

## 차량 시뮬레이터에서 산소농도에 따른 운전 피로감의 평가\*

### Influence of Oxygen Rate on Driver Fatigue during Simulated Driving

성은정\*\* · 민병찬\*\* · 전효정\*\* · 김승철\*\*\* · 김철중\*\*

Eun-Jung Sung, Byung-Chan Min, Hyo-Jeong Jeon, Seung-Chul Kim, Chul-Jung Kim

**Abstract :** Driving involves a series of complicated processes requiring various human capacities, such as perception, will decision, and athletic functions. Consequently, it induces a high degree of continuous concentration of mind and tension from external stimulation, bringing fatigue to the driver, and driver fatigue is counted as one of the major causes of traffic accidents. Nevertheless, because of the complicated urban lives, traffic congestion, job characteristics, and so on, the drivers have to spend a longer time inside a vehicle, and the fatigue and stress thereof is almost unavoidable. We have, therefore, turned our attention to the reduction in the fatigue during driving by supplying oxygen, and investigated in this research the drivers subjective fatigue evaluations and reaction time when oxygen is supplied in different rates. As a result, we have found that the subjective fatigue feeling is highest at low-rate O<sub>2</sub> supply (18%), and fatigue feeling was comparatively reduced at high-rate O<sub>2</sub> (30%). The sleepiness also showed the tendency to be reduced at high-rate O<sub>2</sub> supply in the case of driving for 1 hour or more. The time for reaction to braking after the sign for urgent stop is given tends to show more substantial reduction at high-rate O<sub>2</sub> supply than at low-rate O<sub>2</sub> supply after 2 hours driving. It can, therefore, be deduced from the aforesaid results that the subjective responses and behavioral reactions tend to show reduced fatigue at the condition of high-rate O<sub>2</sub> supply. Hence, it was suggested that drivers felt subjective fatigue while driving at low-rate O<sub>2</sub>, and the subjective fatigue and reaction time were reduced at high-rate O<sub>2</sub>. These findings suggest that the oxygen supply will reduce driver fatigue.

**Key words :** Driver Fatigue, Oxygen, Vehicle Simulator, Sleepiness, Reaction Time

**요 약 :** 자동차의 운전은 지각, 의사결정, 운동능력 등 다양한 능력을 필요로 하는 복잡한 행동의 연속이고, 지속적인 고도의 의식집중이나 외부자극에 대한 긴장감이 유발되므로 운전자는 피로를 느끼게 되며, 이러한 피로는 교통사고의 원인이 되고 있다. 그럼에도 불구하고 복잡한 도시생활, 교통체증, 직업적인 특성 등에 의하여 운전자가 차량 내에서 보내는 시간은 증가하고 있고, 그에 따른 피로나 스트레스를 피할 수 없는 실정이다. 본 연구에서는 산소공급에 의한 운전 중 피로경감의 가능성을 알아 보기 위하여 주관적인 평가 및 반응시간 테스트를 통하여 각각 다른 산소농도를 공급할 때의 주행시간 경과에 따른 운전 피로감을 검토하였다. 그 결과, 주관적 피로감은 저농도(18%)의 산소조건에서 가장 피로를 많이 느끼고 고농도(30%)의 산소조건에서의 피로감은 상대적으로 감소하였다. 졸림감도 1시간 이상 주행 시간이 경과된 경우에 고농도 산소조건에서 상대적으로 감소하는 경향을 보였다. 또한, 주행 2시간 후에 급정거의 지시로부터 브레이크에 반응하는 시간은 저농도의 산소조건에 비하여 고농도의 산소조건에서 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 자동차 운전 중에 산소농도가 저하되면 현저하게 피로를 느끼게 되고, 고농도의 산소를 공급하는 경우는 상대적으로 피로감이 저하되며 반응시간이 단축되는 것으로 나타나, 산소공급에 의하여 운전자의 피로가 경감될 수 있다고 시사되었다.

**주요어 :** 운전피로, 산소, 차량 시뮬레이터, 졸림감, 반응시간

\* 본 연구는 과학기술부 G7 감성공학파제의 연구비 지원을 받아 수행되었음.(과제번호 : M1-9817-02-0004)

\*\* 한국표준과학연구원 인간·정보연구그룹

\*\*\* (주)옥시큐어 부설 기술연구소

## 1. 서 론

자동차의 운전은 지각, 의사결정, 운동기능 등 다양한 능력을 필요로 하는 복잡한 행동의 연속이고, 지속적인 고도의 의식집중이나 외부자극에 대한 긴장감이 유발되므로 운전자는 피로를 느끼게 된다. 또한, 장시간의 운전[5, 6], 수면부족[7, 8, 9], 각성수준의 일내 변동[10, 11], 지루한 운전상황[12], 차량으로부터 발생하는 열·소음·진동[10], 차내의 유독성 공기[13] 등도 운전피로의 원인으로 보고되고 있다. 그럼에도 불구하고 복잡한 도시생활, 교통체증, 직업적인 특성 등에 의하여 운전자가 차량 내에서 보내는 시간은 증가하고 있고, 그에 따른 피로나 스트레스를 피할 수 없는 실정이다.

조사결과에 의하면 피로와 관련한 교통사고는 약 10% 정도이지만 차량 한 대만의 사고의 25%는 주원인이 피로였다고 한다[10, 14, 15]. 또한, 상용차 사고의 39%가 졸음이나 부주의로 인한 것이며 사망사고의 48%에 이른다고 보고되고 있다[16]. 따라서, 운전피로는 재정 및 인력의 양 측면에서 심각한 문제가 되고 있다[17].

피로에 관한 연구는 1920년대부터 이루어져 왔지만 그 메커니즘에 대하여는 아직도 명백하지 않다. 그 이유는 금속피로와 달리 인간의 피로는 표시나 증거가 없고 상황으로부터 추정하기 때문이라고 하기도 하고[18], 운전피로에 대한 좋은 이론이 부족하기 때문이라고도 하지만[17], 운전피로 연구의 어려움 때문이라는 설이 더욱 타당한 듯하다[17]. 즉, 도로상에서 안전을 유지하면서 피로를 유발시키기에는 방법론적인 어려움이 많은 것이다. 따라서, 실험실에서 모의운전 task를 실시하거나 차량 시뮬레이터를 이용하여 피로감을 평가하고자 하는 연구가 다수 수행되어 왔다[19, 20, 21].

산소는 생체 반응계의 최종 과정에서 전자 수용체의 역할을 수행하여 생명활동에 필요한 에너지를 제공하고 있다[1]. 인간-환경계에 있어서 해면고도에서의 대기중의 산소농도는 용적비로 약 21%이고, 이러한 환경에서 인간의 혈중 산소농도는 95% 이상으로 유지된다. 산소섭취가 부족하게 되면 운동시에 생리

기능의 활성화에 의한 에너지 요구량에 대하여 공급이 충족되지 못하는 상태가 되어 피로가 유발된다. 또한, 기초적인 대사에 필요한 에너지가 공급되지 않아 생체 내 저산소 환경에 의한 빈혈이나 장기장해를 일으키기도 한다[1]. 산소는 특히 뇌활동에 중요한 환경물질로서 중추신경계는 산소부족에 가장 민감한 조직이라고 하며, 동맥혈 산소분압의 저하는 주의력, 기억, 의사결정 등 뇌기능의 변화를 초래할 수 있다[2].

이와 같이 산소는 인간의 생존에 필수적인 물질로서 신체 및 정신활동에 긍정적인 효과가 있을 것으로 일반적으로 생각되고 있으나 과학적으로 밝힌 연구는 의외로 찾아보기 힘들다. 종래에 의료분야에서 이용되던 고압산소 요법뿐만 아니라, 근래에는 산소의 효과를 고려하여 wellness 분야, 전자제품, 식음료에도 응용되고 있는 추세이나 산소가 인간의 감성이나 신체기능에 미치는 영향에 관한 연구는 이루어지지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 산소공급에 의한 운전 중 피로 경감의 가능성을 알아 보기 위하여 각각 다른 산소농도를 공급할 때의 주행시간 경과에 따른 운전 피로감에 대한 주관적인 평가 및 반응시간 테스트를 통하여 검토하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 피험자

피험자는 신체 건강하고 1년 이상의 운전경력이 있는 남자 대학생 10명을 대상으로 하였으며 평균연령은  $24.1 \pm 2.4$ 세, 운전경력은  $4.1 \pm 1.2$ 년이었다. 피로에 대한 간섭요인을 최소화하기 위하여 피험자는 실험 전날 충분한 수면을 취하고 과격한 운동, 흡연, 카페인 음료, 약물복용을 금하였다. 각 피험자들은 세 종류의 산소조건에 대하여 3일에 걸쳐 같은 시간대에 참여하도록 하여 서카디안 리듬의 영향을 배제시켰다. 또한, 실험에 이용한 시뮬레이터에 충분히 익숙해지도록 연습한 후에 실험에 임하도록 하였다.

### 2.2 실험장비 및 산소조건

자동차 시뮬레이터는 3D graphic을 사용하여 80

inch real projection screen 위에 30(H)×25(V)의 FOV를 가지는 영상을 30frame/sec으로 투사되는 방식이고, motion은 세 축의 유압 시스템으로 구성되어 있다(그림 1). 즉, 차량 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 운전 중 조작하는 조향 휠, 가감속 페달 등으로부터 입력을 받아 실시간으로 차량의 운동을 예측하고, 그 결과를 시각, 음향 및 운동 시스템에 전달하여 필요한 시각 및 운동큐를 생성하게 하는 실시간 차량 시뮬레이션 시스템이다.



그림 1. 실험에 이용한 차량 시뮬레이터

운전 중 주행은 기어변속 없이 휠과 페달만을 이용하고 정속(60~80km/h)으로 2시간 동안 일정한 차선에서 주행하도록 하였으며, 주행 중에는 의료용 안면형 산소 마스크를 이용하여 산소를 5l/min의 유량으로 주입시켰다.

실험에 이용한 산소는 한국표준과학연구원에서 제조한 산소를 이용하였고, 각 농도는 18%(저농도), 21%(중농도), 30%(고농도)의 세 종류로서 동일한 시간대에 순서효과 없이 랜덤하게 제시하였다. 실험실의 평균 온습도는 24℃, 46%RH였고, 산소농도는 21(±0.3)%이었다.

### 2.3 주관적 평가

주관적인 운전 피로감에 대한 용어를 선정하기 위하여 만 20세 이상으로 운전경험이 1년 이상이고 현재 운전하고 있는 운전자 112명을 대상으로 조사하였다.

피로감에 대한 조사항목은 일본산업피로연구회의 피로평가 항목(30문항)을 참조하였고[3], 각 평가항목

의 용어에 대한 운전 피로감의 적절성 여부를 부적절하다(-2점), 부적절한 편이다(-1점), 잘 모르겠다(0점), 적절한 편이다(1점), 적절하다(2점)로 하여 양극 5점 척도로 평가하였다. 조사 대상자들의 응답결과를 조사한 결과, '적절한 편이다' 또는 '적절하다'라고 응답한 수가 50% 이상인 항목 15문항, '부적절한 편이다' 또는 '부적절하다'라고 응답한 수가 50% 미만인 항목 8문항을 합하여 23문항을 선정하였다. 선정된 23문항은 졸림과 나른함, 주의집중의 곤란, 신체적 위화감의 세 그룹으로 분류된다(표 1). 조사결과로부터 운전 피로감에 대한 주관적 평가항목은 23문항으로 구성하고, 피로감의 정도는 단극 4점 척도로 느끼지 않는다(0점), 조금 느낀다(1점), 느낀다(2점), 심하게 느낀다(3점)로 평가하도록 구성하였다.

졸림감은 KSS(Kansei-gakuin Sleepiness Scale)의 항목(22문항)을 참조하였는데, 이는 SSS(Stanford Sleepiness Scale) 항목을 더 세분화시켜 개발된 것으로 수면의 생리 주기적 변화와 수면부족을 잘 증명해 주며 졸림감을 나타내는 데 정확성이 높은 것으로 알려져 있다[4]. 이 KSS은 0~7점의 고유점수가 있어 정

표 1. 운전 피로감에 대한 주관적 평가항목

구분	항목
제1군 졸림과 나른함	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 머리가 무겁다</li> <li>· 전신이 나른하다</li> <li>· 다리가 빠르다</li> <li>· 하품이 나온다</li> <li>· 머리가 멍하다</li> <li>· 졸림다</li> <li>· 눈이 피곤하다</li> <li>· 동작이 부자연스럽다</li> <li>· 눕고 싶다</li> </ul>
제2군 주의집중의 곤란	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생각이 정리되지 않는다</li> <li>· 말하기가 싫어진다</li> <li>· 짜증이 난다</li> <li>· 운전이 집중할 수 없다</li> <li>· 사소한 것이 생각나지 않는다</li> <li>· 정확하게 되지 않는다</li> <li>· 끈기가 없어진다</li> </ul>
제3군 신체적 위화감	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 머리가 아프다</li> <li>· 어깨가 결린다</li> <li>· 허리가 아프다</li> <li>· 목이 마르다</li> <li>· 현기증이 난다</li> <li>· 눈꺼풀이나 근육에 경련이 일어난다</li> <li>· 기분이 나쁘다</li> </ul>

도에 따라 선택한 한 문항에 대한 고유점수로서 졸림감의 상태를 평가할 수 있다. 운전 피로감 및 졸림감은 출발 전과 주행개시 후 30분 간격으로 총 5회 측정되 정차한 상태에서 피험자 자신이 직접 기록하도록 하였다.

## 2.4 작업수행도 평가

운전자의 작업수행도 평가를 위하여 반응시간 테스트를 할 수 있는 시스템을 시뮬레이터에 구현하였다. 즉, 화면상에 급정거를 지시하는 ‘STOP’ 문자가 출현하면 피험자에게 재빨리 브레이크를 밟게 하여 브레이크에 반응하는 시간을 측정할 수 있도록 하였다. 급정거의 신호는 실험자가 임의로 컨트롤할 수 있으며, 신호제시로부터 페달반응까지의 소요시간은 msec 단위로 자동저장되도록 하였다. 작업수행도는 주행 중 일정한 시간(25분) 경과 후 구간마다 2분 이내에 무작위적으로 3회 실시하여 평균값을 구하였다.

## 2.5 분석

각 산소조건에서 주관적 피로감과 각 군별 점수는 각 항목별 점수를 더한 값을 전체 점수에 대하여 백분율로 환산하였고, 졸림감은 각 항목별 고유점수를 나타내었다. 브레이크 반응시간은 각 시간대별로 평균과 표준편차를 구하였다. 산소조건 및 시간경과에 따른 피로감, 졸림감 및 브레이크 반응시간의 통계적 유의성은 SPSS 프로그램을 이용하여 ANOVA와 t-test로 검정하였다.

# 3. 실험결과

## 3.1 운전 피로감

주행시 산소농도에 따른 운전 피로감은 그림 2와 같이 모든 산소조건에 있어서 시간이 경과함에 따라 증가하였고( $p < 0.05$ ), 저농도 산소조건에서 가장 피로한 것으로 나타났다. 특히, 주행 30분 경과시에 저농도의 산소조건이 중·고농도의 산소조건보다 유의미하게 높았다( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ).

각 증상군별로 산소농도에 따른 피로감의 변화를

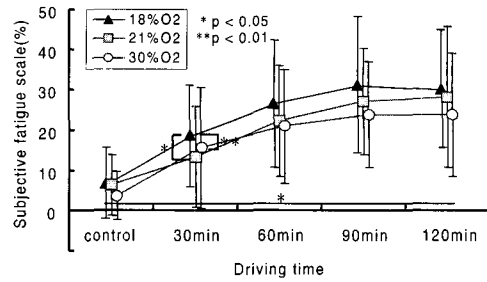


그림 2. 산소 농도별 운전 피로감의 경시적 변화

분석한 결과는 그림 3에 나타내었다. 모든 산소조건에서 피로감은 시간이 경과함에 따라 대체로 증가하였고( $p < 0.05$ ), 신체적 위화감에 관한 항목에서는 고농도 산소조건인 경우 주행 90분까지 증가하다가( $p < 0.01$ ) 주행 120분 후에는 감소하는 경향을 나타내었다.

동일한 시간대에서 각 산소 조건별로 비교한 결과, 졸림과 나른함에 관한 항목은 주행 30분 경과시 중농도 산소조건보다 저농도 산소조건에서 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ). 또한, 주의집중의 곤란과 관련한 항목은 주행 30분 경과시에는 중농도 산소조건보다 저농도 산소조건에서 유의하게 높았으나 주행 60분 후와 120분 후에는 고농도 산소조건보다 유의하게 높은 수치를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 신체적 위화감에 관련한 항목은 주행 60분 후에 중농도 산소조건보다 고농도 산소조건에서 유의하게 높았으나( $p < 0.01$ ), 주행 120분 후에는 저농도 산소에 비해 유의하게 낮았다( $p < 0.05$ ).

## 3.2 졸림감

주행시 산소농도에 따른 졸림감은 그림 4와 같이 모든 산소조건에 있어서 주행 30분 경과시 급격히 증가하였고 60분 이후에는 현저한 증가를 나타내지 않았다. 동일한 시간대에서 각 산소조건별로는 고농도 조건이 다소 낮게 나타났으나 산소조건 간의 통계적 유의차는 인정되지 않았다.

## 3.3 반응시간

시뮬레이터의 화면상에 ‘STOP’ 문자의 제시로부터 브레이크 반응까지의 시간을 비교한 결과를 그림 5에

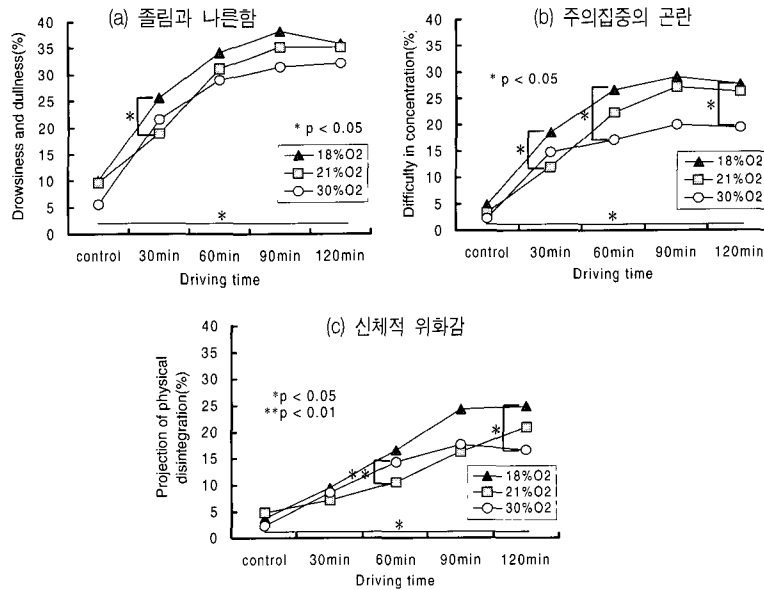


그림 3. 각 증상군별 피로감의 변화.

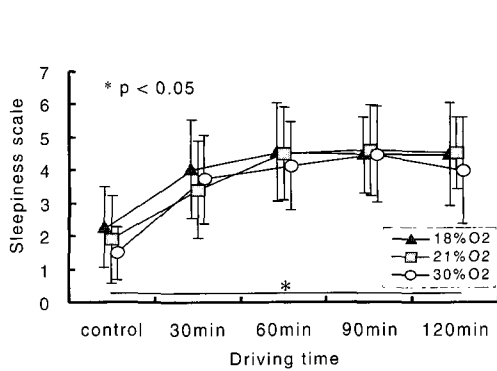


그림 4. 산소 농도별 졸림감의 경시적 변화

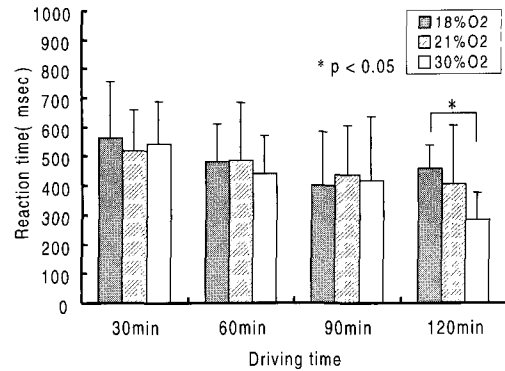


그림 5. 산소 농도별 반응시간의 경시적 변화

나타내었다. 주행 90분까지는 산소조건 간의 차이가 현저하지 않았으나 주행 2시간 경과시에 저농도 > 중농도 > 고농도 순으로 반응시간이 감소하여, 특히 저농도와 고농도 산소조건 간에서 통계적으로 유의한 차이가 인정되었다( $p < 0.05$ ).

#### 4. 결론 및 토의

피로는 매우 복잡한 현상이므로 정확히 정의하기가 힘들다. 즉, 피로는 과도한 활동뿐만 아니라 심신에 영향을 주는 심리적, 사회 경제적, 환경적 요소로부터

도 영향을 받는 것이다[22].

초기의 심리학자들은 피로를 단지 심리적인 현상의 일면으로만 정의하여 육체적 손상과 구별하였다. 한편, 생리학자들은 피로를 근육 피로시 손상의 측면으로 생각하여 동적인 근육피로와 정적인 근육피로로 설명하였고, 두 가지 근육피로 모두 지각 및 운동작업의 수행도를 저하시킨다고 하였다. 동적인 근육피로는 근섬유에 젖산이 축적되었을 때와 운동으로 인한 에너지 요구량이 산소 공급량을 초과하였을 때 일어난다고 하고, 정적인 근육피로는 특별한 자세를 유지하기 위하여 근수축이 증가된 상태에서 일어나며 주

의·인지 기능에 손상을 줄 수 있다고 한다[23].

심리학자들은 운전을 포함한 작업의 특성상 시간이 지날수록 육체적 노력보다 인지적 노력(경계유지, 선택적 주의, 복합적 결정, 지각-운동 조절능력 등)이 더욱 크게 요구되어 수행도가 변화한다고 하였다. 따라서, 정보처리 능력의 감소량으로 피로의 양을 파악하고자 각종 task로서 조작자의 수행도를 점수화하는 방법을 사용하고 있으나 정확한 측정에는 어려움이 있다(개인별 수행능력의 다양성, task가 자극이 되어 피로에 상쇄작용을 일으킬 우려 등). 또한, 각 개인의 피로증상에 대하여 분석하고자 한 연구도 다수 존재하나[22, 24, 25, 26], 이러한 연구에서는 피로에 의해 자기분석 능력이 저하되어 증상보고의 경향에 영향을 미칠 수 있고 작업 전후에 실시했는지, 작업 중에 실시했는지에 따라서 변화하기도 하므로 실험 계획시에 충분히 고려되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 주관적 평가와 작업수행도를 모두 측정하되, 부가적인 장치 없이 시뮬레이터의 운전상황하에서 자연스럽게 반응시간을 측정하도록 하였고, 주관적인 평가는 작업 전, 작업 중, 작업 직후에 걸쳐서 피로감의 증상별로 분석할 수 있는 평가지를 이용하여 평가하였다.

본 연구결과에 의하면, 운전자의 주관적 피로감은 저농도(18%) 산소조건에서 가장 많이 느꼈고 고농도(30%) 산소조건에서 느끼는 피로감은 비교적 저하되었으며, 브레이크 반응시간은 주행 2시간 후에 저농도 산소조건보다 고농도 산소조건에서 유의하게 감소하였다(그림 2, 5). 이것은 운동능력이 비교적 낮은 그룹(AT=50%VO<sub>2</sub>max)에서 30% O<sub>2</sub> 호흡시 혈중 젖산의 저하가 인정된 결과와 일반공기보다 산소를 흡입했을 경우 기억과 관련된 수행도의 증가 및 'Tetris' 게임 스코어 증가 등의 결과들과 연관시켜 볼 때[27, 28], 고농도 산소공급에 의한 중추신경계의 활성화 및 피로감 저하의 가능성이 예측된다. 운전자는 장시간 운전시 결정과 skill에 있어서 수행도의 감퇴를 경험하는데, 이것은 연속된 운전이 자기인식과 적응능력에 손상을 주기 때문이고 이러한 자기조절 과정이 붕괴되면 장시간 운전은 위험해진다고 볼 수 있다[22].

정신적 피로는 환경, 건강상태, 활력, 회복능력 등

에 의해 영향을 받고 그 대표적인 증상은 피곤함, 의욕감퇴, 활력소실 등이며, 주의력이나 각성도의 저하와 지루함은 관련이 깊은 것으로 보고되고 있다[26]. 본 연구에서 운전 피로감은 졸림과 나른함에 관한 항목들이 가장 높은 수치를 나타냈고 다음은 주의집중의 곤란과 관련된 항목들이며 신체적 위화감에 관련된 항목들은 가장 낮은 스코어를 나타내어, 단조로운 운전시에는 신체적인 피로감에 비해 정신적인 피로감이 크게 나타나고 이러한 정신적인 피로감에 있어서 고농도 산소의 피로경감 효과가 더욱 뚜렷한 것으로 나타났다(그림 3).

자동차 시뮬레이터에서 4시간 연속 주행시 수행도 및 생리, 심리반응을 측정한 선행연구에서도 졸림, 나른함, 지루함이 가장 명백한 주관적인 피로감으로 나타났다[19]. 이 연구에서는 핸들의 오조작시에 전기쇼크를 주었을 때 각성도가 증가되고 수행도의 감소가 지연되었다고 보고하였는데, 인간의 감성적인 측면을 고려하였을 때 바람직하지 못하므로 산소나 향과 같이 인체에 무해하면서도 각성감 및 피로경감을 유도할 수 있는 방법이 현실적이라 하겠다.

본 연구에서는 주행시간 경과에 따른 운전자의 주관적인 피로감을 산소농도 조건에 따라 비교하고 졸림감 및 반응시간을 부가하여 검토하였다. 그 결과, 주관적 피로감은 저농도(18%) 산소조건에서 가장 피로하게 느꼈고 고농도(30%) 산소조건에서 느끼는 피로감은 비교적 저하되었다. 졸림감에 있어서도 1시간 이상 주행하는 경우에 고농도 산소조건에서 감소하는 경향이 나타났다. 또한, 급정거의 지시로부터 브레이크 페달에 반응하는 시간은 주행 2시간 후에 저농도 산소조건보다 고농도 산소조건에서 유의하게 감소하는 경향이 인정되었다. 따라서, 자동차 운전 중에 산소농도가 저하되면 현저하게 피로를 느끼게 되고, 고농도의 산소를 공급하는 경우 상대적으로 피로감이 저하되며 반응시간이 단축되는 것으로 나타나, 산소공급에 의하여 운전자의 피로가 경감될 수 있다는 것이 시사되었다.

본 연구결과는 심리적 반응과 수행도를 중심으로 평가한 것이므로 생리적인 평가에 대한 결과에 대해서도 분석하여 그 상관관계를 알아 볼 필요가 있다고

생각된다. 또한, 운전자 및 차량의 안전을 위하여 시뮬레이터에서 측정을 하였으나 실제차량으로도 검토해 볼 필요가 있으며, 운전자에게 가장 적절한 산소농도와 공급방법에 대해서는 좀더 깊은 논의가 필요하다. 본 연구결과는 실제로 운전자 피로경감에 도움이 되는 시스템 개발의 기초자료가 될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] 藤原孝之, 前田満雄(2001), 酸素の効果と高齢者向けリフレッシュ空間, 人間生活工学, 2(3), 8-11.
- [2] 科學技術廳 人間環境系編集委員會(1973), 人間-環境系, 人間と技術社, 925-926.
- [3] 日本産業衛生協會産業疲勞研究會(1970), 産業疲勞の「自覺症狀しらべ」(1970) についての報告, 労働の科學, 25, 12-62.
- [4] 石原金由, 齊藤 敬, 宮田 洋(1982), 眠けの尺度とその實驗的檢討, 心理學研究, 52, 362-365.
- [5] Hakkanen, H. and Summala, H.(2001), Fatal traffic accidents among trailer truck drivers and accident causes as viewed by other truck drivers, *Accid Anal Prev*, 33(2), 187-196.
- [6] Brown, I. D., Ticker, A. H. and Simmonds, D. C. V.(1970), Effect of prolonged driving on overtaking criteria, *Ergonomics*, 13, 239-242.
- [7] Hakkanen, J. and Summala, H.(2000), Sleepiness at work among commercial truck drivers, *Sleep*, 23(1), 49-57.
- [8] Sagberg, F.(1999), Road accidents caused by drivers falling asleep, *Accid Anal Prev*, 31(6), 639-649.
- [9] Fell, D. L. and Black, B.(1997), Driver fatigue in the city, *Accid Anal Prev*, 29(4), 463-469.
- [10] McDonald, N.(1984), *Fatigue, Safety and the Truck Driver*, Taylor & Francis.
- [11] Akerstedt, T. and Kecklund, G.(2001), Age, gender and early morning highway accidents, *J Sleep Res*, 10(2), 105-110.
- [12] Reyner, L. A. and Horne, J. A.(1998), Falling asleep whilst driving: are drivers aware of prior sleepiness?, *Int J Legal Med*, 111(3), 120-123.
- [13] Utell, M. J., Warren, J. and Sawyer, R. F. (1994), Public health risks from motor vehicle emissions, *Annu Rev Public Health*, 15, 157-178.
- [14] O'Hanlon, J. F.(1978), What is the extent of the driving fatigue problem?, in *Driving Fatigue in Road Traffic Accidents*, Brussels: Commission of the European Communities Report No. EUR6065EN, 19-25.
- [15] Storie, V. J.(1984), Involvement of goods vehicles and public service vehicles in motorway accidents, UK Dept. of Transport/Transport of and Road Research Laboratory, Report No. 1113.
- [16] Harris, W. and Mackie, R. R.(1972), A study of the relations among fatigue, hours of service and safety of operations of truck and bus drivers, *Human Factor Research Inc.*, Report No.1727-2.
- [17] Brown, I. D.(1995), Methodological issues in driver fatigue research, in Hartley, L. ed, *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, 155-166.
- [18] Lauber, J. K. and Kayten, P. J.(1988), Sleepiness, circadian dysrhythmia and fatigue in transportation system accidents, *Sleep*, 11, 503-512.
- [19] Durenman, E. I. and Boden, C.(1972), Fatigue in simulated car driving, *Ergonomics*, 15(3), 299-308.
- [20] Stein, A. C.(1995), Detecting fatigued drivers with vehicle simulators, in Hartley, L. ed, *Fatigue & Driving*, Taylor & Francis, 133-148.
- [21] Roge, J., Pebayle, T. and Muzet, A.(2001), Variations of the level of vigilance and of behavioural activities during simulated automobile driving, *Accid Anal Prev*, 33(2), 181-186.

- [22] Brown, I. D.(1994), Driver fatigue, Human Factors, 36(2), 298-314.
- [23] Grandjean, E.(1969), Fitting the task to the man: An ergonomic approach, Taylor & Francis.
- [24] Grandjean, E.(1979), Fatigue in industry, Br J Ind Med, 36(3), 175-186.
- [25] Nilsson, T., Nelson, T. M. and Carlson, D. (1997), Development of fatigue symptoms during simulated driving, Accid Anal Prev, 29(4), 479-488.
- [26] Lal, S. K. and Craig, A.(2001), A critical review of the psychophysiology of driver fatigue, Biol Psychol, 55(3), 173-194.
- [27] Maeda, T. and Yasukouchi, A.(1997), Blood lactate disappearance during breathing hyperoxic gas after exercise in two different physical fitness groups-on the work load fixed at 70% VO<sub>2</sub>max, Appl Human Sci, 16(6), 249-255.
- [28] Scholey, A. B.(2001), Fuel for thought, The Psychologist, 14(4), 196-201.