“Journal of the JFPS”의 자료를 통한 건설기계 전자화 기술 동향 분석
Trends of Technologies for Electronic from “Journal of the JFPS”

윤 소 남
S. N. Yun

1. 서 론

본 해설을 위하여 조사되고, 분석된 자료들 중에서 “Journal of the JFPS” 자료 외에 비교적 인용 정도가 많았던 자료들을 간단히 정리하면, “차세대 수출 전략형 인공지능 건설기계 기술 개발에 관한 산업 분석(산업자원부, 2004)”, “2009년 세계 건설기계산업 동향(한국건설기계산업협회, 2009)”, “동남권 기계산업 경쟁력 확보를 위한 연구 기획(한국기계연구원, 2011)”, “건설기계산업기술 로드맵(건설기계종합지원센터, 2013)”을 들 수 있다.

이 중에서, “동남권 기계산업 경쟁력 확보를 위한 연구 기획(한국기계연구원, 2011)”에서는 수치적으로 매우 상세하게 건설기계 산업을 전망하고 있는데, 인용하면 다음과 같다.

가) 건설기계 산업은 2020년 수출 400억불, 세계 수출 시장의 22.5%를 차지할 것으로 예상되고 있으며, 생산규모 19.4%, 수출 20.5%의 연평균 성장률을 가진 고성장 산업임.

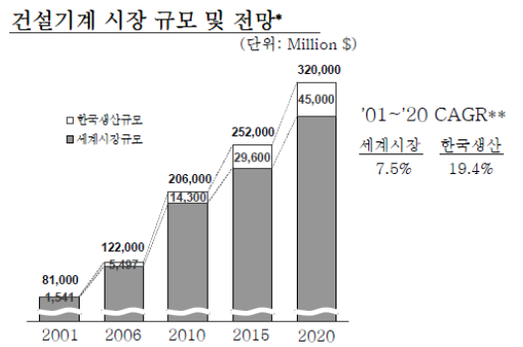
나) 한국 건설기계 산업은 조선, 자동차 등 수송기계에 이어 일반 기계 분야에서는 최고의 수출액을 차지함.

다) 국내 건설기계 매출은 굴삭기가 약 50%를 차지하고 있어 지게차나 휠로더에 비하여 상대적 비중이 크며, 연평균 20%의 판매대수 증가율로 향후 시장이 계속 성장할 것임

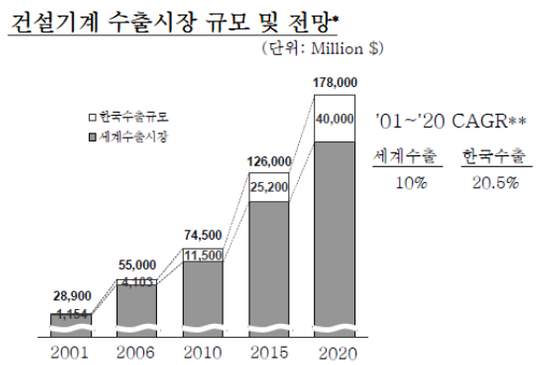
라) 국내 굴삭기 생산규모는 2020년 세계시장의 약 27%를 점유, 금액기준 178억불 수준으로 증가할 것으로 예상되며, 최근 수출이 전체 생산대수의 79%까지 증가하는 급신장세를 보이고 있음.

마) 수입대체 효과와 대형 굴삭기용 전자 유압기기 기술 확보를 통한 국내 유압기술 경쟁력 향상 가능

바) 굴삭기는 국내 건설기계 매출의 50%를 차지하여 경제적 Impact가 가장 크고, 연평균 판매 대수 증가율은 20% 가량으로, 다양한 작업이 가능하여 대형 전자화 유압기기를 적용한 대형 굴삭기용 전자화 유압기기 기술 확보 시 다른 건설기계로의 Spin-off가 가능함



a) Construction machinery market scale prediction steam



b) Export market scale prediction

Fig. 1 Analysis results of construction machinery market

사) 2010년 생산기계부문 기술로드맵상의 건설기계 부분 관련하여 “지능형 무인작동 건설기계” 기술의 지능형 제어 및 원격조작을 위한 핵심 기술로서 객체 제어용 동력전달장치 및 전자-유압 제어기술을 선정하고 있음

아) 건설기계의 산업적 위상이 향상되고 있으며 건설 산업 특성상 자동화와 지능화에 대한 기술의 적용과 수요가 높으며 로봇 기술 및 IT 기술의 첨단 산업과의 융합이 용이하여 고부가가치의 포인트 기술로 성장 가능.

전술한 기획보고서 및 해설 자료들은 “건설기계”라는 전체를 하나의 핵심 용어로 정의하여 서술하고 있기 때문에 요소 부품들에 대한 상세한 정보를 파악하는 데는 어려움이 많다. 또한, 건설장비용 핵심유압구

동 모듈에 대한 기획 보고서나 해설 자료들을 찾아 볼 수 없기 때문에 전망이나 Load-map을 작성하는 데에는 많은 정보 수집과 분석이 필요하게 된다.

본 해설은 전술한 건설장비용 핵심 유압구동 모듈에 대한 시장 전망 및 기술동향 등을 분석하여 현재와 미래의 기술에 대한 정보를 공유할 목적으로 이루어졌다. 본 해설은 유압 카탈로그 및 일본 유공압학회 저널을 수집하여, 건설장비의 핵심 유압 구동 모듈에 대한 전반적인 내용을 다루고 있기는 하나, 자료의 한계 혹은 수집된 자료의 정보 정확도 등의 문제로 인하여 완벽한 구성으로 작성되었다고는 볼 수 없다. 따라서, 계속적인 수정 보완이 이루어질 것임을 알리면서 본론으로 들어가고자 한다.

2. 국내외 기술 동향

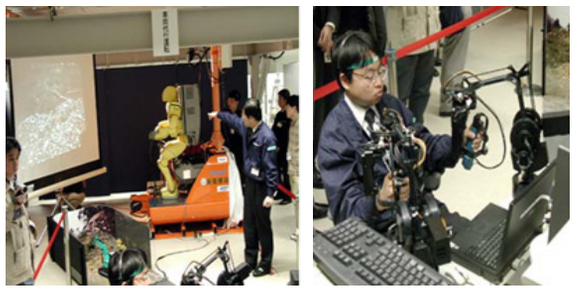
먼저 해외 주요국의 기술은 크게, 연비를 향상시키기 위한 고효율 기술, 지능 및 자동화 기술, 인간의 편의성과 안전을 고려한 친인간 기술, 환경을 고려한 친환경 기술 위주로 개발되고 있는 실정이며, 저배기가스 및 고효율의 건설기계 개발 경쟁이 가속화되고 있는 실정이다. 건설기계의 운전실 내에서 운전자의 안전과 편의성 및 쾌적성을 위해 운전자 체형에 맞는 친인간적 설계가 요구되고 있는 추세이며, 또한 기술환경에서는 장비 및 주요 핵심부품의 Compaction 화, 환경 규제 관련 기술개발, IT 기술을 응용한 기술개발을 지향, 또한, 안전 위주의 기술 경쟁, 성능 및 내구성 향상 기술, 연료저감 기술, 감성공학 기술 등이 변화하고 있다고 볼 수 있다.

반면에 국내에서도 환경친화형 건설기계 기술 개발이 진행되고 있으나 일본이나 구미업체의 수준에 미치지 못하고 있는 것으로 사료되며, 국내 건설기계 업체는 노동력 절감 및 생산성 향상을 위한 자동화 건설기계 개발에 주력하고 있고, 아울러 에너지 절감, 연비 개선 등을 위한 관련 설계 기술 및 부품 개발을 위한 노력들이 이루어지고 있다고 사료된다. 2008년 현대중공업은 위성통신을 이용해 세계 각지에서 작업 중인 굴삭기의 상태와 작업 이력을 실시간으로 파악, 분석할 수 있는 첨단정보시스템(모델명 : Hi-mate)을 개발한 실적이 있으며, 대형 굴삭기, 크레인, 휠 로더 등 지능형 제어 알고리즘연구와 지능형 폐회로 서보 유압제어모듈연구, 최적 운전제어를 통한 Easy Operation & Energy Saving 및 전자유압제어 시스템 채택으로 기존 유압시스템 대비 15% 이상 연비저감과 친환경성 (Tier-5 엔진) 확보를 위한 지능형 건설기계용 전자제어 유압시스템 개발 단계에 있는 것으로 사료된다.

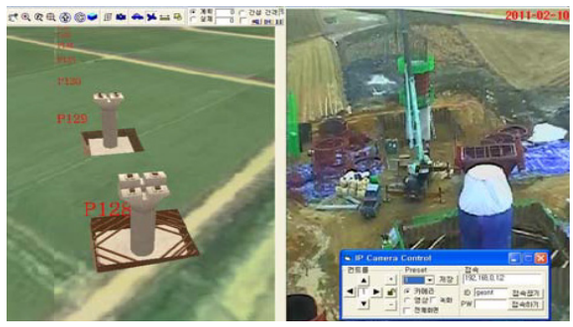
Fig. 2는 극한지용 건설기계의 작업 현장을 보이는 것이다. 극한지 작업 순서로는 먼저 지반을 조사한 후에, 굴착장비를 통하여 매설될 대상인 파이프의 크기를 고려하여 땅을 굴착하고, 다음으로 파이프를 안착시키는 작업을 하게 된다. 안착된 파이프는 상대방 파이프와의 조립을 위하여 센터를 맞추는 작업과 누설이 없도록 용접이 이루어진다. 다음에는 다시 굴착된 토양을 복원하는 작업들이 이루어지는데, 유압기기 및 시스템의 핵심적인 역할을 하게 된다.

극한지 굴착작업은 얼어붙어 있는 땅을 굴착하기 때문에 커팅헤드를 장착한 특수구조의 장비가 필요하게 된다. 이 굴착장비는 유압식 모터에 의하여 움직이기 때문에 극한지를 고려한 개발 설계 인자들을 조사/연구하는 과정이 필요하게 된다.

a) Extreme technologies for construction machinery



b) ICT for construction machinery



c) GPS technology for construction machinery

Fig. 2 Extreme technologies of construction machinery & ICT

최근에는 일반 산업용 건설 및 수송장비에서 우주항공, 심해저 및 극한지에서의 장비들을 개발하고, 장비들의 성능을 개선하는 연구들이 많이 이루어지고 있는데, 이 또한 새로운 기술 변화의 경향으로 볼 수 있다. -40℃ 전후의 혹한지에서 유압장비를 구동시키기 위해서는 유압유의 온도를 상승시키는 과정과 각종 유압장비를 상온으로 올리는 방법들, 더 나아가서는 극저온에서도 구동이 가능한 유압유의 개발 및 유압기기의 개발들이 필요하게 된다.

일반 산업용으로 사용되는 밸브, 펌프, 모터 및 실린더들은 혹한지의 특성에 맞도록 설계가 이루어져야 할 것이며, 성능뿐만 아니라 혹한지에서의 고장율이 적은 기기 혹은 시스템 개발이 절실히 필요하다.

최근에는 혹한지에서도 작업 능률을 높이는 방안으로 정보 통신 기술(ICT, Information & Communication Technology)를 응용한 굴착장비들의 개발이 이루어지고 있는데, 국내에서도 서둘러 무선 송신능력 및 무선 제어능력을 갖춘 유압 장비 개발이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 이러한 기술들이 세계적인 건설장비의 전자화 추세에 부응하는 것이라 사료된다.

3. "Journal of the JFPS" 분석

Fig. 3은 지금까지 조사된 일본 유공압 학회지에서 논의되었던 건설기계 관련 자료들을 연도별로 막대그래프화 한 것이다.

자료를 보면, 1991년도에 특집으로 21건을 수록하였으며, 13년 뒤인 2004년에 특집으로 14건, 18년 뒤인 2009년에 9건을 수록하고 있다. 2001년부터는 매년 평균 5건을 수록하고 있다. 건설기계라는 단어가 아닌 건설기계 종류를 직접적으로 다루는 경우 및 건설기계의 주요 구성품을 독립적으로 다루는 것들을 제외한다 하더라도, 주어진 저널 주제 및 편수의 한계를 고려하면 매우 많은 편수를 할애하고 있는 것으로 사료되고, 더 나아가서는 유공압 분야에 있어 건설기계가 차지하는 비중이 매우 크다는 것을 짐작할 수 있다. 또한 2001년부터 최근의 2012년도 까지만 보더라도, 건설기계 관련 자료는 꾸준히 이어지고 있어, 개선되고 개발되어져야 할 부분이 많이 있다는 것도 예상할 수 있다.

또한, 독립적으로 기술되는 유압펌프 및 유압모터, 실린더 및 밸브들을 재정리하면, 보다 정확한 기술 트랜드를 살펴볼 수 있을 것으로 사료된다.

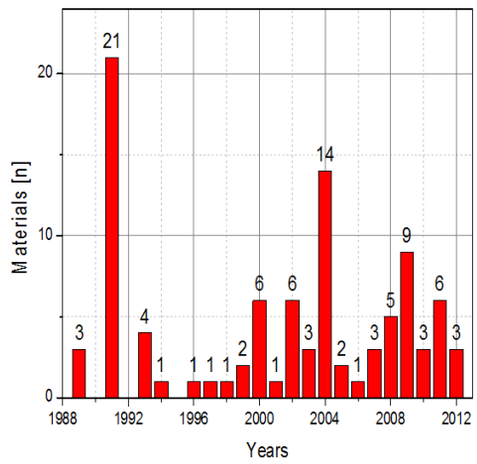
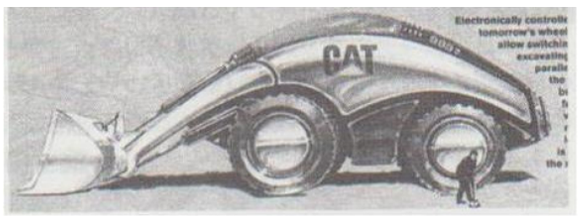
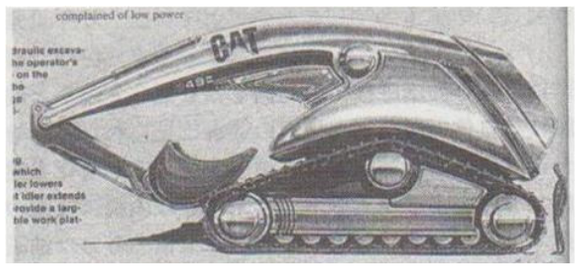


Fig. 3 Paper numbers related to construction machinery of the JFPS

Fig. 4는 Hitachi 건설기계에서 전망하는 2030년의 셔블 및 굴삭기를 예상한 것으로, 지속적으로 유압의 사용은 피할 수 없지만 저소음화 및 완벽한 ICT가 구비된 건설장비를 예상하고 있다. 또한, 밸브의 사용이 없는 EHA(Electro-Hydrostatic Actuator)의 성능과 장점을 상당 부분 소개하고 있으며, 빠른 시일 내에 건설장비에 적용이 가능할 것으로 전망하고 있다.



a) Shovel



b) Excavator

Fig. 4 Construction equipments of the future

"Journal of the JFPS"에서 20여년에 걸쳐서 다루었던 내용을 요약하면 다음과 같다.

가) 해석 기술(구조, 유동, 시뮬레이션, CAE)
나) 에너지 절약(구조, 재료)
다) 센서(무인화, 원격 조작)
라) 가상현실(지진, 소방, 원자력)

마) 제어(고기능화, 승차감)
바) 하이브리드(전동식 배터리)
사) 신뢰성(대형화, 고기능화)
자) 종합설계(환경)

기술별 모듈들의 큰 특징은 전기-전자와의 융합으로 하이브리드를 지향하고 있으며, 극한지, 심해저 및 재난지를 고려하여 무인화를 위한 장비 개발에 많은 노력들을 기울이고 있다. 특히, 극저온, 고온 및 초고압 지향 기기들의 개발이 두드러지고 있어, 서둘러 국내에서도 이에 대한 대책들이 있어야 할 것으로 사료된다.

최근의 새로운 테마 중의 하나는 수압으로 환경오염을 고려한 기기 개발들이 이루어지고 있는데, 이에 대한 대책 또한 반드시 필요하다 하겠다.

20여년에 걸쳐서 다루어진 기술 트렌드 변천 과정 및 이를 토대로 하여, 향후를 예측하여 요약하면 다음과 같다.

표 1 Change of technical trends

1기(순수유압식)	2기(하이브리드식)	3기(원격/신뢰/지능식)	
유압식 건설기계	전기-유압식 건설기계	원격조작 건설기계	환경/신뢰성/규제 대응 건설기계
	초대형 건설기계	극한건설기계(극지,수,해양,심해저)	
-순수유압기계	-전기-유압기기 -유압모터 및 밸브 지양, -유압펌프 및 실린더 지향	-송/수신기술 -저전력 구동 기술 -특수분야/부가가치는 높으나, 대량 생산 불가능	-성능 예측 및 신뢰성 예측 기술 -업그레이드 된 기술 필요
해결 가능 분야	해결 가능하나, 유압분야 폭 좁음	수요가 적어, 경제 가치가 미약	건설기계기업과의 협상 후 미래 예측 가능

4. 차세대 건설기계 개발을 위한 대응 전략

1) 고압화 대응 전략

1980년 이전에 최고 사용압력이 30MPa이었던 유압 시스템이 1980년~2000년대에는 35~40MPa, 2000년 이후에는 무려 40~55MPa에 이르고 있다. 따라서 재료 기술 및 씰링 기술, 누설 저감화 대책이 필요하다.

이 중에서 재료 기술은 소형/경량이면서 고압에 견디는 재질이어야 하기 때문에 소재 개발뿐만 아니라 소재 선정 기술이 매우 중요하다고 할 수 있다.

2) 에너지 절약 및 고효율화 전략

에너지 절약 및 고효율화 기술은 고압화 기술, 제어성 및 안정성 기술, 그리고 경량/컴팩트화 기술과 밀접한 관련이 있는 것으로, 고압화로 인하여 발생할 수 있는 누설을 최소화하는 동시에 기계적인 효율도 향상시켜야 하는 문제가 있기 때문에 설계자의 입장에서는 매우 풀기 어려운 과제이기도 하다.

3) 제어성 및 안전성 전략

제어성 및 안전성 기술은 에너지 절약 및 고효율화 기술, 진동/소음 저감화 기술과 밀접한 관련이 있다. 전기-전자와의 하이브리드 기술 및 고정밀 제작 및 조립 기술들을 요하는 과제이다.

4) 신뢰성 및 고내구성 전략

최근에 매우 중요시 여기는 학문 중에 하나이기도 하며, 제품의 수명과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 신중히 다루어야 할 과제이다.

아래의 표 2에 보이는 신뢰성 설계 전략은 제품 설계 초기 단계에서부터 제품에서 발생할 수 있는 혹은 운용 중에 시스템에서 일어날 수 있는 상황들을 사전 모의한 후에 설계를 수행하는 것으로, 고장 요소 및 수명을 예측을 할 수 있기 때문에 어떠한 제품을 개발하는데 있어서 매우 유익한 흐름도라 할 수 있다.

5) 진동/소음 저감화 절약

진동/소음 저감화 기술은 제어성 및 안전성 기술, 신뢰성 및 고내구성 기술과 밀접한 관계가 있는 것으로, 유로 설계, 스프링 선정 및 핵심 부품의 운동 자유도를 설계하는데 있어 매우 중요한 인자이며, 시스템 전체의 악영향을 해소시키기 위하여 반드시 해결해야만 되는 과제이다. 특히 고압화 추세에 있는 유압 시스템에 있어서, 진동 및 소음은 시스템의 파괴 및 운전자의 안락감을 방해하는 제1 요소이기 때문에 매우 중요하다.

6) 경량/컴팩트화 전략

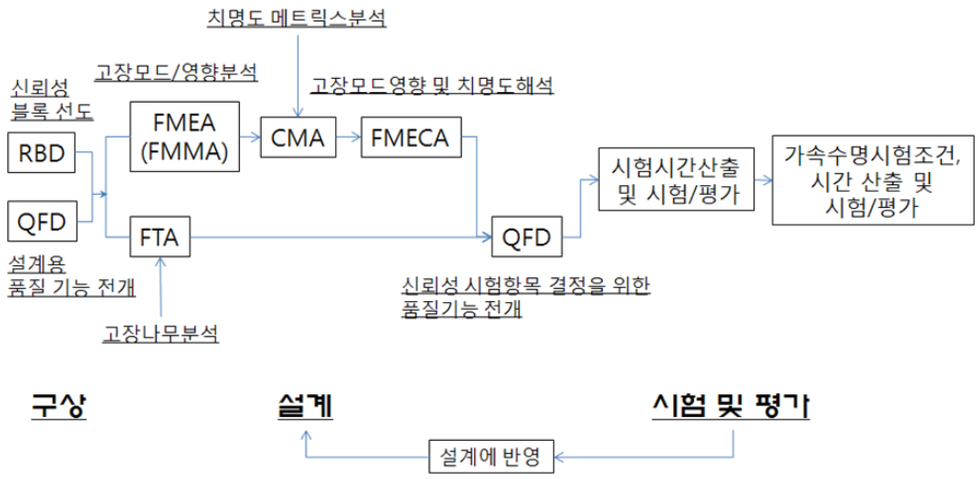
경량/컴팩트화 기술은 고압화 기술 및 에너지 절약 및 고효율화 기술과 밀접한 관련이 있는 것으로, kW/kg를 높이는데 있어 매우 중요한 인자이다. 또한, 경량/컴팩트화가 가능할수록 고압화가 유리하고, 때문에 소형화가 가능하여 시스템이 전체적으로 작아지는 효과를 얻을 수 있다.

이 기술은 심해저, 극한지, 우주/항공 분야에 적용하기 위해서는 반드시 해결해야 되는 과제이다.

7) 저가 생산 및 단기 생산 전략

지금까지 서술한 고압화 기술, 에너지 절약 및 고효율화 기술, 제어성 및 안전성 기술, 신뢰성 및 고내

표 2 Design strategy for reliability



구성 기술, 진동/소음 저감화 기술, 경량/컴팩트화 기술들은 철저한 이론 분석 및 시뮬레이션, 그리고 개발 대상에서 발생할 수 있는 변수들을 대상으로 하고 있지만, 저가 생산 및 단기 생산 기술은 개발 대상품을 설계 치수에 맞도록 불량없이 가공하는 기술을 논하는 것으로, 빠르고 정밀한 생산 장비의 성능 요구하는 것이다. 따라서 전술한 기술들과 더불어 우수한 성능을 가지는 가공장비의 개발, 보급도 동종 산업 경쟁에서 이길 수 있는 전략 중의 하나이기도 하다.

5. 결 론

본 해설에서는 “1. 서론”을 시작으로 “2. 건설기계 기술 동향”을 “세계 및 국내”로 나누어 서술하였으며, “굴삭기를 비롯한 건설장비는 하이브리드에서 지능형으로 기술이 전환될 것이며, 이에 따라서 핵심 부품들도 모두 지능형에 맞도록 개발되고 구성되어져야 한다. 예를 들면, 선회 및 구동장치로 사용되는 유압모터는 전기모터가 대신하게 되어 사라지게 될 것이고, 이에 따라서 많은 밸브들이 필요없게 된다”고 간단히 기술 추이를 분석하였다.

“3. ”Journal of the JFPS“ 분석”에서는 본 해설에서 가장 핵심이 되는 “일본 유공압학회지”의 20여 년간의 기록을 중심으로, “해석 기술(구조, 유동, 시뮬레이션, CAE)”, “에너지 절약(구조, 재료)”, “센서(무인화, 원격 조작)”, “가상현실(지진, 소방, 원자력)”, “제어(고기능화, 승차감)”, “하이브리드(전동식 배터리)”, “신뢰성(대형화, 고기능화)”, “종합설계(환경)” 등으로 요약되어지는 기술들의 특징을 요약하였으며, 요약된 기술을 토대로 기술 트렌드를 예측하였다.

“4. 차세대 건설기계 개발을 위한 대응 전략” 에서는 반드시 해결해야 되는 과제인 “고압화 기술”, “에너지 절약 및 고효율화 기술”, “제어성 및 안전성 기술”, “신뢰성 및 고내구성 기술”, “진동/소음 저감화 기술”, “경량/컴팩트화 기술”, “저가 생산 및 단기 생산 기술”을 대상으로 서로 어느 정도 연관관계가 있는지를 서술하고, 풀어야 하는 정도를 조심스럽게 예측하였다.

본 해설은 “건설기계의 전자화 기술”의 아주 기초적인 정보를 제공하는 차원에서 작성되었으며, 향후 건설기계 산업의 미래를 보는 입장에서는 매우 유용한 정보를 제공할 것으로 확신하고, 더 나아가서는 건설기계 및 수송기계의 핵심 유압 모듈을 연구하거나 관심을 가지는 독자들에게 흥밋거리를 제공할 것이라 확신한다.

참고문헌

1. 차세대 수출 전략형 인공지능 건설기계 기술 개발에 관한 산업 분석, 산업자원부 연구기획사업 최종보고서, 2005
2. 2009년 세계 건설기계산업 동향, 한국건설기계산업협회, 2009
3. 동남권 기계산업 경쟁력 확보를 위한 연구 기획, 한국기계연구원, 2011
4. 건설기계산업기술 로드맵, 건설기계종합지원센터, 2013
5. North American Hydraulic Valves Market, Frost & Sullivan, 2001
6. North American Hydraulic Valves Market,

Frost & Sullivan, 2008
7. Chinese Hydraulic Components Markets, Frost & Sullivan, 2008
8. European Hydraulic Equipment Market for Industrial and Mobile Applications, Frost & Sullivan, 2012
9. Strategic Analysis of Off Highway Vehicles Market in India, Frost & Sullivan, 2009
10. European Construction Equipment Markets, Frost & Sullivan, 2009
11. Opportunities for Fluid Power Supply to the Construction Sector in the Middle East and North Africa, Frost & Sullivan, 2005
12. North American Mining Machinery and Mineral Processing Machinery Markets, Frost & Sullivan, 2005
13. Analysis of the European Mining Machinery Market, Frost & Sullivan, 2013
14. High pressure trend in construction machinery, Ken Ichiryu, JFPS, Vol.20, No.1, pp32~38, 1989
15. Electro-hydraulic system for construction machines, T. Imai, T. Kousa, JFPS, Vol.20, No.2, pp132~137, 1989
16. New technology of machines which uses hydraulics, K. Chikaishi, JFPS, Vol.20, No.5, pp.381~384, 1989
17. Hydraulic and pneumatic engineering view points "construction robot", S. Sato, JFPS, Vol.22, No.3, 1991
18. Stabilization for piston pump displacement controls in oil hydraulic excavators, K. Uehara, SFPS, Vol.24, No.2, 1993
19. Variable displacement pump circuit on the excavator, K. Ichiryu, JFPS, Vol.22, No.2
20. System technology of hydraulic excavator to cope with the environment, JFPS, Vol.24, No.6, 1993
21. Fluid power systems in wheeled loaders and preservation technology of their environment, JFPS, Vol.24, No.6, 1993
22. Pumps and motors for mobile application, S. Ishii, JFPS, Vol.25, No.6, 1994
23. In fra-structure suppart by hydraulics, powerful construction machines, JFPS, Vol.27, No.5, 1996
24. Noise and vibration of construction machines, JFPS, Vol.28, No.6, 1997
25. Development of super large-size excavator for mining, Fluid power system, Vol.29, No.6, 1998
26. Energy saving on earth moving machines, Fluid power system, Vol.30, No.2, 1999
27. Hydraulic bilateral construction robot, Fluid power system, Vol.30, No.3, 1999
28. The dream for hydraulic technology in large machinery, Fluid power system, Vol.31, No.1, 2000
29. Dream of hydraulic pumps in 2010, Fluid power system, Vol.31, No.1, 2000
30. Introduction of a hydraulic excavator simulator, Fluid power system, Vol.31, No.4, 2000
31. The latest technology of control system for excavator, Fluid power system, Vol.31, No.5, 2000
32. Construction equipment safety and hydraulic system, K. Tanaka, Fluid power system, Vol.31, No.7, 2000
33. Monitoring system of hydraulic excavator using satellite comunication, H. Watanabe, Fluid power system, Vol.32, No.3,2001

[저자 소개]

윤소남(책임저자)
E-mail: ysn688@kimm.re.kr
Tel : 042-868-7155
1963년 7월 29일생.
1990년 부경대학교 기계공학부 석사, 1994년 동 대학원 박사과정 졸업, 2005년 어번대 마이크로나노시스템/재료 연구실 객원연구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압밸브 및 심해잠수정용 유압기기 개발 연구에 종사. KSFC, KSME, KSPSE, KSPE, KSAE, KSAS, JFPS 등 회원, 공학박사.