 48시간의 간격을 두었다. 그리고 운전 지속 시간에 의한 피로를 살펴보기 위해 90분의 지속적 운전 시간을 세 구간(0-31, 31-60 및 61-90분)으로 구분한 후 각 구간에서 보이는 운전자의 운전 수행을 관찰하였다. 운전지 피로를 유도하기 위한 이 두 가지 변인은 모두 피험자내 변인이었다. 따라서 모든 운전자들은 정상수

면과 수면박탈, 그리고 세 구간의 지속적 운전 시간 조건에 따른 모든 조합에서 운전을 수행하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 목표 운전 속도로부터의 이탈 정도와 운전 속도 변산성을 종합적으로 검토해 보면 대부분의 실험 조건들에서 운전자들은 요구된 운전 속도 보다 더 빠르게 운전하는 경향을 보인 반면, 수면이 박탈된 상태로 60분 이상 운전한 조건에서의 운전자들은 다른 조건에 비해 목표 운전 속도에 밀도는 운전 속도로 운전하였을 뿐만 아니라 운전 속도의 변산성도 가장 컸다.

둘째, 차량에 대한 횡적 통제 측정치들 차선 중앙에 대한 차량의 평균적 위치, 차선내에서의 차량 위치 변산성 및 차선 침범 횟수에 대한 결과를 종합적으로 고려해 보면, 수면 박탈이나 운전 지속 시간에 의해 피로 정도가 증가할 경우 차량의 횡적 통제에 대한 운전자들의 수행은 일반적으로 저조해지는 것으로 보이지만 수면 박탈 여부 및 운전 지속 시간에 따라 운전자들은 차별적인 운전 전략을 보였다. 예를 들어, 수면 박탈 조건에서 1시간 이상 운전한 운전자들은 중앙선으로부터 떨어져 운전함으로써 다른 조건에 비해 차선 침범 빈도가 상대적으로 더 적었던 반면(즉, 일종의 피로에 대한 보상 효과) 차선 안에서의 좌우 흔들림(weaving)은 더 컸는데 이것은 수면 박탈과 운전 지속 시간에 의한 피로에 의해 운전 수행이 실질적으로 저하될 수 있음을 보였다.

셋째, 이러한 보상 효과의 증거는 피로 정도에 대한 운전자의 주관적 평정 결과에서도 나타났다. 즉, 운전자들의 주관적 피로도도는 정상 수면 조건보다는 수면 박탈에서, 그리고 운전 지속시간이 증가함에 따라 가산적으로

증가하였다.

본 연구가 가지는 의의를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 몇몇 연구들은 운전의 영향을 미치는 수면 박탈이나 운전 지속 시간에 의한 효과를 통합적으로 분석한 바 있으나(예를 들어, Kaluger와 Smith, 1970) 이들을 각각 독립적으로 살펴본 연구가 대부분(예를 들어, 이재식, 김비아, 유완석, 1999; Herbert와 Jaynes, 1964; Forbes 등, 1958)이란 점을 감안할 때 본 연구는 수면 박탈에 의한 운전 피로와 운전 지속 시간에 의한 운전 피로의 효과를 종합적으로 관찰함으로써 운전자 피로와 운전 수행 사이에 근저하는 기본적 기제에 대해 좀더 통합적으로 이해할 수 있는 자료를 제공한다고 판단된다.

둘째, 운전 피로를 경험하는 운전자들이 자신의 피로를 보상하기 위해 운전 수행에서 특정한 전략을 사용함으로써 몇몇 수행 측정치에서는 외현적으로 수행에 대한 운전 피로의 효과가 뚜렷하게 나타나지 않을 수 있으며(McFarland와 Moseley, 1954), 이로 인해 연구자들에 따라 피로와 운전 수행 사이의 관계에 대해 일관적이지 못한 연구 결과를 도출하였는데(예를 들어, Brown, 1965; Brown 등, 1966; Greenshields, 1966), 본 연구에서는 운전 수행 측정치를 좀더 세분화(즉, 차량에 대한 종적 통제와 횡적 통제 측정치)함으로써 피로에 대해 운전자들이 보이는 보상적 운전 수행의 전략을 좀더 구체적으로 이해할 수 있었다. 예를 들어, 앞에서도 언급되었듯이 수면 박탈과 지속적 운전을 통해 피로한 운전자들은 차선을 침범하지 않기 위해 중앙선으로부터 좀더 떨어져 운전하는 경향을 보이는 대신, 여전히 차선내에서의 차량 위치 변산성이나 속도에서의 변산성은 피로하지 않은 운전자들에 비해

더 큰 것으로 보아 운전 피로에 대한 운전자의 보상 행동이 전반적인 운전 수행 질의 저하는 크게 줄이지 못한다는 것을 파악할 수 있었다. 특히 이러한 경향은 행동적 지표인 운전 수행 측정치뿐만 아니라 운전 피로에 대한 운전자의 주관적 평정치에서도 일관적으로 관찰되었다.

이러한 함의와 더불어 본 연구가 가지고 있는 제한점도 고려해야 할 것이다. 첫째, 본 연구에서는 운전자의 생체 리듬에 따른 운전 수행의 효과는 관찰하지 못했다. 즉, 본 연구에서 수면 박탈 조건에서의 운전자들은 주로 새벽 시간(대략 오전 2-4시)에 실험에 임한 반면, 정상 수면 조건에서는 오전 7-9시 정도에서 실험에 임하였는데, 수면 박탈에 의한 운전 피로가 운전자의 생체 리듬(예를 들어, 인간은 심신기능의 주로 주간은 활동하고 야간은 휴식을 취하도록 자동 조절되고 있다)과 밀접한 관계가 있다는 점을 감안하면(이순철, 1999), 추후 연구에서는 정상 수면 조건과 수면 박탈 조건이 모두 동일한 시간대에서 제시된 실험 절차를 통해 수면 박탈이 운전 수행에 미치는 효과를 검증해 볼 필요가 있을 것이다.

피로한 운전자가 줄음이나 매우 낮은 각성 수준을 보이는 이유 중 하나는 운전 과제의 단조로움일 것이다(이순철, 1999). 본 연구에서는 운전자가 일상적으로 경험하는 도로 조건(즉, 직선도로와 굴곡이 있는 도로가 혼합되어 제시되는 조건)에서 운전하였으나 운전 피로와 운전에서의 단조로움의 관계, 특히 피로에 의한 각성 수준의 변화를 좀더 면밀하게 관찰하기 위해서는 운전 수행에서 단조로움의 수준을 변화시킨 조건(예를 들어, 도로 굴곡에서의 변화)을 독립변인으로 설정하여 운전 피로와 운전 수행 사이의 관계를 살펴볼 필요가

있을 것이다.

참고문헌

- 삼성교통안전문화연구소. (2004). 직업운전자 자각피로도 실태 및 측정도구 개발.
- 이순철. (1999). 교통심리학. 학지사
- 이재식, 김비아, 유완석. (1999). 음주와 피로가 주의분산과제와 운전수행에 미치는 영향: 운전 시뮬레이션 연구. 한국심리학회지: 산업 및 조직, 12, 91-107.
- Bills, A. G. (1934). *General Experimental Psychology*. New York: Longmans Green.
- Brown, I. D. (1965). Effect of a car radio on driving in traffic. *Ergonomics*, 8, 475-479.
- Brown, I. D., Simmons, D. C. V., & Tickner, A. H. (1967). Measurement of control skills, Vigilance and performance on a subsidiary task during 12 hours of car driving. *Ergonomics*, 10, 665-673.
- Brown, I. D., Tickner, A. H., & Simmonds, D. C. V. (1966). *Effects of prolonged driving upon driving skill and performance of a subsidiary task*. Industrial Medicine.
- Dobbins, D. A., Tiedemann, J. G., & Skordahl, D. M. (1963). Vigilance under highway driving conditions. *Perceptual and Motor Skills*, 16, 38.
- Dureman, E. I. & Bodén, C. H. (1972). Fatigue in simulated car driving. *Ergonomics*, 15, 299-308.
- Forbes, T. W., Katz, M. S., Cullen, J. W., & Deterline, W. A. (1958). Sleep deprivation effects on components of driving behavior.

- Highway research Abstracts, 28, 1-26.
- Greenshields, B. D. (1966). Changes in driver performance with time in driving. *Highway Research Record*, 122, 75-88.
- Haug, F. I. (1990). *Feasibility study and conceptual design of a national advanced driving simulator*. Iowa City: University of Iowa, College of Engineering, Center for Simulation and Design Optimization of Mechanical Systems.
- Herbert, M. J., & Jaynes, W. E. (1964). Performance decrement in vehicle driving. *Journal of Engineering Psychology*, 3, 1-8.
- Hulbert, S. (1972). Effect of driver fatigue. In: Forbes T. W. (Ed.), *Human factors in highway traffic safety research*. New York: Wiley, 1972.
- Kluger, N. A., Smith, G. L. (1970). Driver eye-movement patterns under conditions of prolonged driving and sleep deprivation. *Highway Research record*, 336, 92-106.
- McFarland, R. A., & Mosely, A. L. (1954). *Human factors in highway transport safety*. Boston, MA: Harvard School of Public Health.
- Michaut, G., & Pottier, M. (1964). Conduite en situation monotone[Driving in monotonous situations]. *Organisme Nationale de Securite Routiere Bulletin*, 8.
- Milosevic, S. (1997). Driver's fatigue studies. *Ergonomics*, 40, 381-389.
- Muscio, B. (1921). Is a fatigue test possible? *British Journal of Psychology*, 12, 31-46.
- Näätänen, R., & Summala, H., *Road-user behavior and traffic accidents*. Amsterdam: North Holland, 1976.
- Pearson, R. G., & Bayer, G. E. (1956). *The Development and Validation of a Checklist for Measuring Subjective Fatigue*(Report SAM-TR-56-115). Brooks Air Force Base, TX: School of Aerospace Medicine.
- Platt, F. N. (1964). A new method of evaluating the effect of fatigue on driver performance. *Human Factors*, 6, 351-358.
- Ryder, J. M., Madin, S. A., & Kinsley, C. H. (1981). *The effects of fatigue and alcohol on highway safety*(Rep. No. DOT-HS-805-854). Washington, DC: U. S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.
- Safford, R. R., & Rockwell, T. H., Performance decrement in twenty-four hour driving. *Highway Research Record*, 1967, 163, 68-69.
- Sugarman, R., & Cozad, C. P. (1972). *Road tests of alertness variables*(Rep. No. DOT-HS-053-1-145). Washington, DC: U. S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.
- Wiener, E. L. (1984). Vigilance and inspection. In Warm, J. S. (ed.), *Sustained attention in human performance*. New York: John Wiley.

1 차 원고 접수일 : 2006. 5. 26

최종 원고 접수일 : 2006. 7. 19

The Effects of Fatigue Induced Both by Sleep Deprivation and Time-On-Task on Driving Performance

Jaesik Lee

Department of Psychology, Pusan National University

The purpose of the present driving simulation study was to investigate the effects of fatigue induced both by sleep deprivation and time-on-task on driver's driving performance. The results are as followings. First, although the drivers in almost every experimental conditions showed faster driving speed than that was required, the drivers in the sleep-deprivation and over 1-hour time-on-task condition drove slower than the target speed. Second, the drivers in the sleep-deprivation and over 1-hour time-on-task condition crossed the lane less frequently than those in the other conditions, they weaved more in the lane. Third, as the drivers became more fatigued both by sleep deprivation and continuous driving, they reported higher fatigue scores in the subjective fatigue ratings. The results suggested that although the drivers might adapt a compensative driving strategies when they were fatigued, their driving performances were indeed impaired, in general.

key words : Driving Fatigue, Sleep Deprivation, Driving Time-On-Task, Compensation Effect