밀폐공간에서 수소연료 누설에 따른 수소확산 특성에 관한 연구

A study on hydrogen gas diffusion characteristics according to hydrogen leaking in a closed chamber

*김대성 [1], #장형진 [2], 김규현 [3], 용기중 [4], 허남건 [5]
*D.S.Kim[1], #H.J.Chang(hjchang@ts2020.kr)[2], G.H.Kim[3], G.J.Yong[4], N.K.Hur[5]
[1] 자동차성능연구소, [2] 자동차성능연구소, [3] 자동차성능연구소, [4] 자동차성능연구소, [5] 서강대학교 기계공학과

Key words : Closed chamber, Diffusion characteristics, Hydrogen gas

1. 서 론

수소연료는 기존의 화석연료에 비해 연소과정에서 지구 온난화의 주 원인인 CO_2 발생을 획기적으로 감소시킬 수 있으며, 물 또는 유기물질로부터 제조가 가능하여 연료 확보가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 수소는 공기중의 산소와 반응하여 열과 전기를 생산하고 물을 배출하기 때문에 환경오염을 예방하는 것은 물론, 자원고갈의 우려가 적기 때문에 차세대 청정 에너지원으로 주목 받고 있다. 이러한 수소연료의 친환경성과 화석연료 대체 가능성을 바탕으로 최근 수소를 주 연료로 하는 수소 연료자동차 및 수소의 전기 화학적 반응에 의해 생성된 전기를 주 동력원으로 하는 수소 연료전지 자동차 등 수소 연료 자동차에 대한 연구가 여러 연구자들에 의해 활발하게 진행되고 있다.

수소연료의 친환경성과 기존 화석연료의 대체 가능성을 바탕으로 수소연료 자동차 및 수소연료전지 자동차에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 수소를 저장한 상태에서 주행을 해야 하는 수소 자동차의 특성으로 인해 수소 연료 누출 시, 그 안전성에 대한 검토가 매우 중요한 요소로 인식되고 있다. 수소 연료는 가연성 가스로서 연소 및 폭발 시, 그 범위가 상당히 넓고 폭발의 화염 전파속도가 매우 빠르다. 그렇기 때문에 수소를 주 연료로 하는 자동차의 수소 연료 누출 시, 그 확산 특성을 연구하여 수소 연료의 확산범위, 확산농도 및 수소 연료 누출에 따른 가연영역을 규명하여 이에 적합한 안전기준을 마련하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 밀폐공간에서 수소 연료의 누설에 따른 확산 특성을 실험적으로 규명하는 것을 목적으로 한다.

2. 실 험 조 건

실험은 가로, 세로, 높이가 각각 2m 인 시험장치를 제작하여 밀폐공간을 가상한 상태에서 수행하였으며, 시험장치에는 측면 상, 하단 및 천정에 각각 2 개의 창문을 설치하여 자연환기조건을 구성하였고, 바닥 중심에는 직경 6mm 의 노즐을 설치하여 수소 연료를 누출시켰다. 수소 누출 유량은 분당 131L 이며, 이는 미국의 FMVSS 301(Federal Motor Vehicle Safety Standard 301)에 명시되어 있는 가솔린 차량의 연료 누설 허용량과 등가가 되는 수소 누설 유량이다.

실험 조건은 수소 유량 131 L/min.(Q) 와 65 L/min.(0.5Q) 의 두 가지 유량을 통해 수소 가스를 누설 시켰으며, 창문을 모두 밀폐한 완전밀폐조건, 측면 하단의 창문을 개방한 측면 하단개방 조건 및 측면 상단의 창문을 개방한 측면 상단개방 조건의 총 3 가지 경우에 대하여 시간에 따른 수소 농도 변화를 관찰하였다. 또한 열전도 방식(Thermal conductive)을 통해 수소 농도를 측정하는 수소센서를 사용하였으며, 두 개의 수소 센서를 천장 중앙과 측면 중간 위치에 각각 설치하여 수소 농도를 측정하였다.

3. 실 험 결 과

Fig. 1~ 3 는 수소 누출 유량 0.5Q(65 L/min.)에서 완전밀폐조건, 측면하단 개방조건 및 측면 상단개방 조건에 대한 수소농도 변화를 시간에 따라 나타낸 것이며, Top_center 및 Side_middle 은 각각 천장 중앙 부분 및 측면 중간 부분에서 측정한 수소 농도를 나타낸 것이다.

완전밀폐조건 및 측면 하단 개방의 경우 천장 상단 부분에 비해 측면 중간 부분에서 수소 농도가 더 높은 특성을 나타내었다. 이는 수소 가스의 낮은 밀도에 의한 부력의 영향으로 수소 가스가 밀폐공간의 상단부분부터 누적되기 때문이며, 시간이 지남에 따라 상단부분이 수소 가스로 인해 포화상태가 되기 때문에 수소 가스가 측면 부분으로 확산 및 이동한 이유라 판단된다. 측면 상단 개방의 경우 수소 농도가 증가하여 일정 지점에 이른 직후에는 급격히 감소하는 경향을 나타내었고 천장 중앙 부분에 비하여 측면 중간 부분의 수소 농도가 더욱 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 측면 상단개방의 경우, 수소 누설에 따라 밀폐공간의 상단에 누적된 수소 가스가 측면 상단의 개방된 창문으로 확산 및 배출되었기 때문이라 판단된다.

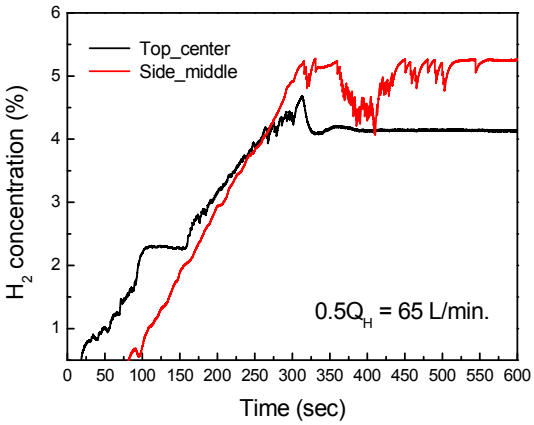

Fig. 1 H_2 concentration of fully closed condition (0.5Q)

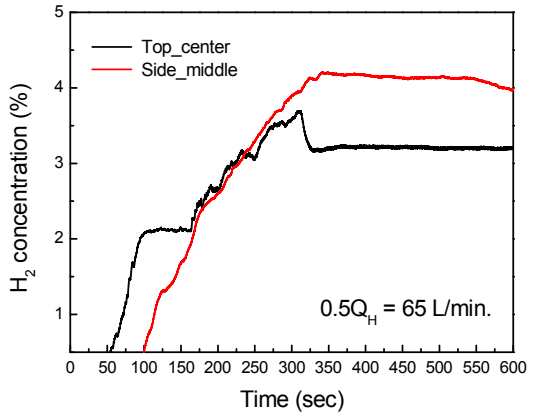

Fig. 2 H_2 concentration of side-bottom open condition (0.5Q)

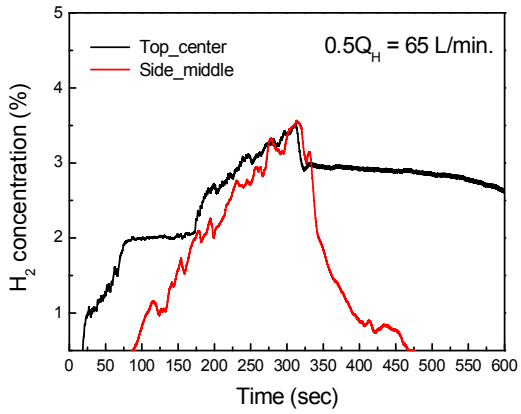

Fig. 3 H_2 concentration of side-top open condition (0.5Q)

Fig. 4~6 은 수소 누설 유량 Q(131 L/min.)에서 완전밀폐 조건, 측면 하단개방 조건 및 측면 상단개방 조건에 대한 수소농도의 변화를 나타낸 것이다.

수소 누설유량 Q 의 완전밀폐 조건의 경우 수소 누설 유량 증가의 영향으로 수소 농도가 다소 높게 나타났으며, 수소 가스가 상단부에 누적되는 시간 역시 짧아지는 것을 관찰할 수 있었다. 측면 하단개방 조건의 경우 수소 가스가 상단부에 누적되는 시간이 완전밀폐조건에 비하여 다소 증가하는 것을 확인할 수 있었으나, 완전밀폐조건에서의 수소 농도와 큰 차이는 보이지 않았다. 이는 수소 가스는 부력으로 인해 상단으로 확산하는 특성을 보이기 때문에 수소 누설 유량이 증가할 경우, 하단 창문의 개방은 수소 가스의 배출에 큰 영향을 미치지 않기 때문으로 판단된다. 측면 상단개방 조건의 경우 완전밀폐조건에 비하여 수소 농도가 감소하였고 측면 중간 부분에서는 일정 시점 이후에는 수소 농도가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 수소 누설에 따라 밀폐공간의 상단부에 누적된 수소가 측면의 상단 창문으로 배출되었기 때문이라 판단된다.

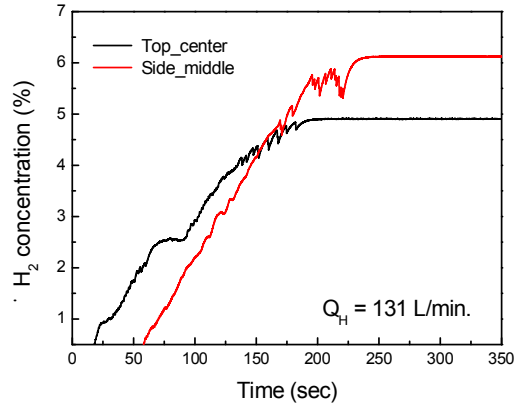

Fig. 4 H_2 concentration of fully closed condition (Q)

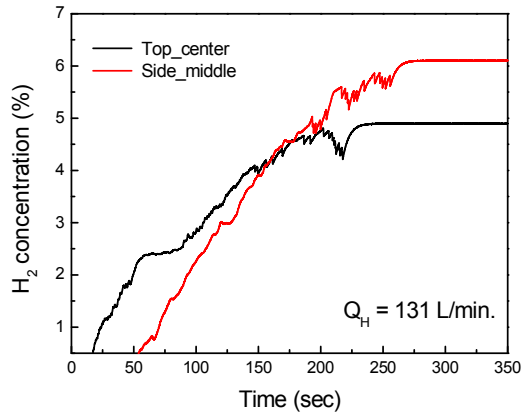

Fig. 5 H_2 concentration of side-bottom open condition (Q)

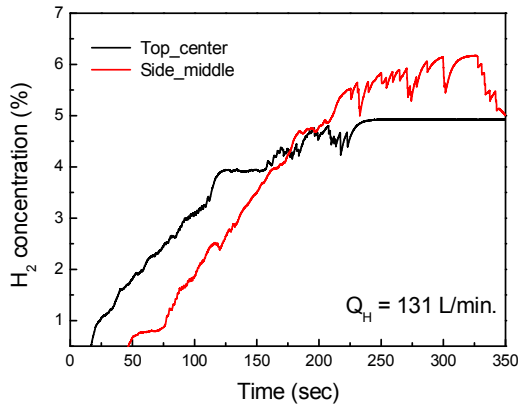

Fig. 6 H_2 concentration of side-top open condition (Q)

3. 결 론

밀폐공간에서 수소 누설 유량 및 환기 조건에 따른 수소 연료의 확산특성을 실험적으로 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수소 연료의 누설 시, 수소 가스는 밀폐공간의 상단부부터 누적되며, 누설이 계속 진행되어 밀폐공간 상단부가 포화상태에 이르면 측면으로 확산 및 이동한다.

2) 수소 연료 누설 시, 밀폐공간 상단부를 개방하여 환기를 시키는 것이 수소 가스의 배출에 가장 효율적이다.

3) 수소 연료 누설 유량이 증가하면 밀폐공간의 개방을 통한 자연 환기만으로는 수소 가스의 배출에 한계가 있으므로, 수소 누설 유량이 증가될 경우 강제 환기 시스템을 도입하는 것이 타당하다.

후 기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(07 교통체계-미래 02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

(1) 임재문, 장형진, 김규현, 2008, “수소 연료전지 자동차의 충돌 및 화재안전성 관련 연구동향”, 한국자동차공학회 창립 30 주년 기념 학술대회, pp. 1253～1258.

(2) 이재완, 이광범, 용기중, 2008, “수소·연료전지 자동차 세계기술규정 제정 현황 고찰”, 한국자동차공학회 정기학술대회, pp. 877～883.

(3) G. H. Scheffler, J. Devaal, G. J. Kissel, J. Schneider, M. Veenstra, T. Chang, N. Warner and W. Chernicoff, 2007, “Developing Safety Standards for FCVs and Hydrogen Vehicles”, SAE Paper No. 2007-01-0436.

(4) JASIC, 2007, “Attachment 100. Technical Standard for Fuel Systems of Motor Vehicles Fueled by Compressed Hydrogen Gas”, Automobile Type Approval Handbook for Japanese Certification.

(5) 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 2008, “수소·연료전지자동차 안전성평가 기술개발 연구보고서”, 교통체계효율화사업 제 1 차년도 중간보고서.

(6) The International Consortium for Fire Safety, Health &the Environment, “Safety issues regarding fuel cell vehicles and hydrogen fueled vehicles”.