

자동차 파워스티어링용 가변 용량형 베인펌프

Variable Displacement Vane Pump for Power Steering of Vehicle

박종호 · 황병성 · 정재연

J. H. Park, B. S. Hwang and J. Y. Jung

1. 서론

파워 스티어링(Power Steering, 이후 P/S)은 1926년 F.W. Davis에 의해서 Pierce Arrow Car에 실용화되기 시작하여, 1951년부터 미국에서 양산차량용으로 생산되었다. 사용자가 조향 핸들을 조작하는 힘을 보조하는 이점 때문에 주로 조향력이 높은 대형차량을 위주로 보급되었으며, 1960년대에는 전륜하중이 높은 FF(Front Engine Front Wheel) 구동방식의 승용차에도 장착하기 시작하였다. 조향의 편리성 때문에 P/S 수요는 지속적으로 증가하여 1975년에 이르러서 미국에서 양산되는 차량의 P/S 장착률이 80%에 이르렀다.¹⁾

그 후, P/S는 주차할 때나 저속주행에서는 파워의 높은 효율을 유지하고, 고속에서는 안전성을 확보할 수 있도록 성능이 꾸준히 개선되어 왔다.

최근에는 지구환경의 보호가 주목을 받으면서, 이 분야에서도 에너지 절감을 위한 연구 활동이 활발히 진행되고 있다. P/S 시스템에서도 에너지 최적화를 위한 전동식 P/S 시스템의 개발 및 양산이 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있고, 소형차량을 중심으로 유압식에서 전동식 P/S 시스템으로 변환이 급속히 진행되고 있다.

그러나, 고출력이 요구될 경우 전동화가 극히 곤란하기 때문에, 주요 차량에서 유압식 P/S 시스템이 꾸준히 장착되고 있다.²⁾

하지만, 유압식 P/S 시스템에 있어서도 동력절감 및 효율 극대화를 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 유압식 P/S 시스템의 핵심장치인 유압베인펌프에서도 종래의 고정 용량형 베인펌프가 중고속영역에서 발생하는 잉여유량에 의한 에너지 손실 및 효율저하가 크기 때문에, 이를 미연에 방지할 수 있도록 가변 용량형 베인펌프의 연구개발 및 양산화가 선진국을 중심으로 진행되고 있다.

본 논문에서는 상기 가변 용량형 베인펌프의 기본구조, 종류, 사양, 작동 원리 등에 대해서 소개하고자 한다.

2. 영신정공(주)의 소개

본사는 1987년 경주에서 자동차 부품 전문 생산업체로 창립되었으며, 동년 6월 일본의 Hitachi Unisia Automotive, Ltd.와 기술 계약을 체결하였고, 1998년부터 P/S용 유압 베인펌프의 국산화 개발에 성공하여 양산에 돌입하였다. 그 후 1999년 독일 ZF사와 기술 제휴를 통해 본사의 연구 및 기술력을 더욱 향상시킬 수 있었다.

당사는 2003년 기준 직원수 540명, 매출액 1,000억원의 규모로 성장하였고, P/S Vane Pump, Hydraulic Valve Lash Adjuster, Mechanical Tappet, Counter Balance Shaft 등의 제품을 양산하여 국내의 주요 자동차 메이커에 납품하고 있다.

이 중에서, P/S 베인펌프는 매출액 700억, 연간 250만대를 양산할 수 있는 생산설비가 구축되어 있어, 국내 P/S용 베인펌프 시장을 주도하는 주력품목이다. 또한, 당사 제품은 소형경량화, 저소음 및 고성능화를 실현하여, 사용자가 핸들조작시 P/S 시스템에서 발생하는 부하압력변동에 따라, 저속에서는 유연한 핸들조작, 고속에서는 안정된 주행성능을 실현하고 있다.

3. 가변 용량형 베인펌프의 작동원리

베인펌프는 2매의 베인, 로터, 캠링, 사이드 플레이트에 의해 형성된 공간이 구동축의 회전에 따라 용적변화를 일으켜 펌핑 작용을 하는 용적식 펌프이다. 대다수의 자동차용 P/S 시스템에 적용되는 베인펌프는 그림 1과 같은 고정 용량형 베인펌프이다.

그림 1에 나타난 고정 용량형 베인펌프는 구동축을 중심으로 흡입 및 토출포트가 대칭되도록 설치되어, 축을 중심으로 두 베인간의 용적이 1회전 당 2차례의 흡입 및 토출작용을 행하고, 로터 주위의 압력이 균형을 이루어 구조적으로 안정된 압력 평형형 베인펌프이다.

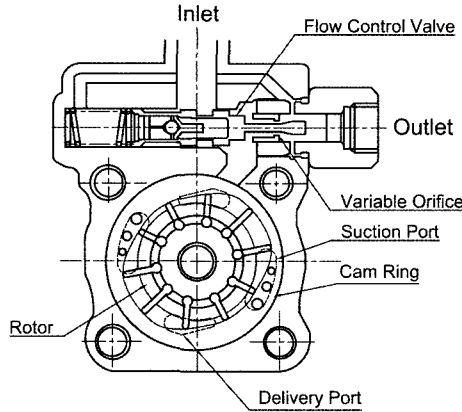


그림 1 고정 용량형 베인 펌프

가변 용량형 베인펌프는 그림 2와 같이 축을 중심으로 두 베인간의 용적이 1회전 당 1차례의 흡입 및 토출작용을 한다.

그림 2(a)는 캠링에 항상 접하도록 설계된 피스톤의 변위량에 의해 오리피스스의 개구면적이 변화되며, 최종적으로 캠링과 어댑터에 의해 형성된 두 챔버에 가해지는 압력을 제어밸브로 조절하여 토출유량을 제어하는 방식을 나타낸다. 케이싱 내부에 구동축을 중심으로 로터, 베인 및 캠링이 조립되어 있고, 캠링의 외측 하단에 어댑터와 연결된 핀이 있으며, 어댑터에는 2개의 압력실이 형성될 수 있도록 상단에 실이 설계되어 있다.

그림 2(b)는 수동으로 압력 및 유량제어 볼트를 조절하여 토출유량을 제어하는 방식을 나타낸다.

그림 2(c)는 핀이 캠링의 상단 지지점에 위치하여 있고, 캠링의 하단부는 케이싱과 실링되어, 두 챔버 간의 압력차에 따라 토출유량을 제어하는 방식을 나타낸다.

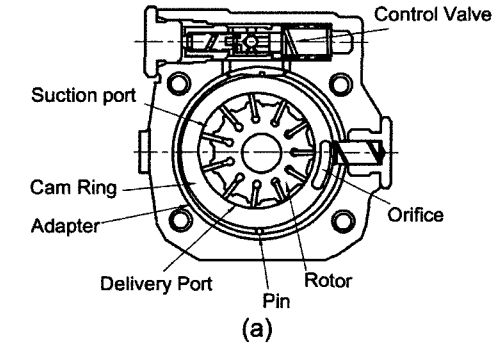
그림 2(d)는 구동축과 동시에 회전하는 로터와 캠링 중심 간의 편심량을 변화시켜 토출유량을 제어하는 방식을 나타낸다. 가변기구는 캠링에 핀을 설치하고, 캠링과 연결된 로드와 스프링에 압입된 핀과 연결되어 있으므로, 스프링 양단의 압력차와 스프링력에 의해서 캠링의 편심량이 제어되도록 동작한다.

4. 가변용량형 베인펌프의 특징

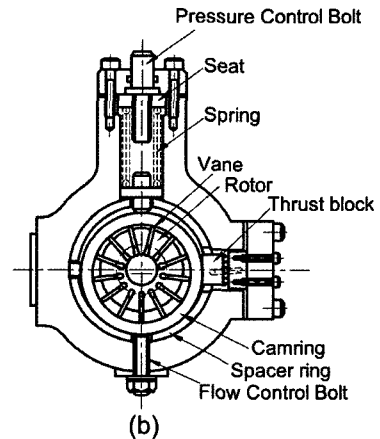
가변 용량형 베인펌프의 주요 특징은 그림 2(d)를 중심으로 설명한다. 상기 펌프는 Hitachi Unisia의 제품으로 주요 제원을 표 1에 나타낸다.

4.1 에너지 절감효과

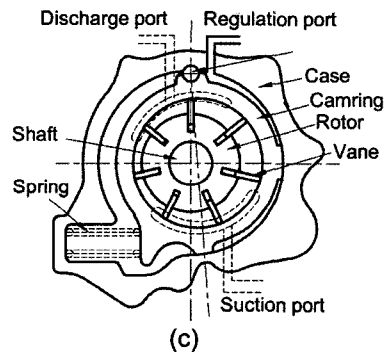
그림 3은 P/S용 베인펌프의 회전수 변화에 따른



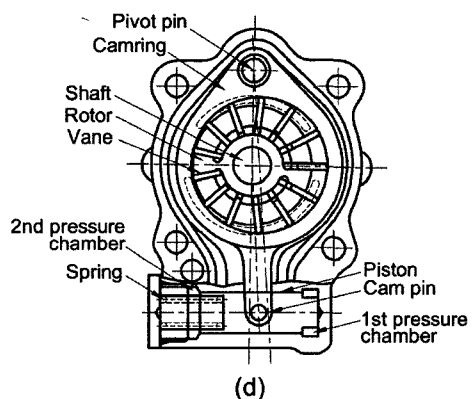
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2 가변 용량형 베인펌프

유량특성 변화를 보여준다.

핸들의 유연한 조작을 위해, 엔진 회전수가 저속영역일 경우 전유량을 사용하며, 중속 영역에서는 유량을 일정하게(Flow Constant) 유지한다.

표 1 Hitachi Unisia(社) 베인펌프의 사양

항 목	제 원
고유 토출량	7.8cm ³ /rev
조정 유량	8.0 l /min
최고 압력	8MPa
최고 회전수	9,000rpm
유 온	-40 to 120℃
중 량	1.4kg

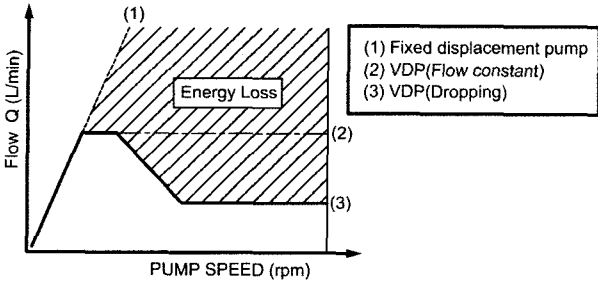


그림 3 파워 스티어링용 베인펌프의 유량 특성

고속 영역에서는 주행의 안정성을 확보하기 위해서 회전수가 증가함에 따라 유량을 핸들을 조작하기 위한 최저치로 감소시킨다(Dropping).

종래의 고정용량형 베인펌프는 유량제어밸브에 의해 토출유량을 조절하여 (3)번 그래프와 같이 필요한 유량특성으로 제어하고 있다. 이것은 중고속 영역에서 잉여유량을 흡입포트쪽으로 리턴 시켜주는 유량제어밸브에 의한 효과일 뿐이며, 실제 펌프는 (1)번 그래프와 같이 회전수에 비례하여 토출유량이 증가하고, 빗금친 부분만큼 불필요한 에너지 손실이 발생하게 된다.

하지만, 가변용량형 베인펌프의 경우 캠링의 편심량을 직접 제어하여, (3)번 그래프와 같은 유량특성을 실현할 수 있기 때문에 불필요한 에너지 손실이 없다. 따라서, 차량의 동력손실 및 에너지 절감효과가 기대된다.

4.2 일정유량(Flow Constant) 특성

그림 2(d)의 가변용량기구는 캠링에 피벗 핀을 설치하여 이것을 회전중심으로 하고, 다른 한쪽 끝에 설치된 레버에 압입한 핀을 제어피스톤과 연결하여 양단간의 압력차와 스프링력에 의해 편심량을 제어하는 방식이다.

그림 4에서 제어피스톤 양단에 가해지는 차압은 베인 하단의 펌프작용에 의해서, 발생하는 토출 유로에 오리피스를 설치하여 전후 차압을 유도한다.

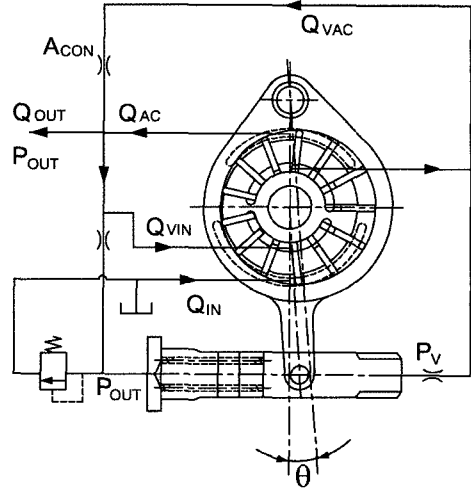


그림 4 일정 유량 특성

일반적으로 베인을 캠링에 밀어붙여, 베인의 이간을 방지하기 위해서 베인의 저면(底面)에 펌프 토출압력이 유도된다. 이 때, 베인 저면에서는 베인의 두께와 폭으로 형성되는 면적과 편심량으로 결정되는 스트로크에 의해 펌프 작용을 하고 있다. 또한, 베인 저면부의 원주 방향으로 흡입 및 토출포트를 설치하여 로터 외주방향의 펌프(이하 메인펌프)의 토출유량의 일부(Q_N)을 흡입포트로 유도하고, 베인 저면의 펌프(이하 서브펌프) 작용에 의해 토출시킨다. 이 서브펌프의 토출포트(Q_{VAC})는 메인펌프의 토출유로와 제어 피스톤에 연결되고, 오리피스 A_{CON}의 전후 차압에 의해 캠링을 구동한다. 오리피스 전후 차압은 펌프 회전수의 증가에 따라 상승하며, 스프링력과 밸런스에 의해 일정 유량 특성이 확보된다.

4.3 유량 감소(Dropping) 특성

P/S 시스템에 있어서, 조향 감각은 저속영역에서는 핸들이 가볍고, 고속영역에서는 묵직한 느낌이 들도록 설계되어 있다. 이를 위해서 회전수가 고속영역일 경우, 회전수가 증가할수록 펌프의 토출유량을 감소시켜주는 기구(Dropping 기구)가 요구된다.

그림 5는 유량 감소 특성을 보여준다. 서브펌프의 토출유로 상에 2개의 오리피스(A_{CON}, A_{VAC})를 설치한다. 중속영역에서는 두 오리피스에 의해서 토출유량이 일정하게 유지하여, 4.2절의 일정 유량 특성을 가능하게 한다. 고속영역에 진입하면, 회전수의 증가에 따라 가변오리피스 A_{VAC}의 개구면적이 점차 감소하여 토출유량이 서서히 감소하도록 하였다. 가변오리피스 A_{VAC}의 면적이 최소가 될 경우, 조향을 위한 최소유량은 고정오리피스 A_{CON}에 의해 확보된다.

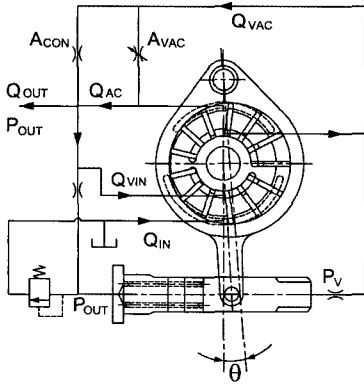


그림 5 유량 감소 특성

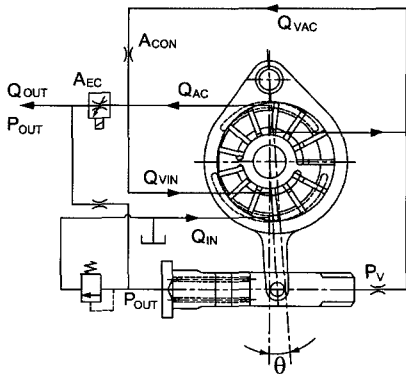


그림 6 전자제어 특성

4.4 전자제어(Electronic Control) 특성

유압펌프의 토출유량을 외부신호에 의하여 임의로 원격 제어할 수 있는 것은 유압시스템의 적용범위를 증가시켜주는데 크게 공헌한다. 이러한 외부입력신호에 의해 가변 용량형 베인펌프를 제어할 경우, 최적화된 토출유량의 제어로 동력 저감 효과를 확보할 수 있다. 또한, 그림 6과 같이 서브펌프의 토출유로에 설치된 오리피스 A_{CON} 에 의하여 일정 유량 특성을 확보하고, 메인펌프의 토출유로 상에 솔레노이드로 구동되는 가변 오리피스 A_{EC} 를 설치하여 오리피스의 개구면적을 변화에 의해 유량 감소 특성을 실현하는 구조이다.

4. 결 론

종래의 P/S용 고정용량형 베인펌프에 비해 동력손실을 최소화할 수 있는 가변용량형 베인펌프에 대해서 간략히 소개하였다. 이 펌프는 일정 유량 및 유량 감소 특성을 가변기구를 통해 실현하였고, 외부의 원격신호에 의한 전자제어방식 가변유량기구의 탑재도 가능성을 보여주었다. 또한, 중고속영역에서 동력절감, 온도상승에 우수한 특징을 보여주었다. 예를 들면 2,000rpm일 때 가변용량형 베인펌프는 무부하에

서 약40%, 2MPa에서 약50%의 동력 토크를 저감시킬 수 있다. 따라서, 향후 P/S 시스템의 콤팩트화 및 에너지 최적화 요구가 증가하는 추세에서 P/S용 가변용량형 베인펌프의 개발 및 양산이 필수불가결할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 田中裕久, “自動車における油壓技術”, 油壓と空氣 壓, 第21卷, 第2号, pp. 112~119, 1990.
- 2) 矢加部 新司, “自動車用可變用量形ベーンポンプ”, フルイドパワーシステム, 第32卷, 第4号, pp. 237~240, 2001.

[저자 소개]



박종호(책임저자)

E-mail : top50@hanmail.net

Tel : 054-745-4491

1960년 3월 27일생

1982년 전북대학교 기계설계공학과 졸업, 1984년 현대자동차 연구소 입사, 1993년 영신정공 입사, 현재 영신정공 기술연구소 이사

[저자 소개]



황병성

E-mail : hbs1128@chollian.net

Tel : 054-770-6880

1965년 5월 23일생

1988년 국민대학교 기계공학과 졸업, 1989년 영신정공 입사, 자동차 조향장치용 베인펌프 설계 및 개발에 종사, 현재 영신정공 기술연구소 선임연구원

[저자 소개]



정재연

E-mail:jungjy@moak.chonbuk.ac.kr

Tel : 063-270-2372

1952년 1월 16일생

1977년 전북대학교 정밀기계공학과 졸업, 1977년 삼양사 입사, 1981년 전북대학교 전임강사, 1989년 동경공업대학교 공학박사, 1993년 전북대학교 교수, 1998년 자동차신기술연구소 소장, 현재 한국윤활학회, 유공압시스템학회 이사