

독립 미터링 밸브(IMV)의 응용 현황 Current Status of Independent Metering Valve Application

윤소남
S. N. Yun

1. 서 론

최근의 에너지 절약형 굴삭기에서 볼 수 있는 IMV(Independent Metering Valve) 형식 MCV(Main Control Valve)는 지난 20여 년간 유압 관련자 및 건설기계 관련 기업에 있어 매우 중요한 주제의 하나였을 것으로 사료된다. 또한, 앞으로도 에너지 문제가 이슈가 되는 세상에서는 세계 각국에서 보다 더 경제적이고, 우수한 IMV들이 출시 될 것이라 예측한다. IMV의 흐름을 특허, 논문을 통하여 간단히 살펴보면, 특허적으로는 1975년 미국의 캐터필러에서 굴삭기 유압 회로 개선에 관한 특허, 1984년 미국의 Deere & Company에서의 굴삭기용 전자밸브 시스템에 관한 특허, 국외 논문으로는 1990년 Thomas J. Ulerg의 대유량 카트리리지 밸브, 1999년 R. Book and C.E. Goering의 에너지 절약용 프로그래머블 밸브, 2002년 Song Liu, Yao B의 프로그래머블 밸브를 이용한 실린더 제어/작동 모드 선정 및 Hu H, Zhang Q의 프로그래머블 밸브 개발/활용 기술, 국내 논문으로는 2011년 안경관, 윤종일의 굴삭기의 에너지 저감 기술, 2012년 최규정, 남용운, 서자호, 김경욱, 김재도의 독립 유량제어 밸브를 적용한 굴삭기 유압 시스템 모델링 및 해석 등이 현재에 응용되고 있는 IMV(Independent Metering Valve)의 선행 연구들 중 하나라 볼 수 있다.

굴삭기 1대를 구동시키는 데에 수많은 밸브를 사용함에도 불구하고, IMV 활용 연구는 전 세계적으로 많이 연구되고 있는 주제중의 하나이다. 다시 말하면 IMV의 목적은 굴삭기에서 에너지를 적게 쓰고 효율성 있게 작업 환경을 조성하겠다는 의미를 내포하고 있는데, 더불어 작동 모드에 대한 세밀한 고려 및 기존의 운전 조건을 모두 수용해야 하는 제어의 어려움을 감수해야 하는 문제가 있다.

최근의 자료들을 보면 전 세계적으로 굴삭기 기업체뿐만 아니라 기계공학을 전공으로 하는 대학에서 IMV를 많이 다루고 있고, 특히 유명한 건설기계

기업을 가지고 있는 미국, 스웨덴 등에서 응용에 관한 연구가 상당 부분 이루어져 있는 것으로 보고되고 있다. 밸브만을 연구하는 기업으로는 HUSCO-INCOVA가 대학과의 연구를 통하여 양방향 제어가 가능한 포켓밸브를 출시하고 있음에 놀라지 않을 수 없었다. 그러나 각종 자료 및 논문 그리고 인터넷을 통하여 조사해 본 바에 따르면 실질적으로 건설기계에 적용한 예는 아직까지 2개 기업밖에 없는 것으로 보인다. 물론 조사에 한계가 있고, 언어에 한계가 있어 상세 조사가 이루어졌다고는 할 수 없으나 지금까지 보고되고 있는 것은 EATON과 캐터필러이다. 따라서 이 해설에서는 이 두 개 기업에 한해서 어떻게 혹은 어떠한 방식의 IMV를 사용하고 있는지에 대해서 논하기로 한다. 물론 자료의 한계로 인하여 상세한 내부 사정들을 속속들이 파헤칠 수는 없지만 조사된 자료들을 통하여 최대한 근접하는 결과를 도출해 보기로 한다.

2. IMV 응용 현황

2.1 EATON의 응용 현황

Fig. 1은 Eaton사에서 개발한 IMV가 내장된 고소작업차(Tower wagon, high place operation car)의 외관을 보이는 것이다. Fig. 2는 고소작업차에 사용되는 밸브의 외관을 보이는 것이다.



Fig. 1 EATON's high place operation car with IMVs



Fig. 2 Can-enabled electro-hydraulic sectional mobile valve of EATON

EATON의 자료에 따르면, 이 밸브는 히스테리시스가 매우 적고, 스톱 위치를 피드백 제어하며, 반복 성능이 우수하다고 보고하고 있다.

Fig. 3은 EATON 카탈로그에 표기된 IMV가 내장된 모바일 밸브(EATON의 명칭으로, 정식 명칭은 Advanced CAN-enabled electro-hydraulic sectional mobile valve with independent metering입)의 사양을 보이는 것이다. 자료에 의하면 정격압력은 380[bar], 차압 14[bar]에서 밸브 유량은 90[lpm]이다.

CAN 통신에 이르기까지 상당한 진보가 이루어진 구조로 지금까지의 건설기계에는 적용되지 않았던 기술들을 접목시킨 것으로, IMV 산업에 괄목할만한 족적을 남긴 작품 중의 하나라고 할 수 있다.

| Pressures | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| Inlet Rated | 380 bar (5511 psi) |
| Inlet Max | 440 bar (6382 psi) |
| Work Port Rated | 380 bar (5511 psi) |
| Work Port Max | 440 bar (6382 psi) |
| Tank* | Max 30 bar (435 psi) |
| Flow | |
| Work Port (max) | 90 lpm (24 gpm) @ 14 bar Δ P |
| Leakage | |
| Max Leakage** | 20 cc @100 bar @ 21 cst |
| Construction | |
| Sectional | Up to 8 sections per block |
| | Up to 15 sections per VSM |
| Port Types | |
| | SAE O-ring |
| | BSP |
| Inlet Section Options | |
| | Variable Displacement (Load Sensing) |
| Work Section Options | |
| Standard Spools | 90 lpm (24 gpm) |
| Work Port Valves | Anti-Cavitation |
| | Port Relief & Anti-Cavitation |
| | Port Relief |
| Actuation | |
| Primary | CAN |
| Emergency | Mechanical Override |

Fig. 3 Specification of EATON valve

Fig. 4는 Fig. 2에 보이는 밸브의 내부 유압 회로를 보이는 것으로 유압 실린더가 2개 있는 회로도이다. 그림에서 설명을 위하여 work section 1과

work section 2를 사용하는 것으로 하겠다. 그림에서 빨간 선은 압력 공급 라인을 보이는 것이고, 파란 선은 탱크 라인을 보이는 것이다. 파이로트와 관련해 검은 선은 파이로트 공급 라인을 표시하는 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 여기에 사용되는 IMV는 2/2방식의 밸브 4개가 사용되는 것이 아니고, 3/3 방식 스톱밸브가 2개 사용되고 있으며, 또한 이 3/3방식 밸브 역시 4/3 방식 밸브에 의해서 파이로트 압력을 받아 구동되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4의 회로도에서 공급라인인 빨간 선으로 압력 P1이 공급되고, 이 압력은 3/3 방식 IMV의 입구로 공급된다. 만약에 work section 1의 실린더를 구동한다고 생각해 보자. 실린더를 상승시키려고 하면, work section 1의 2개의 파이로트용 밸브가 우측으로 동작하고 이 때에 파이로트 압력유는 좌우측 IMV의 우측으로 작용한다. 때문에 3/3 방식 IMV는 동시에 좌측으로 밀리며, 좌측 IMV는 실린더를 탱크 측으로 연결시키고, 우측 IMV는 실린더를 공급 압력 측과 연결시킨다. 때문에 결국은 공급 압력유가 실린더 B쪽으로 공급되고 실린더 A쪽은 탱크 쪽과 연결되어 원하는 동작이 이루어진다. 이 밸브는 운전자가 실린더의 속도 조절을 하는 경우에 있어서 일반적인 4/3 형식 스톱인 경우에는 미터인 제어를 하는 동시에 자동적으로 미터아웃 제어도 해 버리기 때문에 원하지 않는 교축이 일어나게 되고, 결국은 에너지 손실로 이어지게 된다. 그러나 EATON에서 제안하는 방식은 운전자가 원치 않는 교축이 절대로 일어나지 않기 때문에 에너지 손실 및 열손실을 혁신적으로 개선할 수 있는 구조이다.

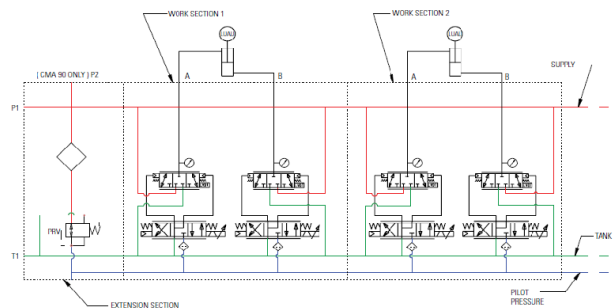


Fig. 4 Hydraulic circuit of EATON valve

이 밸브는 3/3 방식 2개의 밸브만으로 실린더 전진 및 후진을 다양하게 제어할 수 있는 장점이 있으며, 자중 부하에 의한 실린더 거동도 제어할 수 있는 장점이 있다. 그러나 실린더 로드 측의 유량을 실린더 헤드 측으로 넘겨주는 소위 에너지 회생 동

작은 수행하지 못하는 단점이 있다. 따라서, 굴삭기와 같이 실린더 동작이 빈번하게 이루어지는 기계에서는 에너지 회생 동작이 필요하게 되고, 이를 위해서는 실린더 로드와 압력유를 실린더 헤드 쪽으로 돌리는 기술이 요구 된다. 결국은 4개의 IMV를 갖는 완전한 구조가 필요하게 되고, 적절한 제어 방안들이 연구되어야 할 것이다.

또한, 파이로트 제어에 있어서도 많은 연구들이 이루어지고 있는데, 양방향을 제어할 수 있는 방안들뿐만 아니라 완전한 독립체인 하나의 IMV에 하나의 파이로트 밸브를 장착하는 것이 비교적 우수한 제어특성을 확보할 수 있는 이점이 있다.

2.1 CATERPILLAR의 응용 현황

전 세계적으로 IMV 연구를 가장 성공적으로 응용한 기업이 바로 Caterpillar라 할 수 있다. 아래의 Fig. 5는 캐터필러가 2014년 라스베가스 국제 건설기계, 중장비, 콘크리트, 광산기계 박람회 (CONEXPO-CON/AGG 2014)에서 336EH 모델 및 390F 모델에 Full IMV가 설치되어 있으며, IMV의 설치로 인하여 상당한 에너지 효율 향상을 얻고 있다는 인터뷰를 하는 모습을 보여주는 동영상이다.



Fig. 5 Interview figure of global product manager of Caterpillar at CONEXPO-CON/AGG 2014

Fig. 6은 캐터필러에서 생산중인 Full IMV 장착 모델인 336EH의 작업 사진을 보이는 것이다. Fig. 7

은 Full-IMV를 가지는 굴삭기가 기존 모델에 비해서 어느 정도의 에너지 효율 향상이 있는지에 대한 정도를 보여주는 그림으로, 기존 336D 모델보다 336EH인 경우가 약 50%의 향상을 가진다는 혁신적인 내용을 담고 있다. 내용적으로 보면, IMV뿐만 아니라 회로 개선 및 펌프 제어 등이 포함되어 있지만, 그야말로 어마어마한 기술이 들어 있다고 밖에 할 수 없는 기술이라 할 수 있다.

해석하게도 336EH 모델의 내부 구조 및 유압 회로를 살펴 볼 수 없어서, 어떠한 구조의 IMV를 장착했는지에 대한 알 수는 없지만 유사한 336F XE 모델로부터 구조와 동작들을 이해해 보기로 하자.



Fig. 6 336EH model of Caterpillar

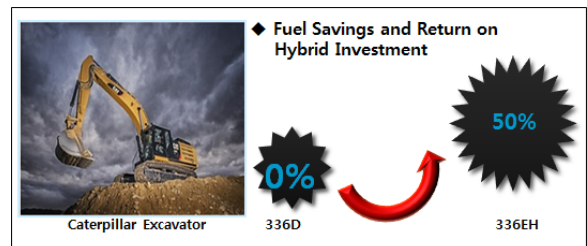


Fig. 7 Full-IMV type excavator of Caterpillar

Fig. 8은 모델 336F XE의 밸브 블록을 보이는 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 봄, 암, 버킷 및 선회제어를 위하여 16개의 밸브가 설치되어 있다. 전술한 바와 같이 4개의 IMV가 1조로 구성되어 있고, 비교적 안정적인 구조로 장착되어 있다. 여기에서 안정적인 구조라는 의미는 4개의 기능을 하는 블록들이 전후, 좌우 대칭으로 조합되어 있으며, 매우 간결하게 이루어졌음을 의미한다.

Fig. 9는 모델 336F XE의 일부 유압회로를 보이는 것으로, IMV 1set는 크게 파이로트를 제어하는 감압밸브 및 메인밸브, 메인밸브 스프링과 기계적인 피드백 스프링으로 구성되어 있다. Fig. 9에서 기계

적인 피드백 기능을 가지는 구조는 파커에서도 사용하는 방식으로 간단하게 입력과 비례하는 출력의 변위를 얻을 수 있는 장점이 있다. 원리는 간단하다. 제어 초기에 비례감압밸브에 소정의 전류값 지령을 넣으면, 비례감압밸브는 흡인력이 발생하고, 발생하는 흡인력에 비례하여 파이로트 제어압력을 생성시킨다.

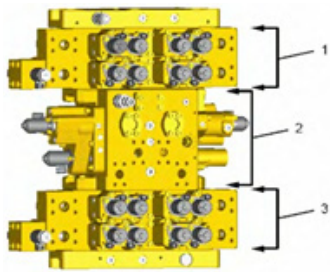


Fig. 8 Valve block of model 336F XE

생성된 파이로트 제어압력은 메인밸브를 구동시키게 된다. 이 때 메인 밸브의 구동과 더불어 메인 밸브와 파이로트 밸브 사이에 설치되어 있는 스프링이 동시에 압축하게 되면서 힘이 발생하게 된다. 이 힘은 파이로트 밸브를 닫는 쪽으로 작용시켜 결국에는 입력에 비례하는 메인밸브의 변위를 얻을 수 있는 구조이다.

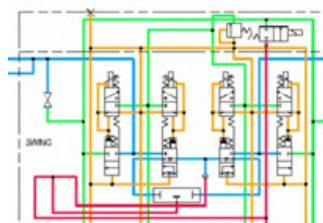


Fig. 9 Hydraulic circuit of model 336F XE

Fig. 10은 336F XE 모델의 내부 구조도를 보이는 것이다. 번호 60, 61이 메인밸브를 나타내는 것으로 스톱-포켓 하이브리드 구조로 되어 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 기존의 스톱 형식에서 발생하는 누설을 보완하는 역할로 포켓을 설치한 것으로 사료된다. Fig. 10에서 86은 공급 포트, 84와 85는 탱크 측 포트를 의미한다. 그림으로부터 실린더를 오른쪽으로 구동시키려면 60번 IMV를 열어서 실린더 헤드 쪽으로 압력을 공급하고, 실린더 로드 쪽은 84번 IMV를 열어서 탱크부와 연결시키면 된다.

전술한 바와 같이, IMV를 사용하는 방법은 많은 밸브를 사용한다는 것으로 공간과 제어성에 상당한

문제를 일으킬 수 있는데, Fig. 10에서도 알 수 있는 바와 같이 크기를 줄이면서 아주 단순하게 배치되어 있는 특징을 가지고 있으며, 향후 이러한 형식의 IMV를 내장한 굴삭기 제어 시스템을 설계할 때 많은 참고가 될 것으로 사료된다.

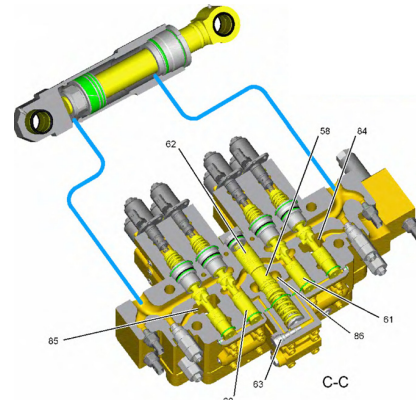


Fig. 10 inner view of model 336F XE

3. 결 론

이 해설에서는 EATON과 Caterpillar의 두 개 기업을 통하여 어떻게 혹은 어떠한 방식의 IMV를 사용하고 있는지에 대해서 논하였으며, 조사된 자료들을 통하여 최대한 근접하는(두 기업의 추구하는 혹은 개발 목표로 했던) 결과를 도출해 보기로 한다. 이 해설로부터 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지금까지 살펴 본 결과로, 에너지 문제가 앞으로도 더욱 심각해질 것으로 사료되는 바, IMV 혹은 이 보다 더 우수한 기술을 건설기계에 적용시켜야 함은 당연한 과제이며, 선진국 기술들을 능가하는 국내 기술들이 서둘러 도출되어야 할 것으로 사료된다.

2. 기존 4/3 방식 스톱을 대신하여 간단하게 에너지 효율을 상승시키는 방안으로 EATON에서 제안하는 Semi-IMV 방식도 바람직하다. 그러나 에너지 재생을 고려하면 Full-IMV 방식이 필요하다.

3. 캐터필러에서 제안하는 방식은 기계적인 피드백 스프링을 가지고 있기 때문에 매우 우수한 피드백 성능을 얻을 수 있다. 그러나 새로운 IMV를 개발하는 입장에서는 이와 유사하지만 독특한 모델 특히 특히 침해나 기업의 이미지에 손상이 없는 모델 개발이 우선되어야 한다.

4. 면적 선도에 있어서, 캐터필러에서 제안하는 방식은 기존 스톱방식과 다르기 때문에 제어가 매

우 민감한 설계 인자가 될 수 있다. 따라서, 기존 스펙의 면적 선도를 제어할 수 있는 기술이 필요하다.

후 기

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

참고문헌

1. US 3922855, "Hydraulic circuit for an excavator", Caterpillar Tractor Co., 1975
2. US 4437385, "Electrohydraulic valve system", Deere & Company, 1984
3. Thomas J. Ulerg, "Proportional cartridge valves-economical alternative to large valves", Agricultural Engineering 71, No.4, P.11
4. R. Book and C.E. Goering, "Programmable electrohydraulic valve", SAE Transactions, Vol. 108, No. 2, pp.346~352, 1999
5. Song Liu, Bin Yao, "Coordinate control of single-rod hydraulic cylinders with programmable valves and improved working mode selection", NCFP 102-2.4/SAE OH 2002-01-1343
6. Hu H, Zhang Q, "Realization of programmable control using a set of individually controlled electrohydraulic valves", Int J Fluid Power 2002, Vol. 3, No. 2, pp. 29~34

7. Hu H, Zhang Q, "Development of a programmable E/H valve with a hybrid control algorithm", SAE technical paper 2002-02-1463, 2002
8. Eaton, "Fail operational controls for an independent metering valve", 2018
9. Eaton, "Introducing the EATON advanced mobile valve with independent metering", 2018
10. Caterpillar, https://www.youtube.com/watch?v=Oa_mGJOr1zw, 2018
11. Caterpillar, "Specalog for 336EH hydraulic excavator", AEHQ6904-01, 2012
12. Caterpillar, "336F LEX catalogue", 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 마이크로노시스템/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