

유압 피스톤 펌프 · 모터의 경량화를 위한 가변용량기구 기술동향



김 형 익
(KIMM 기계부품연구부장)

- '78. 2 아주공대 기계공학과(학사)
- '80. 2 한국과학원 유압제어(석사)
- '82. 9 프랑스 ISMCM 자동화공학(석사)
- '85. 6 프랑스 ISMCM 공압제어(박사)
- '85. 9-'88. 6 한국기계연구원, 로봇공학실 선임연구원
- '88. 7-현재 한국기계연구원 책임연구원



함 영 복
(KIMM 기계부품연구부)

- '87 금오공과대학 기계공학과(학사)
- '90 금오공과대학 생산기계공학과(석사)
- '90-현재 한국기계연구원 연구원

1. 서 론

현재까지 국내 유압 피스톤 펌프 · 모터들의 대부분이 외국으로부터 수입되어 사용되고 있고, 그 내부 메카니즘의 구성을 요목조목 따져서 구입하고 있지 않을 뿐만아니라 유압 피스톤 펌프 · 모터의 고출력 밀도의 관점에서 어느 모델이 더욱 적합한지 집중적인 검토가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

실제로 유압 펌프 · 모터는 그 어느 동력장치보다도 고출력 밀도를 갖는 기기이다. 예를 들어 유압 펌프 · 모터가 400hp의 동력을 발생한다고 할때 같은 출력을 내는 디젤엔진과 전기모터에 대해 서로 비교하면 그림 1과 같이 확실히 구분되어 비교된다.[1]

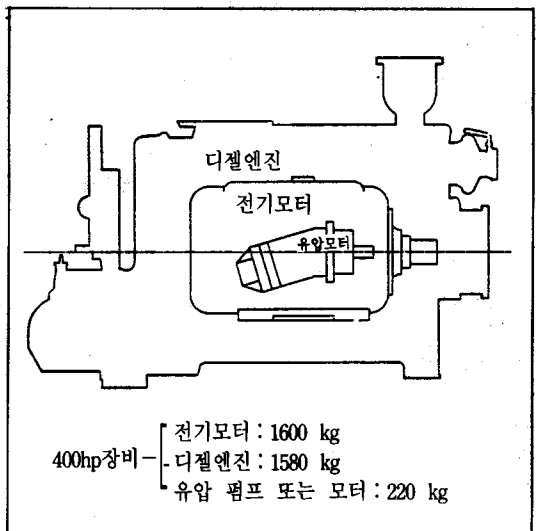


그림 1. 동력전달기기의 출력 밀도 비교

에너지절약 대책과 저코스트, 신뢰성 향상이 앞으로의 유압기기 기술개발에 있어서 중요한 과제이며 펌프·모터의 경량화는 동력전달기로서 오래전부터 기술과제였지만 이것을 고출력 밀도화의 관점으로 보면 에너지절약, 저코스트, 고압화의 과제를 모두 포함한 것이라 볼수 있다.

본고에서는 이 고출력밀도화의 관점으로 부터 피스톤 펌프·모터의 경량화를 달성하기 위한 가변용량기구의 설계기술에 대한 최근의 기술동향을 고찰해 보고자 한다.

2. 경량화와 출력밀도

펌프·모터의 출력밀도의 자체 중량당의 최대 전달동력을 말하며 다음식으로 설명된다.

$$\text{출력밀도} = \text{최대전달동력} / \text{중량}$$

여기서 유압전달동력은 압력(P)와 유량(Q)의 곱으로 나타내므로

$$\text{출력밀도} \propto P \times Q / \text{중량} \propto P \times N / (\text{중량} / V_{th}) \text{ (Kw/Kgf)}$$

이고 여기서 P=압력(Kgf/cm²), Q=유량(l/min)
N=회전수(rpm), V_{th}=배제용적(용량)(cc/rev)

이다.

유압식 구동은 다른 동력전달방식에 비해서 출력밀도가 큰 것이 특징이고 유압 펌프·모터를 고출력 밀도화하기 위해 윗식과 연관지워 고압화, 고속화 및 단위 용량당 중량을 작게하는 것이 바람직하다.

또한 고속화에 대해서는 펌프·모터의 최고회전수를 비교할 때 사용되는 속도 계수 Cp,

$$C_p = N_{max} \times V_{th}^{1/3} \text{ (cm/min)}$$

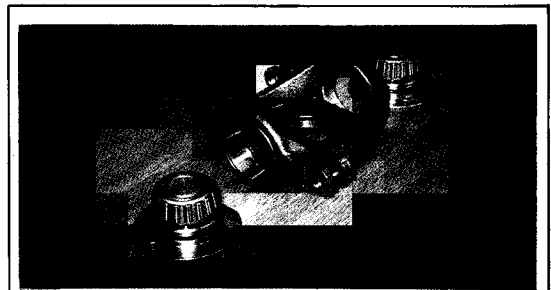
로서 표현되며 5000미만을 저속, 5000~10000을 중속, 10000이상을 고속으로 분류하고 사축식의 주종은 10000~15000, 사판식은 10000~13000 정도이며 항공용 사판식에서는 25000까지 도달하였다.[2]

결국 유압 펌프·모터의 경량화는 고압·고속화를 바탕으로 용량당 중량경감을 도모해야 함을 알수 있다. 즉 고출력 밀도화라고 하는 기술과제의 일환으로 취급할 필요가 있다. 고압·고속화는 동력 전달효율의 향상을 위해서, 용량당의 중량경감은 저코스트화의 필요조건이 되고 이 모두가 에너지 절약과 직결되는 과제이다.

3. 펌프·모터의 경량화된 가변용량기구

3.1 사판식 펌프·모터

가변용량을 위해 구조상의 이유에서 사축식에 비해 사판식 펌프의 용량당 중량이 작다는 것은 종래로부터 알려진 사실이지만 최근 트러니온(trunnion)축에 지지된 사판구조를 변경해서 그림 2에 나타낸 것과 같이 하프록(half-lock) 방식 또는 크레이들(cradle)방식이라 불리는 것으로 소형이며 강성이 높은 사판기구가 출현됨에 따라 펌프전체의 소형, 경량화가 크게 진전되었다.



(a) 트러니온 구조의 예(미국형, 종래방식)



(b) 크레이들 구조의 예(유럽형, 최근경향)

그림 2. 가변용량기구의 사판지지 방식에 따른 비교

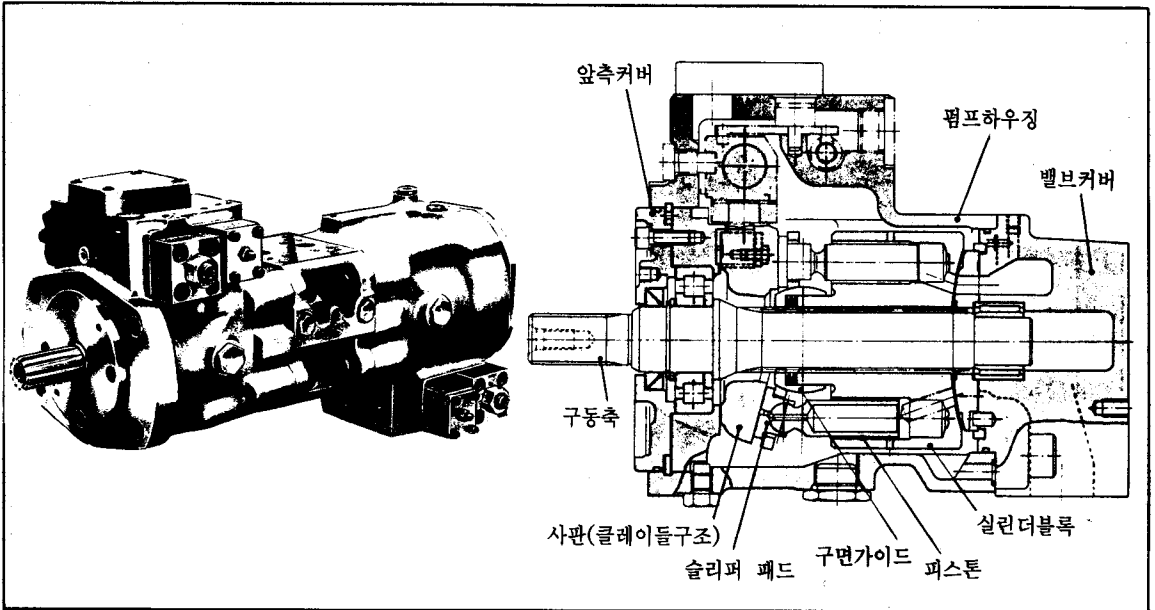


그림 3. 고출력 밀도형 사판식 피스톤 펌프(KAWASAKI사 NV시리즈)

종래의 트리니언 구조에서의 문제점은 사판지지 베어링에 고하중이 걸릴 뿐만아니라 구조가 복잡하여 소형화가 곤란하다는 것이고 이에 반해 크레이들 구조는 안정된 구조로서 유압을 이용한 정압베어링을 이용함으로써 지지 베어링의 수명을 향상시킬 수 있다.

이 방식을 채용한 그림 3에 나타난 펌프에 있어서 용량당 중량이 종래의 제품에 비해 30%정도 경량화가 실현되었다.

크레이들 방식을 채용한 그림 3의 펌프는 사용압력과 속도계수가 각각 $350(\text{Kgf}/\text{cm}^2)$, $13,000(\text{cm}/\text{min})$ 에 도달하게 되었고 출력밀도는 종래의 것에 비해 약 2배가 증가되고 있다. 또한 종래에, 건설기계분야에서 많이 사용되고 있는 복합펌프는 사판식의 특징을 발휘하여 탠덤(tandem) 방식의 채용과 함께 종래의 병렬방식의 입력분할용 기어장치가 불필요하게 되고 중량이 약 절반으로 되는 등의 가격 경쟁력이 생기는 결과가 되어 중소용량 기계에 있어서 고정용량 펌프를 가변화해서 에너지절약을 도모하는 것이 가능하게 되었고 기계구조의 단순화와 재료의 개량으로 고압 · 고속화에 크게 기여하게 되었다.

한편, 트리니언 방식을 채용한 펌프도 상당히

구조가 변경되어 소형 굴삭기용 메인 펌프로 사용되고 있다. 수년전까지는 소형 굴삭기용 펌프라 하면 기어 펌프가 주로 사용되었으나 최근에 기어펌프에서 피스톤 펌프로 변환하여 사용되고 있으며 2.5ton 이상의 굴삭기에서는 거의 피스톤 펌프를 사용하고 있다. 그림 4에 나타난 것이 백투백(back to back) 방식이라 불리는 것으로 싱글 펌프의 뒤와 뒤를 하나의 사판을 겸한 중간 커버로 연결한 것이다.

레귤레이터는 경전각 2개가 동시에 변화하는 것이므로 제어 자유도는 적지만 가격면에서 이 방식이 최근 몇년간 소형 굴삭기에 이용되었다.

이 더블 펌프(double pump)의 단점은 길이가 길고 가격이 비싼 것이며 특히 길이의 문제는 최근 소형 굴삭기의 전폭에 들어가지 않는 문제가 발생되고 있으며 그러한 관점에서 그림 5에 나타내는 분할유로(split flow) 또는 이중흐름(two flow) 방식이라 불리는 더블 펌프가 이용되기 시작했다.

이것은 실린더 블록내에 10개의 피스톤을 내장하고 있으며 서로 다른 토출포트 피치 원주상에 5개의 포트씩 1대의 펌프로써 작용하도록 하여 1개의 실린더 블록으로 더블펌프를 형성한다. 이

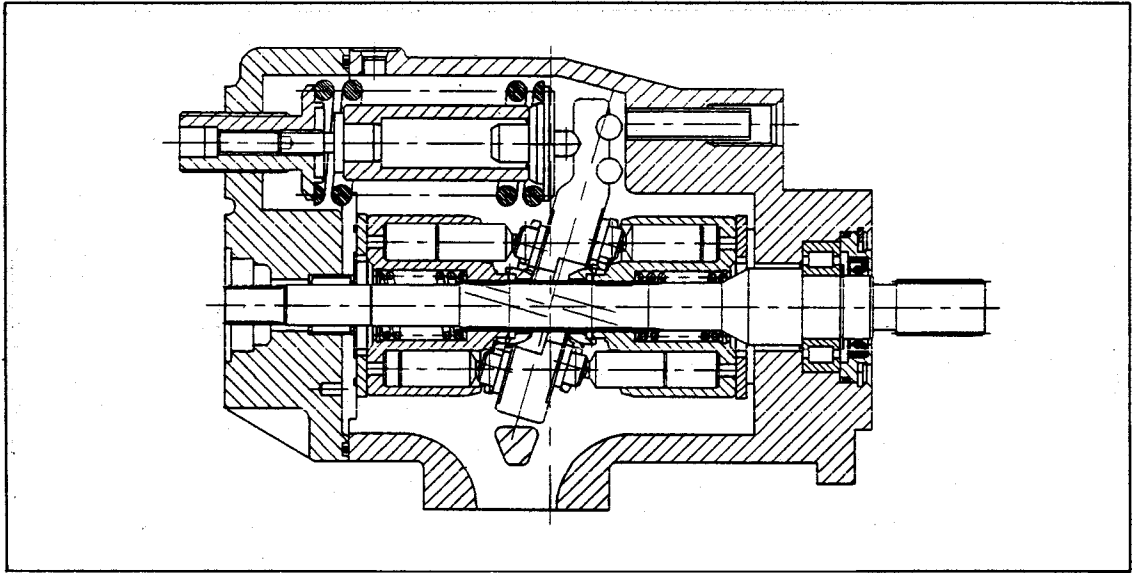


그림 4. 소형 굴삭기용 이중 펌프(back to back형)

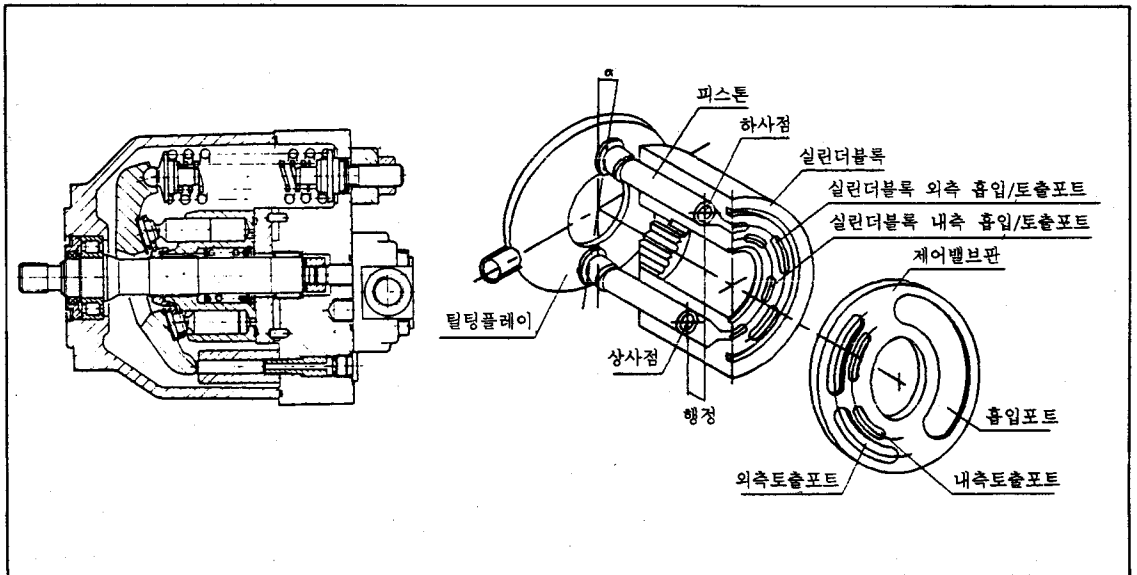


그림 5. 소형굴삭기용 이중 펌프(split flow형)

러한 설계는 상기한 것과 같은 장점 때문에 채용 기종을 확대하고 있지만 맥동 저감이 상당히 중요한 문제로 대두되고 있다. 이것은 펌프 1대당 피스톤수가 5개이기 때문에 종래의 7~11개와 비교해서 본질적으로 맥동이 크다.

그 때문에 소음을 줄이는 노치(notch) 등으로 개발초기와 비교하여 그 맥동을 상당히 저감하

였으나 아직은 충분하지 못하다고 평가되고 있다. [5]

이들 가변용량기구와 제어밸브를 결합하여 이용함으로써 펌프는 다양한 제어 기능을 갖게 되는데 이들 중 사판식 가변용량 피스톤 펌프의 일정마력제어(constant horse power control)을 하기 위한 사판각도 제어예를 그림 6에 나타냈다.

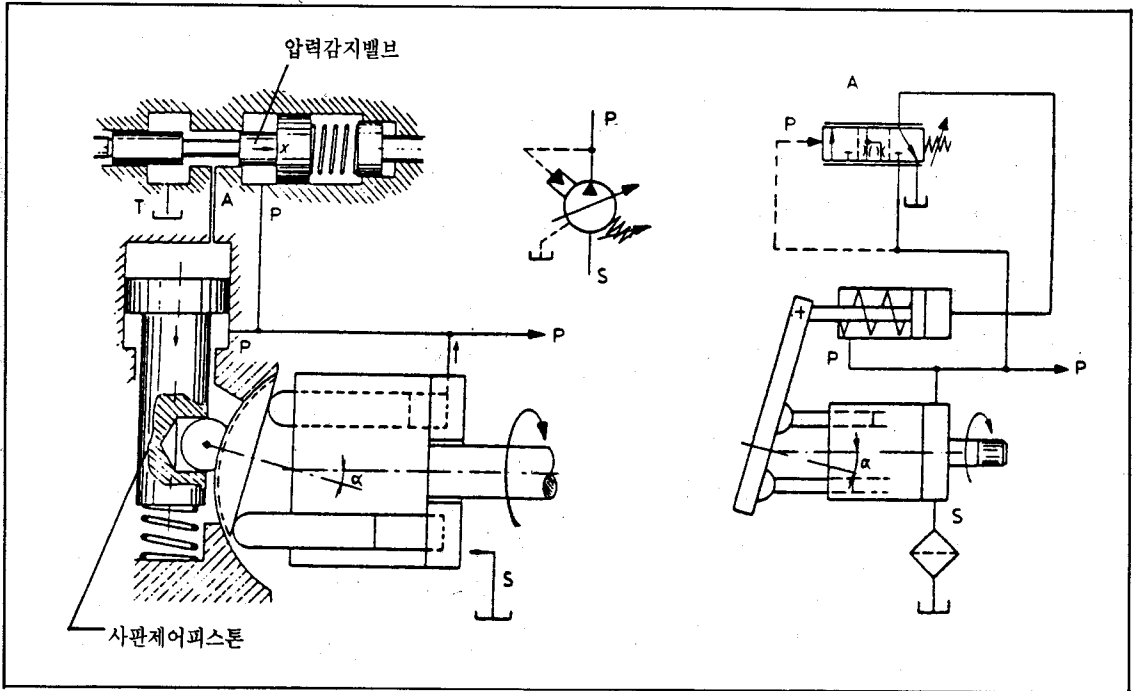


그림 6. 가변용량기구의 제어 예

시스템 압력(P)는 압력감지 밸브와 제어 피스톤의 원주면적으로 연결되어 있다. 한편 큰 피스톤 단면적쪽은 탱크로 연결되어 있고 최대 시스템 압력은 압력 감지 밸브의 스프링에 의해 미리 조정되어 있다.

시스템 압력이 미리 조정된(P)에 도달될 때 압력 감지밸브의 스톱이 스프링을 누르고 움직이며, 압력(P)는 제어피스톤의 큰 단면적과 연결되어 제어 피스톤의 움직임은 사판과 연결되어 있으므로 사판의 경사각(α)을 줄여 주게 된다. 이때 펌프의 토출유량은 시스템에 의해 요구되는 최소유량으로 까지 감소한다. 최소유량은 시스템의 내부누설유량과 같거나 액츄에이터의 최소 움직임에 비례할 것이다.

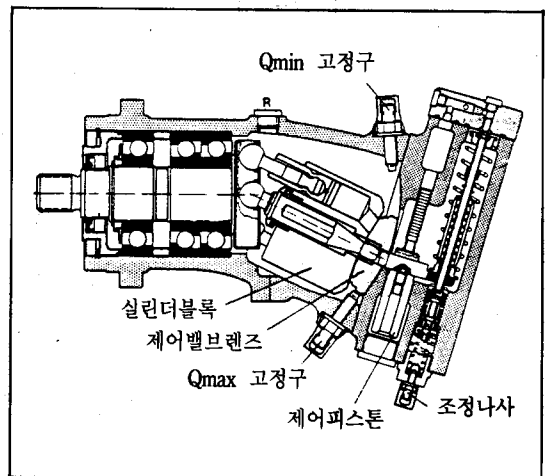


그림 7. 섹터형 사축식 펌프(HYDROMATIK사)

3.2 사축식 펌프·모터

사축식 펌프의 단점인 가변용량화에 필요한 구조상의 문제를 해결하기 위해 새로운 제2의 축을 삽입해 넣은 것이 그림 7에 나타난 섹터(sector) 방식이라 불리는 것이다.

종래 트리니온 축으로 지지되던 실린더 케이싱(cylinder casing)이 불필요하게 되어, 원통이 아닌 구의 요동면으로 안내되어, 밸브판이 경전하는 구조로 밸브판 자체가 사판식펌프의 사판기능을 가진 것이라 할수 있으며 펌프전체의 경량, 소형화에 크게 기여하는 구조이다.

용량당 중량경감의 관점으로는 고경전화에 의해 피스톤직경당 행정길이, S/d값을 증가하게 하는 것이 사판식에 비해 중요한 특징이라 할 수 있다. [4]

토마(TOMMA) 방식이라 불리는 피스톤·커넥팅로드(piston·connecting rod) 기구에 의해 구동축과 실린더의 동조구동방식으로 하는 경우, 허용회전수 변동에 제약을 받는 피스톤·커넥팅로드 강성의 개선에 의해 피스톤의 행정 길이를 결정하는 경전각을 종래의 25°에서 한계치라 생각했던 28°까지 증가시켰고 그 예를 그림 8에 나타냈다.

이 펌프의 경우 고경전화와 더불어 고압, 고속화를 달성함으로써 출력밀도값이 종래의 것에 비해 약 2배로 증가하였다. 또 최고효율 및 부분부하영역에서도 높은 효율을 나타냄으로써 에너지절약에 공헌할 것이 기대된다.

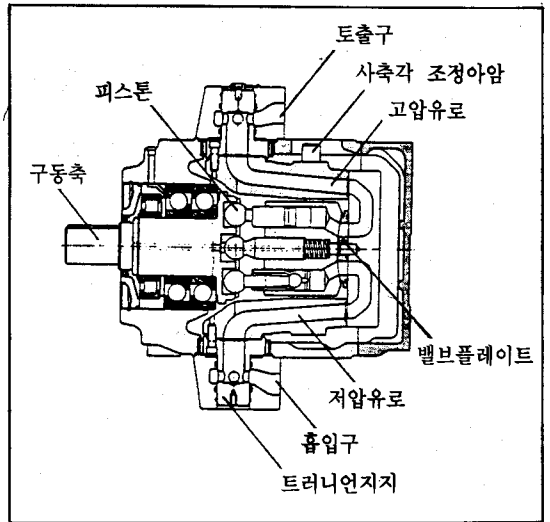


그림 8. 고출력 밀도형 사축식 피스톤 펌프 (REXROTH사)

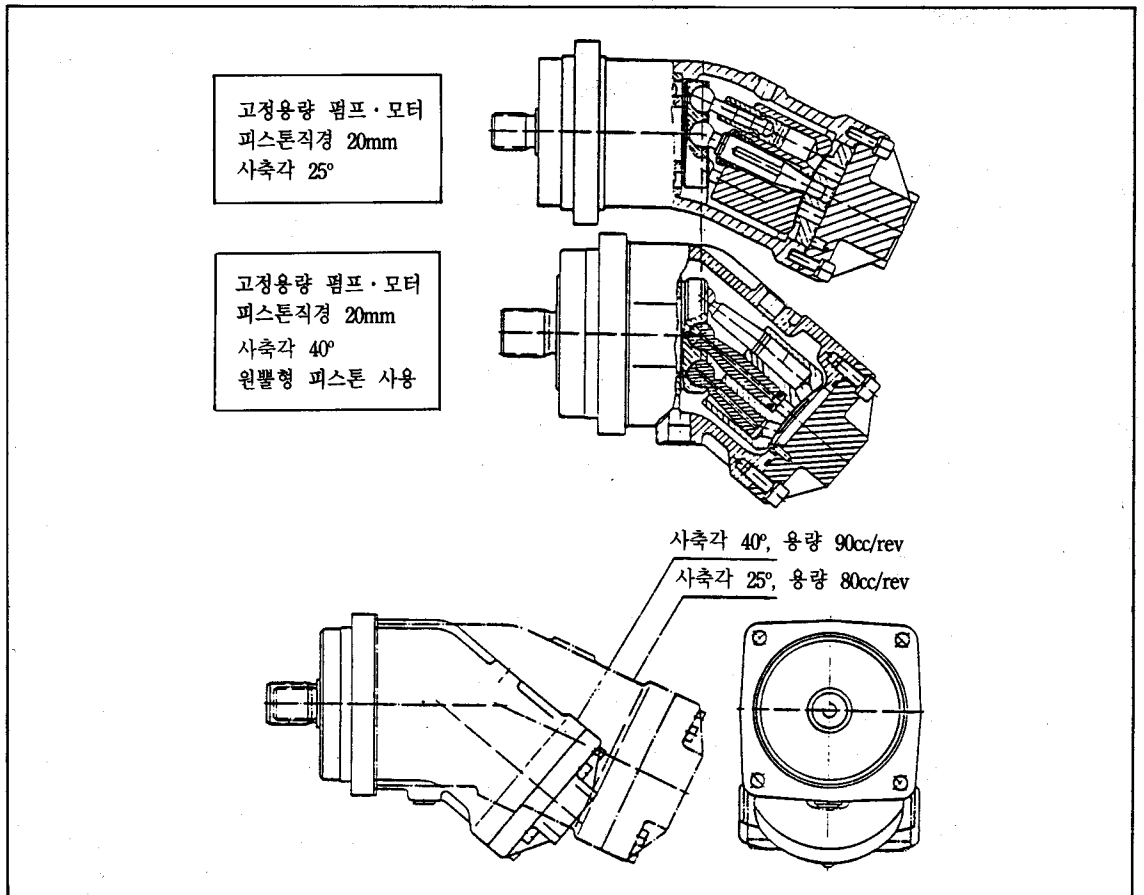


그림 9. 경사각 증가에 따른 고출력 밀도화(REXROTH사)

커넥팅로드를 직접 실린더 보어(cylinder bore)에 접촉시킨 기구이거나 베벨기어(bevel gear)에 의한 그림 9와 같은 구동방식에서는 최대 경전각이 40~45°까지 가능하게 된다.

S/d값을 최대한으로 하게 되면 펌프의 자흡성에서 속도 또는 속도계수의 제한을 받게 되지만 고효율을 달성하려는 관점에서는 더욱 이 방향의 연구개발이 기대되며, 사축식은 정압 베어링 부분이 적어 구름 베어링으로 유압력을 지지하기 때문에 고효율이다. 반면 구름 베어링이 펌프의 수명을 결정할 때가 많아 고압화에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

4. 결 론

이상 액셀피스톤 펌프·모터의 경량화를 실현하기 위해 동력전달기구의 본래의 목적인 출력 밀도값 증대의 관점에서 가변용량기구의 채택현황에 대해서 살펴보고 저코스트, 에너지절약이라는 시장의 가장 중요한 요구를 본질적으로 만

족시키기 위해서 더욱더 고출력 밀도의 펌프·모터를 개발하는 것이 이것을 가능하게 하는 주변기술의 발달과 더불어 급속히 추진되어야 할 중요한 과제라 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] Raymond P. Lambeck, Hydraulic Pumps and Motors: Selection and Application for Hydraulic Power Control Systems, Sperry Vickers Troy, Michigan, 35-128.
- [2] 梅田時彦, 園田誠, ポンプ・モータの輕量化, 油空壓化 設計, 第19卷, 第1號.
- [3] 内田稔, ピストンポプの概要とアプリケーション, 油空壓技術, 1993. 3.
- [4] Charles Stricklin, Design Theory of Axial Piston Units with Tapered Pistons, SAE Technical Paper Series, 851508.
- [5] 石井進, 建設機械・車輪用ポンプ/モータの現狀と課題, 油壓と空氣壓, 第25卷, 第6號.