

다점점화에 의한 수소기관의 역화발생 억제효과에 관한 검토

김윤영*, 이창욱*, 이종태**

*성균관대학교 대학원, **성균관대학교 기계공학과

Extension of Backfire Limited Equivalence Ratio in Hydrogen Engine by Using Multi Point Ignition Method

Y. Y. Kim*, C. W. Lee*, Jongtal Lee**

*Grad. School of Sungkyunkwan Univ.

**School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.

300 Chunchundong Janganku, Suwon, Gyeonggi-do, 440-746, Korea

ABSTRACT

Backfire occurrence must be controlled for the practical use of hydrogen fueled engine. It was found from preceeding studies that crevice volume around piston rings could effect a backfire occurrence. In this study, a possible countermeasure to backfire occurrence was evaluated by using multi point ignition method around piston ring. The results showed that backfire limited equivalence ratio was increased by a little due to a enhancing effect of mixture combustion around piston crevice volume.

주요기술용어 : Backfire(역화), Crevice volume(크레비스 체적), Multi point injection(다점점화), Backfire limited equivalence ratio(역화한계당량비), Hydrogen engine(수소기관)

1. 서 론

고효율 및 고출력 수소기관을 실용화하기 위해서는 흡기관 분사식 수소기관에서 발생하는 역화의 억제가 반드시 선결되어야 한다^{1,3)}.

종래의 연구에 따르면, 수소기관에서 발생하는 역화는 연소실내에 생성되는 열점이 주요 원이라고 주목되어 왔다^{4,5)}. 그러나 냉시동시에도 역화가 발생하는 현상으로부터 또다른 역화발생요인이 존재할 가능성이 제기되고 있다^{6,7)}.

저자들은 수소연료의 소염거리가 가솔린 연료의 경우에 비해 현저히 작고 현재 연구중인 수소기관들이 기존의 가솔린 기관을 개조하였다는 것으로부터 연소실내의 crevice에 존재하는 불균질한 혼합기가 느린연소를 하여 역화가 발생하는 가능성을 제기하였다^{8,9)}. 또한 연소실내 crevice중 가장 큰 피스톤 탭랜드부의 crevice의 크기를 변화시킴으로써 역화한계를 확장시키는 것이 가능함을 확인한바 있다¹⁰⁻¹²⁾. 그러나 피스톤 탭랜드 crevice내의 혼합기가 충분히 연소될

정도로 탑랜드부의 clearance를 확장시켰지만 역 화발생을 완전히 억제하지 못하였다. 이것은 피스톤의 세컨드 랜드 및 링구르부까지 화염이 도달하지 못하여 이부분의 혼합기가 완전연소하지 못하고 연소실내로 역류되는데 기인한 것으로 생각된다.

점화플러그가 위치하는 연소실 벽표면 근방의 혼합기는 연소시 고온의 가연가스에 노출되는 기간이 길어 완전연소가 가능하다^{13,14)}. 따라서 피스톤 링 근방에서 다점점화를 하여 피스톤부의 crevice volume내에 있는 혼합기의 연소를 촉진시킨다면 역화발생 억제효과가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 피스톤 링 근방에 다수의 점화 위치를 갖는 다점점화에 의해 피스톤 crevice volume내의 혼합기 연소를 촉진시킬 경우의 역화한계당량비를 파악하여 다점점화에 의한 역화 발생 억제 가능성에 대해 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험에 사용된 수소기관의 개략도를 나타낸다. 실험기관은 단기통 공냉식 농공용 가

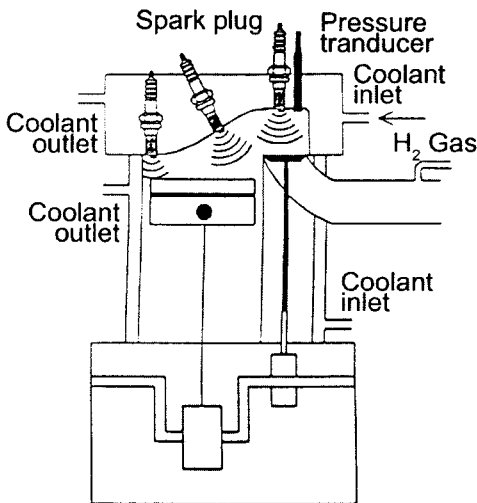


Fig. 1. Schematic diagram of hydrogen fueled engine.

Table 1. Specification of test engine

Engine type	4 stroke L-head
Number of cylinder	1
Cooling type	Water cooling
Ignition method	Spark ignition
Displacement volume	433cc
Compression ratio	5.5
Bore × Stroke	90mm × 68mm

솔린 기관의 연료공급계통을 제거하고 흡기관에 내경 5mm의 수소공급관을 삽입하여 흡기관내 공급식 수소기관으로 개조하였다. 수소가스는 연속 분사방식으로 공급되며 분사압력은 1.5bar로 일정하게 유지하였다. 공랭식 base 기관의 실린더 헤드와 블록에 냉각수통로를 설치하여 수냉식으로 개조하였다. 냉각수는 직수로 공급되며, 냉각수 통로의 출구에 니들밸브와 열전대를 설치하여 냉각수 온도를 조절할 수 있도록 하였다. 수소기관의 주요제원을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 2는 실린더 헤드에 설치된 점화플러그들의 위치를 나타낸다. 설치된 점화플러그의 개수는 총 5개이다. 1개는 base 기관의 점화플러그

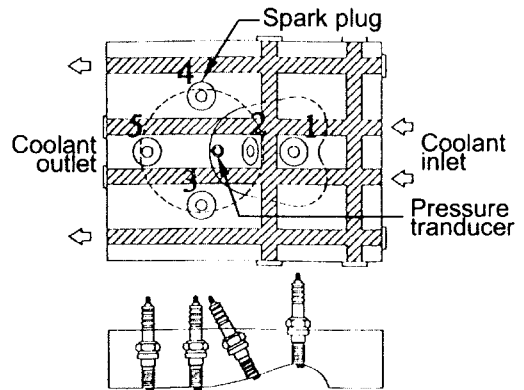


Fig. 2. Location of spark plug installed for multi point ignition.

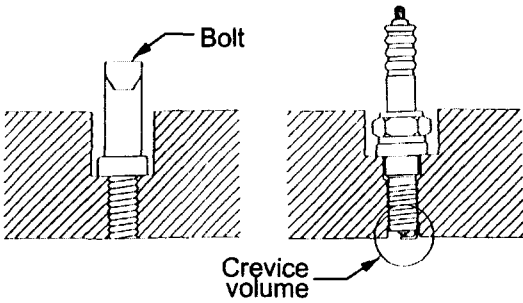


Fig. 3. Schematic diagram of removing spark plug crevice by using bolt.

위치에 설치하였으며, 나머지 4개는 점화플러그의 선단이 피스톤의 크라운 엔드부의 원주방향에 등간격으로 위치하도록 하였다.

실험은 기준기관의 점화플러그 위치에 삽입된 1번 점화플러그 만을 점화시켰을 경우와 다점점화로소 1번과 2번을 점화시켰을 경우, 1번을 제외한 2, 3, 4, 5번을 점화시켰을 경우, 그리고 1, 2, 3, 4, 5번을 모두 점화시켰을 경우의 역화한계당량비를 파악하는 것이다. 이후 각각의 점화방식은 1점점화, 2점점화, 4점점화, 5점점화라 칭한다. 각 실험시 사용하지 않는 점화플러그는 이 부분의 crevice에 의한 역화발생을 배제하기 위

해 Fig. 3과 같이 점화플러그 대신 맞춤 가공한 황동제 볼트를 삽입하였다.

다점점화시스템의 점화장치 회로도에는 Fig. 4와 같다. 점화장치에서 검출된 트리거 신호는 증폭회로를 거쳐 각 5개의 power TR로 전달되며, 각각의 TR에 독립적으로 연결되어 있는 점화코일에 의해 스파크가 발생한다. 각 점화위치에 따라 독립적으로 점화여부를 제어할 수 있도록 각 점화코일에는 on-off 스위치를 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 crevice 근방에서의 점화에 의한 역화억제 효과

Fig. 5는 연소실내 crevice 근방에서 점화를 한 경우와 점화를 하지 않은 경우의 역화한계당량비를 각각의 냉각수 온도에 대해 나타낸 것이다.

냉각수 온도가 50°C인 경우, crevice 근방에서 점화를 한 경우의 역화한계당량비는 점화하지 않은 경우에 비해 다소 확장됨을 나타내고 있다. 이것은 전술한 바와같이 점화플러그가 위치하는 부근이 고온의 기연가스에 노출되는 기간이 길

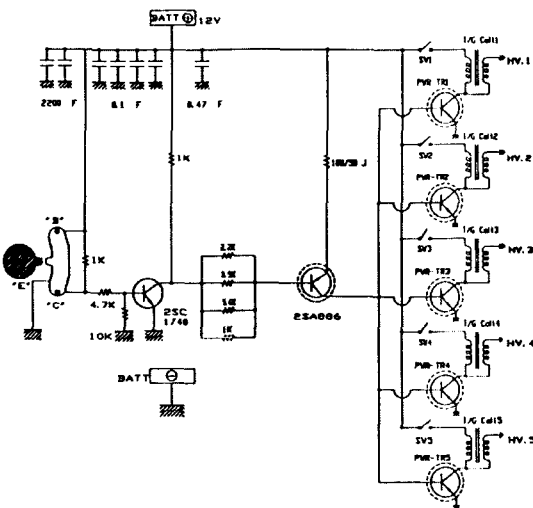


Fig. 4. Electric circuit of ignition unit.

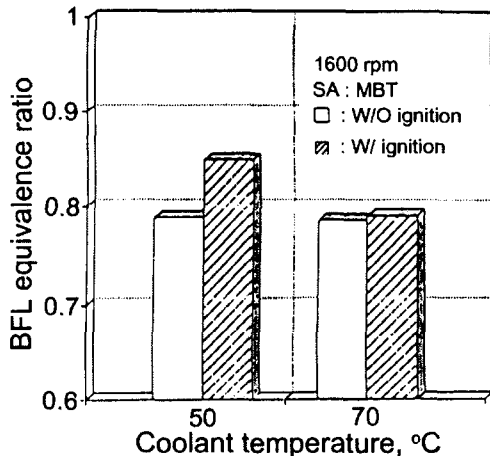


Fig. 5. Comparison of BFL equivalence ratio in case of igniting nearby crevice with that of not ignition.

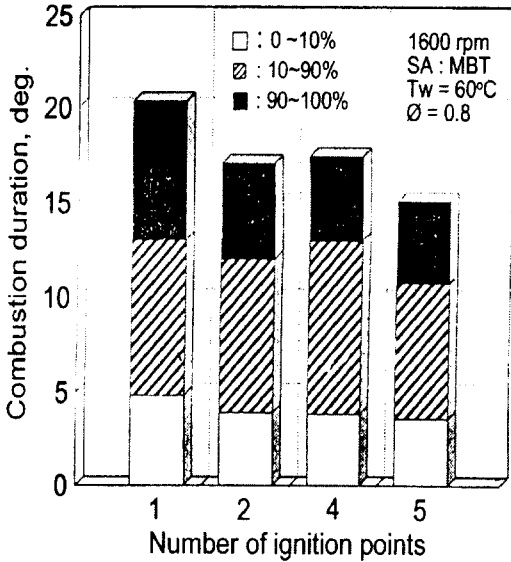


Fig. 6. Combustion duration for number of ignition points.

어 crevice내의 혼합기가 빠른 연소를 하는데 의한 것이라 생각된다. 그러나 냉각수 온도를 70°C로 증가시킨 경우, crevice 부근에서 점화를 하지 않은 경우와 점화한 경우의 역화한계당량비는 큰 차이를 보이지 않는다. 냉각수 온도가 상승하면 연소실 벽면의 온도도 증가하게 되며, 이는 crevice내의 혼합기 연소를 촉진시키는 결과를 가져온다. 그러므로 냉각수 온도 70°C에서는 crevice 근방에서의 점화 없이도 이 부분의 혼합기가 원활히 연소하여 역화발생에 그다지 영향을 미치지 못한 것으로 추정된다.

상기 결과로부터 crevice내에 있는 혼합기의 연소조건이 좋지 않을 때 그 근방에서의 점화는 혼합기의 연소를 촉진시키는데 유효한 것으로 생각된다. 이로 미루어 피스톤 링 근방에 다수의 점화플러그를 설치하여 점화시키는 다점점화는 피스톤 crevice에 존재하는 불균일 혼합기의 연소를 촉진시켜 역화한계당량비를 확장시키는 것이 가능하리라 판단된다.

3.2 다점점화시의 역소촉진 효과

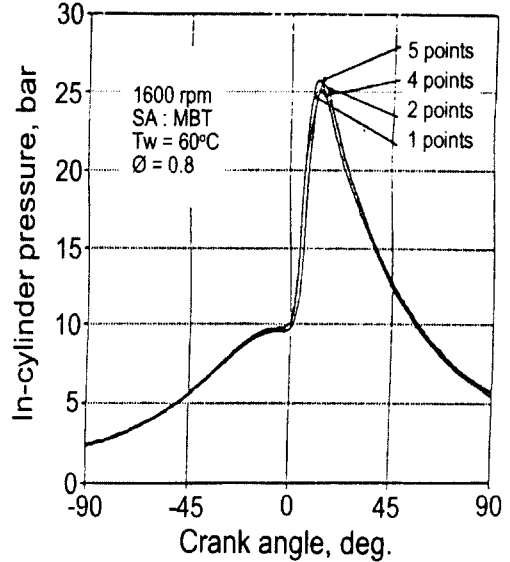


Fig. 7. In-cylinder pressure for number of ignition points.

Fig. 6은 각 점화방식에 대한 연소기간과 이를 0~10%, 10~90% 및 90~100% 연소구간으로 구분하여 나타낸 것이다. 이 경우 냉각수 온도는 60°C이며, 연료공기당량비는 $\phi=0.8$ 이다.

연소기간은 주로 점화위치 및 점화플러그 개수의 차이에 따른 화염전파거리 및 화염성장면적에 의존한다. 이로 인해 연소기간은 1점점화보다 다점에서 점화할수록 전반적으로 감소한다. 세부적으로 살펴보면 Ricardo 연소실의 바깥쪽에 위치한 피스톤 링 부근에서만 점화는 4점점화의 경우가 연소실의 중심 및 피스톤 링 부근에서 점화하는 2점점화보다 오히려 약간 증가하는 것을 나타낸다. 10~90% 연소기간인 주연소기간은 화염성장면적의 차이에 의해 4점점화를 하는 경우가 가장 크다. 90~100% 연소기간은 후연소기간은 1점점화가 다른점화에 비교하여 현저히 길다. 이것은 점화플러그로부터 멀리 떨어진 피스톤 crevice부 근방에 존재하는 혼합기가 늦은 연소를 하여 역화발생에 영향을 줄 수 있다는 것을 나타내는 것이다.

Fig. 7은 각 점화방식에 대한 실린더내 압력

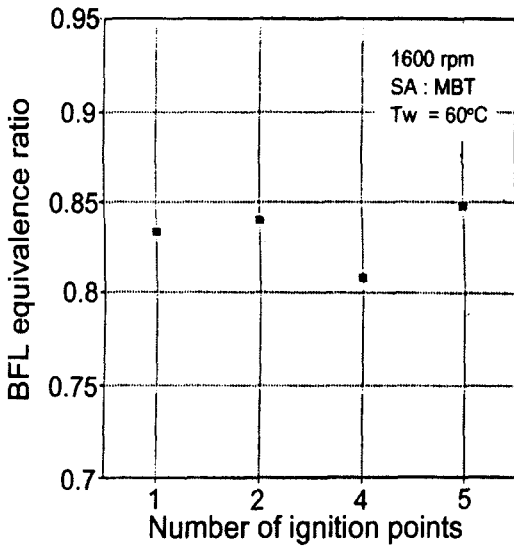


Fig. 8. BFL equivalence ratio for number of ignition points.

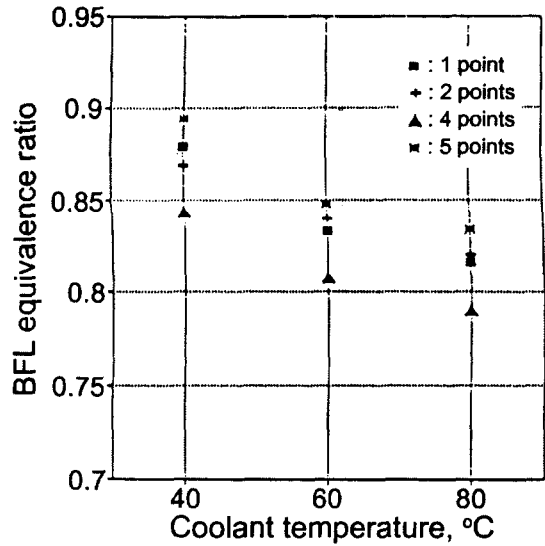


Fig. 9. BFL equivalence ratio as a function of coolant temperature for number of ignition points.

을 상기조건에서 측정하여 비교한 것이다. 점화 방식에 따라 압력상승구배 및 최고압력은 차이를 나타내며, 최고압력은 5점점화, 2점점화, 1점점화 그리고 4점점화의 순이다. 실린더내의 가스 압력은 운전조건이 동일하므로 각 점화방식에 따른 가스로부터 벽면으로의 열손실차가 벽면에 접하는 열전달 면적에 의해서 좌우된다. 따라서 연소실의 중심 및 피스톤링 부근의 4곳에서 다점점화하는 5점점화시의 실린더내 압력이 가장 높게 나타난다. 그리고 4점점화의 경우는 착화된 화염이 초기부터 연소실 벽면에 접하게 되므로 연소기간이 가장 긴 1점점화보다도 최고압력이 낮은 것을 나타낸다.

상기와 같은 연소기간 및 실린더내 최고압력의 결과로부터 5점점화의 경우가 다른 점화방식에 비해 연소촉진효과가 가장 큰 것을 알 수 있었다.

3.3 다점점화에 의한 역화한계당량비 확장

Fig. 8은 각 점화방식에 대한 수소기관의 역화한계당량비를 나타낸 것이다. 역화한계당량비

는 4점점화를 제외하고는 점화플러그의 수가 늘어날수록 약간씩 증가하는 경향을 보인다. 다점점화를 할 경우 전술한 바와같이 피스톤링의 상부에 위치한 점화플러그로부터 전파된 화염이 초기에 피스톤 랜드부의 crevice에 도달한다. 이로 인해 고온의 기연가스와 crevice부가 접하는 기간이 길어지게 된다. 이것이 피스톤 랜드부 및 링구르부의 혼합기 연소상태에 영향을 주어 역화한계당량비가 증가한 것으로 생각된다. 이와같이 다점점화한 경우 역화한계당량비가 점진적으로 증가하므로 역화발생에 영향을 주는 불균질한 혼합기가 피스톤 crevice내에 폭넓게 분포함을 추정할 수 있다. 피스톤링 부근에서만 점화시킨 4점점화의 경우 점화초기부터 고온의 연소가스가 피스톤 crevice부와 접하지만 화염전파거리의 증가 및 화염성장율의 감소에 의해 1점점화보다도 약 2.5% 낮은 당량비 영역에서 역화가 발생하였다.

연소실 벽면온도의 변화는 crevice내의 혼합기 연소상태에 영향을 주므로 각각의 점화방식에 대해 냉각수 온도를 변화시켰을때의 역화한계당

량을 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 9와 같다. 냉각수 온도가 변화함에 따라 역화한계당량비는 모두 확장되므로 다점점화가 역화억제에 어느정도 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나, 역화한계당량비의 증가는 평균 약 1~2%정도로써 다점점화법에 의한 역화한계당량비 확장효과는 그리 크게 나타나지 않았다.

이것은 피스톤 탑랜드부의 clearance가 작음으로 인해 고온의 기연가스가 피스톤 랜드부 혼합기의 연소에 큰 영향을 미치지 못한데 의한 것이라 생각할 수 있다. 또한 피스톤링 부근에 4개의 점화위치를 갖는 다점점화시의 화염전파 형상을 고려하면, 각 플러그로부터 착화된 화염이 처음부터 피스톤 랜드 crevice부로 전파되어도 연소말기에야 화염이 이르는 영역이 존재하게 된다. 이로 인해 이 부분의 혼합기가 불완전연소를 하여 다점점화에 의한 역화억제효과가 크게 나타나지 않은 것이라고도 생각할 수 있으므로 추후 이에대한 상세한 검토가 필요하다.

4. 결 론

수소기관의 피스톤 crevice부내의 불균질한 혼합기를 다점점화에 의해 조기연소 시킴으로써 역화한계당량비를 확장시키는 가능성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

피스톤링 부근에 다수의 점화위치를 갖는 다점점화의 경우, 피스톤 crevice부의 혼합기가 고온의 기연가스에 노출되는 기간의 증대와 화염전파거리의 감소 및 화염면적의 증가에 의한 연소촉진효과로 역화한계당량비는 전반적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 역화한계당량비의 확장이 가장 큰 5점점화라도 확장폭은 그리 크지 않음이 보여졌다. 이것은 피스톤 탑랜드부의 clearance가 작고 국부적으로 고온의 기연가스에 접하는 기간이 짧은 부분이 존재하여 피스톤 crevice부 혼합기의 연소촉진이 다소 미흡한데 기인한 것으로 생각된다. 추후 이에대한 다방면의 추가적 고찰이 필요하다고 생각된다.

후 기

본 연구는 에너지자원 기술개발지원센터의 지원하의 대체에너지 기술개발사업의 일환으로 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 1) S. Furuhama : "Trend of Social Requirments and Technical Development of Hydrogen-Fueled Automobiles", JSME Review, Vol. 13(1991), pp.4-13.
- 2) 이종태 : "수소기관의 개발현황 및 특성", 한국자동차공학회지 Vol.18, No.2(1996), pp.29-52.
- 3) F. E. Lynch : "Backfire Control Techniques for Hydrogen Fueled Internal Combustion Engines", Proceedings of Hydrogen Energy, Part B(1974), pp.686-696.
- 4) 백성호, 박재범, 김윤영, 이종태 : "수소기관의 역화한계당량비 확장에 관한 연구", 한국수소에너지학회, 수소에너지학회지, Vol.8(1998), No.3, pp.111-119.
- 5) S. Furuhama : "Combustion Improvement in a Hydrogen Fueled Engine", Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 2, No. 3(1977), pp.329-340.
- 6) K. Koyanagi, M. Hiruma, S. Furuhama : "Study on Mechanism of Backfire in Hydrogen Engine", SAE Technical paper(1994), pp.99-106.
- 7) Jong T. Lee, Y. Y. Kim, C. W. Lee, J. A. Caton : " An Investigation of a Cause of Backfire and Its Control Due to Crevice Volumes in a Hydrogen Fueled Engine", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 123(2001), pp.204-210.
- 8) 이창욱, 오태석, 김윤영, 이종태 : "수소기

- 관의 역화발생에 미치는 crevice volume의 영향에 관한 연구”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집Ⅱ(1996), pp.646-651.
- 9) 이창욱, 오태석, 김운영, 이종태 : “Piston top land부의 crevice volume의 크기가 역화한계에 미치는 영향”, 한국수소에너지학회, 춘계학술대회 초록집(1996), pp.44-49.
- 10) H. K. Choi, J. Y. Ahn, Y. Y. Kim, J. T. Lee : "A Basic Study on the Extension of External Injection Region in Hydrogen Fueled Engine with Dual Injection", The 5th Korea-Japan Joint Symposium(1999), pp.237-248.
- 11) 김운영, 이창욱, 이종태 : “Blow-by가스가 수소기관의 역화발생에 미치는 영향”, 한국자동차공학회, 춘계학술대회논문집(1997), pp.207-212.
- 12) 최한규, 김운영, 이종태 : “고효율 고성능의 이중분사식 수소기관 개발에 관한 연구(흡기관 분사영역 확장을 위한 역화억제의 검토)”, 한국수소에너지학회, 춘계학술대회 초록집(1999), pp.107-116.
- 13) J. B. Heywood : Internal Combustion Engine Fundamental, MacGrawHill(1988)
- 14) V. Ganesan : Internal Combustion Engine, MacGrawHill(1996)