

EHPV(Electro-Hydraulic Poppet Valve)를 이용한 IMV(Independent Metering Valve)에 대한 기술 소개

Introduction of the technology for IMV(Independent Metering Valve) using the EHPV(Electro-Hydraulic Poppet Valve)

구본석 · 주상규

B. S. Ku and S. K. Joo

1. 서 론

유압 시스템은 다양한 용도로 사용이 되는 데, 대표적인 적용 예는 건설 기계이다. 이러한 건설 기계의 경우 유압 장치는 추진력과 다양한 작업 장치에 많이 사용되고있는 주요 에너지 소비 원이다. 화석 연료 공급의 감소와 온실가스 배출에 관한 법률 제정에 대한 우려가 증가함에 따라 건설기계 제조사들은 유압 시스템을 포함한 제품의 에너지 효율을 개선하기 위한 새로운 기술적 해결책을 지속적으로 개발하고 있다.

연료 효율이 점점 더 중요하게 되었을 때 효율 증대를 위해 유압 시스템, 특히 콘트롤 밸브 시스템을 개선에 많은 노력을 기울여 오고 있다. 오늘날의 유압 시스템의 에너지 효율은 일반적으로 30-50% 범위이다. 그러나 이러한 낮은 효율성을 개선하기 위해 설계 적으로 다양하게 수십 년간의 점진적인 개선에도 불구하고 유압 시스템에 공급되는 에너지의 절반 이상이 평균 작업 사이클에서 낭비되고 있다.

이러한 유압 시스템에서 작업 장치를 제어하는 메인 콘트롤 밸브는 아주 중요한 구성 요소중의 하나로서, 유압 시스템의 에너지 효율 증대를 위해 메인 콘트롤 밸브는 오픈 센터 콘트롤(Open center control), 포지티브 콘트롤(Positive control), 로드 센싱 콘트롤(Load sensing control), IMV(Independent Metering Valve)등 다양한 제어 방식을 다루고 있다.

콘트롤 밸브 시스템에는 다양한 제어 방식이 있으며, 압력 및 유량을 제어하는 방식으로 하고 있다. 가장 간단하고 가장 일반적인 시스템은 소위 말하는 오픈 센터 밸브와 고정된 변위 펌프로 구성된 것이고, 좀 더 복잡하지만 에너지 효율 증대를 위해서 오픈 센터 시스템은 작업장치 작동 명령에 따라 유량을 제어할 수 있는 가변 용량 형 펌프를 사용하고 있다.

또 다른 범주는 가변적인 변위, 압력 보정과 함께 크로스 센터 밸브를 사용하는 것이다. 펌프압력은 단순한 형태에서 일정한 수준으로 설정되어 있는 반면, 보다 정교하게는 압력이 외부로 제어된다. 신호 부하 감지(Load Sensing) 시스템에서 펌프 압력은 작업장치의 부하 압력에서 나오는 피드백 신호에 의해 결정된다. 여러 작업장치가 동일한 펌프를 공유하는 경우 일반적으로 펌프 조절장치가 펌프 배출 압력을 감지된 압력보다 일정한 마진을 가지도록 조절한다. 마진은 필요한 유량에 대한 입구 오리피스에의 압력 저하를 극복하기에 충분히 높게 설정된다.

메인 콘트롤 밸브 제어에 대한 다른 정교한 접근 방식은 독립적인 metering 밸브 IMV(Independent Metering Valve)를 기반으로 한다. 이는 통상의 스푼(spool) 밸브를 사용하는 밸브 구조와는 달리 metering 오리피스는 더 이상 기계적으로 고정되지 않는 것에 있다고 하겠다.

이러한 메인 콘트롤 밸브 제어 회로에 대해서는 다음 장에서 좀 더 다루기로 하겠다.

2. Conventional main control valve circuit

유압 시스템에서 에너지 효율을 개선할 때의 경향은 추가적인 기능 품이나 제어 알고리즘을 사용하는 것으로, 여기서는 기존의 스푼 밸브를 사용하는 단일 펌프 시스템을 기준으로 유압 펌프의 압력 혹은 유량을 제어하는 것에 대해 설명하고자 한다.⁽¹⁾

2.1 오픈 센터 시스템 (Open center system)

오픈 센터 시스템은 고정형 변위 펌프와 함께 사용되며, 밸브가 중립 시에 펌프 유량 토출은 전부 탱크로 흐르는 설계 구조를 가지고 있다. 작업 장치의 조작을 위해 밸브를 움직이면 중립 위치에서의 유로가 서서히 닫히기 시작하고, 동시에 펌프에서의

유압유는 작업장치를 움직이기 위해 작업장치로 연결이 되며 펌프 압력은 서서히 증가하게 되고, 펌프 압력이 작업장치 압력보다 높으면 작업장치를 움직이게 된다.

Fig. 1은 기본적인 오픈 센터 시스템을 나타내는 구성도이고, Fig. 2는 밸브의 스톱 변위에 대한 작업 장치로의 밸브 개구 면적(Open area)의 예를 나타낸다.

오픈 센터 시스템의 주요 단점은 고정식 변위 펌프에 의한 작동으로 밸브가 중립 시 그리고 절환 시에도 작업 장치가 움직이기 시작할 때까지 펌프의 유량 토출은 탱크로 그대로 보내지므로 에너지 효율이 낮다는 것이다.

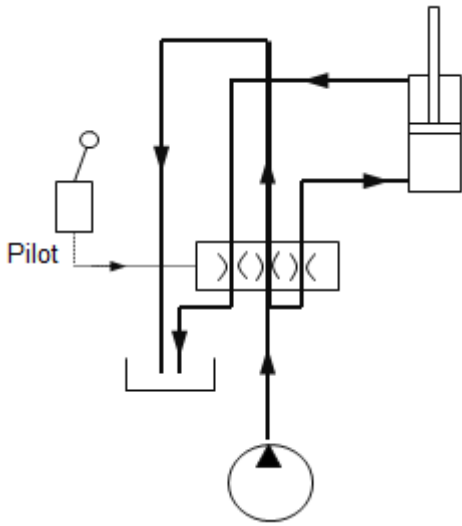


Fig. 1 오픈 센터 시스템 회로도

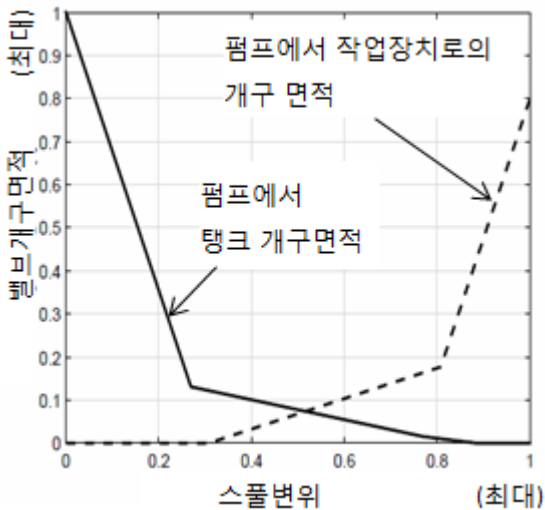


Fig. 2 스톱 변위에 대한 밸브 개구 면적 선도

2.2 네거티브 콘트롤 시스템 (Negative control system)
 펌프와 오픈 센터를 결합하는 또 다른 방법으로

가변식 변위 펌프와 방향 절환 밸브에서 중립 유로의 최 하류 측에 metering 오리피스를 설치하는 것으로, 이는 metering 오리피스 앞쪽의 압력을 이용하여 펌프의 유량 토출을 가변적으로 제어하는 것이다. 이러한 펌프 변위 설정은 내부 유압 기계식 피드백에 의해 수행될 수도 있다. 밸브가 중립 위치에 있을 때는 펌프의 유량 토출이 metering 오리피스를 지나므로 일정 압력이 걸리게 되고, 이 압력이 펌프의 유량 토출이 낮은 쪽으로 변위를 이동시켜 최소화된 유량만이 중립 유로를 통해 탱크로 흘러나가게 된다.

방향 절환 밸브가 움직이면, 즉 작업 장치를 움직이기 위해 밸브 절환을 한다면, 중립 유로 면적이 점차 좁아지고 유압유는 작업장치를 움직이기 위한 작업장치로 연결이 되며 펌프 압력은 서서히 증가하게 되고, 펌프 압력이 작업장치 압력보다 높으면 작업장치를 움직이게 된다. Metering 오리피스 앞쪽의 압력이 낮아지게 되고 이에 따라 펌프의 유량 토출이 높은 쪽으로 변위가 이동되어 펌프의 유량 토출은 증가되고 오픈 센터 경로가 완전히 닫히면 metering 오리피스 앞쪽의 압력이 최소가 되고 따라서 펌프가 최대 변위로, 최대 유량을 토출하게 된다.

이 시스템은 제어 압력이 감소하면 펌프 변위 설정이 증가하므로 음의 방향, 즉 네거티브 콘트롤 시스템이라고 한다.

이 시스템의 장점은 일을 하기 위한 작업장치 작동용 방향 절환 밸브의 움직임에 따라 펌프 유량 토출을 가변적으로 가져가는 것으로, 작업장치 조작

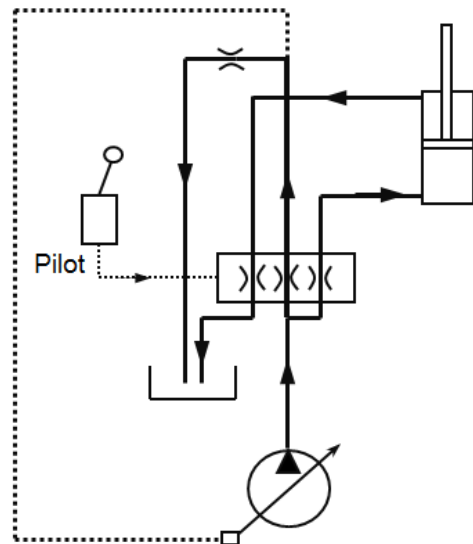


Fig. 3 네거티브 콘트롤 시스템 회로도

이 없을 때는 최소의 펌프 유량 토출만이 밸브 중립 유로를 통해 탱크로 흘러나가게 하고, 작업장치를 동작할 때에는 펌프의 유량 토출을 증대시켜 에너지 효율성을 높인 것이다.

2.3 포지티브 콘트롤 시스템 (Positive control system)

상기 네거티브 콘트롤 시스템의 대안으로 조이스틱 파일럿 압력을 사용하여 펌프 유량 토출 변위를 제어하는 것이다. 조이스틱은 작업 장치를 움직이기 위한 방향 절환 밸브를 움직이는 파일럿 신호 전달을 위한 조작 장치이다. 이는 유압식 혹은 전기식 어느 쪽으로든 가능하다.

조이스틱이 움직이지 않으면 파일럿 신호가 최소 값으로 펌프 유량 토출 변위를 최소로 하게 되고 펌프의 유량 토출이 낮은 쪽으로 변위를 이동시켜 최소화된 유량만이 방향 절환 밸브의 중립 유로를 통해 탱크로 흘러나가게 된다. 조이스틱 작동 크기에 따라 방향 절환 밸브 열림도 증대되므로 이에 파일럿 신호 크기에 따라 펌프 유량 토출이 증가하고 밸브의 중립 유로 면적이 점차적으로 닫히므로 펌프 압력이 증가하고, 펌프 압력이 작업장치 압력보다 높으면 작업장치를 움직이게 된다.

이 시스템은 조이스틱 파일럿 신호 증가에 따라 흐름이 증가하므로 양의 방향, 즉 포지티브 콘트롤 시스템이라고 한다.

이 시스템의 장점은 일을 하기 위한 작업장치 작동용 방향 절환 밸브의 움직임을 위한 조이스틱의 움직임에 따라 펌프 유량 토출을 가변적으로 가져

가는 것으로, 조이스틱 조작이 없을 때는 최소의 펌프 유량 토출만이 밸브 중립 유로를 통해 펌프로 흘러나가게 하고, 작업장치를 동작을 위해 조이스틱 조작 시에는 펌프의 유량 토출을 증대시켜 에너지 효율성을 높인 것이다.

추가적인 장점으로는 제어 알고리즘을 더할 수 있다. 펌프 유량 토출 제어를 조이스틱 신호에 비례적으로 의존하지 않고, 제어 알고리즘에 따라 펌프 유량 토출을 가변적으로 가져갈 수도 있다.

2.4 로드센싱 시스템 (Load sensing system)

로드 센싱 시스템은 시스템에서 모든 작업 장치의 부하를 감지하여 필요한 가장 높은 부하를 센싱하여 압력을 공급하는 시스템으로 중립 유로가 없는 close 센터 형식이다. 이러한 close 센터에 의해 오픈 센터 시스템에 비해 에너지 효율을 개선하는데 있지만, 작업 장치들의 최고 부하보다 항상 마진을 감안한 높은 펌프 압력을 형성하도록 제어하게 된다. 부하 압력과 관계 없이 특정 스펴 변위는 일정한 유량을 발생시키고, 이는 압력 보상기를 사용할 경우에도 부하 압력이 이용된다. 부하를 감지하여 시스템 압력을 제어하는 것으로 로드 센싱 시스템이라고 한다.

로드 센싱 시스템은 관성 부하가 낮으면 속도 또는 위치는 쉽게 제어할 수 있지만, 관성 부하가 높으면 jerky가 발생되기 쉽다. 이러한 로드 센싱 시스템의 단점을 극복하기 위해 오픈 센터 로드 센싱이 개발되었다.

이 밸브는 가변 변위 펌프에서 보다 효율적으로 작동하도록 기존에 널리 사용되어온 오픈 센터 밸브를 개조한 것으로, 방향 절환 밸브에서 중심 유로의 상류 측에 바이패스 오리피스를 추가한 것으로 펌프는 바이패스 오리피스에 의해 일정한 차압을 형성하여 펌프를 제어하게 된다.

밸브를 작동하면 바이패스 오리피스가 서서히 닫히고 바이패스 흐름 차단으로 펌프 압력이 증가된다. 따라서 스펴 변위는 기존의 오픈 센터 시스템과 유사한 펌프 출구 압력을 결정하여 시스템을 부드럽게 제어하지만 오픈 센터의 유량 손실로 인해 기존의 로드 센싱 시스템보다는 효율이 낮다. 장점은 로드 센싱 시스템과 동일한 펌프 컨트롤러를 사용할 수 있고, 이 시스템은 표준 로드 센싱 펌프와 오픈 센터 밸브의 조합으로 인해 오픈 센터 로드 센싱 시스템이라고 한다.

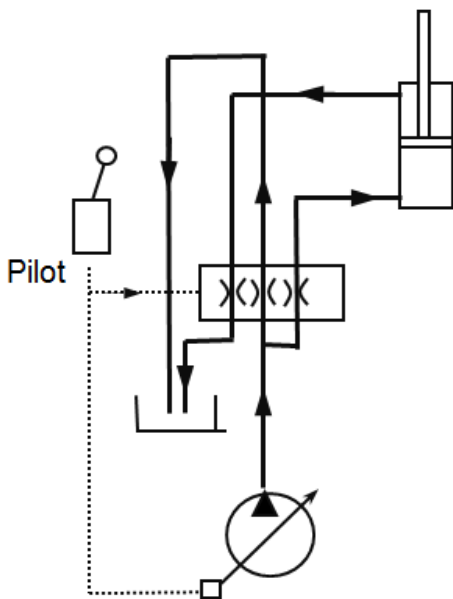


Fig. 4 포지티브 콘트롤 시스템 회로도

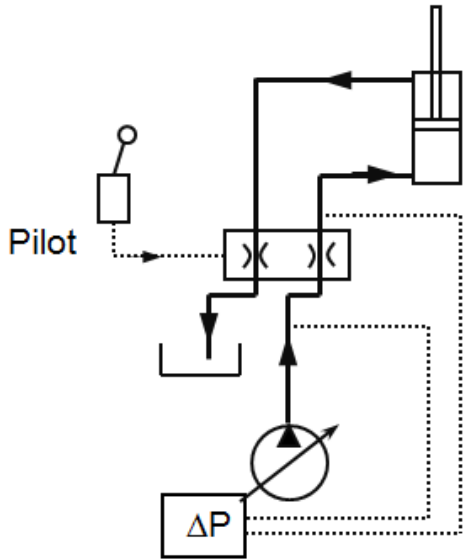


Fig. 5 로드 센싱 시스템 회로도

3. IMV (Independent Metering Valve) technology

상기 2항에서 검토해 본 기존의 Main control valve circuit들은 펌프에서 작업 장치로, 작업 장치에서 탱크로의 metering 제어가 연동되어 작동되도록 되어 있다. 즉, 펌프에서 작업 장치로, 작업 장치에서 탱크로의 metering 제어가 독립적으로 이루어지지 않는다.

즉 기존의 스푼 밸브는 미리 설계된 밸브의 개구면적으로 무 부하, 저 부하 그리고 고 부하 조건에서의 작동 성능을 전부 제어하도록 되어 있기 때문에 고 부하에서 발생될 수 있는 오버러닝을 방지하도록, 즉 제어가 불가능한 속도로 작업장치가 움직이지 않도록 출구 측 흐름을 제한하여 사용하도록 설계되어 있다. 이러한 요소들이 고 부하 작업이 아닌 무 부하 혹은 저 부하 조건에서는 출구 측 흐름을 불필요하게 제한하게 되고 그에 따라 에너지 손실 및 작업 시의 손실이 발생한다.

그러나 IMV의 개념은 Fig. 6과 같이 입구 측 및 출구 측의 metering을 독립적으로 제어함으로써 상기의 손실을 개선할 수 있다. 또한 Fig. 7과 같이 출구 측에서의 유압유를 다시 재생시키는 경우에도 직접적으로 재생 측으로 독립 유로를 가지면서 직접 제어 가능한 회로를 구성할 수도 있다.

이 개념은 작업 장치로 전달되는 유량과 압력을 개별적으로 제어하기 때문에 더 높은 수준의 제어 자유도를 가지게 되며, 주요 이점은 다음과 같다.

첫째, 압력 손실 감소이다. 기존 스푼(Spool) 밸브에서는 입력측 metering과 출력측 metering이 기계적으로 연동되어 움직이는 방식으로 압력 손실이 많이 발생될 수 있다. 상기에서 설명하였듯이 IMV 방식은 입구측 metering 및 출구측 metering 오리피스 가 별도로 제어되므로, 입구측 metering 오리피스가 유량을 제어하는 동안에도 출구측 metering 오리피스는 유량을 제어할 수도 있고 완전히 개방할 수도 있기 때문에 이러한 압력 손실을 절감할 수 있게 되는 것이다.

둘째, 입력 신호가 더 많기 때문에 제어 자유도가 높아져 부하 상태에 따라 유압 장치 작동 성능을 제어할 수 있다는 것이다.

셋째, 사용자 정의가 가능한 특성을 가질 수 있다. 즉, 원하는 특성이 달성될 때까지 기계적으로 조정 혹은 교체되어야 하는 기존의 스푼 밸브의 해결책과는 다르게 IMV는 독립 metering 하드웨어의 구성이므로 소프트웨어 설정 변경에 의해 metering 특성을 여러 모드로 변경시키는 것이 가능하다.

지금까지 학계와 산업계 모두에서 IMV (Independent Metering Valve) 기술을 개발하기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. 여러 연구에서 IMV 시스템의 효율성 측면을 강조하고 있는 가운데 하드웨어들이 정교한 제어 전략과 결합하면 이러한 시스템은 유압 시스템에서 상당한 양의 에너지를 절약할 수 있다. 이러한 IMV 유압 시스템은 작동 상에서의 에너지 손실을 최소화할 뿐만 아니라 시스템 내에서 사용 후 탱크로 가는 유량을 다른 기능의 공급 라인으로 유량을 보내는 것을 의미하는 재생 흐름도 효율적으로 가능하게 할 수 있다.

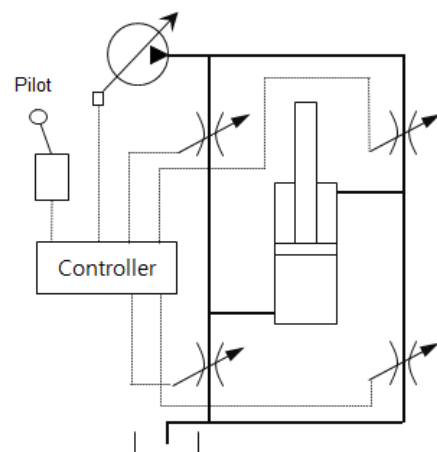


Fig. 6 IMV 시스템 회로도

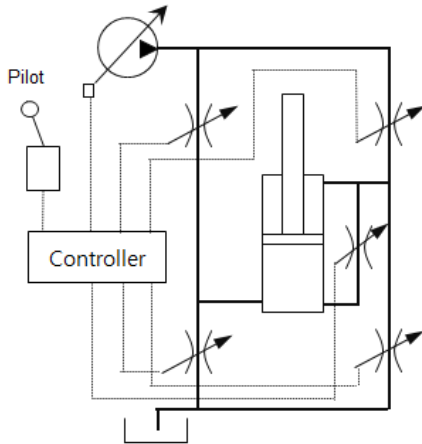


Fig. 7 재생회로를 가진 IMV 시스템 회로도

4. IMV (Independent Metering Valve) 작동 원리

이러한 IMV 기술의 하드웨어 구현 방법으로는 다수의 구성 방법이 있지만 여기서는 EHPV(Electro-Hydraulic Poppet Valve)에 의한 제어방식에 대해 설명하고자 한다.

4.1 EHPV의 구성과 작동

EHPV는 전류 신호에 대해 개구 면적을 제어하는 밸브로서, Fig. 8은 EHPV의 구조와 구성 요소를 나타내며 이의 작동 원리는 참고 자료에서도 이해할 수 있다.^(2, 3, 4)

다음은 EHPV에 대한 설명으로 EHPV는 입구 포트(Side port)와 출구 포트(Nose port)를 가지고, 메인 포펫, 보상 스프링, 파일럿 시트, 아마추어와 솔레노이드, 파일럿 핀, 스프링등으로 구성되어 있고, 압력 콘트롤 챔버가 구성되어 있다. 유입되는 고압 측 압력이 콘트롤 챔버에 전달되어 기밀을 유지하게 된다. 중립 시에는 입구 포트(Side port)의 입구 오리피스를 통해 메인 포펫 뒤쪽의 콘트롤 챔버로 유압 유가 유입되어 메인 포펫을 하측 방향으로 밀어 기밀을 유지하게 되고, 만약 반대로 출구 포트(Nose port)에 고압이 걸리게 되면 출구 오리피스 통로를 거쳐 메인 포펫 뒤쪽의 콘트롤 챔버로 유압 유가 유입되어 메인 포펫을 하측 방향으로 밀어 기밀을 유지하게 되는 구조이다. 여기서, 전기 신호 작동에 의해 아마추어(Amature)가 상승하고 이에 따라 파일럿 핀이 상측으로 움직이게 되면 파일럿 핀과 파일럿 시트 사이에 형성되는 metering에 의해 메인

포펫의 콘트롤 챔버 압력이 저하되고 메인 포펫이 상측으로 이동하여 열리게 되고, 이에 따라 유압 작동유가 입구 포트(Side port)에서 출구 포트(Nose port)로 흐르게 된다. 여기서 전기 신호 크기에 따라 메인 포펫의 열림 량이 비례적으로 변화하게 하는 특성을 가지는 데 Fig. 9에 나타내었다.

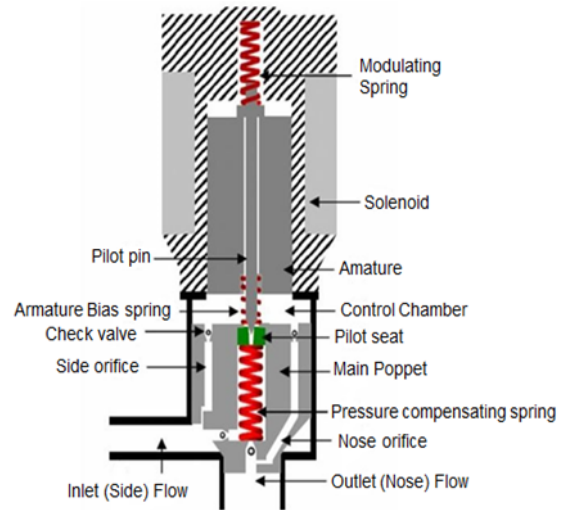


Fig. 8 EHPV 구조와 구성 요소

EHPV characteristic graph

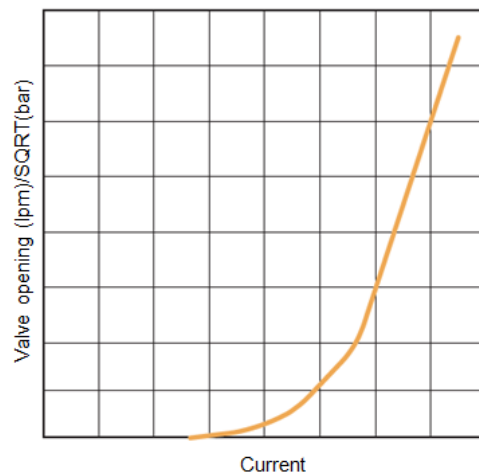
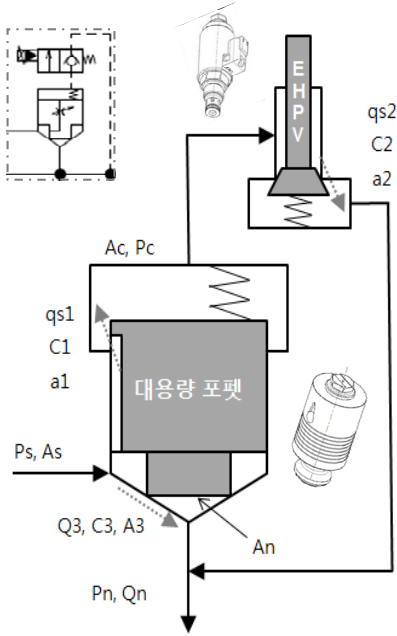


Fig. 9 EHPV의 입력 전류에 대한 밸브 특성 선도

4.2 EHPV & Poppet의 작동 원리 및 이론식

이러한 EHPV를 이용하여 건설기계의 작업 장치를 제어할 수도 있지만, 대 유량의 제어가 필요 시는 EHPV만의 제어로서는 한계가 있고, EHPV와 대용량 포펫(Poppet)의 조합으로 적용할 수 있다. 대용량 포펫(Poppet)의 제어 방법에 대해서는 하기의 관련 식으로 모델을 구성할 수 있다.^(5, 6)



- Ac: 포펫 콘트롤 챔버 면적
- As: 포펫 작동 면적
- An: 포펫 시트 면적
- a1: 포펫 콘트롤 면적
- a2: EHPV 개구 면적
- A3: 대용량 포펫 개구 면적
- Ps: 입구측 압력
- Pc: 포펫 콘트롤 챔버 압력
- Pn: 출구측 압력
- qs1: 포펫 콘트롤 면적 통유 유량
- qs2: EHPV 통유 유량
- Q3: 포펫 통유 유량
- Qn: 출구측 유량
- C1: 포펫콘트롤측 유량계수
- C2: EHPV 개구 유량계수
- C3: 대용량 포펫 개구 유량계수

Fig. 10 EHPV와 Poppet의 구성 개략도 (Side to Nose 제어)

$$Ac = As + An$$

$$An \times Pn + As \times Ps = Ac \times Pc$$

$$\frac{An}{Ac} = K, \quad \frac{As}{Ac} = 1 - K$$

$$Pc = K \times Pn + (1 - K) \times Ps$$

$$qs1 = C1 \times a1 \times \sqrt{Ps - Pc}$$

$$qs2 = C2 \times a2 \times \sqrt{Pc - Pn}$$

$$C1 \cong C2 \cong C3$$

$$a1 = \sqrt{\frac{(1 - K)}{K}} \times a2$$

$$Qn = Q3 + qs1 = Q3 + qs2$$

상기 Fig. 10의 경우는 입구 측이 Side, 출구 측이 Nose의 방향 제어에 관한 것이고, 하기 Fig. 11은 입구 측을 Nose, 출구 측을 Side 방향으로 제어하는 경우를 나타내었다.

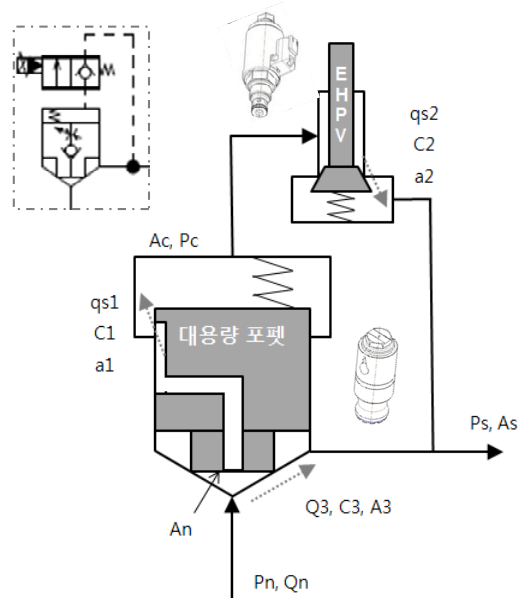


Fig. 11 EHPV와 Poppet의 구성 개략도 (Nose to Side 제어)

5. Model simulation and test results

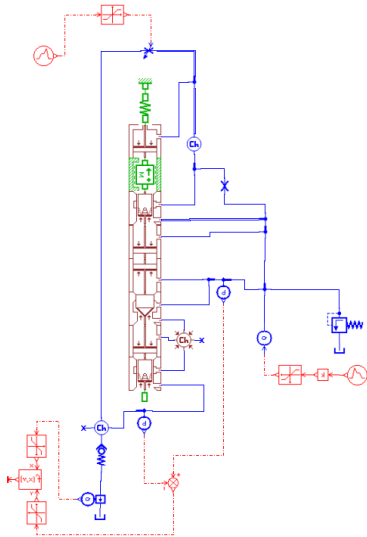
5.1 Model simulation

오리피스 유량 방정식 $Q=C \times A \times \sqrt{(\Delta P)}$ 에 의거 (Q: 통과 유량, C: 유량 계수, A: 오리피스 면적, ΔP : 오리피스 전, 후의 압력차이),

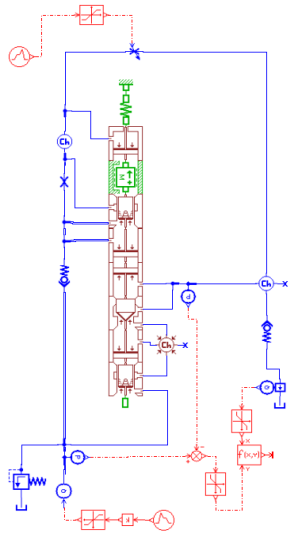
EHPV 파이롯트 신호 전류에 대한 대용량 Poppet의 개구 면적을 계산 해 보자 한다.

여기서 시험 값과의 비교를 위해 개구 면적을 유량계수 C와의 곱인 $C \times A (=1/Q \times \sqrt{(\Delta P)})$ 값으로 특성 선도를 서로 비교하여 보고자 한다.

Fig. 10 모델을 해석하기 위한 상업용 해석 툴인 AMESIM⁽⁷⁾을 이용하여 Fig. 12을 나타내었다.



(1) Side to nose 제어 모델



(2) Nose to side 제어 모델

Fig. 12 EHPV와 Poppet에 대한 모델 구성도

Table 1 AMESIM 모델 파라미터

Parameters	Specification	Value
Fluid properties	Density	850 kg/m ³
	Bulk modulus	17000 bar
	Temperature	40 °C
	Absolute viscosity	51 cp

5.2 Test bench circuit and Test result

EHPV와 Poppet의 시험 장치는 Fig. 13, Fig. 14 그리고 Table 2와 같이 구성하여 EHPV 입력 전류에 대한 대용량 포펫의 개구 면적 특성에 대한 시험을 실시하였다.

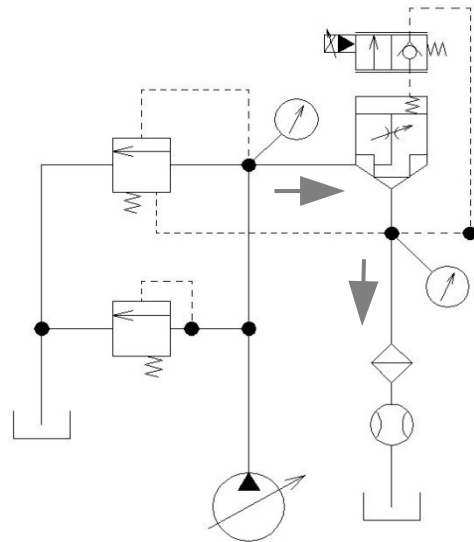


Fig. 13 시험장치 회로도 (Side to Nose 제어)

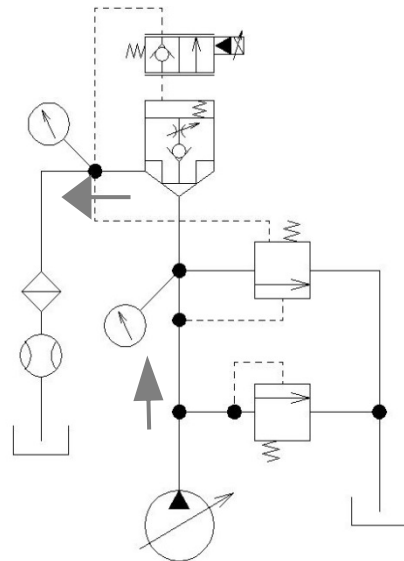
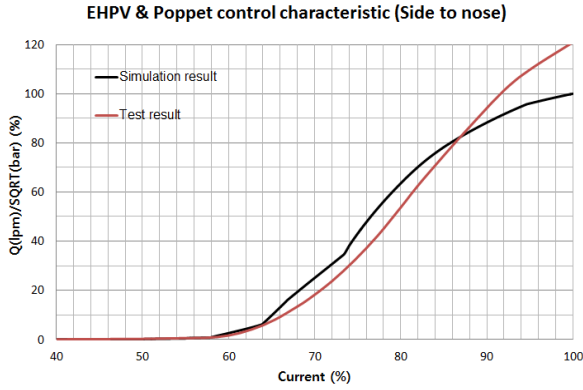


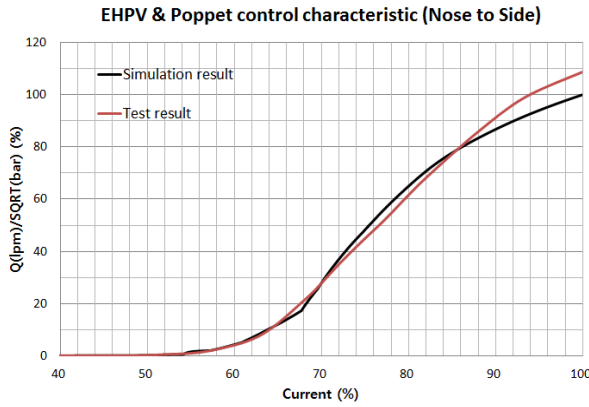
Fig. 14 시험장치 회로도 (Nose to Side 제어)

Table 2 시험 벤치 사양 표

항목	사양
Elect. motor	350kW x2, 1500rpm
Motor speed	1500rpm
Main pump	280cc/rev x2, Kawasaki
Flow meter	600lpm, KRACT 1000lpm, VSE
Pressure sensor	500bar, GEFTRAN 100bar, GEFTRAN
Elect. Specification	
- Voltage	24V
- Current	750mA
- PWM frequency	166Hz
Measuring equipment	Compact DAQ, NI



(1) EHPV와 Poppet control characteristic (Side to nose)



(2) EHPV와 Poppet control characteristic (Nose to side)

Fig. 15 모델과 시험에서의 제어 특성 값 비교

6. Design factor influence analysis

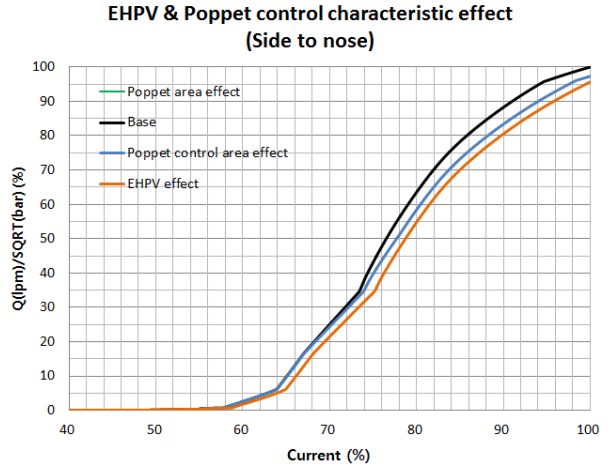
상기 Fig. 15에서와 같이 모델 시뮬레이션 결과값과 실제 시험 값을 보면 추가적인 작동 특성에 대한 연구가 필요하지만 대체로 제어 특성이 추종하고 있음을 알 수 있다.

모델 시뮬레이션을 기준으로 IMV 구성에서 제어 특성에 영향이 클 것으로 판단되는 대표 인자인 EHPV의 개구 면적, 대용량 포켓의 콘트롤 개구 면적과 포켓의 출구측 개구 면적의 변화에 있어서 어느 부분이 가장 큰 영향을 미치는 인자인지를 확인해 보았다.

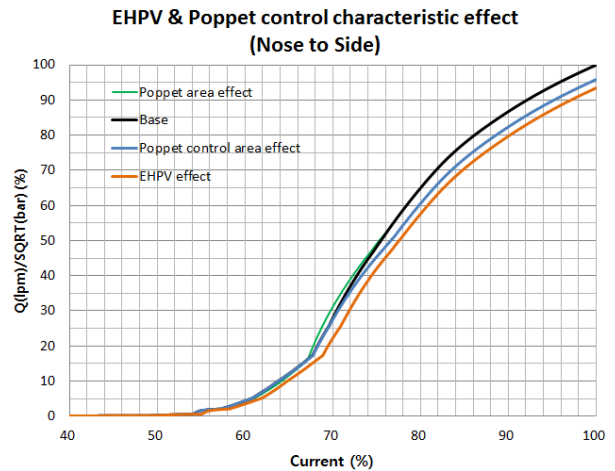
7. 결론

본 연구에서는 건설 기계용으로 적용이 가능한 IMV의 하드웨어 구성을 제안하였고, 연구 내용의 결론은 다음과 같다.

1) Independent Metering Valve의 구성에 대한 수학적 모델을 제안하였다.



(1) EHPV와 Poppet control characteristic effect (Side to nose)



(2) EHPV와 Poppet control characteristic effect (Nose to side)

Fig. 16 제어 특성의 영향 인자 확인

2) 제안된 모델을 기반으로 해석 Tool을 통해 Independent Metering Valve의 특성을 예측하였다.

3) 해석 시뮬레이션 결과와 실제 시험 결과를 비교하여 대체적으로 추종함을 알 수 있었다.

4) 해석 시뮬레이션 모델을 기준으로 Independent Metering Valve의 제어 특성에서 큰 영향을 미치는 영향 인자들에 대해 고찰하였다.

5) 고찰의 결과, Independent Metering Valve의 제어 특성에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 인자들로 EHPV의 개구면적, 포켓 콘트롤 개구면적 그리고 포켓 출구측 개구면적의 순으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

IMV 설계에 있어서 EHPV의 제어 특성이 매우 중요한 인자이므로 많은 검토를 통한 개발, 적용이 필요하다.

참고 문헌

1. Mikael Axin, "Mobile Working Hydraulic System Dynamics", Linköping Studies in Science and Technology no.1697, 2015.
2. Xiaolong Yang and Michael J. Paik, "Pilot operated control valve having a poppet with integral pressure compensating mechanism" United States Patent, (US6745992B2), June 2004.
3. Dwight B. Stephenson and Gennady Shimelfarb, "Pilot operated control valve having a two stage poppet" United States Patent, (US20070157980), Jul. 2007.
4. Patrick Opdenbosch, Ph.D. Candidate, "EHPV research", George W. Woodruff School of Mechanical Engineering
5. Rong Zhang, Andrew G. Alleyne and Eko A. Prasetyawan, "Performance limitations of a class of two-stage electro-hydraulic flow valves" International Journal of Fluid Power, 2002.
6. Genroku Sugiyama and Toichi Hirata, "Hydraulic control valve apparatus and hydraulic drive system" United States Patent (US005433076A), Jul. 1995.
7. LMS Amesim, 2015 Siemens Industry Software NV, version 14.1

[저자 소개]

구본석

E-mail : bonseuk.ku@volvo.com

Tel : 055-260-7672

1995년~현재, 볼보건설기계, HL-Specialist Engineer. 소형, 중형, 대형 굴삭기용 유압 콘트롤 밸브 개발, 다양한 유압 옵션 밸브, 유압 릴리프 밸브 개발, IMV 개발, 해외 출원 특허 13여건 등록



주상규

E-mail : Sangkyu.joo@volvo.com

Tel : 055-260-7672

2010년~현재, 볼보건설기계, Hydraulic Components Engineer, 굴삭기용 유압 콘트롤 밸브 설계, 해석 및 시험

