

직접분사식 고압 수소분사밸브의 개발에 관한 연구

김윤영, 안종윤, 이종태

성균관대학교 기계공학과
수원시 장안구 천천동 300, 440-746

A Study on Development of High Pressure Hydrogen Injection Valve

Yun-Young Kim, Jong-Yun Ahn, Jong-Tai Lee

School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University
300 Chunchun-dong, Jangan-gu, Suwon, 440-746, Korea

Abstract

Ball poppet valve type high pressure hydrogen injection valve actuated by solenoid has been developed for the feasibility of practical use of hydrogen fueled engine with direct injection and the precise control of fuel injection ratio in hydrogen fueled engine with dual injection.

The gas-tightness of ball poppet injection valve is improved by the introduction of ball-shaped valve face, valve end typed spherical pair, and valve stem with rotating blade. Ball poppet valve is mainly closed by differential pressure due to the area difference between valve fillet and pressure piston. So, it can be operated by solenoid actuator with small driving force.

From the evaluation of ball poppet injection valve, it was found that the gas-tightness and controlment of this injection valve are better than those of injection valve had been developed before.

Keywords : 고압수소분사밸브(High pressure hydrogen injection valve), 볼포핏밸브(Poppet valve with ball face), 구면대우(Spherical pair), 기밀성(Gas-tightness of injection valve), 솔레노이드 구동방식(Solenoid actuator), 이중분사식 수소기관(Hydrogen fueled engine with dual injection)

1. 서론

직접분사식 수소기관은 실린더내에 연료를 직접 공급함으로써 수소기관의 가장 큰 문제인 역화를 회피하고 고출력을 얻을 수 있다. 직접분사식 수소기관의 실용화를 위해서는 고압하에서 기밀성이 우수하고 기관운전 조건에 상응한 연료량을 신뢰성있게 공급할 수 있는 수소 분사밸브의 개발이 가장 중요하다^{1, 3)}.

저자들이 연구중인 이중분사식 수소기관은 부하조건에 따라 분사방식을 달리하여 전운전영역에 걸쳐 고출력과 고효율의 동시달성을 도모하고 있다⁴⁾. 즉 무부하 및 저부하 영역에서는 흡기관쪽으로 수소가스를 공급하여 고효율을 얻는다. 고부하 영역에서는 역화가 발생하지 않을 정도의 수소를 흡기관으로 공급하고 나머지 필요한 수소는 실린더내로 직접 분사하여 고출력을 달성하는 것이다. 이중분사식 수소기관에서 흡기관 공급식으로부터 실린더내 직접방식으로 분사방식이 천이되는 영역중에 분사량비가 급격히 변화되면 기관운전이 불안정해진다. 이러한 연소변동을 최소화시키기 위해서는 고속운전 조건하에서 흡기관 분사밸브와 연동하여 분사량을 정밀제어 할 수 있는 고압 수소분사밸브가 필요하다.

그러나 수소의 무윤향성과 분사압의 고압화에 따른 누설 및 구동력 문제로 인해 상기 조건을 충족할 수 있는 고압수소분사밸브의 개발이 용이하지 않아 신뢰성 있는 수소기관의 실용화에 큰 걸림돌이 되고 있다^{5, 6)}.

따라서 본 연구에서는 저자들이 개발한 유압구동식 포핏밸브형 분사밸브 및 유압구동식 볼밸브형 분사밸브의 개발과정에서 확립한 기술을 검토하여, 고속운전조건에서도 흡기관 분사밸브와 동기제어가 가능한 솔레

노이드 구동식 볼포핏밸브형 고압 수소분사밸브를 제시하였다. 그리고 이러한 볼포핏밸브의 구조와 작동원리를 기술하고 분사밸브의 구동특성 및 성능에 대해 평가하였다.

2. 고압수소분사밸브의 설계시 고려사항

직접분사식 수소분사밸브는 요구되는 운전조건에 상응하는 고압의 수소연료를 압축과정중에 실린더내로 분사할 수 있어야 한다. 수소는 밀도가 작은 가스상태이므로 이론공연비 조건에서 실린더내에 공급되는 혼합기 체적의 1/3정도가 수소연료이다. 분사압력은 압축과정중의 짧은 시간내에 많은 양의 수소가스를 연소실내로 공급해야 한다. 또한 수소 공기의 혼합을 증가를 위해 밀도가 작은 수소가스의 운동량을 증가시키는 것이 바람직하므로 고압화하여야 한다. 요구되는 분사압은 수십 bar 이상이므로 수소분사밸브의 기밀유지는 매우 어렵다. 한편 수소 연료 자체에는 윤활성이 없다. 이로 인해 포핏밸브형 분사밸브의 밸브가이드 및 밸브스텝과 같은 습동부위가 쉽게 마모되어 분사밸브의 내구성이 저하되고 누설량이 증가된다. 따라서 수소분사밸브의 설계시 첫째로 고려해야할 사항은 무윤향성의 고압 수소가스를 사용하는데 따른 누설문제를 해결할 수 있는 기밀성이다.

수소분사밸브는 고속운전 조건에서도 요구되는 분사량의 제어가 가능해야 한다. 포핏밸브형 수소분사밸브의 경우, 고압의 수소가스를 밀폐하고 고속하의 밸브개폐 작동에 의한 밸브서징현상을 방지하기 위해 장력이 큰 밸브 스프링을 사용하여야 한다. 이로 인해 수소분사밸브의 구동방식은 고장력의 밸브스프링을 밀어내어 밸브개폐가 원활하고

동시에 요구되는 운전조건에 대응하여 분사량을 조절 할 수 있는 방식이어야 한다.

수소분사밸브의 구동방식으로는 기계식, 유압식, 솔레노이드 구동식 등이 있다. 기계식의 대표적인 예로는 캠의 회전에 의해 밸브를 구동시키는 방식을 들 수 있다. 고속운전시 분사량의 증가가 필요하나 기계식의 경우 기관회전수 증가에 따른 분사기간의 감소로 인하여 분사량이 반대로 감소되므로 기관회전수 변화에 대한 분사량의 제어가 어렵다는 단점이 있다. 유압구동식은 통상의 디젤연료 분사장치와 마찬가지로 분사펌프에 의해 가압된 유압으로 분사밸브를 작동시킨다. 유압구동식은 고장력의 밸브 스프링에 대응할 수 있을 정도의 충분한 구동력을 얻을 수 있고 분사량 제어가 용이하다. 단지 분사펌프 등의 부가장치가 필요하고 고속운전에 취약한 점이 있다. 솔레노이드 구동식의 경우는 고속 운전조건에서도 응답성이 우수하고 분사신호의 기간을 변화시켜 손쉽게 분사량 제어가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 고압의 수소가스 압력과 포핏밸브의 고장력 스프링을 밀어내어 원활한 밸브개폐를 이루기에는 구동력이 부족하다.

이와같이 상기 구동방식의 구동력, 고속응답성, 분사량 제어성에 대한 특성이 서로 상이함으로 분사밸브 작동원리와 기관운전조건 등을 고려하여 적합한 구동방식을 채택하여야 한다. 즉, 분사밸브 설계시 두 번째 고려해야할 사항은 구동방식이다.

이밖에 고압수소 분사밸브는 가급적 구조가 간단하면서 실린더내의 고온가스에 의해 소형이며 기관에 용이하게 설치할 수 있는 기하학적 형상을 가져야 한다. 또한 수소분사밸브는 열적 장애를 받지 않아야 한다.

상기와 같은 점을 고려하여 저자들이 개발한 유압구동식 고압수소 분사밸브는 다음과 같다.

3. 유압구동식 고압수소분사밸브

3.1 포핏밸브형 고압수소분사밸브

Fig. 1은 유압구동식 포핏밸브형 고압수소분사밸브의 개략을 나타낸 것이다. 포핏밸브형 분사밸브는 분사밸브 구동부, 푸시로드 간극조정부 및 수소분사밸브부로 구성된다. 수소분사밸브부는 통상의 자동차용 흡배기 밸브와 동일한 구조로서 포핏밸브가 밸브스프링에 의해 밸브시트에 밀착되어 기밀이 유지된다. 높은 분사압력과 밸브서징문제를 고려하여 수소분사밸브에는 고장력의 밸브 스프링을 사용하였다. 이에 대응하여 분사밸브를 원활히 개폐시키고자, 분사밸브의 구동은 유압구동방식을 채택하였다. 유압구동방식의 원리는 연료분사펌프에 의해 가압된 고압의 작동유가 소형디젤 기관용 분사노즐의 니들을 작동시켜, 이 니들의 움직임이 푸시로드에 의해 전달되어 분사밸브를 열리게 하는 방식이다.

수소분사압은 고압이므로 포핏밸브 페이스와 밸브시트를 정밀가공 할지라도 수소가스의 누설이 발생한다. 가스누설을 억제하기 위하여 밸브시트에 두께 1.5mm의 테프론을 밸브시트의 접촉부분보다 0.1mm 높게 삽입하여 기밀성을 향상시켰다. 밸브시트 주위에는 테프론의 열변형을 방지하고자 냉각수를 통과시켰다.

밸브스템과 가이드 부의 안내면은 수소의 무원활성에 의한 마모가 생긴다. 포핏밸브의 편심은 수소가스 누설과 내구성 저하의 원인이 된다. 따라서 베럴로부터 밸브까지의 수소가스통로는 분사밸브의 중심을 관통하도록 하여 안내면 사이를 통과하는 수소가스량을 가능한 제거하였다.

분사구 형상은 수소-공기 혼합기의 균질도에 직접적으로 영향을 미친다. 따라서 Fig. 2와 같은 분사구 형상을 제시하여 각 분사구 형상에 대한 수소와 공기의 혼합양상의 가시화 및 기관내의 사이클 변동치의 해석결과로부터 가장 적절한 것으로 밝혀진 9 hole type를 사용하였다⁷⁾. 상기 방식의 수소분사밸브는 분사압 20bar 이상에서도 작동이 원활하였다. 이를 기관에 장착한 국내 최초의 직접분사식 수소기관을 사용하여 수소기관의 연소 및 성능특성, 최적압축비와 사이클변동원인 등을 해석할 수 있었다^{8,9)}.

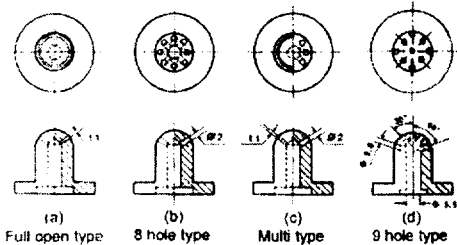


Fig. 2 Configuration of injection holes

3.2 볼밸브형 고압수소분사밸브

포핏밸브형 수소분사밸브는 밸브시트부에 테프론을 삽입하여 기밀성을 향상시켰지만 장기간 사용할 경우 마모로 인하여 기밀성이 저하되었다. 또한 분사밸브내의 수소가스 통로를 밸브스텝 중심부에 설치하여 수소의 무유향성에 의한 마모로 밸브가 편심되는

것을 최대한 억제하려했으나 장기간 사용에 따른 마모문제는 회피할 수 없었다.

상기와 같은 밸브시트부의 마모 및 밸브스텝의 마모에 의한 편심 문제를 해결하기 위해 포핏밸브 대신 볼밸브를 채택하였다. 볼밸브를 시트에 밀착시켜 기밀하는 경우 볼은 구형이므로 편심되더라도 이상적인 상태로 밸브시트에 안착된다. 또한 볼밸브가 구동중에 자유롭게 회전함으로써 밸브시트가 연마되는 효과가 있어 사용함에 따라 기밀성이 향상되는 효과가 있다.

이 개념으로 제작한 유압구동식 볼밸브형 고압수소분사밸브는 Fig. 3과 같다. 수소가스는 분사밸브 입구로부터 배럴에 충전된 후 분사펌프의 유압으로 구동되는 분사니들에 의해 볼밸브가 개폐되어 실린더내로 분사된다. 볼밸브는 볼밸브 표면에 작용하는 수소가스의 압력차에 의해 자동적으로 밸브시트에 밀착된다. 이때 스프링은 단지 볼밸브가 밸브시트에 안착되도록 안내하는 역할만을 한다. 밸브시트부의 재질은 내구성이 우수한 동을 사용하였다. 고압의 연소가스에 의해 볼밸브가 열리거나 구동력의 변동이 생길 수 있으므로 볼밸브와 분사구 사이에 check valve를 설치하였다. 분사량은 포핏밸브형 분사밸브와 마찬가지로 분사펌프의 control rack에 의해 조절된다.

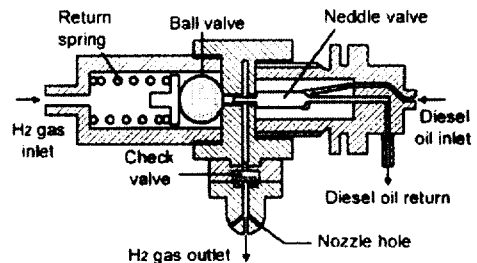


Fig. 3 Ball valve type hydrogen injection valve

유압구동식 볼밸브형 분사밸브는 분사압

30bar 이상에서도 기밀성이 우수하였으며 장시간의 사용후에도 내구성이 유지되었다. 볼밸브형 분사밸브는 부품수가 32개인 포핏밸브에 비해 구조가 현저히 간단한 장점이 있다. 상기와 같이 기밀성 및 내구성이 향상된 볼밸브형 분사밸브는 수소자동차 성균1호와 성균2호의 성공적인 개발에 결정적인 역할을 하였다^{10,11)}. 또한 상기 분사밸브를 사용하여 직접분사식 수소기관의 제반성능 해석결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있었다¹²⁾.

그러나 볼밸브형 분사밸브는 볼밸브와 분사공 사이의 관로길이가 포핏밸브에 비해 상대적으로 증가되어 이 관로내의 잔류수소가스량이 많아지고 압축비 감소의 원인이 된다. 그리고 유압구동방식은 고속운전에 취약하며 별도의 유압펌프가 설치되므로 동력손실과 구조가 복잡해진다. 또한 유압구동방식의 수소분사밸브를 이중분사식 수소기관에 사용하는 경우 흡기관 분사밸브와 분사량을 동기제어하기 어렵다는 단점이 있다.

이를 해결하기 위하여 다음과 같은 솔레노이드 구동식 볼포핏밸브형 고압 수소분사밸브를 개발하였다.

4. 솔레노이드 구동식 볼포핏 밸브형 고압수소분사밸브

4.1 볼포핏밸브형 수소분사밸브의 구조 및 구동원리

솔레노이드 구동방식은 분사시기와 분사량을 전자적으로 용이하게 제어할 수 있고 유압구동식 보다 고속하에서 응답성이 우수하다는 장점이 있다¹³⁾. 그러나 이 방식을 고압수소분사밸브에 적용하기 위해서는 구동력의 제약성 문제를 해결해야 한다.

전술한바와 같이 포핏밸브형 분사밸브의 경우 분사밸브에는 고압의 수소가스와 고장력의 스프링이 작용하므로 큰 구동력이 필

요하다. 반면 볼밸브형 분사밸브는 볼밸브의 상하면의 면적차에 의한 차압이 볼밸브의 구동력이므로 이 차압을 작게하면 솔레노이드에 의해서도 구동이 가능하다.

따라서 볼밸브형 분사밸브와 같이 작은 밸브구동력만으로 작동 가능하며 분사밸브가 밸브시트부의 바깥쪽에 위치하여 볼밸브와 분사구사이 관로길이를 최소화할 수 있고 또한 연소가스의 역류가능성을 배제할 수 있는 솔레노이드 구동식 볼포핏형 분사밸브를 고안하였다.

Fig. 4에 솔레노이드 구동식 볼포핏밸브형 고압수소분사밸브의 개략도를 나타낸다. 볼포핏밸브형 분사밸브는 솔레노이드 구동부, 푸시로드 조절부, 수소분사밸브부 등으로 구성된다. 밸브시스템 엔드부에는 솔레노이드의 구동력에 상응하는 차압을 만들기 위해 밸브 fillet의 면적보다 약간 큰 면적을 갖는 차압발생용 피스톤을 설치하였다. 차압발생용 피스톤에는 오링을 설치하여 고압의 수소가스가 솔레노이드쪽으로 누설되는 것을 차단하였다. 차압발생용 피스톤 하부에 장착한 밸브스프링은 주로 분사밸브에 수소가스가 공급되지 않을 경우에도 닫힘을 유지하게하고 볼포핏 밸브가 밸브시트로 복귀되는 것을 돕는 보조적인 역할을 한다.

볼밸브형 분사밸브에서 기밀성이 우수한 것은 구형의 밸브가 밸브시트에 이상적으로 안착되는

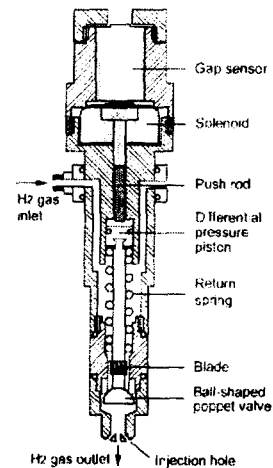


Fig. 4 Ball poppet valve type hydrogen injection valve

것과 볼밸브의 자유로운 회전에 의한 밸브 시트의 연마효과에 기인한다. 따라서 볼포핏 밸브형 분사밸브도 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 밸브 페이스를 구형으로 하고 분사밸브를 회전시켜 기밀성 향상을 도모하였다. 볼포핏밸브를 회전시키고 또한 편심의 문제를 해결하고자 밸브헤드 쪽 밸브스템에 회전익차를 설치하고 차압발생용 피스톤과 밸브엔드의 연결부분을 구면대우의 경우와 같이 자유자재로 움직이도록 하였다. 밸브의 회전은 밸브개폐시 회전익차 사이로 제트상의 수소가스가 통과되면서 발생하는 회전력을 이용하였다. 회전익차는 밸브헤드 선단으로부터 10mm 뒤쪽에 폭 1.5mm, 높이가 1.5mm, 길이 3.5mm, 경사각 30°의 형상으로 밸브스템의 원주방향 둘레에 설치하였다. 회전익차 입구는 압력에너지를 속도에너지로 변환시키고자 유동관로를 노즐형태로 만들었다.

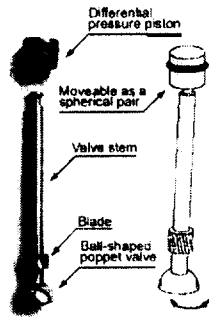


Fig. 5 Photography and spheric mechanism of ball poppet valvw

4.2 솔레노이드 구동제어

Fig. 6에 솔레노이드 제어 흐름도를 나타낸다. 캠축에 설치한 엔코더로부터 검출된 TDC와 angle신호를 8255 I/O에 의해 컴퓨터에 입력하여 분사신호를 제어한다. TDC 신호가 입력되면 angle값은 초기값으로 셋팅되고 이후 검출되는 angle수를 누적하여 선정값과 일치되면 펄스신호가 발생한다. 분사시기 및 분사기간 신호의 오차범위는 기관회전수 6000rpm이상에서도 1/2 deg미만이다.

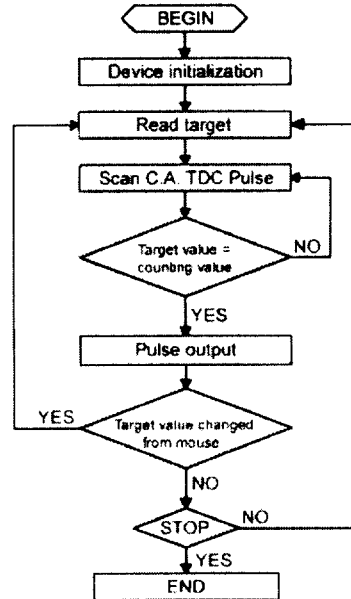


Fig. 6 Algorithm of control logic

전술한바와 같이 분사밸브가 밸브시트에 밀착하는 힘은 밸브 fillet과 차압발생용 피스톤의 면적차에 의한 차압과 복귀 스프링의 장력이지만, 차압은 분사밸브가 열리게 되면 곧바로 소멸되므로 분사기간내에 솔레노이드에 작용하는 힘은 복귀스프링의 작은 장력뿐이다. 따라서, 솔레노이드의 구동전류는 발열과 응답성 향상을 고려하여 분사밸브가 열리는 초기에 큰 전류가 흐르고 열린 후 전류가 작아지는 피크-홀드 파형으로 공급하였다.

Fig. 7은 솔레노이드 피크-홀드파형 구동 회로를 나타낸 것이다. 솔레노이드의 전기적 단속은 응답속도가 빠른 power MOS FET를 사용하였다. 솔레노이드 단속시 코일내에 역기전력이 발생하여 분사밸브의 응답성이 저하된다. 이러한 역기전력을 제거하기 위해 저항과 다이오드로 구성된 평활회로를 솔레노이드 양단에 병렬로 연결하였다.

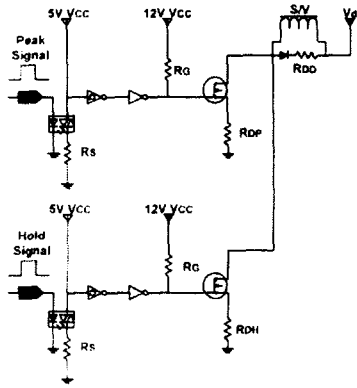


Fig. 7 Circuit diagram of driving unit

평활저항에 따른 분사리프트의 변화를 분사압이 20bar의 경우에 대해 나타낸 것이 Fig. 8이다. 그림에 나타난 바와 같이 평활회로를 사용하지 않을 경우 분사종료 지연시간은 10ms 이상이다. 그러나 100Ω의 평활저항을 설치하여 솔레노이드 단속시에 발생하는 역기전력을 상쇄시켰을 경우 지연시간이 현저히 감소되어 분사종료 신호에 대응하여 분사밸브가 신속히 닫히는 것을 보이고 있다.

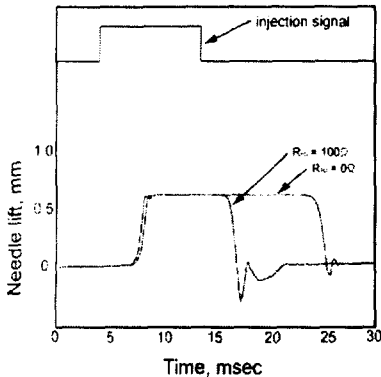


Fig. 8 Effect of diode-resistance installed in driving circuit

4.3 구동특성

솔레노이드 구동식 볼포핏밸브형 분사밸브의 기밀성을 평가하기 위해 초기조립상태에서 배럴내로 수소가스를 공급한 경우의 수소분사압 변화에 대한 누설량을 조사하였으며, Fig. 9는 그 결과를 나타낸 것이다. 여기서 수소누설량은 수상치환법에 의해 측정되었다¹⁴⁾.

분사압 10bar의 경우 누설량은 매우 미소하며 분사압이 증가함에 따라 누설량은 대체로 압력에 비례하여 증가되는 것을 보이고 있다. 누설량은 측정시간의 경과에 대해 약간의 차이가 있지만 분사압 20bar 하에서 대략 16cc/min이고 30 bar의 경우 29cc/min 정도이다. 전술한 바와 같이 상기의 누설량은 초기조립상태에서의 측정치이며, 분사밸브를 작동시킬 경우 구형의 밸브페이스에 의한 밸브시트의 연마 작용효과가 누설량에 영향을 미칠 수 있다.

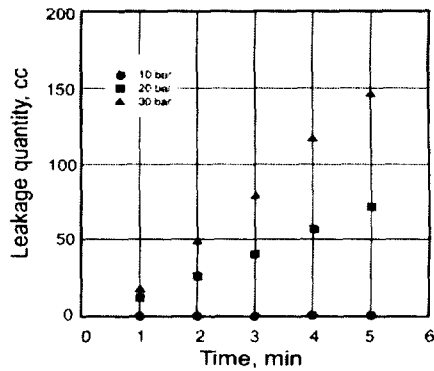


Fig. 9 Leakage quantity under initial condition

이 영향을 파악하기 위해 수소분사밸브 작동횟수에 따른 수소누설량을 각 분사압조건에 대해 나타낸 것이 Fig. 10이다. 수소가스의 누출량은 각각의 분사압력에 대해 모두 수소분사밸브의 구동횟수의 증가에 따라 처음에 증가하다가 800회 정도부터 급격히

감소하는 경향이다. 수소가스 누출량은 밸브의 구동 횟수가 1600회 이상부터 모든 압력 조건에 대해 50cc/min 이하의 값을 보인다. 이는 행정체적 500cc, 기관회전수 1000rpm 조건에서 수소의 희박 가연한계치의 1%인 100cc/min에 비해서도 매우 작은 값이다. 분사밸브 작동 초기에 누설량이 증가된 후 분사밸브 작동횟수가 늘어남에 따라 감소하여 일정한 값을 나타내는 것은 볼포핏밸브가 작동하면서 회전하여 밸브시트면을 연마하는 효과에 의해 기밀성이 향상되는데 기인하는 것이라 생각된다. 이와같이 슬레노이드 구동식 볼포핏밸브형 분사밸브를 1000회 이상 작동시킨 후에도 누설량은 아주 미소한 것을 나타내는 것은 볼포핏밸브형 수소 분사밸브의 기밀성과 내구성이 우수하다는 것을 의미하는 것이다.

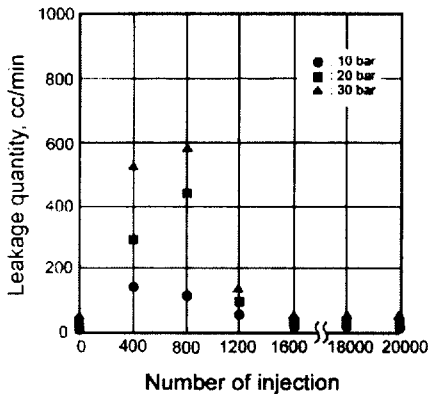


Fig. 10 Leakage quantity as a function injection number

볼포핏밸브형 분사밸브의 기밀성을 계속 유지시키기 위해서는 기관운전시 볼포핏밸브의 회전이 보장되어야 한다. Fig. 11은 볼포핏밸브가 1회전하는데 걸리는 시간을 기관회전수와 분사압 변화에 대해 나타낸 것이다. 포핏밸브의 회전속도는 분사압 및 기관회전수가 높을수록 증가하는 경향이다. 볼포핏밸브의 회전속도는 분사압 10bar, 기관

회전수 1000rpm에서 13deg/sec이고 분사압 30bar, 기관회전수 3000rpm에서 약 100deg/sec정도인 것이 보여졌다.

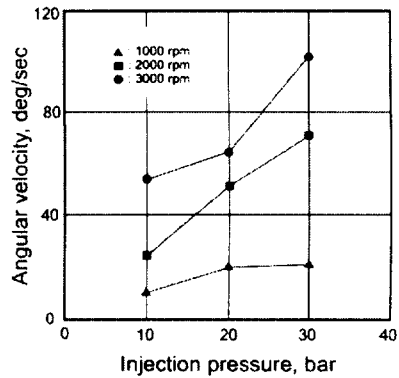


Fig. 11 Angular velocity of ball rotation for each injection pressure

Fig. 12는 분사압 20bar, 분사기간 80CA 조건하에서 기관회전수에 대한 볼포핏 분사밸브의 리프트 변화를 나타낸 일레이다. 여기서 분사밸브의 리프트는 분사되는 수소가스량과 수소분사밸브의 응답성을 의미하는 것이다. 분사밸브의 lift가 시작되는 시점, 즉, 분사밸브가 열리는 시점은 분사신호 입력후 코일자화 지연기간 등에 기인한 작동 지연에 의해 밸브열림 트리거신호가 있을 후 약간 지연된 시점이다. 그러나 분사지연기간은 기관회전수가 변화하더라도 대체로 일정한 약 2ms 정도의 값을 보이고 있다. 또한 노즐리프트의 양상은 모든 기관회전수에서 대체로 정현파에 가까우므로 분사기간의 변화로 분사량의 제어가 가능함을 알 수 있다.

Fig. 13은 볼포핏밸브형 분사밸브의 연료 분사량 범위 및 제어성을 평가하기 위해 수소분사밸브를 직접분사식 수소기관에 장착하여 발화운전시 분사량을 변화시킨 경우의 연료-공기 당량비와 기관출력을 나타낸 것

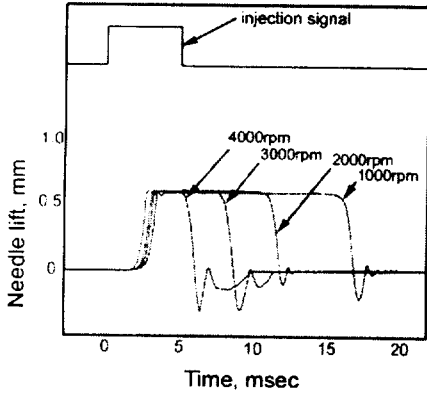


Fig.12 Needle lift for engine as a function of time

이다. 여기서 직접분사식 수소기관은 행정 체적 500cc, 압축비 9.2의 단기통 수소기관이며 분사압은 20bar, 기관회전수는 2000rpm이다. 그림에서 보는바와 같이 볼포핏형 수소분사밸브는 사이클 변동이 크지 않고 안정적인 운전이 가능한 당량비 0.4의 희박영역부터 1.3이상의 농후영역까지 분사량을 변화시킬 수 있음을 보이고 있다.

또한 분사량의 최소변화량은 당량비로 0.01정도로서 기관출력의 정밀제어가 가능한 범위이다. 장기간의 발화운전 이후에도 기관 성능이 일정한 것을 보이고 있다. 이는 분사밸브가 고온의 연소가스에 의한 열적 장애를 받지 않고 또한 분사밸브는 Fig. 10에 나타난 바와같이 2만회이상 작동하여도 50cc/min이하의 누설량을 보여 장기간의 발화운전 이후에도 기관성능이 일정하였다. 이는 분사밸브가 고온의 연소가스에 의한 열적 장애를 받지 않고 또한 분사밸브의 신뢰성 및 내구성이 우수하다는 것을 나타내는 것이다.

상기 결과로부터 발화 운전조건에서도 솔레노이드 볼포핏밸브형 고압 수소분사밸브는 응답성이 우수하고 분사시기 및 분사량의 제어가 용이함을 알 수 있었다.

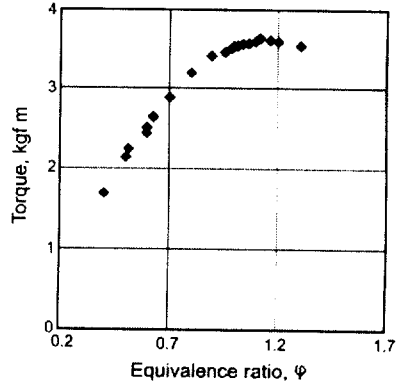


Fig. 13 Torque and equivalence ratio at each fuel injection quantity

5. 결론

직접분사식 고압수소분사밸브의 기밀성과 제어성을 향상시키기 위해 솔레노이드 구동식 볼포핏밸브형 고압수소분사밸브를 개발하였으며 그 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 솔레노이드 구동식 볼포핏밸브형 고압 수소분사밸브는 밸브페이스를 볼형으로 하고 밸브엔드를 구면대우과 같이 자유자재로 움직일 수 있게 함으로써 편심되더라도 밸브 페이스가 이상적으로 밸브시트에 밀착되어 고압하에서도 기밀을 유지 할 수 있었다. 그리고 밸브시스템에 회전익차를 설치하여 볼포핏밸브가 운전중 회전하는데 따른 밸브시트의 연마 효과에 의해 사용함에 따라 기밀성이 향상되는 것이 보여졌다.

2. 개발한 고압수소분사밸브는 밸브 fillet과 차압발생용 피스톤의 면적차에 의한 차압으로 밸브페이스가 밸브시트에 밀착하도록 하는 개념을 사용함으로써 작은 구동력

을 갖는 솔레노이드로 고압수소분사밸브를 구동할 수 있었다. 그리고 고속 운전하에서도 응답성이 우수하고 분사시기, 분사량 제어가 용이한 것을 확인하였다.

3. 상기와 같은 전자제어방식의 고압 수소 분사밸브를 개발함으로써 직접분사식 수소기관의 실용화 가능성을 높일 수 있었으며, 또한 흡기관 공급용 저압수소분사밸브와 동시 동조제어가 가능하게 되어 추후 이중분사식 수소기관의 분사 천이영역에서 분사량비 제어를 원활히 할 수 있는 토대를 마련할 수 있었다.

후 기

본 연구는 에너지 자원 기술개발지원센터의 지원하에 대체에너지 기술개발사업의 일환으로 수행되었음을 알립니다.

참고문헌

1. 이종태, "수소기관의 개발현황 및 특성", 한국자동차공학회지, Vol.18, No.2, 1996.4, PP.29-52
2. J. M. Kim, Y. T. Kim, S. Y. Lee, J. T. Lee, "Performance Characteristics of Hydrogen Fueled Engine with the Direct Injection and Spark Ignition System", SAE 952498, 1995.10, PP.167-175
3. K. S. Varde and G. A. Frame, "Development of a High-Pressure Hydrogen Injection for SI Engine and Results of Engine Behavior", Int. J. Hydrogen Energy, Vol.10, No.11, 1985, PP.743-748
4. H. K. Choi, J. Y. Ahn, Y. Y. Kim, J. T. Lee, "A Basic study on the

Extension of External Injection Region in Hydrogen Fueled Engine with Dual Injection," KHES and HESS, The 5rd Korea-Japan Joint Symposium '99 on Hydrogen Energy, 1999. 11, PP.237-248

5. 이종태, 이성열, 이재천, 김용환, "수소엔진 개발에 관한 기초연구", 한국자동차공학회, 춘계학술대회 논문집, 1998.6, PP.59-63
6. S. Furuhashi, "Trend of Social Requirements and Technical Development of Hydrogen Fueled Automobiles", JSME Review, Vol.13, PP.4-13
7. H. Hong, J. T. Lee, S. Y. Lee, "An Experimental Study on the Suitable Configuration of Injection Hole in Direct Injection Hydrogen Fueled Engine", KSME-JSME, 2nd Thermal Engineering conference Vol.2, 1992.10, PP.359-400
8. 김지문, 김용태, 이종태, 이성열, "수소기관의 사이클 변동 원인", 한국자동차공학회, 춘계학술대회 논문집, 1991.6, PP.71-75
9. S. B. Han, J. M. Kim, B. J. Kwon, J. T. Lee, "A Study on Compression Ratio of Hydrogen Fueled Engine", KHES and HESS, The 3rd Korea-Japan Joint Symposium '95 on Hydrogen Energy, 1995. 9, PP.103-108
10. 백성호, 이내현, 김지문, 이종태, 이성열, "수소자동차 성균1호의 개발", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, 1993.6, PP.493-501
11. 백성호, 이종태, "수소자동차 성균2호의 제작 및 특성", 한국수소에너지학회 정기학술대회 초록집, 1993.11, PP.23-25

12. S. W. Nam, J. B. Park, K. H. Choi, J. T. Lee, "Cooling Losses and Heat Flux of Hydrogen Fueled Spark Ignition Engine with Inner Injection", KHES and HESS, The 3rd Korea-Japan Joint Symposium '95 on Hydrogen Energy, 1995. 9, PP.83-91
13. C. A. MacCarley, W. D. Van Vorst, "Electronic Fuel Injection Techniques for Hydrogen Powered I.C. Engines", Int. J. Hydrogen Energy, Vol.5, 1980, PP.179-203
14. G. S. Weiss, T. G. Greco, L. H. Rickard, "Experiments in General Chemistry", Macmillan Publishing Company, 1993, PP.102-103