

## 차량용 산소발생기의 성능 측정

# The Evaluation of Oxygen Generator Performance For Car

송근호\*, 유진호\*\*, 김정은\*\*, 장화익\*\*\*, 이광래\*\*\*\*

Song, Kun-Ho Yu, Jin-Ho Kim, Jeong-Eun Chang, Wha-Ik Lee, Kwang-Rae

---

### Abstract

Auto exhausts and air pollution can become trapped in the cabin of vehicle, reducing the amount of oxygen available for breathing. Driver may feel sleepy, headaches, nausea, confusion, dizziness and lower levels of oxygen can damage the driver's general health. Consequently, oxygen generator purified oxygen into the car to help driver get the oxygen driver's body needs. In this study, in order to evaluate the oxygen generator performance, the samples that the various conditions(humidity(50%, 100%), flow and oxygen concentration) were examined. There were three types of oxygen generator; sample 1(2.5 l/min, 36%O<sub>2</sub>), sample 2(4.5 l/min, 41%O<sub>2</sub>) and sample 3(5 l/min, 39%O<sub>2</sub>). As the humidity increased from 50% to 100%, the oxygen concentration of the sample 1(36%), 2(41%) and 3(39%) was reduced 31%O<sub>2</sub>, 38%O<sub>2</sub> and 38%O<sub>2</sub>, respectively. Also, the each sample measured that effect of human in car on oxygen concentration, if the oxygen concentration is one person in car, each sample of oxygen concentration was 20.8%O<sub>2</sub>, 23.7%O<sub>2</sub> and 21.2%O<sub>2</sub>. From the above results, it was shown that oxygen generator for car, if the oxygen concentration is increased, effect of humidity is reduced, and that in the sample of supplying a high-rate of oxygen, the oxygen concentration is increased. It was suggested that effect of humidity on oxygen generator for car can be reduced according to the supply of oxygen.

Keywords : *Oxygen, generator, humidity, PSA*

---

### 1. 서론

자동차는 단순히 이동만을 위한 교통수단이 아닌 삶의 일부가 되었고 하나의 문화를 형성하게

되었다. 즉, 이동수단의 기능을 강조한 기술적인 측면외에는 운전자의 건강과 쾌적한 운전환경을 유지해 주어야 하는 필요성을 느껴 차량용 산소발생기가 만들어지게 되었다.

자동차 내부의 실내공기 오염의 가장 주요한 원인은 환기장치로 도심 외곽의 시골에서는 외기 순환모드로 전환하여 외부의 신선한 공기를 유입하거나 창문을 열어 환기를 할 수 있다. 그러나

---

\* 강원대학교 화학공학과 박사  
\*\* 강원대학교 화학공학과 석사과정  
\*\*\* 강원 지방 중소 기업청  
\*\*\*\* 강원대학교 화학공학과 교수, 공학박사

도심에서의 경우 외부의 공기는 자동차 배출가스로 오염되어 내부순환모드로 전환할 수밖에 없으나, 내부순환모드로 전환하더라도 유해물질은 창문 틈으로 침투하여 밀폐된 차량내부에 축적되고 인체에 침투한다. 또한 여름철에는 에어컨을, 겨울철에는 히터를 각각 가동함으로써 인하여 내부 산소농도의 감소에 따른 두통, 피로감 및 졸음을 호소하는 경우가 많다[1-2].

밀폐된 차량내에서 탑승자의 호흡으로 인한 이산화탄소의 증가로 2,000cc급 승용차의 경우 2명 탑승시 내부순환 모드 상태에서 운전할 경우 20분이 지나면 이산화탄소 농도는 2,700ppm로, 대기중의 이산화탄소 농도(약 356ppm)의 약 7배가량 증가한다[3]. 이러한 차량 실내의 이산화탄소는 탑승자들은 호흡곤란과 답답함을 느끼게 하고 축적된 이산화탄소는 인체의 숨골을 자극해 졸음을 유발 시킴으로써 안전운행을 해치는 위험한 요소로, 가능한 내부순환모드에서는 최장 20분 이상 운전하지 않는 것이 좋다[4]. 이러한 실내공기 오염에 대한 관리방안으로 환기를 철저히 하는 것이 최선의 방안이나 도심과 같이 오염된 외부공기 때문에 환기가 불가능한 지역에서는 내부순환모드와 공기청정기를 활용하는 방안을 들 수 있다. 현재 많은 차량의 내부에서 순환되는 공기는 차량용 Air Cleaner를 통과함으로써 오염물질은 제거할 수 있으나, 호흡할 산소의 결핍, 이산화탄소의 증가 및 에어컨과 히터의 사용으로 유발되는 졸음, 두통과 무기력증에 대한 적절한 대응방안이 없었다. 이러한 문제에 대하여 차량용 산소발생기가 대안으로 고려될 수 있다.

현재 상업적으로 적용 가능한 차량용 산소발생장치는 PSA(Pressure Swing Adsorption) 방식과 멤브레인 방식으로 나눌 수 있다. 국내외적으로 산소발생장치에 대한 다양한 연구를 통하여 제품으로 판매되고 있으나 대부분 의료용에 국한되어 사용되어 왔다. 2000년대 이후 일본과 국내를 중심으로 산소발생장치를 공기청정기와 접목하는 다양한 제품들이 출시되어 사용되고 있다. 산소발생장치중 PSA 방식은 공기 중의 질소와 불순물을 제거하여 산소의 농도가 증가된 정제 산소 부화공기를 얻는 방법으로 제올라이트(zeolite) 분자체 등의 흡착제로 채워진 용기에 압력을 가하여 특정 성분의 기체를 흡착제에 흡착시켜 상대적으로 흡착이 잘 되지 않는 성분들을 뽑아내어 필요한 성분을 얻는 방식이다[5]. PSA 방식은 보통 고압에서 기체를 흡착시키며 대기압에서 탈착 및 재생과정을 수행하게 된다. PSA는 산업적으로 많이 사용되고 있으며, 공기 건조, 산소농축, 수소정제 등의 공정에 응용되고 최근에는 정수기나 공기청정기 및 의료기기 등에 적용되어 소형화된 제품에도 적용되고 있다. 일반적으로 PSA공정에서 사용되고 있는 제올

라이트 분자체는 수분을 쉽게 흡수하고 흡수한 수분의 영향으로 공기 중의 질소 흡착능이 약화되는 것으로 알려져 있다. 산소발생기를 자동차에 이용하기 위해서는 자동차의 운행 조건에 따른 성능의 변화가 적어야 한다. 비가 많은 우리나라의 여름철 기후 특성상 산소발생기는 운행 중 습도에 영향을 많이 받게 될 것이다.

본 실험에서는 PSA 방식의 자동차용 산소발생장치의 산소 유량 및 외부 습도 변화의 따른 성능특성을 측정하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. PSA(Pressure Swing Adsorption) 공정

압력순환흡착공정(PSA공정)은 기체 혼합물로부터 특정 성분을 분리 하거나 혹은 제거시켜 기체를 분리, 정제하는데 사용되는 공정으로, 기본원리는 Molecular Sieve 흡착제로 채워진 흡착탑을 원료기체가 고압상태로 통과하면서 선택도가 높은 성분들을 우선 흡착하게 되고 선택도가 낮은 성분들은 흡착탑 밖으로 배출되어 나가게 된다. 흡착된 성분들을 제거하기 위하여 흡착탑내 압력을 떨어뜨려 재생하게 되고 고압 생성물의 일부로 탑을 세척하게 된다. 이런 일련의 공정은 다음과 같은 반복과정을 통하여 생성물을 연속적으로 얻을 수 있게 된다.

제1공정 : 압축된 공기가 흡착제(Zeolite)로 충전된 흡착탑을 통과하면서, 강흡착 성분인 질소는 흡착제에 흡착되고, 약흡착 성분인 산소는 그대로 통과되어 생산가스로 나온다.

제2공정 : 흡착탑1이 강흡착 성분인 질소로 포화되면 흡착탑으로의 공기 공급이 끝나고, 흡착탑2로 압축공기가 공급되어지며 흡착탑1에서와 같은 공정을 거친다. 동시에 고압상태인 흡착탑1은 입구가 열리며 감압되며 질소의 탈착이 이루어진다.

제3공정 : 감압이 끝나면 출구가 열리면서 고압의 산소가 유입되어 흡착탑을 세정하게 된다. 흡착탑 2는 계속 압축공기가 공급되며 질소로 포화될 때까지 공정이 진행된다.

제4공정 : 흡착탑2가 질소로 포화되면 입구가 닫히며 감압 단계로 넘어간다. 동시에 세정된 흡착탑 1은 다시 압축공기가 공급되며 산소를 발생하게 된다. 이와 같은 일련의 공정을 반복하며 연속적으로 산소를 발생시키게 된다.

### 2.2. 밀폐 공간에서의 산소 농도

산소발생기의 성능, 산소 발생 농도 및 사람에 의한 호흡등을 고려하여 밀폐 공간(차량내)에서의 산소 농도 증가량은 다음과 같이 나타내었다.

밀폐 공간에 유입되는 산소의 질량은

$$= \text{총유입량} \times \frac{\text{산소발생기에서의 산소농도}}{\text{공기농도}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{유입 산소의 질량} \\ &= \text{총 유입량} \times \frac{\text{산소발생기에서의 산소의 농도}(\%)/100}{\text{공기농도}} \quad (2) \\ &(\text{총 유입량} = \text{산소발생기유량} \times \text{공기밀도}) \end{aligned}$$

여기서, 차량면적(4m<sup>2</sup>), 공기밀도(1.293g/ℓ)

공간내에 사람이 있는 경우(탑승인원)의 산소농도는 1인당 산소 소모량을 0.5ℓ/min으로 하여 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{실제적인 밀폐공간에서의 산소량} \\ &= (\text{총유입 산소량} - 0.5 \times \text{인원수}) \ell / \text{min} \quad (3) \end{aligned}$$

### 3. 실험

본 실험에 이용된 PSA 방식을 이용한 차량용 산소발생장치는 내경 2.2cm, 길이 17cm인 두 개의 충전 탱과 2 head compressor로 이루어져 있으며, 탱으로 유입부분에는 외부공기의 수분 및 오염물질을 차단하기 위한 전처리 필터와 유량의 변화를 위해 오리피스를 탱의 양단에 설치하였으며 이를 Fig. 1에 나타내었다. 각 sample의 농도변화는 portable oxygen detector(Teledyne)와 HP 5890 GC (Molecular sieve 5A, TCD, USA)를 사용하여 측정하였고, 유량은 flow meter를 이용하여 측정하였다. 또한 수분에 의한 산소발생기의 성능에 미치는 영향을 실험하기 위해서 습도계와 습도발생기를 사용하여 실험하였다.

산소발생기의 산소발생 농도 및 유량에 따른 영향을 조사하기 위해 각각의 장치에 대하여 Table 1에 나타내었다. sample 1과 sample 3은 유량이 각각 2.5ℓ/min, 5ℓ/min이고, 산소배출 농도는 36%, 39%이다. sample 2의 경우는 유량을 sample 3보다 낮은 4.5ℓ/min이고 반면, 산소배출 농도는 41%로 높게 설정하였다. 또한 산소발생기의 습도에 따른 영향을 알아보기 위해 습도조건을 실내(50%)와 장마철(100%)로 하여 실험하였다. 또한

실험에 사용된 제올라이트(zeolite)의 성분을 분석하기 위해 X-Ray diffractometer(XRD)를 이용하여 분석하였다.

Table 1 Oxygen flow and concentration with oxygen generator

	sample 1	sample 2	sample 3
산소 농도(%)	36	41	39
유량(ℓ/min)	2.5	4.5	5
pump 수	1	2	2

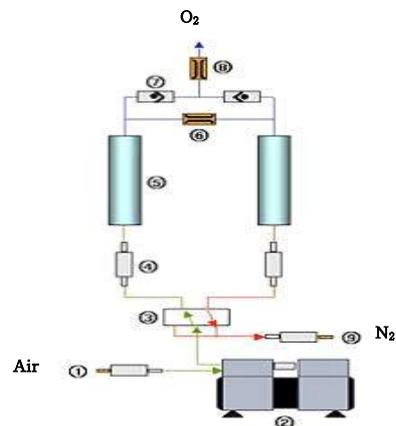


Fig.1 Schematic diagram of oxygen generator  
(1) air filter (2) compressor (3) solenoid valve  
(4) air filter (5) zeolite bed (6) orifice  
(7) check valve (8) orifice

### 4. 결과 및 고찰

#### 4.1 제올라이트 분석

본 실험에 사용된 제올라이트를 XRD를 이용하여 분석하여 Fig. 2에 나타내었다. 이때 사용한 흡착제는 Y형 타입의 제올라이트의 특성피크와 일치하는 것으로 생각된다.

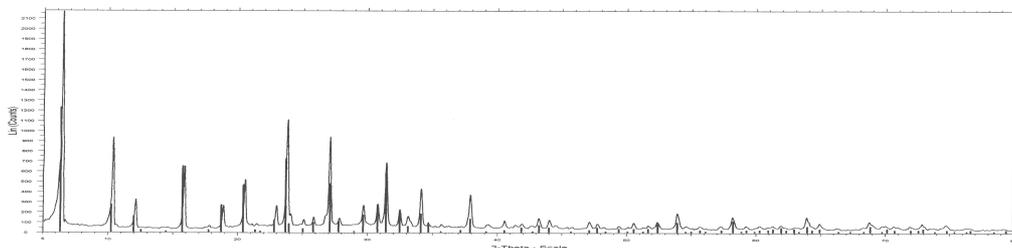


Fig. 2 XRD analysis for the zeolite

4.2 산소발생기의 수분에 대한 영향

Fig. 3는 산소발생기(2.5 l/min, 36%O<sub>2</sub>)가 외부 습도변화에 따른 성능 변화를 나타낸 그림이다. 초기 산소발생장치의 산소배출농도는 36%O<sub>2</sub>을 나타내었고, 습도가 50%에서 100%로 증가함에 따라 산소의 농도가 36%O<sub>2</sub>에서 31%O<sub>2</sub>로 약 5%O<sub>2</sub> 감소하게 나타났다. 또한, 전처리 필터를 제거한 후에는 29%O<sub>2</sub>로 산소농도가 약 7%가량 감소하게 나타났다. 이는 제올라이트가 수분에 의해 성능이 저하됨을 나타내었고, 필터에 의해 상당부분 수분이 제거되어 성능에 미치는 영향이 감소하는 것으로 나타났다.

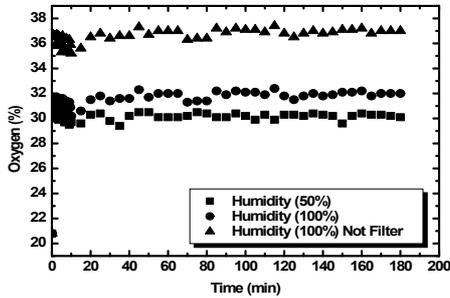
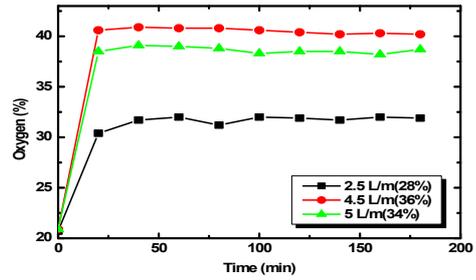


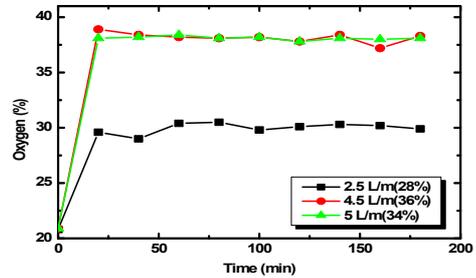
Fig. 3 Effect of humidity on oxygen concentration as a function of time (2.5 l/min, 36%O<sub>2</sub>)

Fig. 4는 산소발생장치의 유량 및 배출농도에 따른 습도의 영향을 나타내었다. 산소발생장치의 산소배출유량에 따라 산소의 배출농도는 sample 3(5 l/min)이 크지만 실제 산소 농도증가는 산소 배출농도가 큰 sample 2(4.5 l/min)의 경우가 41%로 높게 나타났다. 또한, 습도 50%일 경우와 습도 100%의 각 sample의 산소 농도 변화는 sample 1(36%O<sub>2</sub>)은 31%, sample 2(41%O<sub>2</sub>)는 38%O<sub>2</sub>, sample 3(39%O<sub>2</sub>)은 38%O<sub>2</sub>로 나타났다. 따라서 외부 습도증가에 대한 각 sample의 산소농도 감소량은 5%, 3%, 1%로 유량이 높은 sample 3의 경우가 습도에 대한 영향이 낮은 것을 알 수 있다.

이는, sample 2와 3은 산소발생기에서 나온 산소와 외부공기의 혼합에 의해 유량을 증가하게 되는데, 결국 산소발생기에 공급되는 외부 공기 양의 감소로 sample 3의 경우가 낮게 나타난다. 따라서 산소발생기의 유량을 증가시켜 수분에 의한 제올라이트의 성능저하를 방지할 수 있는 것을 알 수 있다.



(a)



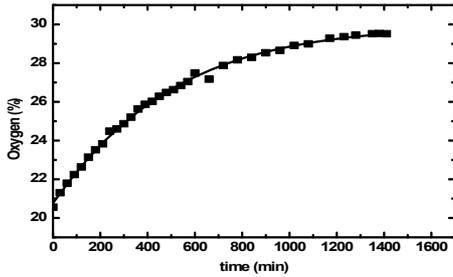
(b)

Fig. 4 Effect of flow rate on oxygen concentration as a function of time (a) humidity 50%, (b) humidity 100%

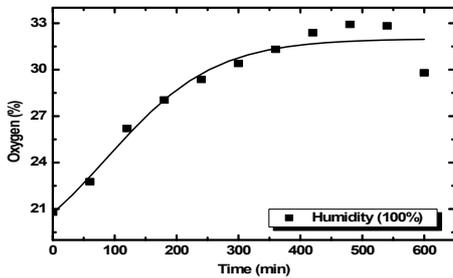
4.3 밀폐 용기에서의 산소 농도 비교

일반적으로 차량용 산소발생기의 성능측정은 산소발생기 작동 후 약 1시간정도 운전 후에 산소의 농도를 측정하여 나타낸다. 따라서 Fig. 5는 용기내의 면적이 0.512m<sup>3</sup>일 때 산소발생기를 1시간 운전 후 용기내의 산소농도를 측정하였다 외부 습도가 50%일 때 초기 산소농도 20.8%O<sub>2</sub>에서 sample 1은 21.7%O<sub>2</sub>로 약 0.9% , sample 2는 23.7%O<sub>2</sub>로 약 2.9%증가, sample 3은 23.2%O<sub>2</sub>로 약 2.4%증가하였고, 습도가 100%일 경우 sample 1은 22.1%O<sub>2</sub>로 약 1.3%, sample 2는 23.5%O<sub>2</sub>로 약 2.7%, sample 3은 22.7%O<sub>2</sub>로 약 1.9%증가하였다. 각각 습도가 증가함에 따라 0.4%, 0.2%, 0.5%감소하였다. 앞서 산소발생기에서 습도에 대한 영향에서는 sample 3의 경우가 영향이 낮게 나타났으나, 밀폐용기내에서의 산소농도 실험에서는 sample 2의 경우가 낮게 나타났다. 이는 산소발생기 자체의 성능에서는 sample 3의 경우가 보다 안정적이었으나 용기내의 산소를 공급하는 경우에는 많은 양의 산소를 발생하는 sample 2의 경우가

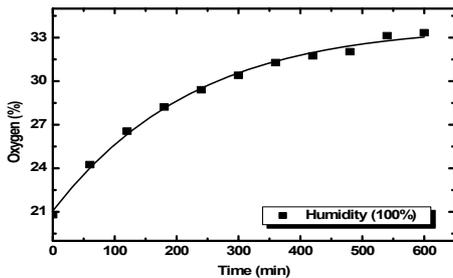
영향이 작은 것을 알 수 있다. 또한 각 sample을 장시간(약20시간)운전 후 용기내의 산소의 농도를 측정해보았다. sample 1은 29%O<sub>2</sub>, sample 2는 33%O<sub>2</sub>, sample 3은 30%O<sub>2</sub>로 sample 2의 경우가 용기내에서 높은 산소농도를 나타내었다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Effect of humidity on oxygen generator at closed room (humidity 100%)  
(a) sample1, (b) sample 2 (c) sample 3

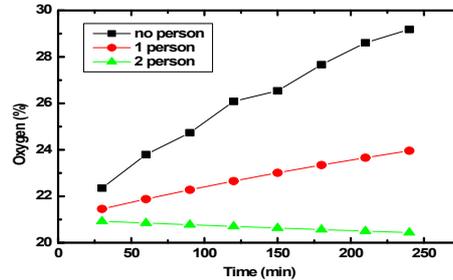
산소발생기의 밀폐용기에서의 산소 농도 증가량은 용기내의 면적(4m<sup>3</sup>)과 공기밀도(1.293g/ℓ), 유입산소 농도와 유량을 식(1)을 이용하여 계산하였다. sample 2(41%O<sub>2</sub>, 4.5 ℓ/min)의 경우에서 산

소발생기를 1시간 운전 후 용기내의 산소의 증가량은 식(1)로부터 용기내의 유입된 산소량 121.8g 이고 용기내의 총 공기량 5510.6g으로 용기내의 총 산소량은 1207.9g으로 용기내의 산소의 농도는 21.7%O<sub>2</sub>을 나타내었고, 1시간 후 용기내의 산소 농도 증가량은 약 0.9% 증가하는 것으로 나타났

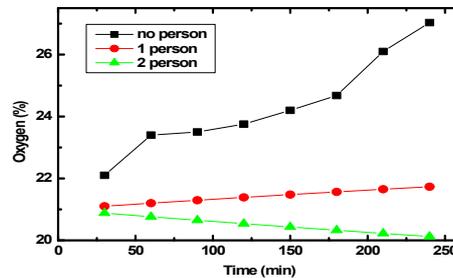
다. 차량 면적을 고려하여 사람이 있는 경우 산소 농도 감소량을 산소발생기 작동 후 차량내에 탑승 인원 에 따른 산소농도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다.

산소발생기로부터 산소 공급 1시간 후 sample 2의 경우 차량내에 사람이 없을 때 산소농도는 23.7%O<sub>2</sub>, 한사람이 있을 때 21.8%O<sub>2</sub>, 그리고 두 사람이 있을 때 20.8%O<sub>2</sub>를 나타내었다.

sample 3의 경우 차량내에 사람이 없을 때 산소농도는 23.4%O<sub>2</sub>, 한사람이 있을 때 21.2%O<sub>2</sub>, 그리고 두 사람이 있을 때 20.7%O<sub>2</sub>를 나타내었다. 그러나 sample 1의 경우 산소공급량이 작아 한사람이 있을 경우에도 20%O<sub>2</sub>미만의 산소농도를 나타내었다. 따라서 차량내의 원활한 산소를 공급하기 위해서는 sample 2의 경우가 더 나은 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 6 Effect of human in car on oxygen concentration (a) sample 2, (b) sample3

## 5. 결론

본 실험에 사용된 제올라이트는 XRD를 이용하여 Y형 제올라이트라는 것을 알 수 있다. 산소발생기의 수분 조건에서의 성능 변화를 실험한 결과 다음과 같은 결과를 나타냈다. 산소발생기를 습도 50%에서 1시간 사용한 결과 sample 1은 36%O<sub>2</sub>, sample 2는 41%O<sub>2</sub>, sample 3은 39%O<sub>2</sub>를 나타내었다. 또한 습도가 50%에서 100%로 증가함에 따라 sample 1은 31%, sample 2는 38%O<sub>2</sub>, sample 3은 38%O<sub>2</sub>로 각각 5%, 3%, 1%정도 산소 농도가 감소하였다. 밀폐공간에서 외부 습도가 50%일 때, 초기 산소농도 20.8%O<sub>2</sub>에서 sample 1은 21.7%O<sub>2</sub>로 약 0.9% , sample 2는 23.7%O<sub>2</sub>로 약 2.9%증가, sample 3은 23.2%O<sub>2</sub>로 약 2.4%증가하였고, 습도가 100%일 경우 sample 1은 22.1%O<sub>2</sub>로 약 1.3%, sample 2는 23.5%O<sub>2</sub>로 약 2.7%, sample 3은 22.7%O<sub>2</sub>로 약 1.9%증가 하였다. 또한 각 sample을 장시간(약20시간)운전 후 용기내의 산소 농도는 sample 1은 29%O<sub>2</sub>, sample 2는 33%O<sub>2</sub>, sample 3은 30%O<sub>2</sub>로 sample 2의 경우가 용기내에서 높은 산소농도를 나타내었다. 따라서 차량용 산소발생기에서 운전자에게 충분한 산소를 공급하기 위해서는 산소공급유량이 4~5ℓ/min이고, 40%O<sub>2</sub>이상의 산소를 공급해야 된다는 것을 알 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] E. J. Sung, B. C. Min, S. C. Kim, C. J. Kim, Effects of oxygen concentrations on driver fatigue during simulate driving", *Applied Ergonomics*, Vol. 36, pp. 25-31, 2005
- [2] 김종남, 주국택, 김종득, 조순행, "PSA 법에 의한 공기분리" *화학공업과 기술*, Vol. 12 No 4. pp 18-23, 1994.
- [3] Adélio M. M. Mendes, Carlos A. V. Costa and Alírio E. Rodrigues, "Oxygen separation from air by PSA: modelling and experimental results: Part I: isothermal operation", *Separation and Purification Technology*, Vol. 24, No 2, pp. 173-188 2001.
- [4] Wen-Chun Huang and Cheng-Tung Chou, "A moving finite element simulation of a pressure swing adsorption process", *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp. 301-315 1996.
- [5] S. Hayashi, M. Kawai and T. Kaneko, "Dynamics of high purity oxygen PSA", *Gas Separation & Purification*, Vol. 10, No. 1, pp. 19-23, 1996