

## 저속 운전 영역대의 EGR 응답특성 파악을 위한 평균값 디젤 엔진 모델 구축에 대한 고찰

고 은 희<sup>1)</sup> · 박 정 수<sup>2)</sup>

조선대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup> · 조선대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### Mean value modeling considerations for EGR response characteristics at low speed ranges of light-duty diesel engine

Eunhee Ko<sup>1)</sup> · Jungsoo Park<sup>2)</sup>

Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Chosun University<sup>1)</sup>  
Department of Mechanical Engineering, Chosun University<sup>2\*)</sup>

**Key words** : Real time simulation(실시간 수치해석), Design of experiment(실험계획법), Mean value model(평균값 모델), Hardware in the loop(하드웨어 인 더 루프), 1D simulation(1차원 해석), Neural network(신경망)

\* Corresponding Author, E-mail: [j.park@chosun.ac.kr](mailto:j.park@chosun.ac.kr)

디젤 엔진은 성능과 환경적 요구에 대응하여 복잡한 제어 장치(EGR system, Turbocharger, Common rail injection system)을 적용했으며, 이에 제어 요소의 응답성이 매우 중요하다. 정교한 제어 시스템을 위해 새로운 제어 설계 테스트는 많은 시간과 비용을 요구할 수 있다. 시간과 비용을 절감시키기 위해 실시간 수치해석(Real time simulation)은 초기 제어 시스템 설계 단계에서 필요성이 증가되어 가고 있다. 실시간 수치해석을 위한 시스템으로, HIL(Hardware-in-the-loop) 시뮬레이션은 Plant model을 기반으로 기존의 부품 시험기와 차량 모델을 조합하여 실제 차량에 탑재된 상태를 재현하고 다양한 변수에 따른 고차원적 진단이 가능하게 한다. 하지만, 기존의 HIL 시스템에서의 Plant model은 모델 구성이 제약적이며, 자동차 시스템의 제원이 바뀌는 경우 모델 탄력성이 저하된다. 이에 많은 연구자들은 실시간 수치해석을 위해 정확도가 높고, 해석이 시간이 빠른 탄력적인 플랜트모델로서 평균값 모델(Mean value model) 구축을 위해 많은 연구를 진행하였다.

본 연구의 목적은 저속 운전 영역 구간의 평균값 모델 구축이다. 자세히는 가상의 Diesel 평균값 모델을 통해 다변수 제어 범위에 따른 연소 성능을 도출하고, 저속 운전 영역의 저, 고 부하 영역에서 최적화를 통한 운전 영역 확장에 있다.

최종 목적을 위한 연구 단계로서, 본 연구에서는 가상의 Diesel CI 엔진 구성을 위한 base 엔진(1.4 디젤 엔진)을 선정하고, base 엔진의 상세 모델과 인공 신경망을 이용한 평균값 모델 구성하였다. 모델 구성에는 1차원 상용 해석 프로그램인 Gamma Technology사의 GT-suite을 사용하였다. Base 엔진의 제원은 Table.1에 나타내었으며, 엔진 제원은 저속 구간인 1000RPM에서 저, 중, 고 부하를 선정하였다. 연소 모델은 현상 학적인 다구역 연소 모델로서 실린더 내 반응 영역을 3개의 구역으로 나눠 실린더 내 연소 및 배출 관련 파라미터를 예측 가능한 Direct-injection diesel multi-pulse (DI-Pulse) 모델을 사용했으며, 질소산화물(NOx) 계

Table 1 Engine specification

Item	Specification
Displacement volume	1.4L
Compression ratio	17:1
Injection Type	Common rail direct injection
EGR system	HP EGR
Turbocharger	Waste-gate type

산을 위해 Extended Zeldovich mechanism이 적용되었다.

본 연구의 기본이 되는 상세 모델의 신뢰도 확보를 위해, NEDC 사이클의 다빈도 운전 영역의 정상 상태 시험 결과와 상세 모델의 해석 결과를 비교하였다. 엔진의 주요 성능 인자인 BSFC, Cylinder Max Pressure, EGR rate, BSNOx는 정상상태 시험 결과와 비교하여 5% 이내의 모델 신뢰도를 확보할 수 있었다. 상세 모델의 신뢰도를 바탕으로 평균값 모델화를 위한 신경망(Neural network) 훈련을 수행하였다. 상세 모델의 주요 변수를 선정하여 평균값 모델에서 일어날 수 있는 작동조건을 충족시키기 위해 변수의 범위를 과범위로 선정하여 실험계획법 (Design of experiment, DOE) 중 Latin hypercube sampling(LHS)을 이용한 response optimization을 진행하였다. DOE를 통해 얻은 결과 값을 신경 회로망의 입력 값으로 사용하였다. 또한 평균값 모델의 성능 인자를 바탕으로 신경망 훈련을 진행하였다. 신경망 훈련은 기본적으로 각 뉴런을 통과하는 모든 입력 값에 대한 결과 값을 직관적으로 인식하게 함으로서, 수치해석의 해석시간 단축에 큰 기여를 하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 사용된 훈련방법 중 대표적인 예로 다층 구조 연산(Multi-layer feedforward) 방식을 적용하였고, 신경망 훈련에 적용된 신경망의 수는 훈련 그래프를 참고하여 훈련을 진행하였으며, 최적의 신경망이 선정되어 결과 값으로 도출되었다. 신경망 훈련 결과는 앞서 수행된 실험 계획법과 유사한 경향성을 보였으며 평균값 모델 입력 값으로 적용되었다.

본 연구 단계를 통해 base엔진의 평균값 모델 구축과 신뢰도를 확보하였고, 실시간 수치해석을 위해 평균값 모델 단축 및 해석시간 감소가 가능하였다. 또한 실시간 수치해석용 평균값 모델 구성에 있어 (1) 평균값화에 필요한 시스템 구성 요소를 적절히 선택하여 신경망 훈련을 시키는 것, (2) 제어 특성이 중요시하는 구성요소를 세부 모델로 physics를 남겨두는 것이 중요함을 도출하였다.