

터보차저 회전관성이 터빈 효율에 미치는 영향

박 찬 수¹⁾ · Motoki Ebisu²⁾ · 배 충 식^{*1)}

한국과학기술원¹⁾ · Mitsubishi Heavy Industry²⁾ · 한국과학기술원¹⁾

Effects of turbocharger rotation inertia on turbine efficiency

Chansoo Park¹⁾ · Motoki Ebisu²⁾ · Choongsik Bae^{*1)}

Korea Advanced Institute of Science and Technology¹⁾, Mitsubishi Heavy Industry²⁾,

Korea Advanced Institute of Science and Technology¹⁾

Key words : Low inertia turbocharger(저관성 터보차저), Exhaust pulsating flow(배기 맥동류), Turbine efficiency(터빈 효율), Turbo-GDI engine(과급-직분식 가솔린 엔진), Unsteady analysis(비정상유동 분석)

* Corresponding Author, E-mail: type email address

현재 가솔린 엔진의 주류를 이루고 있는 다운사이징(Downsizing)엔진에서 흡기의 과급을 담당하고 있는 터보차저(Turbocharger)와 엔진의 상호작용은 엔진의 정상 운전(Steady-state operation) 및 과도 운전(Transient operation)의 성능과 연비에 지대한 영향을 미친다. 현재 가솔린엔진의 터보차저와 관련된 연구들은 정상상태에서의 엔진과 터빈의 매칭, 과도운전 상태에서의 터보랙(Turbo-lag)개선에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 하지만 기존의 연구들의 경우 엔진 배기밸브의 개폐에 의해 발생된 배기 매니폴드 내부의 변동압(Gas dynamic pressure)을 고려하지 않거나, 이를 고려하더라도 터빈을 하나의 점(Node)으로 가정하며, 터빈이 정상 유동(Steady-flow) 실험에서 측정된 터빈맵(Turbine Map)에 따라 거동하는 것으로 가정하는 Quasi-steady 모델을 따르고 있어, 높은 수준의 비정상 유동(Unsteady flow) 특성을 보이는 실제 엔진에서의 배기 유동에 따른 터보차저의 성능 특성을 정확히 파악하지 못하고 있다. 터빈의 최대통과유량(Swallowing capacity)과 효율(Efficiency)이 엔진의 성능과 연비에 큰 영향을 미친다는 점에서 현재 엔진의 비정상 배기 유동 조건에서의 터빈 성능 분석에 대한 요구가 증대되고 있다. 본 연구에서는 Twin-scroll이 적용된 2.0L 과급 직분식 가솔린 엔진(2.0L T-GDI engine)을 이용한 실험과 Ricardo사의 1-d 시뮬레이션 코드인 WAVE를 이용하여 과급조건에서 배기 매니폴드의 비정상 유동을 고려하여 터빈의 성능을 분석하였으며, 이를 통해 터빈의 비정상 거동과 엔진인 성능의 상관관계에 대하여 분석하였다.

본 연구에서는 실험과 시뮬레이션을 통해 3단계에 걸친 분석이 수행되었으며, 1단계에서는 엔진 운전 조건에서 터빈의 성능을 평가하기 위해 엔진속도 2000rpm, 10bar, 14bar, 18bar, 22bar의 다양한 과급 조건에서 흡기 유량, 컴프레서 전단 압력, 컴프레서 후단 압력, 터빈 전단 압력, 터빈 후단 압력, 터보차저 회전속도를 측정하였다. 또한, 엔진의 성능을 평가하기 위해, 연료 소비량, 1번 실린더 내부 압력, ECU 정보를 취득하였다. 2단계에서는 배기 매니폴드의 각 스크롤의 실시간 유량과 온도의 측정은 센서의 늦은 응답성과 내구 문제로 실험적으로 수행하기 어려워 1-d 시뮬레이션을 통해 동일한 조건에서 계산한 값을 사용하였다. 1-d 시뮬레이션에서 수행한 결과는 실험에서 측정한 결과와의 검증을 위해, 압력, 유량, 터보차저 회전속도 측정값을 기반으로 비교분석 하였다. 3단계에서는 터보차저의 회전관성의 변화가 배기 맥동류 조건에서 터빈의 성능에 어떠한 영향을 미치는지 비교 분석하였다. 이를 위해, 동일한 성능 맵을 가진 경량 컴프레서와 터빈을 장착한 로터를 이용하여 1단계와 2단계의 분석을 반복 수행하였다.

분석 결과 엔진 비정상 유동 조건에서의 터빈의 거동은 정상상태에서 측정한 터빈 맵의 결과를 크게 벗어나는 결과를 도출하였다. 터빈의 효율은 각 실린더의 배기밸브 개폐 시기에 발생하는 압력 펄스가 터빈에 영향을 준 이후에 최대가 되었으며, 그 이외의 부분에서는 비현실적으로 높거나 낮은 효율을 보였다. 이는 배기관내 순간적인 압력 파동에 의해 터빈이 원래 설계된 지점에서 운전되지 못했기 때문이다. 또한, 각 센서에서 측정한 압력 신호들이 압력 파의 관내 이동 시간 지연과 회전 관성에 의한 에너지 전달 지연에 따라 시간 축 상의 정렬이 완벽히 일치하지 않기 때문이다. 최대통과유량의 경우에도 정상상태에서 측정한 터빈 맵의 결과를 크게 벗어나는 결과를 얻었으며, 이는 배기가스가 터빈 블레이드 사이 공간을 채우고(Filling) 배출(Emptying)되는 효과에 의한 것으로 판단된다. 터보차저의 회전관성의 영향에서는 동일 부하 조건에서 엔진 사이클 내 터보차저 회전속도의 맥동이 저 관성 터보차저의 경우가 기존의 터보차저에 비해서 더 컸으며, 이로 인해, 터빈의 유량 특성의 맥동이 커진 것을 확인할 수 있었다. 또한, 터빈 효율의 경우도 저관성 터보차저의 빠른 응답성으로 인해 회전속도 상승률이 높아 기존의 터보차저에 비해 배기 맥동류에 의한 Pulse charging 시 순간적인 효율이 기존 대비 상승하는 것을 확인하였다. 하지만, 이것이 엔진 연비 향상으로 이어지진 않았다. 향후 터빈 효율 계산에 있어서의 시간 정렬 개선, 엔진 과도운전 조건의 배기 맥동류 조건에서의 CAD 단위의 터빈 효율 변화 분석으로 연구의 정확성과 범위를 확장할 예정이다.

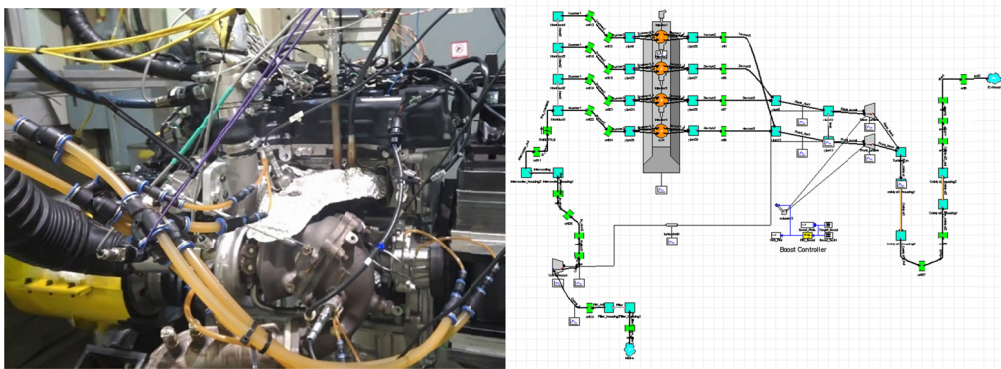


Photo. 1 Engine test setup (left) and 1-d simulation (right) for turbine performance evaluation