

천연가스 연소특성에 관한 연구

백두성*, 이성욱**

*대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

**국민대학교 자동차전문대학원

e-mail:dsbaik@daejin.ac.kr

A Study on Combustion Characteristics of CNG Fuel

Doo-Sung Baik*, Seoung-Wock Lee**

요 약

본 논문에서는 CNG 연료를 고압분사시 연소 특성에 관한 데이터를 확보하고자 한다. 실험은 연소실내의 분사압력과 점화시간을 다양하게 할 수 있는 정적연소상태에서 이루어졌다. 광학적인 실험장치가 연소 특성을 파악하기위해서 공학적인 실험장치가 이용되었다. 이러한 연구는 차후 CNG를 고압연소분사시 형성되는 연소특성에 대한 중요한 기초적인 자료가 될 것이다.

1. 서론

최근 내연기관의 연료인 화석 연료의 사용량이 계속 증가하여 이로 인해 배출되는 가스 중 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물, 입자상물질 및 이산화황에 의한 대기환경오염과 이산화탄소의 배출 증가에 의한 지구온난화현상과 같은 환경문제에 직면하게 되었다. 이에 대한 대처방안의 한가지로 천연가스를 연료로 사용한 대체연료 자동차가 개발되었으며 현재 시내버스에 적용하여 운행 중에 있다.

그러나 이 천연가스(CNG) 차량은 기체연료이기 때문에 체적효율이 기존 차량에 비해 낮고 그로인한 출력저하가 문제시 되고 있다. 또한, 디젤 차량에 비해 PM과 같은 유해물질 배출이 현저하게 적으나, 메탄에 대해서는 아직은 저감기술이 미비하다. 이것은 현재 국내의 천연가스버스에 적용되고 있는 MIXER방식과 SPI(Single Point Injection) 또는 TBI(Throttle Body Injection)방식이 연료제어가 정밀하지 못한 원인으로 고려된다. 이와 같은 문제들의 해결방안으로, 지난 연구에서는 연료를 실린더 내에 직접분사하는 방식인 DI(Direct Injection)

CNG에 대한 가능성에 대해 논하였으며 그로부터 실효성을 입증하였다.

이에 본 연구에서는 천연가스의 직접분사방식 연소에 대해서 그에 따른 연소특성을 파악하고자 한다. 실험에 있어서는 당량비, 점화시기, 분사압 등을 설정할 수 있는 정적연소기를 사용하였으며 연소압력과 배출가스를 측정하였다. 이를 통해서 연소기내의 분사압 및 점화시기 조정에 따른 여러 조건을 통한 천연가스의 연소특성에 대해서 기초적인 자료를 제공하고 직접분사방식의 CNG엔진 개발하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험기기의 개략도를 나타내었다. 정적연소기는 실제 엔진을 대상으로 하기 위해 대형엔진에 상응하도록 직경은 123mm, 폭은 30mm로 제작하였으며 연소기 주변에는 흡기밸브, 배기밸브, 압력센서, 점화를 위한 전극, 가스분사를 위한 인젝터가 장착되어 있다. Table 1에 각 실험조건을 정리하였다.

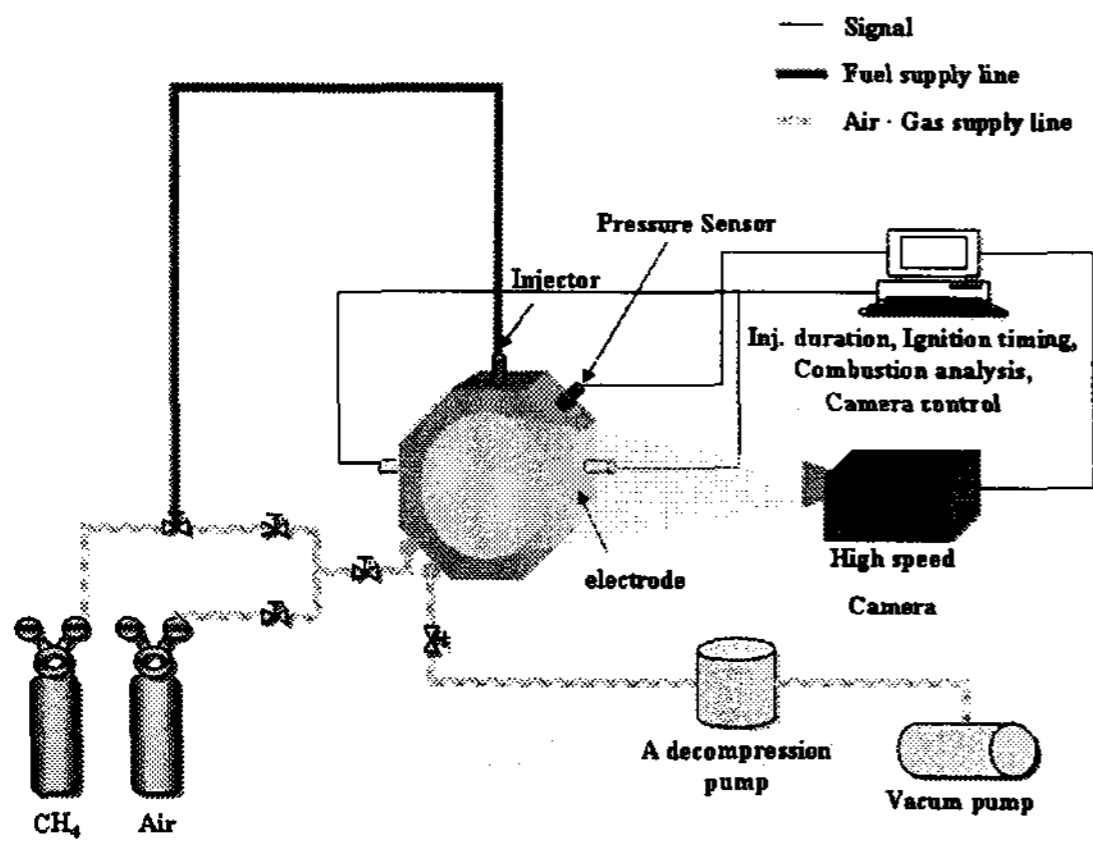


Fig. 1. Experimental apparatus

Table 1. Experimental condition

Fuel	Natural-gas (CH ₄ 99.9 %)
Equivalence ratio (ϕ)	0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4
Ignition timing [ms]	AEOI* 20,50,100
Ambient Pressure (P _a , gauge)[MPa]	1.0
Inj. Pressure (P _i , gauge)[MPa]	3, 5
Ignition position	The center of CVC
Nozzle Diameter (d _N)[mm]	0.6

* AEOI : After End of Injection

2. 결과 및 고찰

Fig. 2는 점화시기 AEOI 20ms, 당량비 $\phi=0.8$, 분위기압 1MPa의 조건으로 분사압을 3MPa, 5MPa로 변경시켜가며 실험한 결과이다. 분사압 3MPa의 경우 5MPa에 비해 화염이 아래쪽으로 치우친 경향을 보이고 있는데 이것은 분사기간이 길어 그에 따른 가스유동효과로 인한 것으로 고려된다.

Fig. 3는 $\phi=0.8$, 분사압 5MPa, 분위기압 1MPa의 조건으로 점화시기를 변경시켜가며 관찰한 화상을 보여준다. 점화시기 AEOI 20ms에서는, 점화직후에 생기는 화염은 분사방향으로 형성이 되며 동시에 연소 영역이 급속히 확대된다. 이때, 화염의 형상은 불안정하게 발전함을 볼 수 있다. 한편, 점화시기 AEOI 100ms에서는 분류에 따른 유동이 줄고, 화염의 표면은 비교적 안정화되고 있는 것을 확인할 수 있으며 점화위치를 중심으로 대체로 원형 화염과 비슷한 형태로 발전함을 볼 수 있다. 단, AEOI 20ms로부터 점화를 앞당기면, 분무에 따른 가스유동으로 인해 강한 화염으로 발달하기 전에 점화핵이 소실하여, 점화가 실화된다.

Fig. 5은 이들 조건에 있어서 얻을 수 있는 연소실내의 압력선도를 나타낸 것이며 예혼합 연소압력과 비교하여 나타내었다. 위에서 언급하였듯이 점화시기 AEOI 20ms와 같은 분사종료 후 약간의 시간이 경과한 조건에서는 점화위치 근방에 가연성 혼합기가 많이 분포하여, 분사된 연료에 의한 가스유동에 의해서 급격한 연소를 하고, 시간이 어느 정도 지나 예혼합기가 형성이 되면 가스유동이 약해서 연소가 완만하게 되고, 예혼합 연소에 가깝게 나타난다.

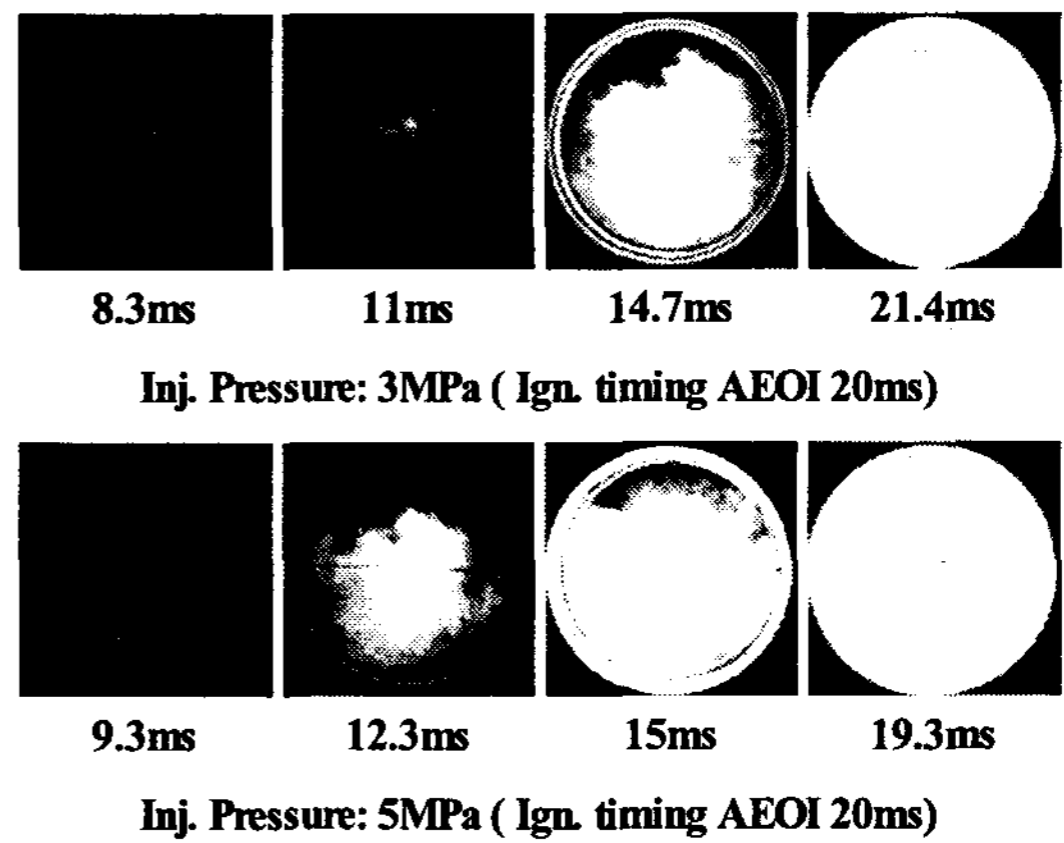


Fig. 2. Combustion images for various injection pressure

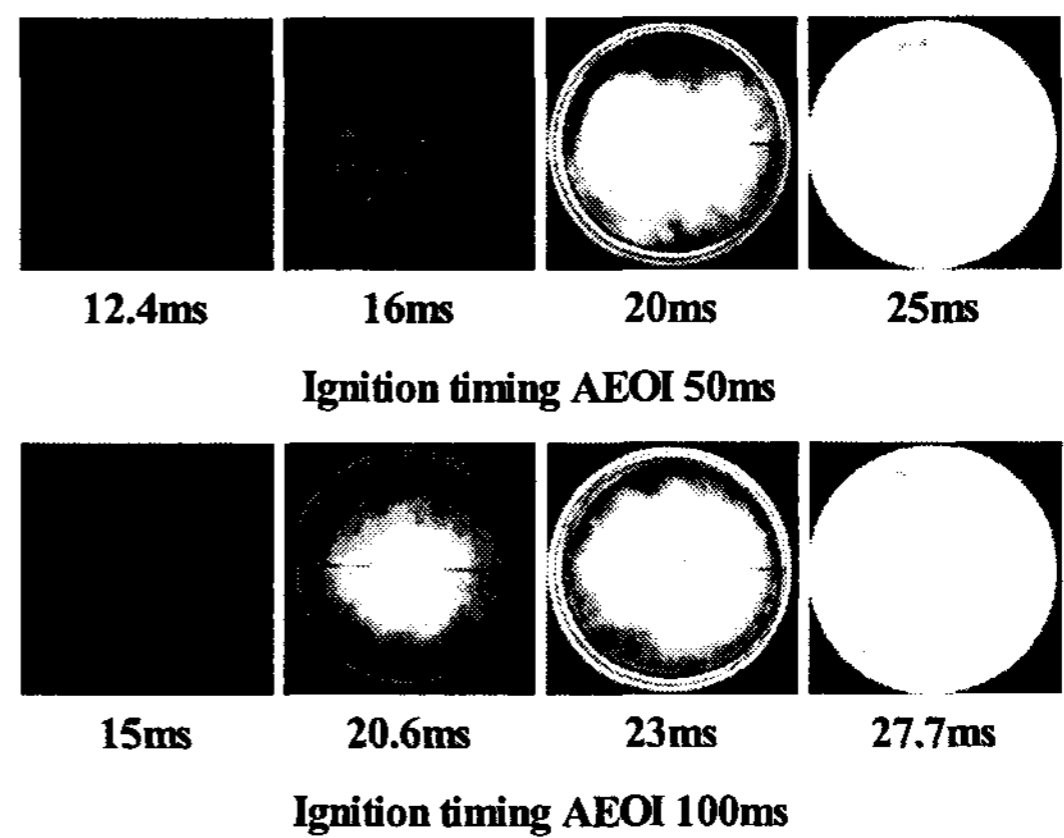
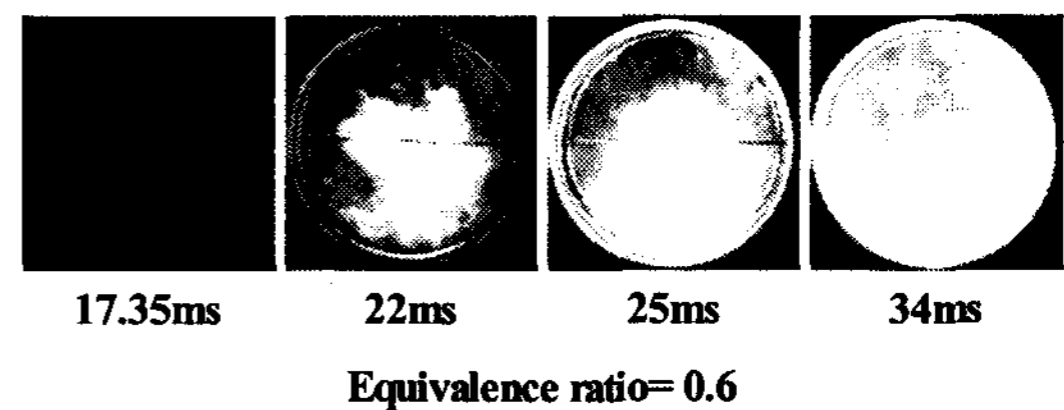


Fig. 3. Combustion images for various ignition timing



Equivalence ratio=0.6

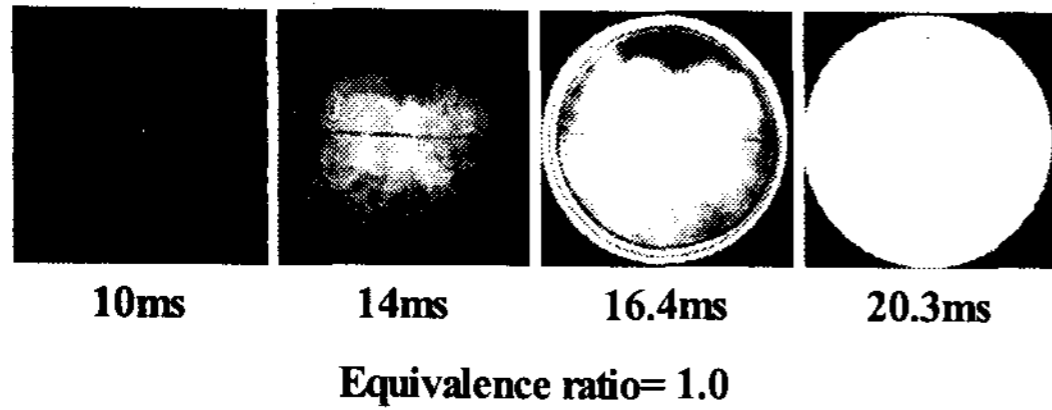


Fig. 4. Combustion images for various equivalence ratio

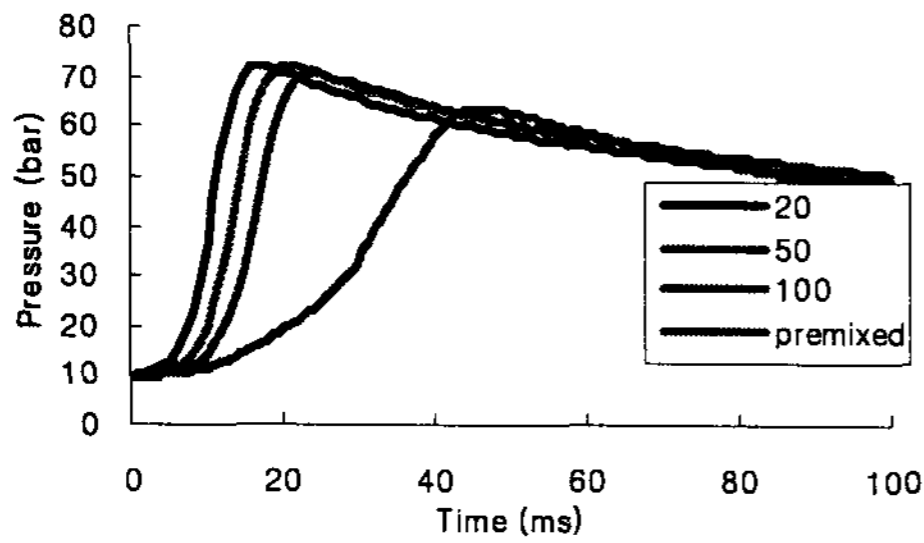


Fig. 5. Combustion pressure for various ignition timing

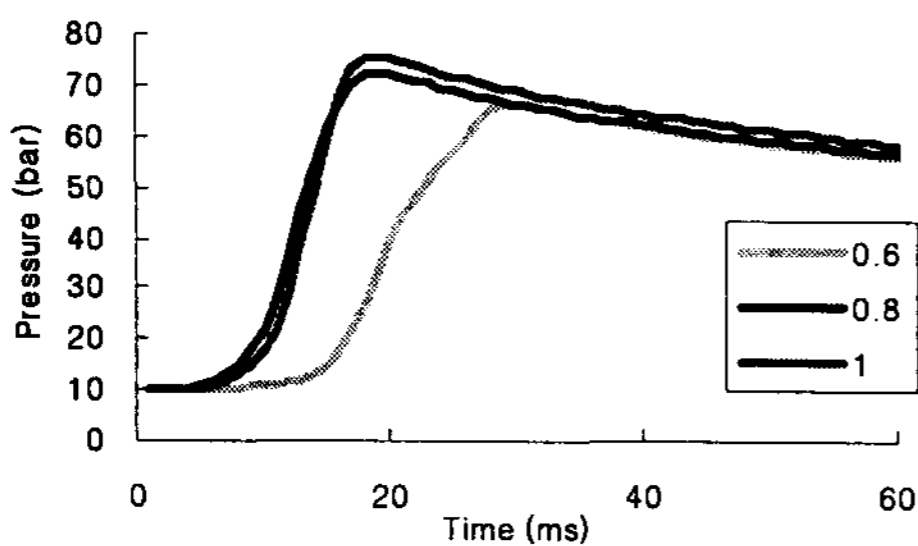


Fig. 6. Combustion pressure for various equivalence ratio

Fig. 4에서는 당량비에 따른 연소 화염을 볼 수 있다. 당량비가 0.8과 1.0에서는 비슷한 화염 형태를 보이고 있지만 0.6인 조건에서는 화염이 아래쪽으로 치우치면서 화염이 노란빛을 띄며, 화염이 벽면에 도달하는 시간이 지체되는 것을 볼 수 있다. 그 압력비교를 그림 Fig. 6에 나타내고 있다. 0.8과 1.0에서는 비슷한 연소속도를 보이는 한편 0.6에서는 화상에서 본 것처럼 압력상승이 다른 조건에 비해 더딘 것을 볼 수 있다. 하지만 예혼합 연소에 비교해 볼 때 당량비가 0.6과 같이 희박한 조건에서 비교적 빠른 연소속도와 높은 압력을 갖는 것으로부터 직접분사식 천연가스연료의 적용가능성을 확인할 수

있다.

측정한 결과 각각의 통과 대역폭 내에 0.4db, 0.8db이내에 삽입손실과 -20db의 반사손실이 됨을 실험결과를 통해 알 수 있고 또한, 인덕터의 구현 방법을 마이크로스트립으로 하여 주파수 특성과 재현성을 높였다.

3. 결론

천연가스의 연소특성에 대해서 정적연소기를 사용하여 분사조건과 점화조건을 변화시켜가며, 압력 및 화염의 가시화 계측으로부터 이하의 견해를 얻었다.

1. 점화시기 AEOI 20ms 에서는, 점화직후에 생기는 화염이 분사방향으로 형성이 되며 동시에 연소 영역이 급속히 확대되면서 불안정하게 발달하고, 시간이 어느 정도 지나 예혼합기가 형성이 되면 가스유동이 약해서 연소가 완만하게 되며 예혼합 연소에 가깝게 나타난다.
2. 당량비가 0.6과 같이 희박한 조건에서 비교적 빠른 연소속도와 높은 압력을 갖는 것으로부터 직접분사식 천연가스연료의 적용가능성을 확인할 수 있다.

참고문헌

- [1] Yuki Matsui, Rintaro Kajiwara, Ali Mohammadi, Masahiro Shioji, "Study on the Characteristics of Ignition and Combustion in Hydrogen and Natural-Gas Unsteady Jets", JSAE 20055216,289
- [2] Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion Concepts and application", McGraw-Hill, Inc, 1996
- [3] John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill, Inc. 1988.