

# 하이브리드 굴삭기의 시장 및 기술개발 현황

이근호, 남용윤, 박영준, 방제성 | 한국기계연구원

김낙인 | 두산인프라코어

## [ 요약문 ]

국제 유가 급등과 배기가스 규제 강화로 인해 건설기계 분야에도 하이브리드 기술을 적용하고자 하는 노력이 커지고 있다. 특히 굴삭기는 연비 성능이 Key Buying Factor로 대두되고 있으며 유지비의 대부분을 연료비가 차지하고 있으므로 하이브리드 시장형성에 유리한 조건을 갖추고 있다. 하이브리드 굴삭기는 동력원으로서 기존의 디젤엔진 외에 전동기 및 전기저장장치를 추가하여 엔진을 고효율 영역에서 운전하고 작업 장치에서 버려지는 에너지를 회수하여 재사용함으로써 에너지 효율을 높이고 배기가스 배출을 저감할 수 있다. 본 논문에서는 하이브리드 굴삭기의 시장 및 기술동향을 기술하여 관련 산업분야의 기술 개발 및 상용화에 기여하고자 한다.

## 1. 서론

최근 세계적인 석유 수급 불안과 수요 증가로 유가가 배럴 당 \$100을 초과하는 초강세가 지속되고 있다. 화석연료의 한정된 매장량과 석유 생산국들의 정치/경제적인 공급 제한으로 이러한 고유가 기조는 장기적으로 지속될 것으로 전망된다. 또한 미국, EU, 일본 등 선진국은 자동차뿐만 아니라 굴삭기를 비롯한 Non-road 차량 및 장비에 대해서도 매우 엄격한 배기규제를 적용하고 있으며, 이러한 추세는 향후 더욱 강화될 전망이다. 건설기계는 2011년부터 현재 적용 중인 TIER 2, 3의 NOx 및 PM 배출량보다 1/10 수준으로 줄여주는 TIER 4, 5 배기규제를 단계적으로 적용받아야 한다. 따라서 연비향상과 배기가스 등 환경규제에 대응하기 위한 하이브리드 기술을 건설기계에 적용하고자 하는 추세가 확산되고 있다. 특히 굴삭기는 작업 성능 및 내구성이 일정 수준에 다다름에 따라 연비 성능이 선진국 시장에서 제조사별 차별화 요소 또는 고객의 Key Buying Factor로 대두되고 있다. 또한 자동차와 비교하여 구매가 대비 유지비 비중이 크고 유지비의 대부분을 연료비가 차지하고 있으므로 하이브리드 시장형성에 유리한 조건을 갖추고 있다. 따라서 최근의 고유가 기조와 각국 정부의 환경 규제 및 친환경 제품에 대한 지원책이 하이브리드 시장형성을 지원할 것으로 보인다. 특히, 권역별 강화된 배기규제를 충족시키지 못하는 경우 장비 수출 자체가 불가능할 것으로 보인다. 위와 같은 시장 특성으로 하이브리드 굴삭기는 일단 시장에서 수용되면 급격히 성장할 것이며, 이 때 하이브리드 기술을 확보한 소수의 건설기계 업체가 하이브리드 시장 뿐 만 아니라 기존 굴삭기 시장을 장악할 가능성이 있다.

이에 최근 각광을 받고 있는 하이브리드 굴삭기는 동력원으로서 기존의 디젤엔진 외에 전동기 및 전기저장장치를 추가하여 엔진을 고효율 영역에서 운전하고 작업 장치에서 버려지는 에너지를 회수하여 재사용함으로써 에너지 효율을 높이고 배기가스 배출을 저감할 수 있다. 특히, 하이브리드 동력원 구조에 따라 다양한 에너지 회생원을 둘 수 있고, 저효율의 유압시스템을 개선함으로써 연비성능을 극대화할 수 있다. 일반적으로 하이브리드 굴삭기의 구조는 굴삭기 차량과 필요한 동력을 발생하고 저장하는 하이브리드 동력 시스템, 발생된 기계적 동력을 이용하여 작업 장치를 구동하는 구동부, 굴삭기 주행을 위한 주행부 및 운전자의 조종에 따라 동력원과 구동/주행부를 제어하는 제어부로 구성된다. 하이브리드 동력 시스템은 기존 굴삭기의 동력원인 디젤엔진, 유압펌프 외에 전기 동력을 발생하고



저장하기 위한 Motor/Generator, Inverter 및 Converter, Battery와 Ultra-capacitor, 감속기, 변속장치 등으로 이루어진다.

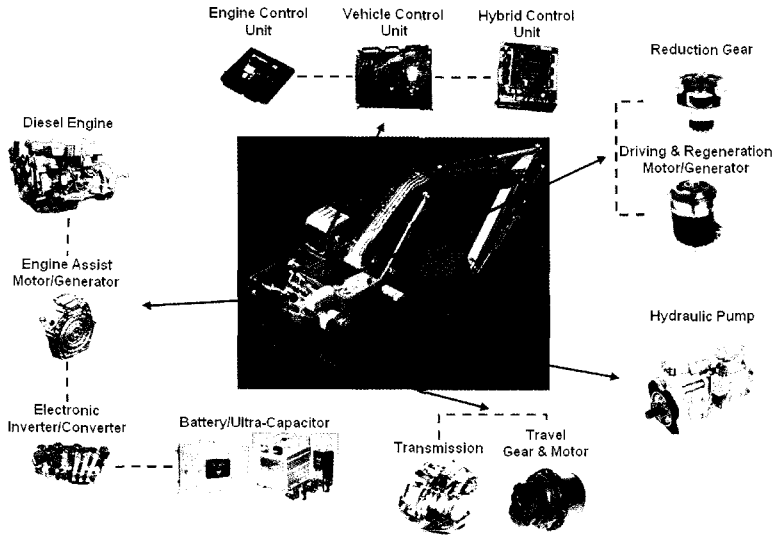


그림 1. 하이브리드 굴삭기 구조

건설기계는 수출 주도형 주력 산업으로 미래 기술 추세는 연비 및 친환경 향상 쪽으로 진행되고 있으며, 일본 등 선진국은 국가 프로젝트 지원으로 기술을 개발하고 있다. 또한 국가기술 전략상 건설기계용 하이브리드 동력기술은 스마트생산시스템에서 지향하는 지능형 통합제어, 기술융합, 친환경의 요건을 모두 충족함으로 전략적인 기술 개발이 필요하다. 따라서 세계 수준에 근접한 건설기계의 선도적 미래 지향적 원천 기술을 선점하기 하기 위하여 R&D 기반 및 시장선도 능력의 확대가 국가 전략적으로 필요하다. 본 논문에서는 하이브리드 굴삭기의 시장 및 기술동향을 기술하여 관련 산업분야의 기술 개발 및 상용화에 기여하고자 한다.

## 2. 시장 동향

### 2.1 건설기계 및 굴삭기 시장의 특징

건설기계산업은 2010년도 기준으로 일반기계 산업 수출 239억 달러 중 약 17% 이상을 차지하여 일반기계 산업 중 수출액 1위의 위상을 차지하고 있으며 운반, 하역장비 및 어태치먼트를 포함할 경우 22%를 상회하고 있다. 건설기계 품목 중 굴삭기가 차지하는 비중이 전 세계 수요의 약 40%이며, 국내업체의 경우 약 60%를 상회하여 수요가 가장 많은 기종으로서 연평균 약 8%이상 꾸준한 성장세를 유지하고 있다. 또한 건설기계 중 불도저, 모터그레이더, 천공기 등의 수요를 굴삭기가 대체하기 시작하면서 굴삭기에 대한 기술개발 경쟁이 가속화되고 있다. 세계적으로 굴삭기 등 건설기계는 개인 소유보다 Rental 업체 비율이 급증하는 추세이며, 건설기계

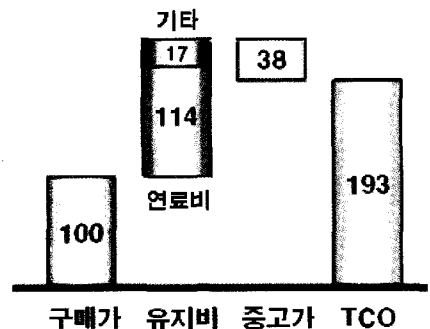


그림 2. 굴삭기 TCO의 예

Rental 업체는 TCO(Total Cost of Ownership)에 의한 구매 동인이 크다.

건설기계의 경우, 구매가 대비 유지비용의 비중이 크고, 유지비용의 대부분을 연료비가 차지하고 있어 연비 성능이 고객의 Key Buying Factor로 자리 잡고 있다. 고유가 지속, 에너지 수요 급증, 세계 각국의 배기가스 규제 강화 및 지구 온난화에 따른 CO<sub>2</sub> 규제 등 수요자의 고연비, 저공해 장비에 대한 요구가 강화됨에 따라 하이브리드 건설기계 개발이 필수적으로 대두되고 있다. 굴삭기는 구매가 대비 연료비 비중이 자동차에 비하여 크고, 건설기계 Rental 업체는 TCO에 의한 구매 동인이 크므로, 하이브리드 굴삭기는 일단 시장에서 수용되면 급격히 성장할 것이며, 이 때 하이브리드 기술을 확보한 소수의 건설기계 업체가 하이브리드 시장 뿐 만 아니라 기존 굴삭기 시장을 장악할 가능성이 크다. 선진업체에서는 2009년부터 하이브리드 굴삭기를 출시하고 있으며, 2015년에는 전 세계 굴삭기 수요의 약 10%를 하이브리드 굴삭기가 점유할 것으로 예상된다.

## 2.2 세계시장 동향

굴삭기의 세계시장 규모는 '10년 약 31만대, 금액으로는 440억불에 달하여 전 세계 건설기계 수요의 약 36%를 차지하고 있으며 연평균 8%대의 꾸준한 성장세를 유지하고 있다. 세계 굴삭기 시장 전망은 '12년 510억불, '15년 610억불, '20년에는 860억불에 이를 것으로 예상되며 대수도 '20년에 약 66만대에 달할 것으로 예상된다. 하이브리드 굴삭기 시장은 '10년부터 출시되고 있으며, '20년에는 전 세계 굴삭기 수요의 약 20%인 13만대에 이를 것으로 보이며 금액으로는 170억불을 상회할 것으로 예상된다.

표 1. 굴삭기의 세계시장 규모

(단위 : 수량-대, 금액-백만불)

| 구분 | 2002년   | 2002년   | 2006년   | 2008년   | 2010년   |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 수량 | 162,634 | 241,101 | 310,493 | 310,290 | 307,689 |
| 금액 | 19,516  | 30,600  | 43,920  | 43,550  | 42,950  |

※ 출처 : Machinery Outlook(2007), 한국건설기계산업협회

표 2. 굴삭기의 세계시장 전망

(단위 : 수량-대, 금액-백만불)

| 구분 | 2012년   | 2014년   | 2016년   | 2018년   | 2020년   |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 수량 | 485,600 | 507,000 | 554,000 | 605,000 | 660,000 |
| 금액 | 58,000  | 61,000  | 66,500  | 78,000  | 86,000  |

※ 출처 : Machinery Outlook(2007), 한국건설기계산업협회

표 3. 하이브리드 굴삭기의 세계시장 전망

(단위 : 수량-대, 금액-백만불)

| 구분 | 2012년  | 2014년  | 2016년  | 2018년  | 2020년   |
|----|--------|--------|--------|--------|---------|
| 수량 | 17,600 | 28,900 | 47,700 | 79,200 | 131,600 |
| 금액 | 2,986  | 4,895  | 8,078  | 13,421 | 22,298  |

※ 추정근거 : 2010년 세계 굴삭기 생산금액의 4.4% 차지. 연평균 성장률 30% 가정

## 2.3 국내시장 동향

국내 굴삭기 시장 규모는 전체 건설기계 시장 규모에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 두산, 현대, 볼보 등 국내 3사가 전체 굴삭기 시장 수요의 약 90%를 차지하고 있으며 약 10억불 정도의 규모를 보이고 있다. 국내 굴삭기 시장은 연평균 약 7,000대의 수요를 보이고 있으며 5톤급 소형 굴삭기에 대한 수요가 급속하게 증가하여 전체 굴삭기 수요의 약 50%를 차지하고 있다. 하이브리드 굴삭기 국내 시장규모는 국내업체 개발이 완료되어 양산되는 시점인 '14년 이후부터 수요가 급속하게 증가할 전망이다. '20년에는 국내 굴삭기 수요의 약 30%를 차지할 것으로 전망된다.



표 4. 굴삭기의 국내 시장 규모

(단위 : 수량-대, 금액-백만원)

| 구분 | 2002년  | 2004년  | 2006년  | 2008년  | 2010년  |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 수량 | 12,934 | 23,630 | 27,077 | 30,808 | 37,010 |
| 금액 | 1,076  | 2,183  | 3,261  | 3,352  | 4,826  |

\* 출처 : 관세청, 한국건설기계산업협회

표 5. 굴삭기의 국내 생산 전망

(단위 : 수량-대, 금액-백만원)

| 구분 | 2012년  | 2014년  | 2016년  | 2018년   | 2020년   |
|----|--------|--------|--------|---------|---------|
| 수량 | 54,100 | 65,500 | 83,200 | 111,000 | 148,200 |
| 금액 | 6,518  | 7,894  | 10,034 | 13,386  | 17,857  |

\* 출처 : 관세청, 한국건설기계산업협회

표 6. 하이브리드 굴삭기의 국내 생산 전망

(단위 : 수량-대, 금액-백만원)

| 구분 | 2012년 | 2014년 | 2016년 | 2018년  | 2020년  |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|
| 수량 | 950   | 2,400 | 6,200 | 16,000 | 41,100 |
| 금액 | 150   | 384   | 983   | 2,517  | 6,442  |

\* 추정근거 : 연평균 성장률 60% 가정

### 3. 기술 동향

하이브리드 굴삭기 기술과 관련한 글로벌 경향은 다음과 같다.

○ 상용화를 고려한 하이브리드 동력원 시스템 설계

연비 향상과 재료비 상승률 등을 고려하여 상용화가 가능한 동력원을 개발하고, 신뢰성 검증을 통해 상용화를 대비하고 있다.

○ 전기동력원 및 동력전달장치의 고출력, 고효율화

영구 자석형 동기 전동기/발전기를 이용한 고출력화, 전력소자의 대용량화, 배터리 대비 출력밀도가 높은 Ultra-capacitor의 상용화 등에 노력하고 있다.

○ 통합제어

하이브리드용 엔진제어기술, 엔진-전기동력원-유압펌프의 통합 제어를 시도하고 있다.

하이브리드 굴삭기와 관련하여 선진국 대비 국내기술 수준을 비교하면 다음과 같다.

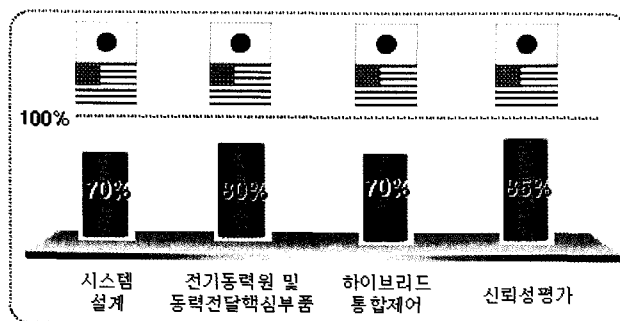


그림 3. 국내·외 기술 수준 비교

표 7. 하이브리드 굴삭기 기술 수준 비교

| 기술분야             | 선진국 동향   | 국내 기술 수준   |
|------------------|--|--|
| 시스템설계            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 직렬형 및 복합형 하이브리드 굴삭기 기술 개발</li> <li>- 신뢰성 평가 단계</li> <li>- 굴삭기 Duty Cycle의 표준화 시도</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 굴삭기의 작업 성능 등은 선진국과 대등</li> <li>- 하이브리드 굴삭기 기술 개발 검토 단계</li> </ul>  |
| 전기동력원 / 동력전달핵심부품 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소형/고출력 동기전동기 모터</li> <li>- 자동차용 NiMH 배터리 상용화</li> <li>- 동력전달 핵심부품 자체 개발 및 튜닝</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Li-ion 배터리 개발 진행</li> <li>- Ultra-capacitor는 세계적 수준</li> <li>- 감속기 제조업체는 규모가 영세하며, 변속장치 등은 수입에 의존하고 있음</li> </ul> |
| 하이브리드 통합제어       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전자엔진 및 펌프의 통합 제어</li> <li>- 차량 통합제어</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 엔진-펌프의 부분적 Power Optimization 제어</li> </ul>   |

### 3.1 주요 선진국 기술 개발 현황

일본 업체를 필두로 한 하이브리드 건설기계 선발업체의 경우, 하이브리드 또는 에너지 손실 저감 기술을 적용한 장비를 개발 완료하였거나 시험 중에 있으며, 특히 Komatsu와 Kobelco는 상용화된 상태이다.

표 8. 해외 주요국의 기술개발 현황

| 기술명       | 개발단계                        | 개발 내용   | 개발주체                        |
|-----------|-----------------------------|---|-----------------------------|
| 하이브리드 굴삭기 | 상용화 직전                      | - 2003년 5톤급 하이브리드 굴삭기(Series) 시제품 제작 및 시험               | Komatsu                     |
|           |                             | - 2010년 22톤급 하이브리드 굴삭기(복합형 하이브리드) 양산 투입                 |                             |
|           | Pilot                       | - 1999년 NEDO과제를 통해 7톤급 하이브리드 굴삭기(Series) 개발착수           | Kobelco                     |
|           |                             | - 2006년 Intermat에 하이브리드 굴삭기(복합형 하이브리드) 시제품 전시           |                             |
|           |                             | - 2003년 하이브리드 휠로더 개발 완료                                 | Hitachi                     |
|           |                             | - 2003년 7톤급 하이브리드 굴삭기 시험기 제작                            | Sumitomo                    |
|           | 기술 검토                       | - ECO-MATE System 개발-Boom 하강시 유압에너지를 Accumulator에 저장/회생 | Shin Caterpillar Mitsubishi |
|           |                             | - 2011년 하이브리드 굴삭기 실용화 목표로 개발 중                          |                             |
| 기술 검토     | - Parallel 하이브리드 시스템의 엔진 제어 | Zhejiang Univ.  |                             |
|           | • 4톤급 미니굴삭기에 대한 시뮬레이션       | Yanmar  |                             |

#### ○ Komatsu Ltd. (일본)

Komatsu사는 2003년 5톤급 Series 형식의 하이브리드 굴삭기 시제품을 제작하고 시험하였다. 2009년 복합형 하이브리드 굴삭기를 양산 투입하였으며, application에 따라 연비 개선 효과를 발표하였다. 향후 일본, 미국, 유럽에 투입할 예정이다.

#### ○ Kobelco Construction Machinery Co., Ltd. (일본)

Kobelco Construction Machinery Co., Ltd.는 1999년 하이브리드 굴삭기 개발을 착수하여 2003년 시제품을 완성하였다. 대상기종은 6톤급 굴삭기로 Series 형식으로 개발하였으며, Idling

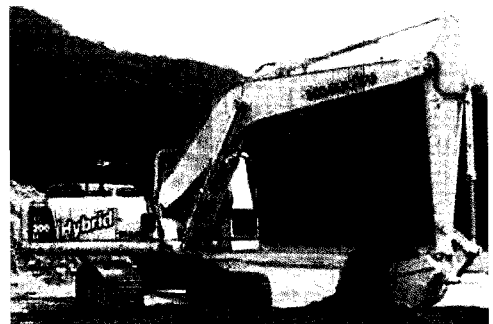


그림 4. Komatsu 하이브리드 굴삭기



구간을 제외하면 46%의 연비개선효과가 있음을 발표하였다. 또한, 2006년 Intermat 전시회에 기존 굴삭기에 대해 부분 개량된 하이브리드 굴삭기 시제품을 전시하였다. 이 시제품은 Parallel 하이브리드 구조를 기본으로 선회 유압모터를 전기모터로 대체하는 Series 방식을 병행하는 구조를 택하여, 다수의 전기부품 사용으로 인한 가격 상승을 줄이고 에너지 효율을 높이는 전략을 택하였다.

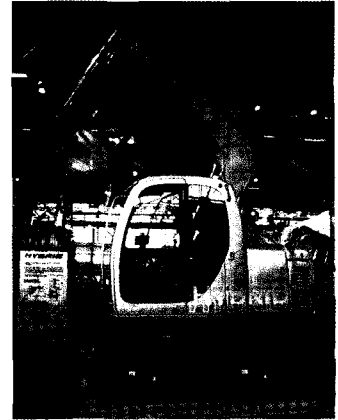


그림 5. Kobelco 하이브리드 굴삭기

주요 특징은 다음과 같다.

- Series 하이브리드 방식 : 엔진 구동 발전기와 배터리/Capacitor 사용
- 전기모터를 사용한 유압펌프 구동 / 선회는 전기모터 구동
- 액츄에이터 독립구동 : 붐, 암/버켓, 주행, 선회
- 브레이크 회생 : 붐, 선회

- Caterpillar Inc.(미국)

Caterpillar Inc.는 Boom 하강 시 유압에너지를 Accumulator에 저장하여 회생하는 Eco-Mate System을 개발하여 상용화하였고, Caterpillar Inc.의 자회사인 일본의 Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd.는 2011년 실용화를 목표로 하이브리드 굴삭기를 개발 중에 있다.

### 3.2 국내 기술개발 현황

국내의 경우 2008년부터 국책과제를 통하여 두산인프라코어가 22톤급 하이브리드 굴삭기를 개발 중에 있으며 현대중공업 또한 하이브리드 굴삭기를 개발 중에 있다. 또한 하이브리드 굴삭기 핵심부품인 Motor/Generator, Inverter 및 Converter, Battery와 Ultra-capacitor, 감속기, 변속장치 등은 부품 생산 전문 업체에서 하이브리드 굴삭기 개발 업체와 공동으로 개발을 수행 중에 있으며 서울대, 한양대 등 대학교와 한국기계연구원에서 제어기술 및 신뢰성 시험/평가 기술을 개발 중에 있다.

표 9. 국내 기술개발 현황

| 구분       | 기술명          | 개발 단계      | 개발 내용                 | 개발주체    |
|----------|--------------|------------|-----------------------|---------|
| 디젤 하이브리드 | 하이브리드 시스템 기술 | Pilot 개발단계 | 22톤급 선회/붐회생 하이브리드 굴삭기 | 두산인프라코어 |
| 디젤 하이브리드 | 하이브리드 시스템 기술 | Pilot 개발단계 | 21톤급 선회회생 하이브리드 굴삭기   | 현대중공업   |

## 4. 중장기 기술 전망

현재 하이브리드 굴삭기는 선도국인 일본을 중심으로 자체적으로 개별 작업평가 작업을 통해 제품화 준비 작업 등이 이루어지고 있다. 성공적인 시장 진입을 위해 신뢰성, 경제성, 상품화를 보강하기 위한 기술이 중기적으로 필요한 것으로 보이며, 또한 장기적으로 series 방식에 의한 시스템 효율의 극대화 및 연료전지 전원 기술의 채용도 검토 대상으로 삼고 있다.

- 고신뢰성/경제성 확보

작업환경에 노출되는 굴삭기의 특성상 가혹한 내진동, 온/습도 조건에서 견딜 수 있는 굴삭기용 전기동력원 부품

개발이 필요하다. 생산 규모가 소량인 점을 고려하여 굴삭기용 전기부품의 경제성 설계가 중요하다.

○ 연비 성능 경쟁

경제성을 중요시 하는 건설기계의 특성상 연비 성능이 시장의 Key Buying Factor로 자리 잡을 것이므로 하이브리드 건설기계 선진업체 대비 경쟁력을 확보하려면 연비 우월성 확보를 위한 기술 개발도 병행되어야 한다.

○ 건설기계, 산업차량, 방산차량, 농기계로의 확산

하이브리드 기술은 굴삭기 이외에 휠로더, 지게차 등 타 건설 중장비 제품에도 적용 가능하며, 건설 중장비 외에 버스/트럭, 농기계, 철도차량, 방산차량 등 타 분야에도 적용 가능하다.

○ 건설기계 굴삭기 기술 장기 전망

향후 연료전지를 비롯한 순수전기식 등 친환경적 에너지원으로 대체될 전망이고, 이에 따라 유압식 동력전달은 전동기와 같은 전기기기로 대체될 전망이다. 하이브리드 동력시스템의 시스템 제어 기술, 전기기기 및 저장장치 기술은 지능형 전동 시스템으로 대체되는 미래에도 유효하므로 반드시 확보되어야 하는 기술이다.

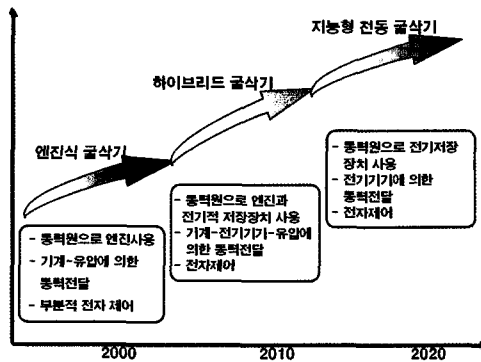


그림 4. Komatsu 하이브리드 굴삭기

## 5. 결론

하이브리드 굴삭기의 국내·외 시장 및 기술 개발 현황과 전망에 대하여 소개하였다. 선진업체에서 2010년부터 하이브리드 굴삭기를 출시하고 있으며, 2015년에는 전 세계 굴삭기 수요의 약 10%를 하이브리드 굴삭기가 점유할 것으로 예상된다. 하이브리드 굴삭기 기술과 관련한 글로벌 경향은 상용화를 고려한 하이브리드 동력원 시스템 설계와 전기동력원 및 동력전달장치의 고출력, 고효율화 그리고 엔진-전기동력원-유압펌프의 통합 제어를 시도하고 있다. 하이브리드 굴삭기 기술은 국가기술 전략상 지향하는 지능형 통합제어, 기술융합, 친환경의 요건을 모두 충족하는 기술이다. 따라서 건설기계 분야에서 선도적 미래 지향적 원천기술을 선점하기 하기 위하여 산학연 중심의 R&D 기반 및 시장선도 능력의 확대가 국가 전략적으로 추진되어야 한다.

## ❁ 참고 문헌

- [1] Susan A. Rogers, "FreedCar Fuel Partnership, Annual Progress Report for the advanced power Electronics and Electric Machinery Program", 2005
- [2] Energy Efficiency and Renewal Energy, "Electrical and Electronics Technical Team Roadmap", 2006



- [3] 지식경제부 생산시스템 연구기획 보고서, “하이브리드 굴삭기 핵심 기술 개발”, 2008 .5
- [4] Research on control strategy and work point optimization of power system in hybrid hydraulic excavator.
- [5] Control strategies of power system in hybrid hydraulic excavator.
- [6] Simulation and experimental research on energy regeneration with hydraulic motor for hybrid drive excavator.



이 근 호

- 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부  
시스템신뢰성연구실, 책임연구원
- 관심분야 : 건설기계 동력전달장치 시스템 설계/  
해석
- E-mail : ghlee762@kimm.re.kr



남 용 연

- 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부  
시스템신뢰성연구실, 책임연구원
- 관심분야 : 건설기계 동력전달장치 제어,  
풍력-디젤 하이브리드 발전 전력 제어
- E-mail : yynam@kimm.re.kr



박 영 준

- 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부  
시스템신뢰성연구실, 선임연구원
- 관심분야 : 건설기계 동력전달장치 설계/해석 및  
신뢰성 평가
- E-mail : yjpark77@kimm.re.kr



방 제 성

- 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부  
시스템신뢰성연구실, 선임연구원
- 관심분야 : 풍력발전 공력 및 기계적 하중 분석,  
터빈 블레이드 유체-구조 연성해석
- E-mail : jsbang@kimm.re.kr



김 낙 인

- 두산인프라코어, 상무
- 관심분야 : 하이브리드 굴삭기 개발
- E-mail : Nagin.kim@doosan.com