

친환경 굴삭기의 기술 현황 Technology trend of Eco-friendly Excavators

조민기 · 이홍석 · 오주영 · 신대영

M. G. Jo, H. S. Lee, J. Y. Oh and D. Y. Shin

1. 서 론

최근 미국의 오바마 2기 정부가 출범함에 따라 예상보다 빠른 속도로 환경 규제가 진행되면서 TIER 4 Final이 예정보다 빠르게 발효되었다.[1]

TIER 4 Final의 최종적인 목적은 '15년 이후에 560kW급 내연기관에서 배기가스를 배출하지 않는 차량을 생산하는 것으로 즉, 제로에미션(Zero emission)을 실현하는 것이다.

이와 같은 환경 규제는 거의 모든 산업 분야에 큰 반향을 불러일으키고 있다. 특히, 자동차 및 건설기계 등 석유계 연료를 사용하는 산업에서는 이러한 규제에 대응하기 위해 친환경 연구가 주요 이슈로 부상하고 있다. 자동차 산업에서는 건설기계 보다 앞서서 친환경 연구가 수행되었다. 친환경 연구로는 각종 배기가스 후처리 장치들을 비롯하여 촉매, 완전연소, 희박연소 등의 연구[2,3]를 통하여 내연기관의 배기가스에서 배출되는 CO₂, NO_x와 입자상 물질(PM)의 양을 제한하는 연구가 수행되었다. 또한, 전기 동력원을 기존 엔진 동력과 연계하여 배기가스의 양을 줄이는 연구가 진행되고 있다.

자동차 산업 보다는 늦지만 건설기계 산업에서도 친환경의 바람이 거세게 불고 있으며, 그 중 가장 대표적으로 굴삭기에 친환경 시스템이 적용되어 개발되고 있다. 특히, 내연기관의 효율증대, 하이브리드 굴삭기, 전기 굴삭기 등과 같이 친환경, 고효율을 목적으로 하는 차세대 친환경 굴삭기의 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 기술 논고에서는 이와 같은 친환경 굴삭기의 시장 동향 및 기술 동향에 대해서 서술하고자 한다.

ENGINE POWER		EPA TRANSITION TIMING		EU TRANSITION TIMING	
kW	HP	TIER 4 INTERIM	TIER 4 FINAL	STAGE IIIB	STAGE IV
0-19	0-25	*	2008	UNREGULATED	
19-37	26-49	2008	2013	STAGE IIIB is MAX	
37-56	50-75	2008	2013	2013	STAGE IIIB is MAX
56-130	76-174	2012	2015	2012	OCTOBER 2014
130-560	175-750	2011	2014	2011	2014
560 & ABOVE	751 & ABOVE	2011	2015	UNREGULATED	

그림 1.1 환경규제 시작 계시일

2. 친환경 굴삭기의 시장 동향

일반적으로 친환경 굴삭기는 하이브리드 굴삭기, 전기 굴삭기, 에너지 절감 시스템이 적용된 굴삭기 등으로 구분 할 수 있다.

우선, 하이브리드 굴삭기는 1999년부터 2000년 초에 걸친 건설기계 산업경기의 침체에도 불구하고 연구 개발에 힘쓴 일본의 코벨코(Kobelco) 코마츠(Komatsu)에서 가장 먼저 시제품 개발에 성공하였다. 그 이후로 2008년 6월에 상용화를 시작한 하이브리드 굴삭기는 1년 판매량이 비록 30대에 불과하지만 일반 굴삭기 대비하여 약 40%에 가까운 연료 절감효과를 가지고 있어 사람들의 주목을 받게 되었다. 하지만 그 당시에는 기존 굴삭기와 비교하여 약 1.8배 이상의 금액에 판매가 되어서 주목 만큼의 판매를 이루지는 못하였다.[4]

그러나 배럴당 110달러 이상을 호가하는 유가 상승으로 인해 최근에는 각국의 건설기계 업체에서 경쟁적으로 하이브리드 굴삭기에 대한 연구 개발을 수행하고 있으며 차차 상용화의 단계로 접어들고 있다. 국내에서는 두산인프라코어, 현대중공업을 중심으로 연구 개발을 완료하여 상용화를 준비하고 있다.

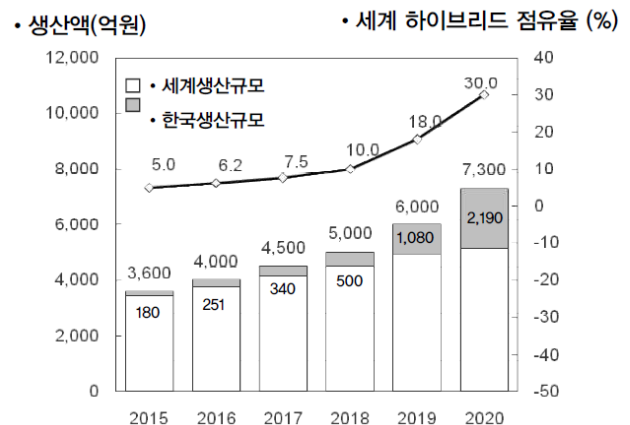


그림 2.1 하이브리드 굴삭기 시장 동향

하이브리드 굴삭기 시장은 중국, 브라질, 인도, 러시아 등의 BRICs 국가들의 성장으로 인하여 판매가 증가되고 있는 굴삭기 시장에서 약 20%이상을 차지할 것으로 예상되며 2020년에는 전 세계 굴삭기 시장의 약 30%를 차지할 것으로 예상된다.[3]

전기굴삭기는 일본 건설장비 메이커를 중심으로 2000년 초부터 기술 개발이 진행되었으나, 고가의 대용량 축전 장치에 의해 경제성 확보에 어려움이 있었기 때문에 배터리를 장착하지 않는 케이블 구동형 전기 굴삭기가 배터리 장착형 전기 굴삭기 보다 앞서 상용화 되었다. 케이블 구동형 전기 굴삭기의 경우에는 히타치, 테렉스社 등에서 터널 시공과 같은 건설 현장에서 사용되고 있으나 한정적인 작업 범위와 전기 동력을 지속적으로 공급 받아야 하는 단점이 있다. 그러나 최근 배터리 성능 향상으로 이러한 단점을 보완한 배터리 구동형 전기 굴삭기가 전시회를 통해 선보이고 있다. 다만, 배터리 구동형 전기굴삭기의 시장은 현재 전무하나 국내에서 개발 완료되는 '18년을 기점으로 시장의 급성장으로 '20년 이후에는 전 세계 굴삭기 시장의 20%를 점유할 것으로 기대하고 있다.[5]

그 외에 굴삭기에 장착되는 에너지 절감 시스템으로 VBO, PCA, 에너지 회생 장치 등이 있으며, 아직 시장이 형성되지 않는 않지만 주요 선진 업체(EATON社, Rexroth社 등)에서 시제품을 개발하여 기술 우위를 선점하고 있다.

3. 친환경 굴삭기의 기술동향

3.1 하이브리드 굴삭기

하이브리드 굴삭기는 기존의 디젤 엔진 외에 전동기 및 전기 저장 장치를 추가하여 에너지 효율을 높이고 배기가스를 저감하는 시스템으로써, 디젤엔진,

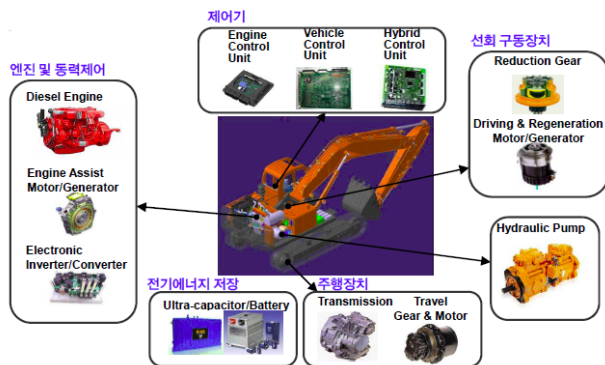


그림 3.1 하이브리드 굴삭기 시스템 구성

전기모터, 제어기, 선회 구동 장치, 주행 장치 및 전기에너지 저장 장치 등으로 구성되어 있다.

하이브리드 굴삭기는 엔진, 전기모터, 울트라커패시터 등의 구성에 따라 '직렬형', '병렬형', '복합형'으로 구분할 수 있으며, '직렬형 하이브리드 굴삭기'는 엔진의 기계적 동력을 모두 전기적 에너지로 변환하여 울트라 커패시터에 저장하고, 저장된 에너지는 요구되는 동력에 활용한다. 이러한 시스템은 전기적 에너지 회생이 가능하여 연비 개선에 큰 효과는 얻을 수 있지만 기존 유압 장치를 전기모터로 구동되어야 하므로 고용량의 전기부품이 요구되며, 이로 인한 제작비 상승이 발생하는 단점이 있다.

'병렬형 하이브리드 굴삭기'는 엔진에 보조 전기모터를 장착하여 엔진의 동력을 보조하는 방식이다.[8] 따라서, 전기모터는 보조적인 동력 공급 역할을 하기 때문에 기존의 유압 시스템의 변경이 필요 없으며, 동력원의 기계적 출력이 직접적으로 유압 펌프를 구동하므로 동력 전달 효율이 뛰어나다. 그러나 엔진과 전기모터를 동시에 제어해야 하므로 제어시스템이 복잡해지고 엔진과 전기모터를 동시에 사용하므로 공간의 제약을 받는다.

'복합형 하이브리드 굴삭기'는 병렬형 하이브리드 굴삭기와 같이 엔진 및 보조 전기 모터의 구조에 에너지 회생 장치를 장착한 하이브리드 굴삭기이다.[12] 특히, 에너지 회생 장치는 붐 하강 시의 위치에너지와 선회 감속 시의 관성에너지를 전기 에너지로 회수하는 장치이다. 이러한 구조는 연비 개선 및 유압 장치 변경 최소화라는 장점을 갖는다.[6,7]

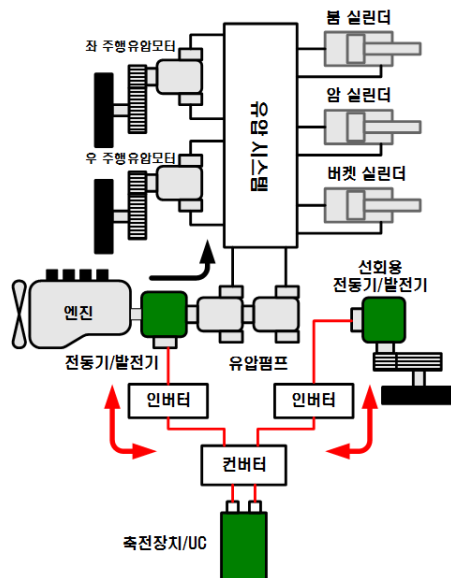


그림 3.2 하이브리드 굴삭기 개념도



그림 3.3 유압 펌프/모터

이와 같은 하이브리드 굴삭기의 주요 기술은 크게 하이브리드 전기 동력 시스템, 에너지 회생 시스템 및 통합 제어 시스템으로 구분된다.

하이브리드 전기 동력 시스템은 디젤 엔진과 전기 모터를 통합하여 설계하고 전기 저장 장치와 연계하여 제어하는 기술로써 하이브리드 굴삭기의 핵심 기술이다.

에너지 회생 시스템은 선회 구동 장치, 봄 에너지 회생 장치로 구성된다. 봄 에너지 회생 장치는 봄 에너지를 회생하기 위한 유압모터/발전기가 장착되어 봄 하강 에너지를 전기 에너지로 회수한다. 선회 구동 장치는 일반적으로 손실이 많은 유압 모터를 전기 모터/발전기로 대체하여 굴삭기 상부체를 구동하고 감속 시에는 전기 에너지로 회수가 가능하도록 구성된다.

하이브리드 통합 제어 기술은 디젤엔진, 전동기, 유압펌프, 전력변환장치, 에너지 저장장치 및 차량 제어 기술이 유기적으로 조합되어 연비 성능의 향상과 배기가스의 저감을 목적으로 한다. 즉, 하이브리드 동력원 개별 및 전체 동력 제어 시스템의 효율과 동특성을 고려하여 하이브리드 동력 시스템의 동작 상태 및 동력 분배량을 결정지어 주는 제어 전략 설계 기술이다.[8]



그림. 3.4 하이브리드 굴삭기 통합 제어 기술

3.2 전기 굴삭기

전기 굴삭기는 내연기관을 전기 모터로 대체하여, 환경규제에 대응하고 에너지 효율을 극대화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 기존의 디젤엔진을 사용하는 굴삭기에 대비 에너지 비용개선은 60%, 배기가스 배출이 없는 친환경, 고효율의 굴삭기이다.[9]

일반적으로 배터리 장착 여부에 따라 케이블 구동형(릴방식) 전기 굴삭기와 배터리 구동형 전기 굴삭기로 구분되며, 케이블 구동형 전기 굴삭기는 케이블을 통해 일반 상용 전원으로부터 공급 받으므로, 상시 구동 할 수 있는 장점이 있으나 작업 반경이 제약이 있고, 주변장치의 이동이 쉽지 않다. 반면 배터리 구동형 전기 굴삭기는 충전된 배터리 용량 내에서 작업을 수행하므로 일반 굴삭기와 동일한 작업 성능을 갖는다. 다만, 배터리의 용량이 한정되어 있고 충전 시간이 다소 길다는 단점이 있으나 배터리 교체 장치, 급속 충전장치 등의 개발로 이러한 단점을 보완하고자 하는 노력이 시도되고 있다.[10]

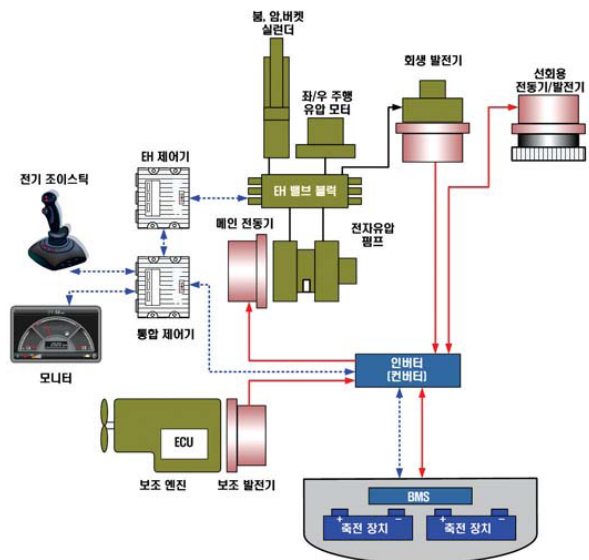


그림 3.5 전기 굴삭기 개념도



(a) 전력변환 장치



(b) 전기 모터

그림 3.6 전기 동력 시스템

그림 3.5와 같은 전기 굴삭기 주요기술은 크게 3가지로 전기 동력 시스템, 전기-유압 구동시스템 그리고 에너지 회생 시스템으로 나뉜다.[10]

전기 동력 시스템은 그림 3.6과 같이 배터리의 전력을 전기모터로 전달하는 전력변환 장치와 유압 펌프를 구동하는 고효율의 전기 모터 그리고 에너지 저장 장치로 구분된다. 전력변환 장치인 인버터를 제어하여 전기 모터를 구동하기 위해 고출력, 고집적도의 인버터를 개발하고 있으며, 전기 모터 또한 소형 경량화 되고 고효율을 위해 최적 설계 등이 필요하다. 에너지 저장 장치의 경우 리튬 계열 배터리가 있지만 내연기관과 비교 했을 경우 에너지 밀도가 낮아 현재 기술 수준에서는 실용화를 위한 연구 개발이 지속적으로 필요하다.

전기 유압 구동 시스템은 기존의 메인 컨트롤 밸브와 유압 펌프를 그림 3.7과 같은 전자 제어식 유량 제어 밸브와 전자 제어식 유압 펌프로 대체함으로써 유압 에너지 손실을 최소화하여 시스템의 효율을 향상 시킨다.

에너지 회생 시스템의 경우 복합형 하이브리드 굴삭기와 동일하게 그림 3.8과 같이 붐 하강 시와 선회 제동 시에 발생하는 회생에너지를 전기모터/발전기를 구동하여 전기 에너지로 변환하여 저장하는 방법이 전기 굴삭기에 적용된다.

3.3 에너지 절감 시스템이 적용된 굴삭기

하이브리드 굴삭기와 전기 굴삭기는 기존의 굴삭기의 동력원을 제거하고 새로운 개념으로 설계되는 굴삭기로서 연비를 획기적으로 개선 할 수 있는 시스템이나 굴삭기 제조 기업을 중심으로 고가의 제작비용과 장기간의 개발 기간으로 막대한 연구비가 투자되어야 한다.

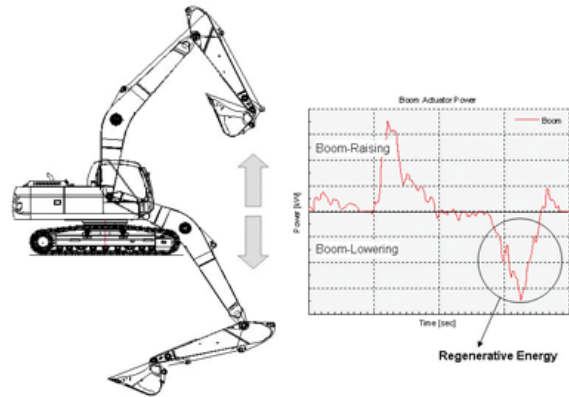
이에 반해 부품 개발 업체에서는 기존의 엔진식 굴삭기에 새로운 개념의 유압 시스템을 적용하여 에너지 효율을 극대화한 친환경, 고효율 굴삭기를 선보이고 있다.

Bosch Rexroth에서는 그림 3.9와 같이 압력 제어형 전자 펌프를 탑재하고, Center Bypass 유로를 막아 Bleed-off 손실을 줄이는 기술인 VBO(Virtual Bleed Off) 시스템을 제시하였다.[11]

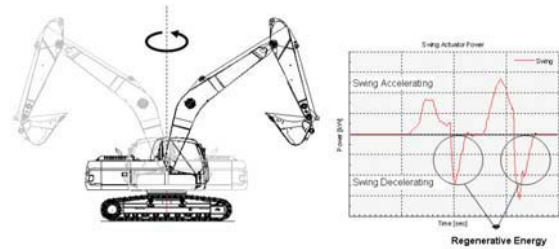
PCA(Pump Controlled Actuation)시스템은 기존 MCV를 제거하고, 각 액추에이터에 펌프를 각각 대응시켜 에너지 손실을 획기적으로 줄이는 시스템으로 Bobcat 5t 굴삭기에 적용하여 굴삭 연비를 최대 45% 절감한 연구가 수행되었다.



그림 3.7 전자 제어식 유량 제어 밸브



(a) 붐 하강시의 에너지 회생



(b) 선회 제동 시의 에너지 회생

그림 3.8 굴삭기의 에너지 회생 시스템

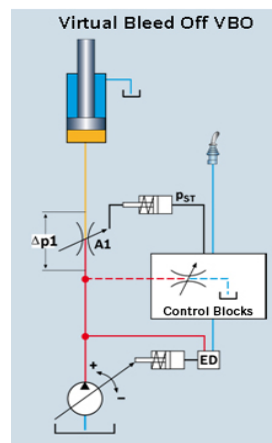


그림 3.9 VBO/FEH 시스템

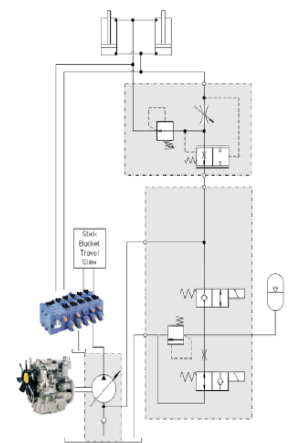


그림 3.10 PRB 시스템

에너지 회생 시스템으로 그림 3.10과 같이 Bosch Rexroth사에서 제안하는 PRB(Power Regeneration Boom)는 14톤 굴삭기에 적용하여 봄 하강 시 에너지를 축압기에 저장함으로써 1 liter/hr의 연비 개선 효과를 보였다.[11]

4. 결 론

본 기술 논고에서는 친환경 굴삭기의 시장 및 기술 개발 동향에 대해서 논의하였다. 친환경 굴삭기는 국제 유가 상승, 지구온난화 등의 환경 문제에 대응하기 위한 차세대 친환경 건설기계로써, 선진 업체를 중심으로 하이브리드 굴삭기, 전기 굴삭기 및 에너지 절감형 시스템 등이 적용되어 개발되고 있다.

하이브리드 굴삭기와 전기 굴삭기는 배터리와 에너지 회생장치 등에서 유사한 구조를 갖는 반면에 주요 동력원과 작업 장치에서 가장 큰 차이를 갖고 있다. 하이브리드 굴삭기의 주요 동력원은 엔진과 전기 모터로 유압 펌프를 구동하지만, 전기 굴삭기는 전기 모터로만 유압 펌프를 구동한다. 다만, 하이브리드 굴삭기는 엔진을 갖고 있기 때문에 제로에미션을 달성하지 못하는 단점이 있다.

또한, 하이브리드 굴삭기의 작업 장치는 기존의 유압 굴삭기와 유사한 구조를 갖지만, 전기굴삭기는 전자제어식 유량 제어 밸브를 장착하여 에너지 효율을 극대화 하였다.

앞으로 제로에미션을 달성한 전기굴삭기가 친환경 굴삭기로 개발이 이어질 것으로 전망되나 전기모터, 배터리, 통합 제어 기술 등의 기술적 한계로 전기굴삭기 개발에 장벽이 있다. 이러한 문제는 산학연의 지속적인 연구 개발을 통해 해결 할 수 있을 것으로 예상된다.

향후 친환경 굴삭기는 제로에미션을 달성하고 에너지 절감 시스템이 적용된 친환경, 고효율 굴삭기로 개발될 것으로 예상된다. 국내에서는 이에 발맞추어 국가적인 지원과 산학연이 연계된 기술 개발이 요구되며, 국내 기술 잠재 역량과 선진국과의 기술 격차를 고려 할 때 친환경 굴삭기의 핵심 기술 확보를 통해 세계 시장의 Top brand를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1) 캘리포니아 차량규제“Title 13. California Code

of Regulations”

2) 운행차용 PM 및 NOX 저감 후처리장치 개발, 결과보고서, 환경부 2007,04,27

3) “배기 흡입형 매연저감장치에 관한 실험적 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, pp.833-839, 2010. 9

4) 지식경제부 생산시스템 연구기획보고서, “하이브리드 굴삭기 핵심 기술 개발”, 2008. 5

5) 지식경제부 생산시스템 연구기획보고서, “친환경 플러그인 전기굴삭기 개발”, 2011. 1

6) 김학구, 최재웅, 유승진, 이경수, “복합형 하이브리드 굴삭기를 위한 동력전달계 제어기법 연구”, 대한기계학회, 1537~1542, 2011

7) Jin, K. C., Park, T. H., Lee, J. H., Jung, Y. S., Kwon, Y. M. and Lee, H. C., “The establishment of model in the loop simulation environment for the development of HCU in hybrid excavators”, KSAE Annual conference, pp. 2953-2960, 2009.

8) Yoo, B. S., “A study on the development of hybrid excavator”, Dept. of control and instrumentation engineering, Ph.D thesis, Changwon national university, 2010.

9) 이근호, 남용운, 박영준, 권영민, “전기굴삭기 시장 및 기술 동향”, 기계와 재료, pp.112~118, 2012. 11

10) 이근호, 오주영, 서자호, 김홍섭, “전기굴삭기의 핵심 기술”, 기계와 재료, pp.120-127, 2012.

11) Jang, D. S., “Technology Trend in Hydraulics”, BAUMA 2013 Technical Forum, 2013. 04

12) 김학구, 유승진, 이경수, “복합형 하이브리드 굴삭기 통합 제어 알고리즘 개발”, 2013년도 대한기계학회 동역학 및 제어 부문 춘계학술대회 논문집, pp.125-126, 2013.

[저자 소개]

조민기

E-mail : aisrl@kitech.re.kr

Tel : 054-607-1126

2009년 한국산업기술대학교 기계설계

공학과 학사, 2011년 동대학원 기계시스

템설계 석사 과정 졸업. 2013~현재 한

국생산기술연구원 건설기계부품연구그룹

연구원, 유공압건설기계학회, 대한기계학회, 정밀공학회 등 회원



이흥석

E-mail : leehs@kitech.re.kr

Tel : 054-607-1129

2011년 창원대학교 기계공학전공 학사,
2013년 동대학원 석사과정 졸업. 2013~
한국생산기술연구원 건설기계부품연구구
립 연구원 대한기계학회, 정밀공학회 등

의 회원, 공학석사



신대영

E-mail : dyshin@kitech.re.kr

Tel : 054-607-1100

2000년 한양대학교 정밀기계공학과 박
사. 1991년 한국생산기술연구원 입사,
2013~현재 한국생산기술연구원 대경권
지역본부 연구 부분장, 건설기계부품연

구그룹 센터장, 유공압건설기계학회 등의 회원, 공학박사



오주영

E-mail : jyoh@kitech.re.kr

Tel : 053-607-1128

2012년 한양대학교 기계설계·메카트로닉
스공학과 박사. 2013~현재 한국생산기
술연구원 건설기계부품연구그룹 연구원,
유공압건설기계학회, 한국정밀공학회 등

의 회원, 공학박사