

# 건설차량용 독립 미터링 밸브(IMV)의 해결 방안

## How to Solve Independent Metering Valve for Construction Vehicle

윤소남  
S. N. Yun

### 1. 서 론

2016년 가을에 계장기술을 통하여, “건설중장비용 독립 미터링 밸브(IMV)의 연구동향”이라는 제목으로 독립 미터링 밸브(Independent Metering Valve, 이하 IMV라 함)에 대해서 간단히 소개할 기회가 있었으며, 이 해설을 통하여 건설중장비에 있어서 화두가 되고 있는 에너지 절약 측면에서의 IMV의 동향 및 가능성을 제시한 바가 있다. 2017년에도 역시 계장기술을 통하여 “건설중장비용 독립 미터링 밸브(IMV)의 해결 과제”라는 제목으로 IMV를 설계하는데 있어서 어떠한 설계 변수가 있으며, 어떻게 해결해야 하는지에 대해서 저자의 의견을 피력한 바가 있다. 따라서 이 해설은 전술한 “계장기술”에 게재되었던 2건의 해설 자료를 재정리하는 동시에 최근의 기술 동향 및 사용자 요구 조건을 추가하여 해설의 완성도를 높인 것임을 밝힌다.

원유가 생산되고 있지 않은 우리나라로서는 국제유가 변동에 매우 민감하고, 기름을 사용하는 모든 기업에서는 국제유가의 변동에 따라서 기업 운영의 성과가 좌우될 정도로 최근의 국제유가 뉴스에 귀를 기울이고 있는 실정이다. 최근 석유수출국기구(OPEC)의 원유 감산 합의 결과로 가격이 배럴당 50달러를 상회하고 있어, 국제경기의 하락과 더불어 국제유가 상승은 이만저만 고민거리가 아니다. 아주 오래전의 일이지만 기름에 의해서 구동되는 기계들은 어떻게 하면 적은 기름으로 많이 움직이고, 보다 더 큰 힘을 낼 것인가에 많은 관심들을 가지고 연구들을 해왔다. 100% 기름에 의해서 구동되는 건설중장비인 경우는 말할 것도 없이 전 세계적으로 수많은 사람들이 연구를 해오고 있는데, ‘에너지 절약 기계’, ‘에너지 효율 향상’이라는 키워드를 가지고 ‘기존 대비 10% 에너지 절약’ 혹은 ‘기존 대비 10% 효율 향상’이라는 문구를 사용하여 소비자들을 유혹하고 있으며, 기업 경쟁에서 이기려는 노력들을 아끼지 않고 있다. 건설중장비에 사용되는 시스템 및 부품들에 있어서, 기본적으로 차량의 중량을 줄

이는 재료 연구, 엔진 혹은 전기 모터의 효율 향상 연구, 각종 유압 액세서리의 효율 향상, 유압펌프의 효율 향상, 유압 실린더의 효율 향상 및 유압밸브의 효율 향상 연구들이 이루어지고 있는데, 이런 이유로 인하여 IMV는 최근의 건설중장비에 있어서 단연 인기 있는 분야인 동시에 전 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 그야말로 핫 이슈인 제품이다.

IMV는 분명히 필요한 기술이라는 생각을 가진다. 그럼에도 불구하고 기존의 문헌들을 보면, 기존 굴삭기의 스폴밸브 방식 대신에 IMV 방식을 사용하게 되면 에너지 효율을 높일 수 있다는 보고 내용만 있지, IMV를 장착하게 되면 어떠한 문제가 있으며, 운용을 어떻게 해야 높은 효율을 얻을 수 있는지에 대한 내용은 거의 없다. IMV를 쳐다보는 저자의 입장에서는 광의적으로 에너지 절약뿐만 아니라 단순성, 제어성, 가격 및 유지/보수 등에 관해서도 고려를 해야만 한다고 생각하고, 협의적으로는 누설 문제, 운전자의 승차감 문제, 파이프트 압력 제어 문제, 기계적인 피드백 제어 문제, IMV의 복합제어 문제 등 고려해야 할 변수들이 너무 많다고 생각한다. 그러므로 이를 위해서는 단순히 에너지 절약이라는 설계인자만으로 해결이 어려운 것들이 있어 소개하려고 한다.

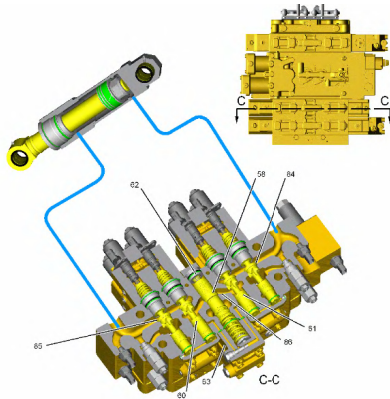
YouTube에서 “Hybrid Valve Boosts Cat 390F Efficiency and Performance” 혹은 “Independent Metering Valve”의 키워드로 자료를 조사해 보면, 캐터필러 담당자로부터 캐터필러 굴삭기에 장착되어 있는 IMV 기술 및 IMV를 통한 에너지 절약 상황에 대해서 간단히 들을 수 있다(CONEXPO-CON/AGG 2016(Las Vegas) 인터뷰 내용). 결론은 이미 캐터필러에서 상품화(모델 390F, 336EH, 336F XE)하여 산업계에 사용되고 있으며, 현실적으로 상당한 에너지 절약이 이루어지고 있는 보고를 하고 있어, 서둘러 국내에서도 해결해야만 되는 과제중의 하나라고 할 수 있다. 또한, 기존 연구 내용들에 대한 분석도 이루어져, 향후 국내에서 개발되는 IMV에 대해 사전

지식을 갖추어 놓을 필요가 있다고 사료된다. 동시에 개발 관점에서 고려해야만 되는 설계 변수들을 찾고, 산업계에서 요구하는 기능들을 갖춘 IMV를 시장에 내놓을 필요가 있다.

일반적으로 유압밸브라 하면, 정특성, 동특성 내구 및 내환경성 그리고 신뢰성이 먼저 고려되어야 하는데, 이 해설에서는 기존의 4/3형 스프링방식에서 IMV 방식으로 바뀌는 과정에서 어떠한 변수들을 먼저 고려해야 하는지에 대해서 생각해 보고, 주요 관심 대상인 에너지 절약, 단순성, 제어성, 가격 및 유지/보수 측면에서 IMV 자체 및 IMV를 내장한 MCV(Main Control Valve) 조립체에 요구되는 필요 충분 조건 및 설계 계획에 대해서 살펴보기로 한다.



a) Model 390F excavator of Caterpillar



b) System schematic of IMV

Fig. 1 Model 390F excavator with IMVs of Caterpillar

## 2. IMV 자체로서 해결해야 되는 과제

굴삭기에 장착되어 있는 붐 및 암 실린더는 기본적으로 전,후진 작동 모드가 있으며, 작동 모드들은 PE(Power Extension), HSRE(High Side Regeneration Extension), LSRE(Low Side Regeneration Extension),

PR(Powered Retraction) 및 LSRR(Low Side Regeneration Retraction)으로 나뉜다. 또한, Powered Recuperation 및 High Side Recuperation를 통하여 실린더를 정지시키는 모드도 필요하게 된다.

Fig. 2는 PE(Powered Extension) 모드를 보이는 것으로, Boom-up 시에 제어하는 모드이다. 이 때는 실린더의 움직임이 인장이고, 외부 부하의 방향은 압축이다. 유체의 흐름으로 공급측은 유압 펌프→밸브 Ksa→실린더 A이며, 출구측 흐름은 실린더 B→밸브 Kbt→탱크 이다. 이러한 모드를 수행하기 위하여 IMV로 사용되는 유량제어밸브는 밸브 Ksa→밸브 Kbt가 열리게 되는데,  $P_s > P_a$  이기 때문에 밸브 Ksa의 열림량 조절이 가능하고,  $P_b > P_t$ 이기 때문에 밸브 Kbt 열림량 조절이 가능하다. PE 모드에서 닫히는 밸브는 Ksb와 Kat이며,  $P_s > P_b$  이고  $P_a > P_t$ 이기 때문에 밸브 Ksb 및 밸브 Kat는 완벽하게 차단이 가능하다.

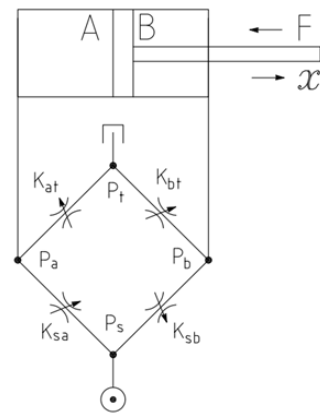


Fig. 2 Operating circuit of PE(Powered Extension) mode

Fig. 3은 HSRE(High Side Regeneration Extension) 모드의 예를 보여주는 것으로 Boom-up 모드라고도 한다. 실린더의 움직임은 인장이고, 외부 부하의 움직임은 압축인 상태이다. 유체의 공급측 흐름은 유압펌프→밸브 Ksa→실린더 A이고, 출구측 흐름은 실린더 B→밸브 Ksb→밸브 Ksa→실린더 A가 된다. 이러한 동작을 하기 위해서는 비례전자 밸브(IMV)의 열림 동작은 밸브 Ksa와 밸브 Ksb가 되고 밸브의 닫힘 동작은 밸브 Kat와 밸브 Kbt가 된다. 이 때 밸브 열림 동작에서는  $P_s > P_a$ 이기 때문에 밸브 Ksa를 이용하여 유량을 제어할 수 있으며,  $P_b > P_t$ 이기 때문에 밸브 Kbt를 완벽하게 차단할 수 있다. 그러나 압력  $P_b$  및  $P_s$ 가 부하 변동에 따라서 불안정하

게 변할 수 있기 때문에 안정적으로 Pb에서 Pa로 넘겨 줄 수 있는 새로운 밸브가 필요하게 된다. 또한 실린더 B의 유량을 실린더 A로 보내기 위한 쉬운 방법으로 Pa와 Pb 사이에 IMV를 설치하면 쉽게 실린더 B의 유량을 재활용할 수 있다.

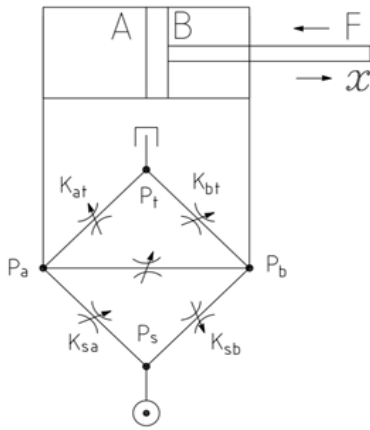


Fig. 3 Operating circuit of HSRE(High Side Regeneration Extension) mode

Fig. 2 및 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 HSRE 모드인 경우에는 4/3 방식 스펴밸브만을 이용하게 되면 구현이 불가능한 모드이기 때문에 4개의 2/2 방식 밸브를 독립적으로 사용하여 제어를 수행해야만 한다. 또한, Fig. 2 및 Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 2/2방식 밸브이면서 양방향으로 구동이 되어야만 하는 경우에는(특히 Powered Recuperation 및 High Side Recuperation 모드와 같이 자중 혹은 자중에 의한 부하를 제어하는 경우) 반드시 2/2 방식 밸브일지라도 양방향 제어가 가능해야 한다. 이를 위해서는 기존의 방식과는 전혀 새로운 방식의 밸브가 제안되고 제작되어야 한다. 실질적으로 HUSCO International에서는 전술한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 포켓밸브임에도 불구하고 양방향 제어가 가능하도록 독특한 구조를 가지는 밸브를 개발하였다.

### 3. IMV가 내장된 MCV 과제

#### 3.1 에너지 절약성(효율 성능)

최근의 모든 기기 및 기계 시스템을 설계할 때에 최우선적으로 고려되는 부분이 에너지(연료) 절약이라 할 수 있다. 건설중장비 특히, 굴삭기는 매우 열악한 환경에서 운용되는 동시에 작업장 투입후의 사용시간이 길기 때문에 연료 또한 엄청난 양을 소

모하게 된다. 때문에 엔진을 비롯하여 많은 유압기기들의 성능을 향상시켜 에너지 절약을 꾀하는 연구들이 지속적으로 이루어지고 있으며, 성능 향상의 한계에 이르렀다고 할 정도로 상당한 수준이라 할 수 있다. 반면에 MCV인 경우는 스펴형식(Fig. 4 참조)을 사용하고 있어 하나의 스펴을 이용하여 양 방향을 동시에 제어하는 경우에는 스펴 개구면적의 변화에 따라서 교축이 이루어져 원하지 않는 압력 손실(구조적으로 P→A 방향을 제어할 때, B→T 방향도 동시에 교축이 이루어짐)이 일어나게 되고, 비례하여 연료 소모가 발생하고 있는 실정이다. Fig. 4와 같이 4/2 혹은 4/3 방식인 경우는 구조적으로 좌우 대칭형이기 때문에 교축 손실은 피할 수가 없다. 따라서 최근에는 캐터필러를 비롯한 선진 굴삭기 기업들이 4/3방식 스펴형식 밸브 대신에 3/3방식 스펴밸브 2개를 1조로 사용하는 방법(EATON) 및 full-IMV로서 2/2방식 포켓 혹은 스펴밸브를 이용하는 방법(Caterpillar, Volvo 등)을 통하여 에너지 절약을 꾀하고 있다.

또한, 2/2방식 포켓 혹은 스펴밸브를 사용한다고 해도, 저소비전력형 비례솔레노이드 설계/제작, 무마찰 구동 포켓 및 스펴 설계/제작 그리고 교축이 적은 유압 라인 형상 설계/제작에도 많은 연구들이 이루어지고 있다.

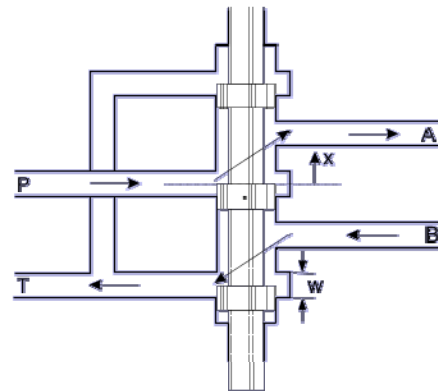


Fig. 4 Restriction phenomenon of spool valve

#### 3.2 단순성

Fig. 5는 완전 독립형 IMV가 내장된 MCV 회로를 보이는 것이다. 일반적으로 IMV는 2/2방식인 동시에 대용량의 유량을 제어해야 하기 때문에 2단 혹은 3단으로 이루어져 있다. 일반적으로 2단 혹은 3단으로 이루어져 있는 밸브들은 비례솔레노이드의 소비 동력을 줄이기 위하여 내부 혹은 외부 피아트를 사용하고 있다. 굴삭기에 사용되는 IMV인 경

우는 제어성과 동시에 단순성을 고려해야 하는데, 외부 파이로트를 사용하게 되면, 18개의 IMV를 제어할 수 있는 보조 파워 유닛을 별도로 설치해야 하는 문제가 발생하게 된다. 이 경우에는 기존 4개의 스펴방식에서 18개(붐, 압, 버킷 및 스윙용으로서 기본적으로 16개의 IMV, 에너지 회생용으로 2개의 IMV가 필요함)의 독립적인 IMV로 교체되는 과정에서 상당한 공간을 요구하게 되는데, 거기에서 보조 파워 유닛을 별도로 설치하게 되는 경우는 굴삭기 하부 공간을 늘려야 하는 문제점이 발생하게 된다. 따라서 별도의 독립적인 파이로트용 파워 유닛을 사용하려면 작은 용량으로 18개의 밸브 제어가 가능하도록 아주 작은 파이로트 유량을 필요로 하는 밸브의 설계가 요구된다. 또한, 2단 혹은 3단을 구성할 때에 아주 간단한 로직 밸브 혹은 일체형 밸브의 설계를 통하여 단순성을 향상시키는 방안이 필요하다.

반면에 내부 파이로트를 사용하는 경우에는 붐, 압, 선회, 주행 등 독립적인 동작 수행 및 복합동작을 고려하고, 부하의 변화를 고려하여 설계가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

한편, 내부 파이로트이거나 외부 파이로트를 사용하는 방식에도 부하의 변동 혹은 다수의 비례밸브(IMV)들이 복합적으로 제어될 때 압력 소스의 변동을 최소화하기 위하여 적절한 축압기 설치가 바람직하다.

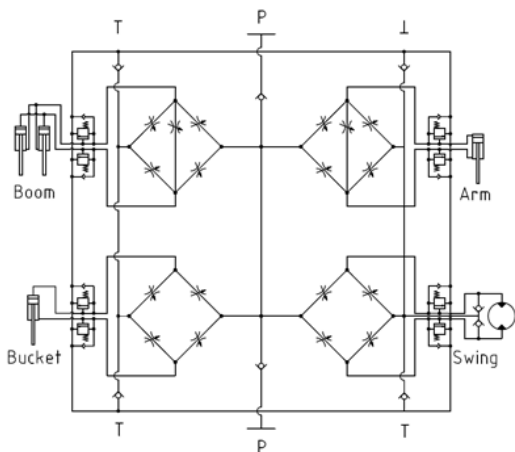


Fig. 5 MCV circuit with a full-IMV

### 3.3 제어성

Fig. 5에서 언급했던 바와 같이 내부 파이로트를 사용하는 경우에는 붐, 압, 버킷, 선회, 주행 등 독립적인 동작 수행 및 복합동작 수행에 따라 부하가

변하게 되고, 더불어 압력이 변하게 되어 내부 파이로트 압력을 언제나 일정하게 보내지 못하게 된다. 따라서 복합동작을 수행하는 범위가 매우 제한적이게 되고 제어성이 나빠지게 되는 경우가 발생하기 때문에 우수한 제어 규칙이 적용되어야 하는 문제가 발생하게 된다.

반면에 외부 파이로트를 사용하게 되면, 별도의 독립적인 파워 유닛을 쓰기 때문에 언제나 작업자가 원하는 압력을 안정적으로 공급할 수 있는 장점이 있다.

스펴형식이나 포켓형식에서 공통적으로 설계되어야 되는 부분은 밸브 작동시에 충격이 가해지는 현상이 발생해서는 안된다. 이는 먼저 운전자의 승차감을 불안하게 하고, 작업 효율 저하시키는 요인이 되기 때문이다. 따라서 포켓형식인 경우는 개구면적 변화를 다양하게 구현할 수 있는 구조 설계가 필요하게 되고, 스펴형식인 경우는 다양한 종류의 노치 설계가 필요하다. 또한, 비례유량제어밸브(IMV)를 이용하여 정량적인 유량제어를 하기 위해서는 로드센싱 회로를 갖추고 있어야 한다.

### 3.4 가격

독립 유량 제어 기구를 굴삭기에 적용하려면 기본적으로 350bar 및 500lpm 이상의 성능을 가지는 IMV가 필요하게 되는데, 밸브의 구성은 비례솔레노이드 및 앰프, 파이로트 제어용 밸브 및 메인 유량 제어밸브로 이루어진다. 기본적으로 비례솔레노이드에 있어서는 B-H 특성이 결정되어 있고, 기본적으로 가격이 결정되어 있기 때문에 제어론 설계 및 제작 방법을 통하여 가공 가격을 절감하는 방안이 요구되고, 파이로트 제어용 밸브에 있어서는 솔레노이드 일체형이 바람직하다 사료된다. 파이로트 제어용 밸브에 있어서는 이미 재료에 대한 가격은 결정되어 있기 때문에 단순한 구조를 가지면서 가공이 쉬운 설계가 중요하다. IMV에서 가격을 결정짓는 제일의 인자가 메인 밸브라 사료된다. 메인밸브는 기본적으로 포켓 혹은 스펴을 사용하게 되는데, 포켓인 경우는 파이로트 밸브와 일체형 제작이 가능한데 비하여 스펴형인 경우는 일체형 제작이 곤란하다. 만약에 일체형으로 제작하게 되면 3.5절에서 논의되는 유지 및 보수성을 고려해야 하며, 스펴형으로 제작하게 되면 스펴의 노치 설계 및 누설방지 방안에 대한 계획이 필요하게 된다. 따라서 전술한 모든 요소들이 가격 상승 요인을 유발시키게 된다.

결론적으로 최근에 유행하고 있는 스플-포켓 하이브리드 방식이 제일 유리하다 할 수 있다.

### 3.5 유지 및 보수성

굴삭기에 IMV를 장착하게 되면 기본적으로 18 세트의 밸브 및 앰프가 필요하게 되면 그만큼 고장 요소가 많아지게 되는 단점이 있다. 일체형 IMV인 경우에 있어서는 부품의 분리 조립을 할 수 없으며 조립체의 일부 부품이 고장 나더라도 단순 부품의 교체가 안되고 일체형 밸브 전체를 교체해야 하기 때문에 가격적인 면에서 매우 분리하다.

반면에 스플 형식인 경우는 스플/슬리브의 공차 범위 내에서 조립하는 기술만 정립되면, 고장 난 부분에 대해서 쉽게 분리 후 새로운 부품을 교체할 수가 있다. 일체형이나 스플 분리형 모두 정비에 까다로운 단점은 있으나, 두 형식을 단순 비교하면 스플형식이 유리할 수 있다. 때문에 스플-포켓 하이브리드 방식은 매우 이상적이라 할 수 있다.

## 4. 결 론

이 해설에서는 최근의 핫 이슈인 건설중장비용 독립 미터링 밸브(IMV)에 대해서, 만약에 개발을 할 경우에 어떠한 문제점들이 예상되며, 어떠한 변수들을 설계인자로 가져 갈 것인지에 대해서 고찰하였다. 해설을 작성하는 저자도 IMV에 대해서 많은 부분을 이해하지 못하고 있고, 아직까지도 IMV에 대해서 상당 부분이 상세히 고찰되어야 한다고 생각되지만, 조심스런 의견을 정리하면 다음과 같다.

1. IMV를 설계하는 과정에서는 광의적 혹은 협의적으로 정리해야 하는 설계 변수들이 있는데, 광의적으로는 에너지 절약성, 단순성, 제어성, 가격 및 유지/보수성이고, 협의적으로는 누설 문제, 운전자의 승차감 문제, 파이로트 압력 제어 문제, 기계적인 피드백 제어 기능 문제 및 IMV의 복합제어 문제이다.

2. 에너지 절약성 측면에서는 포켓형식이나 스플형식이나 IMV 방식이면 모두 우수하다 사료된다. 그러나 단순성, 제어성, 유지/보수성을 고려한 설계가 되어야 할 것이다. 전술한 문제의 해결 방안으로 최근에는 스플-포켓 하이브리드 밸브가 연구되고 있다.

3. 단순성 측면에서는 양방향 제어가 가능하다는 전제하에서는 일체형이 유리할 것으로 사료된다. 왜냐하면, 로직 혹은 스플 형태로 밸브 블럭에 삽입하

는 경우는 복잡한 회로 설계가 이루어지고, 조립에 어려움이 있으며, 가공수가 많아지는 단점이 있다.

4. 제어성 측면에서는 외부의 독립적인 파이로트 파워 유닛을 사용하는 것이 유리하다 사료된다. 메인 유압 소스를 사용하게 되면 부하의 변동에 따라서 제어압력이 변동될 가능성이 많다. 반면에 외부의 독립적인 파이로트 파워 유닛을 사용하게 되면, 언제나 일정하고 안정적인 압력 공급이 이루어지는 장점이 있다. 전술한 두 가지 경우 모두 안정된 제어를 위하여 축압기 설치를 고려해야 한다.

5. 유지/보수면에서는 스플형식이 장점이 있을 것으로 사료된다. 일반적으로 굴삭기 1대당 약 18개의 IMV가 사용된다고 가정하면, 유지/보수 측면에서 밸브에 문제가 발생했을 때에 일체형인 경우는 전체를 교환해야 하는 문제가 있어 가격 면에서 많은 손해가 예상된다. 분리형일 경우는 문제가 있는 부품만 교환 가능하기 때문이다.

6. 누설 문제 면에서는 당연 스플-포켓 하이브리드 방식이 유리하다. 이 방식을 사용하게 되면 스플랜드의 차이 때문에 제어성면에서 다소 불리하지만, 완벽한 누설 차단을 이룰 수 있는 구조이다.

7. 운전자의 승차감 문제 면에서는 밸브를 열고 닫을 때의 충격압과 직접 관련이 있다. 대유량과 고압을 사용하는 굴삭기에서 순간적으로 밸브를 열고 닫을 때는 엄청난 소음과 충격이 발생할 수 있기 때문에 저소음, 저충격 구간을 가지는 개구 면적 선도가 필요하다.

8. 파이로트 압력 제어 문제 면에서는 메인밸브의 히스테리시스, 선형성이 우수한 유량제어를 위하여, 파이로트 압력 제어용으로 사용되는 비례감압밸브의 압력제어 선도를 가능한 모두 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 파이로트 수압부의 메인밸브의 면적이 너무 큰 경우는 아주 작은 압력 범위 내에서 이미 변위 전 구간을 종료해 버리기 때문에, 작은 수압부 단면적을 가지는 구조가 필요하게 된다. 결국 이 의미는 대유량을 제어하는 밸브일지라도 파이로트 측은 매우 작은 랜드를 가지는 구조가 필요하다는 것으로, 종합적으로 적절한 계산이 이루어지지 않으면 제어성이 불리한 밸브가 예상된다.

9. 기계적인 피드백 제어 기능 문제 면에서는 기본적으로 갖추고 있는 구조가 유리하다 할 수 있으나, 특허를 피하는 고유 모델 개발이 필요하다. 만약에 숙련된 운전자 일 경우에는 적절하게 자유자재로 운전할 수 있는 능력이 있어서 기계적인 피드

백 구조를 비싸게 가져갈 필요가 없는 경우도 예상 되기 때문에 심도있는 논의가 필요한 인자이기도 하다.

10. IMV의 복합제어 문제 면에서는 전술한 굴삭기 모드(Power Extension, High Side Regeneration Extension, Low Side Regeneration Extension, Powered Retraction 및 Low Side Regeneration Retraction, Powered Recuperation 및 High Side Recuperation)를 모두 원활하게 구현하기 위해 임계랩, 개방랩, 폐쇄랩 혹은 하이브리드 랩 제어가 필요한데, 다양한 시나리오를 통하여 해결할 필요가 있다.

### 후 기

이 해설의 결과는 산업핵심기술개발사업(과제번호:10063469)으로 이루어졌음을 밝힙니다.

### 참고문헌

1. [http://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/excavators/large-excavators](http://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/excavators/large-excavators).
2. S. A. Nahian, et al. "Introduction of Independent Metering Valve for Energy Saving Excavator System", Journal of Drive and Control 12(1), pp. 45-52, 2015.
3. Milos Vukovic, et al. "The Next Generation of Fluid Power Systems", Procedia Engineering 106, pp. 2-7, 2015.
4. Song Liu, et al. "Programmable Valves Enable Both Precision Motion Control and Energy Saving" An ASAE Meeting Presentation, 2005.
5. E.T.N., "Fail operational controls for an independent metering valve", 2018
6. Thomas J. Ulery, "Proportional cartridge valves-economical alternative to large valves", Agricultural engineering 71, No. 4, p.11, 1990.
7. R. Book and C.E. Goering, "Programmable electrohydraulic valve", SAE Transactions, Vol. 108, No. 2, pp.346-352, 1999.
8. 안경관, "차세대 굴삭기 유압 시스템 개발 동향 개요", Drive & Control, Vol. 11, No. 3, pp.56-60, 2014.
9. A. Shenouda & W.J. Book, "Selection of operating

modes of a multi-functional hydraulic device", Proceedings of IMECE 2005, pp.1-11.

10. Amir Shenouda, et al. "Optimal Mode Switching for a Hydraulic Actuator Controlled With Four Valve Independent Metering Configuration" IJFP-9 No. 1 pp. 35-43, 2008
11. Keith A. Tabor, "A novel method of controlling a hydraulic actuator with four valve independent metering using load feedback", SAE 2005-01-3639.
12. Bin Yao, "Integrated mechatronics design of precision and energy saving electro-hydraulic systems", Proceeding of the 7<sup>th</sup> international conference on fluid power transmission and control" pp.360-372, 2009
13. M. Chen, D. Zhao, "The gravitational potential energy regeneration system with closed-circuit of boom of hydraulic excavator", Mechanical systems and signal processing
14. G.J. Choi, "Energy saving excavator system using independent metering valve configuration", JMST, Vol. 29, No. 1, 2015
15. S.N. Yun, Y.G. Ham, J.H. Park and M.G. Kim, "Proportional pressure reducing technique of IMV for construction vehicle", 2018 KSME spring conference, pp.9-10, 2018.
16. C.N. Kang, H.A. Khan and S.N. Yun, "Energy saving in excavators with independent metering valve", 2017 KSPSE fall conference, pp.130-131, 2017.

### [저자 소개]

윤 소 남

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

1986년 제주대학교 기계공학과 학사

1990년 부경대학교 기계공학과 석사

1994년 부경대학교 공과대학 박사



2005년 어번대 마이크로나노시스템/재료 연구실 객원연구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압 밸브, 다축 시뮬레이터, 극한지 및 심해잠수정용 유압기기 개발 연구에 종사, KSFC, KSME, KSPSE, KSPE, KSAE, KSAS, SASE, ICROS, KHNES, JFPS 등 회원, 공학박사