

파열 압력경계 조건에 따른 파이프 내에서의 수소 자발 점화

이형진* · 김성돈** · 김세환*** · 정인석***†

Self-Ignition of Hydrogen

in a Pipe by Rupture of Pressure Boundaries

Hyoung Jin Lee*, Sung Don Kim**, Sei Hwan Kim***, In-Seuck Jeung***†

ABSTRACT

Numerical simulations are conducted to investigate the mechanism of spontaneous ignition of hydrogen within a certain length of downstream pipe released by the failure of pressure boundaries of various geometric assumption. The results show that local ignition is developed in limited area such as boundary layer and the mixing of hydrogen and air is weak at the planar pressure boundary conditions, whereas the flame fronts at the contact region are developed at the pressure boundaries of the spherical shape.

Key Words : Hydrogen spontaneous ignition, Pressure boundary, Shock-shock interaction, mixing

고압 수소는 차세대 청정 에너지원으로 여러 산업에서 그 활용성이 증가되고 있으나, 시스템에 적용하는데 있어 안정성 문제가 끊임없이 제기되고 있다. 이에 자발 점화의 메커니즘과 원인을 밝히고자 다양한 연구가 수행되었으며 누출되는 고압 수소의 자연점화의 원인으로 확산 점화 메커니즘이 가장 가능성이 높은 것으로 여겨지고 있다.[1-3]

여러 연구를 통해 밝혀진 점화 메커니즘에 따르면 격막이 파열될 때 격막의 형상이나 압력 등 파열 조건에 따라 튜브 내 형성되는 유동의 형상 및 혼합 특성이 달라질 수 있으며 이에 따라 발생하는 점화 현상도 달라질 수 있다.

이에 본 논문에서는 수치적 연구를 통해 파열 압력 형상 조건에 따른 고압에서 누출되는 수소에 대한 자발점화 메커니즘을 분석하고자 하였다. 이를 위해 지름 10.9 mm, 격막으로부터 길이 100 mm를 갖는 축대칭형 튜브에 4가지 다른 파열 격막 형상에 대해 전산해석을 수행하였다. 전산해석 연구 결과를 통해 다르게 발생하는 혼합 영역, 화염 위치, 점화 메커니즘을 분석하였다.

Figure 1은 본 연구에서 수행된 해석 영역을 나타낸다. 본 연구에서는 Fig. 2과 같이 4가지 압력 형상 경계조건을 적용하였다.

(a)부분 구형 형상: 일반적으로 steel 격막이 파열되면 가장자리에 얇은 테두리를 갖는다. 이러한 테두리가 존재하는 구형 형상 조건

(b)완전 구형 형상: 얇은 Mylar 필름이 파열될 때의 모사 조건으로 (a)에서 언급된 격막 파열 후 남는 가장자리 테두리 부분이 없는 조건

(c)부분 평면 조건: 구형 압력 경계 조건의 영향을 파악하기 위한 가상의 평면 파열 조건 중 테두리가 존재하는 조건

(d)완전 평면 조건: 가상의 평면 조건 중 (c)부분 평면 조건에서 언급한 테두리가 없는 조건

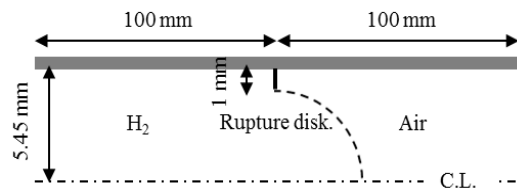


Fig. 1 수치 해석 영역

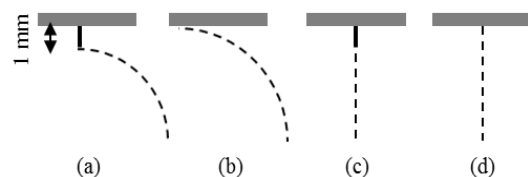


Fig. 2 적용된 압력 경계 형상 조건

* ㈜LIG NEX1, PGM R&D 센터

** ㈜뉴로스

*** 서울대학교 기계항공공학부

† 연락처자, enjis@snu.ac.kr

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

본 논문에서는 현재까지 알려진 튜브 내 고압 수소 가스의 누출에 의한 자발점화 현상에 대해 과열 압력에 따라 달라지는 특성을 밝히고자 하였다. 과열 압력이 10 MPa 의 경우, 압력 형상 경계 조건에 따라 점화 양상이 크게 다르게 발생함을 알 수 있었다. 공형 압력 경계 조건이 적용된 경우, 튜브 중앙에 vortex ring에 의한 혼합과 반응 영역이 발생하지만 부분 공형 압력 경계 조건에서만 중앙의 혼합 영역이 자발 점화에 영향을 미치며 완전 공형 압력 형상 경계 조건의 경우 중앙의 vortex ring이 쉽게 소멸되면서 전체적인 자발 점화에 큰 역할을 하지 못하는 것으로 관찰되었다. 대신 경계층에서 생성된 반응 영역은 충격파의 강도와 무관하게 지속적으로 증가하고 튜브 전체를 채우는 큰 화염으로 전파되면서 자발 점화를 유도하는 중요한 요소로 여겨진다. 이러한 현상은 평면 압력 형상 경계 조건의 경우에도 동일하게 나타났다.

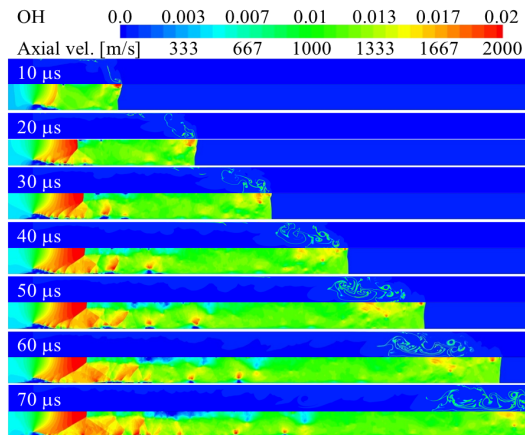


Fig. 3 부분 공형 압력 경계 조건

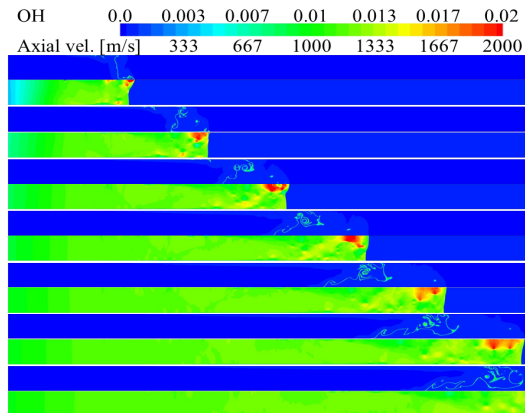


Fig. 4 완전 공형 압력 경계 조건

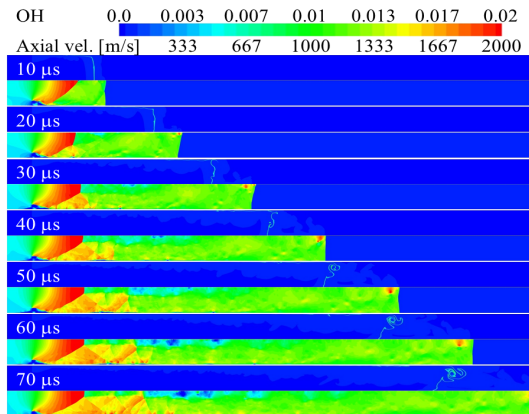


Fig. 5 부분 평면 압력 경계 조건

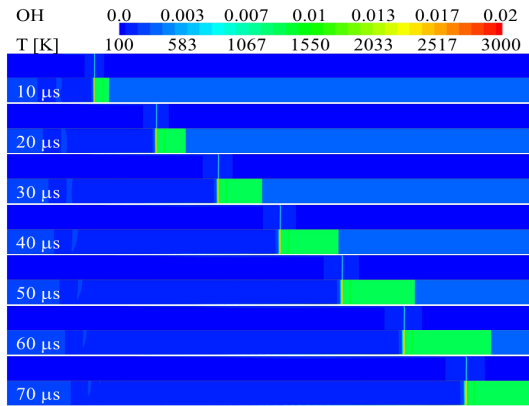


Fig. 6 완전 평면 압력 경계 조건

참고 문헌

[1] Dryer FL, Chaos M, Zhao Z, Stein JN, Alpert JY, Homer CJ. 2007, Spontaneous ignition of pressurized releases of hydrogen and natural gas into air, Combust Sci Tech, Vol. 179, No. 4

[2] Lee BJ, Jeung IS. 2009, Numerical study of spontaneous ignition of pressurized hydrogen released by the failure of a rupture disk into a tube, Vol. 34, No. 4

[3] Lee HJ, Kim YR, Kim SH, Jeung IS. 2011, 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, No. 2

[4] Kim YR, Lee HJ, Kim SH, Jeung IS. 2012, A flow visualization study on self-ignition of high pressure hydrogen gas released into a tube, Proceedings of the Combustion Institute, vol. 34, No. 2,