한국신·재생에너지학회 2007년도 추계학술대회논문집 pp.188~191

내장형 레귤레이터 및 솔레노이드 개발

이 준혁[1], 임 태호[2], 김 경남[3], 심 상학[4]

Development of In-tank Pressure Regulator and Solenoid Valve

Jun-Hyuk Lee, Tae Hoo Lim, Kyung-Nam Kim, Sang-Hak Shim

Key words : FCS(연료전지시스템), Performance-index(성능의 척도), Burst Test(파괴/파열 평가), Endurance Test(내구 평가), In-tank pressure regulator(내장형 레귤레이터), Solenoid valve(내장형 차단밸브)

Abstract : This paper shows the Development of In-tank pressure regulator and Solenoid Valve used in FCV(Fuel Cell Vehicle). We have developed new type of Regulator and Solenoid through analysis of the structure and characteristics of component of FCS(Fuel Cell System) from the advanced technology. Now it is possible to localize the component by making use of the development of Regulator and Solenoid made by us. Regulator and Solenoid is a equipment to control hydrogen pressure supplied into a stack. Therefore, outlet pressure, a flow of fluid and temperature are important parameters according to a inlet pressure. And leak test, endurance test and burst test should be done to guarantee the performance and safety of Regulator and Solenoid used in the fuel of high pressure. Also, Hydrogen friendly materials are applied to inner parts of the Regulator, Solenoid and weight reduction is done to cost saving in part not related to performance. As a result, we have proven the good performance and reliability in endurance of Regulator, Solenoid and will make an development in performance as well as durability to ensure industrialization.

Nomenclature

P1 : Inlet Pressure, bar
P2 : Outlet Pressure, bar
F : Flow, g/sec

subscrip

FCV : Fuel Cell Vehicle
FCS : Fuel Cell System

1. 서 론

세계는 자동차라는 문명의 이기를 발명한 이래로 눈부신 발전을 거듭해 왔다. Power 증대, 운전 편의성, 연비개선, 배기가스 배출억제라는 큰 틀 안에서 기술혁명을 이끌어 왔다. 그렇지만 한정된 석유 자원의 활용의 한계에 따른 에너지 수급에 대한 불안감 고조의 불식 및 하나밖에 없는 지구의 환경을 가꾸고 우리의 후손들에게 좋은 환경의 대안을 마련하는 것은 오늘을 살아가는 전 세계인의 공통적인 희망을 가지고 있다. 그리고 특히 우리나라는 천연 에너지자원이 없는 나라여서 에너지 위기에 극히 취약한 구조를 가지고 있어서 에너지 문제가 국가경제 및 산업 활동의 주요 변수가 될 수밖에 없다. 그러므로 수소를 에너지화 한 기술의 발전, 특히 이를 자동차 산업에 적용하는 목표는 미래형 자동차의 패러다임의 한 축이 될 것이 분명하다. 특히 수소는 탄소비율이 없으므로 지구 환경 개선에 중요한 특징을 가지고 있다. 그리고 수소를 에너지로 하는 연료전지 자동차는 효율이 가솔린 대비 3배 이상인 것으로 보고되고 있다. 도요다의 하이브리드(HEV)가 가솔린 대비 2

1) (주)모토닉 기술연구소
E-mail : smbem@motonic.co.kr
Tel : (053)589-6316 Fax : (053)583-5030
2) (주)모토닉 기술연구소
E-mail : taehoLIM@motonoic.co.kr
Tel : (053)589-6315 Fax : (053)583-5030
3) (주)모토닉 기술연구소
E-mail : kkn1102@mtonic.co.kr
Tel : (053)589-6257 Fax : (053)583-5030
4) (주)모토닉 기술연구소
E-mail :
Tel : (053)589-6316 Fax : (053)583-5030

배 수준인 것을 감안하면 미래형자동차의 중심은 수소 연료전지자동차(FCV)가 될 것임을 자명한 사실이다. 이에 따라 수소를 에너지원으로 사용하는 연료전지 자동차의 핵심부분인 연료전지용 수소저장 및 연료공급 장치 시스템 개발은 시급히 우리나라가 힘을 모아 개발해야 할 과제이며, 반드시 성공해야 할 필요성이 있다. 다른 한편으로 이 과제의 성공을 통해 향후 수십 년간 성장 동력 산업의 한 축로서 어려운 경제현실을 생각하면 더 절실하다.

연료전지 차량의 핵심기술로는 수소저장 장치와 Fuel Cell이다. 그리고 이와 더불어 수소연료가 공급되는 과정의 수소저장 및 연료공급 장치 시스템이 기술의 핵심이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가스연료 부품 연구개발 경험과 양산 개발 적용 know-how를 응용하여 양산 가능한 개발 수준까지 연료공급계 부품인 탱크 내장형 고압 레귤레이터 및 솔레노이드 밸브를 개발코자 한다.

2. 내장형 솔레노이드 밸브

본 연구에서 개발되는 내장형 솔레노이드 밸브는 고압으로 압축된 가스형태의 연료가 연료라인계로 이동하기 전 연료탱크 입구에 장착되어 탱크로의 연료 주입 및 운전 시 전기를 이용하여 On-Off작동되어 연료의 이동을 차단시키거나 배출에 이용되는 것으로, 연료의 원활한 충전, 차단을 위한 솔레노이드 및 센서류, 안전장치 등으로 구성되어 있다.

2.1 솔레노이드 설계 및 제작

2.1.1 개발 목표 사양

아래 Table 1은 제품개발을 수행함에 있어 목표로 하는 사양을 나타낸다.

Table 1 개발 목표 사양

명칭	재질
사용 압력	350 bar (max 433bar)
정격 전압	12 VDC
작동 전압 범위	8 ~ 18 VDC
코일 저항	120 mΩ
유량	Cv 1.2 이하

2.1.2 개발

고압 솔레노이드 개발에서 가장 중요시 되는 것은 기본적인 성능인 밸브의 개폐와 비통전 시 즉, 솔레노이드가 닫혀있을 때 연료탱크 내부의 수소가 외부로 누출이 되지 않아야 한다는 것이다. 본 개발품의 구동원인 솔레노이드는 Pilot 방식을 이용한 제품으로, 제품에 통전이 되면서 350bar의 고압수소가 1차 오리피스를 통해 탱크 외부로 전달되는 순간의 차압을 이용해 밸브가 오픈이 되는 방식이다.

구동원인 솔레노이드 이외 밸브에는 센서류와 기타 안전장치(PRD, Manual Valve, Override Valve)들이 장착된다.

아래 Fig. 1은 고압 솔레노이드의 개략도로 제품의 작동 시 고압수소의 경로와 센서류의 위치, 그리고, 작동에 이상 발생 시 어떠한 경로를 통해 안전장치들이 사용 되어지는 지를 나타낸다.

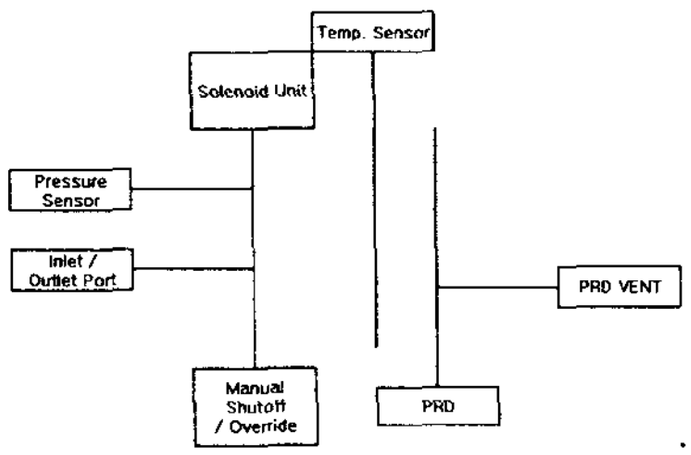

Fig. 1 내장형 솔레노이드 개략도

2.1.3 모델링 및 시제품 제작

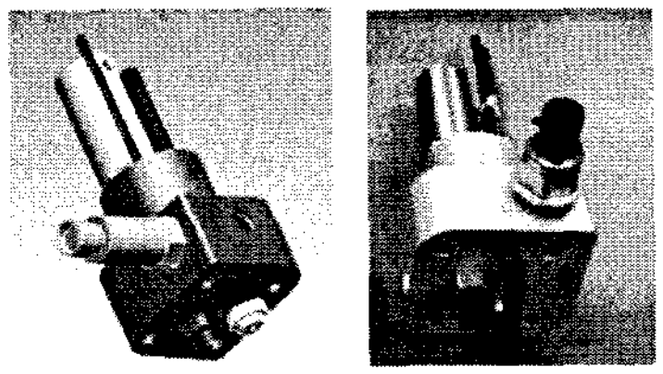

Fig. 2 내장형 솔레노이드 형상

Fig. 2는 1차 시제품의 모델링 형상과 제작된 제품의 형상을 보여준다.

2.2 실험 및 결과

2.2.1 성능 평가

위에서도 언급하였듯이 고압 솔레노이드 밸브에서 기본적인 성능은 밸브가 연료를 차단이 가능해야 한다는 것이다.

기본성능을 위하여 다음과 같이 제품을 평가하였다. 평가유체는 질소를 이용하였으며 연료탱크를 대신할 테스트 JIG를 제작하여 솔레노이드밸브를 장착하고, 테스트 JIG에 질소350 bar를 충전시킨 후 솔레노이드에 전기를 인가하여 밸브의 개폐 테스트를 진행하였다.

솔레노이드의 작동에 관련된 사양은 정격전압 12V, 그 때 전류소비량은 1A 이하이고, 최소작동전압은 8V 이하이다.

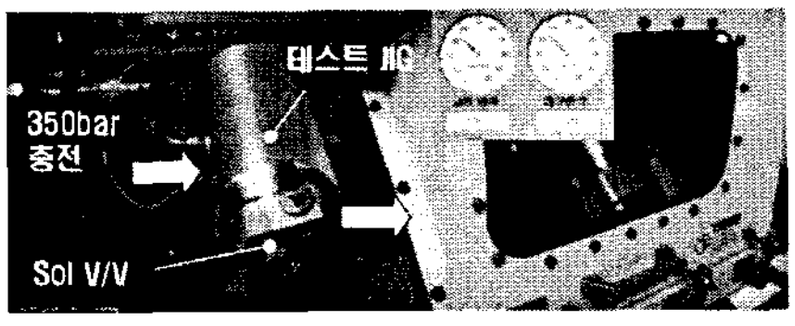

Fig. 3 내장형 솔레노이드 성능평가

위 Fig. 3는 내장형 솔레노이드의 성능을 평가하는 모습이며, Table 2는 성능평가의 결과를 나타낸다.

Table 2 성능평가 결과

		정격전압작동		최소전압작동		에지전압	
		전압(V)	전류(A)	전압 (V)	전류 (A)	전압 (V)	전류 (A)
350bar 상태	#1	12	0.95	7.9	0.63	4.5	0.36
	#2	12	0.94	8.0	0.63	5.5	0.43
	#3	12	0.96	7.9	0.64	5.5	0.43
	#4	12	0.95	7.7	0.62	4.5	0.36

2.2.2 내압 성능 평가

아래의 Fig. 4은 개발품의 안전성을 확보하기 위한 내압 평가 모습이며, 내압 평가를 통해 1400bar까지 이상없음을 확인하였고, 시제를 분해 후 분석한 결과 내부단품에도 충분한 안전성을 확보하였다.

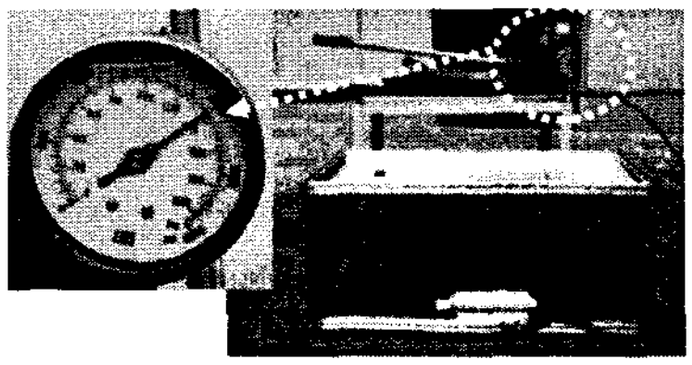

Fig. 4 내장형 솔레노이드 내압평가

2.2.3 기밀 성능 평가

고압 솔레노이드의 기밀은 시스템의 안전에 밀접한 영향이 있는 주요한 인자로 솔레노이드 비통전 시 연료탱크의 수소가 외부로 노출이 되는 양을 체크하여 누설을 판단한다. 테스트 평가 유체는 헬륨이며, 앞서 성능 테스트에서 연료탱크 대용으로 사용된 테스트 JIG에 평가방법에 기인한 압력의 헬륨을 충전한 후 헬륨의 누설량을 체크하고 기밀을 판단한다.

아래 Fig. 5의 왼쪽그림은 헬륨기밀 평가 장비이며, 다음은 테스트JIG를 장비에 연결하고 헬륨을 충전하는 모습이며, 다음은 핸드디텍터를 이용해 누설량을 체크하는 그림이다.

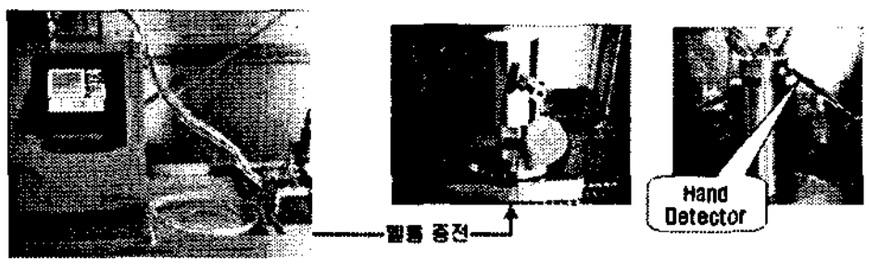

Fig. 5 내장형 솔레노이드 기밀평가

3. 탱크 내장형 고압레귤레이터

본 연구에서 개발한 레귤레이터는 연료전지차량의 연료탱크 내에 장착되며, 통상 레귤레이터는 외장형으로 널리 사용된다. 외장형 레귤레이터가 장착된 시스템보다 내장형을 적용한 시스템은 고압 연료 라인을 최대한 외부로 노출을 방지함으로 인하여 차량 안전성확보에 가장 큰 장점이 있다. 더불어 외장형 레귤레이터 적용 시스템보다 경량화가 가능하게 할 수 있다. 이는 기타 유닛(압력/ 온도센서, 압력 릴리브 밸브 등)을 내장형 레귤레이터 포함됨으로 인해 가능하다.

3.1 레귤레이터 설계 및 제작

3.1.1 개발 목표 사양

본 항에서는 내장형 고압 레귤레이터를 설계 및 개발하는데 있어서 이론 설계를 바탕으로 시제품을 제작하여 기밀평가, 성능 평가를 수행함에 있어 초기 설계 시 Table. 1의 목표 사양으로 하여 입구압력을 350bar를 기준으로 설계하였으며, 출구압력은 10bar로 하였다.

Table 3 개발 목표 사양

명칭	재질
입구 압력(P1)	20 ~ 350 bar (max 433bar)
출구 압력(P2)	2 ~ 20 bar (Set point of 10bar)
유량(F)	> 3 g/sec (of H2)
작동온도(T)	-40℃~ 85℃
출구 압력 변동량	10 ±1 bar

3.1.2 설계

고압 레귤레이터 설계 시 다음과 같은 사항을 고려하여 설계하였다.

1) 출구압력 즉 10bar의 압력으로 일정하게 나오도록 설계. (출구압력이 증가, 감소 시 오리피스 간격 또한 감소, 증가되어야 한다. 즉 오리피스 간격이 출구압력에 따라 sensing 기능)

2) 가능하다면 출구압력을 조절 가능하도록 설계되어져야 하며, 스프링 대체 설계 시 입구압력에 대한 출구 압력 조절 가능.

3) 원가 절감 효과를 위해 가공성이 용이하도록 설계.(기밀유지 및 가공에 유리 하도록 설계)

4) 타 업체 경쟁력 증대를 위해 견고하면서 Body Size 최소화 설계.

5) 특허회피 및 안전성(내압 및 Leak)고려 설계.

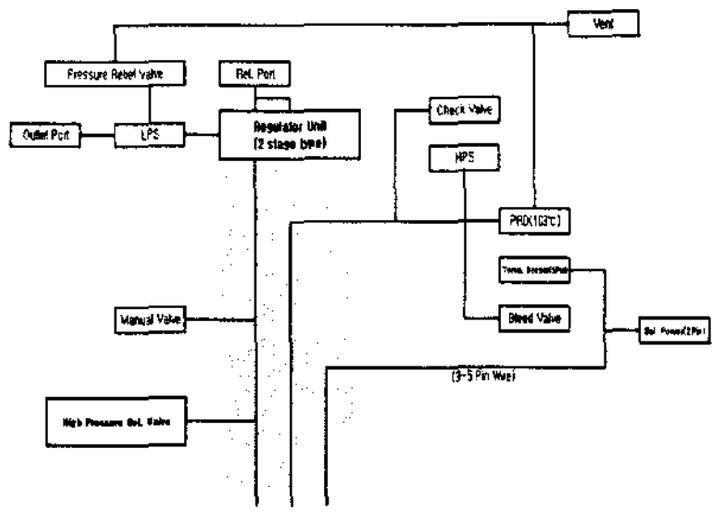

Fig. 6 내장형 레귤레이터 개략도

Fig. 6은 본 연구에서 개발 및 제작한 내장형 고압레귤레이터 모듈의 개략도를 나타내고 있으며, 솔레노이드부와 2단 감압부(레귤레이터부), 그리고 기타 유닛부로 구성되어있다.

3.1.3 모델링 및 시제품 제작

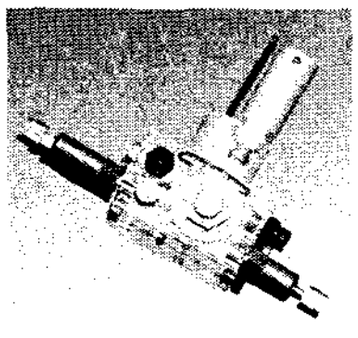

Fig. 7
레귤레이터 3D

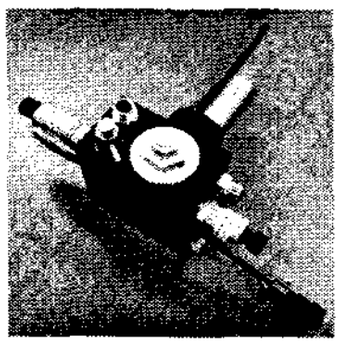

Fig. 8
레귤레이터 제작품

Fig. 7와 8은 위의 이론 및 설계를 바탕으로 본 연구에서 개발한 3D 및 시제품이다. 그리고 고압 차단 솔레노이드 밸브와 기타 옵션 유닛이 포함한 Full Module 사양의 시제품이다.

3.2 실험 및 결과

3.2.1 기밀 성능 평가

제품의 누설에 대한 정확한 데이터를 위해 헬륨디텍터로 기밀평가를 수행하였으며, Sealing부에서 미세한 누설량은 보이나, Spec. 10Ncm3/hr 이하의 누설량을 보였다. 본 연구에서 제작한 시제품의 기밀성능 및 안전성은 어느 정도 보장할 수 있는 데이터라고 판단된다.

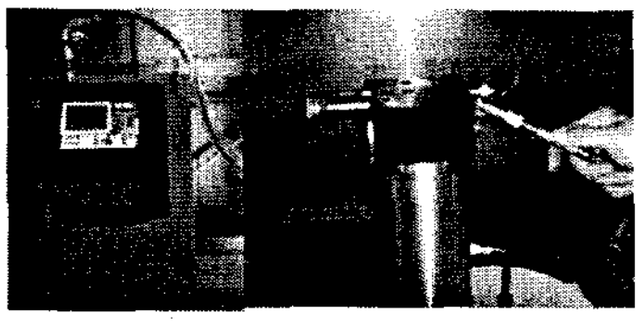

Fig. 9 기밀 평가

3.2.2 내압 성능 평가

아래의 Fig. 10는 개발품의 안전성을 확보하기 위한 내압 평가 장치이며, 본 개발품의 경우 내압 평가 결과 1050bar를 취득하였으며, 시제를 분해 후 분석한 결과 내부단품에도 충분한 안전성을 확보하였다.

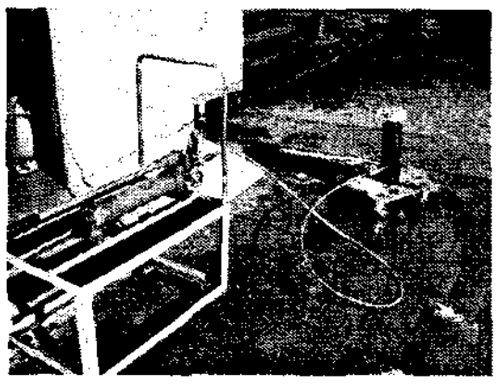

Fig. 10 파열 평가

3.2.3 작동 성능 평가

본 연구에서 평가한 작동 성능은 레귤레이터에 있어서 연비 및 출력에 아주 중요한 성능 척도이며 이를 평가하였다. 아래 Fig. 11과 Fig. 12은 그중의 하나인 유량에 따른 출구압력 특성과 입구압력에 따른 출구압력 특성 그래프이다.

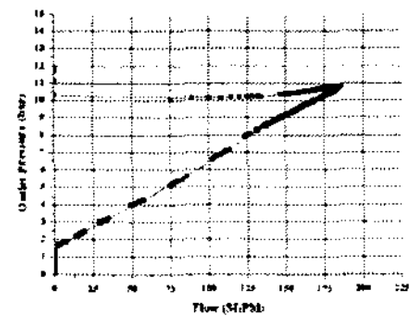

Fig. 11
유량-압력

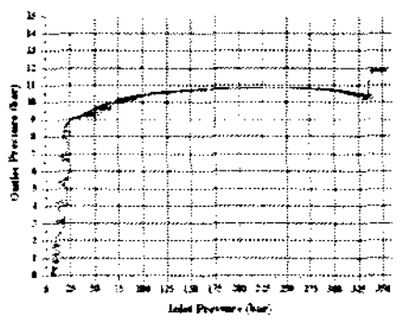

Fig. 12
입구압력-출구압력

4. 결 론

본 연구에 내장형 레귤레이터 및 솔레노이드 밸브를 설계 및 개발하면서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 목표사양은 만족하는 성능을 보였으며, 내구반복평가를 비롯한 신뢰성평가를 통한 신뢰성 확보 및 실증을 목표로 개발 할 것이다.
2. 더욱더 정밀한 누설량을 얻기 위하여 헬륨 기밀 시험기를 제작 및 구축하였으며, 평가 결과 정밀한 결과값을 얻을 수 있었다.
3. 내장형 고압 솔레노이드의 1차 시제품은 성능, 내압, 기밀 평가를 통해 스펙에 만족하는 성능을 보였다.
4. 작동성능평가 결과 입구압력에 대한 출구압력의 안정적인 감압 효과를 확인 할 수 있었다. 내압평가에서는 작동압력의 3배의 압력인 1050bar을 취득하였다.
5. 본 연구를 통해 고압기체용 압력 조정장치 개발하는데 있어서 기초자료 및 설계 기술을 확보할 수 있었다.
6. 향후 본 제품의 보완 및 개선을 통하여 보다 많은 신뢰성평가를 실시하여 내구 성능을 지속적으로 육성 보완 할 것이다.

후 기

본 연구는 수소연료전지사업단 신재생에너지사업의 연료전지차량용 고압수소저장 시스템개발 및 실증 과제 일환으로 수행되었습니다.

References

[1] 김병하 외 5명, 유체역학, 청문사, 2001, pp. 120-170.
[2] 이기춘, 임태원, “자동차 구동용 연료전지 시스템 설계”, 자동차 공학회지, 26(3), pp. 21-25, 2004.
[3] 배중면, “연료전지 자동차의 소개”, 자동차공학회지, 26(3), pp. 12-20, 2004.
[4] "Development Update on Delphi's Solid Oxide Fuel Cell System : From Gasoline to Electric Power",
[5] "Fuels for Fuel Cell Powered Vehicles" http"//www.cambridgeconsultants.com/PDFs/fuelCells00.pdf.