

# 굴삭기 시스템의 발전 방향 Future Excavator System

장 달 식  
D. S. Jang

## 1. 서 론

1830년대에 첫 등장한 굴삭기(Shovel)는 증기기관과 Cable/Chain을 이용하여 작동하는 방식이었기에 현재의 유압식 굴삭기(Hydraulic Shovel)와는 장비의 목적에서는 동일하지만 중심 시스템 측면에서 보면 전혀 다른 것이다. 1951년에 이르러 유압펌프와 실린더를 채용한 유압굴삭기(Hydraulic Shovel, Excavator)가 Poclain사에 의해 개발되었고, 1960년대부터 유압굴삭기가 붐을 일으키게 되었다. 국내의 경우 이 포클레인 사의 굴삭기가 도입되었기에 아직도 “포크레인”이라고 불려지기도 한다. 명칭에 대하여 굴착기와 굴삭기가 논쟁의 대상이 되어 국어 학자들은 굴착기를 주장하지만 일반적으로 굴삭기가 통용되고 있다. 중요한 것은 굴삭기의 핵심이 유압 시스템이기에 Hydraulic Shovel이라고 부르는 일본의 문화와 단순히 굴삭기라고 부르는 국내의 문화에는 상당한 차이가 있다는 점이다. 다시 말하자면 굴삭/굴착을 관점으로 하여 장비를 바라보는 것과 유압 시스템을 중심으로 하여 보는 것의 차이가 굴삭기 기술에서 미묘한 차이를 보여주고 결국 핵심 포인트를 짚어가는 것이 승자의 길로 가는 것이다.

굴삭기 시스템에서 최근의 화두는 역시 전자 유압이라고 누구나 인정하고 있으며 상용화된 제품들이 시장에서 연비 및 제어성을 만족시켜가면 각광을 받고 있다. 본 기고에서는 굴삭기의 핵심을 이루는 유압 시스템의 과거와 미래를 살펴보고자 한다.

## 2. 굴삭기 시스템의 변화

### 2.1 다시 네가콘(NFC)에서 포지콘(PFC)으로

초기 굴삭기의 시스템은 로드센싱(LS, Load Sensing) 이라는 폐회로(Closed Circuit)시스템과 포지콘이라고 불리는 Positive Flow Control 즉 개회로(Open Circuit)시스템으로 시작되었다. 로드센싱 방식은 그 의미와 다르게 부하에 종속되지 않고 작업기가 동일한 속도를 제공하는 방식으로 작업자가

항상 그 속도를 예측할 수 있어 유럽에서 각광을 받았다. 반면에 포지콘 방식은 초기 바이패스 유로에 의하여 펌프의 유량이 탱크로 흘러가다가 조이스틱의 신호압으로 MCV(Main Control Valve)의 스톱이 움직임에 의해 탱크로 가던 펌프 유량이 전진적으로 액추에이터로 가는 방식이기에 부하에 따라 액추에이터의 시작점과 속도가 다르게 된다. 이 현상은 로드센싱 방식과 같이 작업자가 예측을 하기 어려운 측면은 있으나 부하를 인식할 수 있는 소위 “Load Feeling”을 제공하여 작업자가 공사 상황을 쉽게 인식할 수 있어 미국과 아시아의 고객들이 선호하였다. 로드센싱 방식은 이점이 불가하므로 차량이 흔들려야 인식이 가능하기에 일본 고마츠사의 경우 기본은 로드 센싱이지만 MCV의 스톱을 제어하는 신호 라인에 부하에 따라 압력을 낮추어 주는 기능을 추가하여 부하의 인식(Load Feeling)을 가능하게 하였다.

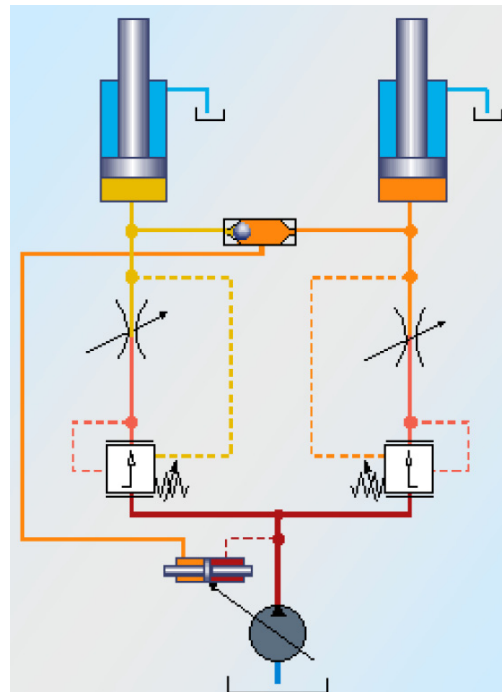


그림 2.1 로드센싱 시스템 회로도/Rexroth Mobile/

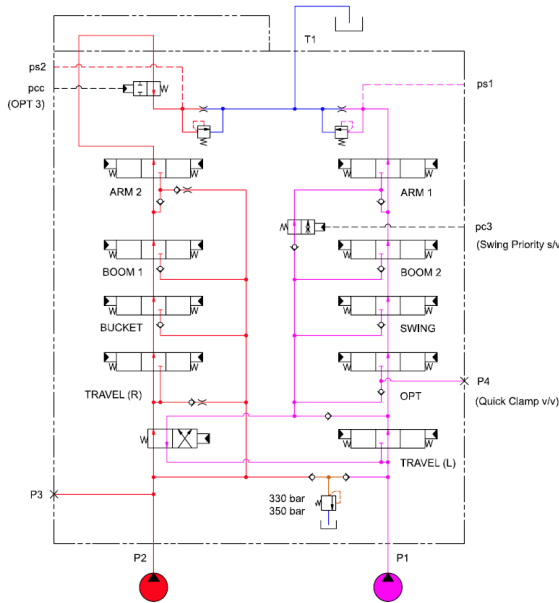


그림 2.2 네가콘 시스템 회로도

하지만 포지콘 방식은 1-2개의 펌프로 7개 이상의 액추에이터에 압유를 공급하여야 하기에, 다양한 조이스틱 신호를 조합하여 펌프 유량 신호를 생성시키는 일명 "셔틀밸브 블록"이 필요하다. 현재의 기술로는 문제가 없을 수 있으나 예전에는 많은 셔틀밸브 조합 중 하나만 고장을 일으켜도 장비가 오작동을 하였고 그 가격도 만만치 않아 일본을 중심으로 네가콘 방식이 개발되었다. 장비를 전체적으로 보면 Negative System이란 존재할 수 없다. 단지 펌프의 입장에서 토출 유량의 요구 신호에 반대로 유량을 공급하는 방식이다. 앞서 기술한 포지콘 방식에서 펌프 유량이 탱크로 가는 길목에서 오리피스를 설치하여 여기서 발생하는 압력을 신호압으로 사용하는 나름 획기적인 방식이다. 별도의 셔틀밸브 블록이 사용되지 않기에 원가 측면에서도 유리하고 미세한 신호압을 발생시키는 셔틀밸브가 없어 잔고장의 요인을 근원적으로 해결하는 장점을 가지고 있다. 필자의 사견으로는 이 네가콘 방식은 서방 고객과 엔지니어의 취향에 맞지 않았고 반면 이를 잘 이해하고 활용한 아시아 국가들이 굴삭기 시장과 기술을 선도하는 기회가 되었다고 생각한다.

그러나 한 시대를 점유한 이 네가콘 방식도 점점 퇴보의 시기를 맞고 있다. 그 내면을 보면 굴삭기 시장의 변화에 근거를 두고 있다. 초기 굴삭기의 주된 작업은 그야말로 굴삭이었는데 이제 점점 단순하면서 역동적인 굴삭의 비중이 감소하고 섬세한 고르기, 다듬기 및 크레인 모드 작업들이 증가하고 있다. 네

가콘의 가장 큰 약점은 탱크로 가는 유로에 쿨러가 장착되어 있고 이와 병렬로 저압 릴리프밸브인 바이패스 밸브가 설치되어 작업 모드별로 달라지는 유량에 따라 펌프의 압력이 변동하여 작업자의 의지와 관계없이 유량이 변동하여 제어성을 손상시킨다. 이 약점 이외에도 두 번에 걸쳐 네가티브 신호를 주게 되어 로직 전개시 혼선을 주는데, 이는 서방세계에서 수용하기 어려운 점이기도 하였다. 일부 회사에서는 이를 개선하기 위해 이 네가티브 신호를 추가 밸브를 통해 포지티브 방식으로 변경하여 사용하기도 한다. 정리하자면 본질적으로 굴삭기의 용도 변화가 이를 선도하였고 이에 대응하기 위해 제어성의 개선요구와 전자화 등으로 인하여 자연스럽게 포지콘 방식으로 회귀하고 있다.

## 2.2 전자화의 도입

연비가 화두가 되지 않았던 1990년대에도 이미 전자화에 대한 예상은 늘 제기되어 왔으나 신뢰성과 가격 상승이라는 장벽으로 인하여 늘 시도 단계에 머물고 있었다. 전자화가 큰 물결을 타게 된 근저에는 두 가지의 프레임 변화가 있었다. 첫째는 디젤 엔진이 전자제어로 변경된 점이다. 중장비에 전자 부품의 도입에는 매우 큰 시장의 저항이 있어왔다. 차량 제어가 전자로 도입되었던 1980년대 말에 아직 고전 부품인 저항과 콘덴서 및 릴레이가 장착된 미국 C사의 제품에 대한 선호도가 높았다, 비록 컨트롤러 자체의 기술력으로 보면 구식의 낮은 기술이나 사용자 입장에서 보면 자신이 측정하고 수리할 수 있는 적절한 해결 방안 이었다. 그런데 디젤 엔진의 전자화가 환경 규제법규를 만족시키는 방안으로 제공되었고 시장은 어쩔 수 없이 수용하였으며 시간이 흘러감에 따라 전자화가 예상처럼 문제 발생의 요인이 아니라는 인식이 이루어졌고 이를 통해 유압 시스템의 전자화가 추진되기 시작했다. 중장비 유압 전자화를 너무 앞서 진행하여 고통을 당했던 기업들이 있었는데 전자 유압식 로드 센싱을 도입한 H사와 너무 이른 시기에 전자유압식 밸브 그것도 포펫 타입(Poppet Type)으로 개발한 V사 등은 우수한 기술력에도 불구하고 시장의 성숙이 안된 연유로 아픈 역사로 정리하고 말았다.

두 번째의 주요 동인은 연비 경쟁이다. 결국 고객이 더 높은 가격을 지불할 준비가 된다는 것은 TCO(Total Cost of Ownership)관점에서 바라보는 것이다. 기본적으로 성능이 좀더 우수하거나 제어성

이 좋은 것은 선택 시 가점이 될지언정 더 많은 돈을 지불할 결심을 하게 하지는 못한다. 결국 연비 개선을 통해 1일 또는 주어진 작업을 완수하는데 사용되는 디젤유의 사용량을 줄이고 이것은 곧 현금과 직결되기 때문이다. 굴삭기 장비 가격이 높은 것 같지만 사용 기름 값의 누적량이 얼마 되지 않아 그 비용을 넘어서게 되기 때문에 고객의 마음을 얻을 수 있다.

이 연비 혁신에 대한 여망은 장비 메이커를 비롯 다양한 유압 기기 업체들에게 혁신적인 시스템 및 부품연구를 하도록 유도하였지만 아직 시장 진입에 성공한 아이템은 소수에 불과하다. 특히 부품업체가 단독적으로 수행한 것에는 장비와 부품의 입장에서 기술력과 리소스를 집중시켜야 하는 새로운 시스템의 개발에서 한계를 느끼고 있다. 20년이 가까이 되어 가고 있지만 양산에서 독주하는 듯한 전자 유압 시스템의 사례는 거의 없다. 유압 전문가들에게 너무 익숙한 세계적인 시스템들이 아직도 대개 양산화에 어려움을 겪고 있는 것은 효과 대비 너무 높은 가격의 상승이다. 전기식 하이브리드는 전자유압의 범주는 아니지만 매우 높은 기술력에도 불구하고 효과대비 가격 상승이 지나치게 높은 점이 발목을 잡고 있다. 오히려 역설적으로 기존 프레임에서는 거론되기 어려웠던 수준의 기술개발 예를 들어 MCV를 삭제하고 여러 대의 펌프를 사용하는 PCA(Pump Controlled Actuation) 과 같은 기술 개발의 문을 열어 주었다.

### 3. 혁신을 향한 전자 유압 시스템

#### 3.1 유압의 전자화를 통한 혁신 가능성

1990년대 말에 이미 유압 조이스틱을 전자 조이스틱으로 전환하고 MCV에 전자비례 감압밸브를 장착하여 굴삭기 생산하기도 하였는데, 이는 초대형 굴삭기의 경우 유압 조이스틱의 배관라인이 길어 신호가 늦어지고 이로 인해 제어성이 떨어지는 현상을 극복하기 위해 시도되었다. 물론 앞에서 소개한 H사의 경우 매우 앞선 전자 유압시스템이 도입되었으나 시장의 저항으로 결국 중단하였으며 이와 유사한 시도들이 이루어졌으나 성공적인 사례는 찾기 힘들다.

그렇지만 굴삭기가 아닌 불도저(Dozer)의 경우 극복하기 힘든 선진 회사를 전자 유압의 기술로 1등의 자리를 차지한 경우도 있고, 지게차의 경우 핑거 팁

(Finger Tip) 제어 방식의 차량이 20년 가까운 역사를 가지고 시장을 계속 공격하고 있다.

유압 시스템의 전자화는 이제 선택의 사항이거나 별도의 기술이 아니라 연비의 혁신과 제어성 개선 및 개발 기간 단축을 위한 필수적인 방법이자 표준이 되고 있다.

이제까지의 오랜 실패에도 불구하고 사람들은 꿈꾸고 있다, 전자화를 통한 혁신과 이를 활용한 세계 1위가 되는 기업이 되려고.

#### 3.2 유압의 전자화의 성공 모델

두산 인프라코어는 D-ECOPOWER라는 굴삭기 개발로 전자 유압의 효과를 톡톡히 보고 있다. VBO(Virtual Bleed Off)라는 Bosch Rexroth 기술과 두산의 장비 개발 기술이 협업으로 이루어낸 성공작품이다. 두산 인프라코어는 이 기술을 개발하기 이전에 5년에 걸쳐 인공 지능형 굴삭시스템 개발(IES, Intelligent Excavating System)과제를 통해 국내외 15개 기관과 같이 굴삭 로봇 기술을 개발하였다. 이 기간 동안 전자 유압 기술 차원을 넘어 굴삭기를 자유 자재로 제어하고 다양한 방법으로 연비를 개선하는 실전 연습을 수행하였기에 유압 및 전자 엔지니어들에게 VBO기술의 개발은 신비롭거나 저항이 큰 새로운 분야가 아니었다.

새로운 기술의 성공은 최고의 부품과 장비의 기술자들이 거침없는 자신감을 가지고 혼을 다하여 협력할 때 가능하다.

두산이 발표한 카탈로그에 의하면 38톤 급 굴삭기에서 작업량당 연료 소모율이 24% 개선되었고, 시간당 연료 소모율도 21% 개선되었다, 뿐만 아니라 조작 및 제어성이 각각20% 개선 되었다. 미국의 한 고객은 평생에 이런 굴삭기는 처음이다, 유럽의 한 고객은 C사의 하이브리드보다 연비가 좋다는 등의 찬사를 받고 있으며 두산은 이 기술을 현재 및 미래의 근간이 되는 기술로 삼고 있다.

VBO는 앞서 포지콘과 네가콘 방식에서 설명한 탱크로 흘러가는 유량을 제거하는 것이 핵심이다. 제어를 위해 손실되는 유량 즉 Bleed Off 되는 것을 가상(Virtual)으로 하여 제어효과는 유지하면서 손실을 제거하는 혁신적인 기법이다. 또 펌프 압력을 제어하는 방식을 도입하여 기존의 릴리프되는 압력 이하로 펌프를 제어함으로써 고압 작동유의 손실을 제거하였다.



그림 3.1 D-ECOPOWER 굴삭기

반면에 부드러운 제어성과 Load Feeling이 구현되었는데 고속으로 작동되는 제어기와 알고리즘의 개발로 신속하면서도 부드러운 가감속을 구현하였으며 독특한 제어 알고리즘을 통해 폐회로처럼 손실 유로를 막은 상태에서 작업자가 작업 부하에 맞게 동일한 로드 필링을 갖도록 기술을 개발하였다.

좀더 자세히 설명하자면 운전자가 작업을 위해 굴삭기를 조작하면 조이스틱의 유압신호가 MCV에 전달되고 동시에 전자 신호로 변환되어 차량 제어기 EPOS로 전달된다. 이 신호를 받은 컨트롤러는 작업 종류와 부하에 적절하게 필요한 유량을 계산한다. 이 데이터는 곧 펌프 제어 파트에서 이를 최적화 할 수 있는 전자 신호로 변환되어 펌프에 전달함으로써 각 순간마다 최적의 펌프 유량을 공급하게 한다. 뿐만 아니라 펌프에 장착된 사판각 센서와 전자비례 감압 밸브를 통해 획득된 토출량과 토출 압력을 실시간으로 감지하여 운전자가 요구하는 유량과 압력을 제공하도록 한다.

이 뿐만 아니라 굴삭기 작동시 각 구동부가 필요로 하는 최적화된 유량만을 공급함으로써 기존 시스템에서 유압유 손실에 의한 부분이 획기적으로 개선되어 연비가 상당히 개선되었다. 또한 기존 시스템에서 불가능한 두 펌프간의 별도 제어를 통해 동작이 신속해져서 제어성이 개선되었고, 불필요한 합류에 의한 손실이 크게 개선되었다

#### 4. 미래의 전자 유압 시스템 기술은 어디로 갈 것인가

##### 4.1 시대의 다양성을 수용하는 전자화

에너지 저감의 이슈는 앞으로도 줄기차게 제기될

것이기에 부품회사가 아닌 장비 제조자들의 경쟁이 심화될 것이다. 기본적으로 현재 개발중인 기술들의 최적화와 가격 경쟁력의 강화를 위한 연구가 진행될 것이며, 시장 침투를 위한 다각적인 연구와 기획이 출현할 것이다. 하이브리드, 엔진 최적화, 에너지 재생 등의 기술과 더불어 전자 유압은 손실을 일으키는 주 요인이 되는 MCV의 개선 및 PCA와 같이 제거하는 방안들이 실현될 것이다. 기존의 디젤엔진이 사라지면 수도물을 사용하는 워터 하이드로릭(Water Hydraulics)도 새로운 시대를 열 것이기에 이 분야에 대한 연구도 집중될 것이며, 연료전지가 장착되면 현재 시리즈 방식 하이브리드와 펌프를 직접 제어하여 액추에이터를 제어하는 PCA방식의 기술들이 선두에 설 것으로 보인다.

또한 제어성을 위해 기존의 스펴 방식에서 미터-인(Meter-In)/미터-아웃(Meter-Out)을 분리하는 기술이 도입될 것이다. 이는 더 나아가 현재 시장에 선보이고 있는 작업 가이드 시스템을 수용하면서 단계별로 부분 자동화가 도입될 것이며, 굴삭기 단독이 아니라 여러 대의 다양한 장비가 공동으로 작업을 효과적으로 해내는 체계로 전환 될 것이다.

또 하나의 뚜렷한 경향은 다양한 옵션 기능의 요구가 많아지고 이를 수용하기 위한 전자화가 이루어 질 것이다. 고객이 다양한 옵션의 기능을 스스로 수용하기 위해 부품을 조합하고 제어프로그램을 입맛에 따라 조정하며, 원격 내지 무인화의 경향이 뚜렷하게 나타날 것이다

### 5. 결 론

시대의 변화와 기술의 발달로 인하여 굴삭기 시스템의 전자화는 필수적인 조건이 되었으며 이를 선점하고 시장에서 인정받기 위한 시스템 및 부품의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

두산 인프라코어가 개발한 D-ECOPOWER 시스템은 Bosch Rexroth의 일본 기술과 독일 부품의 기술에 인프라코어의 시스템 기술과 전자 유압기술 경험을 합하여 연비 및 제어성에서 뚜렷한 개선을 보이고 가격 측면에서도 막강한 시장 침투력을 가지고 있다.

향후, 연비, 제어성 및 자동화의 경향에 맞는 전자

화가 현재 기술을 근간으로 하여 발달할 것이며, 옵션 기능의 수요를 수용하기 위한 새로운 프레임의 장비가 출현할 가능성도 있다.

### 참고 문헌

- 1) <http://www.ritchiewiki.com>
- 2) Mobile : Bosch Rexroth
- 3) Catalogue : Doosan Infracore DX380LC-3

### [저자 소개]

장달식(책임저자)

E-mail : dalsik.jang@doosan.com

Tel : 010-3259-7014

1997년 독일 Aachen대학교 기계공학과 박사. 1987년 서울대학원 석사, 1985년 서울대학교 공과대학 기계설계학과 학사. 1987~2013년 두산 인프라코어 연구

위원. 2013년~현재 (주)두산 모터를 상무. 유압 피스톤 펌프 및 모터, 밸브, 굴삭기용 전자 유압 시스템 및 부품 개발 연구에 종사. 유공압건설기계학회 이사, 공학박사(Dr-Ing), 시인, 작곡가

