

가솔린엔진 흡기매니폴드의 기통별 EGR 분배특성 연구

염경민¹, 이상인¹, 박성영^{2*}
¹공주대학교 일반대학원 기계공학과
²공주대학교 기계자동차공학부

Analysis of Cylinder-to-Cylinder EGR Distribution of Gasoline Engine Intake Manifold

Kyoung-Min Yeom¹, Sang-In Lee¹ and Sung-Young Park^{2*}
¹Mechanical Engineering Dept., Graduate School, Kongju National University
²Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University

요 약

최근 자동차 배기가스 규제가 더욱 강화됨에 따라 완전 연소를 통한 배기가스 저감에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 고온 연소시 문제가 되는 질소 산화물의 저감을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 질소 산화물을 저감하는데 효과적인 EGR 기술의 도입이 보편화되고 있지만, 각 실린더별 EGR 분배 특성에 따라 엔진의 성능이 달라지는 역효과가 발생한다. 시제품을 통한 EGR 분배특성 파악은 비용과 시간 측면에서 상당한 난제가 산재해있다. 본 연구에서는 이러한 실험시간과 비용 절감을 위하여 1D 성능해석 프로그램인 GT-Power를 적용 EGR의 분배특성을 예측하였다.

1. 서론

석유·석탄·천연가스 등의 화석연료는 인류에게 큰 혜택을 주었지만, 화석연료 사용으로 인한 환경오염 또한 큰 문제점으로 지적됐다. 이러한 이유로 최근 자동차 배기가스 규제가 더욱 강화되고 있는 실정이다. 이러한 강화된 배기가스 규제를 만족하기 위해 많은 시간과 노력을 들여 연구가 진행되고 있다.

배기가스 중 HC, CO, 매연등은 연소기술 및 후처리기술 등으로 그 저감에 비교적 용이하지만, 질소 산화물의 경우 고온 연소시 더욱 증가하게 되며 질소 산화물을 저감하기 위해 연소온도를 낮추게 되면 연소성능과 연비를 저하시키는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 도입된 기술이 배기가스 재순환 장치인 EGR(Exhaust Gas Recirculation)기술이다.[1]

질소 산화물을 줄이기 위해 EGR율을 높이게 되면 질소 산화물이 감소하는 경향을 보이나, 과도한 EGR의 유입은 연소특성을 나쁘게 하는 요인이 된다. 또한, 대기통 엔진의 경우 EGR을 각 기통에 분배하게 되는데 이 분배특성에 따라 엔진의 성능이 달라지는 역효과를 발생시키기도 한다. 이러한 문제

점을 해결하기 위해선 각 실린더에 고른 분배가 요구된다.

실험을 통한 흡기 매니폴드의 고른 분배특성을 확보하기 위해서는 적지 않은 시간동안 많은 비용과 노력이 소요되고 이 또한 형상분석이 쉽지 않는 문제가 있어 많은 부담으로 작용하게 된다.[2] 최근 연구에서는 이러한 점을 해결하기 위해 컴퓨터 성능해석 프로그램을 이용하여 선행해석을 통해 미리 그 특성을 예측하고 실험에 소모되는 시간과 비용을 줄여가고 있다. 해석적인 접근을 통한 선행해석의 장점은 즉각적인 리모델이 가능하다는 점과 시간이 많이 단축된다는 점, 그리고 저비용으로 최적화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

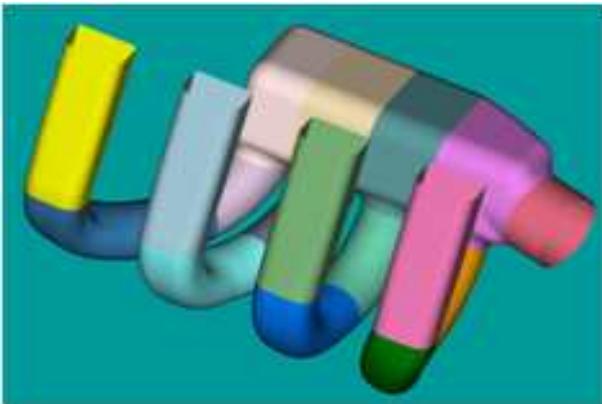
본 연구에서는 해석적인 접근을 통하여 2000cc급 흡기매니폴드의 EGR분배성을 예측하고자 한다. 성능해석 프로그램으로는 Gamma Technologies사의 1D 프로그램인 GT-Power를 적용하였다. GT-Power의 경우 엔진 성능해석에 주로 쓰이는 해석 프로그램이며, 시간에 따른 연속특성 변화를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 GT-Power의 경우 3D로 설계된 형상의 경우 해석의 예측이 정확하지 않을 수 있는 단점을 가지고 있다. 본 연구에

서는 GT-Power를 통해 흡기 매니폴드의 정상상태 유동과 비정상상태 유동의 비교 및 비정상상태 유동에 서의 EGR 분배특성을 확인하였다.

2. 해석모델

본 연구의 모델은 2000cc급 흡기매니폴드로 그림 1은 GT-Power에서 제공하는 3D-Discretization을 통해 3D로 재구성한 모델 파일을 1D로 변환하는 과정중 하나이다. 그림 2는 3D-Discretization에서 변환되어 1D프로그램인 GT-Power에 구성된 모습을 나타내고 있고 이를 이용하여 엔진 시뮬레이션을 수행하고 EGR 분배특성을 파악하고자 한다.

1D 해석 프로그램인 GT-Power는 엔진성능 예측에 사용하는 상용 프로그램으로써 시간에 따른 엔진 연소특성을 반영할 수 있어 실제 엔진과의 연관성을 확인하고, 이를 적용했을 경우 엔진유동 해석의 신뢰성을 확보할 수 있는 해석 프로그램이다.[3]



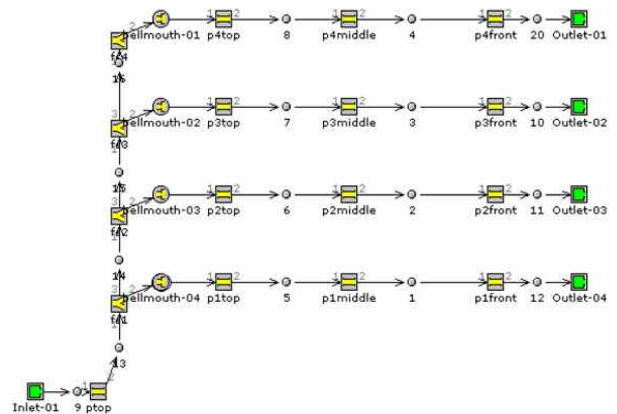
[그림 1] 3D-Discretization 모델링된 흡기매니폴드



[그림 2] 흡기매니폴드의 GT-Power 모델

2.1 정상상태 해석

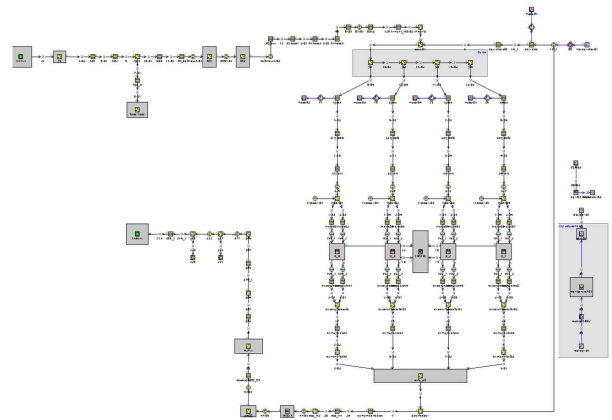
일반적으로 어느 시스템 안의 유동이 시간에 따른 속도변화를 가지지 않을 경우 이를 정상상태 유동이라 하는데, 일차적으로 정상상태 유동을 적용하여 해석을 수행하였다. 흡기 매니폴드 내 유동을 정상상태로 해석 하기위하여 흡기 매니폴드의 입구압력을 5kPa로 설정하고, 모든 러너에 유동이 동시에 흐르게 하였으며, 출구조건으로는 모든 러너에 상대압력을 0kPa 조건을 설정하였다. 또한, 작용유체의 온도는 300K로 설정하였으며, 러너별 질량유량의 분배 특성만을 보기위해 EGR에 대한 적용은 하지 않고 해석을 수행하였다.



[그림 3] 정상상태 해석을 위한 GT-Power모델

2.2 비정상상태 해석

비정상상태의 해석에서는 러너별 질량유량이 정상상태 유동과 어떠한 차이점이 있는지 확인하고 러너별 EGR율을 파악하여 EGR 분배특성을 확인하였다. 비정상상태 유동의 해석 조건은 정상상태 해석과는 다르게 EGR 시스템을 적용시켜 2000RPM 조건으로 해석을 수행하였으며, EGR율의 경우 배기 매니폴드 출구에서의 평균 EGR율 10% 조건을 설정하였다.

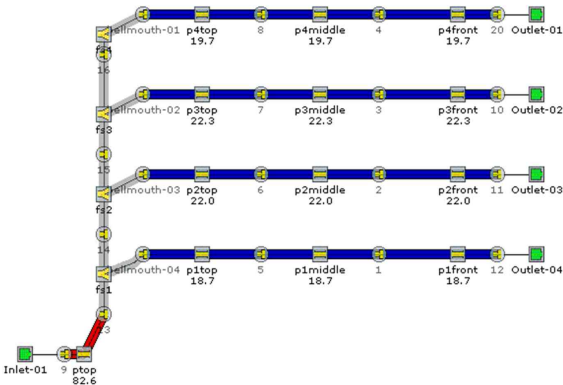


[그림 4] 비정상 정상상태 해석을 위한 GT-Power모델

3. 해석결과

3.1 정상상태 해석결과

정상상태 유동의 해석결과 러너별 질량유량은 다음 그림5와 같이 나타났다. 표 1에서는 모든 러너의 출구의 질량유량 합에 대한 러너별 질량유량을 백분율로 나타낸 결과이다. 이를 기준으로 각 러너별 분배성을 파악하였다. 그 결과 1번과 4번 러너의 질량유량이 상대적으로 2번, 3번 러너의 질량유량보다 낮은 것을 확인할 수 있었다.



[그림 5] 정상상태 러너별 질량유량 해석결과

[표 1] 정상상태 러너별 질량유량 해석 결과 및 분배율

Cylinder	질량유량(g/s)	분배율(%)
1	19.7	23.82
2	22.3	26.96
3	22	26.6
4	18.7	22.61

3.2 비정상상태 해석결과

비정상 상태의 유동의 경우는 각 러너별 질량유량의 편차가 그리 크지 않음을 알 수 있다. 비정상 상태 유동의 경우 오히려 정상상태보다 더 분배성이 좋은 결과를 보이고 있다. 이 같은 결과는 매우 좋은 값이라 할 수 있으나, 1차원 해석프로그램으로 해석을 진행해왔다는 점에서 그 신뢰성을 재고할 필요성이 있다.

흡기 매니폴드는 길이와 지름만을 고려하는 파이프 부분과 단지 지름만을 고려하는 오리피스 부분 체적을 가지거나 두 개 이상의 파이프가 연결된 서지 부분으로 구성된다. 체적을 가지는 서지부분의

경우 기하학적으로 1차원적인 유동특성 보다는 3차원적인 유동특성이 강한 곳이기 때문에 흡기 매니폴드의 비정상상태 해석에 있어서 1차원 해석 프로그램인 GT-Power 만으로는 정확한 예측에 어려움이 존재한다. 그 결과 각 러너별 질량유량의 차이가 나지 않은 것으로 사료된다.

[표 2] 비정상 상태 러너별 질량유량 해석 결과 및 분배율

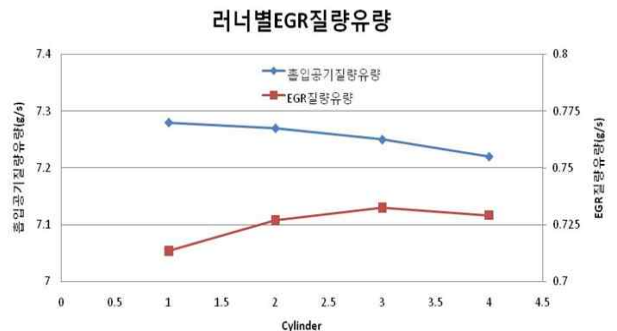
Cylinder	질량유량(g/s)	분배율(%)
1	7.28	25.08
2	7.27	25.05
3	7.25	24.98
4	7.22	24.87

3.3 EGR시스템을 적용한 비정상상태 해석결과

EGR 시스템을 적용하여 배기 매니폴드 출구에서 10%의 EGR율을 갖는 비정상 상태 유동해석을 진행한 결과 각 러너별 EGR율은 표 3에 나타나고 있으며, 흡입공기의 질량유량과 EGR의 질량유량을 비교한 결과는 그림 6과 같다. 표 3에서 각 러너별 EGR율의 편차는 0.3% 이내로 작은 편차의 결과를 보이고 있으며 각 러너별 분배성이 좋게 나왔음을 확인할 수 있다. 이 또한 1차원 해석 프로그램만으로 수행했다는 점에서 그 신뢰도의 재고가 필요할 것으로 사료된다.

[표 3] 러너별 EGR율

Cylinder	EGR율(%)
1	9.8
2	10
3	10.1
4	10.1



[그림 6] 흡입공기 질량유량과 EGR 질량유량의 비교

결론

본 연구에서 1D 엔진 성능해석 프로그램인 GT-Power를 이용하여 흡기매니폴드의 EGR 분배특성을 파악하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정상상태 유동의 경우 각 러너별 유량에 있어 차이를 보였으나 비정상 상태일때는 고른 분배특성을 나타냈다. 이는 1차원 해석의 근본적인 제약으로 체적 콤포넌트의 해석에 있어 정확한 예측이 어렵기 때문으로 사료된다.
- 2) 본 연구에서는 1D CAE의 한계를 파악할 수 있었으며, 이를 보완하기 위하여 1D 해석프로그램과 3D 해석프로그램을 연동하여 EGR 분배특성을 파악하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 김진남, 김호영, 이원근, 김우태, “EGR 개별 공급 장치 형상에 따른 기통별 유동 및 분배 특성”, 한국자동차공학회 2005년도 추계학술대회논문집, pp.15-21, 2005.
- [2] 김충식, 최지호, 오병근, “수치해석을 이용한 가솔린 엔진의 EGR 분배 특성에 관한 연구”, 한국자동차공학회 2006년도 추계학술대회논문집, pp.106-111, 2006.
- [3] 강용현, 박희경, 최동훈, “수치 해석을 이용하여 EGR 분배율 향상 위한 흡기 다기관 형상 최적화”, 한국자동차공학회 창립 30주년 기념 학술대회 논문집, pp.410-415, 2008