

굴삭기의 연비저감을 위한 차세대 유압 기술 Next Generation Hydraulic Technologies for Improvement of Excavator Fuel Efficiency

최 임 국
L. K. Choi

1. 서 론

굴삭기의 구동은, 엔진을 통하여 화석연료인 디젤유를 회전운동으로 변환하고, 변환된 회전운동을 유압펌프를 통해 유압에너지로 다시 변환하여, 메인컨트롤밸브를 통해 여러가지 액추에이터로 유압 에너지를 적절히 분배하는 과정을 거치면서 이루어진다.

굴삭기 구동에너지의 원천인 원유가격은 서부 텍사스유 기준, 2008년 11월 리터당 33달러를 저점으로 지속적으로 상승하여, 2011년 이후 리터당 80~110달러선을 유지하고 있으며, 이러한 유가상승에 따라, 굴삭기의 연비가 가장 중요한 구매요소가 되어 가고 있다.

굴삭기의 연비를 향상시키기 위해서 기존의 직결식 엔진 냉각팬에서 팬 클러치타입 또는 유압펌프와 모터를 이용한 가변 팬제어 등으로의 변화되고 있으며, 엔진 자체의 효율개선 및 성능 최적화와, 펌프등 유압기능품의 효율개선, 메카트로닉스 기능의 접목을 통한 시스템 효율 향상, 유압시스템의 변경과 같은 시도가 이루어지고 있다.

특히, 유압시스템의 변경시도가 많은 굴삭기 제조사에 의해 시도되고 있는데, 종래의 NFC(Negative Flow Control), PFC(Positive Flow Control), LS(Load Sensing) 시스템으로 크게 三分되어 적용 중인 굴삭기 유압시스템이, 선회구동을 유압모터에서 전기모터로 변경한 선회 하이브리드 시스템, 교축손실을 대량 발생시키는 선회동작을 독립회로로 구성하여 선회 교축손실을 제거한 선회독립시스템, 하나의 펌프가 하나의 액추에이터 구동을 담당하게 하여 메인컨트롤밸브를 없애고 교축손실을 최소화한 PCA(Pump Controlled Actuation) 시스템, PCA 시스템에서 한 걸음 더 나아가, 각각의 액추에이터 구동을 담당하는 펌프의 구동을 개별적인 전기모터가 담당하게 하는 EHA(Electric Hydraulic Actuation) 시

스템, 하나의 펌프를 적용하면서도 PCA시스템의 효과를 기대할 수 있는 디지털 하이드로릭 시스템, OC(Open Center)시스템의 Center Bypass Line으로 Bleed-Off되는 유량을 제거하여 에너지 효율을 향상한VBO(Virtual Bleed Off) 시스템, 및 유량제어 자유도를 극대화 할 수 있는 독립유량제어 시스템(Independent Metering System) 등이 있으며, 하기에 당사에서 개발 중인 독립 유량제어 시스템의 특징에 대해 자세히 기술하고자 한다.

2. 독립유량제어 시스템

2.1 운전자 편의성 극대화

굴삭기가 작업을 수행하는 작업장의 종류는 건물 파쇄, 광산, 농지정리, 삼림, 호수(수질정화)등 매우 다양하며, 세계각지의 각 시장별 운전자 성향도 매우 다양해 기존 굴삭기의 제한된 유량제어자유도의 유압시스템으로 시장요구사항을 모두 만족시키는 것은 불가능에 가깝다고 할 수 있다. 독립 유량제어의 시스템의 경우 그림 1과 같이 펌프, 유압탱크와 실린더의 헤드, 로드를 연결하는 유압배관에 각각 전자비례제어밸브를 장착하여, 유량제어를 독립적으로 실시, 자유도를 극대화 할 수 있기 때문에, 그림 2와 같이 간단한 운전석 계기판 조작을 통해 개별 운전자가 원하는 최적의 작업속도 및 기능을 구현할 수 있다.

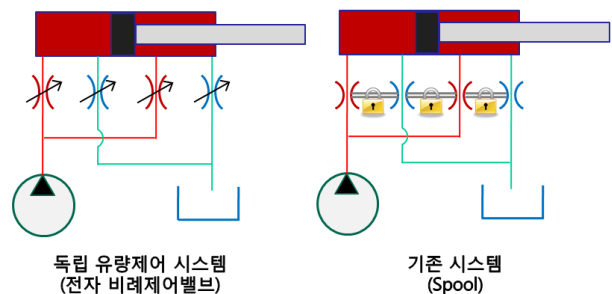


그림 1. 유압회로



그림 2. 운전석 계기판

또한 전자비례제어밸브의 제어신호 및 압력센서등의 출력값을 비교하여 시스템 이상시 자가진단기능을 구현할 수 있으며, 또한 원격지에서 시스템을 이상을 감지하여, 고장이 발생하기 전에 미리 조치가 가능하다.

그리고 부가적인 운전자 편의기능의 구현도 별도의 하드웨어 추가 없이 프로그램 변경만으로 가능하며, Boom Floating기능, Teach and Play Back 기능의 원활한 구현은 실험적으로 확인되었다.

2.2 유압에너지 효율향상

운전자 편의성 극대화와 더불어, 유량제어 자유도의 극대화를 통해 얻을 수 있는 효과로는 유압에너지 효율향상이 있다.

실린더의 헤드, 로드에 공급되고 유압탱크로 회귀되는 유량을 독립적으로 제어가능하기 때문에 붐하강, 선회기동, 암재생시 펌프 토출유량을 최소화 또는 제거할 수 있으며, 유압 어큐물레이터를 장착하여, 붐하강 및 선회정지시의 유압에너지를 회수하여 재사용하는 기능도 비교적 용이하게 구현 가능하다.

당사에서 굴삭기에 독립유량제어 시스템을 장착하여 실험적으로 에너지 효율 향상효과를 측정한 결과, 트럭상차 작업 65%, 고르기 작업 25%, 아이들링 15% 기준으로 21.5%의 연비개선 효과를 확인하였다.

2.3. 시스템 개요 및 구성

간략하게 독립유량제어 시스템의 개요 및 특징을 NFC시스템과 비교 정리하면 아래의 표1과 같다.

	독립유량제어	NFC
펌프	압력/유량제어	유량제어
메인컨트롤	전자비례제어	유압제어

밸브	Closed Center /Open Center	OC
조이스틱	유압식/전자식	유압식
부가기능	S/W 변경	H/W 추가
	Boom Floating Teach and Play-Back 자가진단 원격제어	-

표 1. 시스템 개요

NFC 시스템과 달리, 독립유량제어 시스템은 압력제어 또는 유량제어방식으로 구현이 가능하며, 각각의 장/단점이 존재한다.

압력제어 기반의 독립유량제어 시스템의 경우, 시스템 제어로직의 구성이 유량제어에 비교해 비교적 단순하며, 일반적인 압력제어 시스템과 마찬가지로 약간의 부가적인 교축손실을 감안한다면 메인펌프를 하나만 적용하여도 시스템 구성이 가능해진다. 특히 릴리프밸브를 통한 유량손실을 제거할 수 있는데, 선회기동시에 특히 효과가 크다는 장점이 있다.

유량제어 기반의 독립유량제어 시스템의 경우, 시스템 제어로직의 구성이 압력제어에 비교해 비교적 복잡하지만, 기존 유량제어 시스템에서 접근하기 용이하다는 장점이 있다.

실제 당사의 경우 압력제어 방식의 독립유량제어 시스템을 적용하고 있으며, CAT의 336EH의 경우 유량제어방식의 독립유량제어 시스템을 적용 하고 있다.

조이스틱의 경우 전자식 조이스틱을 적용하여 제어기와 직접 연결하는 경우에 비교해 유압식 조이스틱에 압력센서를 추가하여 압력센서와 제어기를 연결하는 경우가 원가적인 측면 및 조작감에서 우수하다.

당사의 시스템 구성은 아래 그림3과 같다.

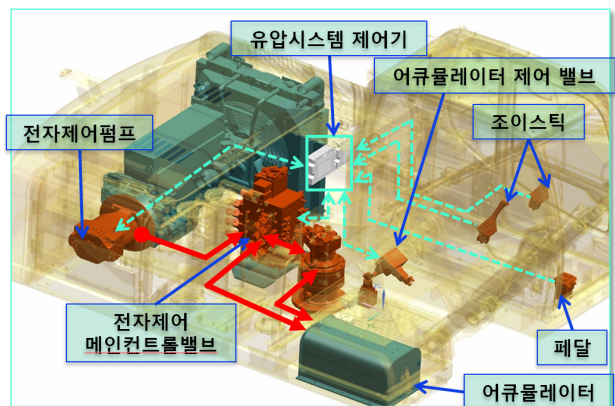


그림 3. 시스템 구성

운전자의 조이스틱 조작에 따른 모든 조이스틱 출력신호 및 펌프, 메인컨트롤 밸브등의 작동상태를 나타내는 압력신호는 유압시스템 제어기로 입력되며, 제어기에서 입력되는 신호를 해석하여 최적의 구동조건을 도출, 각 부품의 동작을 지령한다.

이때 유압시스템 제어기에 입력되는 조이스틱 신호는 전기신호이어야 하는데, 원가 및 조작감의 측면에서 유압식 조이스틱과 압력센서를 장착하여, 전기신호가 제어기로 입력되도록 구성하였다.

또한 낭비되는 유압에너지의 재생을 위하여 어큐물레이터를 장착하여 선회모터 및 메인컨트롤 밸브의 붐하강 포트측에 연결, 선회정지 및 붐 하강시의 유압에너지가 어큐물레이터로 저장될 수 있도록 구성하였다.

다만, 붐하강시에 어큐물레이터에 저장가능한 유압유의 압력이 선회정지시에 비교해 50% 수준이므로 어큐물레이터를 별도로 장착해야 하여야 하며, 90도 상차작업기준 선회정지시에 어큐물레이터에 저장할 수 있는 유압에너지에 비교해 붐하강시에 어큐물레이터에 저장할 수 있는 유압에너지의 크기가 두 배 이상 크지만, 붐하강시의 압력이 낮아 그 활용도가 낮기 때문에, 추가적인 에너지 효율개선을 위해서는 붐하강시의 유압에너지의 추가적인 활용방안을 모색할 필요가 있다.

3. 결 론

에너지 비용 상승과 맞물려 많은 굴삭기 제조사에 의해 현재 진행중인 굴삭기 유압시스템의 변경시도는 사반세기 이상 세계 굴삭기 유압시스템을 장악하고 있던 NFC(Negative Flow Control), PFC(Positive Flow Control), LS(Load Sensing) 시스템 시대의 변화를 예고하고 있다. 서론에 언급한 현재 개발 중 또

는 부분적으로 굴삭기에 적용 중인 유압시스템은 모두 기존 시스템에 비교해 각각의 장점과 단점을 가지고 있으며, 현재 수준으로 하나의 시스템이 근 미래에 기존의 시스템을 전반적으로 대체하기에 충분하지 않다고 판단되지만, 지속적인 시스템 개발, 개선 및 융합시도를 통한 유압에너지 효율의 획기적인 향상을 기반으로 기존 시스템을 대체할 수 있을 정도의 우수하고 완성도 있는 시스템 개발이 가능하리라 예측한다.

참고 문헌

- 1) Björn Eriksson, "Control Strategy for Energy Efficient Fluid Power Actuators, Utilizing Individual Metering", Linköping Studies in Science and Technology Thesis No. 1341
- 2) Amir Shenouda, "Quasi-Static Hydraulic Control Systems and Energy Savings Potential Using Independent Metering Four-valve Assembly Configuration", Woodruff School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology August 2006

[저자 소개]



최임국(책임저자)

E-mail : sevensiz@hhi.co.kr

Tel : 052-202-8809

2000년 부산대학교 기계공학 학사. 2014년 울산대학교 자동차선박기술대학원 석사, 2000년~현재 현대중공업 건설장비 선행개발부 차장