

# 수소-에혼합 압축착화 엔진에서 착화제인 DME/diesel이 엔진 연소에 미치는 영향

전지연 · 박현욱 · 배충식\*

## Effects of DME/Diesel as an ignition promoter on combustion of hydrogen homogeneous charge compression ignition

Jeeyeon Jeon, Hyeonwook Park, Choonsik Bae\*\*†

### ABSTRACT

Hydrogen-dimethyl ether (DME) and hydrogen-diesel compression ignition engine combustion were investigated and compared each other in a single cylinder compression ignition engine. Hydrogen and DME were used as low carbon alternative fuels to reduce green house gases and pollutant. Hydrogen was injected at the intake manifold with an injection pressure of 0.5 MPa at fixed injection timing,  $-210^{\circ}\text{CA}$  aTDC. DME and diesel were injected directly into the cylinder through the common-rail injection system at injection pressure of 30 MPa. DME and diesel injection timing was varied to find the optimum CI combustion to reduce CO, HC and NOx emissions. When DME was injected early, CO and HC emissions were high while NOx emission was low. Fuel consumption, heat release rate, and exhaust emissions were measured to analyze each combustion characteristics of each ignition promoter. Fuel consumption was decreased when diesel was used as an ignition promoter. This is due to the lower volatility of diesel which created more stratified charge than DME

**Key Words** : Hydrogen, DME. Reaction controlled compression ignition(RCCI), CO2

최근 석유 매장량에 따른 유가 상승의 불안의 가중과 더불어 탄소계 연료의 사용으로 인한 온실가스 배출은 여전히 에너지 문제의 중심에 있다고 할 수 있겠다. 이에 따라 석유계 연료를 대체할 수 있는 친환경 대체 연료를 개발하고 이용하려는 노력이 매우 중요하다. 이에 대한 해결책 중 하나로 대체 연료 중 고옥탄가 연료인 수소를 압축착화 엔진에 적용하고, 더욱 안정적인 연소를 위하여 착화제를 분사하는 방식의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 수소 엔진에서 착화제 종류에 따른 연소 특성을 살펴보고자 디젤과 디젤 대체연료인 DME를 각각 사용하고, 각각의 착화제가 엔진 연소에 미치는 영향을 판단하고자 한다[1-5].

본 연구에 사용된 엔진은 상용 커먼레일 분사 시스템을 장착한 압축착화 엔진을 사용하였다. 디젤은 상용 엔진과 같이 저압펌프로 압축한후,

상용 고압펌프로 압축하여 커먼레일을 통해 인젝터로 분사되었다. DME는 질소를 사용하여 2MPa로 압축하여 액체상태로 유지하고 공압펌프를 사용하여 30MPa로 가압하였다. 수소는 가압된 수소 탱크에서 압력 레귤레이터를 통하여 흡기관에 0.8MPa의 압력으로 분사하였다. 자세한 실험 조건은 표 1에 나타내었다. 전체 연료 분사량은 각 연료의 발열량 합으로 계산하여, 400J로 분사하였다. 수소를 주 연료로 사용하고, DME를 착화제로 이용한 압축착화 엔진의 연소 해석은 압력 센서를 통해 측정된 실린더 내 압력으로부터 열방출량 분석(heat release analysis)을 통해 계산하였다. 틸트체적으로의 엔탈피 변화와 연소실벽면으로의 열전달량을 고려하여 열역학 제 1법칙을 이용하여 계산하였으며 정미열발생항(net heat release rate term)은 획득한 실린더 내부 압력데이터와 부피를 대입하여 계산하였다 [6, 7].

연소효율은 공급된 열량 대비 불완전 연소의 산물의 발열량의 비로 계산하는 것이 일반적으로 알려져 있다[6]. 그러나 본 연구에 사용된 배기가스 측정 장치의 경우 탄소계 화합물인 CO와 HC

\* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처, csbae@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-3063 FAX : (042)-350-5044

표 1. Operating conditions

<b>Fuel</b>	H <sub>2</sub> +DME(with additive 500ppm)	
<b>Intake temperature</b>	303 ± 1 K	
<b>Coolant temperature</b>	353 ± 2 K	
<b>Engine speed</b>	1200rpm	
<b>Fuel injection quantity</b>	H <sub>2</sub>	2.16mg (256J)
	Diesel	3.3mg(144J)
<b>Fuel injection quantity</b>	H <sub>2</sub>	2.16mg (256J)
	DME	5mg(144J)
<b>Injection pressure</b>	H <sub>2</sub>	0.8MPa
	DME	30MPa
<b>Injection timing</b>	H <sub>2</sub>	-210 °CA aTDC
	DME	-80~-5 °CA aTDC

의 배기배출물 측정은 가능하나, 수소의 측정은 불가능하다. 이에, 열 방출률을 적분하여 전체 발열량을 구하여 전체 모든 연료의 연소 효율을 계산하였다. DME와 diesel의 연소효율은 배기가스 측정장치의 결과를 가지고 같이 DME와 diesel의 공급 연량 대비 불완전 연소의 산물인 CO와 HC의 발열량의 비로 계산하였다. 엔진 실험은 상온, 상압 조건에서 수행되었으며, 냉각수 온도와 같은 주변 조건은 일정하게 유지하였다. 실험 조건은 표1에 나타내었다. 사용된 연료는 DME와 수소이다. 흡입 공기는 303±1 K으로 일정하게 유지시켜 흡입하였고 냉각수 온도는 353±2 K로 일정하게 유지하였다. 그림 1은 DME와 diesel의 분사 시기 변화에 따른 수소 압축착화 연소의 특성을 나타내고 있다. DME와 diesel의 분사량은 발열량 기준으로 동일 발열량인 144J (DME 5mg, diesel 3.3mg)로 고정하였고 수소의 분사량은 256J (2.16mg)으로 고정하였다.

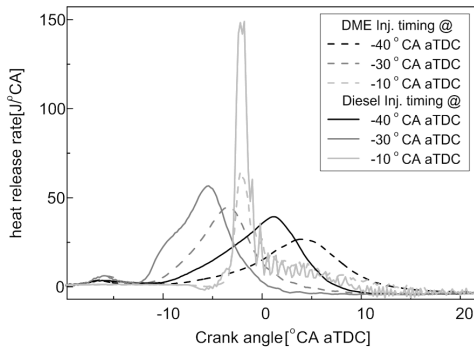


그림 1. 착화제 분사에 따른 열방출률

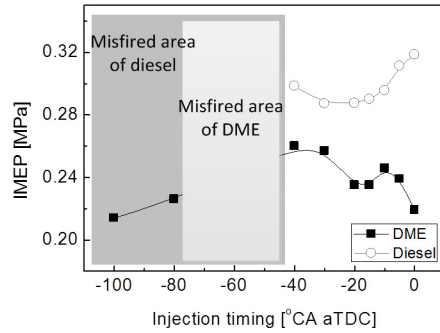


그림 2. 착화제 종류 및 분사 시기에 따른 IMEP

수소 압축착화 엔진에서 DME와 diesel을 각각 착화제로 사용하여 비교한 결과, DME와 diesel의 분사 방법에 따른 차이는 미세함을 알 수 있었으나, DME를 사용한 경우 분사전략에 있어서 자유도가 더 컸다. 이에 더 넓은 영역의 분사시기에서 연소가 가능함을 볼 수 있다. 그러나 디젤을 착화제로 사용한 경우가 DME를 착화제로 사용한 경우에 비하여 더 우수한 연소특성을 나타내었고, 이로 인하여 도시평균유효압력 또한 전반적으로 높았다. 이 결과는 연소 효율로부터도 확인 할 수 있다. 그림3에서는 수소-디젤, 수소-DME 연소시의 각각의 수소의 연소 효율과 착화제인 디젤과 DME의 연소 효율을 각각 나타내고 있다. DME와 디젤은 거의 완전 연소 되었다고 할 수 있을 만큼 높은 연소 효율을 보이고 있으나 수소의 경우는 착화제의 종류에 따라 연소 효율이 다를 수 있다.

수소 압축착화 엔진에서 DME와 디젤을 각각 착화제로 사용하여 비교한 결과, DME와 디젤의 분사 방법에 따른 차이는 미세함을 알 수 있었으나, DME를 사용한 경우 분사전략에 있어서 자유도가 더 컸다. 이에 더 넓은 영역의 분사시기에서 연소가 가능함을 볼 수 있다. 그러나 디젤을 착화제로 사용한 경우가 DME를 착화제로 사용한 경우에 비하여 더 우수한 연소특성을 나타내었고, 이로 인하여 도시평균유효압력 또한 전반적으로 높았다. 이 결과는 연소 효율로부터도 확인 할 수 있다. 그림2에서는 수소-디젤, 수소-DME 연소시의 각각의 수소의 연소 효율과 착화제인 디젤과 DME의 연소 효율을 각각 나타내고 있다. DME와 디젤은 거의 완전

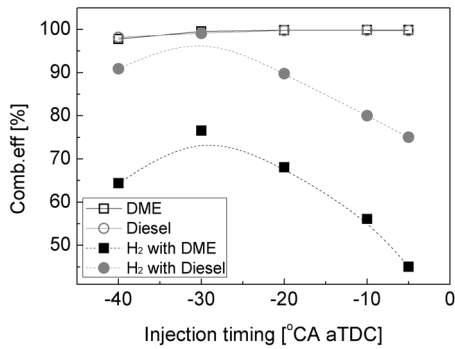


그림 3. 착화제 종류 및 분사 시기에 따른 각 연료의 연소 효율

연소 되었다고 할 수 있을 만큼 높은 연소 효율을 보이고 있으나 수소의 경우는 착화제의 종류에 따라 연소 효율이 다를 수 있다.

배기 배출물을 비교한 결과 이산화탄소 배출의 경우, 저탄소 대체연료인 DME의 탄소함량이 적어 더 낮은 이산화탄소의 배출을 보였으며, 연소 온도가 더 낮은 DME 사용의 경우가 더 낮은 질소산화물 배출을 보였다. 일산화탄소는 두 연료 모두 거의 비슷한 정도의 배기 배출을 보였으며, 탄화수소의 경우 DME의 배출이 더 크긴 하나 그 차이가 착화제의 분사시기에 따른 영향에 비하여 미비하였다. 본 실험은 DME의 타당성을 평가하기 위하여 저부하에 한정되어 실시된 실험이다. Diesel을 착화제로 사용한 경우의 연소 특성이 DME를 착화제로 사용한 경우에 비하여 더 우수하긴 했으나, 저부하이기 때문에 수소가 가연한계로 분사된 것에서 기인한 결과라 판단된다. 이는 중부하에서 고부하로 운전영역이 확장된다면 해결할 수 있다. 이에 배기 배출에서는 조금 더 우수한 성능을 보이는 DME는 diesel을 대신하여 사용할 수 있는 착화제로 충분히 효율 가치가 있다 판단된다.

### 후 기

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2010T100100440)

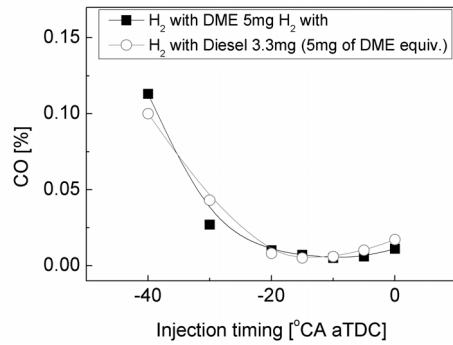


그림 4. 착화제 종류 및 분사 시기에 따른 일산화탄소 배출

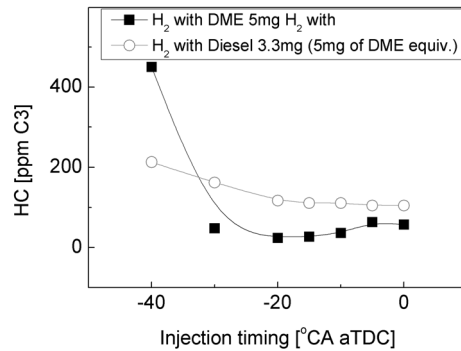


그림 5. 착화제 종류 및 분사 시기에 따른 탄화수소 배출

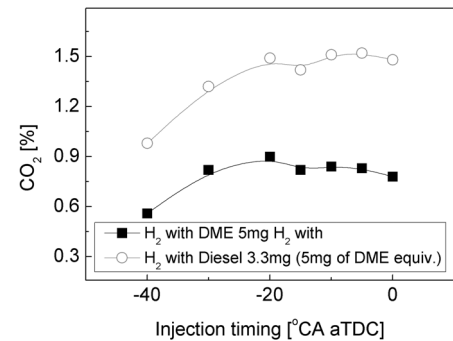


그림 6. 착화제 종류 및 분사 시기에 따른 이산화탄소 배출

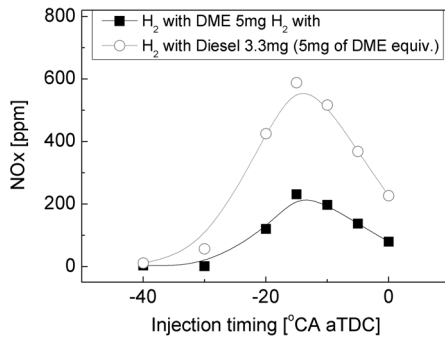


그림 6. 착화제 종류 및 분사 시기에 따른 질소 산화물 배출

## 참고 문헌

- [1] Akagawa, H., Miyamoto, T., Harada, A., Sasaki, Si., Shimazaki, N., Hakeshi, T., Approaches to Solve Problems of the Premixed Lean Diesel Combustion Control, SAE Papers, 1999-01-0183, 1999
- [2] Berkmuller, M., Rottengruber, H., Eder, A., Brehm, N., Elsasser, G., and Muller-Alander, G., Potentials of a Charged SI-Hydrogen Engine SAE Paper, 2003-01-3210, 2003.
- [3] Cecil, W., On the appication of hydrogen gas to produce a moving power in machinery, Trans Cambridge Philosophical Society, 1:217-40, 1822
- [4] Curran, H. J., Pitz, W. J., Westbrook, C. K., Dagaut, P., Boettner, J. C., Chathonnet, M., A Wide Range Modeling Study of Dimethyl Ether Oxidation, International Journal of Chemical Kinetics, 30(3): 229-241, 1998
- [5] Dec, J., Yang, Y., Dronniou, Boosted HCCI - Controlling pressure rise rates for performance improvements using partial fuel stratification with conventional gasoline, SAE Paper, 2011-01-0897, 2011
- [6] Heywood JB, Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill (1998).
- [7] Woschni G, A Universally applicable equation for the instantaneous heat transfer coefficient in the internal combustion engine. SAE Technical Paper 670931 1967, DOI: 10.4271/670931