가솔린 직분사식 불꽃점화기관에서 연료 분사 방향이 혼합기 형성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

김태훈* · 박성욱**†

Numerical Study on the Effect of Injection Direction on Mixture Formation Characteristics in DISI Gasoline Engine

Taehoon Kim*, Sungwook Park**†

ABSTRACT

Rising oil price and environmental problems are causing automotive industry to increase fuel efficiency. Improved fuel efficiency in gasoline engine was made possible by development of DISI gasoline engine. Since fuel is injected inside cylinder directly, in-cylinder temperature can be reduced than multi-port injection engine and this leads to increased compression ratio. However, engine performance is largely dependent on mixture formation process due to in-cylinder fuel injection. Especially for spray guided and air guided DISI gasoline engine, injection direction is important factor to mixture preparation. It is because interaction between intake flow and spray affect fuel-air mixture. Hence, in this study, mixture formation characteristics were analyzed by varying injection direction using KIVA 3V release2 code. Residual gas was considered for assuming combustion. Therefore, initial condition for in-cylinder temperature was set equal to the end state of exhaust stroke of combustion cycle. Since angle between intake air flow direction and spray direction affects fluid flow and evaporation field, mixture distribution was affected by fuel injection direction dominantly.

Key Words : DISI(직분사식 불꽃점화), Mixture(혼합기), Injection Direction(분사방향), Intake Flow(흡기유동), Tumble Flow(텀블유동)

고유가와 환경문제로 인하여 엔진 개발에서 열효율은 가장 중요한 요소이다. 상대적으로 압축비가 낮은 SI엔진은 DI엔진에 비하여 열효율이 낮은 단점을 가지고 있지만 우수한 배기 특성으로 인하여 각광받아왔다. 최근에 가솔린 SI엔진에 직분사 방식을 적용한 가솔린 DISI 엔진의 개발로 인하여 가솔린 엔진의 열효율을 증가시켰다. 하지만 연료를 실린더 내부로 직접 분사할 경우, 엔진의 성능 및 배기 배출 특성은 연료분사전략에 매우 의존하게 된다. 균질혼합기 타입의 직분사 엔진의 경우, 연료와 공기가 균질하게 혼합되는데 유리하도록 흡기행정 초반에 연료를 분사한다. 분사된 연료는 증발하여 흡기유동과의 상호작용에 의하여 연료-공기 혼합기를 생성한다. 연료와 공기의 상호작용 및 흡기 유동으로 인한 복잡한 혼합기 형성 과정으로 인하여 직분사 엔진 내부의 연료 분사에 따른 혼합기 및 연소 특성에 대한 연구가 활발히 진행되는 추세이다. [1]-[3]

본 연구에서는 측면 분사방식의 가솔린 직분사식 엔진에서 연료의 분사방향에 따른 혼합기 형성 특성에 관하여 수치적 연구를 진행하였다. 분사방향은 기존 설치 각도에서 상하로 10°로 조절하고 흡기 유동과 연료의 분사방향이 수직하도록 배기 포트쪽에서 연료를 분사하는 방법도 고려하였다. 전부하 영역에서 당량비 1의 조건으로 분사량을 설정하였으며, 분사시기는 흡기행정 초기에 해당하는 BTDC 340°로 고정하여 해석을 진행하였다. 해석은 KIVA-3V release2를 이용하였고, 격자는 흡기와 배기포트를 포함하여 약 52,000개의 정렬격자로 생성하였다. 난류모델은 standard k-ε 난류 모델에서 난류 확산을 과대 예측하는 문제를 해결하고 소용돌이 유동(Swirling fl

* 한양대학교 대학원 융합기계공학과
** 한양대학교 기계공학부
† 연락저자, parks@hanyang.ac.kr
TEL : (02)2220-0430 FAX : (02)-2220-4588

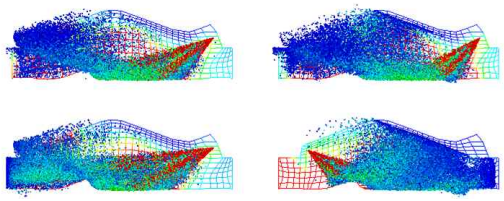

Fig. 1 Initial air-fuel mixture development for original case(left-top), minus 10degree(right-top), plus 10degree(left-bottom), exhaust port side (right-bottom)

ow)에 대한 정확도가 향상되었다고 알려진 RNG k-ε 난류 모델을 이용하였다. 액적의 분열은 KH-RT 분열 모델을 이용하였다.

Fig. 1은 분사방향과 분사위치에 따라 실린더 내부에 연료가 분사되는 모습을 보여준다. 연료가 분사되는 방향에 따라 피스톤과 충돌하는 각도가 달라지는 것을 확인할 수 있다. 또한 10° 아래로 분사한 경우와 배기 포트쪽에서 분사한 경우에는 노즐로부터 분무가 충돌하는 점까지의 거리가 상대적으로 짧은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 2는 BTDC 20°에서의 혼합기의 비균질도를 보여준다. 상대적으로 피스톤과의 충돌이 적었던 경우의 혼합기 균질도가 상대적으로 떨어졌다. 이는 피스톤 벽면과의 충돌로 인하여 흡기유동이 성장하기전에 미립화가 충분히 진행이 되어 생기는 현상으로 사료된다.

Fig. 3는 BTDC 20°에서의 실린더 내부 난류 운동 에너지를 보여준다. 난류 강도는 SI엔진에서 약간의 증가만으로도 화염전파의 안정성을 높여주는 것으로 알려져있다.[4] 따라서 난류 운동 에너지가 높을수록 더 안정된 연소 성능을 기대할 수 있다. 본 연구에서는상단으로 분사한 경우와 배기 포트쪽에서 분사한 경우에 난류 운동 에너지가 높게 나타났다. 배기 포트쪽에서 분사한 경우에 혼합기의 균질도는 감소하고 난류 운동에너지는 증가하여 더 안정된 연소성능을 보일 것으로 사료된다.

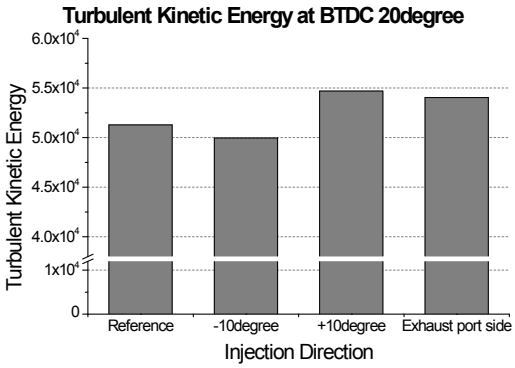

Fig. 3 Turbulent Kinetic Energy for various injection direction at BTDC 20degree

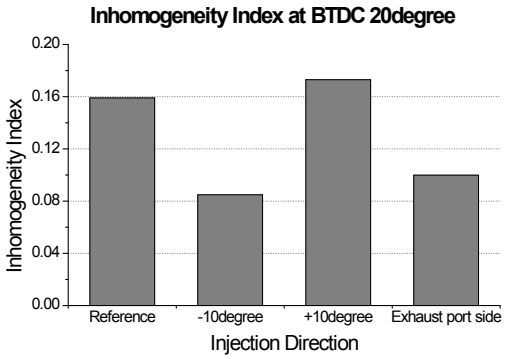

Fig. 2 Inhomogeneity index for various injection direction at BTDC 20degree

후 기

본 연구는 산업통상자원부 수송시스템 산업원천기술개발사업의 일환(10042559)으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] Yunqing Liu, Yuan Shen, Yi You, Fuquan Zhao, "Numerical Simulation on Spray Atomization and Fuel-Air Mixing Process in a Gasoline Direct Injection Engine", SAE International, 2012-01-0395.

[2] Heechang Oh, Choongsik Bae, "Effect of the injection timing on spray and combustion characteristics in a spray-guided DISI engine under lean-stratified operation", Fuel, Vol. 107, 2013, pp. 225-235.

[3] Jesús Benajes, Santiago Molina, Antonio García, Javier Monsalve-Serrano, Russel Durrett, "Conceptual model description of the double injection strategy applied to the gasoline partially premixed compression ignition combustion concept with spark assistance", Applied Energy, Vol. 129, 2014, pp. 1-9.

[4] Simone Malaguti, Alessandro D'Adamo, Giuseppe Cantore, Paolo Sementa, Bianca Maria Vaglieco, Francesco Catapano, "Experimental and Numerical Investigation of the Idle Operating Engine Condition for a GDI Engine", SAE International, 2012-01-1144.