

차세대 굴삭기 유압시스템 개발 동향 개요 Development Trend of Next Generation Hydraulic Systems for Excavator

안 경 관
K. K. Ahn

1. 서 론

기존의 건설기계는 열악한 작업환경 속에서 장시간 작업을 수행해야 함으로 건설기계의 내구성 및 작업자의 안락성, 생산성 등이 무엇보다도 중요한 장비의 개발 요소가 되었다. 그러나 근년에 들어 전 세계적으로 유가 상승 등으로 에너지에 대한 문제가 시급한 문제로 대두되고 있으며, 이와 아울러 고효율 저연비 굴삭기 시스템에 대한 시장의 요구가 점점 더 커져가고 있다. 이에 대한 대안으로 하이브리드 굴삭기, 전기 굴삭기가 여기에 대한 대안이 될 수 있으나, 효율 상승 대비 장비가 고가이므로 시장이 성숙되기까지 시간이 많이 소요되리라 생각된다.

따라서 현재 가까운 미래에 적용 가능한 굴삭기 유압시스템의 방향은, 우선 기존의 굴삭기의 유압시스템에 추가적인 시스템 또는 전자제어기능을 부가함으로써 약간의 장비가 상승에 상당한 효율 개선 및 연비절감을 달성하고자 하는 방향으로 시스템의 개발이 전개되고 있다.

본 특집호에서는 상기의 가까운 미래에 적용 가능한 굴삭기 유압시스템의 방향에 초점을 맞추어 굴삭기에 있어서 유압기술의 발전과 향후 추세에 대하여 전망하고자 한다. 특히 기존 굴삭기 유압시스템에 대한 간단한 설명과 아울러 현재 중장비 3사 및 해외 선진사의 유압시스템 기술을 아울러 본고에서 설명하고자 한다.

2. 기존의 굴삭기 유압시스템 소개

기존의 굴삭기 유압시스템은 구동 펌프의 제어 방식에 따라 크게 오픈센터 시스템(Open Center System, Negative 또는 Positive Control)(그림 2.1)과 클로즈드 센터 시스템(Closed Center System 또는 Load Sensing System)으로(그림 2.2) 분류할 수 있다. 물론 이와 같은 분류에서 기본적인 펌프 제어인 마력제어는 상기 2가지 분류의 펌프제어와 동시

에 작동하고 있다. 지난 30년간 일본을 비롯한 한국에서는 네가티브 제어에 의한 오픈센터 시스템이 주로 채택이 되어왔고, 유럽을 위주로 로드센싱에 의한

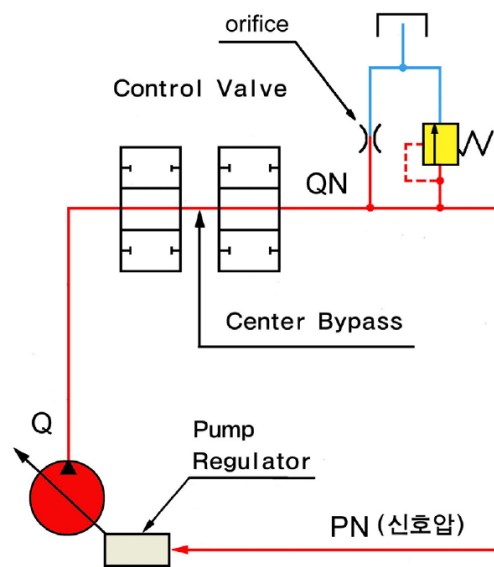


그림 2.1 Negative제어에 의한 오픈센터시스템

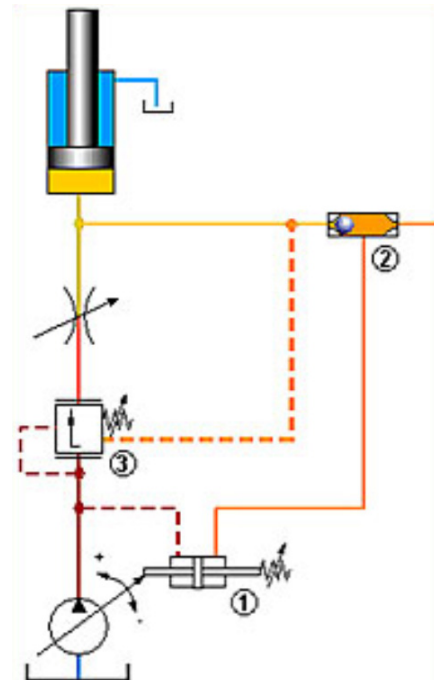


그림 2.2 로드센싱 제어에 의한 클로즈드 센터시스템

클로즈드 센터 시스템이 주로 사용이 되어왔다. 특히 국내에서는 일본 K사의 기계유압식 가변 펌프인 K3V펌프와 센터바이패스 라인이 탑재된 MCV의 조합으로 된 유압시스템이 기존의 굴삭기 시장에서 대세로 군림을 하였다. 아마 그 이유는 단순한 구조로 다른 센서나 제어용 컨트롤러가 탑재되지 않더라도 작업자가 조작레버를 작동하지 않는 경우 충분한 에너지 절감효과를 구현할 수 있고, 열악한 작업환경에서 충분한 수명을 보장할 수 있었기 때문이라고 이야기 할 수 있다.

상기 Negative제어(이하 네가콘) 및 Positive 제어(이하 포지콘)에 의한 방식은 로드센싱 시스템과 비교해서 작업 부하에 따른 시스템의 응답이 일정하지 않다는 특징을 가지고 있다. 또한 부하가 큰 차이나는 붐과 버킷, 압과 스윙의 동시 구동을 위하여 우선기능이 탑재되어 있어 이로 인한 인위적인 에너지 손실이 상당하다고 이야기 할 수 있다.

또한 로드센싱의 경우에 다수개의 액추에이터 구동시, 다수개의 액추에이터의 부하가 극단적으로 차이가 나는 경우 작은 부하 측 구동기에서의 압력보상밸브의 압력손실이 상당히 커서 이로 인한 에너지 손실도 대단히 크다.

이상의 기존 시스템은 어느 시스템을 채택하더라도 조작성을 확보하기 위하여 상당한 에너지 소실을 감내해야 하는 상황이다. 이와 반해 최근 개발되는 건설기계 유압시스템의 개발 방향은 다수개의 유압센서 및 전자비례제어밸브를 사용하여 발생된 부하에 적합한 유량을 공급하기 위하여 인위적으로 MCV밸브를 제어하거나 다량의 릴리프로 인한 유량손실이 발생시 펌프 토출유량 등을 줄이는 등 다양한 방법으로 에너지 절감을 구현하고 있다.

다음으로 국내의 중장비 3사가 개발하는 굴삭기 유압시스템을 비교 분석하고자 한다.

3. 국내 중장비 3사의 굴삭기 유압시스템 분석

국내 중장비 3사의 유압시스템의 큰 변화는 역시 밸브에서의 압력 손실을 최소화하고 에너지 효율을 극대화하는 시스템을 구현하는데 초점을 두고 있다.

두산 인프라코어는 D-EcoPower시스템을 도입하여 전자유압 굴삭기 시스템을 구현하고 있다. D-EcoPower시스템의 핵심은 VBO(Virtual Bleed Off)기술이 핵심기술이다. VBO는 앞서 포지콘과 네

가콘 방식에서 설명한 탱크로 흘러가는 센터바이패스 유량을 제거하는 것이 핵심이다. 제어성을 위해 손실되는 유량 즉 Bleed Off 되는 것을 가상(Virtual)으로 하여 제어효과는 유지하면서 손실을 제거하는 기법이다. 또한 펌프에 장착된 사판각 센서와 전자비례 감압밸브를 통해 획득된 토출량과 토출 압력을 실시간으로 감지하여 운전자가 요구하는 유량과 압력을 제공하도록 하여 유압유 손실에 의한 부분이 획기적으로 개선한 시스템이다.

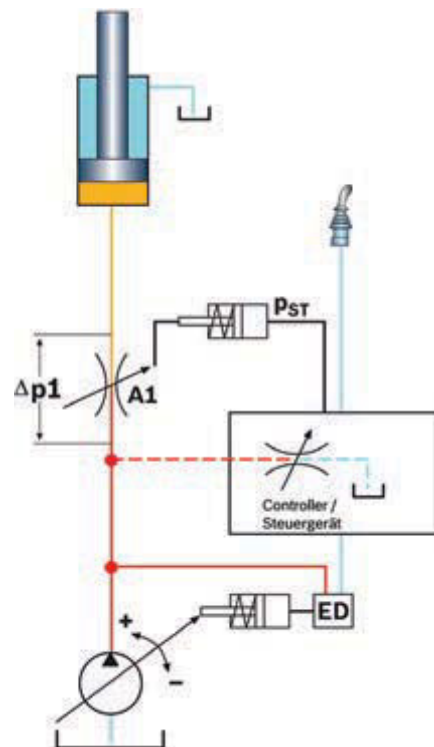


그림 3.1 가상 블리드 오프 시스템

한편, 현대중공업은 현재 Hi-Poss시스템(Hyundai Intelligent Power Optimal Sharing and Energy Saving System)을 시장에 출시하여 좋은 반응을 얻고 있다. 이 시스템은 운전자의 조이스틱 및 펌프, MCV등의 작동을 나타내는 센서신호를 제어기에 입력하고, 이를 해석하여 최적의 구동조건을 도출, 펌프 및 각 제어밸브의 동작을 제어한다. 또한 낭비되는 유압에너지의 재생을 위하여 유압 어큐물레이터를 장착하여 선회모터 및 메인컨트롤 밸브의 붐하강 포트측에 연결, 선회정지 및 붐 하강시의 유압에너지가 어큐물레이터로 저장될 수 있도록 구성하여 상당한 에너지 절감효과를 얻고 있다.

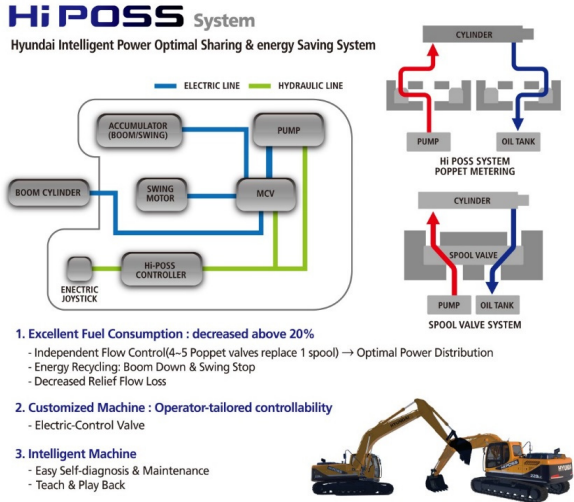


그림 3.2 Hi-POSS시스템 개략도

볼보굴삭기의 유압시스템은 포지콘 방식으로 유압 조이스틱에 의해 발생하는 제어압력을 압력센서를 이용하여 컨트롤러에 입력하고, 이 정보를 이용하여 펌프 사판각을 제어한다. MCV는 기본적으로 유압 조이스틱 신호로 움직이나, 일부 기능에 따라 전자비례감압밸브로 제어되기도 한다. 볼보 시스템은 조이스틱의 신호에 따라 펌프의 유량을 제어하도록 되어 있으며, 복합 조작 시 압력보상 손실을 줄일 수 있도록 펌프를 제어함으로써 연비의 향상을 가져올 수 있다. 또한 경부하 및 중부하를 동시에 구동해야 하는 경우, 2개의 펌프를 부하별로 분리시킴으로써 압력보상손실을 대폭 줄일 수 있다.

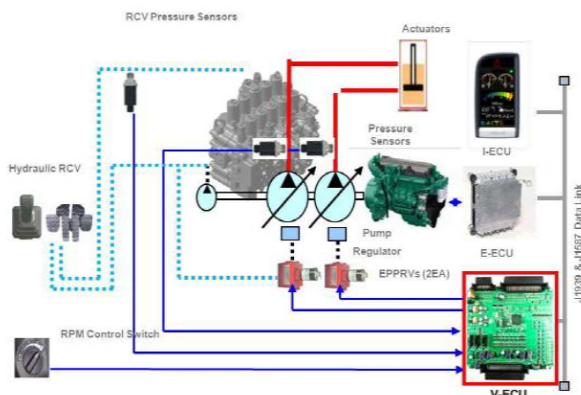


그림 3.3 VOLVO 유압 시스템 개략도

4. 해외 굴삭기 유압 시스템 개발 동향

앞서 국내의 중장비 3사의 유압시스템의 기능에 대하여 알아 보았다. 본 절에서는 최근 관심을 끌고

있는 해외 선진사들의 유압시스템 개발 동향에 관하여 소개하고자 한다.

아래 그림 4.1은 보쉬 렉스로스사의 유압 플라이휠(Hydraulic FlyWheel, 이하 HFW) 개략도를 나타내고 있다. 본 시스템은 사판각이 정역으로 제어되는 가변 피스톤 펌프를 엔진과 메인 펌프의 양 축에 직결하여 부하가 적을 경우에는 엔진의 여유 동력을 어큐뮬레이터에 축압하고, 중부하 작업시 추가 동력이 소요되는 경우에는 어큐뮬레이터의 축압된 동력을 사용하여 상시 엔진을 최대의 효율점에서 작동하도록 설계되어 있다. 따라서 여기서 사축식 피스톤 유닛은 에너지 충전시에는 펌프로서 작동하게 되고, 에너지 방출시에는 모터로서 작동하게 된다. 여기서 가변 피스톤 펌프/모터 및 밸브 블록의 제어는 BODAS제어기라는 보쉬의 전용 제어기로 구현되도록 되어 있다.

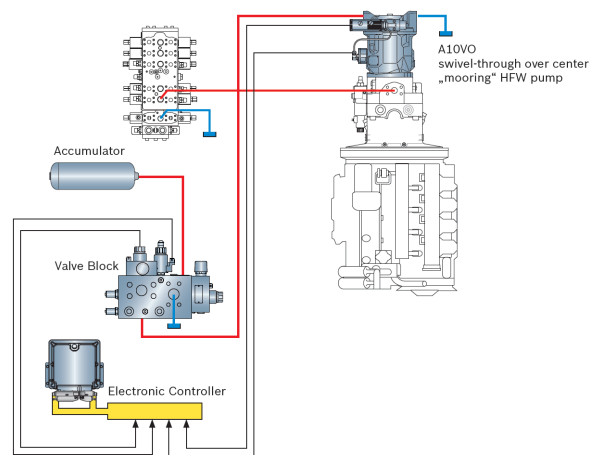


그림 4.1 유압 플라이휠(HFW) 개념도

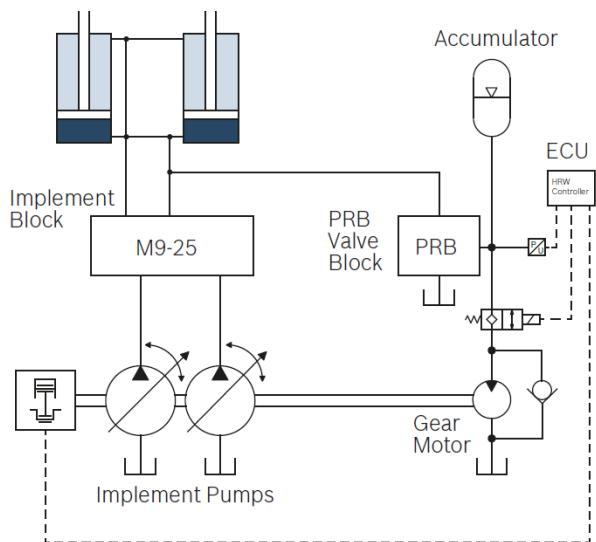


그림 4.2 에너지 회생 붐(PRБ) 개략도

또한 렉스로스사에서는 붐 하강시의 중력 위치에너지를 회생(Power Regeneration Boom, 이하 PRB) 하기 위하여 붐 미터 아웃 유량을 제한하여 HFW와 같은 개념으로 어큐물레이터에 여분의 에너지를 충전하는 방식을 채택하고 있다.(그림 4.2)

그리고 Parker사에서는 상기의 렉스로스사와 유사하나 다른 방식으로 유압 어큐물레이터에 붐 하강시의 위치에너지를 저장, 부하가 요구되는 작업시에 사용하는 시스템을 제안하고 있다. 이전의 보쉬 렉스로스 시스템은 엔진의 최적 효율점에서의 작동이 목표였으나 본 시스템은 추가적인 에너지 회생을 담당하는 유압모터를 추가로 두고 이 모터가 제2의 추가 펌프를 구동하도록 하여 유압을 발생시켜 어큐물레이터에 충전하도록 구성된다.

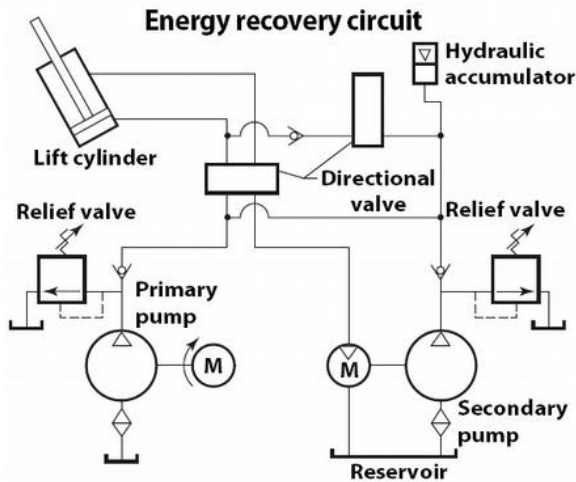


그림 4.3 Parker사의 에너지 회생 개략도

또한 캐터필러사는 그림 4.4와 같은 CAT 336E 유압하이브리드 굴삭기를 개발하였다. 본 시스템은 다음의 3가지 요소를 포함하고 있다.

- (1) Electronic Standardized Programmable pump
- (2) Adaptive Control System (ACS)
- (3) Hydraulic Hybrid Swing System

본 시스템에서는 선회 제동시의 선회 관성에너지를 유압 어큐물레이터에 축적하고자 한다. 선회 제동시 유압 모터는 유압 펌프와 같은 작용을 하며 이 때 회생되는 유압에너지는 유압 어큐물레이터를 이용하여 흡수하도록 되어 있다. 위의 3가지 기능을 탑재함으로써 기존 시스템과 비교하여 25%의 연료량 감소 효과를 얻을 수 있다.

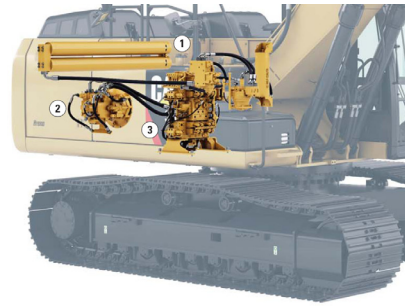


그림 4.4 CAT 336EH유압 하이브리드 굴삭기

다음은 미국 Purdue대학의 Monika교수 등이 제안한 DCS(Displacement Controlled System)이다.

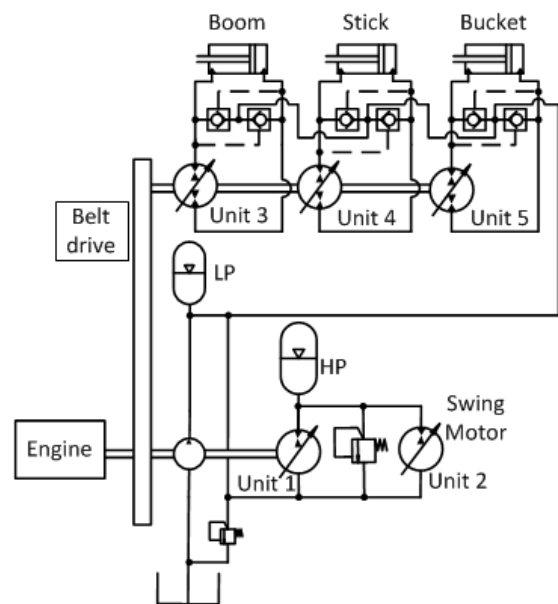


그림 4.5 Pudedue대학에서 새롭게 제안하는 하이브리드 굴삭기 시스템

본 시스템은 펌프의 용적을 제어하는 방식으로 새롭게 제안된 유압하이브리드 시스템으로 기존 로드 센싱 시스템에 비교하여 약 40%의 에너지 절감 효과가 있다고 보고되고 있다. 본 제안하는 시스템은 4가지 작동영역에서 사용되는 펌프/모터의 용적제어를 통하여 에너지 효율을 극대화하고 있다. 또한 선회제동시 에너지 회생을 통하여, 부하 분산 및 동력 분배로 기존 대비 50% 감소된 엔진으로 동일한 성능을 얻을 수 있다고 한다.

최근 기존의 굴삭기 시스템을 동일하고 유지하면서 MCV의 미터인 및 미터 아웃 특성을 개별적으로 제어하기 위한 밸브 시스템이 다양하게 제안되고 있다. 이에 대한 대표적인 유압회로를 그림 4.6에 나타내고 있다. 기존의 하나의 주 제어 스플이 4개 혹은 5

개의 전자제어밸브로 구성된 밸브 블록에 의하여 대체되어 이상적인 미터인 및 미터아웃 특성을 개별 작동기가 가지도록 설계가 가능해졌다. 또한 5개의 전자제어밸브의 경우는 어큐뮬레이터 등에 에너지 회생이 가능한 구조로 회로를 설계할 수 있다. 차세대 유압 시스템으로서 상당한 진전을 이루고 있는 시스템이라고 이야기 할 수 있다.

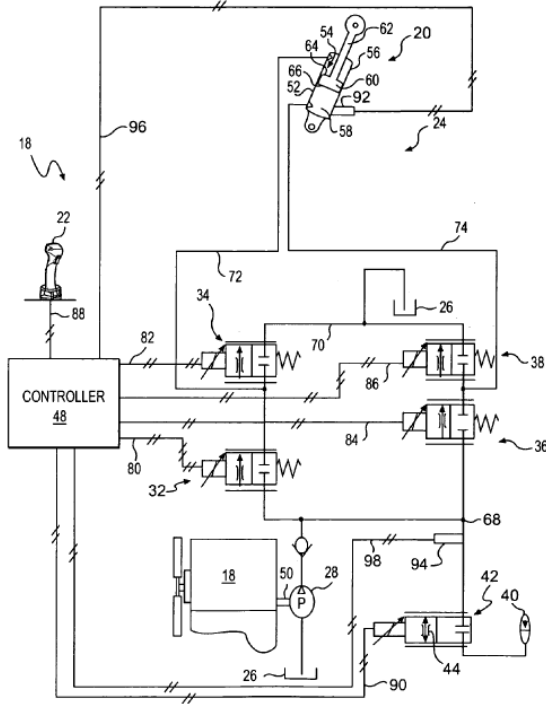


그림 4.6 IMV시스템 개략도

5. 결론

본 해설기사는 기존의 굴삭기 유압시스템에 대한 설명과 아울러 국내 건설중장비 3사, 나아가 해외 선진사의 굴삭기 유압시스템 기술에 대하여 소개하였다. 기존의 굴삭기의 유압굴삭기 유압시스템과 비교할 때, 현재 국내 3사 및 해외 선진사의 유압시스템은 고효율 및 연료 절감 시스템의 목표를 향하여 최

적화된 시스템으로 나아가기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 본 해설기사의 내용과 같이 차세대 굴삭기 시스템은 하이브리드 및 전기화된 굴삭기 시스템의 도입이전에 기존 시스템의 개량을 통한 시스템 효율의 최적화 및 전자제어를 통하여 고효율화 시스템이 계속하여 개발되고 적용되리라 생각된다.

참고 문헌

- 1) <http://www.boschrexroth.com>.
- 2) <http://www.ivtinternational.com/>
- 3) <http://machinedesign.com/hydraulics/hydraulic-batteries-save-fuel>
- 4) <http://www.cat.com/>
- 5) Rohit Hippalgaonkar and Monika Ivantysynova, A Series-Parallel Hydraulic Hybrid Mini-Excavator with Displacement Controlled Actuators, The 13th Scandinavian Int. Conf. on Fluid Power, SICFP2013, June 3-5, 2013, Linköping, Sweden, pp. 31-42
- 6) US Patent 7,194,856 B2, 2007

[저자 소개]

안경관(책임저자)

E-mail : kkahn@ulsan.ac.kr

Tel : 052-259-2282

1990년 서울대학교 기계공학과 졸업(공학사), 1992년 한국과학기술원 기계공학과 석사졸업, 1999년 동경공업대학 정밀기계시스템 박사 과정 졸업. 1992년 삼성중공업 중장비 사업본부 입사, 2000년~현재 울산대학교 교수. 에너지 회생을 위한 유압시스템의 연구에 종사. 공학박사

