

## 산소발생제제의 온도상승억제와 촉진효과에 관한 연구

최종문<sup>†</sup>

한중대학교 간호보건대학 약재가공학과

## Studies on Cooling and Accelerating Effects to Oxygen Generating Reagents

Jong-Moon Choi<sup>†</sup>

Department of Korean Medicine & Processing, Hanzhong University, Donghae, 240-713 Korea

Received November 22, 2012/Revised December 22, 2012/Accepted December 30, 2012

It is the most important that the secondary damages by dyspnoea were prevented in an accidents and emergency rescue circumstances. For this purpose, gas masks have to be used and its use were increased, but actually their function have been insufficient in real situations. Decreasing with increasing temperature in chemical reaction of  $\text{KO}_2$  with  $\text{CO}_2$  and humidity, the method of reaction acceleration and formation of hazard materials after their reaction in self oxygen generating mask have to be investigated. A reagent decreasing the temperature in reaction cell was introduced because heat was occurred in there by the reaction of  $\text{KO}_2$  with  $\text{CO}_2$  and water. Also an accelerating agent was considered to obtain lots of  $\text{O}_2$  during short time. The probability of basic mist formation after  $\text{O}_2$  generating reaction was evaluated in chemical view point. It was observed that the phenomenon in which the temperature in reaction cell decreased by potassium nitrate as coolant as well as a lot of  $\text{O}_2$  could be obtained by sodium hydrogen carbonate in short time. Also expected basic mist does not observed from this  $\text{O}_2$  generating reaction. The temperature could be decreased by potassium nitrate as endothermic agent, also the reaction was stably accelerated by sodium hydrogen carbonate as adduct and the hazard material as basic mist to human body was not detect.

**Key words:** self defence mask,  $\text{O}_2$  generating reagent, Coolant, Accelerating agent

### 1. 서 론

최근 각종 인위적 재해의 발생과 응급구조 상황이 늘어나고 있지만 요구에 비해 체계적인 대응이 미흡한 실정이다. 이는 불안한 사회적 정서와 불완전한 재해요소에 의해 발생하는 현상이지만 조기에 적절하지 못한 대응 때문에 대형사고 및 인명피해로 연결되는 경우가 많기 때문이다. 재해와 응급상황에서 발생할 가능성이 큰 현상은 산소의 공급이 원활하지 못하여 나타나는 호흡곤란 증상이 대부분이다. 특히 화재현장에서는 맹렬한 연소현상 때문에 상승기류가 형성되어 피해현장으로 산소의 유입이 불가능해져 현장에 고립된 사람이나 이를

구조하는 대원들에게는 큰 위협요소가 될 수 있다. 뿐만 아니라 응급환자가 졸도 또는 각종 질환으로 인한 쇼크 상태에 이르면 자율신경 마비로 인해 호흡곤란을 야기하게 되고 충분한 산소가 뇌로 전달되지 못해 뇌기능의 손상이나 뇌사상태에 도달될 수 있다. 이 때문에 각 나라 또는 각 산업현장에서는 재해 방지 또는 작업현장 근무자들의 2차적인 재해요소를 방지하기 위해 현장실정에 맞는 각종 방독면의 개발에 박차를 가하고 있다.

지금까지 현장에서 활용 가능한 방독면의 형태로는 크게 3가지가 널리 이용되고 있다. 첫째로는 가장 광범위하게 보급된 필터식 방독면으로서 안면보호 및 시야

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jmchoi@hanzhong.ac.kr

확보와 함께 오염된 외부 공기를 필터로 걸러 방독면 사용자가 신선한 공기를 흡입하도록 하는 방법이다. 이는 분진제거를 목적으로 하는 간단한 마스크형식으로부터 군사적 목적으로 활용되는 구조도 존재한다. 두 번째로는 압축공기 탱크를 장착한 마스크 타입이 있다. 이는 군사용 방독면과 얼굴 부착부가 거의 동일하지만 안면부와 공기탱크가 연결되어 준비된 공기로 호흡함으로써 작업자의 안전을 확보하며 얼굴 전면부가 유리로 덮여진 개방식이기 때문에 시야확보에도 용이한 방식이다. 세 번째 방식으로는 앞에서 서술한 방식과 유사하지만 필터나 별도의 공기저장 탱크없이 자체 내에 내장된 약제에 사용자의 날숨을 통과시켜 약제와 산소 발생 화학반응을 통해 필요한 산소를 공급받는 자체 공급식 방독면 타입이 있다<sup>1)</sup>. 지금까지 언급된 방독면 형태에는 유용성 및 활용도 면에서 제한적 요소가 몇 가지 존재한다.

이를 자세히 살펴보면 먼저 필터방식 방독면 또는 마스크는 무엇보다도 활용도 측면에서의 한계가 존재한다. 즉, 크기나 형태 및 무게의 경량화는 장점이 될 수 있으나 필터의 재질에 따라 걸러지는 물질의 형태가 제한적이어서 대부분 분진제거를 목적으로 하는 경우가 많다. 물론 특수한 경우 군용 방독면처럼 필터에 특수 처리를 함으로서 여러 종류의 생화학 제제의 제거를 목적으로 하지만 다양한 연기나 냄새를 완전히 차단하기 곤란한 역학적 구조를 갖는다. 무엇보다 가장 중요한 필터가 한정된 유효 사용시간과 작업도중에 교체가 불가능하고, 또 필터의 가격이 비싸기 때문에 과다한 경비가 소요될 수 있다.

두 번째 방식인 압축공기를 이용하는 마스크 타입은 안정된 호흡을 위해 필요한 공기가 일정량 확보되었다는 점과 공기탱크의 반복 사용이 가능하다는 장점 때문에 화재진압, 구조 등과 같은 소방업무에 활용도가 크지만 제품의 중량과 다소 큰 부피 때문에 활용도가 떨어진다. 즉, 과다한 무게로 인해 사용자의 동적 활동 범위와 다양성이 축소되며 압축공기 탱크와 마스크의 연결호스로 인해 오히려 작업의 효율성이 떨어지고, 시야확보의 어려움이 있을 수 있다. 또한 한정된 양의 압축공기를 사용함으로써 안정적인 공급을 받는다는 점과는 반대로 잔존 공기량 점검, 작업 시 탱크와 마스크 사이의 각종 연결부위의 손상 확인 등 장비의 하중과 부피와는 다른 별도의 문제 때문에 작업의 집중도가 떨어지는 위해요소가 존재할 수 있다.

앞서 언급된 두 가지 타입의 방독면에 비해 크기나

무게 측면에서 충분히 소형화와 경량화가 가능한 세 번째 방독면 타입이 최근 각광받고 있다. 이런 형태의 방독면들은 대부분 산소발생 약제를 방독면에 내장시켜 사용자가 내뿜는 날숨과 소량의 수분이 산소발생약제와의 화학반응을 통해 산소를 발생시키는 방식이다<sup>2)</sup>. 물론 조잡했던 초기 제품에 비해 많은 개선으로 쉽고, 작동이 용이한 제품이 잇달아 출시되고 있으나 작동원리는 처음 제안된 방식과 달라진 점은 거의 없다. Fig. 1에는 자급식방독면의 동작원리를 개념적으로 나타낸 것이다.

일반적으로 대기 중에 존재하는 공기의 조성은 부피비로 질소가 약 78%, 산소가 21%이며 나머지는 아르곤을 포함한 미량의 불활성 기체와 이산화탄소 및 수분으로 구성되어있다고 알려져 있다<sup>3)</sup>. 그러나 인간이 호흡을 통해 대기 중 존재하는 공기를 흡입하여 폐로 들어온 공기는 기체교환반응을 통해 산소와 이산화탄소가 교체되고, 교체된 이산화탄소는 날숨의 형태로 체내에서 방출된다. 이때 인체로 흡입하는 들숨과 날숨의 조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 볼 수 있듯이, 들숨과 날숨의 차이는 산소와 이산화탄소의 존재량이다. 즉, 들숨과 날숨의 성분비에서의 차이는 ~4%의 산소 감소와 같은 농도의 이산화탄소 증가이다. 따라서 자체 산소발생식 방독면의 원리는 사용자 날숨의 산소농도에 인위적인 화학반응을 통해 발생시킨 산소를 추가시켜 들숨의 산소농도로 일정하게 유지시킴으로서 사용자가 이산화탄소 중독에 빠지지 않고 안정된 활동을 할 수 있게 한다. 이를 위해서 산소발생약제인  $KO_2$ 를 호흡과정을 통해 방

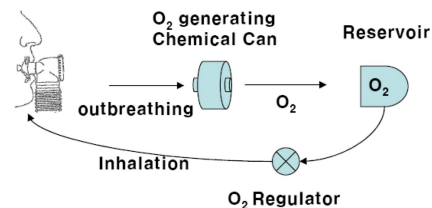
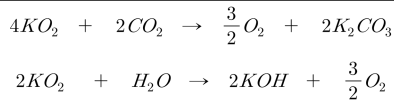


Fig. 1. Operating system of self defence mask.

Table 1. Compositions of Air

	Inhalation (%)	Exhalation (%)
Nitrogen	78.00	78.00
Oxygen	20.90	17.00
Carbon dioxide	0.03	4.00
Other substances	1.07	1.00
	100.00	100.00



**Scheme 1.** The reaction of potassium superoxide with carbon dioxide and water.

출되는 이산화탄소 및 수분과 Scheme 1에 제시된 화학반응을 통해 산소를 발생시킨다<sup>4)</sup>.

한편 전술한 바와 같이 방독면의 원리는 사용자가 위험상황에서 호흡에 필요한 산소를 충분하고, 안정적으로 공급받으려 하는 목적이다. 그러나 어떤 상태에서는 이와 반대의 요구가 존재할 수도 있다. 즉, 호흡곤란을 야기하는 응급환자에게는 단시간 내에 충분한 산소를 공급하여 위급상황을 모면하려는 노력이 있을 수 있다. 이를 위해서는 장시간 안정적인 산소공급을 목적으로 하는 것이 아니라 통상 짧은 시간에 과량의 산소를 요구하는 경우이다. 이 때문에 구급차 등에는 백색 의약품 산소용기를 반드시 비치해야 하는데 긴급용 차량에 고압 산소용기가 존재한다<sup>5)</sup>는 점은 교통사고 등의 문제로 폭발의 위험이 존재할 수 있고, 용기의 무게로 인해 다루기가 쉽지 않으며 또한 응급환자를 반드시 차량에 승차시켜 의료행위가 행해져야 한다는 점이 단점으로 지적되고 있다. 이런 전반적인 문제를 해결하는 방법은 기존의 방독면체계와 통합적으로 운영되어야 해결될 수 있는 문제이다.

무엇보다 먼저 고려해야 하는 문제는 자체 산소발생식 방독면을 제조할 때 산소발생 약제가 사용자의 호흡에 의해 효과적으로 화학반응을 일으킬 수 있는 적절한 구조적 장치가 선행되어야 하지만 이 문제가 해결된다고 하더라도 부수적으로 고려해야 할 사항이 많다. 즉, 산소발생약제와 이산화탄소 및 산소가 반응하는 형태는 발열반응으로서 급격히 발생하는 열을 축소

시켜 사용자가 호흡하는 산소의 온도가 상승하지 못하도록 해야 한다<sup>6)</sup>. 또한 Scheme 1에서 보았듯이, 초과산화칼륨(KO<sub>2</sub>)는 화학반응의 결과 염기성 증기(mist)가 생성될 수 있으므로 잠재적 위해성 평가를 위해서는 반드시 검토해보아야 한다<sup>6)</sup>. 한편 안정적인 산소의 확보와 공급도 중요하지만 다양한 위급상황에 대처하기 위해서는 짧은 시간 내에 과량의 산소가 발생하도록 유도하는 것도 매우 중요한 사항이다.

따라서 본 연구에서는 화학반응을 통해 산소를 발생시킬 때 야기되는 약제의 고온화 억제방법, 안정적인 반응촉진을 위한 촉진제 및 반응 후 발생된 산소에 포함될 가능성이 있는 유해물질의 존재여부 규명을 화학적 관점에서 접근하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 재료 및 시약

#### 2.1.1. 기기

사용한 기기는 열전도도 검출기가 장착된 Hewlett-Packard사 모델 5890 기체크로마토그래피를 사용하였고 기기측정조건은 Table 2와 같다.

#### 2.1.2. 기체

실험에 사용한 기체는 모두 고순도 기체를 사용하였고, 사람의 날숨과 조성을 같게 하기 위해 Table 3과 같이 질소와 이산화탄소 기체를 혼합한 후 증류수가 들어있는 혼합영역에 기체를 불어넣어 상대습도가 약 60%가 되는 혼합기체를 산소발생 약제가 들어있는 반응셀에 도입하였다.

#### 2.1.3. 시약

사용한 산소발생 시약은 미국 sigma aldrich 사의

**Table 2.** Operating conditions of Gas Chromatography

GC-TCD operating conditions	
Column	HP-PLOT Q, High Resolution Chromatography column (30 m length × 0.53 mm I.D. × 40 μm film thickness)
Detector	Thermal Conductivity Detector
Injector temperature	150°C
Detector temperature	250°C
Oven temperature	105°C
Carrier gas	N <sub>2</sub> (1.0 mL/min)
Mode	split ratio (40 : 1)
Injection method	6 sec. check valve open, 6 sec, check valve close.

**Table 3.** Compositions of injection gas in reaction cell

Compositions	Nitrogen	Carbon dioxide	Relative humidity
Flow rate (L/min)	0.93	0.93	~60%

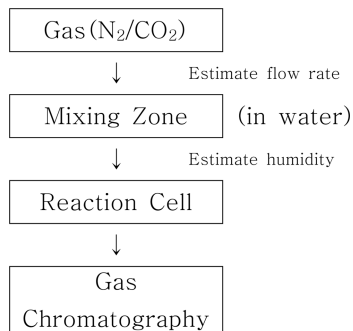
특급  $KO_2$ 를 정제하지 않고 그대로 사용하였고, 부가적으로 첨가하는 냉각제인 질산칼륨과 탄산수소나트륨은 일본 Junsei사 일급시약을 사용하였다.

## 2.2. 실험방법

사람의 날숨과 유사한 조성을 갖는 혼합기체를 증류수가 담겨있는 용기에 불어넣어 충분한 수분을 함유한 기체혼합물을 만들어 일정량의 산소발생시약이 존재하는 반응셀에 주입하여 화학반응을 유도한 후 발생하는 산소를 기체크로마토그래피에 주입하여 산소의 농도를 측정하였다. 이에 대한 실험 개략도를 Fig. 2에 수록하였다.

한편 냉각효과와 촉진효과를 검토하기 위해서는 반응셀에 넣는 산소발생약제와 냉각제 및 촉진제를 일정량씩 혼합한 후 이를 분쇄기를 이용하여 가능한 혼합상태가 균일하도록 노력하였다.

이때 본 연구에서 검토하려는 목적에 맞도록 반응셀 내부의 온도측정을 위해서 반응셀에  $200^\circ\text{C}$ 까지 측정이 가능한 온도계를 삽입하여 반응시간에 따른 반응셀 내부의 온도를 측정하였다.

**Fig. 2.** Experimental pathway.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 자체 산소발생식 방독면 반응셀의 온도변화

산소발생 방독면의 핵심은 산소발생약제와 이를 이산화탄소 및 수분과 반응시키는 반응셀이다. 그런데 이런 목적을 위해 사용하는 대부분의 산소발생약제는

소방법에서 분류하는 제1류 위험물이다. 이는 충격, 마찰 및 점화에너지와의 접촉에 의해 지연성 기체인 산소를 방출함으로써 연소현상을 지속하는 특성을 가지고 있다<sup>7)</sup>.

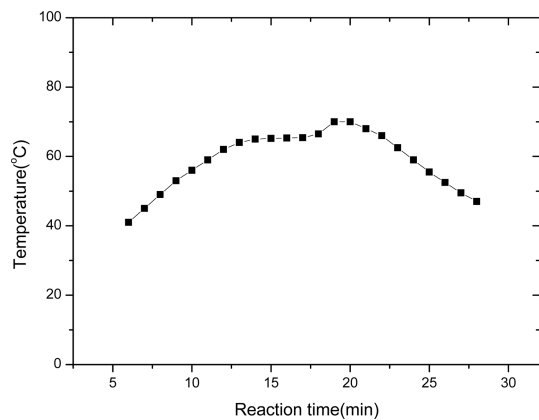
물론 화학물질 중 이보다 더 강력한 산소발생약제가 존재하지만 폭발적으로 반응하기 때문에 위험성이 있고 취급이 까다로워 사용이 불가능하다<sup>7)</sup>. 문제는 이런 과정에서 발생하는 반응열 때문에 필연적으로 이를 담고 있는 반응셀의 온도가 상승하며, 상승된 온도로 인해 발생한 기체가 가열되는 효과가 나타남으로서 이를 흡입하는 사용자의 기도 및 기관지를 손상시킬 가능성이 있다.

따라서 이런 유형의 방독면 제작 시 반드시 이를 고려해보아야 한다.

이런 문제를 검토하기 위해서 산소발생 약제를 정상적인 호흡과정에서 방출되는 날숨의 조성구와 유사한 기체 혼합물을 제조하여 이를 일정량의 약제와 냉각효과가 있을 것으로 기대되는 시약을 혼합하여 만든 혼합약제에 통과시킬 때 나타나는 온도변화를 고찰해보았다. 이때 반응셀 내부의 온도를 정량적으로 측정하기 위해서 온도계의 온도측정부위를 반응셀 내부의 정중앙에 위치하도록 설치하였다(Fig. 3).

Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 반응개시 후 약 5분 정도가 경과하면 서서히 온도가 상승하여 15~20분 정도의 시간이 지나면 반응셀 내부의 온도가  $70^\circ\text{C}$ 에 가까워지는 것을 알 수 있다. 이럴 경우 반응셀에서 발생한 산소기체의 온도 역시 급격히 상승하여 사용자가 호흡에 지장이 있을 가능성을 배제할 수 없다.

이런 문제점을 해소하기 위해서는 반드시 반응셀의

**Fig. 3.** Variations of the temperature in reaction cell according to reaction time ( $KO_2$  3.0 g).

온도를 낮추어야만 하고, 이때 온도를 낮출 수 있는 냉각제의 도입이 필요하다. 그런데 이때 사용할 냉각제의 기능은 단순히 온도만 낮추는 역할을 해서는 안된다. 즉, 반응셀의 온도를 낮추는 방법이 한 가지만이 있는 것이 아니기 때문이다. 가장 단순한 방법은 반응셀 내 산소발생약제의 반응성을 낮추는 것인데 이는 본 연구에서 추구하는 목적에는 부합되지 않는다. 왜냐하면 위 급상황에서는 대부분 호흡량이 증가하여 약제와의 반응에 필요한 이산화탄소와 수분의 발생이 증가하게 됨으로서 반응속도가 빨라지기 때문이다. 따라서 냉각제로는 반드시 발열반응과 반대작용을 하는 흡열반응을 하는 첨가시약이 필요하다.

여러 가지 면을 고려할 때 화학반응에서 대표적인 흡열반응을 하는 물질로 알려진 질산칼륨을 검토하였다. 질산칼륨은 격자에너지가  $-163.8 \text{ kcal/mol}$ , 수화열이  $-155.5 \text{ kcal/mol}$ 을 갖는다. 이는 질산칼륨이 해당하는 이온으로 용해되는 과정에서 1몰(mol) 당  $163.8 \text{ kcal}$ 의 에너지를 흡수하며 다시 물에 용해되는 단계에서 mol 당  $-155.5 \text{ kcal}$ 의 열을 흡수한다는 의미이다<sup>8)</sup>.

반응셀에 유입된 이산화탄소와 수분이 반응약제와 반응을 하게 되면  $\text{KO}_2$ 가 용해되는 현상이 발생하며 이때문에 반응이 발생할수록 응결된  $\text{KO}_2$  약제가 정량적으로 반응을 하지 못한다. 이에 질산칼륨을 혼합시켜주면 약간의 수분에 의해서도 용해와 격자가 끊어지는 현상이 발생하여 반응열을 흡수하고 또  $\text{KO}_2$ 의 용해를 방지하는 부가적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 일정량의  $\text{KO}_2$ 에 냉각제로서 질산칼륨을 첨가할 때 발생하는 반응셀의 온도를 검토하여 보았다 (Fig. 4).

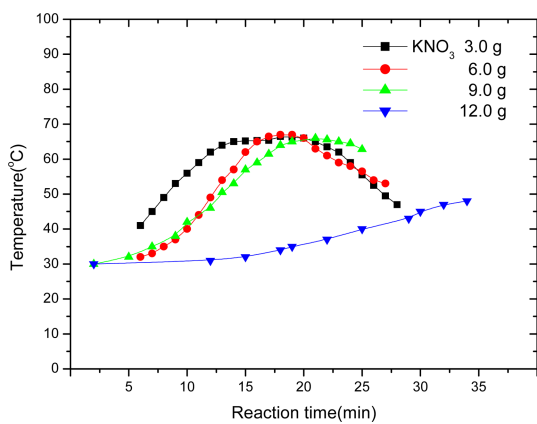


Fig. 4. Variation of temperature in reaction cell according to adding amounts of  $\text{KNO}_3$  ( $\text{KO}_2$  3 g).

Fig. 4에서 보듯이, 산소발생약제의 양에 대해 냉각제를 첨가했을 때 첨가량에 따라 반응셀 내부의 온도상승 효과는 낮아지는 경향은 없었지만 온도상승을 억제하는 효과는 나타났다고 볼 수 있다. 특히 냉각제의 양이 산소발생약제의 4배를 첨가했을 경우 산소발생 유효시간 범위 내에서 반응셀 내부의 온도가  $50^\circ\text{C}$ 를 초과하지 않았다. 이는 처음 제시한 목적대로 질산칼륨의 냉각효과가 나타난 것으로 볼 수 있을 것이다.

### 3.2. 반응 촉진성에 대한 고찰

전술한 바와 같이 응급구조 시스템은 예측할 수 없을 뿐만 아니라 다양한 요구를 모두 충족시켜야 하는 까다로운 제약이 따른다. 따라서 같은 약제와 량을 사용하더라도 단시간 내에 충분한 양의 산소를 발생시키기 위해 필요한 조건을 검토해 보았다.

모든 조건이 동일한 상태에서 반응을 촉진할 가능성이 있는 탄산수소나트륨의 사용을 검토해 보았다. 이를 제안하는 이유로는 산소발생약제로 사용하는  $\text{KO}_2$ 가 이산화탄소 및 수분과 반응한 후 생성된 물질이 염기성일 가능성이 있어 이를 중화시키면 반응평형이 생성물 쪽으로 진행할 가능성이 있기 때문이다<sup>9)</sup>. 따라서 산소발생약제만을 사용하여 정상적으로 반응시켰을 때와 산소발생약제와 동일한 양의 탄산수소나트륨을 혼합하여 검토한 결과를 Fig. 5에 수록하여 결과를 비교하였다.

Fig. 5에서 보듯이 반응촉진을 위해 탄산수소나트륨을 첨가할 경우 초기에 발생하는 산소의 농도는 첨가하지 않았을 경우에 비해 압도적으로 많았다. 이런 현상은 반응개시 후 5분이 경과하게 되면 산소의 발생량이 급격

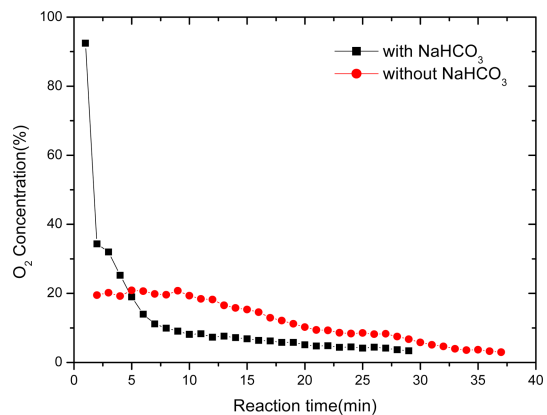


Fig. 5. The concentration of  $\text{O}_2$  according to exist  $\text{NaHCO}_3$  as reaction accelerating agent ( $\text{KO}_2$  3.0 g,  $\text{NaHCO}_3$  5.0 g).

히 감소하였으며 반응촉진제를 첨가하지 않은 경우와 비교해보면 산소발생 량이 역전되는 현상이 나타났다. 이런 현상은 아마도  $KO_2$ 가 이산화탄소 및 수분과 화학 반응을 한 결과 생성된 KOH와 탄산수소나트륨이 산-염기반응을 통해 제거됨으로서 반응의 진행방향을 생성물 쪽으로 더욱 이동시키기 때문에 나타나는 현상이라 판단되며 이는 예상한 바대로 탄산수소나트륨이 산소발생 반응을 촉진시킨다는 점을 알 수 있었다.

### 3.3. 산소발생약제의 화학반응 결과 부가생성물에 대한 검토

반응메커니즘으로부터 알 수 있듯이 산소발생 약제  $KO_2$ 는 이산화탄소와 수분과의 반응결과 KOH가 생성된다. 그런데 KOH는 부식성 기체이므로 이 기체가 호흡기로 유입이 될 경우 인체의 기관지 점막을 파괴하여 인체에 치명적 영향을 줄 수 있다<sup>10)</sup>. 따라서 산소발생 약제를 활용한 방독면 제작 시 반드시 고려해야 할 사항이 반응 생성물의 확인과 대책일 것이다.

이를 위해 밀폐용기에 약제  $KO_2$ 를 넣고, 충분한 양의 수분을 가하여 산소를 발생시킨 후 발생된 산소 기체를 포집하여 이를 증류수에 서서히 불어넣어 산소로 포화시켜주면 발생된 산소에 포함된 미량의 염기성 증기가 물에 용해될 것이다. 한편 증류수에 대해 산소의 용해도가 좋지 못하므로 용액 내에 머무르는 시간이 짧기 때문에 발생된 산소와 함께 존재하는 염기성 증기가 효과적으로 증류수에 용해되지 못할 수 있다. 이런 문제를 보완하고자 일정 농도의 산용액에 같은 실험을 적용시켜 산의 농도변화를 조사해보았다.

포집된 산소기체를 증류수에 불어넣어 산소로 포화시킨 결과 증류수의 pH가 증가할 것이라는 예상과는 달리 증류수의 pH는 변화가 없었다. 또한 일정 농도의 염산 수용액을 제조하여 같은 실험을 반복하여도 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이런 결과가 나타난 이유는 이미 반응셀에 반응촉진제로 넣어준 반응촉진제인  $NaHCO_3$ 과 중화반응을 통해 제거되었기 때문으로 추측된다.

결론적으로, 발생된 산소기체에는 KOH 기체가 전혀 포함되어있지 않다고 판단된다.

## 4. 결 론

각종 재해현장이나 응급구조 상황에서 반드시 필요

한 방독면이 나날이 진화하고 있다. 이에 최근 응용의 범위가 확대되고 있는 산소발생 방독면의 안정성 및 유용성을 높이기 위해 산소발생 약제를 사용하는 반응셀의 내부온도를 감소시키는 방안과 짧은 시간 내에 유효산소의 농도를 높이는 반응촉진 조건 및 유해물질 생성여부에 대해 검토하면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 산소발생 약제의 사용으로 인한 약제 반응셀 내부의 온도상승은 반응메커니즘으로 볼 때 필연적인 결과이며 안정적인 시스템 구축을 위해서는 냉각제의 도입이 필요하였다.
2. 동일 조건에 대해 냉각제의 도입으로 반응셀의 온도를 크게 낮출 수 있었다.
3. 산소발생을 촉진시키는 보조 시약을 첨가할 경우 짧은 시간 내에 과량의 산소를 발생시킬 수 있었다.
4. 산소발생 약제가 반응을 하는 동안 인체 유해요소인 염기성 증기는 생성되지 않았다.

## 참고문헌

1. K. Nicholas and P. S. John, 2002, RI 9656, 7th-phase results, Pittsburgh, PA: U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.
2. N. Kyriazi, 1996, RI 9621, Pittsburgh, PA: U.S. Department of Energy.
3. Korea Science Teachers Association, [http://www.k-sta.or.kr/db/board\\_view.asp?db=high\\_study&ref=20&step=0&depth=0&word=공기&page=1](http://www.k-sta.or.kr/db/board_view.asp?db=high_study&ref=20&step=0&depth=0&word=공기&page=1)[accessed 19 November 2012]
4. N. ANURADHA and I. B. CHATTERJEE, *J. Biosci.*, 1987, 11(1-4), 435-441.
5. Ministry of Health & Welfare, [www.bokjiro.go.kr/cmm/fms/FileDown.do?atch FileId=296743](http://www.bokjiro.go.kr/cmm/fms/FileDown.do?atch FileId=296743)[accessed 19 November 2012]
6. M. Robert and M. S. Bovard, *AEROSPACE MEDICINE*, 1960, 5, 407-412.
7. Korea Fire Safety Association, [http://www.kfsa.or.kr/ebook/book\\_training/12WG/viewer\\_frame.html](http://www.kfsa.or.kr/ebook/book_training/12WG/viewer_frame.html)[accessed 19 November 2012]
8. Computer Assisted Chemistry Tutorial, <http://www.science.uwaterloo.ca/~cchieh/cact/applychem/hydration.html>[accessed 19 November 2012]
9. P. W. Atkins, 1992, "Physical chemistry", 5th ed. Tokyo, Oxford University Press, p.283.
10. Merck & Co., Inc. 1989, "The Merck index", 11th ed. New Jersey, USA., p.1215.