

2-stroke 가솔린 기관 성능 향상을 위한 추세

Trend for Performance Improvement of 2-Stroke Gasoline Engine

김 승 수*
Sung Soo Kim

1. 서 론

내연기관 연구에 전념하는 모든 사람들의 한결같은 3대 염원은 연비향상, 비출력 증대 및 유해 배기가스 성분 감소이다. 이중 비과급 가솔린 기관의 경우 비출력 증대를 위한 4-stroke cycle 엔진에서의 연구는 현지까지 헤아릴 수 없이 많은 연구가 진행되어 발전의 한계에 도달한 느낌이다. 따라서 이의 실질적인 증대는 시각을 달리하여 2-stroke cycle 로의 전환으로서만 가능하리라 본다. 2-stroke 엔진은 원래 이목적으로 고안된 것이라는 것은 주지의 사실이다. 그러나 이장치가 비출력면에서 효과적인 가솔린엔진의 경우에서도 현재까지 별로 각광을 받지 못한 것은 다음과 같은 몇가지 두드러진 이유 때문이라고 본다. 첫째 흡입연료의 일부가 소기(scavenging)과정에서 배기공으로 곧바로 유출됨으로 배기 공해성분을 증가시키고 연료손실에 따른 연비저감을 초래하는 것이다. 둘째로 crankcase 소기를 이용하는 소형가솔린 2-stroke 엔진에서는 새 공기의 흡입이 충분치 못하여 일반적으로 높지 않은 소기효율을 고려한 최종 흡입 체적효율은 상당히 낮아지게 됨으로써 목적하는바의 비출력 증대의 득을 별로 얻지 못함은 물론 잔류가스율이 높아 저부하, 저속도에서 엔진의

구동이 순조롭지 못하고 시동이 어려워지는 특성을 나타나게 된다. 따라서 이러한 바람직하지 못한 결과를 감수할 수 있는 경우에만 소형원동기에 주로 2-stroke 가솔린 엔진이 이용되어 왔다. 요사이 이러한 약점들을 타개할 수 있는 고안들이 미국 SAE 지에 소개되어 관심을 끌고 있어 이에 대해 요점적으로 소개하고자 한다.

2. 단형피스톤(Stepped Piston)

이중에서 하나는 소기효율을 증대시키는 방안으로 출발하여 고안된 것으로 단형 피스톤(steppped piston)을 이용한 엔진이다. 이의 원리를 개략적으로 그린 것이 그림 1이다. 이 그림이 보여주는 바와 같이 통상적인 피스톤에 다 공기펌프 역할을 담당하는 보다 큰 구경의 피스톤이 합하여 1개의 단형 피스톤이 된다. 이 피스톤의 운동으로 흡입의 계속적인교차유동이 한편에 위치한 실린더의 하부 환상 펌프실과 마주편 실린더의 상부연소실 사이에 이루어지게 된다.

한 펌프실의 피스톤이 하향운동을 함에 따라 흡입되는 공기는 이 피스톤이 상향 행정시 일차 흡기공의 리드발브(reed valve)에 의해 펌프실이 봉쇄되면서 압축된다. 이 과정은 그

* 한국과학기술원 기계공학과

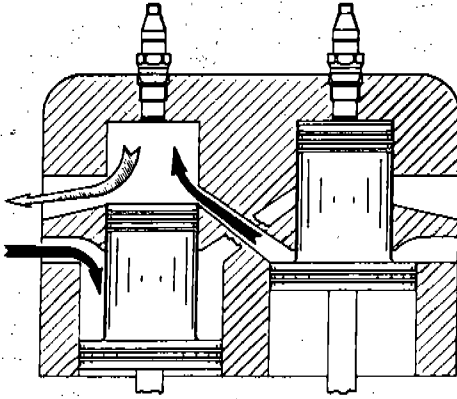


그림 1 2-stroke 단형 피스톤 엔진의 2개의 실린더는 상호작용을 하게 되는데 한편에 있는 대구경의 펌프 피스톤은 공기를 흡입하여 이를 다른편의 연소실로 보낸다. 리드발브는 펌프 사이클중 흡기공을 봉쇄하여 역류를 막는다. 이와같은 설계로 소기(scavenging air)를 공급하기 위하여 crankcase에 의한 압축이나 별도의 송풍기가 불필요하게 된다.

연 실린더에서 하강하는 피스톤이 출력행정을 완료하면서 흡기공을 노출시킬때까지 계속된다. 새로 흡입된 공기는 이후부터 전달통로를 경유하여 마주편 실린더로 밀려 들어가게 된다. 이 새공기는 노출된 배기공으로 기연가스를 몰아내고 압축행정을 시작하기 직전까지 연소실을 채우게 된다. 펌프체적과 전달통로 체적비율이 변경되면 공기유량이 바뀌어지게 되고 엔진 토크 성능에 영향을 주게 되는데 이는 앞으로 더 연구할 분야이다.

크랭크 케이스는 흡기로부터 완전히 격리되어 있기 때문에 통상적인 4-stroke 엔진의 가압 엔진 운용이 가능하다. 그러므로 crank-case 압력식 2-stroke 엔진에 필요한 롤러베어링 설치를 위한 제작비가 많이드는 조립식 crank 축이 불필요하게 된다. 따라서 4-stroke 엔진의 복잡한 발브장치와 이와 관련된 구동장치가 제거될뿐 아니라 나아가 재래식 2-stroke 가솔린 엔진에서 보다 부품수가 작아지게 된다. 낮은 기계소음이 또다른 이점으로 열거되는데 이는 환상펌프 피스톤이 비교적 낮은 온도에서 작동됨으로 실린더와의 유격(clearan-

ce)이 작아도 무방하게 됨으로 피스톤 슬랩(piston-slap)이 축소되기 때문이다.

연료 성층화를 이루는 실험용 500cc 쌍기통 모터 사이클 엔진 두개로 V-4형의 단형 피스톤 가솔린엔진이 조립되었다. 수냉식이며 압축비가 9:1인 이 엔진은 당시 동력계 시험을 통하여 최적화 과정을 밟고 있었다. 1리터의 배제체적으로는 이례적인 52kw (74 hp)의 출력이 얻어졌다는 보고가 있었다. 일점 연료 분사식이 현재의 카부레타를 대체하기 위해 개발되고 있다고 한다. 또 1.6리터 단형 피스톤엔진이 개발되고 있는데 이 엔진은 주 직경이 82mm, 행정이 75mm 그리고 펌프직경이 127mm이라 한다. 1.4:1의 소기체적비가 소기를 담당하는데 과급효과는 별로 없다고 한다.

3. 공기무화 연료 분사(Pneumatic Fuel Injection)

2-stroke 가솔린엔진에서 또다른 팔목할 만한 발전은 공기 무화 연료 분사장치이다. 호주의 한 R & D 회사인 Orbital Engine Co (OEC)는 1.6리터 Holden J-car 엔진의 무게와 부피의 반이 채 안되는 1.2리터 3기통 2-stroke 엔진을 생산했는데 이 엔진은 4-stroke 엔진보다 출력 및 토크가 크고 연비가 좋으면서 미연방정부 배기 규제를 만족시키고 있다. 여기서 가장 핵심이 되는 것은 공기 무화 분사장치로 이것은 2-stroke 엔진 실린더 안에 설치되며 이로써 재래식 가솔린 엔진은 일 혼합기체가 크랭크케이스를 통한 연료흡입과 송출을 대신한다. 이 장치는 2-stroke 엔진의 기계적 단순성, 소형성, 출력행정의 2배 증가등 장점을 유지하면서 2-stroke 가솔린 엔진에 공통적인 운용문제, 낮은 연비, 배기공해 및 spark plug fouling 등의 결점을 제거하여 준다. 분사 장치에서는 연료대신 공기가 분사동력체가 된다. 350 내지 700 kPa (50-100 psi)의 압력으로 순간적으로 작동하는 압축공기가 분사기로부터 일정량의 연료와 함께 70 내지 100 kPa (10-15 psi)의 비교적 낮은

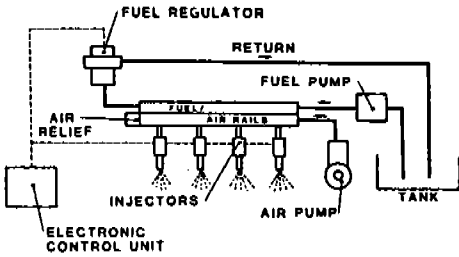


그림 2 이그림은 4-기통, 2-stroke 엔진용 Orbital사의 직접분사장치의 개략도이다. 연료는 낮은 압력으로 연료펌프에 의하여 연료조정기를 경유하여 분사기를 순환하게 되며 분무를 만드는 700 kPa (100 psi)가 채 안되는 압축공기는 엔진에 구동되는 피스톤 펌프에 의하여 공급된다. 분사교축 (throttling)이나 연료양 조절 전자 장치는 엔진 조정장치와 일체로 될 수 있다.

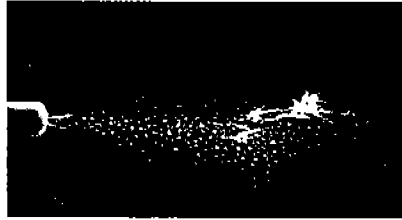
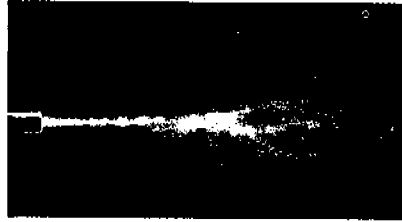


그림 4 Orbital 분사기(위쪽)로부터 분사된 연료는 75% 이상의 액적이 10 마이크로 이하이며 제래식 EFI(아래쪽)로부터의 크기가 200 마이크로 전후되는 액적들과 대조적이다. 가솔린과 혼합된 압축공기는 미세 분무를 일으키며 노즐의 탄소축적 문제를 없애준다.

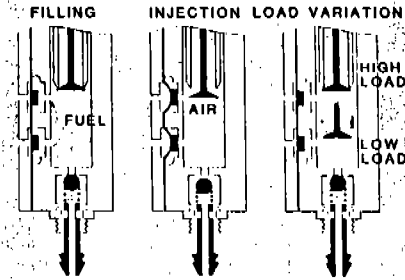


그림 3 연료분사기는 내부 유체실이 있어서 이의 크기가 계량바늘의 높이에 의하여 정하여지고 이 바늘은 선형전기 작동기에 의하여 위치가 정해지는데 이것이 throttle 발브 역할을 한다. 유체실은 압축공기에 의해 작동되는 박막식 발브에 의해 가압되어 채워진다. 압축된 공기가 연료공급발브를 막아 가솔린의 유동이 정지되는 동시에 이 공기가 계량바늘의 중심통로로 방출되어 조그마한 포켓 발브를 연다. 요구되는 엔진 출력에 의해 연료량이 결정되며 움직이는 바늘 주위에 유적이 있어 낮은 위치에 있을때도 이 주위로 연료가 흐를 수 있게 된다.

접분사장치의 개략적인 장치를 그린 것이며 그림 3은 연료분사기의 작동원리를 나타낸 개략도이다.

이와같은 2상유체 개념은 몇가지 이점을 가지고 있다. 고속의 공기가 천천히 움직이는 연료위를 음속조건으로 지나기 때문에 연료의 무화는 대단히 잘 이루어지게 된다. 결과적으로 약 95%의 액적들은 직경이 10 마이크로 보다 작게 무화되는데 이는 통상적인 전자식 연료분사나 디젤분사 액적보다 훨씬 작은 것으로 그 대표적인 예가 그림 4에 나타나 있다. 따라서 연료의 무화는 완전연소를 유도하여 출력이 증대되며 연료경제, 배기 및 시동성 향상의 이점을 가져다 주는 동시에 희박연소 가능성을 증진시킨다.

분사시기와 기간은 정확히 조정될 수 있다. 또한 연료압이 낮은 관계로 이 부품들의 치수 공차에 덜 민감하여도 좋고 제품의 경도나 표면조도 또한 그다지 문제가 되지 않는다. 따라서 제작비가 저렴하게 드는것은 당연한 결과이다. 연료순환은 간단한 박막식 펌프에 의하여 이루어지며 공기는 피스톤펌프에 의하여

압력하에 있는 실린더로 분사된다. 이처럼 낮은 분사압력이 충분한 이유는 배기공이 막 닫히고 압축행정이 시작되는 하사점 부근에서 비교적 낮은 압력하에 있는 실린더로 이같은 직접분사가 이루어지기 때문이다. 그림 2는 직

압축되는데 이때 소모되는 동력은 엔진출력의 약 1%가 된다. 연료분사로 흡입과정의 *throttling* 과정이 제거됨으로 펌프손실이 없게 되고 재래식 2-stroke 엔진의 소기과정에서 야기되는 연료의 손실이나 이로 인한 배기문제가 완전히 없어지게 된다. OEC사는 분사기와 점화 *plug*의 위치를 바꾸어 가며 실험한 24개의 설계된 연소실 중에서 최종 선택된 직접분사장치로 새로 흡입되는 연료-공기 혼합기의 성층화를 이룩하였다. 최적연소실을 갖는 1.2리터 엔진을 동력계로 실험하여 본 결과 4-stroke 엔진보다 약 20% 낮은 연료소모율을 보여 주었을뿐 아니라 HC, CO 및 NO_x 배출은 현 미국규제치 보다 낮은 수준이었다.

제작조립된 엔진은 무게가 53 kg 밖에 되지 않아 123 kg이 되는 Holden J-car 엔진에 비해 절반이하 이지만 출력은 이와 거의 비슷한 64-kw(86-hp)를 내며 J-car 엔진의 125 N-m(92 lb-ft) 보다 큰 140 N-m(103 lb-ft)로 토크가 증대됨을 보여주고 있다. 2-stroke 엔진의 이와같이 높은 비출력/무게 및 낮은 엔진높이의 장점을 실차량적재시 주행 연료 경제에 도움이 될것이다. OEC사는 발브나 기타 부품이 없게 됨으로 엔진생산 단가가 \$150 정도 낮아질 것이라고 말하고 있다. 이 공기 무화 분사장치는 4-stroke 엔진의 다점분사(MPI)장치에 적용될 수도 있다고 한다. 이 경우에는 작동공기압이 보다 낮게 되며 기존 EFI 장치보다 성능면에서나 가격면에서 상당한 이점이 있다고 한다.

4. 결 론

2-stroke 가솔린 엔진이 큰 비출력, 작은 부품수 등 여러가지 장점을 가지고 있음에도 불구하고 각광을 받지 못한 이유는 앞에서 언급한 바와같이 소기과정에 흡입된 연료가 곧

바로 배기로 유출되는 점과 가장 간단한 형태인 Crankcase 압축식인 경우 체적효율이 좋지 못한것 등의 두드러진 단점 때문이라 하겠다. 공기분무식 연료분사장치와 단형피스톤장치는 이와같은 결점을 보완하는데 효과적인차상인것 같고 또 부분적이긴 하나 몇몇 실험에 이타는 이를 입증하고 있는듯 하다.

그러나 이와 같은 새로운 장치가 실용화 되기위해서 열부하, 엔진운환, 성층화에 따른 문제 등은 물론 엔진 전체로의 신뢰도가 입증되는 과정을 거치게 될 것이다. 이런 제반분야에서 문제점들이 적절히 처리된다면 특히 두드러진 비출력의 장점때문에 2-stroke 가솔린 엔진이 머지않은 장래에 승용차의 주력 *power plant*로 4-stroke 엔진을 대치할 가능성이 크다고 생각된다. 따라서 우리나라 자동차 공업계는 현재 4-stroke 왕복동 엔진설계 국산화에 바쁘겠으나 2-stroke 가솔린 엔진 분야에서의 국제경쟁력을 배양하기 위하여 이에 관심을 기울임은 물론 적절한 연구투자를 지금부터 시작하여야 겠다는 점을 말씀드리고싶다.

참 고 문 헌

1. C.F. Taylor, "Chap 7. Two-Stroke Engines", *The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Vol. 1, 2nd edition, MIT Press.*
2. *International Viewpoints, "Stepped-piston two-stroke diesel shows promise", Automotive Engineering, May 1986, p. 80-82.*
3. *International Viewpoints, "Pneumatic fuel injection spurs two-stroke revival", Automotive Engineering, Aug. 1986, p. 74-79.*