

제올라이트별 산소포화농도 측정 실험

박성식¹, 김광환^{2*}

¹바이오뱅크 주식회사, ²건양대학교 병원경영학과

Measurement of Oxygen Saturation Concentration by Zeolite

Sung-Sik Park¹, Kwang-Hwan Kim^{2*}

¹BIOBANK Inc.

²Dept. of Hospital Management, KONYANG University

요약 인간의 생명 유지에 가장 필수적인 것은 공기이지만, 산업의 발달 인구의 증가 등으로 도시의 공기는 매연과 유해가스 등으로 오염되고 있다. 이런 이유 등으로 최근 환경문제 중 대기오염에 대한 문제가 크게 다루어지고 있다. 공기청정기와 함께 쾌적한 실내공기를 제공할 수 있는 또 하나의 기기는 산소발생기이다. 산소발생기의 주 원리는 합성 제올라이트를 이용하여 공기로부터 산소를 분리하는 데에 있다. 다양한 합성 제올라이트들은 그들이 갖고 있는 특성을 이용하여 실생활에 유용하게 적용되어지고 있다. 이런 제올라이트의 특성 중 질소를 흡착하는 성질을 이용하여 대기 중의 질소를 흡착 시킨 뒤 산소만을 발생시켜 산소발생기에 적용시킬 수 있다. 그리하여 우리는 5가지 종류의 천연제올라이트와 LTA 제올라이트, 3A, 4A, 5A(크기가 다른 두 가지)를 사용하여 각각의 질소흡착정도를 알아보고자 하였다. PSA 방식을 사용하여 질소흡착정도가 높을수록 산소포화농도가 높게 나오는 원리를 통해 5A(양이온이 칼슘으로 보충된 LTA제올라이트) 제올라이트의 질소흡착정도가 평균 6% 증가하여 가장 크다는 것을 알 수 있었고 또한 제올라이트의 크기에도 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

Abstract Air is essential for human beings to survive, but urban air is polluted with soot and harmful gases, due to the increase in industrial development and the population. Thus, air pollution in large cities is of increasing interest in the research community. One of the plausible solutions to this problem is supplying sufficient oxygen to indoor spaces. The main principle of the oxygen generator is to separate oxygen from air using synthetic zeolite. Various synthetic zeolites have been applied to public indoor spaces with the focus being placed on the oxygen exchange quality. Among the characteristics of zeolites which can be applied to oxygen generators is their ability to adsorb nitrogen from the air and, in this way, generate only oxygen. Thus, we investigated the degree of nitrogen adsorption by five kinds of natural zeolite and LTA zeolite 3A, 4A, and 5A (two different sizes). Using the PSA method, the higher the degree of nitrogen adsorption, the higher the oxygen saturation concentration, it was found that the nitrogen adsorption degree of the 5A zeolite was the highest. 6% on average. It was also found that the size of the zeolite had a significant effect on the degree of nitrogen adsorption.

Keywords : Nitrogen, Oxygen, Oxygen generation, PSA method, Zeolite

1. 서론

인간의 생명 유지에 가장 필수적인 것은 공기이지만,

산업의 발달 인구의 증가 등으로 도시의 공기는 매연과 유해가스 등으로 오염되고 있다. 경주 및 주변지역 대기 오염물질의 이동 및 확산에 관한 모델링을 수행했을 때,

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.(2017BG014010108)

*Corresponding Author : Kwang-Hwan Kim(Konyang Univ.)

Tel: +82-42-600-8421 email: kkh@konyang.ac.kr

Received December 4, 2017

Revised (1st January 11, 2018, 2nd February 1, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

철강공업 및 대규모 산업시설이 밀집하였기 때문에 다양한 형태의 대기오염물질이 고밀도로 배출되어 국지적으로 대기질을 악화시키고 있는 실정으로 조사가 되었다 [1]. 이로 인한 대기오염은 산업 전반적으로 경제적인 피해를 줄뿐더러 재산상의 피해 그리고 당연히 건강상의 피해를 가져오게 된다. 공기 호흡을 통해 사람은 하루 12kg의 유해물질을 연속적으로 흡입하게 된다. 공기의 호흡을 통한 유해물질의 노출은 음식물 섭취나 피부접촉을 통한 오염노출에 비해 피할 수가 없다[2]. 이런 이유 등으로 최근 환경문제 중 대기오염에 대한 문제가 크게 다루어지고 있다. 대기오염을 극복하고자 하는 노력은 계속 되고 있다. 대기오염방지 시설을 설치, 개선하여 대기질을 측정함으로써 그 효과를 확인하고, 정보통신기술의 발전에 맞추어 상황인식모델 기반의 대기오염정보 서비스 플랫폼을 개발하는 등 많은 노력이 이루어지고 있다[3,4]. 누구나 대기오염으로부터 벗어나 쾌적하고 안심할 수 있는 실내공기를 제공 받고 싶어 하며 최근 공기청정기의 수요가 급증하는 이유가 되고 있다. 공기청정기와 함께 쾌적한 실내공기를 제공할 수 있는 또 하나의 기기는 산소발생기이다. 공기청정기는 주로 먼지, 유해가스, 각종 세균 등을 제거하여 실내공기의 질을 향상시킨다. 하지만 산소발생기는 청정 산소를 생성하여 쾌적한 실내 환경을 제공한다[5]. 산소발생기의 주 원리는 합성 제올라이트를 이용하여 공기로부터 산소를 분리하는 데에 있다.

산소발생기에서 산소를 발생시키는 방식은 PSA(pressure swing adsorption) 방식과 VSA(vacuum swing adsorption)이다. VSA 방식은 진공펌프를 통해 공기에서 산소와 질소를 분리하는 방법이다. 진공흡착방식인 VSA 방식은 진공의 힘을 이용하기 때문에 소형 산소발생기에 적합하다. 또한 압축기에서 발생하는 진동, 소음, 폭발결로의 문제점을 해결할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 진공흡착방식 산소발생기의 구성부는 크게 공기공급부와 산소발생부(베드) 산소도플부 그리고 전자제어부로 구성된다. 공기공급부가 진공펌프의 진공을 이용하여 흡착베드로 공기를 공급하며, 진공펌프의 진공압력과 진공유량이 높을수록 산소발생기에 유리하다. VSA 방식의 단점은 이와 같이 중요한 역할을 하는 진공펌프의 능력이 상승할수록 소비전력과 소음, 무게가 증가한다는 것에 있다[6]. PSA 방식은 대기 중 공기를 제올라이트라는 흡착제를 이용하여 질소와 산소로 분리하는 공정기술이다. 제올라

이트가 채워진 흡착탑에 공기를 넣고 압력을 높이면 제올라이트가 질소를 흡착하게 되고 흡착되지 않은 산소를 방출하게 된다. 이런 흡착과 탈착을 반복하면서 산소를 연속적으로 생산할 수 있고 높은 농도의 산소를 발생시킬 수 있다. 흡착제인 제올라이트를 이용한 산소발생 원리로 공기중의 질소분자를 이용하고 있으며 현재 가장 많이 사용되는 방법이다. 여기서 산소발생기가 고순도의 산소를 발생시키는데 가장 중요한 역할을 하는 것이 제올라이트라는 것을 알 수 있다. 그리하여 현재 상용화된 제올라이트의 각 흡착제의 흡착 특성을 도출하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다[7]. 제올라이트란 실리콘-알루미늄의 산화물에서 과생된 한물질의 군[8]으로 탁월한 이온교환 능력이나 공기분리 등의 특성을 갖고 있다 [9]. 제올라이트의 주 골격은 $[SiO_4]^{4-}$ 와 $[AlO_4]^{5-}$ 으로 구성된 정사면체 단위가 산소를 다리형태로 하여 연결되어 있다. 이때 구조상 $[SiO_4]^{4-}$ 의 경우 규소는 +4의 전하를 갖지만 $[AlO_4]^{5-}$ 의 경우 알루미늄은 +3의 전하를 갖기 때문에 알루미늄이 있는 곳마다 음전하를 하나씩 갖게 된다. 따라서 전하의 상쇄를 위해 양이온들이 끼어 들어가게 된다. 이 양이온들은 제올라이트 골격 내부가 아닌 세공 내부에 존재하게 되고 나머지 공간은 주로 물 분자로 채워져 있기 때문에 이 양이온들은 이동도가 비교적 자유롭다. 이로 인해 다른 양이온들과의 이온교환이 아주 순조롭게 일어날 수 있고, 이는 제올라이트가 이온교환 능력을 지닐 수 있도록 한다[8]. 제올라이트의 결정 구조를 이루는 규소와 알루미늄의 비를 변화시켜 새로운 구조를 갖는 제올라이트를 합성하여 용도에 맞게끔 제작가능하며 이에 대한 실험이 현재 세계적으로 진행되어지고 있다. 이 중 규소와 알루미늄의 비가 1:1로 동일한 합성 제올라이트를 LTA 제올라이트라 하며, 관용명으로 3A, 4A, 5A라고 부르는데 이는 제올라이트에 치환된 양이온의 종류에 따라 명명되어진다.

이렇게 다양한 제올라이트들이 있기에 질소를 흡착하는 성질이 강한 제올라이트의 사용이 산소발생기의 제작에 매우 중요하게 여겨지고 있다. 따라서 우리는 5가지 제올라이트를 사용하여 질소 흡착정도를 측정해보고 비교하여 산소발생기 개발에 더 나은 제올라이트를 알아보고자 하였다.

2. 실험재료

본 연구에 사용된 제올라이트는 한국 이연사의 천연 제올라이트와 중국 Xi'an Lvneng Purification Technology Co., Ltd.사의 제올라이트 4종이다. 천연제올라이트(이연 고순도 천연제올라이트, 이연, 한국)는 가공이 되어 있지 않아 있으며, 3A 제올라이트(3A Molecular Sieve, Xi'an Lvneng Purification Technology Co., Ltd., 중국)의 조성은 $\frac{2}{3}K_2O \frac{1}{3}Na_2O Al_2O_3 2SiO_2 \frac{9}{2}H_2O$ 에 크기는 3.0-5.0mm고 벌크밀도는 0.68g/ml이다. 4A 제올라이트(4A Molecular Sieve, Xi'an Lvneng Purification Technology Co., Ltd., 중국) 조성은 $Na_2O Al_2O_3 2.0SiO_2 4.5H_2O$ 이며, 크기는 3.0-5.0mm에 벌크밀도는 0.70g/ml이다. 5A 제올라이트(5A Molecular Sieve, Xi'an Lvneng Purification Technology Co., Ltd., 중국)는 두가지 종류를 구입하였다. 조성은 $0.7CaO 0.3Na_2O Al_2O_3 2.0SiO_2 4.5H_2O$ 이며, 1.6-2.5mm 와 3.0-5.0mm 두 가지 크기고 벌크밀도는 각각 0.72g/ml와 0.70g/ml이다.

3. 실험방법

산소 포화농도를 측정하는 방법으로는 PSA 방식을 사용하는 산소발생기 모듈을 자체적으로 만들어 사용하였다. 흡착탑 안에 준비된 제올라이트를 넣어 동작을 시키면 압력이 가해지고 제올라이트의 질소 흡착능력이 클수록 산소포화농도가 더 높게 나오는 점을 이용하여 실험하였다. 온도 22.4도씨, 습도 46%, 정상시의 산소포화농도 20.5-21.0% 의 동일한 조건에서 실험을 진행하였으며, 흡착탑에 제올라이트를 바꿔 충전시킨 후에는 안정화를 위해 처음엔 5분간 모듈을 작동시킨 뒤 산소포화농도 측정 장치를 통해 첫 번째 산소포화농도를 측정하였고, 그 뒤로는 모듈을 끄고 다시 켜 뒤 1분을 두고 산소포화농도를 측정하는 방식으로 총 5번 측정하였다. 발생기에서 나오는 기체의 양은 5L/min 의 속도로 일정하게 방출되었다. 천연제올라이트, 3A, 4A 마지막으로 5A 순서로 실험을 진행하였다.

4. 실험결과

4.1 천연제올라이트와 LTA계열 제올라이트 질소흡착능력 비교

Table 1은 천연제올라이트를 흡착탑에 충전시킨 뒤 산소포화농도를 측정한 결과이다. 5분간 산소발생기를 가동시켜 안정화시킨 뒤 켜 첫 번째 값은 20.9%가 나왔으며 작동을 중지 한 후 다시 가동시킨 뒤 1분 후 측정하는 방식을 4번 더 반복한 결과 평균 20.8% 정도의 산소포화농도를 얻을 수 있었다. 이는 정상시 산소포화농도와 비교했을 때 큰 변화가 없는 것을 확인하였고 이를 통해 가공 되지 않은 천연제올라이트는 흡착탑 내에서 질소의 흡착을 전혀 하지 못한다는 결론을 내릴 수 있었다. 세공이 된 합성 제올라이트의 경우 흡착이 되는 기체가 머무를 수 있는 세공이 존재하는데 천연제올라이트는 이런 세공이 적절하지 않을 것이라 판단되었고, 또한 합성 제올라이트는 그 종류에 따라 치환된 양이온의 역할이 크지만 천연제올라이트는 양이온의 역할을 기대할 수 없기에 질소의 흡착이 이뤄지지 않았다고 생각되어진다.

Table 1. Oxygen Saturation Concentration of Natural zeolite.

Count	1	2	3	4	5
[O ₂]	20.9	20.9	20.8	20.7	20.7

Table 2는 가공되어진 합성 제올라이트 3A의 산소포화농도 측정 결과이다. 실험방법은 천연제올라이트와 동일하게 진행이 되었으며, 처음 측정한 산소포화농도가 21.2%로 두 번째 결과와 같았고, 총 평균 21.06%의 산소포화농도를 얻을 수 있었다. 평균 20.8%인 천연제올라이트에 비해서 아주 약간 상승한 결과를 얻을 수가 있었다. 하지만 눈에 띈다고 할 만큼의 높은 산소포화농도는 아니었다.

Table 2. Oxygen Saturation Concentration of 3A zeolite.

Count	1	2	3	4	5
[O ₂]	21.2	21.2	20.8	21.0	21.1

Table 3은 가공되어진 합성 제올라이트 4A의 산소포화농도 측정 결과이다. 실험방법은 위와 동일하게 진행되었으며, 처음 측정 결과는 20.6 오히려 측정을 할수록 산소포화농도가 낮아지는 것을 확인했다. 산소포화농도의 평균값은 20.1%로 평균값이 20.8% 인 천연제올라이트보다도 산소포화농도가 적게 나온 것을 확인했다. 실험횟수가 진행 될수록 산소포화농도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었는데 이는 아예 질소가 흡착되지 않았다는 것으로 해석 할 수 있고, 평균 산소농도보다도 낮아지는 점을 보아 질소뿐만 아니라 산소 또한 제올라이트에 흡착되지 않는가 생각해 볼 수 있었다. 아무런 반응이 일어나지 않았다고 본 천연제올라이트와 비교했을 때도 산소포화농도의 양이 낮았기 때문이다. 같은 LTA 계열인 3A 제올라이트와 비교했을 때 산소발생기 배드에 쓰일 제올라이트는 4A보다는 3A가 더 적절할 것으로 결론을 내릴 수가 있었다. 둘의 차이점으로는 크게 제올라이트를 구별하는 규소와 알루미늄의 몰비는 1로 같지만 치환된 양이온의 종류가 다르다는 점에 있다. 3A는 칼륨으로 치환되어 있으며 4A는 나트륨으로 치환되어 있는 합성 제올라이트이다. 그러므로 나트륨보다는 칼륨이 질소흡착에 더 도움이 되는 양이온임을 확인할 수 있었다.

Table 3. Oxygen Saturation Concentration of 4A zeolite.

Count	1	2	3	4	5
[O ₂]	20.6	20.2	20.0	20.0	19.8

Table 4는 가공되어진 합성 제올라이트 5A의 산소포화농도 측정 결과이다. 실험방법은 동일하며, 앞에서 실험한 제올라이트 중 제일 높은 수치를 나타내고 있다. 처음 측정 결과는 22.8%로 평균 산소포화농도 측정치가 22.7%가 나왔다. 평균값이 20.8%가 나온 천연 제올라이트와 비교했을 때 약 2%가 상승한 값이다. 5A 제올라이트는 양이온이 칼슘으로 치환되어 있는 합성 제올라이트이다.

Table 4. Oxygen Saturation Concentration of 5A zeolite(3.0-5.0mm).

Count	1	2	3	4	5
[O ₂]	22.8	22.7	22.6	22.6	22.8

위의 네 실험을 한눈에 확인할 수 있는 결과가 Fig 1에 나타나있다. 천연제올라이트, 3A, 4A 제올라이트들의 결과가 기존 공기의 산소농도에서 크게 다르지 않은 것을 비교한다면 5A 제올라이트의 산소포화농도가 높은 값을 나타낸 것을 바로 확인할 수가 있다. 천연제올라이트를 제외한다면 이들의 차이점은 치환된 양이온이 다르다는 점 한가지 이므로, 질소를 흡착하는데 칼슘이온의 역할이 중요하다고 예상할 수 있다. 앞에서 설명했듯 3A 제올라이트는 양이온이 칼륨으로 치환된 제올라이트며 4A 제올라이트는 나트륨으로 치환된 제올라이트이다. 이를 통해 결론적으로 칼슘→칼륨→나트륨 순서로 질소흡착이 강하다는 것을 확인할 수 있었다. 칼슘으로 이온교환 된 제올라이트를 이용하여 산소를 제조하는 것은 그 이전부터 다양하게 사용되어 왔는데 이에 부합하는 결과를 얻었다고 여겨진다[10]. 5A 제올라이트는 질소흡착을 제외하고도 많은 기능에서도 우수한데, 한 예로 흡착제로서의 특성을 들 수 있다. FAU 계열인 13X제올라이트와 활성탄과 비교했을 때 5A 제올라이트의 흡착 성능이 우수할 것으로 판단되었는데 이는 실험결과 5A 제올라이트의 비표면적이 가장 넓게 나타났기 때문이다. 실제로 이산화탄소의 흡착 성능을 실험해본 결과 5A 제올라이트는 다른 흡착제에 비해 흡착 지속시간이 길게 나타나 이산화탄소에 대한 흡착능력이 가장 우수한 것으로 결과가 나타났다[6].

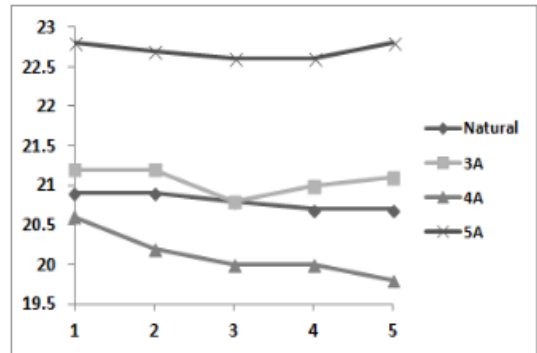


Fig. 1. Oxygen Saturation Concentration of test zeolites.

4.2 5A 제올라이트 크기에 따른 질소흡착능력 비교

같은 크기의 LTA 제올라이트 중에서는 칼슘 양이온으로 치환된 5A 제올라이트의 질소흡착 능력이 뛰어난

것은 확인했다. 하지만 산소발생기로 사용할 수 있을 만큼의 산소발생 정도가 높다고는 할 수 없었다. 그래서 크기만 다른 1.6-2.5mm 5A 제올라이트의 산소포화농도를 측정해보는 실험을 진행하였다.

Table 5의 실험 결과를 보면 높은 값의 산소포화농도를 얻을 수 있었다. 산소포화농도의 첫 측정값이 29.2%이며 평균 산소포화농도 값이 29.12%로 크기가 큰 5A 제올라이트의 평균값이 22.7%로 6%이상 증가한 높은 수치를 나타내었다. 산소발생기의 경우 제올라이트 자체의 질소 흡착능력도 중요하지만 제올라이트가 가지고 있는 질소 흡착 능력을 끌어올릴 수 있는 방법인 PSA방식의 조건 또한 매우 중요하다. Fig 2에 나타난 결과와 같이 성분은 같지만 더 작은 크기의 5A 제올라이트의 질소 흡착정도가 더 훌륭하다는 결과가 나왔다는 것은 준비된 산소발생기 모듈의 조건에서는 작은 크기의 제올라이트가 질소를 흡착하기에 더 좋은 환경이었다는 것을 나타낸다. 흡착탑의 크기가 커 더 많은 제올라이트가 들어가고, 더 강한 압력을 가할 수 있다면 제올라이트의 질소흡착력은 분명 상승 할 것이다. 작은 크기의 제올라이트일수록 분자들 사이에 빈공간이 줄어들고 질소를 흡착할 수 있는 제올라이트의 밀도가 높아졌기 때문에 더 효율적으로 질소흡착이 가능했을 것이라 예상할 수 있다.

Table 5. 5A zeolite(1.6-2.5mm)

Count	1	2	3	4	5
[O ₂]	29.2	29.3	28.9	29.0	29.2

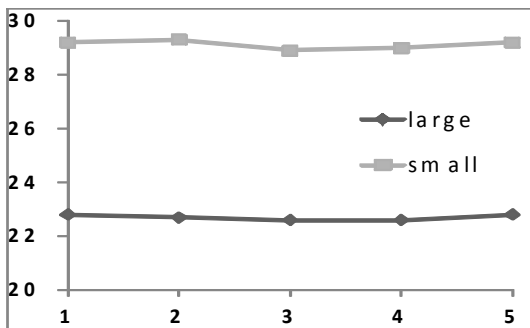


Fig. 2. Comparison of Nitrogen Adsorption Ability by 5A zeolite Size.

5. 결론 및 추후 연구과제

모든 실험을 종합하여 결론을 낸다면 다음과 같다.

첫째, 산소발생기 흡착탑 안에 LTA 계열의 제올라이트를 넣는다고 가정할 때, 이 중에서는 칼슘으로 양이온이 치환된 5A 제올라이트의 질소 흡착 능력이 제일 뛰어나다. 그 뒤로는 3A 제올라이트와 4A 제올라이트 순서로 4A 제올라이트는 산소흡착 또한 의심할 수 있다.

둘째, 흡착탑 내에 제올라이트에 가해지는 압력과 제올라이트 크기의 상관관계가 중요하다.

첫 번째 결론으로는 제올라이트의 중요성을 확인 할 수 있고, 두 번째 결론으로는 흡착탑 구조의 중요성을 확인할 수 있다. 이 두 가지가 산소발생기의 성능을 좌우하는 요인이라고 할 수 있다.

추후 위 실험을 바탕으로 더 발전된 실험이 수행되어야 한다면, LTA계열의 제올라이트뿐만 아닌 FAU계열의 제올라이트의 질소흡착능력 또한 실험하여 더 산소발생기에 최적화 된 제올라이트를 알아보면 좋을 것이다. FAU제올라이트는 규소와 알루미늄의 비율이 1인 LTA 계열 제올라이트보다 그 값이 높으며 이들도 치환된 양이온의 종류에 따라 다양하다. FAU 제올라이트의 경우 비교적 세공의 크기가 크기 때문에 PSA에 의한 기체 혼합물 분리에서 질소의 흡/탈착이 유리하다고 알려져 있다[12]. 같은 조건에서 FAU제올라이트의 질소흡착 능력이 더 높다는 결과가 나온다면 이 또한 그 크기와 압력 간의 상관관계를 알아봐야 할 것이다.

References

- [1] J. H. Jung, W. J. Choi, H. H. Leem, T. S. Park, B. H. Shon, "Health and environmental risk assesment of air pollutants in Gyeongju and its vicinities", *Journal of the Korea Academia*, vol. 10, no. 12, pp. 3740-3747, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.12.3740>
- [2] Korean Society for Atmospheric Environment, "Understanding air pollution", p.1-4, Korean Society for Atmospheric Environment, 2011.
- [3] T. H. Kim, S. C. Hong, "Development of GIS based Air Pollution Information System, using a Context Awareness Model", *Korea Institute of Science and Technology*, vol. 16, no. 6, pp. 4228-4236, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.4228>
- [4] B. G. Jeon, S. H. Lee, "A Impact Analysis of Air Quality by Air Pollution Control Facilities Improvement on Point Source Pollution", *Korea Institute of Science and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 2876-2882, 2015.

DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2876>

- [5] Y. H. Yoon, S. S. Choi, S. H. Han, S. J. Yoon, "Technology Trend Report of Safety Air Management System for Elderly Medical Welfare Facilities", *KIST*, (2011-101).
- [6] J. Y. Jang, "Development of Personal Compact Oxygen Generator using Vacuum Swing Absorption", *Korea Institute of Science and Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 2479-2489, 2012.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.6.2479>
- [7] S. I. Choi, H. T. Jang, "Adsorption Characteristics of Sorbent for Oxygen Generator", *Korea Institute of Science and Technology 2005 Conference*, pp. 315-317, 2005.
- [8] K. B. Yoon, "Zeolite", *The Korean Physical Society: Physics & high technology*, vol. 13, no. 7/8, pp. 2-11, 2004.
- [9] B. R. Kim, B. H. Byung, Y. K. Seo, "A Study on Adsorption Characteristics of Nitrogen and Oxygen on A and X-Type Zeolites", *Korean Society of Environmental Engineers 2006 Fall Conference*, vol. 2006, no. 12, pp. 1389-1394, 2006.
- [10] J. W. Seo, E. S. Kim, H. D. Jung, K. I. Kim, "A Study on an adsorption characterization of nitrogen in ion exchanged zeolite absorbent", *Theories and Applications of Chem. Eng.*, vol. 8, no. 2 pp. 3349-3352, 2002.
- [11] I. G. Park, M. S. Hong, B. S. Kim, H. G. Kang, "Ambient CO₂ Adsorption and Regeneration Performance of Zeolite and Activated Carbon", *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, vol. 35, no. 5, pp. 307-311, 2013.
- [12] J. B. Kim, "Synthesis of Highly Adsorbing FAU Structure Zeolite", *Theories and Applications of Chem. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 1656, 2003.

김 광 환(Kwang-Hwan Kim)

[종신회원]



- 2001년 2월 : 계명대학교 보건학박사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 병원경영학과 부교수

<관심분야>

의무기록정보, 보건관리, 병원행정

박 성 식(Sung-Sik Park)

[정회원]



- 1991년 2월 : 건국대학교 화학과 (학사)
- 2013년 11월 ~ 현재 : 바이오뱅크 주식회사 대표이사

<관심분야>

생명공학, 임상병리학