

속보

## 아세트산이 탑재된 고분자 수화젤을 이용한 이산화염소 기체의 발생 제어

이동한 · 이 옥<sup>†</sup>

한양대학교 정보시스템학과

(2013년 5월 21일 접수, 2013년 6월 28일 수정, 2013년 6월 28일 채택)

### Control of Generation of Chlorine Dioxide Gas Using Polymer Hydrogels Containing Acetic Acid

Dong-Han Lee and Ook Lee<sup>†</sup>

Department of Information System, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

(Received May 21, 2013; Revised June 28, 2013; Accepted June 28, 2013)

**초록:** 본 연구에서는 고분자 수화젤 비드 내부에 아세트산을 탑재시킨 후, 분무와 함께 수화젤로부터 방출된 아세트산이 아염소산나트륨과 반응하여, 저농도의 이산화염소 기체를 장시간 지속적으로 발생시킬 수 있는 장치를 개발하였다. 폴리아크릴아미드 수화젤 비드에 탑재시킨 아세트산의 함량과 부직포에 코팅한 아염소산나트륨의 함량을 변화시키면서 발생하는 이산화염소 기체의 생성량을 측정된 결과, 수화젤로부터 아세트산이 방출된 후 반응을 하기 때문에 직접반응에 의한 것보다 반응시간이 지연되어 저농도의 이산화염소 기체가 지속적으로 생성되도록 제어하는 것이 가능하였다. 이러한 결과는 본 연구가 목적으로 하는 저농도의 이산화염소를 장시간에 걸쳐서 지속적으로 생성할 수 있는 장치를 고분자 수화젤을 이용하여 구현할 수 있음을 보여준다.

**Abstract:** Chlorine dioxide gas has an excellent ability for sterilization and deodorization, and is harmless to humans. However, it is very unstable and explosive as it is highly concentrated, thus its use in the air clean fields has been limited. Therefore, there is need to control chlorine dioxide gas at a low concentration for a long time. Chlorine dioxide gas could be produced slowly and sustainedly since the release of acetic acid from the polymer hydrogels delayed the reaction between acetic acid and sodium chlorite. In addition, as the amount of both acetic acid sodium chlorite loaded within the hydrogel and on the membrane increased, respectively, the generation amount of chlorine dioxide gas increased. The result shows that the use of polymer hydrogels has the potential to control the generation of chlorine dioxide gas.

**Keywords:** chlorine dioxide gas, polymer hydrogels, sodium chlorite, acetic acid, generation control.

## 서 론

이산화염소(chlorine dioxide, ClO<sub>2</sub>)는 매우 강한 산화력을 바탕으로 뛰어난 살균력뿐만 아니라 냄새의 원인이 되는 물질을 분해하는 높은 탈취력을 가지고 있다. 또한 기존 살균소독제로 널리 사용되고 있는 염소와 달리 수중에서 질소 또는 암모니아 성분과 반응하여 유독물질인 클로라민을 생성하지 않고, 수중 유기물질과 반응하여 THMs(trihalomethanes) 또는 HAAs(haloacetic acids)와 같은 발암성 소독 부산물을 발생하지도 않기 때문에, 이산화염소는 정수처리 공정뿐만 아니라 채소, 과일, 육류 및 수산물의 살균, 그리고 하, 폐수 처리공정에 이르기까지 다양한 분야에서 수요가 증가하고 있

다.<sup>1,4</sup> 그러나 이러한 장점에도 불구하고 이산화염소는 열과 빛에 대해서 매우 불안정하여 열이 가해질 경우 산소와 염소로 분해되며, 빛에 의해서 분해되어 염산과 염소산을 생성한다. 그리고 기체 상태로서 가스농도가 대기 중에서 10% 이상이 되면 높은 폭발성을 지니게 되어 운송이나 장기간 저장이 곤란하고 압축하여 대량 저장할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.<sup>5-7</sup> 따라서 공기청정 분야에서 살균 및 악취제거를 목적으로 이산화염소 기체를 적용하기 위해서는 저농도의 이산화염소 기체를 장시간 지속적으로 발생시키는 기술/시스템 개발이 필요하다.

고분자 수화젤은 가교구조 때문에 물에 용해되지 않는 친수성 고분자로서, 물에 의하여 빠르게 팽윤될 수 있는 3차원 네트워크 구조를 가진 물질이다.<sup>8-10</sup> 따라서 수화젤 내부에 물질이 탑재되어 있는 경우, 수화젤이 수분과 접촉하게 되면 수화젤의 네트워크 구조가 팽윤하게 되고 그 결과 내부에 탑재

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: lawdhl@gmail.com

된 물질이 외부로 서서히 방출된다. 이러한 특성 때문에 수화젤을 서방형 약물전달 시스템에 이용하는 연구가 오래 전부터 진행되어 오고 있다.<sup>11-14</sup>

본 연구에서는 공기 중의 세균 또는 악취원인 물질의 살균 및 탈취를 목적으로 저농도의 이산화염소 기체를 지속적으로 발생시킬 수 있는 제어 기술을 고분자 수화젤을 이용하여 개발하고자 하였다. 구체적으로 약산인 아세트산을 수화젤에 탑재하고 분무와 함께 수화젤 내부에 탑재된 아세트산이 방출되게 한 후, 아염소산나트륨과 반응시켜서 저농도의 이산화염소 기체가 지속적으로 발생하는 거동을 조사하였다.

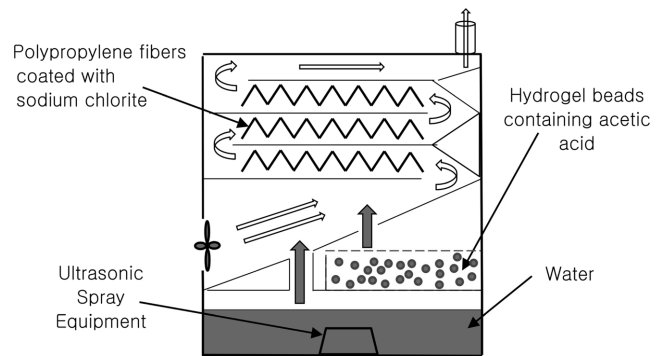
## 실 험

**재료.** 실험에 사용된 폴리아크릴아미드 수화젤 비드(bead) (크기 2~3 mm)는 캔들크래프트사(한국)로부터, 아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)은 삼전화학사(한국)로부터, 아염소산나트륨(NaClO<sub>2</sub>)은 KANTO Chem사(일본)로부터, 폴리프로필렌 부직포(평균 80 g)는 한국쓰리엠사(한국)로부터, 수용성 바인더인 polyvinylpyrrolidone(PVP10, MW 10000)은 Sigma사(미국)로부터 구입하여 사용하였다.

**아세트산이 탑재된 수화젤의 제조.** 폴리아크릴아미드 수화젤 비드 10 g을 10, 20, 그리고 40%의 아세트산 수용액 500 mL에 각각 24시간 담지하여 아세트산 수용액이 탑재된 수화젤 비드를 얻었다. 아세트산의 탑재량은 담지 전후의 수화젤 비드의 질량 변화를 측정하여 수화젤에 흡수된 아세트산 수용액으로부터 아세트산의 농도를 이용하여 계산하였다.

**아염소산나트륨이 탑재된 부직포의 제조.** 이산화염소 기체의 생성을 위한 반응 물질 중 하나인 아염소산나트륨은 35 cm × 25 cm의 크기로 재단한 폴리프로필렌 부직포에 코팅을 하여 탑재하였다. 코팅액은 20 g 아염소산나트륨과 2 g PVP10을 78 g 증류수에 용해시켜 제조하였다. 아염소산나트륨의 부직포에 대한 탑재량을 다양하게 하기 위하여, 코팅액의 도포량을 변화시켜 최종적으로 건조한 상태에서 부직포 대비 20, 50, 그리고 100%의 아염소산나트륨을 부직포에 탑재하였다. 아염소산나트륨이 탑재된 부직포는 아세트산 기체와의 접촉 면적을 높이기 위해 2 cm 폭으로 절곡하였고, 각각 3장씩 이산화염소 기체 발생 장치에 3단으로 장착하여 사용하였다(Figure 1).

**이산화염소 기체 발생 장치.** Figure 1에 본 실험에서 사용한 이산화염소 기체 발생 장치의 개략적인 모습을 나타내었다. 이산화염소 기체 생성 장치는 앞에서 언급한 아세트산이 탑재된 수화젤 비드와 아염소산나트륨이 코팅된 부직포, 그리고 두 반응물이 만나서 반응을 할 수 있도록 분무 발생기를 아크릴로 만든 챔버 안에 장착하여 제작하였다. 이산화염소 가스 농도 측정기(Interscan 4000 Series ClO<sub>2</sub>)를 이산화염소 기체 생성 장치에 부착하여 실시간으로 발생하는 이산화

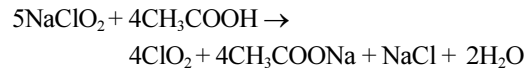


**Figure 1.** Equipment for the generation of chlorine dioxide gas with low concentration.

염소 기체는 측정하였다.

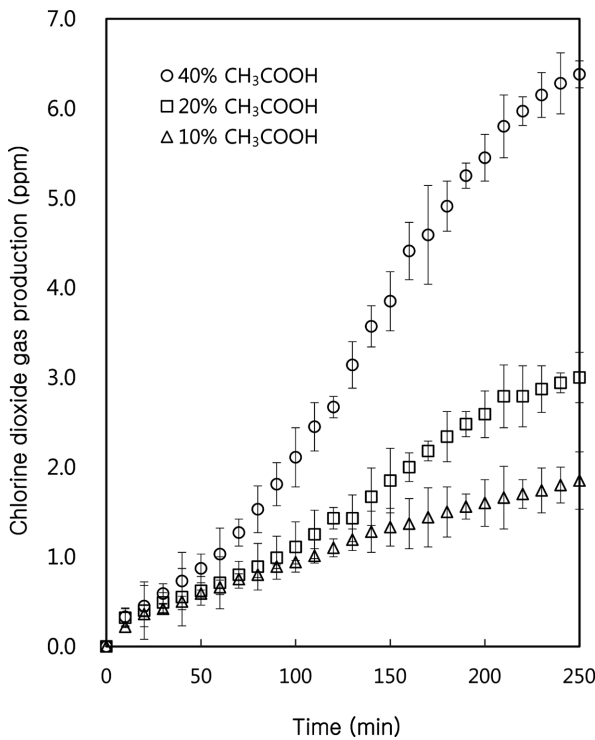
## 결과 및 토론

아세트산이 탑재된 수화젤 비드는, 폴리아크릴아미드 수화젤 비드 10 g을 10, 20, 그리고 40%의 아세트산 수용액 500 mL에 각각 24시간 담지하여 제조하였다. 탑재 결과, 담지하는 아세트산 수용액의 농도가 10, 20, 그리고 40%로 증가함에 따라서 수화젤 10 g 당 탑재되는 아세트산의 질량은 5.5, 12.0, 그리고 24.1 g으로 각각 증가하였다. 아세트산과 아염소산나트륨의 반응에 의한 이산화염소의 생성은 다음 화학 반응식에 따른다.

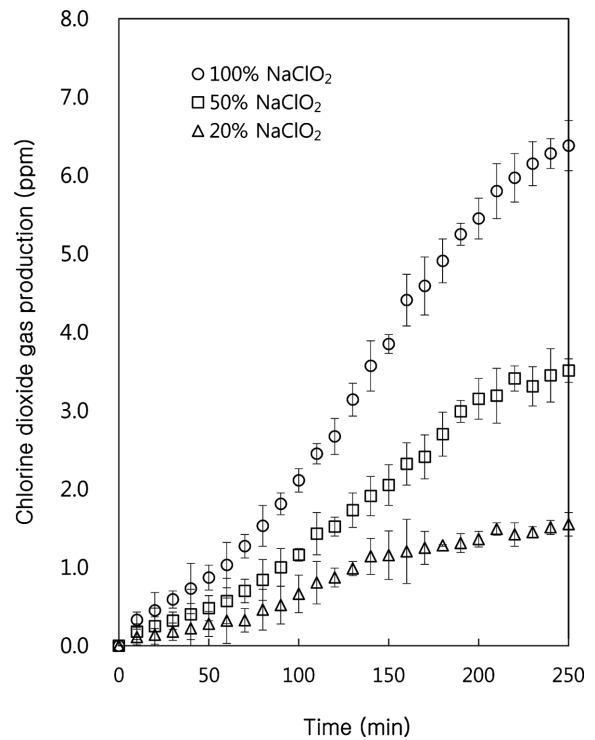


아세트산과 아염소산나트륨을 수용액에서 직접 반응시키면 급격한 반응으로 인하여 과량의 이산화염소가 짧은 시간에 생성되기 때문에 본 연구에서는 Figure 1에서 보여주는 것과 같은 저농도 이산화염소 기체 발생 장치를 설계, 제작하였다. Figure 1의 이산화염소 발생 장치의 원리는 초음파 분무 발생기가 주변의 물을 분무 형태로 만들어 시스템에 수분을 공급하고, 팬에 의해 외부에서 공기를 공급하면 수화젤에 탑재된 아세트산이 증발에 의하여 방출되어서 상부에 부착된 아염소산나트륨이 탑재된 부직포에 도달하게 되어 아세트산과 아염소산나트륨이 반응하여 이산화염소 기체가 발생하게 되는 것이다. 이 때 수화젤 내부에 탑재된 아세트산이 방출되는 과정에서 소량의 아세트산이 서서히 방출되어 아염소산나트륨과 만나 반응하기 때문에 저농도의 이산화염소 기체가 지속적으로 방출될 것을 기대하였다. 발생된 이산화염소 기체의 농도는 출구에 부착된 이산화염소 가스 농도 측정기를 이용하여 실시간으로 측정하였다.

Figure 2는 부직포 대비 100% 아염소산나트륨이 탑재된 부



**Figure 2.** Chlorine dioxide gas production as acetic acid in the hydrogel increased; the amount of sodium chlorite in the polypropylene fibers is constant.



**Figure 3.** Chlorine dioxide gas production as sodium chlorite in the polypropylene fibers increased; the amount of acetic acid in the hydrogel is constant with 2.41 g.

직포를 이산화염소 기체 발생 장치에 장착하고, 10, 20, 그리고 40%의 각각 다른 농도의 아세트산 수용액에서 제조한 수화젤을 사용하여 이산화염소 기체를 발생시켰을 때 시간에 따라서 발생하는 이산화염소의 농도를 나타낸 것이다. 수화젤에 탑재된 아세트산의 함량이 증가할수록 이산화염소 기체의 발생량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이것은 수화젤의 아세트산의 농도가 높아질수록 분무에 의하여 증발되어 부직포에 탑재된 아염소산나트륨과 반응하는 아세트산의 양이 많아지기 때문에 이산화염소 기체의 발생량이 증가한 것으로 설명할 수 있다. 또한 반응 초기에는 이산화염소 기체가 소량 발생하다가 시간이 경과함에 따라 발생량이 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 시간이 경과함에 따라 기체 발생 장치에 공급되는 수분 분무에 의해 부직포에 탑재된 아염소산나트륨과 아세트산의 반응이 활성화되기 때문이라고 사료된다.

Figure 3은 40% 아세트산 수용액에서 제조한 수화젤을 사용하고, 부직포에 탑재된 아염소산나트륨의 함량을 부직포 대비 20, 50, 그리고 100%로 변화시켰을 때 발생하는 이산화염소 기체의 농도를 시간에 따라서 나타낸 것이다. 이것도 역시 부직포에 탑재된 아염소산나트륨의 함량이 증가함에 따라서 발생하는 이산화염소 기체가 증가하는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과들을 통하여 수화젤에 탑재되는 아세트산의 함

량과 부직포에 코팅되는 아염소산나트륨의 함량을 조절함으로써, 살균 및 탈취하고자 하는 현장의 조건에 적합한 농도의 이산화염소 기체를 지속적으로 발생할 수 있는 이산화염소 발생 제어 기술을 개발할 수 있음을 알 수 있었다.

### 결론

이산화염소 기체를 생성하기 위하여 아염소산나트륨과 아세트산을 수용액에서 직접 반응시키는 경우, 두 물질 사이의 빠른 반응으로 단시간에 과량의 이산화염소 기체가 발생하게 된다. 이와 같이 대기 중에 과량으로 존재하는 이산화염소 기체는 매우 불안정하고 폭발위험성이 존재하기 때문에 공기청정분야에서의 사용이 제한된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 아세트산을 고분자 수화젤에 탑재시키고 수분을 함유한 분무와 함께 수화젤에 탑재된 아세트산을 방출시킨 후, 아염소산나트륨과 반응하는 장치를 제작하여 이산화염소 기체를 저농도로 그리고 지속적으로 발생할 수 있도록 제어하는 기술을 개발하였다.

이러한 결과는 고분자 수화젤을 이용하여 이산화염소의 생성속도를 제어할 수 있고, 향후 공기 살균 및 악취제거를 목적으로 하는 공기 청정기 등에 본 기술이 적용될 가능성이 있음을 보여주었다.

## 참 고 문 헌

1. S. Navalon, M. Alvaro, and H. Garcia, *J. Hazard. Mater.*, **166**, 842 (2009).
2. Y. J. Kim, S. U. Nam, H. S. Chae, S. G. Lee, and K. B. Song, *J. Food Sci. Nutr.*, **12**, 181 (2007).
3. C. Korn, R. C. Ansdrew, and M. D. Escobar, *Water Res.*, **36**, 330 (2002).
4. J. H. Du, M. R. Fu, M. M. Li, and W. Xia, *Agric. Sci. China*, **6**, 214 (2007).
5. R. Y. Jin, S. Q. Hu, Y. G. Zhang, and T. Bo, *J. Hazard. Mater.*, **166**, 842 (2009).
6. T. O. Kwon, B. B. Park, H. C. Roh, and I. S. Moon, *Korean Chem. Eng. Res.*, **48**, 275 (2010).
7. S. B. Rho and S. S. Kim, *Appl. Chem. Eng.*, **23**, 86 (2012).
8. L. Yunxiao, B. Mary, and C. Park, *Biomaterials*, **30**, 196 (2009).
9. H. Zhang, X. J. Ju, R. Xie, C. J. Cheng, P. W. Ren, and L. Y. Chu, *J. Colloid Interface Sci.*, **336**, 235 (2009).
10. J. Kopecek, *Biomaterials*, **28**, 5185 (2007).
11. J. Ostroha, M. Pong, A. Lowman, and N. Dan, *Biomaterials*, **25**, 4345 (2004).
12. E. Reverchon, S. Cardea, and E. S. Rappo, *J. Membr. Sci.*, **273**, 97(2006).
13. A. S. Hoffman, *Adv. Drug Deliv. Rev.*, **43**, 3 (2002).
14. C. Donni, D. N. Robinsion, P. Colombo, F. Giordano, and N. A. Peppas, *Int. J. Pharm.*, **245**, 83 (2002).