

고농도 산소 공급에 따른 젊은 성인 남자의 공간지각 능력 변화

정순철^{1*} · 탁계래¹ · 이정환¹ · 손진훈²

¹건국대학교 의과대학 의학공학부 / ²충남대학교 심리학과

Visuospatial Cognitive Performance Following Oxygen Administration in Healthy Young Men

S. C. Chung¹ · G. R. Tack¹ · J. H. Yi¹ · J. H. Sohn²

¹Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University, Chungju, 380-701

²Dept. of Psychology, Chungnam National University, Daejeon, 305-764

Oxygen is an essential element for human beings' physical and mental activities, and in particular, plays an important role in brain functions. The present study attempted to investigate the effects of supply of highly concentrated (30%) oxygen on human ability of visuospatial cognition, compared to air of normal oxygen concentration (21%). This study sampled eight male university students (the average age: 23.5) as subjects. An equipment that supplies 21% and 30% oxygen at a constant rate of 8L/min was developed. Two types of questionnaire containing 20 questions were developed to measure the ability of visuospatial cognition, and accuracy and reaction time were calculated from the result of task performance. The average accuracy was $50.63 \pm 8.63[\%]$ and $62.50 \pm 9.64[\%]$ for 21% and 30% oxygen respectively, and a statistically significant difference was found in the accuracy between the two types of oxygen. The average reaction time was $6.60 \pm 0.77[\text{sec}]$ and $7.23 \pm 0.69[\text{sec}]$ for 21% and 30% oxygen respectively, and a statistically significant difference was not found in the reaction time. The results showed that there is no difference in the average reaction time but the average accuracy rises with the supply of highly concentrated (30%) oxygen, indicating that the supply of highly concentrated oxygen has a partially positive effect on the ability of visuospatial cognition.

Keywords: visuospatial cognition, cognitive performance, oxygen administration

1. 서론

산소는 인간의 생존에 필수적인 물질로서 신체 및 정신 활동에 필요한 에너지를 공급하는 역할을 한다. 대기 중의 산소 농도는 용적비로 약 21%이고, 이러한 환경에서 인간의 혈중 산소 농도는 95% 이상으로 유지된다. 산소 섭취가 부족하게 되면 운동 시에 생리 기능의 활성화에 의한 에너지 요구량에 대하여 공급이 충족되지 못하는 상태가 되어 피로가 유발된다. 또한 기초적인 대사에 필요한 에너지가 공급되지 않아 생체 내 저산소증으로 빈혈이나 장기 장애 등을 일으키기도 한다 (Fujiwara and Maeda, 2001; Sung *et al.*, 2002).

특히 산소는 인체에서 대사 작용이 가장 활발한 기관인 뇌 활동에 중요한 물질로서, 중추신경계는 산소 부족에 가장 민감한 조직이며, 동맥혈 산소 분압의 저하는 주의력, 기억력, 의사결정 능력 등의 뇌기능에 변화를 초래하기도 한다(Fujiwara and Maeda, 2001). 인지 과제를 수행하는 동안 대뇌에 글루코스와 산소의 공급이 증가한다는 사실은 잘 알려져 있다 (Horwitz *et al.*, 1995; Phelps *et al.*, 1981; Reivich and Alavi, 1983). 반대로 hypoglycaemia(저혈당)일 때와 hypoxia(저산소증)일 때 기억력, 주의력 등의 인지 기능이 저하된다는 연구 결과도 있다(Crowley *et al.*, 1992; Gold *et al.*, 1985; Noble *et al.*, 1993; Taylor and Rachman, 1988; Widom and Simonson, 1990).

* 연락저자 : 정순철 교수, 380-701 충북 충주시 단월동 322번지 건국대학교 의과대학 의학공학부, Fax : 043-851-0620,
E-mail : scchung@kku.ac.kr

2003년 5월 접수; 2003년 12월 수정본 접수; 2003년 12월 게재 확정.

또한 노화에 따른 인지 감소는 산소와 글루코스의 공급이 원활하지 않기 때문에 발생한다는 사실도 보고 되었다(Eustache et al., 1995; Gibson et al., 1981). Turner and Carroll(1985)은 인지 과제 수행 시, 뇌동맥의 혈류 증가와 대뇌의 대사 과정이 변하는 양상을 연구하였으며 그 결과 복잡한 수학 문제를 풀 때 혹은 비디오 게임을 할 때 심박동과 혈중 내 산소 소비가 증가하였다고 발표한 바 있다.

Moss(1996) 등과 Scholey(1999) 등은 외부에서의 산소 공급이 단어를 기억할 수 있는 능력에 어떠한 영향을 미치는지를 연구하였다. 단어 목록을 보여 주기 이전에 1분 동안 산소를 공급하고, 단어 목록을 제시한 후 10분 또는 24시간 이후에 기억한 단어 수를 비교했을 때, 산소를 공급하지 않은 상태에 비해 산소를 공급했을 때 기억해 낸 단어 수가 현격히 증가하였다고 보고하였다. 이러한 결과로부터 외부에서 부가된 산소 공급이 기억 형성에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 또한 약속된 임의의 단어(yes와 같은 간단한 단어)가 컴퓨터 모니터 상에 제시되었을 때 반응 버튼을 가능한 한 빨리 누르게 한 과제를 수행했을 때도, 외부 산소 공급이 있는 경우 반응 시간이 빨라진다고 보고하였다(Scholey et al., 1999).

이와 같이 산소는 인간의 신체 및 정신 활동에 필수적인 물질이며, 특히 뇌 기능에 중요한 역할을 수행한다. 또한 외부에서의 산소 공급이 인지 능력 중 기억력을 향상시킨다는 사실이 부분적으로 알려져 왔다. 그러나 외부에서의 산소 공급이 기억력 외에 언어, 학습, 추리, 지각, 정서 등의 다양한 인간의 인지 기능에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 구체적이고 다양한 연구 보고는 아직까지 미비한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 외부에서 고농도(30%)의 산소 공급 시 인지 능력 중, 특히 공간 지각 능력에 어떠한 변화를 유발하는지에 대해 기초 연구를 수행하고자 한다. 이를 통해 외부의 산소 공급이 인간의 인지 기능에 긍정적인 영향을 끼친다는 가능성을 도출할 수 있다면, 다양한 인지 기능이 요구되는 사무 및 작업 환경 개선에 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험 방법

2.1 산소 공급 장치 및 실험 참여자

<Figure 1>과 같이 본 연구를 위해 일반 공기 중의 산소 농도인 21%의 산소와 30%의 고농도 산소를 각각 8L/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 산소 공급 장치(Oxy Cure Co.)를 개발하였다. 산소 공급 장치에서 발생된 산소는 마스크를 통하여 실험 참여자에게 전달되었으며, 실험 참여자는 어떠한 농도의 산소가 공급되는지 모르게 하였다. 뇌 손상의 경험이 없는 8명의 남자 대학생(평균 23.5세)을 본 연구의 실험 참여자로 선정하였다.



Figure 1. Oxygen supply equipment.

2.2 공간 지각 과제의 문항 선정

공간 지각 능력 측정을 위한 문항 선정을 위해, 집단 검사를 통하여 유사한 난이도의 문항을 포함하는 두 개의 문제지를 제작하였다. 자세한 선정 과정은 다음과 같다. 먼저 집단 검사에 사용할 문제지를 구성하기 위하여 지능 진단 검사, 적성 진단 검사 그리고 일반 적성 검사(General Aptitude Test Battery; GATB)로부터 공간 지각 능력을 측정할 수 있는 소 검사들을 선정하였다(Lee, 1982; Lee and Kim, 1985; Park, 1985). 집단 검사 문제지는 A와 B, 두 가지 유형으로 제작되었으며, 그 구성은 <Table 1>과 같다. A형의 집단 검사 문제지는 지능 진단 검사 중에 공간 지각 검사 15문항, 적성 진단 검사 중에 공간 관계 검사 홀수번 10문항, 그리고 일반 적성 검사 중에 공간 지각 검사와 관련 있는 검사 D의 짝수번 20문항으로 하여 총 45문항으로 구성되어 있다. B형의 집단 검사 문제지는 지능 진단 검사 중에 공간 지각 검사 15문항, 적성 진단 검사 중에 공간 관계 검사 짝수번 10문항, 그리고 일반 적성 검사 중에 공간 지각 검사와 관련 있는 검사 D의 홀수번 20문항으로 하여 총 45문항으로 구성되어 있다.

Table 1. Structure of group test questionnaire

Type	A (45)	B (45)
Origin of problem		
Visuospatial test of Intelligence test (15)	Common (15)	
Visuospatial test of Aptitude test (20)	Odd number (10)	Even number (10)
Test D of GATB (40)	Even number (20)	Odd number (20)

(# of problems)

각 45 문항의 문제들로 구성된 문제지 A, B를 이용하여, 263명(남: 143명, 여: 120명)의 대학생을 대상으로 집단검사를 실시하였다. A형 문제지를 푼 학생은 139명(남: 77명, 여: 62명)이었으며, B형 문제지를 푼 학생은 124명(남: 66명, 여: 58명)

이었다. A, B의 총 90 문항 각각에 대한 정답률((정답자 수/응답자 수)×100)을 산출하였다.

<Figure 2>와 같이 집단 검사로부터 계산된 정답률을 바탕으로 총 90 문항을 순위대로 나열하여 A'와 B'에 유사한 난이도의 문제가 포함되도록 문제지를 재구성하였다. 이 중에서 38.69~ 90.79%의 정답률 범위에 있는 총 20쌍(40문항)을 공간지각 과제로 최종 선정하였다. 선정된 20쌍의 공간 지각 문제 종류는 두 가지로 구별된다. <Figure 3>은 본 연구에서 선정된 공간 지각 과제의 예제를 나타낸다. <Figure 3(a)>의 문제는 맨

왼쪽에 있는 도형의 모양과 똑 같은 모양을 네 개의 보기 중에 찾는 문제이고, <Figure 3(b)>의 문제는 맨 왼쪽에 그려져 있는 그림이 오른쪽 네 개의 도형 가운데 어느 것을 펼쳐 그린 그림 인지를 가려내는 문제이다.

2.3 실험 설계 및 절차

21% 산소 농도일 때 공간 지각 과제를 수행하는 실험과, 30% 산소 농도일 때 과제를 수행하는 실험을 설계하였다. 유사한

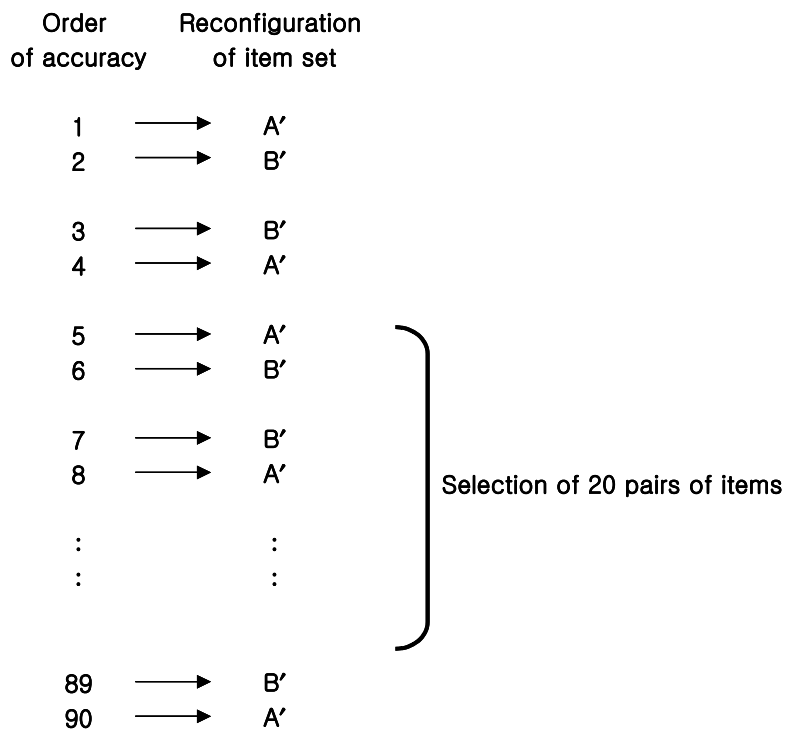
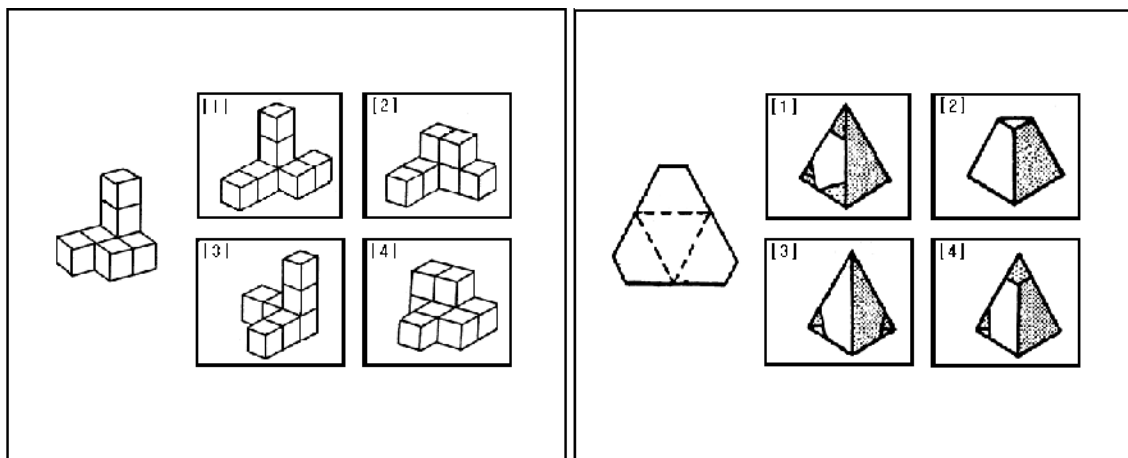


Figure 2. Selection of two types of tasks with 20 items each.



(a)

(b)

Figure 3. Problem type for visuospatial performance test.

난이도끼리 짝지어 선정된 20쌍의 공간지각 문제들을 두 실험 (A', B' 양식)에 나누어 분포시킴으로써 두 실험 간 문제의 난이도 차이가 없도록 하였다. 각 실험은 네 개의 블록으로 구성되었으며, 각 블록은 통제 과제와 공간지각 과제를 포함하도록 하였다. SuperLab 1.07(Cedrus Co.)을 사용하여 제작된 통제 과제와 공간지각 과제를 컴퓨터 모니터에 제시하였고, 실험 참여자는 자체 제작된 반응 버튼을 누르도록 하였다. 통제 과제에서는 1, 2, 3, 4의 네 개 숫자 중 화면에 제시되는 번호에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다(블록당 8번 시행). 공간지각 과제에서는 공간지각 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 가능한 한 빨리 눌러 반응하게 하였다(블록당 5번 시행). 또한 각 시행들이 한 블록 내에서 무작위로 제시되도록 하였다. <Figure 4>는 한 실험의 구성을 도식화한 것이다. 한 실험당 소요 시간은 블록당 2분씩, 총 8분이었다.

실험에 참여하기 전 실험 참여자들은 실험에 대한 전반적인 설명을 듣고 문제 유형을 익히기 위해 연습문제를 풀어 보도록 하였다. 산소 농도 21%일 때 A' 양식의 문제를 풀었던 실험 참여자들은 산소 농도 30%일 때 B' 양식을 풀도록 하였고, 산소 농도 21%일 때 B' 양식의 문제를 풀었던 실험 참여자들은 산소 농도 30%일 때 A' 양식을 풀도록 하였다.

각 실험 참여자는 두 개의 실험(21%와 30% 산소 농도)에서 공간지각 과제를 수행하고, 과제 수행 결과로부터 정답률(정답 수/총 문항 수)×100과 평균 반응 시간(화면에 문제가 제시된 후 반응 버튼을 누를 때까지의 평균 시간)을 산출하였다.

3. 결과

21%와 30%의 산소 농도에서 각각 공간지각 과제를 수행한 후

모든 실험 참여자의 정답률과 반응 시간을 산출하여 <Table 2>에 나타내었다. 통계 분석은 SPSS(ver. 10.0)를 이용하였고, paired t-test를 사용하여 두 농도 간에 정답률과 반응 시간에서 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였다. 21%에 비해 30% 산소 농도에서 8명의 실험 참여자 중 7명의 실험 참여자가 정답률이 높게 나왔고, 1명은 동일하게 나왔다. 평균 정답률은 21%와 30% 산소 농도에서 각각 $50.63 \pm 8.63\%$ 와 $62.50 \pm 9.64\%$ 이었다. 그리고 <Figure 5>와 같이 정답률에서 두 농도 간의 통계적 유의차가 발생하였다($t = -3.252, df = 7, p = 0.014$).

반응 시간은 21%의 산소 농도일 때 5명의 반응 시간이 빨랐고, 30%의 산소 농도일 때 3명의 반응 시간이 빨랐다. 평균 반응 시간은 21%와 30% 산소 농도에서 각각 $6.60 \pm 0.77[\text{sec}]$ 와 $7.23 \pm 0.69[\text{sec}]$ 이었다. <Figure 5>와 같이 반응 시간에서는 두 농도간의 통계적 유의차가 발생하지 않았다($p > .05$).

Table 2. Accuracy rate and reaction time for all subjects

Subject	Accuracy [%]		Reaction Time [sec]	
	21%	30%	21%	30%
#1	55	60	6.38	7.81
#2	55	65	6.26	6.13
#3	55	70	7.23	7.25
#4	40	75	5.14	8.02
#5	55	55	6.29	7.57
#6	35	45	7.62	7.16
#7	50	60	7.19	7.63
#8	60	70	6.71	6.28
Average	50.63 ± 8.63	62.50 ± 9.64	6.60 ± 0.77	7.23 ± 0.69

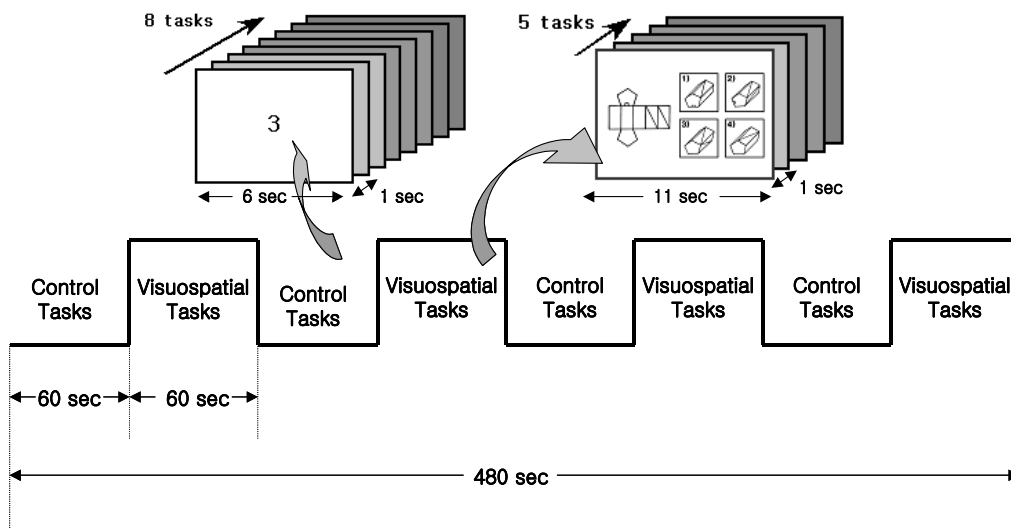


Figure 4. Test procedure.

4. 토 의

본 연구에서는 일반 공기 중의 산소 농도(21%) 환경에 비해 외부에서 고농도(30%)의 산소 공급이 인지 능력 중 특히 공간지각 능력에 어떠한 변화를 유발하는지 관찰하고자 하였다. 50% 이상의 고농도의 산소 공급은 인간에게 유해할 수 있기 때문에 일반 공기 중의 산소 농도(21%)와 비교하기 위해 먼저 임의적으로 30%의 산소 농도를 비교 대상으로 하였다. 향후 인지 능력과 유해 요소를 함께 고려하여 최적의 산소 농도를 찾는 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 실험을 위해 21%와 30%의 산소 농도를 각각 8L/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 장치를 개발하였고, 마스크를 통하여 실험 참여자에게 전달하였다. 또한 공간지각 능력 측정을 위한 문항 선정을 위해, 집단 검사를 통하여 유사한 난이도의 문항을 포함하는 두 개의 문제지(각각 20 문항)를 제작하였고, 컴퓨터 모니터를 통하여 선정된 문제를 실험 참여자에게 제시하였다. 제시된 문제에 대해 각 실험 참여자는 자체 제작한 반응 버튼을 누르도록 하였고, 수행 결과로부터 정답률과 반응 시간을 계산하였다. 본 연구의 결과로부터 21%에 비해 30%의 산소 농도일 때 정답률이 증가하였고 통계적 유의차도 발생하여 고농도의 산소 공급이 공간지각 인지 능력 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 결론을 도출할 수 있었다. 그러나 반응 시간은 두 농도 사이에 차이가 발생하지 않았다.

Moss(1996) 등은 외부에서의 산소 공급이 인지 능력 중 단어의 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다. Scholey(1999) 등은 약속된 간단한 단어가 제시될 때 반응 버튼을 가능한 한 빨리 누르게 한 과제를 수행했을 때, 외부 산소 공급이 있는 경우 반응 시간이 빨라진다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 외부에서의 고농도의 산소 공급이 인지 능력 중 공간지각 능력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 유사한 결론을 도출할 수 있었다. 그러나 본 연구의 결과에서는 두 개의 산소 농도 간의 반응 시간이 차이가 없었다. 선행 연구는 인지 시간

측정에만 연구의 초점을 맞추기 위해, 제시되는 여러 단어 중에 “yes”와 같은 약속된 단어가 제시되었을 때 반응 버튼을 누르게 하여 인지 반응 시간을 측정하였다(Scholey *et al.*, 1999). 그 결과에서도 본 연구에서와 같이 아주 복잡한 문제를 수행하는 것이 아니고 간단한 단어의 인지 시간만을 측정하는 것이기 때문에 반응 시간이 200~300[msec]로 아주 짧았다. 본 연구에서는 고도의 인지 기능을 필요로 하는 문제(평균 정답률이 50~60점)를 제시하고 반응 시간을 측정하였기 때문에 반응 시간이 6000~7000[msec]로 아주 느린 것으로 나타났다. 즉, 본 연구에서 측정된 시간은 문제를 인지하는 시간뿐만 아니라 정답을 추론하고 판단하는 시간까지 포함된 것이다. 그러므로 순수한 인지 반응 시간만을 측정할 수 있는 선행 연구와 복잡한 공간지각 문제를 인지하고 정답을 추론하고 결정하는 시간이 포함된 본 연구는 실험 내용에서 큰 차이가 있기 때문에 두 연구 결과를 직접 비교하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다. 그러므로 고농도의 산소 공급이 인지 반응 시간 변화에 미치는 영향에 관한 연구는 인지 내용의 종류, 난이도 등을 고려하여 보다 정확한 실험을 통해 규명되어야 할 것이다.

본 연구에서는 두 가지의 산소 농도, 즉 21%와 30%의 산소 농도일 때 인지 능력 중 특히 공간지각 능력에 어떠한 변화를 유발하는지 관찰하고자 하였다. 그러나 향후 다양한 산소 농도에 대한 연구로부터 이러한 인지 기능을 최대한 높일 수 있는 최적의 산소 농도를 찾는 연구가 필요할 것이다. 또한 언어, 학습, 추리, 지각, 정서 등의 다양한 인간의 인지 기능에 고농도의 산소 공급이 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 연구도 필요할 것이다. 이러한 연구들로부터 외부의 산소 공급이 다양한 인지 기능에 긍정적인 영향을 끼친다는 결론을 도출한다면, 다양한 인지 기능을 필요로 하는 사무 및 작업 환경의 업무 능력 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 실제 사무 및 작업 환경 개선에 어떻게 적용할 수 있는지에 대한 산업 공학적인 측면의 응용 연구가 필수적인 것으로 판단된다.

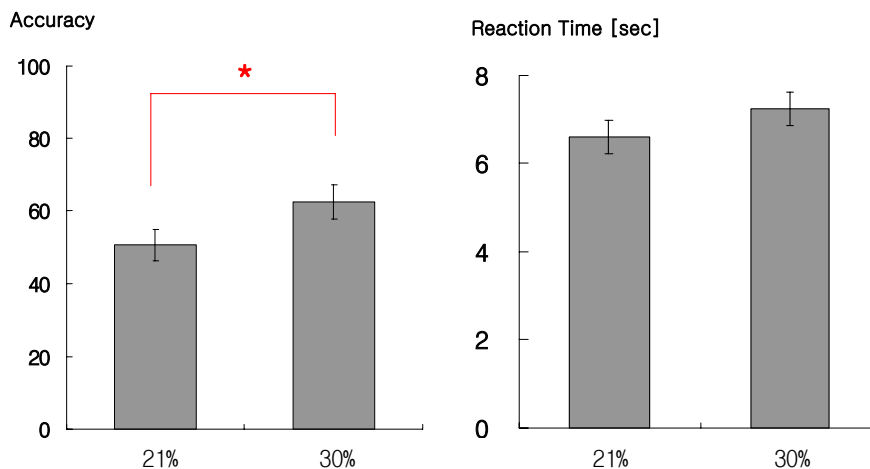


Figure 5. Results of mean accuracy rate and reaction time (* $p < .05$).

참고 문헌

- Crowley, J. S., Wesenten, N. W., Kamimori, G., Devine, M. E., Iwanyk, E. and Balkin, T. (1992), Effects of high terrestrial altitude and supplemental oxygen on human performance and mood, *Aviat. Space Environ. Med.* **63**, 696-701.
- Eustache, F., Rioux, P., Desgranges, B., Marchal, G., Petittaboue, M. C., Dary, M., Lechevalier, B. and Baron, J. C. (1995), Healthy aging, memory subsystems and regional cerebral oxygen consumption, *Neuropsychologia* **33**, 867-887.
- Fujiwara, T. and Maeda, M. (2001), Effects of oxygen and refresh space for the elderly, *J. Human Life Engineering* **2**(3), 8-11.
- Gibson, G. E., Pulsinelli, W., Blass, J. P. and Duffy, T. E. (1981), Brain dysfunction in mild to moderate hypoxia, *Am. J. Med.* **70**, 1247-1254.
- Gold, P. E., Macleod, K. M., Deary, I. J. and Frier, B. M. (1985), Hypoglycaemic-induced cognitive dysfunction in diabetes mellitus: Effect of hypoglycaemic unawareness, *Physiol. Behav.* **58**, 501-511.
- Horwitz, B., McIntosh, A. R., Haxby, J. V. and Grady, C. L. (1995), Network analysis of brain cognitive function using metabolic and blood-flow data, *Behav. Brain Res.* **66**, 187-193.
- Lee, S-R. (1982), *Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults)*, Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.
- Lee, S-R. and Kim, K-R. (1985), *Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults)*, Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.
- Moss, M. C. and Scholey, A. B. (1996), Oxygen administration enhances memory formation in healthy young adults, *Psychopharmacology (Berlin)* **124**, 255-260.
- Noble, J., Jones, J. G. and Davis E. J. (1993), Cognitive function during moderate hypoxaemia, *Anaesth. Intens. Care* **21**, 180-184.
- Park, S-B. (1985), *GATB (General Aptitude Test Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public)*, Jungangjucksung Chulpansa, Seoul, Korea.
- Phelps, M. E., Khul, D. E. and Mazzioti, J. C. (1981), Metabolic mapping of the brain's response to visual stimulation: Studies in humans, *Science* **211**, 1445-1448.
- Reivich, M. and Alavi, A. (1983), Positron emission tomographic studies of local cerebral glucose metabolism in humans in physiological and pathological conditions, *Add. Metabol. Dis.* **10**, 135-176.
- Scholey, A. B., Moss, M. C., Neave, N. and Wesnes, K. (1999), Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults, *Physiology & Behavior* **67**(5), 783-789.
- Sung, E-J., Min, B-C., Jeon, H-J., Kim S-C. and Kim, C-J. (2002), Influence of oxygen rate on driver fatigue during simulated driving, *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility* **5**(1), 71-78.
- Taylor, L. A. and Rachman, S. J. (1988), The effects of blood sugar level changes on cognitive function, affective state and somatic symptoms, *J. Behav. Med.* **11**, 279-291.
- Turner, J. R. and Carrol, D. (1985), Heart rate and oxygen consumption during mental arithmetic, a video game, and graded exercise: Further evidence of metabolically-exaggerated cardiac adjustments, *Psychophysiology* **22**, 261-267.
- Widom, B. and Simonson, D. C. (1990), Glycaemic control and neuropsychologic function during hypoglaecemia in patients with insulin dependent diabetes mellitus, *Ann. Intern. Med.* **112**, 904-912.