

# 벽면에 의한 고압 수소 누출에 따른 자발화 현상 특성 변화

김세환\* · 박지현\*\* · 이승복\*\* · 이형진\*\*\* · 정인석\*\*†

## Effects of a wall on the self-ignition of sudden release of high-pressure hydrogen through a tube

Seihwan Kim\*, Ji Hyun Park\*\*, SeungBok Lee\*\*, Hyung Jin Lee\*\*\*, In-Seuck Jeung\*\*†

### ABSTRACT

The possibility that self-ignition can be generated near an obstacle is high in practical applications such as a hydrogen car. In this paper, experimental investigations were suggested to understand the effects of a wall on self-ignition phenomena through high-speed images. The results showed that the existence of a wall could not change the ignition phenomena itself irrespective of wall height and burst pressure. However, when a strong flame was induced in the tube, a wall could promote the flame stabilization.

**Key Words** : Hydrogen, High-pressure jet, Self-ignition, Wall effect, Impinging jet

고압 수소의 누출에 따른 자발화 현상을 모사하기 위한 시험장치의 구성을 그림 1에 나타내었다. 시험 장치는 크게 가압부와 시험부로 구성되어 있으며, 1차 탱크에 충분히 높은 압력의 수소를 저장한 후 시험을 수행하여 저기조의 압력이 일정하게 유지될 수 있도록 한다. 본 연구에서 격막으로 Mylar (Toray Advanced Materials Korea Inc.)가 사용되었으며, 격막의 파열 후 수소가 튜브를 통해 누출되는 구조이다. 튜브의 직경은 3mm로 일정하게 유지하고 길이를 10mm에서 200mm까지 변화하며 실험을 수행하였다.

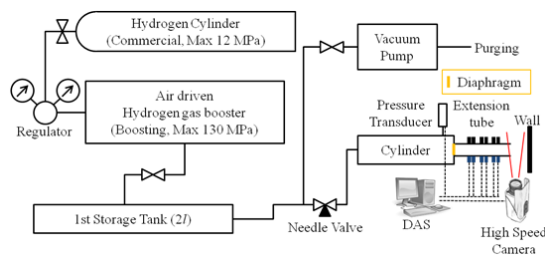


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

먼저 기존 연구[3]를 바탕으로 동일한 과열압에서 길이를 변화시키며 세가지 자발화 현상을

재현하였다. 이후 동일한 조건에서 튜브 출구에 위치한 벽면이 자발화 현상에 미치는 영향을 살펴보기 위한 시험을 수행하였다. 이 때 Wen[1] 등에 의한 수치 해석 연구와 비교를 위하여 벽의 높이는 3mm, 출구와의 거리는 6mm로 고정하였다.

그림 2는 튜브의 길이를 10mm, 34mm, 200mm로 증가시켜감에 따라 나타나는 특징적인 자발화 현상, non-ignition, failed-ignition 및 self-ignition, 을 나타내고 있다. 모든 경우에 격막의 파열 압력은 14 MPa 로 일정하게 유지되었다. 자발화가 일어나지 않은 경우, 그림 2(a), 는 직접광 사진 없이 쉐도우 그래프 이미지만 제시하였다. 튜브 길이가 10mm 미만인 경우에는 튜브의 내·외부에서 모두 화염이 관찰되지 않았다(non-ignition).

고압 수소의 누출이 자발 점화로 이어지지 않을 경우 그림 2(a)에서 확인할 수 있는 바와 같이 일반적인 과소팽창 유동의 형태가 관찰되었으며 자발점화가 일어난 경우, 그림 2(c)와 비교할 때 튜브 출구에서의 밀도 변화가 크게 나타나지 않았다. 튜브의 길이를 보다 증가시켜 34mm 튜브를 사용할 경우, 15 $\mu$ s 근방에서 약한 화염이 관찰되었으나 곧 소화되어 더 이상 화염을 관찰할 수 없었다(failed-ignition). 따라서 고압 수소의 급격한 팽창으로 인해 화염이 안정화되기 전에 온도가 충분히 감소하였을 것으로 판단된다.

튜브의 길이를 보다 증가시켜 50mm 이상인 경우에는 확산 화염이 관찰되었다. 이 경우 튜브 출구에 이르기 전에 매우 강한 화염이 생성

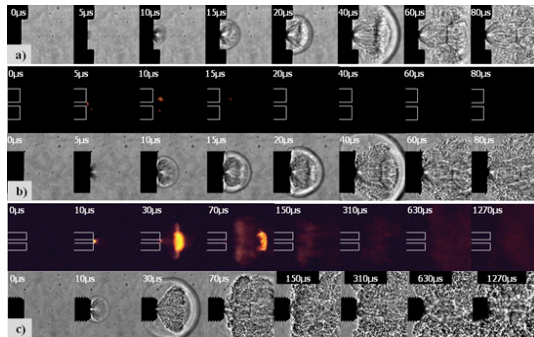
\* 서울대학교 계산과학협동과정

\*\* 서울대학교 기계항공공학부

† 연락처자, enjis@snu.ac.kr

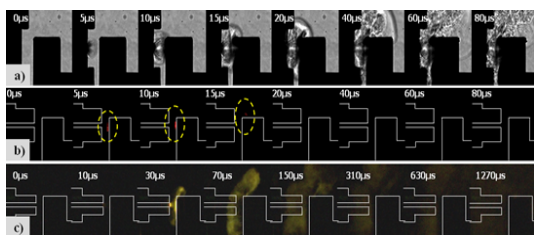
TEL : (02)880-1905 FAX : (02)880-1718

된 것으로 판단되며, 튜브를 통과한 화염은 다소 팽창된 후 두 개의 화염으로 나뉘진다. 이러한 화염 분열 이후 주위 공기가 흡입되고 튜브에서 먼 방향부터 튜브쪽으로 화염이 확산된다.



**Fig. 2** Three types of ignition phenomena with different tube length at burst pressure of 14 MPa, a) 10mm, b) 34mm, c) 200mm,

동일한 파열 압력에서 벽을 설치한 후 각각의 튜브에 대해 자발 점화 실험을 수행한 결과를 그림 3에 나타내었다. 튜브 내에서 반응이 일어나지 못한 non-ignition 조건의 경우 그림 3(a)에서와 같이 벽에 의한 추가 점화는 관찰되지 않았다. 그림 3(b)는 튜브 끝단에서 약한 화염이 발생하였으나 곧 소화된 경우로 벽면 근처에서 정체 구간의 형성으로 인해 추가적인 반응이 일어날 가능성이 높다고 판단되었으나 직접 광 측정 데이터에 따르면 벽이 존재하더라도 화염의 유지 시간이 증가되거나 추가적인 반응이 관찰되지 않았다. 튜브의 길이를 보다 증가시켜 자발 점화가 일어난 경우, 벽에 의해 화염의 크기와 전파 방향의 변화를 관찰할 수 있으나 그림 3(c)에서 보이는 바와 같이 소멸 영역 또는 추가적인 반응 구간은 관찰할 수 없었다.



**Fig. 3** Effect of the wall on three ignition phenomena, [wall height: 1D, distance: 2D]

그림 3(a)와 같이 벽 전방에서 정체점이 형성되었음에도 불구하고 점화 특성에 영향을 미치지 못하였다. 이는 non-ignition 또는 failed-ignition

조건에서 정체점에서의 온도 증가가 공기와 수소의 반응을 일으키기에 충분하지 않았거나 이 영역에서 수소의 분률이 과농 혹은 과소 상태인 것으로 생각된다. 이는 Wen등에 의한 수치 해석적 연구에서 파열 압력이 10MPa 이하인 경우의 결과와 일치하는 경향을 보이고 있다. Wen등은 충격파간의 상호 작용에 의한 영향을 제거하기 위하여 튜브가 존재하지 않는 경우에 대한 해석을 수행하였으나, 실험에서는 격막의 고정을 위해 유한한 길이의 튜브가 존재한다. 기존 연구 결과에 따르면 튜브의 길이가 증가함에 따라 튜브 내의 다차원 충격파 상호 작용에 의해 화염의 발생 가능성이 높아지는 것으로 알려져 있다. 그러나 수치 해석 결과와 달리 파열 압력을 30MPa 로 증가시킨 경우에도 그림 3(a)와 동일하게 튜브 출구에서의 화염을 관찰할 수 없었다.

연구 결과에 따르면 고압 수소 누출부 주위에 놓인 벽은 화염이 발생한 이후 그 전파에 영향을 미칠 수 있으나 수소/공기 반응에는 영향을 미치지 못하였다. 이는 고압 수소의 누출에 의한 자발화 현상에 있어 튜브 내 반응 여부가 가장 주요한 인자임을 확인시켜 주는 결과이다. 또한 가시화 결과에 따르면 비록 벽에 의해 화염이 발생하거나 소멸되지 않으나, 화염이 발생한 경우 이의 안정화를 촉진하였다. 즉 튜브 외부에 벽이 존재하지 않는 경우, 그림 2(c)에는 화염이 분열된 후 1,270 $\mu$ s가 지난 이후 화염이 안정화 된 것으로 나타났으나, 벽이 존재하는 경우, 그림 3(c)에는 630 $\mu$ s 내에 화염이 안정화되었다.

## 후 기

본 연구는 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1]B.P. Xu, J.X. Wen, V.H.Y. Tam, "The effect of an obstacle plate on the spontaneous ignition in pressurized hydrogen release:A numerical study", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, 2011, pp. 2637-2644.
- [2]F.L. Dryer, M. Chaos, Z. Zhao, J.N. Stein, J.Y. Alpert, C.J. Homer, "Spontaneous ignition of pressurized release of hydrogen and natural gas into air", Combustion Science and Technology, Vol. 179, 2007, pp. 663-694.
- [3]H.J. Lee, Y.R. Kim, S.H. Kim, I.S. Jeung, "Experimental investigation on the self-ignition of pressurized hydrogen released by the failure of a rupture disk through tubes", Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33, 2011, pp. 2351 - 2358.