

# 건설기계에서의 유압기술 동향 Trend of Hydraulic Technology in Construction Machines

이 시 천  
S. C. Lee

## 1. 들어가면서

수년전 한국건설기계공업협회(KOCEMA)의 요청으로 협회지 "건설기계공업"(1996년 3월호)에 "건설기계 기술이란" 이라는 제목으로 기고한 적이 있다. 여기에서 필자는 건설기계에서의 기술을 설명하기 위하여 그림 1에서와 같이 건설기계 기술의 4가지의 기본 구성요소를 정의했다.

동력원은 디젤엔진 등 에너지 공급원, 유압시스템은 동력을 전달하기 위해 사용된 유압기기들의 조합, 기구 구조는 실제의 작업으로 변환시키는 장치로서 굴삭기, 로더, 도저 등의 다양한 형태의 작업장치를 말하며, 이에 더하여 인간존중, 운전자의 안락성이 중요시되면서 운전공간도 기본 구성요소로서 정의했다.

본고에서는 상기의 기본 구성요소에서 유압시스템의 기술에 초점을 맞추어 건설기계에 있어서 유압기술의 발전과 기술의 연구 분야를 살펴 보고자한다. 특히 전반적이고 개략적인 동향을 파악하고 이해할 수 있도록 상세 기술의 설명보다는 개념적으로 기술의 발전에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 기술개발 동향

앞서 언급한 기고문에서 건설기계에서의 고기술(高技術)로서 건설기계[중(重)장비, 무거운 장비]를 역설적이지만 "가볍게 만드는 것"라고 정의한 바 있다. 반도체 메모리 분야의 고기술이 "동일한 면적에 더 많은 데이터를 기록할 수 있는 고집적화(高集積化) 기술"임에 대비해 볼 때 건설기계에 있어서의 고기술은 "동일한 성능을 발휘하도록 하되 가볍게 만들 수 있는 경량화(輕量化) 기술"이라는 것이다. 고효율 엔진의 개발, 효율적인 유압시스템의 개발, 유압부품의 고압화, 효율적인 기구 구조의 연구, 고장력(high tensile) 신소재의 적용이 그러하다 하겠다. 이들 중 효율적 유압시스템의 개발 및 유압부품 고압화 등의 유압기술은 건설기계의 고기술화의 달성에 있어 핵심 요소 기술이라 하겠다.

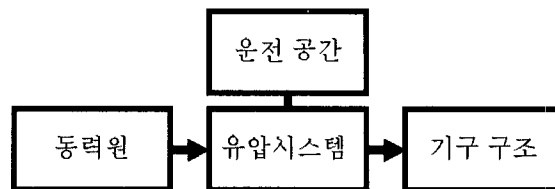


그림 1 건설기계 기술의 4가지 기본 구성요소

이론의 여지없이 지구상의 화석연료의 고갈은 머지않은 장래의 현실로서 받아들여지고 있다. 이에 화석연료를 주 에너지원으로 하는 디젤엔진이 주동력원인 건설기계 분야에서도 피할 수 없는 과제가 되고 있는 것이다. 연료비의 증가는 당연한 결과로서 건설기계의 운영비 증가를 초래하므로 연료비 절감이라는 과제가 건설기계에서도 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 배경으로 유압기술 분야에 있어서 기술개발 측면의 연구동향을 한마디로 요약하면 에너지 절감(energy saving), 더 직접적인 표현으로는 연료 절감(fuel saving)이라고 할 수 있다. 따라서 연료절감이라는 주제가 현재 진행되고 있는 많은 연구의 핵심주제가 되어있다.

물론 연료절감(fuel saving)이 단지 연료비를 줄인다는 의미의 경제적인 이유뿐만이 아니라 지구온난화 방지를 위한 환경적인 이유도 있음을 우리는 잘 알고 있다. 환경적인 이유에 대해서는 디젤엔진의 대체 에너지원의 개발 등 유압기술 외적인 면으로 연구가 진행되고 있으므로 논외로 한다.

연료절감 연구 중 유압기술과 연관되어 있는 분야를 살펴볼 때 연구의 주요 분야는 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

### 2.1 연구 분야 I

그림 2에서 보는 바와 같이 현재의 동력원, 유압시스템과 기구 구조를 그대로 유지하면서 에너지 전달효율을 높이는 것, 즉 동력원으로서 디젤엔진을, 유압시스템으로서 펌프, 밸브, 액추에이터의 구성을 가진 현(現) 유압시스템을, 그리고 기구 구조로서는

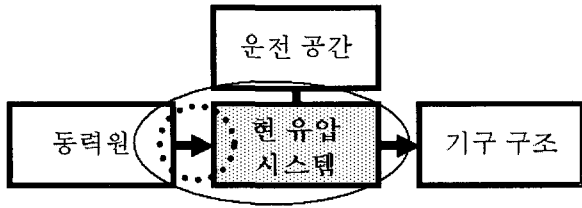


그림 2 연구 분야 I

굴삭기 작업장치, 로더 작업장치 등 현재까지 상업화 되어 있는 구조물을 갖는 일반적인 건설기계에서 효율의 극대화 또는 손실의 최소화에 대한 연구이다.

유압기 자체의 효율 향상을 위한 연구, 엔진과 펌프간의 동력전달 손실을 최소화하는 연구와 유압 시스템의 회로를 개선하고 새로운 부품을 추가 또는 제거함으로써 손실을 줄이는 연구가 여기에 속하는 연구 활동들이다.

유압기 자체의 효율 향상을 위한 연구로는 유압기의 고압화, 유압펌프/모터 스와시 플레이트(swash plate)와 밸브 플레이트(valve plate) 형상 연구 등 유압기 메이커의 주도로 연구가 활발히 진행되고 있으며, 신소재의 적용 및 두 마리 토끼인 내부누설(leakage)과 습동부 마찰저항 최소화, 그리고 유로저항의 최소화가 주요과제라 하겠다.

엔진과 펌프간의 동력전달 손실을 최소화하는 연구는 건설기계가 유압을 동력 전달의 수단으로 이용한 이래 지금까지 유압기 메이커와 건설기계 메이커 간에 가장 활발히 연구한 분야라고 할 수 있다. 기술의 발전 과정을 도식적으로 간단히 그림3에 나타내었다. 그림 3의 a~d는 각각,

- a. 단일 정용량형 펌프 사용시,
- b. 3개의 정용량형 펌프 사용시,
- c. 엔진-펌프제어 없이 가변용량형 펌프 사용시,
- d. 엔진-펌프제어를 수행하는 가변용량형 펌프 사용시

의 엔진동력과 펌프에 전달된 동력을 나타내며 빗금 친 부분이 손실된 동력을 나타낸다. 90년대까지 전자 유압(electro hydraulic)기기의 적용과 제어방법의 연

구로 활발한 연구가 있었으며 이제는 그림d의 단계 까지 도달되었다고 할 수 있다.

유압시스템의 회로를 개선하고 새로운 부품을 추가 또는 제거함으로써 손실을 줄이는 연구는 가장 연구가 활발한 분야중 하나이다. 회로를 개선하는 대표적인 연구 주제로서 오픈 센터 시스템(open center system, negative 또는 positive control)에서의 효율 개선과 클로즈드 센터 시스템(closed center system or load sensing system)의 응용이 있고, 아직까지도 개선의 여지가 많은 연구 대상이다.

이 두 가지 시스템의 주요 쟁점은 건설기계의 유압시스템이 휴먼-인-더-루프(human in the loop) 시스템이라는 이유 때문에 에너지효율만이 아니라 승차감도 동시에 고려하여야 함에 기인한다고 볼 수 있다. 오픈 센터 시스템(그림 4)은 댐핑 효과로 승차감에는 유리하나 손실이 많은 단점이 있고, 클로즈드 센터 시스템(그림 5)은 유량손실이 적어서 에너지효율은 높으나 승차감이 좋지 않은 결과를 초래한다. 두 가지 장단점의 조합에 대한 연구가 활발하다. 또한 유압(hydraulic)만에 의한 시스템이 아닌 전기·전자요소(electric and electronic element)를 부가하여 소위 전자-유압(electro-hydraulic)을 채용함으로써 손실을 최소화하는 연구도 진행되고 있다.

한편으로, 부분적인 회로의 개선으로 효율을 향상시키는 대표적인 연구로서 재생회로를 들 수 있다. 그림 6은 중량물(M)을 내릴 때의 간략한 회로로서 빗금 친 부분의 회로개선으로 손실되던 에너지(higher pressure)를 재사용함으로써 효율을 향상시키는 시스템이다. 또한 작동중의 재생뿐만 아니라 작동 중 남는 에너지를 나중에 사용하도록 하기위하여 저장매체에 저장하는 방법을 고려하게 되었다. 저장매체로서 유압 어큐물레이터(hydraulic accumulator), 전기 축전지(electric battery) 그리고 기계식 플라이휠(mechanical flywheel)이 이용되고 있다. 대표적으로 어큐물레이터의 경우를 그림 6에 나타내었다. 건설기계에서 이러한 재생회로는 굴삭기(excavator)의

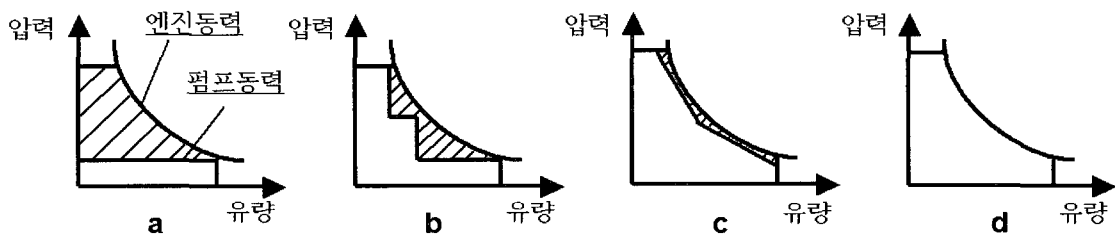


그림 3 엔진과 펌프간의 동력전달 손실 최소화 연구

경우 붐 하강(boom lowering)과 선회(swing)에, 휠 로더(wheel loader)의 경우 주행시스템에 채용되고 있다. 특히 출원동향으로 추측하건데 어큐뮬레이터 적용에 의한 에너지 절감연구는 1980년대 초부터 진행되어 오고 있으나 어큐뮬레이터의 크기에 따른 적용상의 공간적인 문제와 고압의 사용에 따른 안전성 문제가 걸림돌이다.

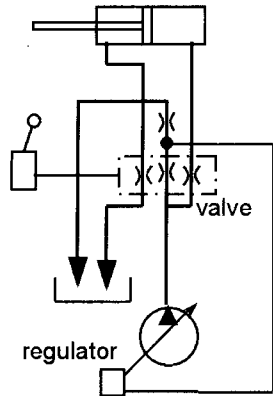


그림 4 오픈 센터 시스템(negative control)

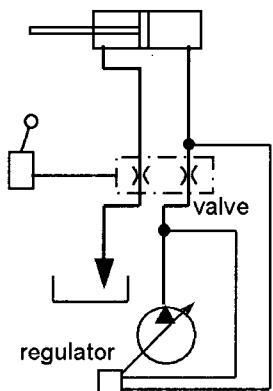


그림 5 클로즈드 센터 시스템(load sensing control)

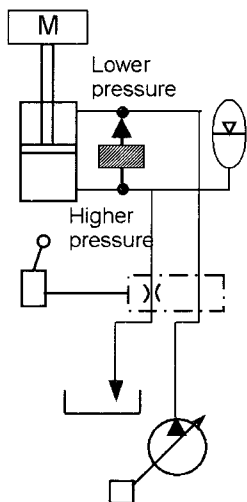


그림 6 에너지 재생

1990년대부터는 축전지와 플라이휠의 적용연구가 활발히 진행되고 있다. 유압에너지를 전기 또는 기계 에너지로 변환하였다가 유압에너지로 재 변환하는 과정에서의 에너지 손실을 감소하더라도 어큐뮬레이터의 단점을 보완할 대안으로 연구되고 있다. 특히 플라이휠 적용의 경우에는 고전적인 중량, 저속 플라이휠이 아닌 경량, 초고속 회전속도를 갖는 저장매체에 대한 연구가 있다.

## 2.2 연구 분야 II

그림 7에서 보는 바와 같이 현재의 기구 구조는 그대로 유지하지만 동력원과 유압시스템 그리고 동력원과 유압시스템간의 관계의 기본 개념 자체를 바꾸는 연구, 즉 동력원으로서 디젤엔진 뿐 만이 아니라 전기모터 등의 조합도 고려되는 신(新)동력원, 유압시스템으로서 전형적인 펌프, 밸브, 액추에이터의 조합이 아닌 새로운 복합시스템, 고효율 시스템의 발명에 대한 연구이다. 연구 분야 I의 목표 즉 현재의 시스템의 기본 골격을 그대로 두고 효율을 극대화 또는 손실을 최소화하는 연구로는 더 이상의 획기적인 연료절감을 기대할 수 없음으로 나타난 연구 동향이라고 할 수 있다. 대표적인 연구 분야가 하이브리드(hybrid) 시스템 연구이다. 하이브리드 시스템의 연구는 자동차업계에서 연료절감의 일환으로 에너지 재생 연구와 화석연료의 대체에너지 개발 및 이의 이용을 위하여 시작되었고 이제는 건설기계업계에서도 주요 연구과제가 되고 있다. 하이브리드의 사전적인 의미는 "잡종, 서로 다른 종이나 계통 사이의 교배에 의해서 생긴 자손"으로 정의된다. 필자의 소견으로 연구 분야를 구분하기 위하여 하이브리드 시스템의 의미를 두 가지 관점에서 다르게 정의하고자 한다.

첫 번째는 에너지변환의 관점에서의 정의로서 "서로 다른 종류의 에너지를 결합하여 이용하는 시스템"의 의미이다. 우리가 흔히 전기에너지와 화석연료에너지 또는 유압에너지와 전기에너지를 동시에 사용하도록 한 시스템을 하이브리드 시스템이라고 정의하는 것이 이 맥락이다. 이러한 관점에서 앞서 설명

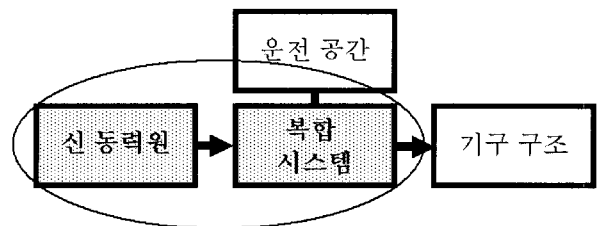


그림 7 연구 분야 II

한 축전지 또는 플라이휠을 저장매체로 사용한 에너지 재생 시스템이 하이브리드의 한 종류라 하겠다. 자동차업계에서는 대체에너지의 개발과 더불어 전기-가솔린·디젤엔진, 연료전지-가솔린·디젤엔진 등의 하이브리드 연구가 활발하나 건설기계업계에서는 아직 초보단계이지만 전기에너지와의 하이브리드 연구가 활성화되고 있으며, 그 이외의 분야에서는 아직 전무하다고 하겠다.

두 번째는 부품조합의 관점에서의 정의로서 "서로 다른 종류의 부품을 결합하여 만든 시스템"의 의미이다. 이는 보다 넓은 의미의 하이브리드에 대한 정의로서 유압실린더 위에 밸브와 펌프를 결합한다던지 이에 더하여 오일탱크, 전기모터까지 결합하여 구동을 위한 모든 부품을 가진 독립 시스템(package system unit)을 구성한 것을 하이브리드로 보는 것이다. 이러한 관점에서 앞서 설명한 유압 어큐뮬레이터를 저장매체로 사용한 에너지재생 시스템도 다른 부품과 한 유닛으로 결합되어 새로운 시스템을 형성하면 하이브리드의 한 종류라 하겠다. 디젤엔진과 유압 펌프의 조합, 전기모터와 유압펌프의 조합, 그림 8의 밸브리스 시스템(valveless system) 등 이러한 연구 활동은 유압기기 메이커와 건설기계 메이커의 공동 관심사로서 현재의 주 연구 분야가 되고 있다.

### 2.3 연구 분야 III

그림 9에서 보는 바와 같이 기구 구조까지 포함한 전면적인 변경으로 현재의 건설기계와는 전혀 다른 기구 구조를 갖는 즉 현재의 굴삭기나 로더와는 다른 새로운 형상의 건설기계에 대한 연구이다. 물론 이 연구에는 상기의 언급된 기술들이 모두 함께 고려된다. 연료절감이라 함은 건설기계에 있어서 궁극적으로 작은 에너지로 작업량을 증가시키는 것이므로 현재의 건설기계에서 탈피하여 전혀 새로운 고효율의 장비를 창조한다면 이것이 연료 절감의 최선책일 것이다. 이를 위해서는 새로운 기구 구조뿐만 아니라 이를 구동하는 구동(유압) 시스템이 필수적으로 연구되어야 하는데, 현재 건설기계 메이커의 요구 사항을 들어 유압기기 메이커 - 특히 큰 규모의 메이커 - 의 주도로 이 연구가 이루어지고 있다.

그림 10은 필자가 2003년 보쉬렉스로스사(Bosch Rexroth Co.)의 국제 모바일 유압 회의(international mobile hydraulics conference)에서 찍은 사진으로서, 새로운 하부구조가 인상적인 스파이더 굴삭기(spider excavator)이다. 이와 같이 새로운 기구 구조의 장비

로서 특정한 작업조건에서의 효율적인 작업이 가능하도록 연구 개발되었다고 할 수 있다.

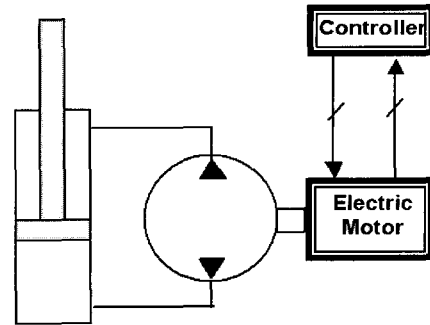


그림 8 밸브리스 시스템(valveless system)

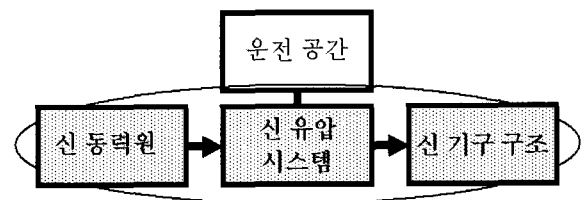


그림 9 연구 분야 III



그림 10 스파이더 굴삭기(spider excavator)

### 3. 마치면서

건설기계는 생산용 기계이다. 즉 경제적이고 생산적이지 못하면 존재 이유를 잃는다. 현재 건설기계 한 대를 구입부터 폐기까지 운영하는 비용 중 연료비가 약 20%를 차지하고 있다고 한다. 나머지 80%는 초기 구입 비용과 연료비를 제외한 유지비이라 하겠다. 혹자는 앞으로 10년 후에는 연료비의 비율이 50%가 넘을 것으로 예상하고 있다. 이는 연료비를 줄이지 않고는 건설기계를 이용한 생산 활동이 경제적, 생산적으로 수행될 수 없음을 의미한다.

연료절감의 연구는 건설기계가 장래에 살아남기 위한 필수조건이다. 그런데 이러한 연구의 중심에 유

압기기 메이커가 있다. 유압기기 자체의 효율 향상에 대한 연구과제가 유압기기 메이커로서는 좋은 과제임에는 분명하나 이와 더불어 고객인 건설기계 메이커의 목표인 획기적인 연료절감을 위하여 학계와 협력하여 부품 수준이 아닌 하이브리드 시스템과 같은 시스템 수준의 복합 시스템에 관한 연구에 눈을 돌려야 할 것이다. 유압기기가 단순히 펌프, 밸브 또는 모터와 같이 전통적인 유압기기의 분류가 아닌 복합적인 즉 하이브리드화한 기기로 새롭게 인식되어야 할 것이다.

앞서 언급한 연구 분야 III은 현 시점에서는 아직 이르다고 할지라도 연구분야 I을 기초로 하되 적어도 연구 분야 II에 집중적인 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- 1) 이 시천, "건설기계 기술이란", 월간 건설기계공업, 1996. 3.
- 2) IMHC, "International Mobile Hydraulics Conference", 2003.

- 3) SICFP, "The Ninth Scandinavian International Conference on Fluid power", SICFP'05, 2005.
- 4) Rexroth, "Drive & Control - The magazine for Rexroth Customers - "



### [저자 소개]

이시천(책임저자)

Email: sichun.lee@volvo.com

Tel : +46-16-541-5450

1960년 11월 29일생

1982년 서울대학교 기계설계학과 졸업,

1984년 서울대학교 기계설계학과 석사과정졸업,

1993년 서울대학교 기계설계학과 박사과정졸업,

1984년 삼성중공업 중장비

사업부문 입사, 굴삭기 유압시스템 연구, 건설기계 선행기술 연구, 굴삭기 상품기획, 현재 Corporate Director, Volvo CE Advanced Engineering and Commonality in Hydraulics, 공학박사

