

디젤 엔진 냉시동 조건에서 디젤 연료의 분무 및 연소

박현욱¹⁾ · 신주곤¹⁾ · 배충식^{*1)} · 하창현²⁾ · 이정준²⁾

한국과학기술원 기계공학과¹⁾ · 현대자동차²⁾

Spray and Combustion Characteristic of Diesel Fuel in Cold-Start at Various Ambient Conditions

Hyunwook Park¹⁾ · Jugon Shin¹⁾ · Choongsik Bae^{*1)} · Changhyun Ha²⁾ · Jeongjun Lee²⁾

Korea Advanced Institute of Science and Technology¹⁾, Hyundai Motor Company²⁾

Key words : Cold-start(냉시동), Diesel spray(디젤 분무), Diesel combustion(디젤 연소), Coolant temperature(냉각수 온도), Constant Volume Combustion Chamber(정적연소기)

* Corresponding Author, E-mail: csbae@kaist.ac.kr

승용차량에서 디젤엔진의 판매량은 가솔린엔진 대비 높은 효율 및 디젤엔진기술의 발전으로 인해 꾸준히 증가하고 있다. 디젤엔진 분야의 연구는 출력향상, 이산화탄소 및 배기규제 만족, 소음 및 진동 등의 문제를 해결하는데 집중하고 있다. 디젤엔진 연구 분야에서 여전히 해결해야 할 이슈 중 하나로 냉시동성, 특히 저온 분위기 조건에서 냉시동성 향상을 들 수 있다. 디젤엔진연소는 연료의 자발화로 인해 발생하므로 연소실 내에 형성되는 압축온도가 디젤연료의 증발 및 공기-연료 혼합기 형성에 중요한 역할을 하게 된다. 낮은 엔진속도의 냉시동 조건, 특히 저온 분위기 조건에서는 낮은 압축온도로 인해 그 중요성이 배가된다. 이로 인해 디젤연료의 증발특성 악화, 불완전한 공기-연료 혼합기 형성, 불완전연소로 이어지게 되고, 이는 일산화탄소 및 입자상 물질 등의 배기배출물이 상승하게 되는 냉시동성 악화 문제로 직결된다.

디젤엔진의 냉시동성 향상을 위해 글로우플러그, 흡기 히터 및 엔진블럭 히터 등이 연구 또는 적용되고 있다. 뿐만 아니라 기존 엔진기술에 적용하기 쉬운 다단분사 전략이 다방면으로 연구되고 있다. 저온 분위기 냉시동 조건 하에서 실시된 다단분사 적용 연구에 따르면, 파일럿 분사 적용을 통해 주 분사 이전에 연소실 내의 온도를 향상시켜 주 분사의 연소효율을 상승시킬 수 있고, 이는 크랭킹 및 아이들 조건에서의 냉시동성 향상 뿐만 아니라 연비상승 및 배기배출물 저감 효과를 가져온다고 보고하였다.

디젤엔진의 냉시동성 향상에 대한 연구가 제법 진척되었음에도 불구하고, 다양한 분위기 온도 냉시동 조건에서 분무 및 연소 특성에 대한 이해가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 디젤엔진 냉시동 조건을 모사한 정적연소기에서 디젤연료의 분무 및 연소 특성 분석을 실시하였다.

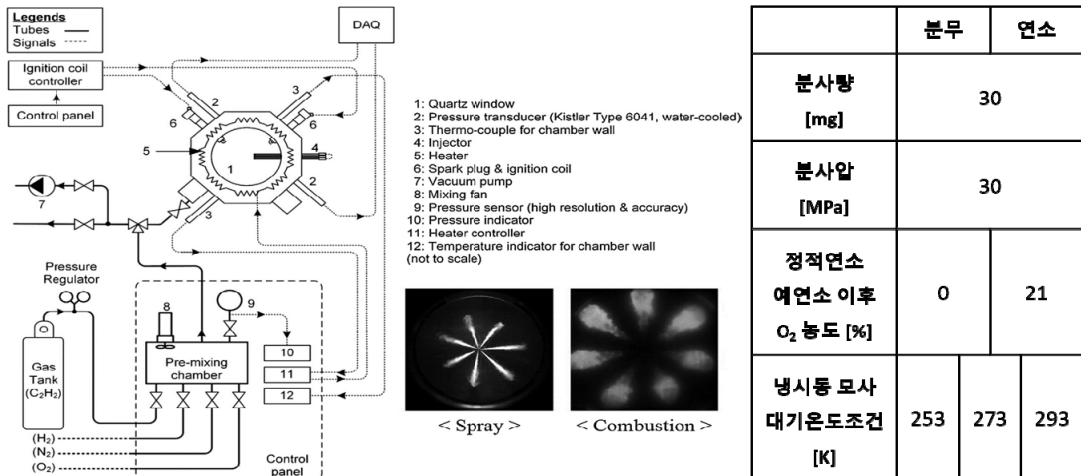


Figure 1. Experimental setup and conditions

냉시동 조건에서의 디젤연료 분무 거동 분석을 위해 미 산란법을 통해 거시분무 가시화를 실시하였고, 연소 특성 파악을 위해 열방출율 분석 및 직접화염 가시화를 실시하였다. Figure 1은 본 연구에 활용된 정적연소기의 구성 및 실험조건을 나타낸 것이다. 정적연소기에서 예 연소를 통해 실제 디젤엔진 냉시동 조건을 모사하였고, 연소실 내 원하는 압력 및 온도가 형성되었을 때 분사신호를 주어, 디젤연료의 분무 및 연소 특성을 파악하였다. 분사량 및 분사압력은 디젤엔진 냉시동 초기 조건에 해당하는 30 mg 및 30 MPa로 선정하였고, 253K부터 293K 분위기 온도의 냉시동 조건에서 실험을 진행하였다.

Figure 2는 다양한 분위기 온도의 냉시동 조건을 모사한 정적연소기에서의 압력 상승 및 열방출율 곡선을 나타낸 것이다. 두 곡선을 통해, 디젤엔진의 냉시동 조건에서 분위기 온도가 감소함에 따라 점화지연이 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 이는 분위기 온도가 감소할수록 디젤연료 분사지연 증가 및 디젤연료 증발 특성 악화로 설명할 수 있다. 분위기 온도 감소에 따라 디젤연료의 점도가 상승하게 되고, 이는 분사기 내 디젤연료의 유동을 방해하여 분사지연이 증가하게 된다. 또한 낮은 분위기 온도 조건에서 디젤연료의 미립화 특성 및 증발 특성 악화로 인해 공기-연료 혼합기 형성에 어려움을 겪게 되고, 이로 인해 점화지연이 증가하게 된다. 낮은 분위기 온도 조건에서 디젤연료의 증발 특성 악화는 거시분무 가시화를 통해 확인할 수 있다. Figure 3에서 분위기 온도 감소에 따라 거시분무 도달거리가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

냉시동 조건에서 분위기 온도 감소에 따라 점화지연이 증가함에도 불구하고 최고 열방출율이 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 분위기 온도 감소에 따라 디젤연료 증발 특성 악화로 인해 가연 공기-연료 혼합기 형성에 어려움을 겪기 때문이다. Figure 2와 3을 통해, 냉시동 조건에서 분위기 온도 감소에 따라 연소실 내 압력 상승 및 총 열방출량이 감소하는 것을 확인할 수 있고, 이는 냉시동성 악화로 이어지게 된다. 특히, 직접화염가시화를 통한 화염강도도 분위기온도 감소에 따라 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

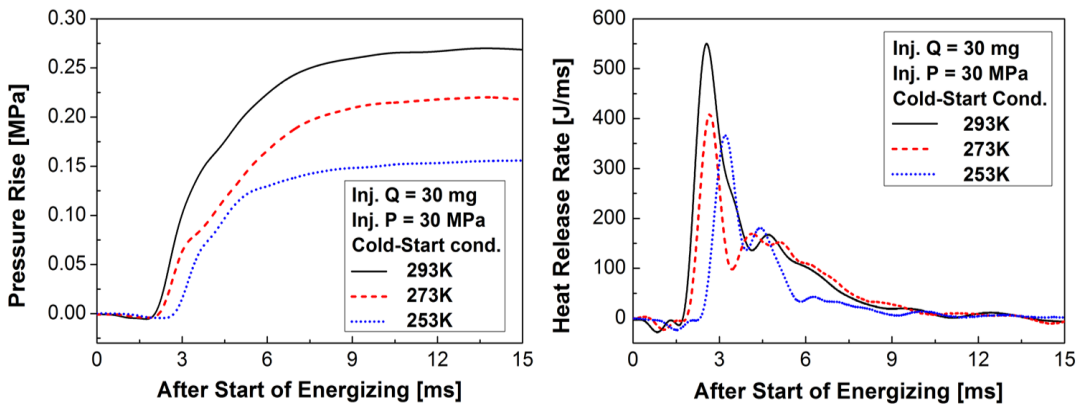


Figure 2. Pressure rise and heat release rate for different ambient conditions

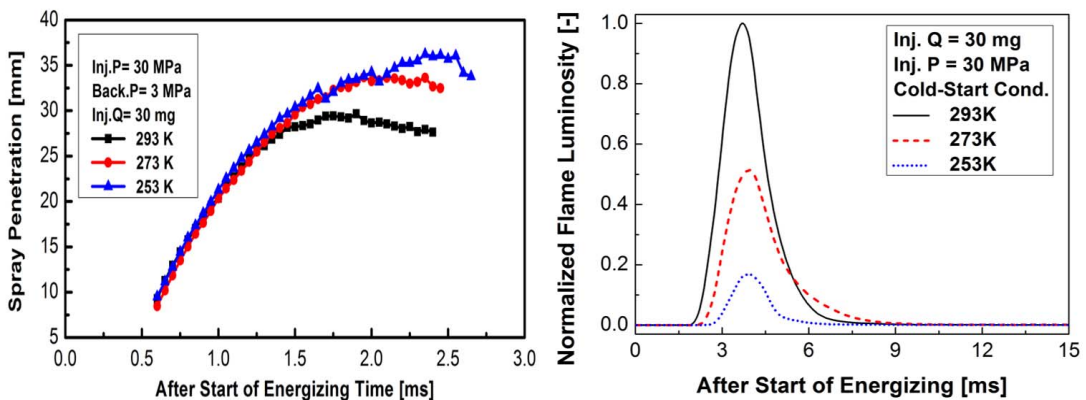


Figure 3. Macroscopic spray penetration and Normalized luminosity of flame