

RCCI 엔진의 디젤 분사 파라미터에 따른 연소 및 배출가스 특성에 대한 수치적 연구

함윤영^{1*}, 민선기²

¹우석대학교 기계자동차공학과, ²아주자동차대학 자동차계열

Numerical Study on the Effect of Diesel Injection Parameters on Combustion and Emission Characteristics in RCCI Engine

Yun-Young Ham^{1*}, Sunki Min²

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Woosuk University

²Division of Automotive Engineering, Ajou Motor College

요약 디젤엔진의 열효율을 높이면서 NO_x와 PM을 효과적으로 저감시키기 위해 HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition), PCCI(Premixed Charge Compression Ignition), RCCI(Reactivity Controlled Compression Ignition) 등의 저온연소(LTC: Low Temperature Combustion)전략이 개발되어 왔다. 본 연구에서는 저반응성 연료로는 가솔린을 사용하고 고반응성 연료로는 디젤을 사용하는 RCCI 엔진에서 고반응성 연료인 디젤연료의 분사 시기와 이단 분사비율이 성능 및 배출가스에 미치는 영향을 수치해석을 통하여 파악하고자 하였다. 이단 분사 시 첫 번째 분사시기가 너무 진각되면 연소가 느려지면서 연소온도가 낮아져 연소성능이 저하되고 HC, CO가 증가한다. 대략 -60°ATDC의 분사시기가 연소성능, 배출가스 및 최대압력상승률을 고려하였을 때 가장 최적의 분사시기라고 판단된다. 이단 분사 시 두 번째 분사시기를 변경하였을 때 연소성능 및 배출가스, 최대압력상승률 등을 고려하면 대략 -30°ATDC 부근에서 최적인 것으로 판단된다. 이단 분사 시 분사량 비율은 첫 번째 분사량을 60% 정도로 하였을 때 최적의 결과를 얻었다. 마지막으로 단일 분사보다는 이단 분사한 경우 연소성능 및 배출가스 부분에서 더 효과적인 것으로 판단된다.

Abstract Low-temperature combustion (LTC) strategies, such as HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition), PCCI (Premixed Charge Compression Ignition), and RCCI (Reactivity Controlled Compression Ignition), have been developed to effectively reduce NO_x and PM while increasing the thermal efficiency of diesel engines. Through numerical analysis, this study examined the effects of the injection timing and two-stage injection ratio of diesel fuel, a highly reactive fuel, on the performance and exhaust gas of RCCI engines using gasoline as the low reactive fuel and diesel as the highly reactive fuel. In the case of two-stage injection, combustion slows down if the first injection timing is too advanced. The combustion temperature decreases, resulting in lower combustion performance and an increase in HC and CO. The injection timing of approximately -60°ATDC is considered the optimal injection timing considering the combustion performance, exhaust gas, and maximum pressure rise rate. When the second injection timing was changed during the two-stage injection, considering the combustion performance, exhaust gas, and the maximum pressure increase rate, it was judged to be optimal around -30°ATDC. In the case of two-stage injection, the optimal result was obtained when the first injection amount was set to approximately 60%. Finally, a two-stage injection rather than a single injection was considered more effective on the combustion performance and exhaust gas.

Keywords : Injection Timing, Low Temperature Combustion, Reactivity Controlled Compression Ignition, Single Injection, Two-Stage Injection

*Corresponding Author : Yun-Young Ham(Woosuk Univ.)

email: yyham@woosuk.ac.kr

Received February 23, 2021

Accepted June 4, 2021

Revised March 22, 2021

Published June 30, 2021

1. 서론

날로 강화되는 CO₂ 규제와 배출가스 규제에 의해 하이브리드자동차, 전기자동차, 수소연료전지자동차와 같은 친환경자동차의 기술개발이 다양하게 진행되고 있고 수요도 점차 증가하고 있는 추세이다. 그러나 전체 자동차 시장에서 기존 내연기관이 차지하고 있는 비중은 매우 높으며, 향후에도 내연기관의 적용은 꾸준히 지속될 전망이다. 기존 내연기관의 효율 향상을 위한 기술개발은 반드시 필요하다.

디젤엔진은 열효율과 연비가 우수한 장점이 있지만 NO_x와 PM(Particulate Matters)이 많이 발생되어, 이를 저감하기 위해 SCR(Selective Catalytic Reduction), LNT(Lean NO_x Trap), DPF(Diesel Particulate Filter)와 같은 다양한 후처리장치가 적용되고 있으나 시스템 비용이 증가하는 문제가 있다[1]. 따라서 디젤엔진의 연소기술 개선을 통해 후처리장치의 비용을 절감하면서 NO_x와 PM을 동시에 저감하는 노력이 필요하다.

디젤엔진의 열효율을 높이면서 NO_x와 PM을 동시에 저감시키기 위해 저온연소(Low Temperature Combustion)전략이 개발되어 왔다. 저온연소 개념은 초기에 연료를 분사함으로써 연료와 공기가 예혼합할 충분한 시간을 주어 균질, 희박하게 혼합기를 형성하여 연소 온도를 낮추고 실린더 벽으로의 열손실을 줄여 열효율을 향상시키면서 NO_x와 PM의 발생을 억제하는 방법이다.

저온연소 전략은 HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition), PCCI(Premixed Charge Compression Ignition), RCCI(Reactivity Controlled Compression Ignition) 등의 신개념 연소방식으로 분류할 수 있다. 이중 HCCI는 가장 먼저 연구되어온 저온연소 전략이다. 초기에 연료를 분사하여 점화지연기간이 길어져 공기와 균일하게 잘 혼합된 희박한 혼합물에서 연소가 이루어진다. HCCI의 장점은 연소 온도가 낮아 NO_x 및 PM 형성이 발생하는 당량비와 온도 영역을 피하여 이들 배출물의 동시 저감이 가능한 것이다. 그러나 HCCI는 착화시기를 제어하는 것이 매우 어려우며, 높은 압력상승률을 유발하여 고부하 조건에서의 적용에 한계가 있는 문제가 있다[2]. PCCI는 압축과정에 연료를 분사하여 예혼합시키며 상대적으로 낮은 압력상승률 갖고 HCCI 방식보다 높은 부하조건 영역까지 확장되지만 전 부하 조건에는 역시 한계가 있다[3]. RCCI 연소방식은 서로 다른 반응성을 지닌 두 개의 연료를 사용하는데, 가

솔린이나 천연가스와 같은 낮은 반응성 연료를 흡기포트를 통해 흡기과정동안 먼저 분사하여 공기와 예혼합시키고, 디젤과 같은 고반응성 연료를 압축과정동안 연소실에 직접 고압으로 단일 또는 다단 분사하여 착화를 일으키도록 한다. RCCI방식은 HCCI나 PCCI방식보다 연소 제어에 유리하기 때문에 보다 넓은 작동영역에서 운전이 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 전체적으로 낮은 반응성으로 인해 HC와 CO가 많이 발생되어 이에 대한 별도의 대책이 필요한 방식이다[4-11].

본 연구에서는 저반응성 연료로는 가솔린을 사용하고 고반응성 연료로는 디젤을 사용하는 RCCI 엔진에서 고반응성 연료인 디젤연료의 분사시기와 이단 분사비율이 성능 및 배출가스에 미치는 영향을 수치해석을 통하여 파악하고자 하였다. 먼저 디젤의 이단 분사 시 첫 번째 분사와 두 번째 분사시기를 각각 변화시켜 연소성능 및 배출가스 등에 미치는 영향을 살펴보았다. 그리고 첫 번째 연료와 두 번째 연료의 분사량 비율을 변화시키면서 그 영향을 살펴보았으며 마지막으로 단일 분사하였을 경우, 분사시기를 변화시켰을 때 연소성능 및 배출가스 등에 미치는 영향을 살펴보고 이단 분사와의 결과와 비교하고자 하였다.

2. 수치 해석

2.1 해석 대상

시뮬레이션 대상 엔진은 Kokjohn 등[4]이 실험에 사용한 2.44L Caterpillar 단기통엔진이며 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Engine specifications

Spec.	Data
Base engine type	Caterpillar SCOTE
Bore x stroke	13.72 x 16.51 cm
Connecting rod	21.16 cm
Displacement	2.44 L
Compression ratio	16.1 : 1
Intake valve opening (IVO)	-335 °ATDC
Intake valve closing (IVC)	-95 °ATDC
Exhaust valve opening (EVO)	130 °ATDC
Exhaust valve closing (EVC)	-355 °ATDC

2.2 해석 모델

RCCI 연소방식을 정확하게 시뮬레이션하기 위해서는 수천 개의 성분으로 구성된 실제 연료의 화학적, 물리적 특성을 반영한 모델 연료를 선택하여야 한다. 고반응성 연료인 디젤을 대체할 연료로는 n-헥탄을 사용하였다. 한편 저반응성 연료인 가솔린을 대체할 연료로는 5개 성분(Toluene 35%, 1-Hexene 13%, iso-Hexane 10%, iso-Octane 33%, n-Heptane 9%)의 합성물을 사용하였다. 이는 RON, MON, 저위발열량 등 실제 가솔린 연료의 특성을 잘 반영하는 것으로 확인된 것이다[6].

RCCI 엔진 해석을 위해 ANSYS FORTE 프로그램을 사용하였다. 난류는 RNG(Re-Normalization) k-ε 모델을, 분무된 액적의 분열은 KH-RT(Kelvin-Helmholtz Rayleigh-Taylor) 모델로 모사하였으며 연소과정의 상세 화학반응(detailed chemistry) 계산을 위해서 CHEMKIN-PRO를 사용하였다.

2.3 해석 조건

시뮬레이션은 1300 rpm, 11 bar IMEP, EGR 45.5%, 당량비(Equivalence ratio) 0.77 인 조건에서 수행하였다. Table 2는 본 해석에서의 엔진작동 조건이다.

Table 2. Engine operating conditions

Nominal IMEP (bar)	11
Engine speed (rev/min)	1300
EGR rate (%)	45.5
Equivalence ratio	0.77
Pressure at IVC (bar)	3.34
Temperature at IVC (K)	382
Total fuel (mg/cycle)	128
Gasoline percent by mass(%)	82
Diesel percent by mass	18
Diesel 1 st injection (°ATDC)	-77 ~ -47 (2nd -33)
Diesel 2 nd injection (°ATDC)	-48 ~ -3 (1st -67)
1 st injection fuel percentage	20 ~ 85
Diesel injection (single)	-77 ~ -27

가솔린과 디젤 연료의 전체 질량은 128 mg/cycle 이며, 이중 82%의 질량이 가솔린 연료로 흡입 과정 동안 예혼합되어 압축되기 시작한다. 해석은 흡기밸브 닫힘 시기부터 배기밸브 열림 시기까지 진행한다. 압축 과정 동안 18%의 디젤연료가 분사되는데 본 연구에서는 디젤

분사에 대해서 다음 4가지 조건 즉, 1) 이단 분사 시 첫 번째 분사시기 변화, 2) 이단 분사 시 두 번째 분사시기 변화, 3) 이단 분사 시 첫 번째와 두 번째 연료량의 비율 변화, 마지막으로 4) 단일 분사 시 분사시기 변화로 나누어 해석을 수행하였다.

3. 해석 결과

3.1 해석 모델 검증

본 연구에서는 Kokjohn 등[4]이 실험한 압력 선도 결과와의 비교를 통하여 연소해석 모델의 타당성을 검증하고자 하였다. Fig. 1은 1300rpm, 11bar, EGR률 45.5%, 당량비 0.77 등의 엔진운전조건에서 가솔린 82%, 디젤 18%를 사용하고 디젤의 첫 번째 분사시기는 -67°ATDC, 두 번째 분사시기는 -33°ATDC 로 하였을 때 계산한 실린더 압력을 동일조건에서 Kokjohn 등이 실험한 결과와 비교한 것으로 비교적 잘 맞음을 알 수 있다.

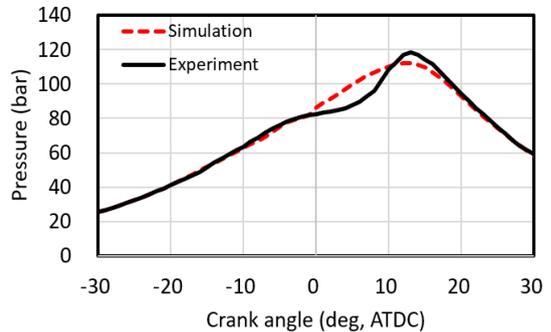


Fig. 1. Comparison of measured and simulated cylinder pressure for dual fuel RCCI operation

3.2 이단 분사 시 첫 번째 분사시기의 효과

이단 분사 시 두 번째 분사시기는 -33°ATDC 로 고정하고 첫 번째 분사시기를 변화시켰을 때 압력, 열발생율, 연소성능 및 배출가스 등에 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 2는 -77°, -67°, -57°ATDC 에서의 압력 및 열방출률 선도인데 첫 번째 분사시기가 진각 될수록 최고 압력은 감소하며 연소기간이 길어지는 것을 알 수 있다. Fig. 3는 연소성능 및 배출가스에 미치는 영향에 대한 것이다. 분사가 너무 진각되면 열효율이 감소하고 연료소비율이 높아지는데, -63°ATDC 이후에는 분사시기에 둔감하며 비슷한 수준을 유지한다. 분사시기가 진각 될수

록 최대압력상승률은 낮아지고, 50% 열방출 각도 (50%@Heat release, CA)는 지각되어 연소가 느려지는 것을 알 수 있다. 또한 NO_x는 분사시기가 진각될수록 감소하는데 이는 더 긴 점화지연기간으로 인해 충분한

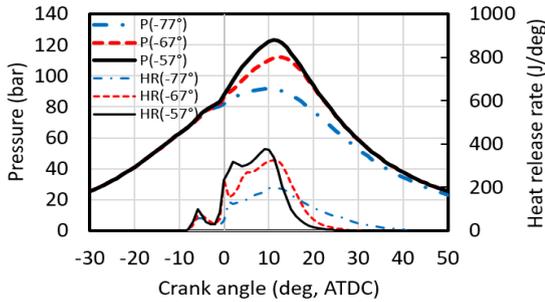


Fig. 2. Cylinder pressure and heat release rate over a 1st injection timing sweep from -77° to -57° ATDC

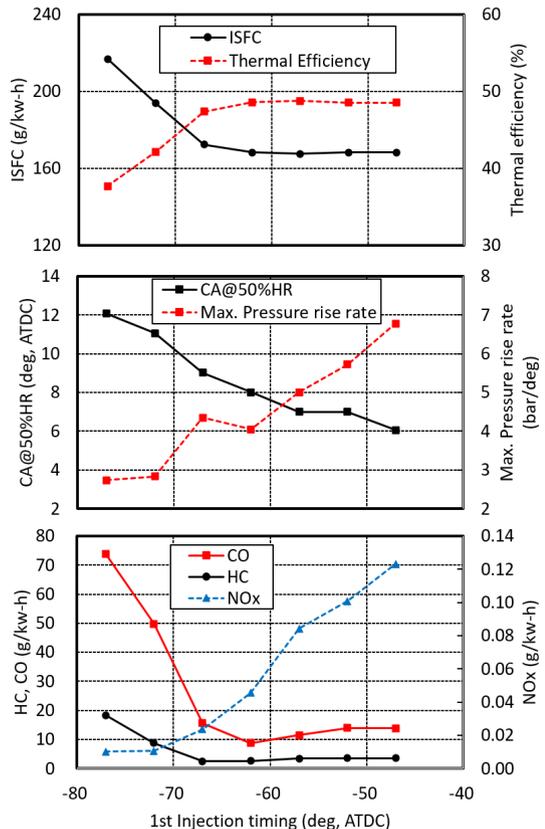


Fig. 3. Emission and performance trends as a function of 1st injection timing for two-stage injection

혼합이 이루어져 연소가 느려지면서 연소온도가 낮아지기 때문이다. 그러나 전체적으로 0.12 g/kw-h 이하의 낮은 값을 나타내어 RCCI 연소방식의 장점을 잘 나타낼 수 있다. CO와 HC의 경우 분사시기가 -67°ATDC 보다 진각되면 급격히 증가하게 된다. 이는 낮은 연소온도와 실린더 벽 적심 현상 때문인 것으로 판단된다. 연소가 느려지면서 연소온도가 낮아지게 되면 CO와 HC를 산화시키는데 필요한 충분한 온도에 도달되지 못하게 된다. 또한 이른 시기에 연료가 분사되면 상대적으로 아직 낮은 연소실 압력에 분사되므로 분무거리가 길어져 피스톤이나 실린더 벽에 적심현상이 많이 발생되어 불완전 연소의 원인이 된다. HC의 경우에는 -67°ATDC 이후로 지각하게 되면 분사시기에 거의 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 이단 분사 시 첫 번째 분사 시기는 대략 -60°ATDC 의 분사시기가 연소성능, 배출가스 및 최대압력상승률을 고려하였을 때 가장 최적화된 분사시기라고 판단된다.

3.3 이단 분사 시 두 번째 분사시기의 효과

이단 분사 시 첫 번째 분사시기는 -67°ATDC 로 고정하고 두 번째 분사시기를 변화시켰을 때 압력, 열발생율, 연소성능 및 배출가스 등에 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 4는 -48°, -33°, -18°ATDC 에서의 압력 및 열방출률 선도인데 -18°ATDC에서 -48°ATDC 까지 진각되면 최고 압력은 감소하고 연소가 느려지는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 연소성능 및 배출가스에 미치는 영향에 대한 것이다. 열효율과 연료소비율은 -17°ATDC 에서 가장 성능이 우수한 것으로 보이며 이보다 더 진각하거나 지각시킨 경우 다소 성능이 떨어진다. 특히 -3°ATDC 에서처럼 과도하게 지각한 경우 급격한 성능저하가 나타남을 알 수 있다. HC의 경우는 -3°ATDC 의 결과를 제외하면 분사시기의 영향이 거의 없음을 알 수 있다. CO의 경우는 -17°ATDC 에서 가장 낮은 값을 보이지만 너무 진각하면 착화지연이 길어져 예혼합과 희박도의 증가로 연소온도가 낮아져 증가하게 된다. NO_x는 -17°ATDC 에서 가장 높은 값을 나타낸다. 그러나 NO_x는 대체로 0.12 g/kw-h이하로 HC와 CO에 비해 매우 낮은 결과를 나타낸다. 전체적으로 연소성능 및 배출가스, 최대압력상승률을 고려할 때 대략 -30°ATDC 부근에서 최적인 것으로 판단된다.

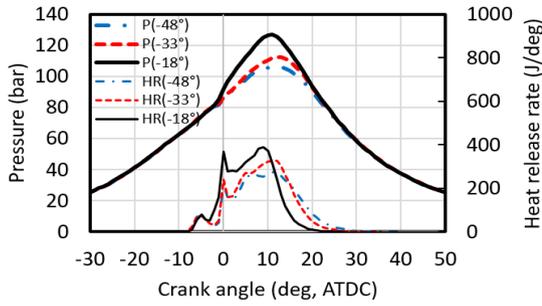


Fig. 4. Cylinder pressure and heat release rate over a 2nd injection timing sweep from -48° to -18° ATDC

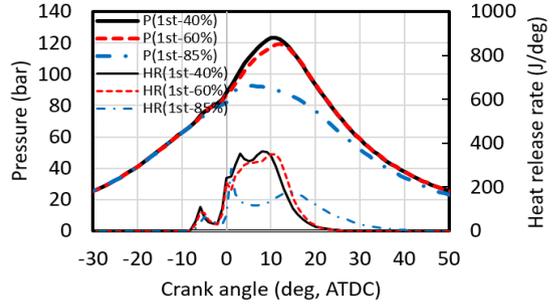


Fig. 6. Cylinder pressure and heat release rate at 1st injection fuel percentage of 40, 60 and 85

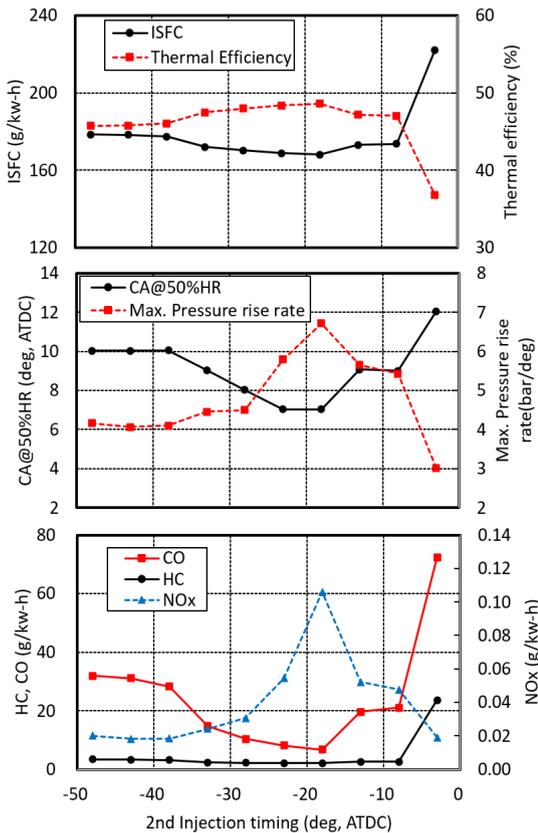


Fig. 5. Emission and performance trends as a function of 2nd injection timing for two-stage injection

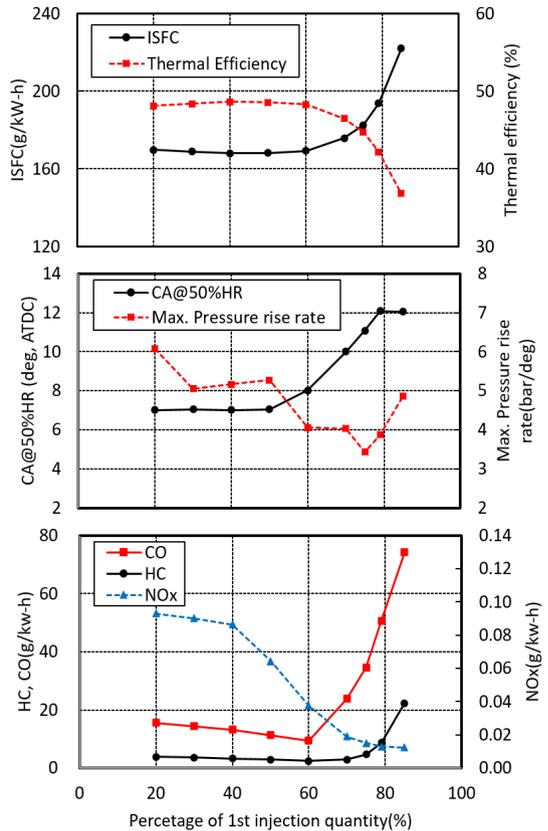


Fig. 7. Emission and performance trends as a function of the 1st injection fuel percentage for two-stage injection

3.4 이단 분사 시 분사량 비율의 효과

디젤 이단 분사의 총 분사량을 동일하게 유지하면서 첫 번째와 두 번째 분사량의 비율을 변화시켰을 때 압력, 열발생율, 연소성능 및 배출가스 등에 미치는 영향을 살펴 보았다. 여기서 첫 번째와 두 번째 분사시기는 각각 -

67° ATDC 와 -33° ATDC 로 동일하다. 해당 그림에서 퍼센티지 값은 첫 번째 분사비율에 대한 것이다. Fig. 6 에서 보듯이 압력선도는 40%와 60%가 유사하지만 85% 는 최고 압력은 크게 감소하며 연소기간도 많이 길어지는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 연소성능 및 배출가스에 미치는 영향에 대한 것이다. 연료소비율과 열효율은

60% 이하에서는 큰 변화가 없으며 그 이상으로 증가할 수록 성능이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 50% 열방출 각도(50%@Heat release, CA)가 지연되는 결과에서 보듯이 연소가 느리게 진행되기 때문인 것으로 보인다. NO_x는 첫 번째 분사량의 비율이 감소할수록 증가하는 경향을 보이는데 상대적으로 많은 양의 두 번째 분사로 인해 점화 전에 충분히 혼합할 시간이 적어 국부적으로 농후하고 반응성이 많은 영역이 연소온도를 증가시키기 때문인 것으로 생각된다. HC와 CO는 비율이 60%까지는 완만히 감소하다가 그 이상에서는 크게 증가함을 알 수 있다. 전체적으로 60%의 비율이 최적인 것으로 판단된다.

3.5 단일 분사 시 분사시기의 영향

디젤 연료를 단일 분사하였을 경우, 분사시기를 변화시켰을 때 연소성능 및 배출가스 등에 미치는 영향을 살펴보고 이단 분사와의 결과와 비교하고자 하였다. Fig. 8에서 보듯이 분사시기가 진각 될수록 최고 압력과 열발생율이 감소하며, 연소기간은 거의 비슷한 수준인 것을 알 수 있다. 이단 분사 시 첫 번째 분사시기를 변화한 Fig. 3에서의 결과와 유사하게 분사가 너무 진각되면 열효율이 감소하고 연료소비율이 높아지는데, -57°ATDC 이후에는 분사시기에 영향을 덜 받는 것으로 나타난다. 이단 분사에 비해 최대 열효율은 1% 정도 낮으며, 최소 연료소비율도 4g/kw-h 정도 높게 나타나 이단 분사가 더 효과가 있음을 알 수 있다. 분사시기가 진각 될수록 최대압력상승률은 낮아지고, 50% 열방출 각도(50%@Heat release, CA)는 지각되어 연소가 느려지는 것을 알 수 있다. Fig. 3의 이단 분사 시의 최대압력상승률 결과와 비교하면 단일 분사의 경우가 동일 분사시기에서 모두 높은 결과를 보이며 이는 엔진소음 측면에서 고려할 때 불리한 요소이다. NO_x는 분사시기가 진각 될수록 감소하는데 이는 연소가 느려지면서 연소온도가 낮아지기 때문이다. 전체적으로 0.2g/kw-h 이하의 낮은 값을 나타내지만 Fig.3의 이단 분사의 결과보다는 약 2 배 정도 높게 나온다. HC의 경우는 -60° ATDC 보다 진각되는 경우 급격히 증가하는 경향을 보이며 이단 분사 결과보다 약 8배 정도 많이 나온다. 이는 이른 시기에 이단 분사 시 보다 더 많은 연료가 분사되므로 피스톤이나 실린더 벽에 적심현상이 더 많이 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 -57°ATDC 보다 지각된 경우는 낮은 수준을 유지한다. CO의 경우 분사시기가 진각되면

급격히 증가하며, -40°ATDC 부근에서 최저값을 보임을 알 수 있다. 전체적으로 단일 분사보다 이단 분사가 연소성능 및 배출가스 부분에서 더 효과적인 것으로 판단된다.

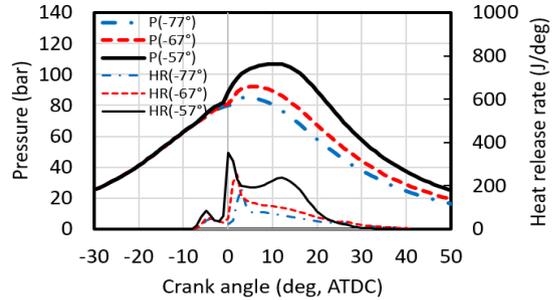


Fig. 8. Cylinder pressure and heat release rate over a single injection timing sweep from -77° to -57°ATDC

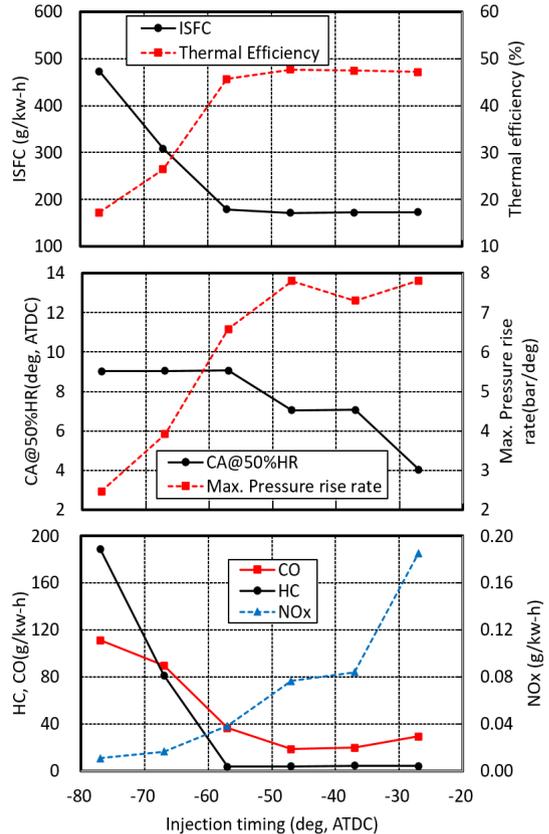


Fig. 9. Emission and performance trends as a function of injection timing for single injection

4. 결론

본 연구에서는 저반응성 연료로는 가솔린을 사용하고 고반응성 연료로는 디젤을 사용하는 RCCI 엔진에서 고반응성 연료인 디젤연료의 분사시기와 이단 분사비율이 성능 및 배출가스에 미치는 영향을 수치해석을 통하여 파악하고자 하였으며, 해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이단 분사 시 첫 번째 분사시기가 너무 진각되면 연소가 느리지면서 연소온도가 낮아져 연소성능이 저하되고 HC, CO가 증가한다. 대략 -60° ATDC의 분사시기가 연소성능, 배출가스 및 최대압력상승률을 고려하였을 때 가장 최적화된 분사시기라고 판단된다.
- 2) 이단 분사 시 두 번째 분사시기를 변경하였을 때 연소성능 및 배출가스, 최대압력상승률 등을 고려하면 대략 -30° ATDC 부근에서 최적인 것으로 판단된다.
- 3) 이단 분사 시 첫 번째 분사량과 두 번째 분사량의 비율을 변경한 결과, 첫 번째 분사량을 60% 정도로 하였을 때 연소성능 및 배출가스, 최대압력상승률 등에서 최적의 결과를 얻었다.
- 4) 단일 분사보다는 이단 분사한 경우 최대압력상승률이 낮고, HC, CO 배출이 감소하여 더 효과적인 것으로 판단된다.

References

- [1] A. Joshi, "Review of vehicle engine efficiency and emissions", *SAE Technical Paper* 2020-01-0352, 2020.
- [2] K. Epping, S. Aceves, R. Bechtold, J. Dec, "The potential of HCCI combustion for high efficiency and low emissions", *SAE Technical Paper* 2002-01-1923, 2002.
- [3] S. K. Gupta, A. Krishnasamy, "Experimental investigations to extend the load range of premixed charge compression ignited light duty diesel engine through fuel modifications", *SAE Technical Paper* 2019-01-0953, 2019.
- [4] S. L. Kokjohn, R. M. Hanson, D. A. Splitter, R. D. Reitz, "Experiments and modeling of dual-fuel HCCI and PCCI combustion using in-cylinder fuel blending", *SAE Technical Paper* 2009-01-2647, 2009.
- [5] R. M. Hanson, S. L. Kokjohn, D. A. Splitter, R. D. Reitz, "An experimental investigation of fuel reactivity

controlled PCCI combustion in a heavy-duty engine", *SAE Technical Paper* 2010-01-0864, 2010.

- [6] K. V. Puduppakkam, L. Liang, C. V. Naik, E. Meeks, S. L. Kokjohn, R. D. Reitz, "Use of detailed kinetics and advanced chemistry solution techniques in CFD to investigate dual-fuel engine concepts", *SAE Technical Paper* 2011-01-0895, 2011.
- [7] R. D. Reitz, G. Duraisamy, "Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition(RCCI) combustion in internal combustion engines", *Progress in Energy and Combustion Science* 46, pp.12-71, 2015.
- [8] P. N. S. Ram, A. Krishnasamy, "Experimental investigations on the effects of multiple injections in reactivity-controlled compression ignition in a light-duty engine operated with gasoline/diesel", *SAE Technical Paper* 2020-01-5072, 2020.
- [9] M. Dahodwala, S. Joshi, E. Koehler, M. Franke, D. Tomazic, "Investigation of diesel-CNG RCCI combustion at multiple engine operating conditions", *SAE Technical Paper* 2020-01-0801, 2020.
- [10] M. R. Saxena, R. K. Maurya, "Effect of diesel injection timing on peak pressure rise rate and combustion stability in RCCI engine", *SAE Technical Paper* 2018-01-1731, 2018.
- [11] E. Ansari, K. Poorghasemi, B. K. Irdmousa, M. Shahbakhti, J. Naber, "Efficiency and emissions of a light duty diesel-natural gas engine operating in conventional diesel and RCCI modes", *SAE Technical Paper* 2016-01-2309, 2016.

함 윤 영(Yun-Young Ham)

[정회원]



- 1988년 8월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 1996년 8월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1989년 11월 ~ 2001년 1월 : 대우자동차 기술연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 우석대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

엔진제어, 친환경자동차

민 선 기(Sunki Min)

[정회원]



- 1992년 2월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 1999년 8월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1999년 9월 ~ 2012년 2월 : 한국지엠 부장
- 2012년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수

<관심분야>

내연기관, 열유체공학, 대체에너지