

건식 흡착제를 이용한 차량용 이산화탄소 저감장치 개발

CO₂ removal system by dry sorbent for passenger train

조용대*
Cho, yong-dae

이주열**
Lee, Ju-yeol

박덕신***
Park, duck-shin

ABSTRACT

Malfunction or inappropriate management of ventilation system in public transportation may cause unpleasant atmosphere or health problems to the old or feeble passengers. In this work, gaseous carbon dioxide removal system is developed and tested under the various serviced passenger cabins. Finally an optimum operating conditions for the CO₂ removal system will presented.

1. 서 론

최근의 실내공기정화기술의 주요 타겟물질은 다중이용시설에 관한 실내공기질법에 명시되어 있듯이 휘발성유기화합물, 포름알데히드, 미세먼지, 석면, 일산화탄소, 이산화탄소, 오존, 이산화질소, 라돈, 각종 부유세균 등이다. 즉 이산화탄소역시 공중이 이용하는 시설의 주요 관리대상물질로 분류되고 있다. 그러나 유해가스나 입자상 물질에 비하여 이산화탄소는 그 유해성이 직접적으로 크지 않을 뿐만 아니라 철도차량 객차와 같은 소규모 공간보다는 대형 연소설비가 있는 산업공정에서 발생하는 가스상 이산화탄소 처리나 지구온난화 문제와 관련하여 국내□외적으로 관심이 집중되고 있다.

대중교통수단은 밀폐된 좁은 공간에 다수의 승객들이 밀집되어 있어 적정환기 등 관리가 되지 않을 경우 공기질 악화로 인한 불쾌감을 유발하고, 노약자들의 건강적 피해가 발생할 수 있다. 그러나 아직 우리나라는 관리기준이 지정되어 있지 않기 때문에 관리의 사각지대로 지적되어 오던 중, 최근 환경부에서 도시철도, 열차, 버스를 대상으로 실내공기질 적정수준을 제시하는 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인"을 발표하였다. 대중교통수단의 경우는 환기가 가장 바람직 하지만 도시철도는 대부분의 운행공간이 지하인 바, 환기가 현실적으로 불가능하고, 냉난방 부하에 따른 추가 에너지 비용이 예상된다. 그러므로, 차량 내부에서 존재하는 이산화탄소를 환기가 아닌 직접제거방식으로 제거할 경우 추가적인 에너지 비용을 절감함은 물론 승객들의 쾌적성을 확보할 수 있을 것이라고 예상할 수 있다.

본 연구에서는 선행연구를 통해서 개발된 시제품을 현재 운행 중인 신형무궁화호에 장착하여 승객들의 호흡에 의해서 발생하는 이산화탄소를 직접 제거하여 시제품의 성능을 평가하고자 하였다.

* (주) 애니텍, 기술연구소, 비회원

E-mail : teorema@paran.com

TEL : (031)205-2838 FAX : (031)205-2839

** (주) 애니텍, 기술연구소, 비회원

*** 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 회원

2. 연구 방법

현재 운행 중인 신형무궁화호 1량에 선행연구를 통해서 개발된 시제품 2기를 차량 상부에 장착하였다. 시스템에는 2개의 이산화탄소 감지 센서가 장착되어 있으며, 그중 1개는 시스템의 운영시기를 결정해주는 센서로써 유동해석(Computational Fluid Dynamics)에서 가장 유체가 고르게 혼합되는 지점에 장착하였으며, 나머지 센서는 시스템의 토출구에 장착하여 흡착제가 포화되는 시점을 판단하게 하여 처리된 공기 중의 이산화탄소 농도가 2,000 ppm에 도달 시에는 자동으로 탈착되게끔 제작 설치하여 운영하였다. 이는 물리적 흡착에 의해서 차량 내부의 이산화탄소를 머금고 있는 흡착제가 포화되어 더 이상 흡착능을 가질 수 없음을 예상할 수 있다. 이 경우에 센서에 의해서 신호를 수신한 시스템은 자동으로 히터를 가열시키고 시스템에 부착되어 있는 반대편의 팬을 이용하여 외기로 배출하게 되며 시스템을 다시 사용할 수 있게끔 한다. 또한 승객들의 숫자가 적어서 공기 중의 이산화탄소 농도가 낮을 경우에는 자동으로 시스템의 운전을 정지하도록 설계하였다. 우선 차량이 정차된 상태에서 외기도입을 차단한 채 차량 내부에서 고농도 이산화탄소를 폭로하여 차량 내부 공기 중의 이산화탄소 농도가 4,000 ppm에 도달한 후 시스템을 운영하여 이산화탄소 저감효과를 평가하고자 하였다. 아울러, 시험 중에 실제 조건을 감안하여 가스폭로와 동시에 시스템을 운영하는 실험도 병행하였다. 또한 시제품을 장착한 신형무궁화호를 장항선, 전라선의 운행 중인 편성에 투입하여 실제 승객들의 탑승시 발생하는 이산화탄소를 저감하는 효과를 평가하였다. 동일 공조시스템을 가지고 있는 동일한 차량을 근접 운행시켜 같은 시간대에 동일한 방법으로 이산화탄소 농도를 측정하였으며, 동시에 탑승한 승객들의 숫자를 확인하였다.

이산화탄소 농도의 확인은 NDIR-type의 분석기를 이용하여 승객들의 코 높이에 위치시켜서 승객들의 호흡위치에서 30초 간격으로 농도를 평가하고자 하였다. 측정시간은 수원역을 기점으로 하여 승객들의 탑승이 많은 시점을 집중적으로 관찰하였으며, 외기가 유입될 경우와 유입되지 않는 경우 등에 대해서 다양한 조건으로 평가를 시도하였다.

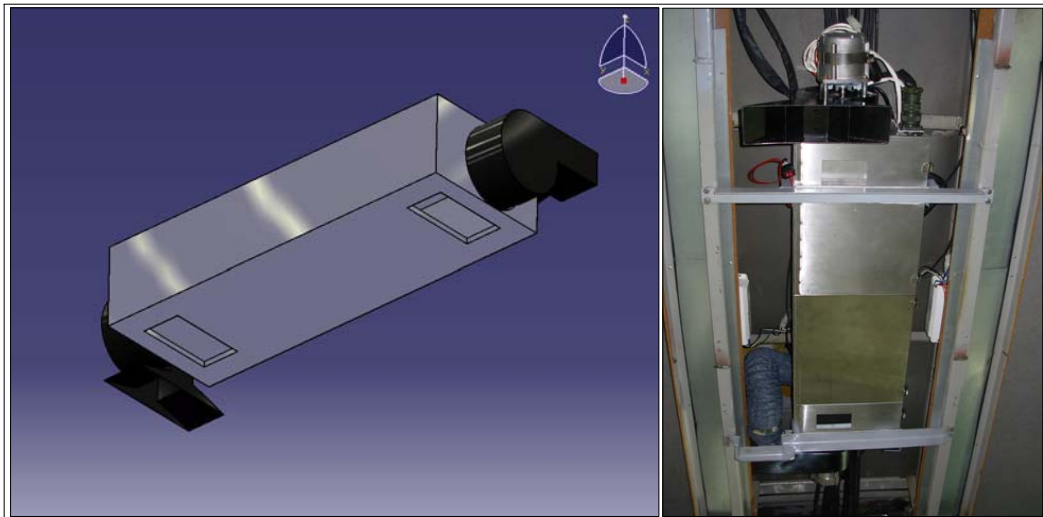


그림 1. 시제품 개념도 및 실제 장착 사진

3. 결과 및 고찰

정차중인 차량 내부의 중앙에서 고농도의 이산화탄소 가스를 폭로하여 이산화탄소 농도를 4,000 ppm으로 유지하였으며, 일정 농도 도달 시에 이산화탄소 저감장치를 작동시켜 차량 내부에서의 농도저감효과를 관찰하였다. 아울러, 동일조건에서의 가스폭로시간을 설정하여 폭로와 동시에 시스템을 운영하여 차량 내부에서의 이산화탄소 농도 유지 수준을 동시에 확인하였다. 본 실험을 실제 차량에서 승객수가 증가함에 따라 시스템이 바로 운영되므로 실제 조건과 동일한 상황을 모사하고자 한 실험이다.

그림 2 에서 보는 것과 같이 정차중인 차량의 내부에서 이산화탄소 가스를 이용하여 농도를 4,000 ppm 까지 주입하여 저감장치를 가동한 결과 10여분 만에 이산화탄소 농도는 1,000 ppm 이하로 감소하여 약 70 %의 저감효과를 보였다. 또한 초기부터 시제품을 운영하였을 경우에는 2,000 ppm 이하를 항상 유지하여 환경부의 대중교통수단 공기질 가이드라인에 규정하는 규제치 이하를 유지할 수 있는 가능성을 확인하였다.



그림2. 표준가스를 이용한 시제품 성능평가

그림 3 은 장항선에 시제품이 장착된 개조차량을 편성하여 차량 내부에서의 이산화탄소 농도 경향을 파악하며 아울러 이때의 승객수를 동시에 확인한 결과를 도식화 하였다. 철도차량은 일반적으로 외기의 도입을 30% 정도로 유입시키며, 나머지 70%의 공기는 내부순환으로 대체한다. 이는 차량 내부의 냉난방 부하 때문이다. 실험에서 공기도입 조건을 개조차량에서는 일반적인 수준인 외기도입 30%를 유지하였으며, 개조차량에서는 외기도입을 차단한 채 내부공기를 순환만 시킨 채 시험을 실시하였다. 실내 이산화탄소 농도와 승객수를 측정한 결과에서, 승객수가 비슷한 상태에서 개조차량의 경우 이산화탄소 평균농도가 1,400 ppm이고 외부공기가 전혀 유입되지 않음에도 불구하고 외부공기 30% 유입조건인 일반 차량이 이산화탄소 농도 평균 1,466 ppm을 나타내어 외기를 도입하는 비교차량에서보다 더 낮은 이산화탄소 농도를 유지하거나 최소한 비슷한 이산화탄소 농도를 확인 할 수가 있었다. 이런 결과는 이산화탄소 저감장치의 적용을 통해 이산화탄소의 저감을 위하여 외부공기의 도입을 통해 발생하는 냉 난방 에너지 손실 없이 외부공기의 30% 유입과 동등한 수준의 이산화탄소 농도를 유지할 수 있음을 의미한다.

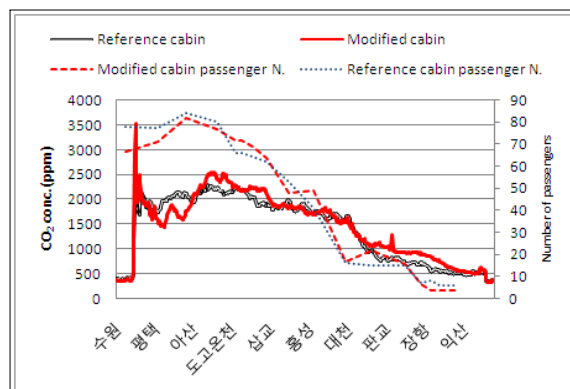


그림3. 시제품 성능평가(내부순환-개조차량)

본 결과를 통해서 실내공기와 외기의 온도차가 거의 없는 계절에는 외기도입의 양을 늘려주는 것이 바람직 하지만 그렇지 못한 여름철이나 겨울철, 또한 외기 도입을 하기 힘든 황사철 등의 기간에는 오염물의 직접제거방식이 바람직 할 것으로 판단되며, 아울러, 많은 에너지 비용 및 시설비용을 절감 할

수 있을 것으로 예상된다. 아울러, 개조차량과 비교차량의 시험조건을 동일하게 하여 차량 내부에서 장착된 시제품의 성능을 동일조건으로 평가하였다. 측정된 결과 비교차량의 경우 2,500 ppm 수준까지 이산화탄소의 농도가 증가하고 평균 농도는 1,340 ppm인 반면 이산화탄소 저감장치를 적용한 개조차량의 경우 1,000 ppm 부근에서 이산화탄소농도를 유지하고 평균농도는 820 ppm으로 이산화탄소 저감효과는 약 40 %에 이르는 것을 알 수 있다.

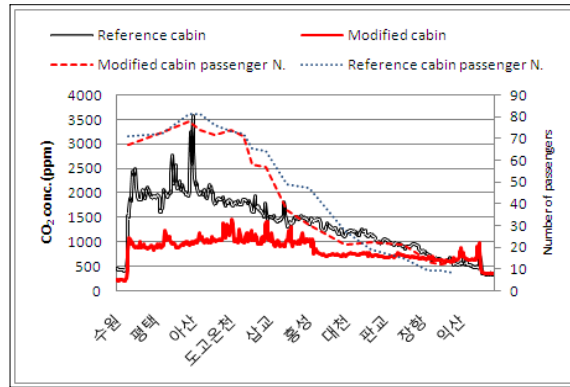


그림4. 시제품 성능평가(외기도입-개조차량)

또한 그림 5는 개조차량과 비교차량의 승객수와 이산화탄소 농도의 상관관계를 도식화 하였다. 승객 수가 증가함에 따라 이산화탄소 농도도 따라서 증가하나 개조차량의 경우 비교차량 대비 약 40 %의 농도 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 측정된 336 개의 데이터를 분석한 결과 개조차량의 경우 이산화탄소의 농도 증가와 관련해 승객 1 인이 증가할 경우 차량 내 이산화탄소 농도는 14.3 ppm 증가하는 데 반해 비교차량의 경우 승객 1인이 증가할 경우 이산화탄소 농도는 23.6 ppm 증가하여 승객 수 1인 증가에 따른 저감효율은 약 40 % 로 판단된다.

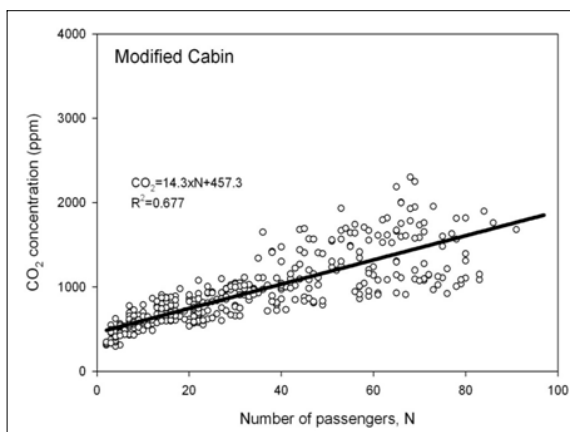


그림5. 개조차량에서의 승객수와 이산화탄소농도의 상관관계

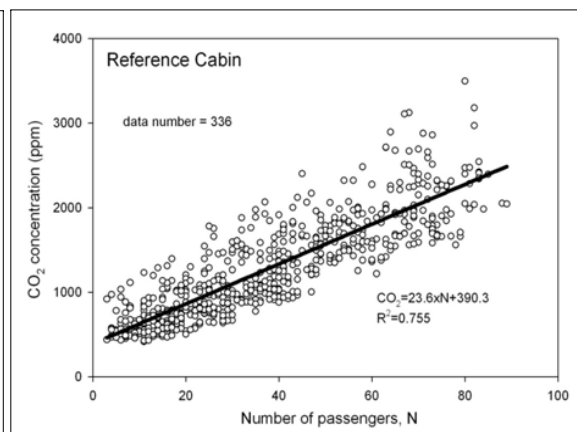


그림6. 비교차량에서의 승객수와 이산화탄소농도의 상관관계

4. 참고문헌

1. D. R. Grag and D. M. Ruthven, sorption of CO2 in davison 5A molecular sieve,(1992) chem Eng. Sci 47, 4305
2. S. LOWELL and J.E. shields,(1994) Powder surface area and porosity, Brian Scarlett
3. Liang, Y., Harrison, D.P., Gupta, R.P., Green, D.A. and McMichael, W.J.(2004), "Carbon Dioxide

using Dry Sodium-Based Sorbents", *Energy & Fuels*, 18(2), 569–572(2004)

4. Contarini, S., Barbini, M. Del Piero, G., Gambarotta, E., Mazzamuro, G, Riocci, M. and Zappelli, P.(2003),"Solid Sorbents for the Reversible Capture of Carbon Dioxide", in "Greenhouse gas Control Technologies", Gale, J. and Kaya, Y.(Eds), Elsevier Science Ltd.,

5. 이주열, 박덕신 (2007), “객차용 가스처리장치 개발” , 한국철도학회

6. 이주열, 박영구 (2007), “무기흡착제를 이용한 CO₂의 상온흡착” , 한국유화학회