

전자연료 분사방식의 소형엔진 개발

염경민*, 박성영**

*공주대학교 기계자동차공학부

**공주대학교 공과대학 생산기술연구소

EFI Small Engine Development

Kyoung-min Yeom* and Sung-Young Park**

*Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

**Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

요 약

기존 Non-Road 가솔린 불꽃점화 소형엔진의 경우 대부분이 카브레이터 연료 공급 방식으로 연비 및 배기가스 성분이 매우 열악한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하고 배기규제에 대응하기 위하여 전자제어식 연료분사방식으로 엔진을 변경하고, 관련핵심 부품의 설계 및 개발을 수행하였다. 전자제어식 소형엔진에 적합한 인젝터, 연료펌프를 선정하였으며 연료레일은 새로이 설계하여 장착하였다. 최적의 인젝터, 연료펌프 및 흡기포트를 선정하기위해 각각의 핵심 부품에 대한 성능개발을 수행하였다. 제작된 소형엔진은 엔진성능 개발을 통하여 연비 및 배기가스를 개발할 예정이다.

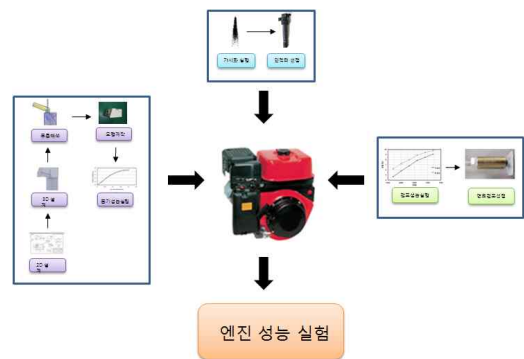
1. 서론

심각한 대기오염으로 인하여 배기규제가 강화되면서, 소형엔진의 연료 공급 계통은 기존의 카브레이터 방식에서 벗어나 전자연료 분사방식으로 전환이 필요하게 되었다.[1] 전자연료 분사방식의 경우 배기가스를 저감시킬수 있을 뿐만 아니라 연료 소비효율 또한 높일수 있는 장점이 있다.

가솔린 엔진효율에 있어 흡기성능은 가장중요한 요인중 하나인데 그이유는 흡기성능이 좋다면 적은 연료로 높은효율을 볼수 있기 때문이다. 흡기성능을 좌우하는 요소중 유동특성 및 흡입성능은 유량계수 Cf(Flow coefficient)로 평가 할 수 있으며, 이 들은 흡기포트, 연소실 등에 의해 제어된다. 특히 흡기 포트의 형상은 실린더 안으로 들어가는 흡입공기량 에 밀접한 관계가 있으며, 형상에 대한 유동특성도 제어되기에 매우 중요한 요소이다.[2] 연료 소비효율에 있어 또다른 중요한 요소는 인젝터이다. 기존의 카브레이터 방식에서는 연료의 조절이 힘들었으나 인젝터를 통하여 연료를 분사하게 되면 연료의 조절이 쉬워진다. 이는 연료의 낭비를 줄여 연비의 향상을 가져오게 된다. 인젝터가 작동을 하기 위해서는 기본적으로 연료탱크에서 인젝터 까지 연료를 공급

해줄 연료펌프도 필요하게 되는데 연료펌프의 효율 또한 연비향상에 영향을 끼친다.

본 연구는 기존의 카브레이터 방식의 소형엔진을 전자연료 분사방식의 엔진으로 변경하고 이를 위해 핵심 부품의 설계 및 개발을 수행하였다. 최적의 흡기포트를 설계하기위해 CFD 해석 프로그램과 실험을 통해 설계인자와 유량 계수의 상관 관계를 찾아 비교 분석하였다. 또한, 인젝터의 분무가시화 실험을 통해 분무길이 분무각을 분석하여 소형엔진에 적합한 인젝터를 선정하였으며, 전류센서를 통해 연료펌프의 회전수를 측정하고 이를 분석하여 연료펌프의 효율을 구해 적합한 연료펌프를 선정하였다.



[그림 1] 전자연료 분사방식 엔진의 개발

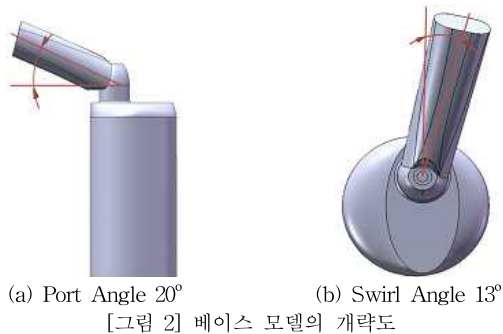
2. 본론

가솔린 엔진의 경우 효율을 높이기 위해서는 흡기 시스템의 성능향상이 가장 중요하다고 할 수 있다. 흡기 시스템의 성능을 결정하는 요소 중 유동특성 및 흡입성능은 유량계수(Cf: Flow coefficient)로 평가 할 수 있으며, Cf는 흡기포트, 연소실, 흡기밸브 형상 등에 의해 제어된다. 특히 흡기 포트의 형상은 실린더 안으로 들어가는 흡입공기량에 밀접한 관계가 있으며, 유동특성도 제어되기에 매우 중요한 요소다.

본 연구에서는 전자연료 분사방식의 소형엔진을 개발함에 있어 최적화된 흡기포트를 찾기 위해 포트각도 변화에 따른 유동특성을 해석과 실험을 통하여 비교 분석하였다.

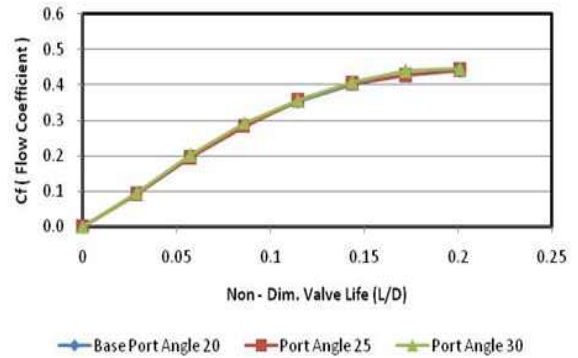
2.1. 흡기포트의 유동 해석

유동해석은 SolidWorks의 통합 환경을 지원하는 상용 소프트웨어인 Cosmos사의 FloWorks 프로그램을 사용하였다. 해석의 기초가 되는 베이스 모델은 상용되고 있는 400cc급 Non-Road 소형 Gasoline SI 타입의 모델GB401 소형엔진의 실제 흡기포트를 바탕으로 모델링을 하였으며, 베이스 모델의 구성은 공기가 흡입 되는 흡기 포트 (Intake Port), 유량을 제어하는 흡기 밸브 (Intake Valve), 그리고 연소실과 실린더로 구성되어 있다. 해석모델은 포트각도 (Port Angle) 20°의 내각, 스윙각도 (Swirl Angle) 13°의 내각을 가지게 설계하였으며, 실린더의 길이를 80mm를 기준으로 5배의 길이(L)로 늘려 설계하였다. 베이스 모델을 기준으로 포트의 각도변화를 변수로 유동 해석을 진행하였다.



포트각도를 변화 시켜 각도별 흡입유량의 변화를 알아보았다. 그림 3은 포트각도 변화에 따른 무차원

벨브 리프트별 유량계수를 그래프로 나타낸 것이다. 유량계수는 실제유량을 이론유량으로 나눈 무차원수이다. 그래프에서 보이는 바와 같이 포트각도의 증가에 따라 유량계수도 증가함을 확인 할 수 있으며, 벨브 리프트가 높아짐에 따라 선형적으로 증가함을 확인 할 수 있다.



[그림 3] 곡률이 적용된 포트 각도 변화에 따른 유량계수

2.2. 흡기포트의 플로우벤치 실험

실험에 사용된 유량 측정 장비는 소형흡기유동 측정장비인 Performance Trends, Inc의 SF-110E 모델이다. 이 측정장비를 이용하여 플로우 박스의 유량계수를 구하여 흡기성능을 평가하였다.

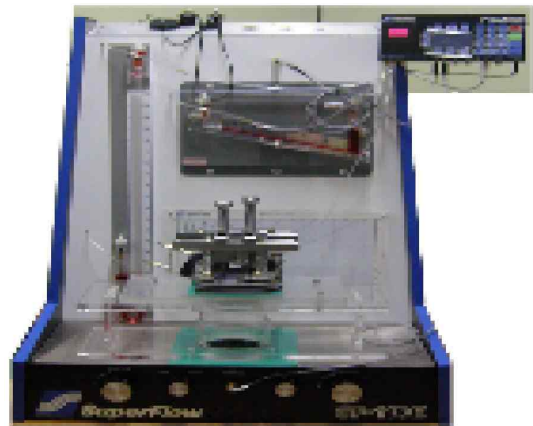
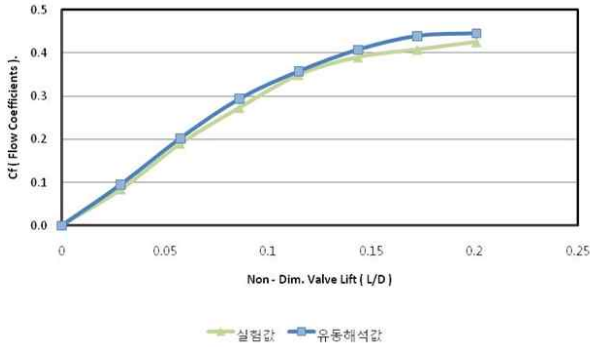


그림 4는 Flowbench의 실제 모습이다. 데이터 수집과 정은 Flowbench를 통해 수집된 데이터가 Digital Flowmeter를 통해 Port Flow Analyzer로 전송되어 데이터를 분석하는 절차를 거치게되며 이를 토대로 유량계수 값을 얻을수 있다[3]. 그림 5는 포트각도를 30° 적용시킨 모델을 해석하여 얻은 유량계수와 포트각도 30° 적용시켜 제작한 플로우 박스를 실험을 통해 얻은

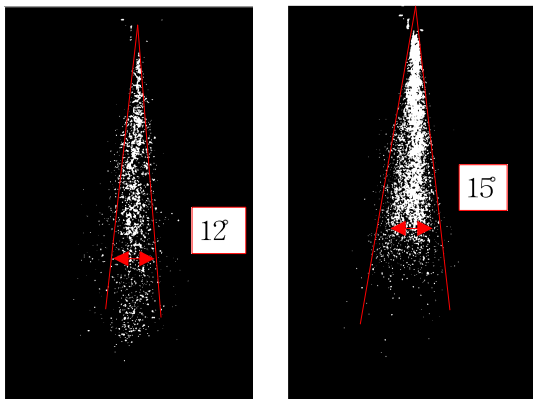
유량계수를 비교한 그래프이다. 밸브리프트가 4mm 부근에서는 유사한 값을 나타내고 있으며 리프트가 올라 갈수록 유동 해석 결과가 실험결과 대비 높음을 알 수 있다.



[그림 5] 유동해석의 유량계수와 실험의 유량계수 비교

2.3. 인젝터의 선정

기존의 카브레이터 연료 공급 방식에서 전자제어 방식으로 변경하기 위해 필요한 중요 부품중 하나가 인젝터이다. 본 연구에서는 기존의 모터사이클용 인젝터 6홀 인젝터와 3홀 인젝터 두가지의 사양을 실험을 통해 비교 분석하였다. 가시화 실험을 통해 분무각과 분무길이를 알아보고 이를 토대로 적합한 인젝터를 선정하고자 한다.



(a) 3홀 인젝터 (b) 6홀 인젝터

[그림 6] 인젝터 분무각

그림 6은 3홀 인젝터와 6홀 인젝터의 분무각을 나타내고 있다. 3홀 인젝터와 6홀 인젝터의 분무각은 약 3°차이가 나는 것을 알 수 있다. 분무의 도달거리 즉 분무의 길이의 경우 3홀 인젝터는 93.34mm 6홀 인젝터는 90mm인 것을 확인 할 수 있었다. 현재 개발되고 있는 전자연료 분사방식의 소형엔진은 인젝터를 장착할 스톱틀 바디가 설계되었다. 6홀 인젝

터의 분무특성이 설계된 스톱틀 바디에 적합하다고 판단되어 개발중인 전자연료 분사방식의 소형엔진에 6홀 인젝터를 선정하였다.

2.4. 연료펌프의 선정

카브레이터 방식이 아닌 전자제어 연료분사 방식을 적용하기 위하여 인젝터에 연료를 공급해줄 연료펌프의 선정이 필요하다. 본 연구에서는 두 가지 사양의 연료펌프에 대한 성능 실험을 수행하여 소형엔진에 적합한 연료펌프를 선정하고자 한다.



(a) 펌프-A (b) 펌프-B

[그림 7] 실험에 사용된 연료펌프

상기의 두 가지 사양의 연료펌프는 블레이드와 정류자 수는 6개로 동일하지만, 아마추어에 감긴 코일의 횟수가 다른 모델이다. 그림 8은 연료펌프 실험에 사용된 실험 장치를 보여주고 있다. 압력 컨트롤러를 이용하여 연료펌프의 규정된 배압을 생성하였으며, 코리올리 유량계로 가솔린 연료의 질량유량을 측정하였다.



[그림 8] 연료펌프 실험장치

연료펌프의 회전수 측정에는 전류센서가 사용되었다. 전류센서는 비접촉식으로 홀을 통과하는 연료펌프의 (+) 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례하는 전류센서의 출력 전압이 발생하며, 출력된 파형을 분석하여 펌프의 회전수를 계산하였다.



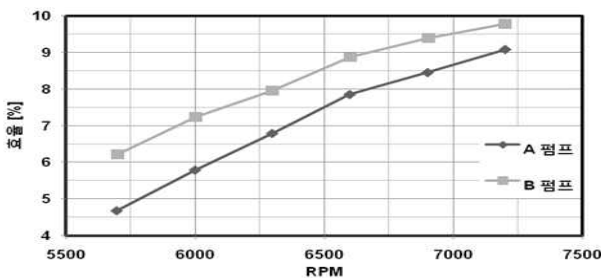
[그림 9] 연료펌프 회전수 측정용 전류센서

유량과 압력은 펌프 제어기에 표시되는 값을 측정하였고, Labview 프로그램을 작성하여 실험 데이터 수집하였다. 연료펌프의 송출 압력은 300kPa로 일정하게 유지하였으며, 펌프의 회전수 범위는 5700 ~ 7200 rpm으로 설정하였다. 수집한 데이터를 통해 효율을 계산하였으며, 효율 관련 무차원식은 표 1에 나타내었다.

[표 1] 효율의 정의

무차원 수	정의
효율	$\eta = \frac{PQ}{VI}$
P : Pressure(kPa)	g : Gravity(m/s ²)
Q : Flow(m ³ /s)	H : Water Head(m)
V : Voltage(V)	ω : Angular velocity(rad/s)
I : Current(A)	D : Pump Blade Diameter(m)

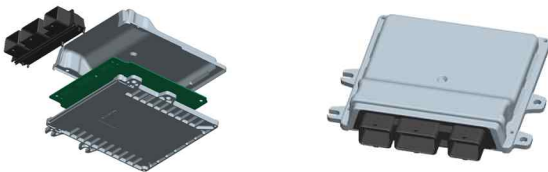
그림 10은 효율과 회전수의 상관관계를 나타내며, 동일 회전수에서 펌프 B가 높은 효율을 보이고 있음을 알 수 있다.



[그림 10] 펌프의 성능특성 실험 결과

2.5. ECU 개발

인젝터 및 연료펌프를 제어해줄 ECU의 설계를 진행하였다. 소형엔진에 장착이 가능하도록 ECU 하우징을 설계하였으며, ECU로직은 엔진 성능실험을 통해 기본 데이터를 수집 이를 기초로 하여 개발중인 소형엔진에 적합하게 적용할 예정이다.



[그림 11] 전자제어 연료분사 시스템 제어를 위한 ECU 설계

3. 결론

본 연구는 전자제어 연료분사방식 소형엔진에 적용될 흡기포트의 최적성능을 찾기 위해 유동해석을 통한 해석과 실험을 수행하였고, 인젝터 분무가시화 실험 및 연료펌프의 효율을 알아보기위한 실험을 수행하였다. 이를 통해 얻게 된 결론은 다음과 같다.

1. 흡기포트의 유동해석 및 실험을 통해 유량계수와 설계인자 사이의 상관관계를 확인할수 있었다.
2. 인젝터의 분무가시화 실험을 통해 분무길이와 분무각을 알 수 있었으며 이를 토대로 개발되고 있는 소형엔진의 적합한 인젝터를 선정하였다.
3. 펌프 A와 펌프 B의 성능을 비교한 결과 펌프 B가 효율과 유량특성에서 우세한 특성을 보였으며, 이를 토대로 소형엔진의 적합한 연료펌프를 선정하였다.

본 연구를 통하여 개발된 부품들은 현재 전자연료분사 방식으로 개조된 소형 엔진에 장착되어 엔진 성능 실험이 진행중에 있다.

4. 참고 문헌

- [1] 이준순, 박성영, “소형엔진용 연료펌프의 성능에 대한 실험적 연구” 한국산학기술학회 2009년도 추계학술대회 논문집Ⅱ 제10권 2호, pp.515-519, 2009.
- [2] 이주형, 박성영, “소형엔진의 흡기포트의 유동특성” 한국산학기술학회 2009년도 추계학술대회 논문집Ⅱ 제10권 2호, pp.520-525, 2009.
- [3] 박윤서, 박성영, “소형엔진 흡기포트의 성능 평가” 한국산학기술학회 2009년도 추계학술대회 논문집Ⅱ 제10권 2호, pp.538-541, 2009.