

폭굉제어기에 의한 수소, 아세틸렌 산소 혼합가스의 폭굉제어 Quenching Effects of Acetylene, Hydrogen-Oxygen Detonation

김 한 석* 문 정 기*
H. S. Kim J. G. Moon

ABSTRACT

Quenching effects of acetylene and hydrogen into oxygen detonation by using detonation arrester [DA] are studied in this paper. The experiments were carried out in cylindrical shock tube, 5m long, 30mm dia., with stoichiometric ratio [SR] of each gas and 10-120 μ Cell Size of brass and Stainless Steel of DAs were installed in it. To clarify arresting ability correlation with initial pressure, P_i , critical thickness, T_{ct} , and shapes of supporting panel of DA are also investigated.

It is found that

- detonation velocities has most dependency on P_i , it shows notable changes around 0.5Kgf/cm² for hydrogen, 0.15Kgf/cm² for acetylen respectively,
- DA can be safety device able to arrest shock wave of detonation,
- over T_{ct} flame transmission might be only the factor has to be considered,
- acetylene seems to be much more stronger detonation characteristics than hydrogen because of reaction heat.

1. 서론

가연성 가스와 산소가 혼합되어 있는 파이프 또는 L/D가 큰 파이프와 유사한 형태의 구조물

의 내부에 혼합가스의 농도가 소정의 폭발범위내에 있는 경우, 점화원에 의해 생성된 연소화염이 길이 방향으로 진행이 가속되어 초기압력의 30-40배 정도의 폭굉(detonation)으로 용이하게 발전한다.

*正會員 : 한국기계연구소 부설 해사 기술연구소

폭굉제어기(detonation arrester, DA)에 의한 폭

평역제의 실험은 해당재료의 소염효과를 이용한 것으로 현실적으로 제어기는 이러한 소염효과 뿐만 아니라 폭굉으로 부터의 충격파의 강도로 인한 자체의 파괴영향까지도 고려해야 한다.

폭굉의 폭굉제어기의 통과는 충격파에 의한 것, 반응가스에 열에 의한 것, 단순 연소화염에 의한 것등 3가지의 가정으로 구분할 수 있으며 이들이 단독 또는 복합적인 원인으로 기여하게 된다.

본 연구에서는 공업용 아세틸렌과 수소의 폭굉 제어를 목적으로 이론적 당량비로 예혼합한 가스를 충격관 실험을 통하여 소결금속 제어기의 통과여부에 대한 제어성능을 비교하였으며 초기압력의 영향, 재질별 임계두께 및 지지판(Supporting pannel)의 형상에 대해 검토하였다.

2. 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 계측장치, 가스 예혼합기, 충격관, 점화장치로 이루어져 있으며 또한 충격관(Fig. 1)내에 여러 종류의 DA를 장착할수 있는 지지대 (Fig. 2)를 이용하였다.

계측센서는 화염의 위치를 예측할 수 있는 Ionization Probe를 이용하였다. 이것은 연소에서 생기는 이온들에 의하여 유도되는 전기적저항의 변화로 화염의 위치를 감지할 수 있는 원리로 이

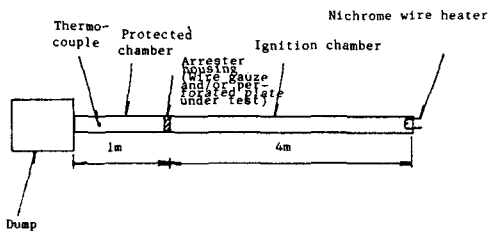


Fig.1 Schematic showing of detonation tube

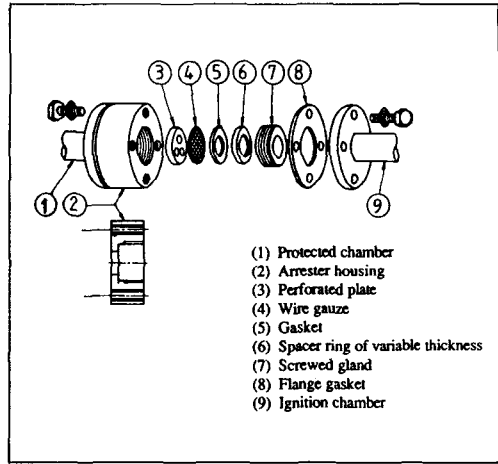


Fig.2 Arrester adapter and its components

루어져 있고 센서의 응답속도는 무한히 빠르다고 간주할 수 있으며, 센서를 점화원으로부터 60cm 간격으로 설치하여 각 센서로부터의 신호를 응답속10nS의 Universal Counter로 처리하였으며, 한편 DA 뒷부분에 화염의 통과 여부를 센서와 동시에 확인하기 위한 열전대 (CA, $\phi 0.3mm$)을 설치하여 기록계에 연결시켰다.

가스 혼합장치는 분압법에 의하여 혼합 가능하도록 간단한 구조의 저장탱크와 압력게이지로 구성하였고, 가스 폭발실험에 쓰인 충격관은 길이 5m, 직경 30mm, 두께 3mm의 것으로 중간의 여러 위치에 센서와 지지판을 용이하게 설치할 수 있게 설계하였으며, 충격관 뒷부분에 관의 직경을 크게 확대시킨 덤프를 설치하여 반사파에 의한 센서 및 DA의 파괴를 방지 하였다.

점화장치는 측정 센서의 잡음을 줄일 수 있도록 열선형을 사용하였는데 초기 점화 에너지에 의한 폭굉의 특성 변화를 피하기 위하여 직류 3V로 일정한 전압을 유지시켰다.

예비실험을 통하여 폭연으로부터 폭굉으로의 진행이 충분히 발전하였다고 예상된 지점인 점화원으로부터의 거리 4m 지점에 지지대를 설치하

였다. 이것은 두께 10cm까지의 DA를 부착이 가능하도록 제작 되었다. DA의 재질은 황동입자를 용융점 직전에서 가압하여 만든 황동소결 금속형과 스테인레스망을 가압하여 만든 스테인레스금망형의 두가지 종류를 사용하였고 조밀성에 의한 영향을 알아보기 위하여 cell size 10 μ , 40 μ , 70 μ , 100 μ 및 120 μ 의 5종류가 이용되었으며, DA 두께의 변화에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 예측을 위하여 최대 24mm의 것까지 두께를 변화시켜 사용하였다. 또한 폭굉파의 충격에 의한 DA파괴 방지를 위하여 DA뒷부분에 부착시켜 사용되는 지지판은 그것의 개구면적에 따라서 압력 손실에 큰 영향을 미치는데, 이 면적이 폭굉억제에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 6 종류의 넓이가 다른 지지판을 설계하였다.

DA의 충격파 통과에 대하여는 고압 헬륨가스에 의해 Mylar 격판을 파괴시킴으로써 발생된 충격파를 이용하여 확인하였다.

3. 실험방법

혼합가스는 분압법을 이용하여 조성을 하였는데, 본 실험에서는 수소와 아세틸렌의 산소에 대한 이론당량비로 혼합하여 사용하였다. 충격관내에 부착된 여러센서로부터의 각 채널의 시간차와 채널간의 거리로부터 초기압력에 대한 폭굉의 속도를 측정하였다. DA의 성능은 그것이 통과시킬 수 있는 혼합가스의 최소의 초기압력으로 하여 임계압력으로 표시하였으며 0.05Kgf/cm²의 간격으로 실험을 하여 각 DA의 임계압력범위 0.05Kgf/cm² 간격으로 예상하였다.

폭굉의 충격파의 DA의 통과에 대하여는 황동소결금속형의 DA와 철판에 있어서의 입사충격파와 반사충격파의 압력비로 예상하였다.

DA의 조밀성에 의한 억제효과를 파악하기 위하여 각 재질별로 cell size 10 μ , 40 μ , 70 μ , 100 μ , 120 μ 의 것을 사용하여 각각의 특성을 수소와 아세틸렌 혼합가스에 대하여 비교하여 보았다.

반응가스의 DA통과의 여부에 대한 영향을 검토하기 위하여 DA두께를 2mm에서 24mm까지 조절하여 반응가스의 통과에 따른 열손실을 변화시켜 그 결과를 분석하였다.

4. 실험결과 및 검토

수소 및 아세틸렌의 산소와의 당량조성비 혼합가스의 폭굉속도는 Fig. 3와 같다. 수소와 아세틸렌의 혼합가스의 폭굉속도는 초기압력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 얻을수 있다. 일반적으로 폭굉에 있어서 충격파는 화염으로부터 에너지를 공급받아서 진행되는데 혼합가스의 초기압력이 낮은 경우 화염으로부터의 상대적으로 발생 열량이 적기 때문에 관벽으로의 열손실 효과를 클 것으로 판단된다. 또한 수소의 혼합가스는 0.5Kgf/cm² 아세틸렌 혼합가스는 0.15Kgf/cm²을 고비로 속도의 증가 기울기가 완만해지는 것을 알 수 있으며 아세틸렌 혼합가스의 연소열이 310.6 Cal/mol인데 비하여 수소는 연소열은 68.3 Cal/mol로 낮기 때문으로 보인다.

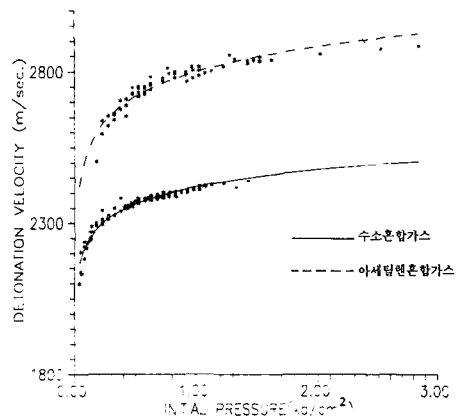


Fig.3 Detonation velocity of acetylene and hydrogen

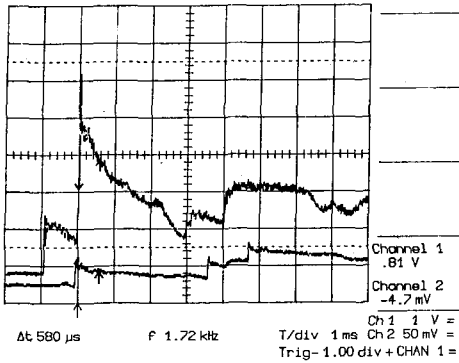


Fig.4 Shock wave and reflection wave on steel plate

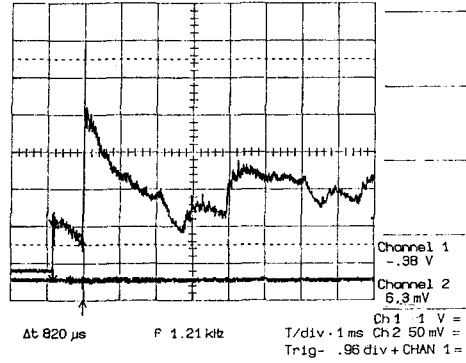


Fig.5 Shock wave and reflection wave on brass arrester(120 μ , 4t)

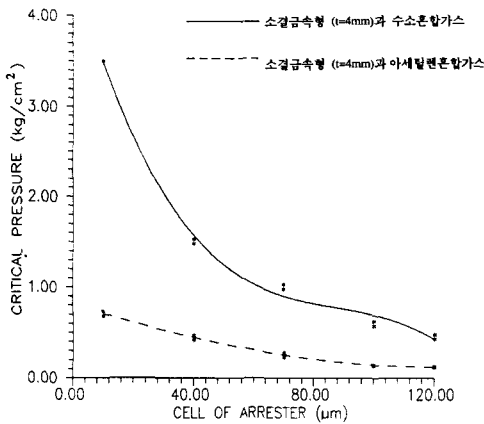


Fig.6 Effect of cell size in brass arrester

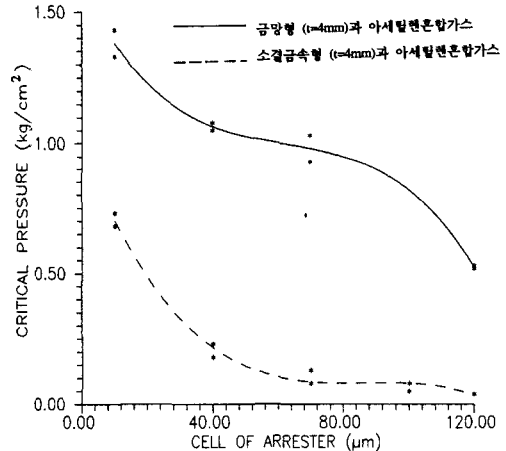


Fig.7 Effect of cell size in stainless and brass arrester

충격파의 억제에 대한 실험한 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다.

Fig. 4와 Fig. 5는 DA와 철판을 충격관 내에 설치하고 앞과 뒤부분 25cm의 위치에 설치한 피에조 압력센서로 부터의 계측한 각각의 결과이다. Fig.4와 Fig.5의 비교로 부터 입사충격파와 반사

충격파의 비를 보면 다공질의 DA나 철판의 경우에도 일치한 결과를 얻을 수 있었다. 이것으로부터 충격파는 DA를 통과하지 못함을 알수 있으며 결국 DA는 폭굉의 충격파를 모두 억제 즉 차단한다고 볼 수 있다.

조밀도에 의한 억제 성능은 Fig.6와 같은데 cell

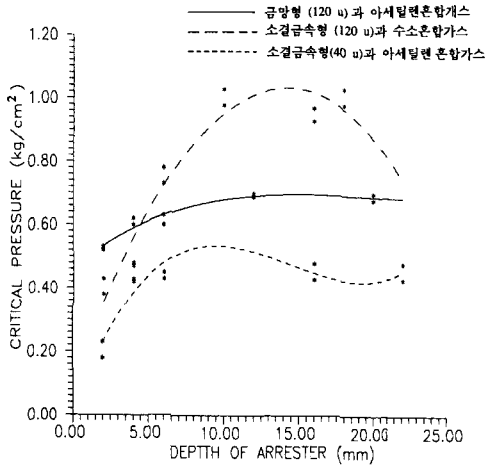


Fig.8 Effect of hole area of supporting Panel

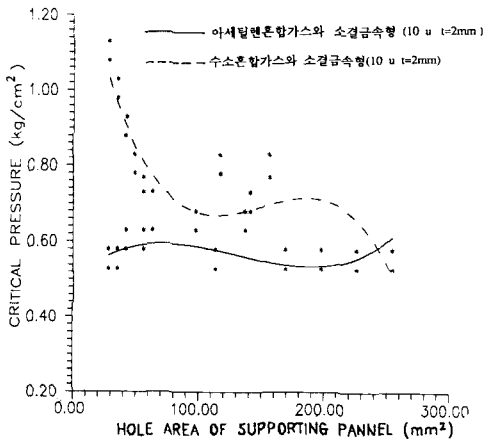


Fig.9 Effect of depth of arrester

size가 적을 수록 DA의 성능이 증가됨을 알 수 있으며 또한 같은 DA에 대하여 수소 혼합가스는 아세틸렌 혼합가스에 비하여 억제효과가 좋은 결과를 얻을 수 있었는데 수소 및 아세틸렌 가스의 최소점화 에너지가 0.02mJ로 같은 것으로 미루어

볼 때 위에서 언급한 반응열의 차이에 의한 결과로 예상 할 수 있다.

황동소결 금속형과 스테인레스금망형의 억제 성능의 비교는 Fig.7와 같다. 스테인레스금망형은 황동소결금속형 보다 훨씬 좋은 억제성능을 갖고 있음을 알 수 있다.

DA 두께에 따른 억제성능은 Fig.8과 같다. DA의 두께에 있어서는 수소가 아세틸렌 보다 영향을 많이 받음을 알 수 있는데 이것은 폭굉의 DA 통과에 있어서 반응가스의 역할이 아세틸렌 혼합가스의 폭굉보다 수소 혼합가스의 폭굉이 크다는 것을 예상할 수 있으며 각 DA는 어느 이상의 두께를 변화시켜도 억제성능이 변하지 않는 임계두께가 존재함을 알 수 있다. 이 임계두께 범위 내에서는 반응가스와 화염의 영향을 받지만 그 이상에서는 화염만의 통과라는 것을 알 수 있다.

또한 지지판의 개구면적에 대한 결과는 Fig.9과 같은데 수소혼합가스는 아세틸렌의 혼합가스보다 면적의 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

5. 결론

공업용 아세틸렌과 수소의 폭굉제어를 목적으로 각각의 폭굉의 특성과 폭굉제어기에 의한 억제 효과 실험을 행하였다. 실험을 통하여 대략 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 수소 및 아세틸렌의 폭굉속도는 초기압력에 대하여 영향을 받으며, 수소 혼합가스는 0.5Kgf/cm², 아세틸렌 혼합가스는 0.15Kgf/cm² 부근에서 속도의 변곡점을 얻을 수 있었다.
- 2) 폭굉의 충격파는 소결 금속형 폭굉제어기를 통과하지 못한다.
- 3) 지지판의 개구면적 크기는 수소가 아세틸렌 경우보다 영향을 많이 받는다.
- 4) 각 가스의 반응열의 차이는 폭굉억제성능에 직접적인 영향을 미치며 특히 그 비율은 속도의 변곡점과 일치한다.
- 5) 각 폭굉제어기는 수소 및 아세틸렌의 혼합가

스에 대하여 임계 두께를 갖으며 이 두께 이상에서는 반응가스의 통과보다는 화염의 진행에 의한 통과로 볼 수 있다.

후 기

본 연구내용은 과학기술처의 연구비 지원으로 수행 중인 '수소가스의 폭발재해 방지 기술개발' 결과 중의 일부이다.

참고문헌

1. ABRAHAM HASSON "Transition from Deflagration to Detonation, Spark Ignition, and Detonation Characteristics of Ethylene-Oxygen Mixtures in a Tube" *Combustion And Flame* 49: pp.13-26(1983)
2. 오규형, 김한석 "폭연에서 폭굉으로의 전이에 관한 실험적 연구"
화약에 관한 학술회의 연구논문 초록 pp.106-107.(1989).
3. 최연석, 김한석 "폭발성 가스의 폭굉 특성에 관한 연구"
한국연소학회 제5회 학술강연회 초록집 pp.5-7.(1989).
4. 최연석, 김한석 "폭발성 가스의 폭굉 억제에 관한 연구"
한국화공학회 1991년도 춘계 학술대회 논문 초록 pp235.(1991).
5. Brochet, C. and Sayous, M. *Progress in Astronautics and Aeronautics Vol. 75 Gasdynamics of Detonation and Explosions* p. 73. (1981).
6. A. K. Oppenheim, N. Manson and H. G. Wager. *AIAA Journal*, 1, p. 2243(1963).
7. J. H. Lee, *Astronautica Acta* 17:455 (1972).
8. R. A. Strehlow. *Fundamentals of Combustion*. Scranton, Pa.: International Textbook co., 1968, 287-352.(1965).
9. A. K. Oppenheim, N. Manson and H. G. Wagner "Recent Progress in Detonation Research", *AIAAJ.*, Vol. 1, pp.2243-2252.(1963).
10. J. J. Lee, R. I. Soloukhin and A. K. Oppenheim "Current View's on Gaseous Detonation" *Astronautica Acta*, Vol. 14, pp. 565-584, (1969).
11. 문정기 외 "수소가스의 폭발재해 방지기술개발"(I) 과학기술처 UCN206-133D(1990).