

## 30%의 고농도 산소가 정상 성인의 사이클 운동 시 심박동률과 혈중 산소 포화도에 미치는 영향\*

### Influence of 30% Oxygen on Heart Rate and SPO<sub>2</sub> during Cycle Exercise in Healthy Subjects

정순철\*\*\* · 유지혜\*\* · 이정환\*\* · 손진훈\*\*\*

Soon-Cheol Chung\*\*\* · Ji-Hye You\*\* · Jeong-Han Yi\*\* · Jin-Hun Sohn\*\*\*

건국대학교 의학공학부\*\*

Department of Biomedical Engineering, Konkuk University

충남대학교 심리학과\*\*\*

Department of Psychology, Chungnam National University

**Abstract** : The purpose of this study is to analyze the effects of the inhalation of 30% oxygen on heart rate and oxygen saturation (SPO<sub>2</sub>) during cycle isokinetic exercise, in comparison with the inhalation of 21% oxygen. This study used oxygen supply equipment that can supply each of 21% and 30% oxygen constantly at a rate of 8 liter/min. Ten healthy male college students (25.2±2.2 years) participated in the experiment twice, one for 21% oxygen and the other for 30% oxygen. Each experiment was composed of three sections (a total of 18 minutes), which were composure (2 minutes), cycle isokinetic exercise at a speed of 20±1km/h (10 minutes) and recovery (6 minutes). 21% or 30% oxygen was supplied only during the sections of isokinetic exercise and restoration. Heart rate during isokinetic exercise and recovery was lower with the inhalation of 30% oxygen than with that of 20% oxygen but no difference was observed in SPO<sub>2</sub>. SPO<sub>2</sub> was not different possibly because the same work load was applied to the group of 21% oxygen and that of 30% oxygen. Heart rate was reduced with the inhalation of 30% oxygen possibly because a larger quantity of oxygen was supplied at the same work load.

**Key words** : 30% Oxygen, heart rate, SPO<sub>2</sub>, cycle exercise

**요약** : 본 연구의 목적은 21% 농도의 산소와 비교하여 30%의 고농도 산소 흡입이 사이클 등속 운동 중에 심박동률(heart rate)과 혈중 산소 포화도(SPO<sub>2</sub>)에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 21%와 30% 농도의 산소를 각각

---

\* 본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(R01-2004-000-10593-0) 지원으로 수행되었음.

† 교신저자 : 정순철(건국대학교 의료생명대학 의학공학부)

E-mail : scchung@kku.ac.kr

TEL : 043-840-3759, 043-856-3352

FAX : 043-851-0620

8liter/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 산소 공급 장치를 이용하였다. 신체 건강한 10명의 남자 대학생(25.2±2.2세)이 21%와 30%의 두 종류의 산소 농도를 대상으로 각각 두 번의 실험에 참여하였다. 실험은 안정(2분), 20±1km/h의 사이클 등속 운동(10분), 회복(6분)의 세 구간(총 18분)으로 구성되어 있고, 21% 또는 30%의 산소는 등속 운동과 회복 구간에만 공급되었다. 21%에 비해 30% 산소를 흡입했을 때 사이클 등속 운동과 회복 기간 중에 심박동률은 감소하였고, 혈중 산소 포화도는 차이가 없었다. 21%와 30% 두 그룹 사이에 동일한 운동 부하가 주어졌기 때문에 혈중 산소 포화도는 차이가 없는 것으로 판단되고, 30%의 고농도 산소 흡입으로 동일 운동 부하에 필요한 산소 요구량이 원활히 공급되고 있기 때문에 심박동률은 감소한 것으로 판단된다.

주제어 : 30% 농도의 산소, 심박동률, 혈중 산소 포화도, 사이클 운동

## 1. 서론

대기 중의 산소 농도는 용적비로 약 21%이고, 분압은 약 159mmHg이며, 이러한 환경에서 인간의 혈중 산소 농도는 95% 이상으로 유지된다. 산소는 인간의 생존에 필수적인 물질로서 신체 및 정신 활동에 필요한 에너지를 공급하는 역할을 한다. 산소섭취가 부족하게 되면 운동 시에 생리 기능의 활성화에 의한 에너지 요구량에 대하여 공급이 충족되지 못하는 상태가 되어 피로가 유발된다. 또한 인체의 각 부분의 대사에 필요한 산소 및 에너지가 충분히 공급되지 않아 허혈(ischemia)이나 장기 장애 등을 일으키기도 한다[6, 7]. 저산소증은 과도환기(hyperventilation)와 같은 호흡 장애, 심박동률의 증가와 같은 순환계의 기능변화, 뇌기능 장애 등을 유발하기도 한다[8].

외부에서의 산소 공급이 운동 능력과 인지 능력에 긍정적인 역할을 한다는 사실이 부분적으로 알려져 왔다. 100%의 산소 공급이 단어 기억력 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 사실이 보고되었다[13]. 일반 공기 중의 산소 농도인 21%에 비해 30%의 산소 공급이 인지 능력 중 공간 지각 능력과[3, 4] 언어 능력에[5] 긍정적인 영향을 미친다는 보고가 있었다. 자동차 운전 중에 산소 농도가 저하되면 현저한 피로를 느끼게 되나, 30%의 고농도 산소를 공급하는 경우 피로감이 경감되고 반응시간도 빨라진다는 연구 결과도 보고 되었다[15]. 또한 만성 심기능부전 환자를 대상으로 50%의 고농도 산소 공급이 운동에 어

려한 영향을 미치는지에 대한 연구도 수행되었다[11]. 고농도 산소 공급으로 점증적 최대 운동시 평균 운동 시간의 증가, 혈중 산소 포화도의 증가, 분당 환기량(minute ventilation)과 심박출량(cardiac output)의 감소 및 피로도의 감소가 있었다고 보고하였다. 즉, 고농도 산소의 흡입은 심장 질환 환자의 운동 능력과 환기 기능을 개선시킬 수 있다고 보고하였다. 그러나 60%의 고농도의 산소 공급이 심장 질환자의 운동 기능 개선에 효과가 없었다는 선행 연구와[11] 상반되는 보고가 있기도 하였다[12]. 15%, 21%, 50% 세 가지 산소 농도를 공급하면서 정상인과 척수 손상 환자를 대상으로 arm-cranking 운동을 수행하였을 때, 두 그룹 모두 산소 농도가 증가할수록 일률(Power output)과 최대 산소 섭취량(VO<sub>2</sub>peak)이 증가된다는 보고가 있었다[9, 10].

이와 같이 산소는 인간의 신체 및 정신 활동에 필수적인 물질이며, 외부에서의 고농도 산소 공급이 인지 능력에 긍정적인 역할을 수행한다는 보고가 있었다. 특히 논란의 여지가 있지만 50%의 고농도 산소 공급이 심장 질환자의 운동 능력 개선에 활용될 수 있다는 보고가 있었고[11], 정상 성인과 척수 손상 환자의 운동 수행 능력을 증가시킨다는 보고도 있었다[9, 10]. 그러나 고농도 산소 공급이 인간의 운동 기능에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 다양하고 구체적인 연구 보고는 아직까지 부족한 실정이다. 즉, 산소 농도의 변화, 운동 유형의 변화, 생리 분석 신호의 변화 등에 대한 다양한 연구 결과가 지금까

지 미비한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 사이클 등속 운동을 수행하게 하면서 심박동률과 혈중 산소 포화도를 측정하여, 선행 연구 (50%)와 비교해서 상대적으로 낮은 고농도 (30%)의 산소 공급이 운동 중에 어떠한 생리적 변화를 유발하는지에 대한 기초 연구를 수행하고자 한다. 이를 통해 정상 성인 뿐만 아니라 심장 질환자, 척추 손상 환자 등의 운동 수행의 보조 역할로서 고농도 산소의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 산소 공급 장치 및 실험 참여자

본 연구를 위해 일반 공기 중의 산소 농도인 21%의 산소와 30%의 고농도 산소를 각각 8 liter/min의 양으로 일정하게 공급할 수 있는 산소 공급 장치(Oxy Cure Co.)를 이용하였다. 산소 공급 장치에서 발생된 산소는 마스크를 통하여 실험 참여자에게 전달되었다. 신체 건강한 10명의 남자 대학생(25.2±2.2세)을 사이클 등속 운동의 실험 참여자로 선정하였다.

### 2.2 실험 절차

실험은 안정(2분), 사이클 등속 운동(10분), 회복(6분)의 세 구간(총 18분)으로 구성되어 있고, 실험 참여자는 두 가지 산소 농도(21% 또는 30%)에서 각각 실험을 수행하게 된다. 안정 구간은 마스크를 착용하였지만 산소 공급 장치는 동작을 시키지 않은 상태로, 피검자가 사이클 위에서 운동을 하지 않는 상태에서 2분 동안 자연스럽게 실내 공간의 공기를 흡입하는 구간이다. 사이클 등속 운동 구간은 21% 또는 30% 산소가 공급되고, 피검자가 디지털 속도계를 직접 관찰하면서 동일 페달 강도의 일정 속도(20±1km/h)로 10분간 사이클 운동을 수행하는 구간이다. 이때 사이클 등속 운동 수행을 위해 회전 속도가

디지털로 디스플레이 되는 golf-e 모델(Kettler, Co. Germany)을 사용하였다. 회복의 6분 구간은 동일 농도의 산소가 공급된 상태에서 사이클 운동을 중지하고 회복하는 구간이다. 회복 기간이 끝난 후 산소 공급 장치의 동작을 중지하였다. 즉, 피검자는 21% 또는 30% 산소 농도에서 사이클 등속 운동을 수행하고 회복하게 된다. 첫 번째 산소 농도에서 실험을 수행하고 충분한 휴식(약 1시간)을 취하여 전 실험의 안정 상태에서의 심박동률과 동일하게 회복된 후, 나머지 산소 농도에서 동일한 실험을 수행하도록 하였다.

### 2.3 생리 신호 측정

사이클 등속 운동을 수행하면서 심박동률과 혈중 산소 포화도 변화를 측정하였다. 8500A(Nonin Medical Inc. USA)를 이용하여 실험 참여자의 왼손 약지 손가락에서 혈중 산소 포화도(SPO2[%])를 측정하였다. 이 제품은 LED를 이용하여 디스플레이만 가능하고 저장 장치가 없다. 그러므로 실험자가 10초 간격으로 측정값을 읽어서(1sample/10sec) 데이터를 기록하였다. Biopac MP100(Biopac Systems, Inc.)을 사용하여 Electrocardiogram(ECG)를 256 samples/sec로 측정하였고, Acqknowledge 3.5(Biopac Systems, Inc. USA)를 이용하여 심박동률(bit per minute: bpm)을 계산하였다. 이때 전극은 오른쪽 발목에 도출 전극을 부착하고, 양 손목에 측정 전극을 부착하였다.

### 2.4 데이터 분석

생리 신호의 자료 분석을 위해 2분 단위로 심박동률과 혈중 산소 포화도의 평균값을 산출하여 그래프를 작성하였으며, 각 구간별 심박동률과 혈중 산소 포화도의 평균을 산출하여 통계적 검증을 실시하였다. 통계 분석은 그룹(21%, 30%)과 구간(안정, 운동, 회복)을 독립변인으로 하는 two-way repeated measures

ANOVA(SPSS ver. 10.0)를 사용하여 두 가지 산소 농도 사이에 그리고 각 구간별로 심박동률과 혈중 산소 포화도에서 유의한 차이가 있는지를 검증하였다.

추가적으로 두 가지 산소 농도에 대해 운동과 회복 구간에서 시간에 따른 심박동률의 변화를 비선형 회귀 방정식으로 추정하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 심박동률의 변화

Fig. 1과 같이 산소 농도에 관계없이 사이클 운동 중에 심박동률은 증가하고, 회복 구간에서는 감소하는 동일한 양상을 나타내었다. 그러나 운동 및 회복 구간에서 30%에 비해 21% 산소 공급시 심박동률의 절대값이 컸다. Table 1과 같이 그룹(21%, 30%)과 구간(안정, 운동, 회복)을 독립변인으로 하는 통계 분석을 수행한 결과, 그룹( $p < 0.05$ )과 구간( $p < 0.001$ )에서 유의한 차이가 나타나 21%와 30% 산소 농도 사이에 그리고 안정, 운동, 회복의 세 구간에서 심박동률의 절대값이 유의미한 차이가 있다는 사실이 관찰되었다. 그러나 그룹과 구간의 상호작용 효과는 없는 것으로 나타나 두 가지 산소 농도에 따라 심박동률의 변화 양상은 차이가 없는 것으로 나타났다 ( $p > 0.05$ ).

Fig. 2(a)와 같이 운동 구간에서 심박동률의 비선형 회귀 방정식은 21%와 30% 산소 농도에서 각각  $\hat{y} = 14.0\ln(x) + 120.2$  ( $p < 0.001$ ),  $\hat{y} = 12.7\ln(x) + 115.8$

( $p < 0.001$ )로 나타나 30%에 비해 21% 산소 공급시 심박동률의 증가율(기울기)이 컸다. 회복 구간에서 심박동률의 비선형 회귀 방정식은 21%와 30% 산소 농도에서 각각  $\hat{y} = -25.8\ln(x) + 141.0$  ( $p < 0.05$ ),  $\hat{y} = -26.8\ln(x) + 134.5$  ( $p < 0.01$ )로 나타나, 운동 구간과는 반대로 21%에 비해 30% 산소 공급시 심박동률의 감소율(기울기)이 컸다(Fig. 2(b)). 여기서  $\hat{y}$ 은 심박동률이고,  $x$ 는 시간이다.

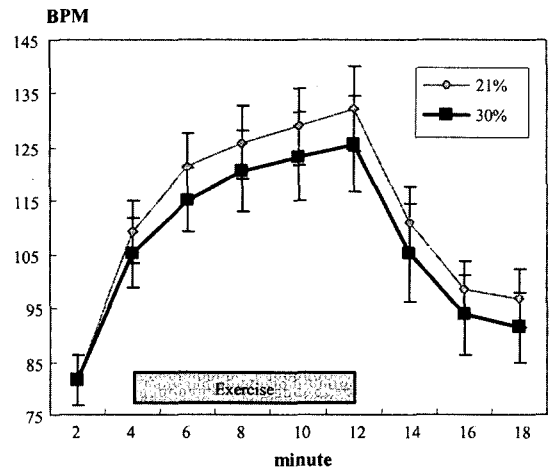


Figure 1. Heart rate (bpm) change during experimental phases (0–2 min.: rest, 2–12: cycle exercise, 12–18: recovery)

#### 3.2 혈중 산소 포화도의 변화

Fig. 3과 같이 산소 농도에 관계없이 사이클 운동 중에 혈중 산소 포화도는 감소하고, 회복 구간에서는 증가하는 동일한 양상을 나타내었다. Table 2와 같

Table 1. Results of heart rate of two-way repeated measures ANOVA which used the group and phase as independent variables

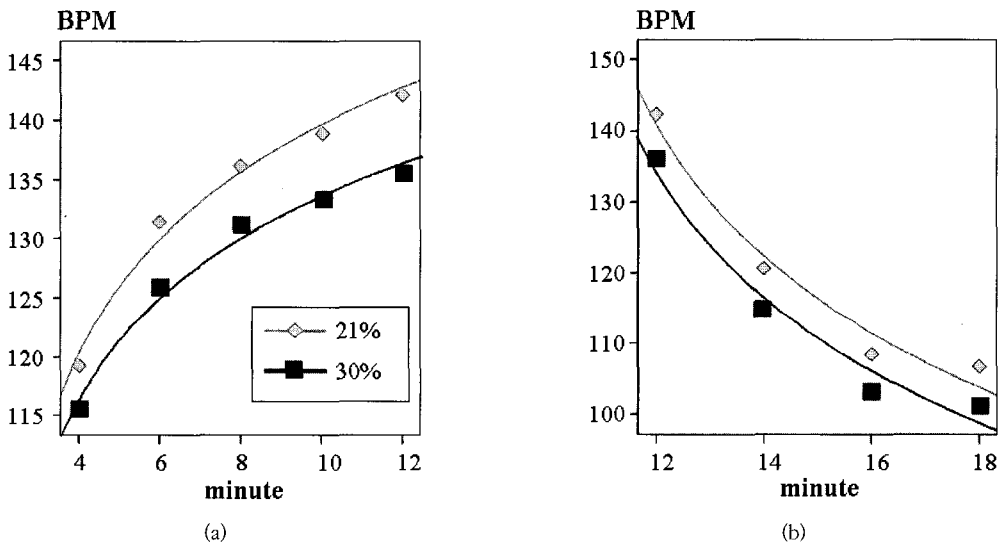
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Group	176.98	1	176.98	5.24*
Phase	13857.50	2	6928.75	131.53***
Group × Phase	88.69	2	44.34	3.46

\* $p < .05$ , \*\*\* $p < .001$

**Table 2.** Results of SPO<sub>2</sub> of two-way repeated measures ANOVA which used the group and phase as independent variables

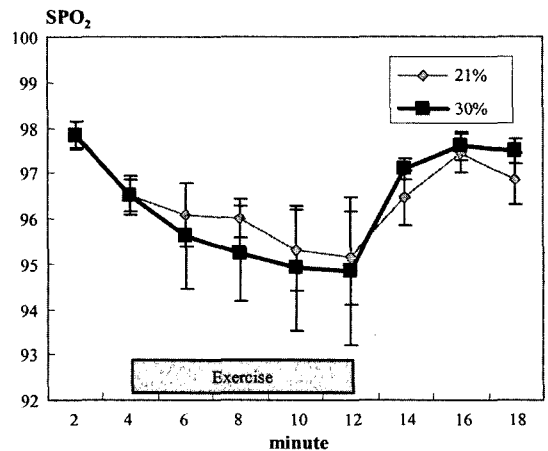
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Group	.001	1	.001	.01
Phase	46.78	2	23.39	9.54**
Group × Phase	1.49	2	.75	3.16

\*\*p<.01



**Figure 2.** Results of nonlinear regression analysis of heart rate during cycle exercise phase (a) and recovery phase (b)

이 통계 분석을 수행한 결과, 구간(p<0.01)에서만 유의한 차이가 나타나 안정, 운동, 회복의 세 구간에서 혈중 산소 포화도가 유의미한 차이가 있다는 사실이 관찰되었다. 그러나 그룹 사이에 그리고 그룹과 구간의 상호작용 효과는 없는 것으로 나타나, 두 가지 산소 농도에 따라 혈중 산소 포화도는 차이가 없고, 변화 양상에도 차이가 없는 것으로 나타났다.



**Figure 3.** SPO<sub>2</sub> (%) change during experimental phases (0-2 min.: rest, 2-12: cycle exercise, 12-18: recovery)

#### 4. 토의

본 연구에서는 정상 성인을 대상으로 21%와 비교하여 30%의 고농도 산소 공급이 사이클 등속 운동 중에 심박동률과 혈중 산소 포화도에 어떠한 변화를 유발하는지에 대한 기초 연구를 수행하였다.

사이클 등속 운동 실험에서 산소 농도에 관계없이 안정, 운동, 회복의 세 구간에서 심박동률이 유의한 차이가 있다는 사실이 관찰되어 운동 부하와 심박동률이 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 21%에 비해 30% 산소 공급시 운동 및 회복 구간에서 심박동률의 절대값이 유의하게 작았다. 동일 운동 부하에 대한 심박동률의 감소는 심장 자체의 에너지 소비량을 감소시키면서 동일한 양의 산소를 인체 조직까지 공급할 수 있음을 의미한다. 즉, 21%에 비해 30% 고농도 산소 흡입으로 운동 대사에 필요한 산소 요구량이 원활히 공급되고 있기 때문에 심박동률이 감소한 것으로 판단된다. 또한 비선형 회귀 분석 결과 21%에 비해 30% 산소 공급시 운동 구간에서는 심박동률의 증가율이 작았고, 회복 구간에서는 운동 구간과는 반대로 심박동률의 감소율이 컸다. 그러므로 21%에 비해 30% 고농도 산소 흡입으로 동일 운동 부하에서 심박동률의 절대값이 감소하고, 운동으로 인한 심박동률의 증가율이 늦어지고, 회복율이 빨라진 것은, 30%의 고농도 산소가 정상인의 최대 운동량과 운동 지속 시간을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라 빠른 회복에도 기여한다는 사실을 의미한다.

심장병 환자의 경우 운동 트레이닝이 최대 산소 섭취량과 운동 능력을 향상시킬 뿐만 아니라, 자율 신경계 기능, 혈류량, 골격근 기능, 혈압 회복 등을 향상시킨다는 보고가 있었다[1, 2, 14, 16]. 이를 통해 심장병 환자들의 예방, 치료, 및 회복을 위해서 운동 트레이닝 처방의 필요성이 제기되고 있으나, 운동에 대한 가스교환 능력과 기능 및 형태에 문제가 있는 심장혈관계통의 환자를 대상으로 운동 트레이닝 처방 프로그램의 적용이 쉽지 않은 실정이다 [16]. 특히 운동 지속 시간의 감소가 심장병 환자들

의 중요 특징이나, 50%의 고농도 산소 공급이 평균 운동 시간과 최대 산소 섭취량을 증가시킬 수 있다는 선행 보고가 있었다[9, 10, 11]. 또한 본 연구에서도 비록 정상인을 대상으로 실험이 수행되었지만 21%에 비해 30% 고농도 산소 흡입으로 동일 운동 부하에 대해 심장의 부하가 저하되어 최대 운동량과 운동 지속 시간을 증가시킬 수 있는 것으로 나타나, 고농도 산소가 심장병 환자들의 운동 트레이닝 처방 프로그램에 활용될 가능성이 있을 것으로 사료된다.

운동 수행으로 pH 감소, 온도 및 이산화탄소의 분압의 증가 등으로 산소 해리 곡선이 우측으로 이동하게 되고, 그 결과로 헤모글로빈이 산소 해리 능력을 증가시키면서 산소를 필요로 하는 조직으로 산소 이동을 촉진시킬 수 있게 한다[8]. 즉, 운동 수행이 지속되면서 원활한 산소 공급을 위해 산소 포화도가 감소되는 것으로 간주된다. 본 연구에서도 혈중 산소 포화도는 사이클 운동 중에 감소하고, 회복 구간에서는 증가하는 양상을 나타내었다. 그리고 동일한 운동 부하가 주어졌기 때문에 21%와 30% 두 그룹 사이에 혈중 산소 포화도는 차이가 없는 것으로 판단된다. 21%에 비해 30% 산소 공급으로 심박동률이 감소한 결과와 비교해 보면, 동일 강도의 운동에 필요한 산소량은 고농도 산소 흡입에 의한 작은 심박동률의 증가로 보상될 수 있다는 사실을 의미한다.

본 연구에서는 선행 연구에 비해 상대적으로 낮은 고농도의 산소(30%)가 정상인의 사이클 운동 수행에 긍정적인 역할을 수행할 수 있다는 것을 심박동률의 절대적 값과 함께 상대적인 변화율의 빠르기 결과로부터 도출하였다. 향후 환자를 대상으로 한 연구, 운동 수행을 위한 최적의 산소 농도를 찾는 연구, 측정 및 분석 생리 변수의 다양화 등에 관한 연구가 필요할 것이다. 이러한 결과들은 정상인뿐만 아니라, 심장질환자의 운동 처방 프로그램에 활용될 수 있는 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] Andres, G. D., Timothy, D. N., Helen, J., & Liz, D. (1999). Effect of myocardial ischemia on left ventricular function and adaptability to exercise training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31(8), 1094-1101.
- [2] Bray, G. A. (1988). Exercise fitness and health, Human kinetics books Co.
- [3] Chung, S. C., Tack, G. R., Lee, B., Eom, G. M., Lee, S. Y., & Sohn, J. H. (2004). The effect of 30% oxygen on visuospatial performance and brain activation: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 56, 279-285.
- [4] Chung, S. C., Sohn, J. H., Lee, B., & Lee, S. Y. (2005). Visuospatial cognitive performance, hyperoxia and heart rate due to oxygen administration. *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 22(1), 193-198.
- [5] Chung, S. C., Sohn, J. H., Tack, G. R., & Yi, J. H. (2005). Changes in verbal cognitive performance, blood oxygen saturation and heart rate due to 30% oxygen administration. *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 22(4), 173-180.
- [6] Foss, M. L., & Keteyian, S. J. (1998). Fox's physiological basis for exercise and sport, McGraw-Hill, New York.
- [7] Fujiwara, T., & Maeda, M. (2001). Effects of oxygen and refresh space for the elderly. *Journal of Human Life Engineering*, 2(3), 8-11.
- [8] Guyton, A. C. (1991). Textbook of medical physiology, W.B. Saunders, Philadelphia.
- [9] Hopman, M. T. Folgering, H.T., Groothuis, J. T., & Houtman, S. (2003). The effect of inspired oxygen fraction on peak oxygen uptake during arm exercise. *Eur. J. Appl. Physiol*, 90, 120-124.
- [10] Hopman, M. T. Houtman, S., Groothuis, J. T., & Folgering, H. T. (2004). The effect of varied fractional oxygen on arm exercise performance in spinal cord injury and able-bodied persons. *Arch. Phys. Med. Rehabil*, 85, 319-323.
- [11] Moore, D. P., Weston, A. R., Oakley, C. M., Cleland J. G. F., & Hughes, J. M. B. (1993). Effects of increased oxygen concentrations on exercise performance in chronic heart failure. *Lancet*, 339, 850-853.
- [12] Russell, S. D., Koshkarian, G. M., Medinger, A. E., Carson, P. E., & Higginbotham, M. B. (1999). Lack of effect of increased inspired oxygen concentrations on maximal exercise capacity or ventilation in stable heart failure. *Am. J. Cardiol*, 84, 1412-1416.
- [13] Scholey, A. B., Moss, M. C., Neave, N., & Wesnes, K. (1999). Cognitive performance, hyperoxia, and heart rate following oxygen administration in healthy young adults. *Physiology & Behavior*, 67(5), 783-789.
- [14] Steven, J. K., Clinton, A. B., & John, R. S. (1997). Exercise testing and training of patients with heart failure due to left ventricular systolic dysfunction. *J. Cardiopulmonary Rehabil*, 17, 19-28.
- [15] Sung, E. J., Min, B. C., Jeon, H. J., Kim, S. C., & 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.
- [16] Yeo, N. H., & Kim, S. S. (2000). The effect of aerobic exercise training on blood pressure and electrocardiogram (ECG) in chronic heart failure. *Exercise Science*, 10(1), 31-41.

원고접수 : 2005. 7. 13

수정접수 : 2006. 1. 9

게재확정 : 2006. 1. 12