

유압 피스톤 펌프/모터의 동력변환 메카니즘에 대한 고찰 A Consideration of Power Conversion Mechanism for Hydraulic Piston Pump/Motor

함영복 · 박경민 · 윤소남 · 김성동
Y. B. Ham, K. M. Park, S. N. Yun and S. D. Kim

1. 서 론

유압 피스톤 펌프는 원동기 또는 전동기 등으로부터 기계적인 회전동력을 받아 유량과 압력의 유압동력을 얻어내는 것이며, 유압 피스톤 모터는 유압 펌프로부터 압력과 유량의 유압동력을 받아서 기계적인 회전동력인 회전수와 토크를 얻어내는 것이다. 유압모터의 경우, 엔진이나 전기모터 또는 터빈을 이용한 회전동력에 비해 단위 중량당 더욱 높은 출력을 낼 수 있고 제어하기 쉽다는 장점으로 인해 일반 산업기계분야 뿐만 아니라 중장비의 주행 및 선회장치, 케이블 윈치, 콘크리트 믹서용 드럼 구동 등 고출력이 요구되는 분야에서 주로 이용되고 있다. 최근에는 수송기계 또는 주행 장비에 유압 피스톤 펌프와 모터의 결합체인 유압식 동력전달장치가 기존의 기계식 또는 전기식 동력전달장치를 대체해가고 있으며, 특히 무단변속기(CVT: continuously variable-speed transmission)를 비롯한 기어식 변속기의 일부에 정유압 동력 전달장치(HMPT: hydro-mechanical power transmission)가 적용되고 있다.

적용환경에 적합한 유압 피스톤 펌프 및 모터를 선정하기 위해서는 필요한 입력토크, 토출압력, 입력 회전수, 토출유량과 같은 성능 요소뿐만 아니라 사용 장소, 배치 공간 등과 같은 환경변수를 고려해야 한다.

주어진 공간 내에 사축식 유압 펌프 또는 모터를 적용하는 경우에 출력회전수 요건은 기존 생산모델에서 만족하는 것이 있으나, 굵은 원통형의 외부 구조적 형상으로 인해 장착성(裝着性)이 극히 떨어지는 단점을 가지게 된다. 따라서 콤팩트한 사판식의 장점과 고출력밀도·고효율·고속의 사축식 장점이 결합된 구조의 동력 변환 기구를 고려할 필요가 있다. 그러나, 사축식은 경사진 축을 이용하여 작동되는 구조적인 제약 때문에 후자보다는 기존의 사판식

의 높은 출력밀도와 효율을 높이는 방법이 보다 효과적으로 검토되고 있다.

또한, 최근 환경문제에 대한 관심이 증가함에 따라 유압 장치의 사용 규제가 강화되고 있어, 작동유체를 기름(oil)이 아닌 물(tap water)이나 해수(海水)를 이용한 펌프 또는 모터에 대한 연구가 증가하고 있다. 그러나 물이나 해수는 기름과 비교할 때 점도가 약 1/40 정도로 매우 낮고 윤활 틈새가 약 1/3으로 줄어드는 등 아주 열악한 윤활 조건에 직면하게 되고, 특히 고부하의 상대운동이 많은 피스톤 펌프 및 모터의 경우에는 더욱더 치명적이기 때문에 피스톤과 실린더보어 부분에 집중적인 축력이 작용되는 것은 피해야 한다.

그림 1은 일본 KAYABA Industry Co., Ltd.에서 수압 피스톤 펌프에 적용하기 위해 피스톤의 축력을 감소시킬 수 있도록 제안한 동력 변환 기구를 나타내고 있다.

이러한 적용환경의 예에서 설명된 바와 같이 기존의 사판식의 단점을 보완하고, 열악한 윤활 조건에서 우수한 성능을 갖기 위해서는 플런저형(plunger type, 원통형) 피스톤 적용시 발생하는 집중축력과 실린더 보어 내면과의 접촉력에 의해 실린더배럴과 동력 전달되는 것을 대체하여 새로운 동력변환기구가 필요하다.

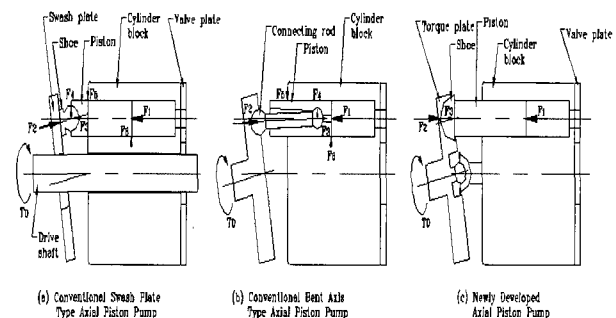


그림 1 피스톤 축력 감소를 위한 동력변환 메커니즘 (KAYABA Industry. Co., Ltd.)

따라서 본 해설에서는 플린저형 피스톤 모서리부의 마찰력을 감소시키고 사판 경사각을 증가시키기 위한 방법으로, 볼-소켓(ball-socket) 조인트를 이용하는 로드(rod)형 피스톤을 사용하고, 축의 회전운동을 피스톤의 왕복운동으로 변환하기 위해 경사캠과 축 사이에 볼 조인트(ball joint, 등속조인트의 일종) 기구를 적용시켜, 사축식의 큰 경사각으로 인한 단위중량당 고풍력을 내는 장점과 사판식의 콤팩트한 구조로 인한 설치공간이 적게 필요한 장점을 조화시킨 새로운 구조의 액셀 피스톤 펌프 및 모터의 동력변환 기구를 제안하고 설명하고자 한다.

2. 연구동향

지금까지 사판식 유압 피스톤 펌프 및 모터에 대한 연구는 1960년대부터 끊임없이 진행되어 왔으며, 구조적인 동작기구 해석 및 설계보다도 유압부품 상호간에 상대운동하는 부품들에 대한 습동부의 윤활 해석이 그 대부분이라 할 수 있으며 이들에 대해 주요 기존연구를 살펴보면 다음과 같다.

유압 피스톤 모터의 경우는 특히 저속시에 마찰토크가 상당히 크기 때문에 초기 기동시 불안하게 작동하게 된다. 따라서 초기 기동토크에 대한 연구가 많이 진행되었는데, Akira HIBI¹⁾는 피스톤, 실린더 블록, 밸브 플레이트, 축 실 부분에서 발생되어지는 마찰력에 대한 수학적 모델을 제시하였고, 이론적으로 계산한 기동토크와 제작한 실험 장치를 통해 측정된 기동토크를 비교하였다. 피스톤과 실린더 블록에서의 마찰력과 밸브 플레이트에서의 마찰력에 의해 이론적인 토크보다 실제 토크값이 더 작았으며, 대부분 피스톤과 실린더 블록 사이의 마찰력에 의한 손실이며, 마찰계수가 0.3인 경우에 약 10% 정도가 마찰력으로 소비됨을 알아냈다. 또, Tsuneo ICHIKAWA²⁾와 함께 유압 모터 토크 특성에 대한 수학적 모델을 제시하여 작동압력, 회전 속도 및 점도 등에 따른 마찰 토크 특성을 확인하였고, 7가지 타입(기어, 베인, 사판식 피스톤, 사축식 피스톤, 레이디얼 형식 등)의 유압 모터를 대상으로 실험적인 데이터와 제시한 모델과 비교 검토하여 타당성을 검증하였다. 稻葉 剛, 柳田 秀記 등³⁾은 생산기술의 다양화에 따라 유압 모터의 회전속도, 압력 등이 시간과 함께 변화하는 비정상적인 운전이 빈번하게 발생되므로 이러한 비정상 특성에 대하여 회전속도와 공급압력의 변동에 따른 실험적 연구를 수행하였다. 한편,

G. Zeiger, A. Akers⁴⁾와 N. D. Manring⁵⁾ 등은 액셀 피스톤 펌프를 대상으로 사판과 입력 축에 작용하는 토크 특성에 대해서 각각 연구를 수행하였다.

유압 모터의 전체적인 성능에 영향을 주는 마찰력에 대한 연구도 끊임없이 진행되어 왔는데, 특히 사판식 유압 모터의 경우는 플린저 피스톤과 실린더 보어 내의 연구가 해당된다. 山口 惇, 谷岡 農^{6~8)}는 유체기계 특히 유압기구(피스톤 펌프·모터, 스폴밸브 등)에서 주요 부품으로 쓰이는 피스톤의 운동에 대한 연구로 여러 가지 가정을 통하여 피스톤과 실린더 보어가 기하학적으로 원통인 경우의 피스톤 운동과 변위를 이론적으로 해석하였고 다시 실험을 통하여 이를 확인하였다. 한편, 山口 惇^{9~11)}는 그림 2의 (a)와 같은 피스톤 펌프·모터에 사용되는 피스톤 거동에 대한 연구로써, 고체 접촉을 하고 있는 경우와 정압 슈우를 부착한 피스톤에 대한 이론해석과 실험을 수행하였다. 이 밖에 피스톤과 실린더 사이의 윤활 상태에 대한 많은 연구^{12~16)} 중에서 박태조, 이정오¹⁷⁾는 그림 2의 (b), (c)와 같은 원주방향으로 그루브(groove)가 있는 테이퍼 피스톤에 대하여 그루브의 위치와 수, 편심을 등에 따른 측력(lateral force)과 누설유량을 해석적으로 구하고 수치해석결과와 비교 검토하였으며, 김종기, 정재연 등¹⁸⁾은 사축식 피스톤 펌프를 구동시키는 로드형 피스톤의 구동 메카니즘에 대한 연구를 수행하였다.

이러한 연구와 더불어 그림 3은 큰 경사각에 적합한 테이퍼형 피스톤의 구조와 그 테이퍼 피스톤을 이용함으로써 더욱 콤팩트하고 고용량, 고경사각이 가능한 사축식 피스톤 펌프·모터의 형상을 나타내고 있다.

주요 슬라이딩부로 실린더 블록과 밸브 플레이트

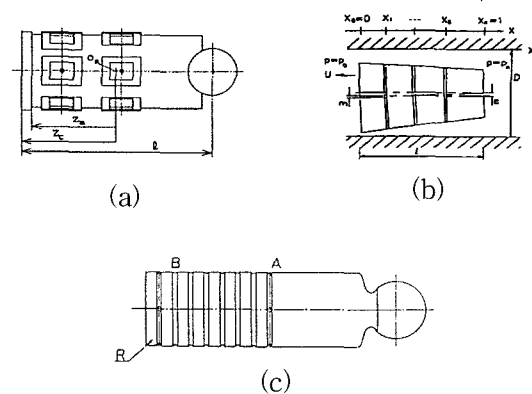


그림 2 실린더 보어 내 측력마찰 감소를 위한 다양한 피스톤 현상

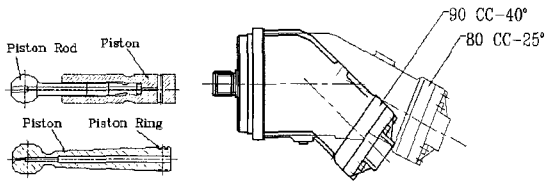


그림 3 피스톤 구조개선에 의한 경사각 증가

사이에 대해서는 G. Hibbert 등¹⁹⁾의 액셀 피스톤 펌프·모터에 있어 피스톤과 밸브 플레이트에 작용하는 힘의 밸런스에 대한 연구, Kenneth P. Palmer, Donald Stott 등²⁰⁾의 밸브 플레이트의 정압 균형에 대한 연구를 비롯, 평면 밸브 플레이트와 구면 밸브 플레이트의 특성 비교²¹⁾, 밸브 플레이트와 실린더 블록의 습동부에 대한 윤활 상태 및 누설 특성, 윤활막 등에 관한 연구^{22~25)} 등이 진행되어왔다.

사축식 유압 피스톤 펌프와 달리 사판식 펌프·모터에서는 피스톤 슈우(shoe)와 사판 사이의 윤활 특성에 관한 상당한 연구가 진행되어왔으며, 특히 고압 상태에 대한 구면 베어링(ball bearing)과 슬리퍼 정압베어링(slipper hydrostatic bearing)부에서의 마찰, 누설유량, 유막두께 등이 중요 연구 부분을 차지하였다. 먼저, 구면 베어링에서 발생하는 특성에 대한 기초적 연구²⁶⁾를 비롯하여 松本和幸, 池谷光榮²⁷⁾은 사판식 유압 모터의 성능향상을 위해 초기 시동 및 저속 회전에 발생하는 마찰의 영향, 특히 볼 베어링의 마찰 특성을 고찰하였다. 실험적으로 측정된 결과 볼 베어링의 마찰은 공급압력에 의해 많은 영향을 받으며, 마찰모멘트는 오일 유막두께와 누설유량에 영향을 받는다는 것을 알아냈다. 小林俊一, 池谷光榮^{28~29)}은 사판식 액셀 피스톤 모터의 피스톤 구면부와 슬리퍼(slipper) 베어링부에 있어서 특히, 고압하에서의 기동시 정적(靜的) 평형상태에 대하여 탄성문제를 윤활문제를 연립하여 응력분포 및 변형과 윤활상태(유막두께, 누설유량)를 밝히기 위해 유한요소법(FEM)을 사용하여 해석하였으며, 슈우 패드 두께와 공급 압력의 변화에 따른 슈우와 사판 사이의 누설유량을 측정하였다. 方義, 金子力 등³⁰⁾은 구면부와 상대 포켓을 회전(rotation)과 진동(swing)을 주어가며 마찰계수를 측정하였는데, 저압 고속영역에서는 마찰계수가 감소하고, 역으로 고압 극저속 영역에서는 일정하게 유지하는 것을 확인하였다.

피스톤 슈우와 슈우 거동 및 윤활에 대한 연구는 유압기기에 사용되는 슈우의 최적 설계에 대한 연구^{31~32)}를 비롯하여 슈우와 사판 사이의 거동과 구조적 형상에 따른 윤활 문제에 대한 관심으로 다양한

연구^{33~37)}가 진행되었으며, 井星正氣, 山口 惇^{38~40)}는 슈우에 작용하는 힘과 베어링 하중, 슈우의 운동에 대한 기초방정식을 확립하여 이론적 해석은 물론 공급압력과 회전속도, 오일의 온도 변화에 따라 이론 해석 결과와 비교 검토하였으며, 동력 손실을 최소로 하는 슈우의 조건을 제시하였다. 한편, E. Koc, C. J. Hooke⁴¹⁾는 정압베어링의 오리피스 크기와 오프셋, 부균형비의 효과에 대한 연구를 수행하였으며, 蔦 紀夫, 河上昌弘 등⁴²⁾은 피스톤-슈우계를 2 질점 10 자유도로 모델화하여 슈우의 운동에 대한 동력학적인 운동을 구하기 위해 운동방정식을 도출하고 개발한 운동해석 프로그램을 통한 시뮬레이션 결과와 실험값의 비교 검증을 시도하였다. 또한 함영복, 조정대^{43~44)} 등은 유압 피스톤 모터에 사용되는 피스톤 슈우의 포켓 크기변화에 따른 정압 균형 특성 및 응답특성에 관한 연구를 수행하였다. 이밖에도 슈우 정압베어링의 탄성변형 특성⁴⁵⁾ 및 혼합 윤활상태의 해석과 관련된 연구^{46~47)} 등 슬라이딩의 트라이볼로지 특성 해석⁴⁸⁾이 주요 연구과제로 되어왔다.

최근에는 유압 펌프·모터의 고성능·고출력화가 끊임없이 요구되고 있으므로 산업기계는 물론 건설 기계에 보다 적합한 형상을 도출 하여야 하고 앞으로의 과제에 대한 연구^{49~51)}도 진행 중인 점을 감안하여 위에서 언급된 모든 접근방법과 연구결과를 토대로 하여 기존 연구에서 구체적으로 다루지 않았던 사판식 유압모터에 대한 로드형 피스톤의 적용과 그에 따른 회전동력 전달기구의 적용에 대한 연구가 좀더 구체적으로 진행되어야 할 필요가 있다.

3. 동력 변환기구의 종류

유압 피스톤 펌프 및 모터는 사용 용도에 따라 다르지만, 더욱 소형이면서 큰 출력이 요구되어짐에 따라, 기존의 사판식에 사축식의 장점을 적용하여 새로운 액셀 피스톤 펌프 및 모터를 구성하는 것도 가능하다.

먼저 유압 펌프 및 모터를 형식적으로 분류하면 베인형(vane type), 기어형(gear type), 피스톤형(piston type)으로 나누어지며, 여기서, 피스톤형은 다시 액셀 피스톤 형식(axial piston type)과 레이디얼 피스톤 형식(radial piston type)으로 나누어진다. 특히 피스톤형은 그 구조상 출력 밀도(power density)가 커서 사용범위가 넓은데, 이 중에서도 액셀 피스톤 형식이 고속 저 토크 회전에 대응 가능하고 설치공간을 작게 차지하므로 다른 기계동력전달

표 1 액셀 피스톤 메커니즘 형태의 장단점 비교

구분	사판식	사축식
장점	1) 형상이 단순함	1) 비교적 고 출력
	2) 콤팩트한 구동장치에 적합	2) 고 효율
	3) 관통축 연결 가능	3) 고 기동토크
	4) 가변용량화 용이	4) 고 경사각 (20~45°)
단점	1) 기동토크 낮음	1) 부피가 큼
	2) 사판 경사각의 크기가 제한됨	2) 제한된 공간 내에 장착시 불리함
	3) 작동유 오염에 민감	3) 관통축 연결 곤란
	4) 실린더 보어내면 마모가 심함	4) 출력축 지지 베어링 수명에 의존함

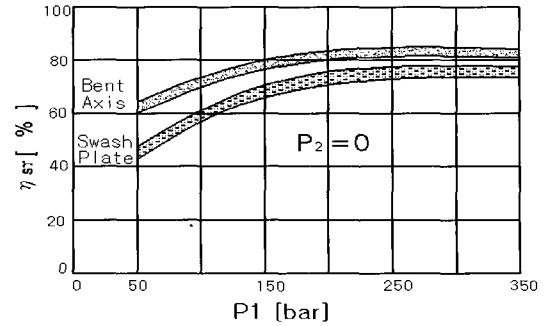


그림 6 사판식과 사축식 액셀 유압 피스톤 모터의 기동토크 비교

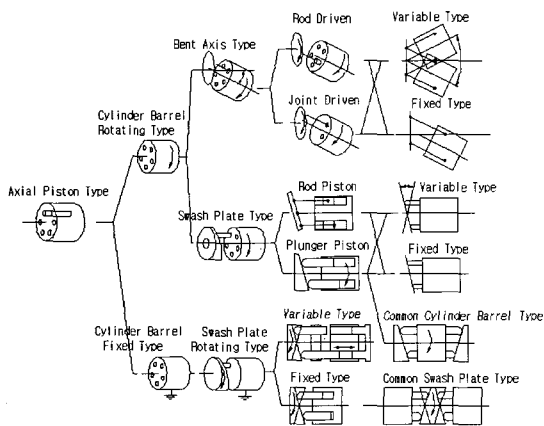
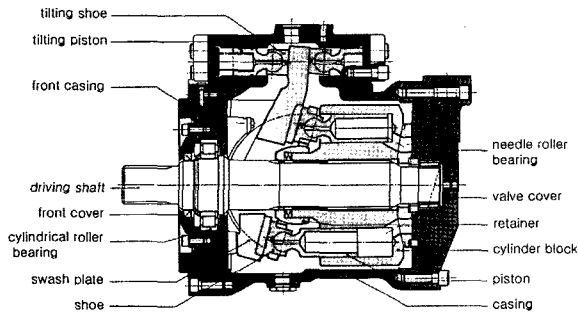


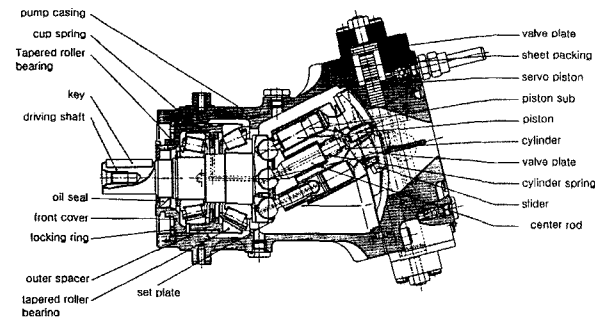
그림 4 액셀 유압 피스톤 모터의 분류

요소와 함께 많은 부분에 적용되며, 이러한 액셀 피스톤 형식은 내부 회전 부품의 배열상 사판식 (swash plate type)과 사축식(bent axis type)으로 나누어지진다. 이들의 구조적인 분류와 내부 구조는 각각 그림 4, 5와 같다.

사판식과 사축식 피스톤형은 각각의 장·단점으로 인해 적용되는 대상이 달라지는데 그 장·단점을 정리하면 표 1과 같으며 특히, 그림 6에 나타낸 바와 같이 사판식과 사축식 유압모터의 기동 토크효율 (η_{ST})을 비교해보면 사판식 유압 모터의 효율이 사축식보다 다소 떨어지는데, 그 이유는 사판식 유압 모터의 플런저형 피스톤과 실린더 사이의 큰 면압작용으로 인해 기동시의 커다란 마찰저항이 발생하기 때문으로 분석된다.



(a) 사판식 액셀 피스톤 모터



(b) 사축식 액셀 피스톤 모터

그림 5 액셀 유압 피스톤 모터의 구조

네덜란드 INNAS사에서는 그림 7과 같은 구조의 동력전달기구(Innas hydraulic transformer)를 제안하고 시작품을 제작하여 'CONEXPO/CON, IFPE 2002'에 출품된 바 있다.

이 구조는 사판식과 사축식 이론을 합쳐놓은 개념으로 블록 내에 있는 실린더 내부를 피스톤의 왕복 운동을 한다는 점은 이전 구조와 유사하다. 그러나 하나의 블록을 갖는 대신에 두 개의 블록이 마치 거울을 마주 대하는 형상으로 되어 있어 서로에 대해 작용하는 정압력이 완전하게 균형을 이루고 있다.

구조적 특징으로는 18개의 피스톤들이 로터에 별도의 링크기구가 없이 부착되어 있으며, 각 피스톤 끝단에는 기존 사축식 테이퍼 피스톤에서와 같이, 피스톤 링을 끼워 실린더 벽면과의 마찰을 줄이고 실린더와 피스톤 옆면 사이로 누설되는 오일에 대해 실링 효과를 갖는다. 또한 배럴과 플로팅 실린더 컵 (floating cylinder cup)이 임의 각도로 경사져 있어 축이 회전함에 따라 고정된 피스톤에 경사져 회전하는 실린더가 왕복하면서 일정한 스트로크를 가지고 유량을 토출한다. 한편, 플로팅 실린더 컵은 배럴을

그림 5 (b)의 사축식 액셀 피스톤 모터의 경우, 피스톤은 구면 베어링 등을 사이에 두고 접합하여 미끄럼 등이 발생하지 않도록 되어 있어, 피스톤의 미는 힘은 직접 구동축을 회전방향으로 밀어 축을 돌리고, 피스톤이 원주 상에 배치되어 있는 실린더 블록은 여러 가지 구동조인트로 축과 함께 회전하여 피스톤이 비틀리지 않도록 동기를 이루는 구조로 되어 있다. 따라서 축과 피스톤의 각도를 크게 할 수 있으므로(최대 45°) 동일용량 대비 소형화할 수 있는 특징이 있고, 고속 회전도 가능하게 된다. 이와 같이 사판식과 사축식에 있어서 동력을 전달하는 방법에 따라 여러 가지로 분류되는데, 구동방식이나 피스톤의 형상에 따라 분류하면 그림 10과 같다.

본 해설에서는 그림 10의 (a) 같은 로드형 피스톤과 경사 캠 구동방식의 동력 변환기구에 대해서 논의하기 위해 등속조인트와 같은 회전동력전달 기구를 검토해 보고자 한다.

5. 등속 조인트에 의한 경사캠 구동 방식의 고찰

다양한 분야에 적용되고 있는 유압 액셀 피스톤 기구는 소형화, 고효율밀도화에 대한 끊임없는 요구가 이어지고 있다. 이는 피스톤 단면적을 크게 하던지, 사판 경사각을 크게 함으로써 가능하나, 피스톤 단면적을 크게 하면 반경방향으로 크기가 커지는 문제가 발생하고, 사판각을 크게 하면, 특히, 그림 11에 나타난 플런저형 피스톤(plunger type piston)의 경우에는 슈우의 요동운동에 따른 공간 확보를 위해 피스톤 목부위가 가늘어져 강도가 약해지는 문제가 발생한다.

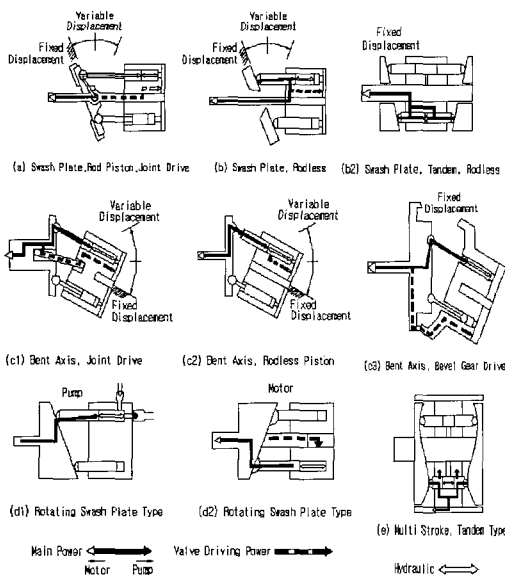


그림 10 액셀 피스톤 형 동력변환 메커니즘

일반적인 플런저형 피스톤을 적용한 유압 모터의 경우는 공급압력에 의해 발생하는 회전력(토크)을 플런저 측면에 작용하는 측력(lateral force)에 의해 실린더 블록에 전달하게 되고, 다시 실린더 블록과 회전축이 결합하고 있는 스플라인(spline)을 통해 축에 전달하게 된다. 그러나, 회전력을 전달하기 위한 측력은 결국 실린더 보어 내 플런저의 왕복운동을 방해하는 마찰력의 발생을 의미하게 되어, 효율의 감소를 동반하게 되는 문제점이 발생한다. 그림 12는 사판식 피스톤 펌프·모터 작동시 플런저형 피스톤에 작용하는 측력을 나타내고 있다.

따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 플런저형 피스톤 구조를 탈피하여 그림 13과 같이 양쪽 끝단부가 구면 볼 조인트(spherical ball joint)를 갖는 피스톤 로드와 피스톤, 피스톤 슈우로 이루어진 로드형 피스톤(rod type piston)을 적용함으로써, 피스톤이 실린더 블록의 보어 내에서 왕복운동을 하면서 측력을 받더라도 구면 조인트 부에서 측력을 상쇄시키도록 하여 모서리부에 의한 집중하중을 피할 수 있다.

유압 피스톤 모터의 경우 로드형 피스톤을 적용함으로써 작아진 로드부의 측력을 대신하여 발생된 회전력을 출력축에 전달하기 위한 새로운 회전동력 전달 메커니즘이 필요하게 된다. 이 동력 전달 기구는 기존 피스톤이나 로드의 측력을 이용하는 것이 아니라, 경사져서 회전하는 경사 캠의 회전구동에 의해 피스톤이 왕복운동 할 수 있도록 경사 캠과 축 사이에 등속조인트를 적용함으로써 구조적인 문제에 의해 제한되던 사판의 경사각을 기존의 사판식보다 더 크게 하여 구동할 수 있다.

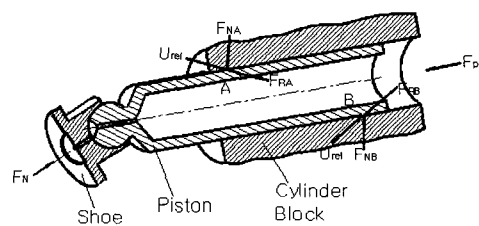


그림 11 플런저형 피스톤 구조

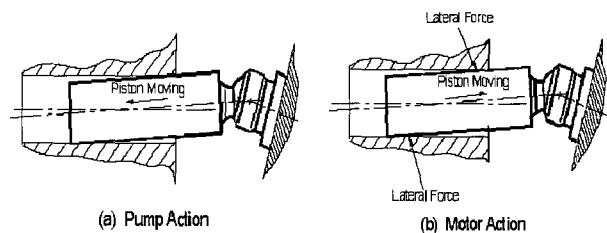


그림 12 플런저형 피스톤의 측력발생 기구

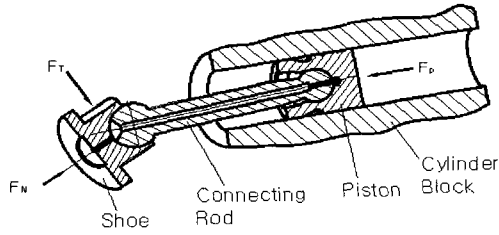


그림 13 로드형 피스톤 구조

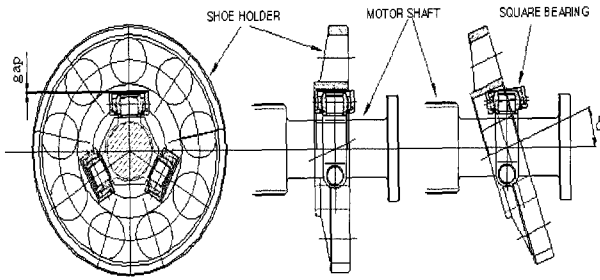


그림 14 트라이포드 조인트와 결합된 슈우 홀더

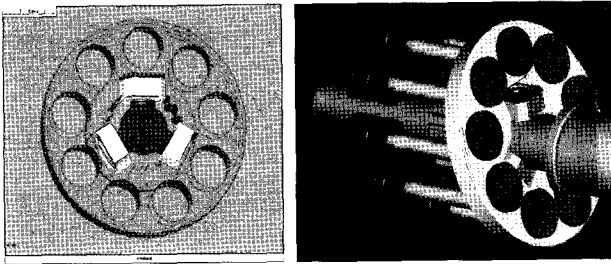


그림 15 트라이포드 조인트에 의한 동력변환 메커니즘

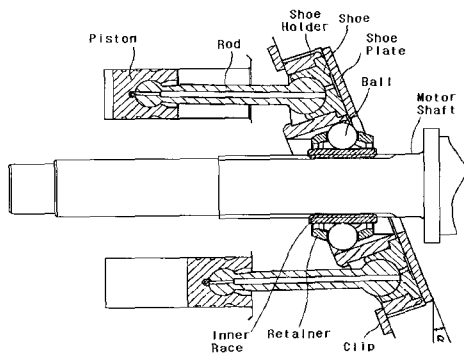


그림 16 버어필드 조인트(CV joint)에 의한 동력변환 메커니즘

그림 14는 사각베어링(square bearing)으로 구성되는 트라이포드 조인트(tripod joint) 기구로써, 유압 공급압력을 받은 로드형 피스톤과 피스톤 로드로 연결된 피스톤 슈우, 다시 피스톤 슈우와 슈우 홀더(shoe holder)를 통해 전달된 회전력은 트라이포드 조인트 기구를 거쳐 회전축에 전달되는 방식이다.

그림 15는 트라이포드 조인트가 회전하는 동안 발

생할 수 있는 구조적 간섭과 같은 작동상의 문제점을 확인하기 위해 3D 모델링한 것이다.

구동시 트라이포드 조인트의 변위, 속도, 운동에 대한 기구학적 해석 결과, 기존의 플런저형 모터에서 피스톤 축력으로 실린더 배럴에 구동 토크를 전달하면서 발생하는 마찰보다 로드형 피스톤과 트라이포드 조인트 기구를 통하여 구동 토크를 전달하는 경우에 마찰이 적게 나타나고 있다.⁵²⁾ 그러나, 슈우 홀더의 회전각 변위와 각속도가 작은 양이지만 변동하고 있으므로 고속회전에는 불리할 수 있다. 이러한 경우에 트라이포드 조인트보다 콤팩트하면서 등속으로 운전될 수 있도록 그림 16 과 같이 버어필드 조인트(birfield joint)를 적용하면 트라이포드 조인트 기구에서 발생하는 변동 문제를 해결할 수가 있다. 이것은 로드형 피스톤이 슈우를 수용하고 있는 슈우 홀더를 회전시키고 슈우 홀더 내면에 볼의 궤적이 형성되어 있으며, 리테이너(retainer)에 의해 안내되는 볼의 구름운동을 통해서 내륜에 동력을 전달하여 모터축을 회전시키게 된다. 구동축과 스플라인 결합하고 있는 내륜의 외주면에는 다수의 스파이어럴(spiral) 홈이 형성되어 볼의 운동을 안내하면서 토크를 전달할 수 있고, 유니버설 조인트나 트라이포드 조인트에서 발생하는 회전각 변동 및 각속도 변동이 발생하지 않는 등속조인트를 적용할 수가 있다.

6. 결 언

액셀 피스톤 형식의 유압 피스톤 펌프 또는 모터의 기계동력과 유압동력 간의 기본적인 동력변환 기구는 1960년대에 유럽이나 미국 등으로부터 이미 정립된 상태로 현재까지 사용되고 있는 실정이다. 원통형 실린더 배럴 내에 홀수개의 플런저형 피스톤을 이용하는 방식을 기본으로 정압베어링의 구조 등 약간의 효율을 개선시키기 위한 연구와 실험이 계속되어 왔다. 그러나 이것은 제조 가격면에서 좀더 낮아지거나 크게 변동 없는 범위 내에서 진행되어 왔다. 예를 들면 현재 굴삭기의 메인펌프로서 주로 적용되고 있는 일본 가와사키중공업의 K3V 모델의 경우, 현재 K5V 모델로 대체되고 있는 실정이다. 이 두 모델 간의 차이는 동일용량, 동일출력을 내는데 있어서 K5V 모델에서는 사판각을 16도에서 18.5도로 증가시키는 등의 경미한 치수변화로 전체길이를 11% 축소시켜서 기존의 K3V모델에 비해 20% 이상 출력밀도를 향상시킨 예에서 볼 수 있듯이, 이러한 변경으로 기본적인 구조를 획기적으로 변경시킨 것

은 아니며, 이 또한 가격문제를 고려했기 때문으로 분석된다.

그러나 현재는 군사적 목적의 기동장비 변속기내 유압식 동력전달장치 등과 같이 특수한 구조로 설계되어 고회전밀도화를 요구한다든지, 고기동토크(strating torque)화가 요구되고 있어서 기존의 작은 경사각, 고마찰구조, 저압형으로는 대응하기 어렵게 되었다. 따라서 이러한 다품종 소량의 특수목적에 대응하기 위해서 새롭고 독특한 구조의 동력변환기구가 제안되고 있다. 특수한 등속 조인트기구를 사용하여 가격이 다소 상승하더라도 지금까지 개발된 여러 가지 복합 신소재를 이용하여 더욱 더 고압화할 뿐만 아니라, 기존에 제안되었으나 경제성이 떨어져 상품화되지 않았던 로드형 피스톤, 등속 조인트기구, 볼 피스톤 등을 적용한 신규 모델의 동력변환기구도 사용환경이나 목적에 맞게 과감한 개발이 시도되고 있다. 이에 따라 국내에서도 기존에 대량으로 수입되고 있는 모델을 역설계(모방설계)하여 국산화하기 보다는 기본적인 설계지식을 바탕으로 새롭고 독창적인 유압 피스톤 펌프 또는 모터의 동력 변환기구를 제안하여 유압 피스톤 펌프 또는 모터의 조립체(assembly)를 개발하는 방향으로 선회해야 할 것이다.

참고문헌

- 1) Akira Hibi, "Staring Torque of Swash Plate Type Axial Piston Motor", Bulletin of the JSME, Vol. 17, No. 106, pp. 479~486, 1974.
- 2) A. Hibi and T. Ichikwa, "Mathematical Model of the Torque Characteristics for Hydraulic Motors", Bulletin of the JSME, Vol. 20, No. 143, pp. 616~621, 1977.
- 3) 稻葉剛, 柳田秀記, 日比昭, 市川常雄, "油壓モータの低速域における非定常特性に関する實驗的研究", 春季油空壓講演會, pp. 69~72, 1988.
- 4) G. Zeiger and A. Akers, "Torque on the Swashplate of an Axial Piston Pump", Transactions of the ASME, Vol. 107, pp. 220~226, 1985.
- 5) N. D. Manring, "The Torque on the Input Shaft of an Axial-Piston Swash-Plate Type Hydrostatic Pump", Transactions of the ASME, Vol. 120, pp. 57~62, 1998.
- 6) 山口惇, 谷岡農, "ピストン形流體機械のピストンの運動(第1報, 理論解析)", 日本機械學會論文集(第2部), 41卷, 348号, pp. 2399~2406, 1975.
- 7) 山口惇, 谷岡農, "ピストン形流體機械のピストンの運動(第2報, 實驗)", 日本機械學會論文集(第2部), 41卷, 348号, pp. 2407~2412, 1975.
- 8) 山口惇, 谷岡農, "ピストン形流體機械のピストンの運動(第3報, 指數關數狀ピストン)", 日本機械學會論文集(第2部), 41卷, 348号, pp. 2413~2421, 1975.
- 9) 山口惇, "ピストンポンプ・モータにおけるピストンの舉動, (第1報, 固体接触お生じる場合)", 日本機械學會論文集(B編), 55卷, 518号, pp. 3122~3128, 1989.
- 10) 山口惇, "ピストンポンプ・モータにおけるピストンの舉動(第2報, 靜壓パッド付きピストン)", 日本機械學會論文集(B編), 57卷, 537号, pp. 165~170, 1991.
- 11) 山口惇, "ピストンポンプ・モータにおけるピストンの舉動, (第3報, 實驗と理論的考察)", 日本機械學會論文集(B編), 58卷, 547号, pp.785~790, 1992.
- 12) 方義, 池谷光榮, "斜板式アキシアルピストンポンプ・モータの低速時におけるピストン~シリンダ間潤滑状態(ピストン形状の影響および強制潤滑の効果)", 油壓と空氣壓, 第23卷, 第3号, pp. 76~83, 1992.
- 13) Yi Fang and Masataka Shirakashi, "Mixed Lubrication Characteristics Between the Piston and Cylinder in Hydraulic Piston Pump-Motor", Transactions of the ASME Journal of Tribology, Vol. 13, pp. 1~6, 1994.
- 14) 方義, 白樺正高, "油壓ポンプ・モータ用いられるピストン機構の潤滑特性の平価", 日本機械學會論文集(C編), 60卷, 570号, pp. 254~260, 1994.
- 15) 이정오, 박태조, "피스톤 형상이 유압 피스톤 펌프·모터의 윤활특성에 미치는 영향", 한국윤활학회지, 제10권, 제3호, pp. 47~53, 1994.
- 16) 박태조, "사판식 유압 피스톤 펌프의 피스톤과 실린더 사이의 윤활해석", 한국윤활학회, 춘계학술대회 논문집, pp. 643~647, 1995.
- 17) 박태조, 이정오, "그루브를 한 유압 피스톤펌프의 피스톤에 작용하는 축력의 해석", 한국윤활학회지, 제8권, 제2호, pp. 44~49, 1992.
- 18) 김종기, 오석형, 정재연, "유압 사축식 액셀 피스

- 튼 펌프의 로드 구동에 관한 연구 제1보: 구동 메카니즘의 이론해석”, 한국윤활학회지, 제14권, 제4호, pp. 51~57, 1998.
- 19) Hibbert, G. et al., “The balancing of piston and valve plate forces in axial piston pumps and motors”, 2nd Fluid Power Symposium, G2-13/40, 1971.
 - 20) K. P. Palmer, D. Stott, N. A. Shute and D. E. Turnbull, “The Hydrostatic Balancing of Valve Plates”, ASME, 64-WA/LUB-13, pp. 1~13, 1964.
 - 21) 山口惇, 清水誠二, “ピストンポンプにおける球面弁板と平面弁板の流体潤滑特性の比較”, 油壓と空気壓, 第20卷, 第2号, pp. 74~78, 1989.
 - 22) 小林俊一, 松本和幸, “斜板式アキシヤルピストンモータの微速時における弁板-シリンダブロック間しゅう動部の潤滑特性”, 日本機械學會論文集(C編), 59卷, 561号, 1993.
 - 23) 松本和幸, 池谷光榮, “斜板式アキシヤルピストンモータの微速時における弁板習動部の漏れ特性”, 日本機械學會論文集(C編), 57卷, 541号, pp. 224~228, 1991.
 - 24) C. J. Hooke, K. Foster and G. Madera, “A Note on the effect of Shaft and Casing Stiffness on the Port Plate Lubrication Film of a Particular Slipper-Pad Axial Piston Pump”, 4th International Fluid Power Symposium, pp. B2-21~B2-28, 1975.
 - 25) 山口惇, 藤谷康男, 磯田幸男, 清水誠二, “ピストンポンプ・モータの弁板-シリンダブロック間の流体膜特性”, 油壓と空気壓, 第15卷, 第4号, pp. 64~72, 1984.
 - 26) 山口惇, “ピストンポンプ同モータに用いられる球面軸手の特性”, 油壓と空気壓, 第1卷, 第1号, pp. 10~18, 1970.
 - 27) 松本和幸, 池谷光榮, “斜板式アキシヤルピストンモータの起動・微速時における球継手部の摩擦特性”, 日本機械學會論文集(C編), 57卷, 538号, pp. 227~232, 1991.
 - 28) 小林俊一, 池谷光榮, “斜板式アキシヤルピストンモータ内のピストン球部・スリッパ軸手部の弾性静壓潤滑 (第1報, 理論解析)”, 油壓と空気壓, 第21卷, 第6号, pp. 78~84, 1990.
 - 29) 小林俊一, 池谷光榮, “斜板式アキシヤルピストンモータ内のピストン球部・スリッパ軸手部の弾性静壓潤滑 (第2報, 流量測定)”, 油壓と空気壓, 第21卷, 第7号, pp. 73~80, 1990.
 - 30) 方義, 金子力, 横正義一, 池谷光榮, “斜板式ルピストンポンプモータに用いられる球継手部の摩擦特性に関する研究 (球継手部の回轉摩擦特性)”, 秋季由空壓講演會, pp. 156~159, 1990.
 - 31) 風間俊治, 山口惇, “油壓機器しゅう動部の最適設計に関する研究 (第1報, 基礎方程式および最適条件)”, 油壓と空気壓, 第23卷, 第6号, pp. 111~117, 1992.
 - 32) 風間俊治, 山口惇, “油壓機器しゅう動部の最適設計に関する研究 (第2報, 最適条件の影響)”, 油壓と空気壓, 第23卷, 第6号, pp. 119~126, 1992.
 - 33) C. J. Hooke and Y. P. Kakoullis, “The Lubrication of Slippers in Axial Piston Pumps”, Fluid Power Symposium, PAPER B2, pp. 13~25, 1978.
 - 34) R. M. Harris, K. A. Edge and D. G. Tilley, “Predicting the Behavior of Slipper Pads in Swashplate-Type Axial Piston Pumps”, Trans. of the ASME, Vol. 118, pp. 41~47, 1996.
 - 35) 矢部寛, 久保愛三, “斜板式油壓ポンプ・モータのスリッパ軸受の作動特性に関する基礎的研究 (第1報, 軸受作動基礎特性)”, 日本機械學會論文集(C編), 63卷, 608号, pp. 312~318, 1997.
 - 36) 矢部寛, 久保愛三, “斜板式油壓ポンプ・モータのスリッパ軸受の作動特性に関する基礎的研究 (第2報, 軸受面形状の変化考慮した解析)”, 日本機械學會論文集(C編), 63卷, 608号, pp. 319~324, 1997.
 - 37) 小林俊一, 松本和幸, 池谷光榮, “斜板式アキシヤルピストンモータ内のピストン球部・スリッパ軸手部の構造解析”, 春季油空壓講演會, pp. 61~68, 1988.
 - 38) 井星正氣, 山口惇, “斜板式ピストンモータに用いられるスリッパ軸受の特性 (第1報, 理論解析)”, 日本機械學會論文集(B編), 48卷, 428号, pp. 695~706, 1982.
 - 39) 井星正氣, 山口惇, “斜板式ピストンモータに用いられるスリッパ軸受の特性 (第2報, 實驗)”, 日本機械學會論文集(B編), 49卷, 437号, pp. 164~171, 1983.
 - 40) 井星正氣, “斜板式ピストンモータに用いられるスリッパ軸受の特性 (第3報, スリッパ軸受部の動力損失最小の条件)”, 日本機械學會論文集(B編), 51

卷, 472号, pp. 3980~3988, 1985.

- 41) E Koc and C. J. Hooke, "Investigation into the effects of orifice size, offset and overclamp ratio on the lubrication of slipper bearings", Tribology International, Vol. 29, No. 4, pp. 299~305, 1996.
- 42) 薦紀夫, 河上昌弘, 藤原正康, 西村正, 池田光昭, 梅田時彦, "斜板式油壓ポンプのピストン-スリッパ系の動力學應答解析", 日本機械學會論文集(C編), 62卷, 594号, pp. 86~93, 1996.
- 43) 함영복, 조정대, 김성동, "유압 피스톤 슈우의 정압균형 특성에 대한 실험적 연구", 한국정밀공학회추계학술대회논문집, pp. 583~587, 1999.
- 44) 함영복, 윤소남, 김동수, 최병오, "유압 피스톤 펌프/모터의 정압베어링의 응답특성 평가", 대한기계학회 춘계학술대회논문집, pp. 116~120, 2001.
- 45) 風間俊治, 岩崎信行, 山口 惇, "靜壓軸受に及ぼす彈性変形の影響", 油壓と空氣壓, 第25卷, 第3号, pp. 433~437, 1994.
- 46) 風間俊治, 山口惇, "靜壓軸受の混合潤滑特性に關する研究: 第1報, 理論", 油壓と空氣壓, 第23卷, 第7号, pp. 119~126, 1992.
- 47) 風間俊治, 山口惇, "靜壓軸受の混合潤滑特性に關する研究: 第2報, 實驗", 油壓と空氣壓, 第24卷, 第4号, pp. 98~103, 1993.
- 48) 朝鍋定生, "油壓機器のトライボロジー", 油壓と空氣壓, 第23卷, 第4号, pp. 77~82, 1992.
- 49) 함영복, "유압펌프 및 모터의 고출력 밀도화 설계기술 분석", 기계와 재료 11권, 2호, 한국기계연구원, pp. 37~43, 1999.
- 50) 槁本登志雄, "産機用ピストンポンプの現状と課題", 油壓と空氣壓, 第25卷, 第6号, pp. 16~21, 1994.
- 51) 石井進, "建設機械・車兩用ポンプ/モータの現状と課題", 油壓と空氣壓, 第25卷, 第6号, pp. 22~26, 1994.
- 52) 함영복, 하정훈, 박경민, 김성동, "사판식 피스톤 모터의 트라이포드 기구의 거동 특성 연구", 한국동력기계공학회지, 제6권, 제3호, pp. 36~41, 2002.

[저자 소개]

함영복(책임저자)

E-mail : hyb665@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7157

1965년 10월 23일생

2003년 금오공과대학교 기계공학과 박사과정 졸업, 1990년 한국기계연구원 선임연구원, 수압펌프/모터, 압전펌프 개발 및 응용 등의 연구에 종사, 유공압시스템공학회,

대한기계학회, 일본 Fluid Power System 학회(JFPS), 한국정밀공학회 등의 회원, 공학박사



[저자 소개]

박경민

E-mail : minigne@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7168

1973년 11월 19일생

2002년 전북대학교 대학원 기계공학과 석사 졸업, 2002년 한국기계연구원 위촉연구원



[저자 소개]

윤소남

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

1963년 7월 29일생

1993년 부경대학교 대학원 기계공학과 박사과정 졸업, 1994년 한국기계연구원 선임연구원, 지능형/기능성 액츄에이터 응용 등

의 연구에 종사, 유공압시스템공학회, 대한기계학회, 일본 JFPS 등의 회원, 공학박사



[저자 소개]

김성동

E-mail : sdkim@kumoh.ac.kr

Tel : 054-467-4234

1956년 5월 15일생

1987년 한국과학기술원 생산공학과 박사과정 졸업, 1988년 금오공과대학교 기계공학부 교수, 유압부품 및 유공압시스템의 연구

에 종사, 유공압시스템학회, 대한기계학회, 한국정밀공학회 등의 회원, 공학박사

