

레이디얼 피스톤 펌프의 피스톤 접촉 메커니즘 개발

Development of piston contact mechanism for radial piston pump

함영복 · 차재곤 · 김대명 · 공태우 · 윤소남 · 안국영 · 권병수

Y. B. Ham, J. G. Cha, D. M. Kim, T. W. Kong, S. N. Yun, K. Y. Ahn, B. S. Kweon

Key Words : Radial piston pump(레이디얼 피스톤 펌프), Hydraulic(유압), Hydrogen compressor(수소압축기), Orifice(오리피스), Steel ball(스틸볼)

Abstract: This paper presents the experimental results of the radial piston type oil pump with new mechanism for a metal diaphragm hydrogen compressor. Generally, metal diaphragm type hydrogen compressor systems are operated by oil hydraulic power. In this system an oil compensating pump has been demanded to compensate for a leakage oil head chamber. The metal diaphragm type hydrogen compressor consists of an oil compensating pump, commonly used hydraulic piston pump and driven by main crank shaft. The radial piston type oil compensating pump with new rolling contacted piston mechanism is developed and experimented. The developed piston element of the radial piston pump consists of piston, steel ball, return spring, two check valves, eccentric cam and ball racer. In this study, designed 4 type pistons as and orifice hole. Operating characteristics and pressure ripple characteristics are tested under no load to 60bar loaded with every 20bar increasing step and pressure ripple and flow rate are experimentally investigated.

기호 설명

- Q_D : 토출 유량(discharge flowrate)
- P_D : 토출 압력(discharge pressure)
- P_L : 압력 부하(pressure load)
- T : 시간(time)

Subscripts

- D : Discharge
- L : Load

1. 서 론

수소압축기는 무급유 방식의 왕복동식과 무윤활 방식의 메탈 다이아프램 방식으로 양분되며, 각 방식에 따라 수소의 순도와 충전압에서 일장일단의 특성을 나타낸다¹⁾.

메탈 다이아프램 수소압축기는 유압구동부의 누설 유량과 흡입 시 발생하는 캐비테이션 방지를 위한 과급유 상태를 유지할 수 있도록, 피스톤 챔버와 오일 헤드 챔버에 오일을 보충하게 된다. 이러한 목적으로 오일보충용 펌프는 압축기의 크랭크케이스 내부의 메인 크랭크샤프트에 연결하여 구동하게 된다.

본 연구에서는 메탈 다이아프램 수소압축기의 오일 보충용 펌프로 개발된 레이디얼 피스톤 펌프의 피스톤을 스틸 볼이 볼 레이스 위를 구름 접촉하도록 구성하고 볼이 설치된 피스톤 끝면 윤활용 오리피스를 설치하고 서로 다른 오리피스 직경에 대해 실험적으로 비교 평가하고 개발된 펌핑 메커니즘의 구조적 타당성을 검토해 본다.

접수일 : 2009년 8월 31일

함영복(책임저자) :

한국기계연구원 그린환경에너지연구본부

E-mail : hyb665@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7157

차재곤 : 한국기계연구원 그린환경에너지연구본부

김대명 : 한국기계연구원 그린환경에너지연구본부

공태우 : 한국기계연구원 그린환경에너지연구본부

윤소남 : 한국기계연구원 그린환경에너지연구본부

안국영 : 한국기계연구원 그린환경에너지연구본부

권병수 : 광신기계공업(주)

2. 레이디얼 피스톤 펌프

2.1 레이디얼 피스톤 펌프의 구성

다이아프램 수소압축기의 작동 중 과급유 또는 플런저 부의 누설 발생으로 인한 피스톤 챔버와 오일 헤드 챔버의 손실된 오일을 보충하는 역할을 수행하는 펌프로, 피스톤과 오일 헤드 챔버에 과급유상태를 유지하는 역할을 수행한다^{2,3)}.

일반적으로 수소압축기의 크랭크축에 부착된 편심캠의 회전운동을 이용하여 피스톤을 왕복 운동시키며, 1개의 피스톤 엘리먼트는 흡입과 토출을 단속하는 2개의 체크밸브와 한 개의 피스톤 및 스프링으로 구성된다. 펌프는 1개의 공통 편심캠축과 2개의 피스톤 엘리먼트로 구성되며, 이는 제 1압축단과 제 2압축단을 위해 2개로 구성된다.

2.2 피스톤 펌프 메커니즘

Fig. 1은 본 연구에서 개발된 레이디얼 피스톤 펌프의 메커니즘을 나타내고 있다.

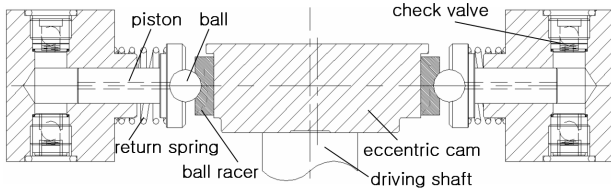


Fig. 1 Details of radial piston pump

일반적인 레이디얼 피스톤 펌프는 편심캠 외주에 롤러 베어링으로 되어 있고, 피스톤 끝단 형상은 평면으로 피스톤과 선 접촉을 이루지만, 본 연구에서는 피스톤 끝단에 스틸 볼을 사용하고, 편심 캠 외주에는 베어링에 사용되는 내륜을 적용하여, 피스톤과 편심 캠이 스틸 볼에 의해 구름 접촉을 하도록 유도 하므로 내구성은 로울러 베어링을 장착 하는것과 큰 차이가 없으며, 윤활성 및 내마모성이 향상되는 메커니즘으로 개발되어졌다.



Fig. 2 Photo of radial piston pump element

Fig. 2는 본 연구에서 개발된 레이디얼 피스톤 펌

프의 피스톤 엘리먼트 시제품 사진을 나타내고 있고, 상세한 제원은 Table 1과 같다. 각 피스톤 엘리먼트의 Stroke는 4.6mm으로 동일하며, 오리피스는 홀길이와 직경의 비가 10이상 이며, 배제용적은 0.437cc/rev로 설계, 제작되어졌다.

피스톤과 보어의 틈새 간격과 피스톤과 볼의 접촉면은 강제윤활을 위해 Fig. 3과 같은 개념에 의해 기계효율 및 용적효율의 최적화 관점에서 설정 하였다.

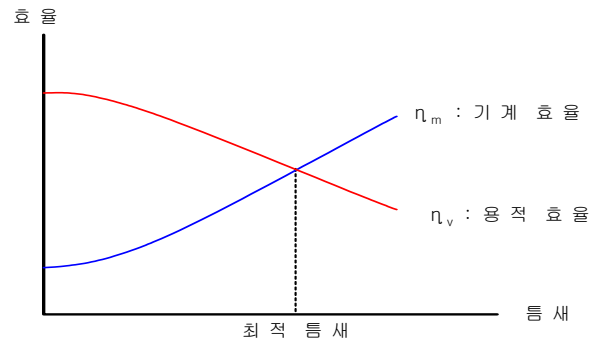


Fig. 3 Tolerance interval of the piston and the bore

Table 1 Specifications of piston element

No	Item	Dimensions
1	Ball diameter	8.0[mm]
2	Piston Diameter	11.0[mm]
3	Piston Stroke	4.6[mm]
4	Volumetric Displacement	0.437[cc/rev]
5	Flow rate for one element at 500rpm	0.218[l/min]
6	Tolerance interval of the piston and the bore	0.3[mm] 이내

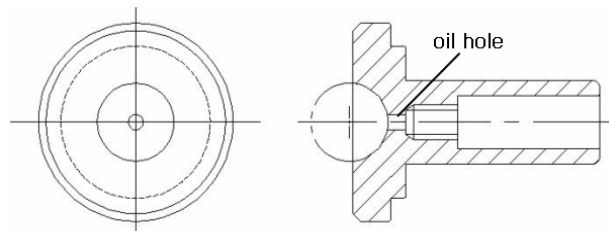


Fig. 4 Configuration of ball & oil hole

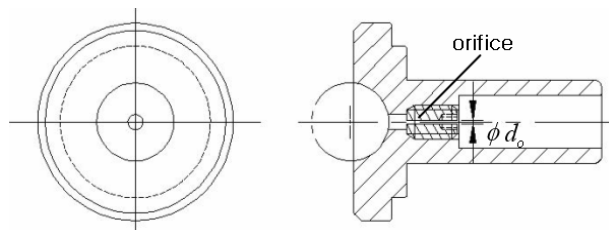


Fig. 5 Configuration of ball & orifice(d0=0.5mm)

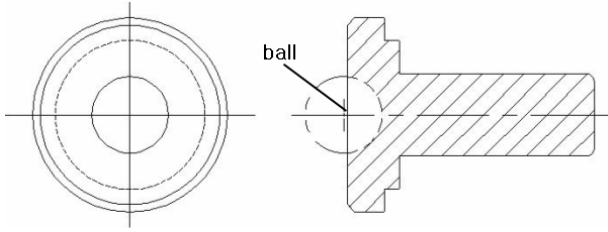


Fig. 6 Configuration of ball & non-hole

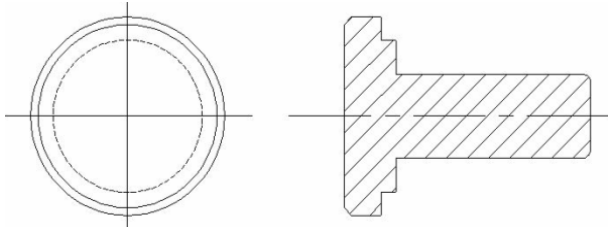


Fig. 7 Configuration of flat end piston

2.3 피스톤 엘리먼트

Fig. 4~Fig. 7은 본 연구에서 개발된 레이디얼 피스톤 펌프의 피스톤 엘리먼트 별 비교시험을 위한 다양한 피스톤 형상들을 나타내고 있다. Fig. 4은 직경 2mm 오일 홀을 갖는 피스톤으로 스틸 볼에 의하여 볼 레이저를 갖는 편심 캠에 구름 접촉한다. Fig. 5는 Fig. 4의 피스톤에 0.5mm 오리피스를 형성한 형상을 나타내고, 역시 스틸 볼에 의하여 편심 캠에 구름 접촉한다. Fig. 6는 스틸 볼에 의하여 편심 캠에 구름 접촉하는 방식을 취하고 있으나, 오일 홀이 없는 형상을 나타내고 있다. Fig. 7은 일반적인 레이디얼 펌프의 피스톤과 동일한 형상으로 편심 캠에 선접촉하는 평면형 끝단을 갖는 피스톤을 나타내고 있다.

2.4 실험방법

개발된 레이디얼 피스톤 펌프의 피스톤 메카니즘의 피스톤 형상별 비교실험은 압력맥동과 P-Q특성 시험을 통하여 수행되어졌다. 펌프 구동 시 가해지는 압력측정을 위한 미세압력센서와 펌프의 토출유량을 측정하는 유량센서, 펌프 구동토크를 측정하는 토크센서가 사용되어졌고, 펌프 출구배관에 압력제어밸브를 장착하여 압력부하를 인가하고, P-Q 특성을 측정하여 특성선도를 작성하였다.

운전조건은 수소압축기의 운전속도인 500rpm으로 전기모터를 구동하여 펌프를 운전하고, 부하된 압력에 따른 맥동특성과 토출유량을 측정하여 특성을 비교하였다. Fig. 8과 9는 레이디얼 피스톤 펌프 실험장치를 나타내고 있다. 실험 장치는 인버터에 의하여 구동주파수를 설정하여 회전수를 제어하고, 레이디얼

피스톤 펌프 토출부에 스로틀 밸브를 장착하여 부하를 인가하고 미세압력센서로 맥동을 측정하는 방식으로 구성되어졌다. 전동축에는 토크센서와 속도센서가 구성되어 있고, 유온상승을 측정하는 유온계 및 전기모터 구동동력 측정을 위한 전력계 등으로 구성되어져있다. 토크 측정은 토크 값이 너무 작아 측정이 곤란하여 압력 및 유량특성으로 비교 검토 하였고, 측정된 데이터의 획득을 위하여 DAQ 시스템과 오실로스코프를 사용하여 실험을 수행하였다.



Fig. 8 Photo of test apparatus for radial piston pump

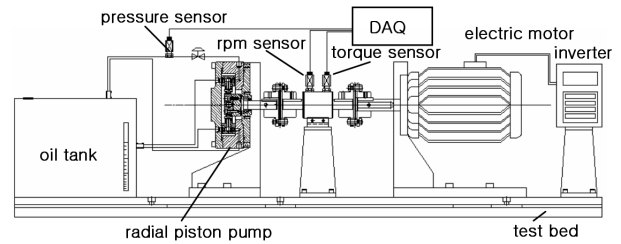


Fig. 9 Test apparatus for radial piston pump

3. 결과 및 고찰

Fig. 10~Fig. 13는 피스톤 형상별 압력맥동 특성을 나타내고, Fig. 14은 각 형상별 P-Q특성을 나타내고 있다.

Fig. 10은 볼과 오일 홀을 갖는 피스톤의 압력맥동이다. 전체적으로 파형의 연속성과 정숙성이 뛰어나고, 맥동폭이 크게 나타나고 있고, P-Q특성에서도 충분한 성능을 나타내고 있다. 오일 홀을 가짐으로 인해 스틸 볼과 볼 레이저의 구름접촉이 원활하게 이루어지므로 구동파형의 안정성이 향상된 것으로 나타난다. 실험에 사용된 피스톤 중 가장 안정적인 맥동 특성을 나타내고 있다.

Fig. 11는 오일 홀을 세트 스크류로 막음하고 오리피스를 형성한 피스톤의 압력맥동이다. 토출 시 약간의 불안정한 파형을 나타내고 있으나, 전체적인 파형의 형상은 일반적인 레이디얼 피스톤 펌프의 파형과

동일하게 나타나고 있다. 실험된 엘리먼트 중 P-Q 특성이 가장 우수하게 나타나고 있다. 이는 오리피스에 의한 누설이 적음으로 인해 토출유량이 최대로 나타나고 있으나, 토출 시 약간의 불안정한 영역이 나타나고 있다.

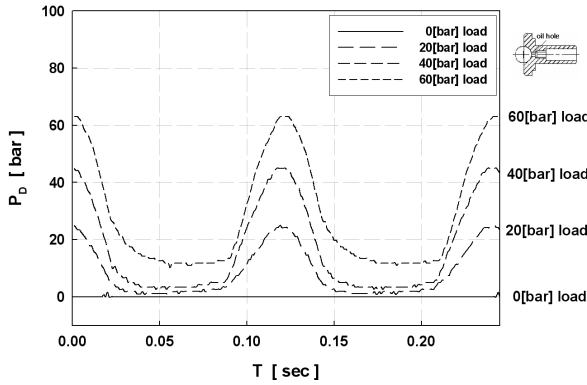


Fig. 10 Pressure ripple characteristics of ball & oil hole type piston

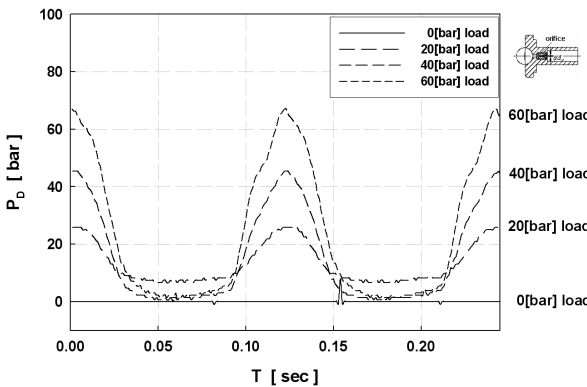


Fig. 11 Pressure ripple characteristics of ball & orifice type piston ($d_0 = 0.5\text{mm}$)

Fig. 12은 스틸 볼과 볼 레이저에 의한 구름접촉 메커니즘으로 구성되었으나, 오일 홀을 갖지 않는 형상이다. 맥동 폭이 볼과, 오일 홀을 갖는 형식보다 작게 나타나고, 압력의 증가에 따른 유량의 강하가 크게 나타나므로 적합하지 않은 모델이다.

Fig. 13는 피스톤의 끝단이 평면으로 되어있는 형상이다. 볼과 오일 홀을 갖는 타입에 비하여 맥동 폭이 아주 작게 나타나고, 토출 후 불안정한 파형이 나타나고 있다. P-Q 특성은 실험된 피스톤 중 두 번째로 우수하게 나타났으나 맥동특성 향상을 위하여 형상의 개선이 필요하다.

Fig. 14은 각 피스톤 형상별 P-Q 특성을 나타내고 있다. 오일 홀이 없거나, 오리피스가 형성된 형식은 압력증가에 따른 유량 강하가 작게 나타나므로 상대

적으로 좋은 특성을 나타내고 있다.

직경 2mm의 오일 홀을 갖는 형식 역시 유량 강하가 크지 않으므로 유효율은 적절하다고 판단된다.

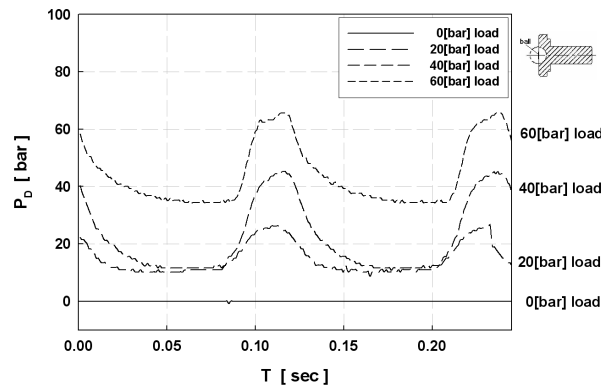


Fig. 12 Pressure ripple characteristics of ball & non-hole type piston

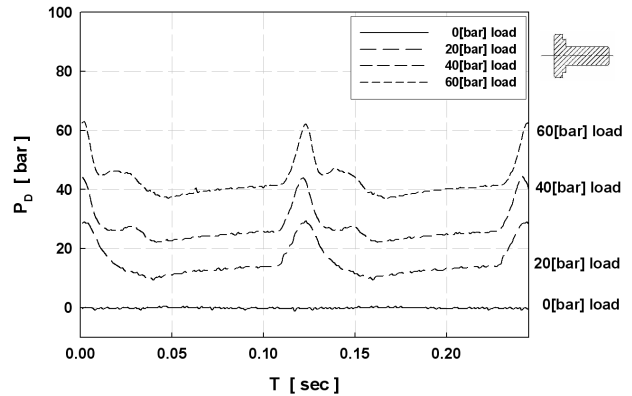


Fig. 13 Pressure ripple characteristics of flat end type piston

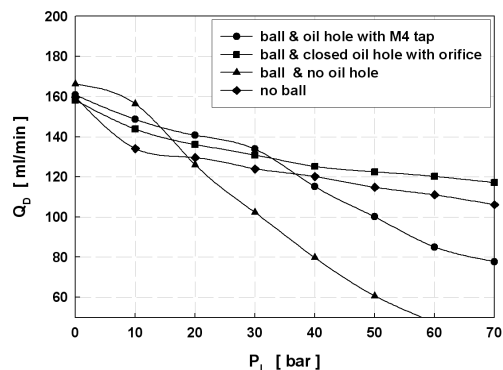


Fig. 14 Comparison of P-Q characteristics

볼을 사용하나 오일 홀이 없는 형식은 유량 강하가 너무 크게 나타나므로 적합하지 않은 것으로 나타났다. 전체 실험결과에서 보이는 바와 같이 오일 홀의 영향은 압력의 맥동 특성 안정에 긍정적으로 작용하는

것으로 보이나, 피스톤과 보어사이, 오리피스홀, 체크 밸브 등으로 부터 누설에 의한 유량 손실도 기인하는 것으로 추정된다. 볼 레이저와 스틸 볼의 영향은 마찰을 최소화 하므로 전체적인 맥동의 안정성에 기여하고 맥동 폭을 증가시키는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 메탈 다이어프램 수소압축기의 오일 보충용 펌프로 개발된 레이디얼 피스톤 펌프에 적용 가능한 다양한 형상의 피스톤을 제작하여 실험적으로 비교 평가하고 개발된 펌프의 구조적 특징 및 메커니즘을 소개하였다.

1) 구면정압 베어링형 레이디얼 피스톤 펌프의 피스톤 접촉 메커니즘을 개발하고 설계, 제작 실험하였다.

2) 스틸 볼과 볼 레이저, 오일 홀의 구비에 따른 압력 맥동과 P-Q특성을 실험적으로 비교 평가하였다.

3) 압력맥동특성은 볼 레이저, 스틸 볼, 오일 홀을 갖는 형상의 피스톤이 가장 우수한 성능을 나타내었다.

4) P-Q특성은 볼 레이저, 스틸 볼을 가지나 오일 홀이 없는 형상의 피스톤이 가장 좋은 특성을 나타냈다.

이상의 실험결과를 종합해보면 오일 홀의 영향은 압력의 맥동 특성 안정에 긍정적으로 작용하는 것으로 보이나, 볼 윤활용 홀 또는 오리피스의 설치에 따라 누설유량이 증가 되므로 용적효율이 저하되어 토출유량이 상이하게 나타난다고 추정 할 수 있다.

볼 레이저와 스틸 볼 그리고 오리피스의 영향은 마찰을 최소화 하므로 기계효율을 증가시키는데 상당히 기여함을 알 수 있다.

향후 연구에서는 450bar 이상의 고압 상황 하에서의 피스톤 접촉 메커니즘의 영향을 관찰하고 내구시험을 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 신·재생에너지기술개발사업 “수소 스테이션용 다이어프램 압축기 개발”과제의 위탁연구내용의 일부이며, 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) F. Laurencelle, Z. Dehouche, F. Morin, J. Goyette, "Experimental study on a metal hydride based hydrogen compressor", Journal of Alloys and Compounds 475, pp. 810~816, 2009.
- 2) 함영복 외 3인, "메탈 다이어프램 수소압축기의 오일공급 펌프설계에 관한 연구", 한국유공압시스템학회 2007추계학술대회논문집, pp. 121~126, 2007.
- 3) 함영복 외 4인, "레이디얼 피스톤 펌프의 토출특성에 관한 연구", 한국유공압시스템학회 2009춘계학술대회논문집, pp. 204~208, 2009.
- 4) Pasquale Corbo, Fortunato Migliardini, Ottorino Veneri, "Experimental analysis management issues of a hydrogen fuel cell system for stationary and mobile application", Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 8, pp. 2365~2374, 2007.
- 5) M. Golben, D.H. DaCosta, "Advanced thermal hydrogen compression", Proceedings of the 2001 DOE Hydrogen Program Review, NREL/CP-570-30535, 2001.
- 6) Zhan Fenga et al., "Metal hydride compressor and its application in cryogenic technology", Journal of Alloys and Compounds 231, pp. 907~909, 1995.
- 7) E.P. Da Silva, "Industrial prototype of a hydrogen compressor based on metallic hydride technology", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 18, Issue 4, pp. 307~311, 1993.
- 8) A. Rodríguez Sánchez, H.P. Klein and M. Groll, "Expanded graphite as heat transfer matrix in metal hydride beds", International Journal of Hydrogen Energy 28, pp. 515~527, 2003.