

# 굴삭기용 유압펌프의 최근 개발동향 Trend of Development of Axial Piston Pump for Excavator

조유종 · 오창근  
Y. J. Cho and C. G. Oh

## 1. 서 언

유압펌프 중에서 액셀 피스톤 펌프(axial piston pump)는 고압, 고효율 및 가변용량제어가 용이하기 때문에 현재까지 굴삭기의 유압동력원으로 꾸준히 사용되어 왔다.

1905년 미국 Vickers사의 Waterbury Tool Division에서 개발되고 실용화된 자니펌프(Janey pump, 그림 1 참조)가 원형인 액셀 피스톤 펌프의 개량·개선은 1세기 동안 많은 부분에서 이루어졌지만 그 중 고압화, 고속화, 경량화로 실현할 수 있는 고출력밀도화 즉, 굴삭기 시스템의 저비용화를 포함하는 고효율화가 굴삭기용 액셀 피스톤 펌프 발전의 역사라고 해도 과언이 아니다.

출력밀도(power density)라 함은 유압펌프 단위 질량당 전달되는 동력을 의미하고 일반적으로 아래의 식으로 표현가능하다.

$$\begin{aligned}
 E &\propto L/W \\
 &\propto P \times Q / W \\
 &\propto P \times q \times n / W
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서,  $E$ : 출력밀도,  $L$ : 전달동력,  $W$ : 유압펌프의 질량,  $P$ : 토출압력,  $Q$ : 유압펌프의 토출유량,  $q$ : 유압펌프의 토출용적,  $n$ : 유압펌프의 회전수 결국 식에서 보는 바와 같이 고압화, 고속화, 경량화가 출력밀도 향상과 직결되고 결과적으로 굴삭기시스템 효율 향상에 기여함을 알 수 있다. 그리고 표 1에 나타난 내용은 과거부터 현재까지 진행되고 있는(앞으로도 진행될) 피스톤 펌프 기술과제들로, 유압펌프 자체의 성능향상 기술과 고객(굴삭기 제작사 또는 End- User)의 신뢰도를 높일 수 있는 신뢰성향상(품질향상)기술로 대별되며 굴삭기의 소모에너지 절감(저비용화)과 연관된 기술이다. 이러한 기술과 더불어 전 세계적으로 대두되고 있는 대기·수질·토양 오염과 소음·진동 등의 환경문제를 극복할 수 있는 기술과제가 최근 들어 굴삭기에도 부각되고 있다. 표 2는 굴삭기에 서 극복되어야 할 환경문제와 관련된

피스톤 펌프의 대응기술을 나열하였다. 이 중에서 저소음(저맥동)화 기술과 전장 단축화 기술이 피스톤 펌프에 있어서는 선행기술이라 하겠다.

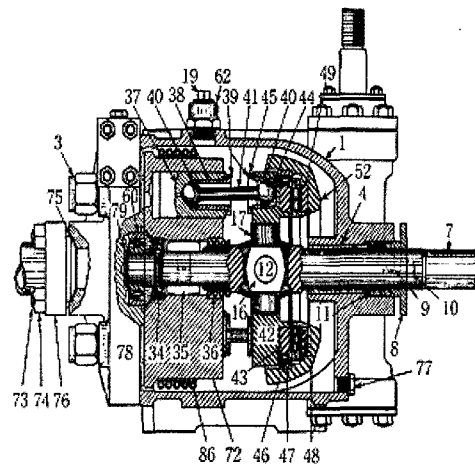


그림 1 Janney 펌프(정역가변형 액셀피스톤펌프)

표 1 액셀 피스톤 펌프의 주요기술

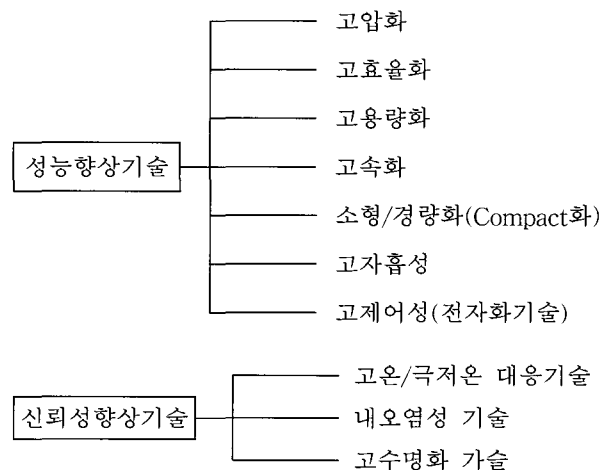
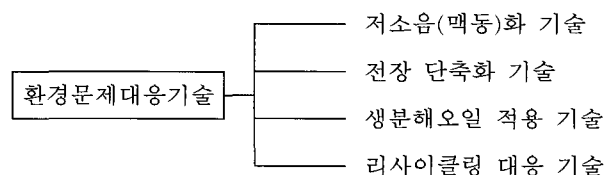


표 2 굴삭기의 환경문제 대응기술



이상을 요약한다면, 굴삭기용 액셀 피스톤 펌프의 최근 개발 과제는 고출력 밀도화를 달성하기 위한 성능향상 기술과 대고객 신뢰도 향상을 위한 신뢰성향상 기술 그리고 최근 전 세계적으로 대두되고 있는 굴삭기에 대한 환경문제를 극복할 수 있는 대응기술이라 할 수 있다.

본지에서는 성능향상 기술과 환경문제 대응기술이라는 관점에서 부족하나마 기술하고자 한다.

## 2. 액셀 피스톤 펌프의 성능향상 기술

액셀 피스톤 펌프는 구조상 사축식(bent axis type, 그림 2)과 사판식(swash plate type, 그림 3)으로 나뉜다. 역학적 관점에서 사축식 펌프가 고압화에 용이하지만 베어링의 수명, 소음, 중량 등의 실용적 부분에서 우수한 사판식 펌프가 굴삭기용으로 대부분 사용되고 있으므로 본지에서는 사판식 펌프의 관점에서 기술하고 특별히 언급하지 않는 사항들은 일본의 경우임을 밝힌다.

### 2.1 고압화

현재 중·대형 굴삭기에서 있어서 주로 사용되고 있는 압력은 주로 320~350bar 이며, 국내와 일본에서 생산되는 액셀 피스톤 펌프의 최고사용압력은 350bar이지만 독일 Rexroth社에서는 최고 사용압력이 400bar인 펌프를 생산하고 있다.

그림 4는 일본 Kawasaki社가 1984년에서 1993년까지 일본 및 국외의 굴삭기 제작사에 납품한 펌프의 압력 변천을 나타낸 그래프이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 1988년도까지는 급격한 고압화 경향을 보이지만 그 이후 1993년까지 거의 완만한 경향을 보이고 있음을 알 수 있고 - 여러 이유를 들 수 있겠지만 - 현재도 연장선상에 있는 실정이다.

지난 10여년간 액셀 피스톤 펌프의 최고사용압력이 변화가 없는 것은 고압화를 위해 극복해야 할 많은 과제들이 산재해 있기 때문이다. 표 3은 고압화에 따른 문제점, 해결방향 및 적용부품을 간략히 나타낸 것이다.

출력마력이 일정하다고 가정하고 고압화를 실현할 수 있다면 유압펌프의 소용량화가 가능하며 이에 따른 저비용화도 달성할 수 있는 이상적인 효과를 기대할 수 있지만 말 그대로 이상(理想)이다.

현재 굴삭기 제작사에서 사용압력 370 bar 정도의

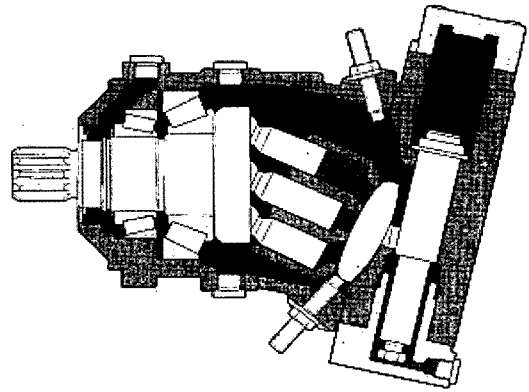


그림 2 사축식 액셀 피스톤 펌프  
(독일 Rexroth사 A7VO기종)

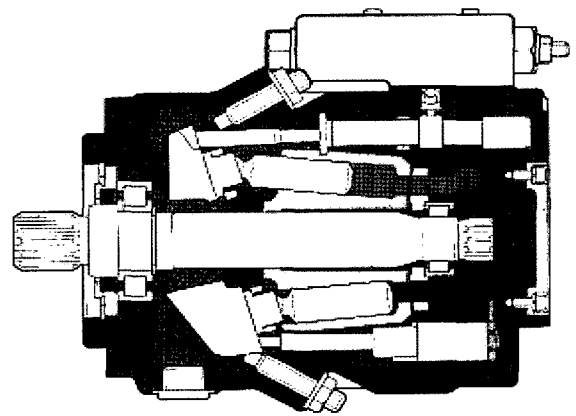


그림 3 사판식 액셀 피스톤 펌프  
(독일 Rexroth사 A11VO기종)

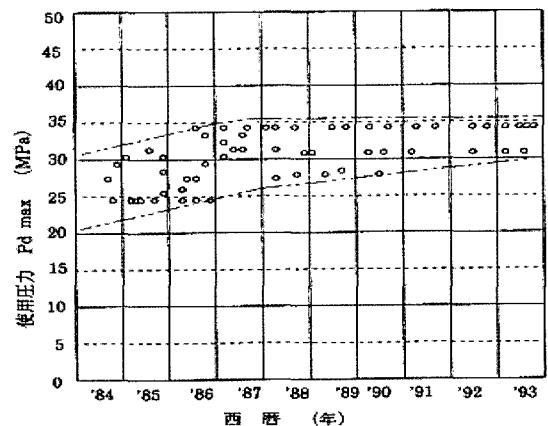


그림 4 피스톤 펌프의 최고 사용압력 변천

고압화를 추진 중에 있다고는 하지만 굴삭기 시스템의 고압화는 유압펌프이외의 주변기기의 고압화도 병행되어야 하며 고압화로 야기될 수 있는 시스템의 진동·소음증가 또는 새로운 진동·소음발생 문제등도 고려되어야 할 사항이다.

표 3 고압화의 문제점 및 해결과제

문제점	해결방향	적용부품
유효부족 (마찰증가)	- 가공정도향상 - 특수소재채용 - 작동유성능개선 - 표면(열)처리향상	피스톤, 실린더블록, 밸브판, 사판지대
수명저하	- 고하중용 베어링 채택 - 내구성 소재 채택	베어링, 샤프트, 피스톤, 시일류
용적효율저하 (누설증가)	- 트라이볼로지해석 기술개발 - 가공정도향상 - 틈새최소화,	피스톤, 밸브판, 실린더블록, 슈
유압밸런싱 불안정	- 밸브판 노치부 최 적화 - 유압밸런싱해석기 술개발	밸브판, 실린더블록
소음증가	- 맥동저감 - 진동저감	밸브판, 케이싱, 사판
변형증가	- 고강성소재 채택	실린더블록, 사판, 사판지대
온도상승	- 내열시일류 채택 - 고점도지수 작동 유 채택	시일류

## 2.2 고속화

유압펌프가 작동유를 흡입하는 행정에 있어, 흡입 유로에 압력손실이 생기는데, 엔진회전수의 증가에 따라 통과유량도 증가하여 압력손실이 커지게 된다. 따라서 고속회전시에는 실린더블록내의 압력이 낮아져 캐비테이션(cavitation)이 발생할 우려가 있다. 이 캐비테이션은 소음과 침식의 원인이 되고 고속한계를 결정하는 중요한 파라메타가 된다. 이런 흡입능력 개선을 위해, 즉 흡입압력손실을 줄이기 위해 현재는 실린더블록과 밸브판의 마찰면을 구면(球面)형상으로 가공하는 방식이 일반적으로 채용하고 있다. 펌프에 있어 이러한 구면형상의 채용은 실린더블록, 밸브판, 피스톤에 작용하는 압력이 밸런스를 유지할 수 있도록 하였고 실린더블록도 안정된 위치를 유지할 수 있도록 하였다. 그리고 밸브판상의 포트 피치지름을 작게 함으로써 평면가공에 비하여 실린더블록 포트부의 원주방향속도를 저감하게 되어 흡입능력을 향상시키고 있다. 일반적으로 유압펌프는 용량의 1/3 승에 비례하여 흡입한계회전수가 낮아진다(펌프의 회전속도능력을 나타내는  $C_p$ (cavitation parameter) 치로 알려져 있다). 대용량 펌프의 경우, 임펠러 내장에 의하여 흡입압력을 확보하여 고속화를 실현하기 위한 연구가 있었지만 현재는 대용량펌프의 단순한 흡입압력 개선용으로만 일부 사용하고 있다.

현재 생산되는 펌프에 보편화되어 있는 흡입압력

을 확보하는 방법은 부스터(booster)펌프를 부착하여 가압하는 방법을 채택하고 있고 부스터 펌프로는 저용량 기어펌프가 사용된다.

고속화에 따른 다른 문제 중 하나는 점동(摺動)부의 소착(燒着)현상이다. 면압과 점동속도의 곱으로 표현되며 점동부의 내소착성을 평가하는 지표로 활용하는 PV치가 고압, 고속화에 따라 커지게 되므로 대책이 필요하게 된다. 피스톤 펌프의 주요 점동부는 슈와 슈판을 들 수 있다. 현재는 FEM을 활용한 수치 시뮬레이션을 통한 접촉부해석과 트라이볼로지적 특성해석을 활용하여 최적의 형상, 압력밸런스를 실현함으로써 PV치를 저감할 수 있도록 노력하고 있다. 그리고 실린더블록, 밸브판, 피스톤 등의 부품들도 소재 및 열처리 기술, 이종재질 접합기술의 향상을 통한 우수한 재료의 적용으로 고속화에 대응하고 있다.

## 2.3 소형·경량화

소형·경량화의 문제는 저비용화 달성을 위해 필연적으로 극복해야 하는 과제이지만 기술적 관점에서 보면 앞서 언급한 고압화, 고속화 등의 펌프 성능 향상기술과는 서로 상반된 개념을 지닌다. 최근에는 최적화기법을 이용한 수치 시뮬레이션을 통해 기술적 성능향상(성능유지)과 소형·경량화라는 문제를 동시에 해결하고자 연구·개발 중에 있다. 현재까지의 피스톤 펌프 중에서 소형 굴삭기(5톤급이하)에 적용되는 그림 5와 같은 분할 유동(split flow)형 피스톤펌프가 소형·경량화의 대표적인 사례라 하겠다. 1개의 실린더 블록에 착수개의 피스톤 홀을 내고 밸브에 2개의 포트로 토출 가능하게 만든 더블 피스톤형이다. 더블 피스톤 펌프이지만 사판, 실린더블록 및 밸브판이 각 1개라는 것이 큰 특징이다.

## 3. 액셀 피스톤 펌프의 환경문제 대응기술

선진국에서는 대기, 수질 및 토양오염, 소음·진동 등과 같은 환경문제는 급속한 산업화에 대한 피해로서 20세기 후반부터 끊임없이 제기되어 입법화되었고 관련법령에 의거 규제되고 또한 규제를 강화하고 있는 실정이다.

국내에서도 오일에 의한 수질 및 토양오염, 공장에서 배출하는 가스에 의한 대기오염에 대해서는 오래 전부터 일반 관계법령에 의거 규제되어 왔지만 소음·진동 규제는 여러 가지 이유로 거의 유야무야(有耶無耶)된 것이 사실이었다.

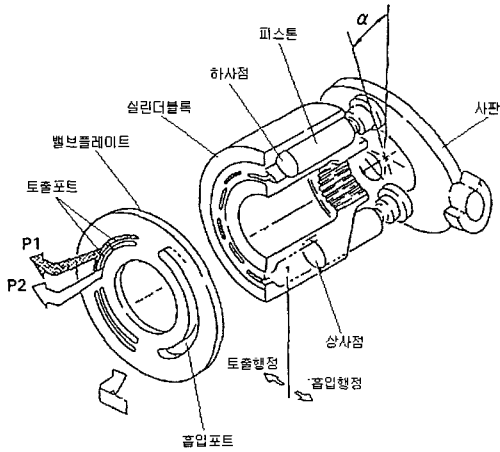
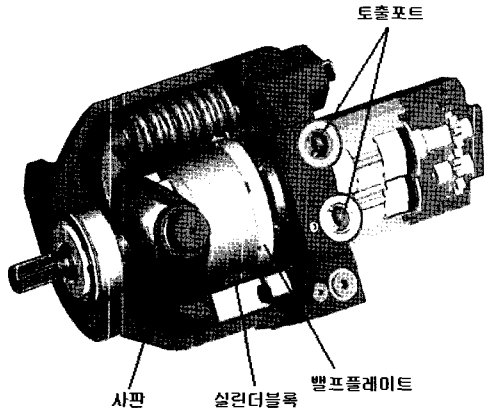


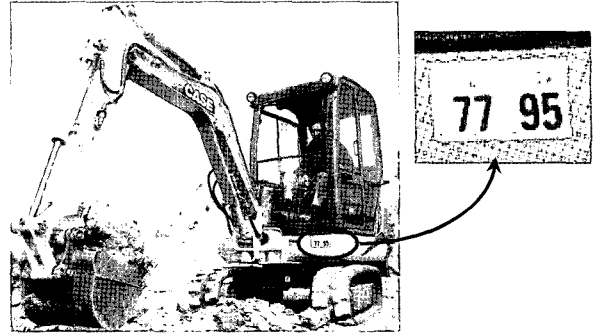
그림 5 분할 유동(split flow)형 더블 피스톤 펌프

그러나, 최근 들어 정부에서 시행하는 자동차 배기가스에 대한 규제, 건설 분야에서의 소음·진동, 일조·조망권 등과 관련한 법정시비도 심심찮게 등장하는 뉴스거리가 되었다.

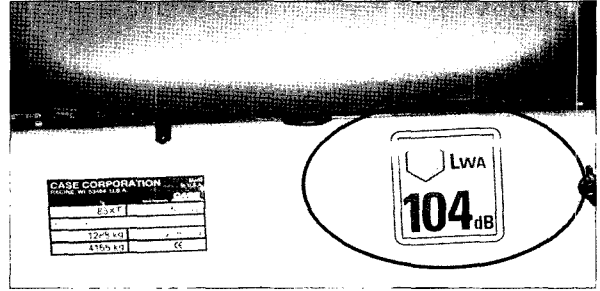
### 3.1 저소음/저맥동화

유럽연합(EU)에서는 이미 Directive 2000/14/EC에 의해 2002년도부터 소음레벨을 의무적으로 표시해야 하고 2006년도부터는 소음인증을 받아야 하는 기계로 굴삭기가 포함되어 있다.

그림 6의 위쪽 그림은 소음레벨이 굴삭기 외면에 표시된 굴삭기 그림으로, 2개의 소음레벨이 표시되어 있음을 알 수 있다. 하나('77' 표시부)는 운전석내의 음압소음레벨이고 다른 하나는 굴삭기 외부의 음향파위레벨이다. 그림 6의 아래쪽 그림은 2003년도 5월, 프랑스에서 열린 INTERMAT 2003에 출품된 Case사 굴삭기 사진으로, 음향파위레벨을 기준으로 외부 소음레벨을 표시하고 있다. 굴삭기의 소음원으로는 크게 엔진과 유압펌프를 들 수 있다. 그러나 굴삭기의 소음저감은 어느 한 기계의 소음저감만으로



<Case사 카탈로그 자료>



<INTERMAT 2003에 출품된 Case사 굴삭기>

그림 6 소음레벨을 표시한 굴삭기(Case사)

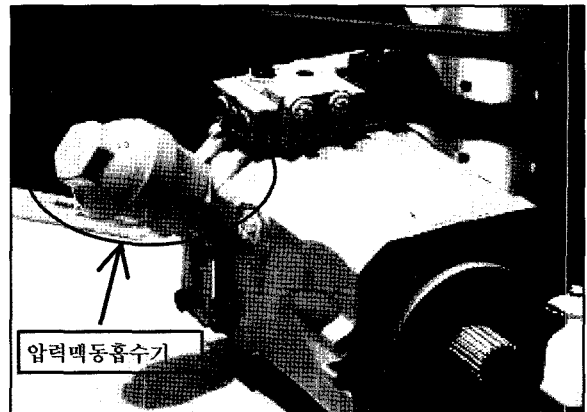


그림 7 압력맥동흡수기 부착형 펌프(Linde사)

이룰 수 없고 소음의 특성상 엔진, 유압펌프 등의 소음레벨이 비교적 큰 기계들의 동시적인 소음저감으로 실현될 수 있다.

일반적으로, 유압펌프에서는 앞서 언급한 고출력밀도화(고압화, 고속화 및 경량화)와 저소음화는 서로 상반된 관계에 있기 때문에 저소음화에 대한 기술은 2가지 측면에서 고려되고 있다. 그림 7과 같이 펌프의 토출압력(유량)맥동을 작게 하는 방법(저맥동화) 그리고 펌프 자체의 강성을 높여 진동전파를 적게 하는 방법을 채택하고 있다. 강성을 높이는 후자의 기술은 저맥동화 기술에 비해 다소 쉬운 기술이며

펌프 케이싱의 강성을 보강한 제품이 판매되고 있지만 펌프 자체의 저소음화를 달성을 하기위한 근본적인 기술이라고는 보기 힘들고 최근에는 고압화, 고속화와 연관된 저맥동화 기술개발에 힘쓰고 있다. 유압 펌프의 토출압력맥동은 펌프의 흡입행정에서 토출행정으로 전환되는 이행부에서 작동유의 압축성 때문에 생기는 유량맥동이 주요 원인이고 다른 원인으로서는 사판의 진동, 회전수의 변동, 배관의 공진, 캐비테이션 등을 들 수 있다. 이러한 저맥동화 기술은 한때 밸브판의 최적설계를 통해 실현하려는 연구가 활발했지만 현재는 고객의 강한 맥동저감요구에 대한 대응책으로 별도의 압력맥동흡수(저감)기를 부착하는 방법을 취하고 별도의 압력맥동흡수기를 부착하는 방법은 펌프의 가격상승요인이므로 경제적인 면이 고려된 저맥동화 기술 연구가 앞으로는 활발할 것으로 사료된다.

3.2 전장 단축화 기술

전장 단축화는 기존에 많이 사용하고 있는 펌프가 탠덤형구조(2개의 펌프가 직렬로 배치된 형태)로 길이가 상당히 길어서 엔진룸의 배치상 문제를 야기시키곤 했다. 특히 최근에는 엔진의 배기가스규제 등으로 엔진자체의 길이가 기존대비 늘어나는 문제와 굴삭기를 소형화형으로 개량하는 문제가 중대형 굴삭기까지 확대하려는 상황에서 제기된 기술과제이다.

전장 단축화는 크게 병렬형 구조와 직렬형 구조방식으로 실현하고 있다(그림 8 참조). 병렬형 구조는 기존의 단일펌프 2개를 동일축상 직렬로 연결하는 탠덤식 펌프와 달리 기어구조를 사용하여 2개의 펌프를 병렬로 연결하는 방법으로 일본 Kawasaki사에서 개발하여 시판 중에 있다. 그림 9는 Kawasaki사에서 시판 중에 있는 병렬형 펌프(K5V140DP)펌프의 외형 및 치수를 나타낸 것이다. 기존의 동급 직렬형 펌프(K3V140DT)와 대비하여 전장 190mm (약30%)가 단축되었다. 기존 펌프와 비교해서 토출포트와 흡입포트가 상·하측에 있는 것이 특징 중 하나이다.

직렬형은 일체형 케이싱을 기본 구조로 하여 전장을 단축하는 방법으로, 동명중공업에서 개발완료 하였다(그림 10 참조).

이 방식은 기존의 레귤레이터 제어 방식을 레버 피드백(lever feedback) 방식에서 포스 피드백 방식(force feedback)방식으로 변경한 것이 큰 특징 중 하나이다.

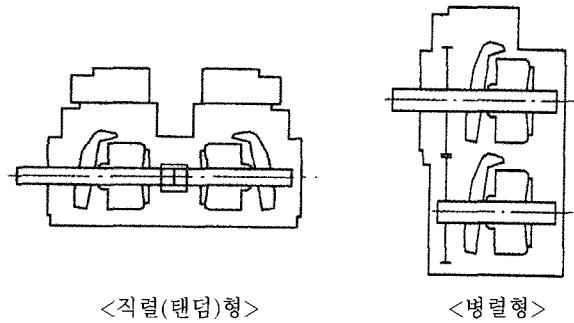


그림 8 더블 피스톤 펌프 연결방식

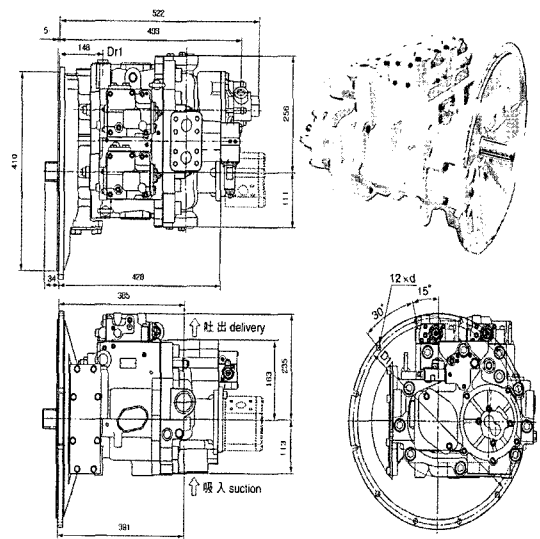


그림 9 병렬형 더블 피스톤 펌프 (Kawasaki사 K5V140DP)

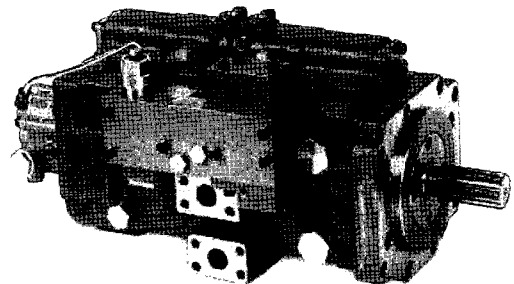


그림 10 직렬형 단축형 더블 피스톤 펌프 (동명중공업 TPA140)

그림 11은 기존 굴삭기용 탠덤형 메인펌프들의 전장을 비교한 것이다. 좌측 그림은 Kawasaki사의 K3V140펌프, 가운데 그림은 동사의 K3V112펌프, 제일 우측 그림은 동명에서 개발한 TPA140펌프의 그림이다. 동명 TPA140기종은 동급 K3V140과 비교해 약 30%의 전장을 단축했음을 알 수 있다.

현재 전장단축화기술은 최고사용압력 350bar 조건

으로 개발된 것이므로 향후 앞에서 언급한 고압화, 고속화, 저비용화 기술과 연관되어 계속 연구·개발 될 것으로 사료된다.

### 3.3 기타 환경문제 대응기술

굴삭기용 유압펌프에 국한된 기술은 아니지만 동력전달매질로 오일을 사용하는 모든 시스템에서 앞으로 고려되어야 할 기술을 간략히 소개한다.

#### 3.3.1 생분해성 오일 적용기술

굴삭기 시스템을 포함해서 모든 유압시스템은 동력전달매질로서 광물성 오일을 대부분 사용한다. 이러한 광물성 오일의 사용은 수질 및 토양오염의 원인이 되므로 환경친화적인 생분해성 오일에 대한 연구가 국내외적으로 활발하게 연구되고 있다. 일본에서는 이미 기존의 광물성 오일보다 성질이 우수하고 환경친화적인 생분해성 오일을 개발하였다고 발표하고 있지만 아직 실용화되어 있지는 않다.

앞으로 환경적 규제가 지금보다 강화되어질 것이므로 생분해성 오일의 사용으로 시스템 성능에 영향이 없는가? 어떤 생분해성 오일을 적용해야 하는가? 에 대한 선택의 문제는 설계자의 몫으로 돌려질 것이다. 이에 따른 적용기술에 대한 문제도 대두될 것으로 생각된다.

#### 3.3.2 수압(수도물) 이용 기술

생분해성 오일의 개발과 맥락을 같이 하는 것으로 환경오염 및 화재의 염려가 없고 값싸고 쉽게 구할

수 있는 동력전달매질의 활용이라는 엄청난 장점을 가지는 기술이다. 그러나 수압을 이용한 기술은 유압화 이전에 나왔던 과거 회귀적인 기술인 측면도 있지만 그 당시에 비해 전 산업분야가 엄청나게 발전한 것을 감안한다면 고려할만한 기술분야이다. 1994년도에 Danfoss사에서 수압용 고압펌프(사용압력 200 bar내외)를 개발하였지만 식품가공용, 수중사용 기기 등에 활용되며 활용범위는 제한적이다. 펌프의 수압화 뿐 아니라 시스템 전체의 수압화가 이루어져야 하므로 굴삭기 시스템에 단시간내로 적용하기 곤란한 기술이지만 관심을 두어야 할 기술임에는 틀림 없다.

## 4. 결 언

굴삭기용 유압펌프의 기술동향에 대해 부족하지만 간략히 기술해 보았다. 본문 중에도 언급했지만 성능향상 기술과 환경문제 대응기술은 서로 상반된 관계에 있는 부분이 많기 때문에 향후에는 이런 기술들이 적절히 조화된 유압펌프의 개발을 위한 최적화 기술의 연구가 활발할 것으로 생각된다. 최근에는 가공기술, 소재기술의 발전을 토대로 액셀 피스톤펌프에 비해 고압화, 고속화, 소형화, 저소음화 등이 용이한 레이디얼 피스톤펌프(radial piston pump)가 부각되고 있다.

끝으로, 일본의 유압펌프 역사는 1930년대 초반에 독일 Brüninghaus와 기술제휴한 Kawasaki 중공업과 비슷한 시기에 Mitsubishi중공업에서 선진기술을 도

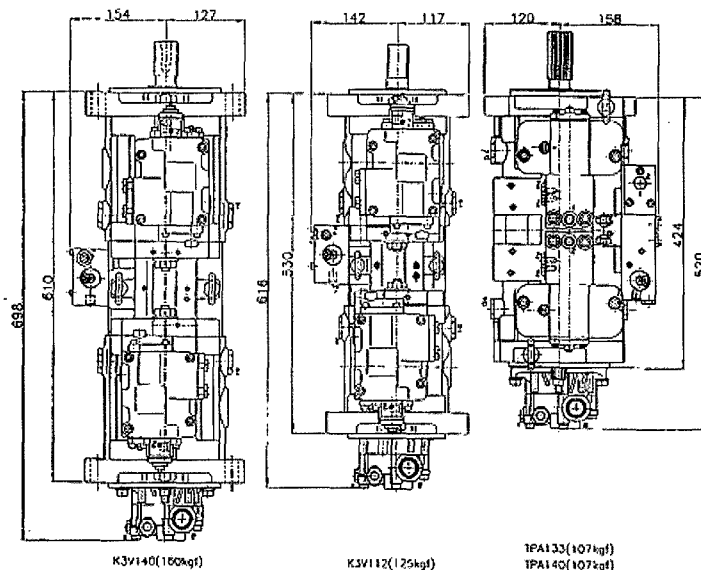


그림 11 직렬형 더블 피스톤 펌프 전장 비교

입하여 액셀 피스톤펌프를 각각 생산하기 시작하였지만 국내에서는 동명중공업이 1980년대말 일본 Kawasaki사의 기술을 도입하여 1990년에 처음으로 굴삭기용 액셀 피스톤 펌프를 생산하였다. 이런 짧은 국내의 유압펌프 기술을 선진기술과 대등하게 하기 위해서는 보다 실용적인 산·학협동체제가 구축되어야 될 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- 1) Jaroslav Ivantysyn and Monika Ivantysynova, "Hydrostac Pumps And Motors", Akademia Books International, pp. 1~8, 1993.
- 2) 大西 正貴, "建設機械用斜板形アキシナルピストンポンプの改良の要點と今後の技術動向" 油空壓技術, Vol. 34, No. 3, pp. 35~40, 1995.
- 3) 緒方 浩次大, "斜板形ピストンポンプの課題改良と今後の展望" 油空壓技術, Vol. 41, No. 11, pp. 18~21, 2002.
- 4) 박형호 역, "기초유압공학", 기전연구소, pp. 135~155, 1999.
- 5) Product Catalogue, Rexroth, 2004.
- 6) Product Catalogue, Kawasaki, 2004.
- 7) 長友 邦泰, "ピストンポンプの開発 過去から,そして未來へ", 日本油空壓學會誌, Vol. 32, No. 6, pp. 24~27, 2001.

- 8) 小西 晃子, "生分解性作動油の技術動向", 油空壓技術, Vol. 39, No. 12, pp. 11~14, 2000.

### [저자 소개]

조유종(책임저자)

E-mail : yjcho@tongmyung.co.kr

Tel : 055-269-5208

1960년 1월 3일생

1983년 서울대학교 기계설계학과 졸업, 1983년 코리아타코마 조선공업(주) 입사, 1989년 동명중공업(주) 입사, 유압기기의 생산 기술개발에 종사, 현재기술연구소 상무로 재직, 유공압시스템학회 기술이사



### [저자 소개]

오창근

E-mail : cgoh@tongmyung.co.kr

Tel : 055-269-5667

1970년 10월 9일생

1995년 한국해양대학교 조선공학과 대학원 졸업(공학석사), 1999년 동대학원 박사과정 졸업, 1995년 동명중공업(주) 입사, 현재 기술연구소 주임연구원으로 재직

