

# 건설기계용 주행모터의 기술동향

이용범 | 한국기계연구원

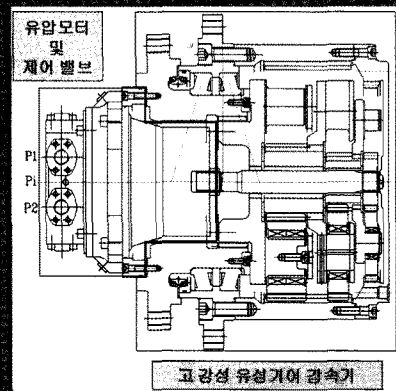
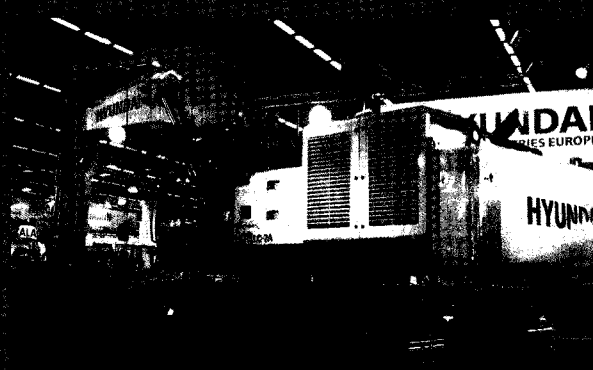
## [요약문]

국내의 대형 플랜트사업이 활발해지면서 여기에 소요되는 건설기계의 수요가 급증하고 특히 초 대형화가 요구되고 있다. 그러나 국내 건설기계는 장비중량이 40ton 이하인 것을 주로 생산하고 있었으나, 최근 이것에 2배가 넘는 85ton급 초대형을 생산하고 있다. 주행모터(track motor)는 굴삭기의 전진 및 후진 주행을 하는 핵심 부품으로서 유압카운터 밸런스 밸브, 양방향작동 릴리프밸브, 주차 브레이크 장치, 2속 제어장치, 유압모터와 고 강성 유성기어감속기가 매우 콤팩트한 구조로 구성된다. 우리나라에서는 두산모트롤, 제일유압, 선진정공 등에서 40ton 이하의 중소형 건설기계용 주행모터를 생산하고 있으나, 70ton 이상 초대형 급은 일본 Kayaba사, Kawasaki사, 독일 Rexroth사 및 이태리 Trasmital사 들로부터 전량수입에 의존하고 있다.

본고에서는 건설기계의 핵심부품인 주행모터의 국내외 수요시장 동향을 분석하여 국산화 개발필요성을 강조하였고, 특히 초대형 주행모터의 성능특성을 분석하여 국산화 개발에 반영 할 수 있도록 하였다.

## 1. 서론

주행모터는 그림 1과 같이 무한궤도(crawler)형 건설기계의 전진 및 후진 주행을 하는 핵심 부품으로서 지중낙하방지를 위한 유압카운터밸런스 밸브(hydraulic counter balance valve), 고속 저 토크의 사판 식 액셀 피스톤 형 유압모터(axial piston type hydraulic motor)부와 저속 고 토크로 변환하는 다단의 유성기어 감속기(planetary type gearbox) 등으로 결합된 복잡하고 콤팩트한 구조의 시스템으로서 다양한 기능과 고 강성 및 고 신뢰성이 요구된다.





현재 국내굴삭기 제조업체들은 차체중량이 5ton~36ton급을 주로 생산하고 있지만, 운하 및 4대강 정비 사업등과 같은 대형토목 사업과 중동, 중국 및 인도 등 해외시장의 대형플랜트 사업에서 초대형 굴삭기 수요가 증가하고 있어서 최근 국내 건설기계 생산업체들도 65ton 이상 85ton급 초대형 건설기계를 생산하기 시작하였다.

초대형 굴삭기 생산회사에서는 핵심부품인 주행모터를 전량 일본(Kayaba사) 및 이태리(Trasmital사)로부터 매우 높은 가격으로 수입하여 사용하고 있는 실정이며, 국내생산 건설기계의 대외 경쟁력 강화 및 수입 대체를 위해 국산화 개발이 절실하게 요구된다.

## 2. 주행모터의 국내외 시장 현황

표 1. 국내 제품 · 기술 현황

No	Application excavator	Hydraulic Motor			Reduction Gear			Total output / year
		Displacement	Output Speed	Max Pressure	Gear Ratio	Output Torque	Output Speed	
		ton	cc/rev	rpm	kgf/cm <sup>2</sup>	l	kgf · m	
1	4~6	33.5	4500	300	56.4	750	750	240
2	5~10	40~56	3900	350	53~54	780~1250	780~1250	77400
3	13~18	87	3200	350	55	1500~2600	1500~2600	30240
4	20~25	140~175	2800	350	41~50	2800~4700	2800~4700	4320
5	29~37	180~195	2100~2600	350	50~70	3000~7600	3000~7600	52560
6	45~55	280	2400~2700	350	45~70	7200~10000	7200~10000	7200
7	70~85	320	2400	380	133	220000	220000	100(수입)

\* 산출근거 : - 국내 제조업체 생산량 (DS사, JI사, SB사, SJ사)  
 - 건설기계산업 동향, 한국건설기계협회, 2010.

표 2. 국내 · 외 시장 현황

(단위 : 백만 원)

구분 \ 년도	2010년	2012년	2014년	2016년
세계 시장 규모	1,976,488	2,569,434	3,340,264	4,342,343
한국 시장 규모	232,528	279,033	334,839	401,806
수출 규모	104,637	125,565	150,677	180,812
수입 규모	37,370	47,609	60,266	72,324

\* 산출근거 : - 국내 제조업체 생산량 (DS사, JI사, SB사, SJ사)  
 - 건설기계산업 동향, 한국건설기계협회, 2010.  
 [성장률/년 : 한국 = 10%, 해외 = 15% (기준)]

### 2.1 전량 수입종인 초대형 주행모터의 국내 · 외 주요 수요처 현황

전량 수입종인 초대형 주행모터가 향후 3년 이내 국산화 개발이 완료 되었을 때 연간 국내외 제조업체의 수요가 약 3000대 이상으로, 연간 450억 원 이상의 시장이 예상된다.

표 3. 초대형 주행모터의 수요처 및 수요량

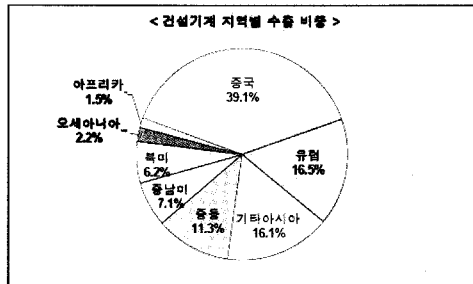
수요처	국명	수요량	관련제품
H사	한국	150 EA	초대형 (85ton급) 굴삭기
D사	"	130 EA	"
V사	"	70 EA	"
나브테스코	일본	750 EA	"
중국 및 기타 아시아	중국, 인도 등	1,000 EA	초대형 굴삭기
유럽 및 기타	유럽, 중동, 중남미 등	700 EA	"
바지선 조선소	한국 및 아시아	200 EA	해상 바지선 크레인

\* 산출근거 : 국내 제조업체 생산량 (DS사, JI사, SB사, SJ사)

## 2.2 건설기계 수출비중

한국건설기계협회의 건설기계산업 동향분석 자료에 의하면 국내건설기계 업계의 수출 비중은 중국과 기타 아시아 (일본, 인도, 베트남 등)에 대한 수출이 전체의 55.2%로 절대 우위를 차지하고 있으며, 유럽 16.5%과 중동 11.3% 그리고 중남미 7.1% 순으로 나타나고 있다.

주행모터 또한 120여개의 건설기계 조립공장을 보유한 중국 시장이 절대적인 우위를 차지하고 있다.



주) 2010년 상반기 수출액 기준  
\* 자료 : 관세청(MTI Code 725)

## 3. 주행모터의 주요기능

### 3.1 유압 제어밸브와 피스톤 모터의 기능

유압 카운터 밸런스 밸브는 자중낙하방지 밸브로서 굴삭기가 경사진 곳을 주행할 때 자중에 의해서 급속하게 내려가는 것을 방지하고 안정적인 속도로 운전이 가능하도록 하는 기능이다. 이 밸브는 콤팩트한 공간에서 양방향 자중낙하방지 기능이 있다는 점이 특징이다.

또한 양방향작동 릴리프밸브(double acting relief valve)는 유압모터로 공급되는 전진 및 후진 관로에 연결되어 급속한 방향전환과 관성으로 발생하는 피크압력을 차단하여 시스템을 보호하는 안전밸브(safety valve)이다. 그리고 주차 브레이크 밸브(parking brake valve)는 주행할 때 주차 브레이크를 해제 해주는 기능과 주차될 때 압력을 배출하고 스프링 힘에 의해 견고하게 주차 브레이크가 작동되도록 하는 역할을 한다.

건설기계는 포장된 도로와 비 포장된 장소에서 사용되고, 주행을 할 때 경사도가 높은 곳을 오르거나 내려오기도 하며, 부하가 걸린 상태의 주행과 부하가 없는 상태에서도 주행할 수 있다. 따라서 주행 효율을 높이기 위해 부하가 클 경우는 1속으로 유압모터의 배제용적을 최대로 하여 출력 토크를 최대화 하고, 부하가 적을 때는 2속으로 배제용



적을 약 60%로 줄여서 속도를 높여 작동되도록 한다. 이와 같은 이속제어는 2-Speed control valve를 사용한다. 액셀 피스톤 형 유압모터는 양방향 제어가 용이한 특성과 고압, 고속으로 출력밀도와 효율이 높은 특징을 가지고 있으며, 특히 2속 제어장치와 주차브레이크 설치가 용이하다.

### 3.2 고 강성 유성기어 감속기의 기능

고 강성 유성기어 감속기는 그림 2와 같이 굴삭기의 무한궤도 내에 설치되어 유압모터로부터 고속 저 토크의 출력을 저속 고 토크로 변환 구동하여 굴삭기가 전진 및 후진하는 기계식 지렛대 역할을 하고 큰 힘이 작용하는 차체를 지지하는 바퀴의 기능을 한다. 초대형 건설기계의 출력 토크가 220,000Nm 이상으로서 유성기어 감속기의 큰 감속비가 요구되어 일반적으로 3단 유성기어 열을 사용한다.

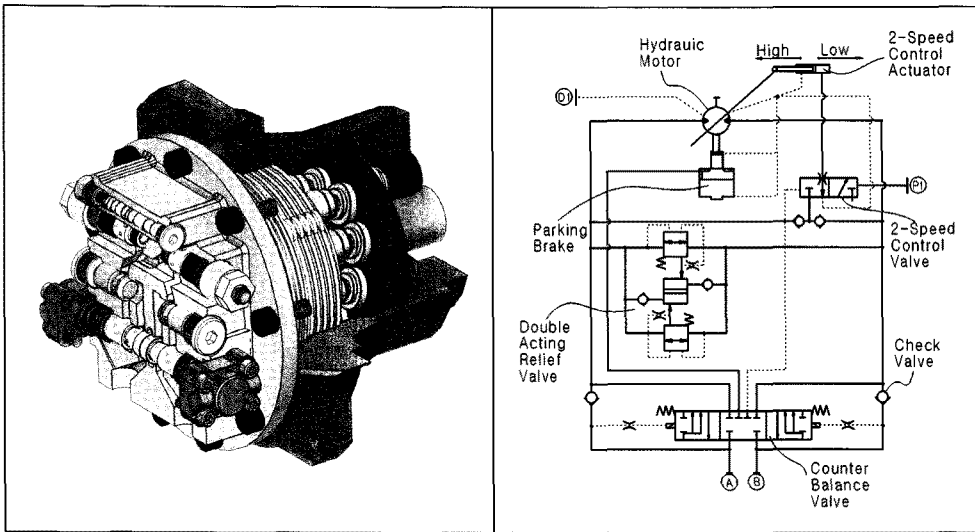


그림 2. 카운터 밸런스밸브와 유압모터 및 유압회로도

## 4. 주행모터 시험 및 결과 분석

표 4. 기능별 시험 방법 및 판정기준

항목	시험방법	판정기준
성능 (효율) 시험	유압모터 조립 후, 길들이기 운전을 실시한 후 모터를 가동시켜 별도 지정 회전수 및 압력차( $\Delta P$ )에서 출구유량(Q), Drain량(q), torque(T)를 측정한다.	- 용적효율( $\eta_v$ ) : 95%이상 $\eta_v = (\text{이론유량}) / (Q+q)$ - 기계효율( $\eta_\tau$ ) : 90%이상 $\eta_\tau = T / (\text{이론 torque})$ **q : Drain 유량
Slip 특성 시험	유압모터 Brake부 해제 상태에서, 모터 내 공기를 충분히 배출시키고, 출구 측 포트를 Block시킨 후 출력축에 부하를 걸어 별도지정 압력(또는 별도지정 torque)이 작용할 때, 내부 Leak에 의한 유압모터 회전수를 1분간 측정한다.	출력축의 회전수가 최대 6.4 rpm 이 될 때의 압력 측정 : 180 bar 이하

항목	시험방법	판정기준
Brake 성능 시험	유압모터 Brake부가 작동된 상태에서 유압모터 Shaft에 별도지정 Torque를 서서히 증가 시킨 후 유압모터의 회전 여부를 측정한다.	Load측의 압력을 350bar 까지 서서히 상승 시키며, 모터 회전 시점에서의 토크측정: 145 kgf-m 이상
Brake 해제 시험	별도지정 Pilot압력(brake 해제용)으로 모터 Brake부 해제상태에서 별도 지정 Torque를 서서히 증가 시킨 후 모터의 회전여부를 측정한다.	모터가 회전하는 시기의 Pilot 압력 측정: 9.5 bar 이하
자동 절환 시험	2속 절환 압력 40 bar 유지 후 부하 측의 압력 증가시키며, 2속 작동 중 1속으로 자동 절환이 일어나는지 측정한다.	2속 작동 중 압력 260 bar 에서 1속으로 자동절환

#### 4.1 시험장치 구축

시험장치 구축은 건설기계에서 주행모터가 전진 및 후진 그리고 정지 및 주차 되고 있는 상황 등의 기능을 재현 할 수 있도록 유성기어 감속기를 제외한 유압카운터 밸런스 밸브와 유압모터 조립체의 시험이 가능하도록 고 강성 프레임으로 제작된 Mounting Bracket에 실험부의 유압모터와 동일한 용량의 부하용 유압펌프를 설치하였고, 중간에는 토크미터와 회전수 측정 센서 그리고 Mechanical Stoper를 설치하여 Test Mechanism을 구성하였다.

시험부의 유압공급은 당원에서 보유하고 있는 750HP급 고압(350 bar) 대용량(560 L/min)유압동력 발생장치를 사용하였고, 부하 부는 저압 대용량 50HP급 유압동력 발생장치를 사용하였으며, 시험부와 부하부의 제어는 비례제어 밸브를 통하여 압력과 유량을 제어하였다.

유압모터의 기능과 성능을 측정하기 위하여 모터의 입구 및 출구 측에 각각 압력계, 유량계 및 온도계를 달고 외부 누유를 측정하기 위한 소형 정밀유량계와 2속 절환 특성을 분석하기 위해 Pilot 압력계 그리고 모터 출력 측에 토크 미터와 회전수 측정 센서를 부착하였다.

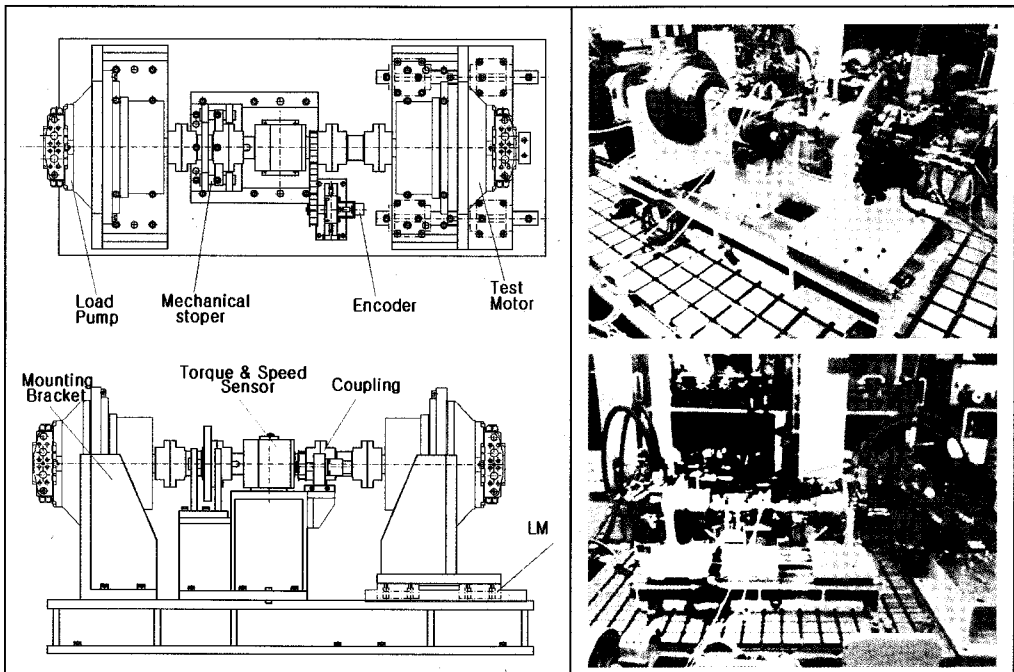


그림 3. Track Motor Test Mechanism설계도 및 시험장치 사진



### 4.2 기능별 성능 특성분석

주행모터의 주요 성능특성을 분석하기 위해 성능(효율)시험과 Stick slip 특성시험, Parking brake 성능시험, Brake 해제시험 및 자동 절환시험을 실시하고 결과를 분석하였다.

유압모터의 성능을 알아보기 위해 정 방향과 역방향으로 시험을 실시한 결과 약 90.85% 수준 이었고, Stick slip 특성시험을 실시한 결과 3.3 rpm으로 회전 할 때 압력은 약 172bar이었으며, Parking brake 최대 토크는 144.2 Kgf-m 이었다. 또한 Parking brake해제는 공급 압력이 9.8bar에서 이루어졌으며, 2속으로 작동되던 주행모터가 부하를 가했을 때 부하압력 258 bar에서 1속으로 자동 절환 되었고, 부하를 최대 350bar까지 상승 시켰을 때 유압 모터의 토크는 145kgf-m 상승 하였다. 이후 부하 압력을 서서히 강하시키면서 1속에서 2속으로 절환되는 압력을 분석한 결과 234bar에서 자동절환 되었다.

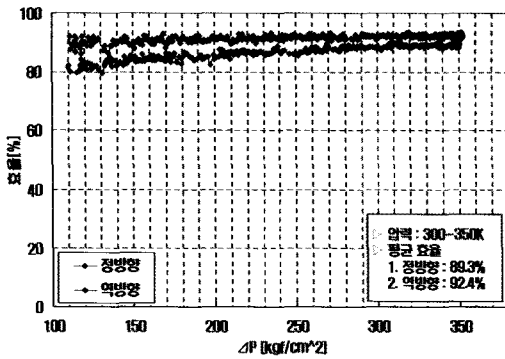


그림 5. Starting efficiency test result

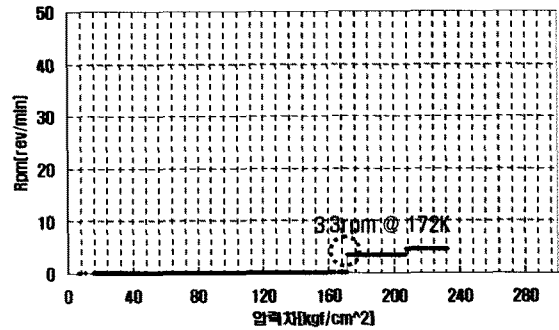


그림 6. Stick slip test result

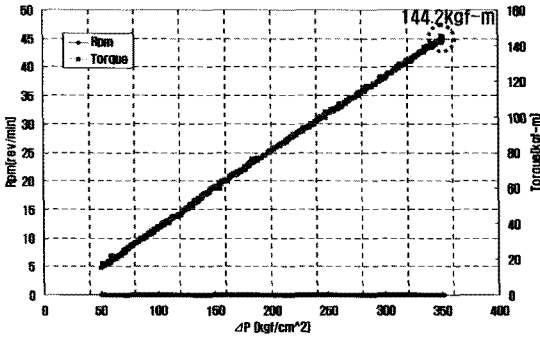


그림 7. Brake torque test result

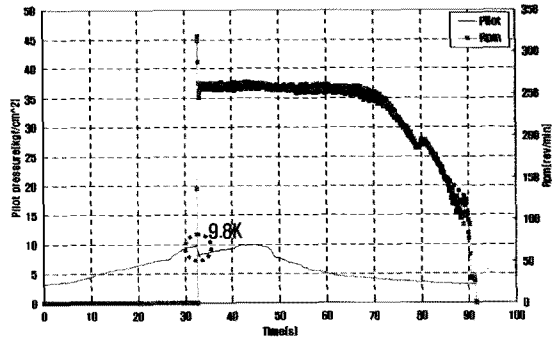


그림 8. Brake release test result

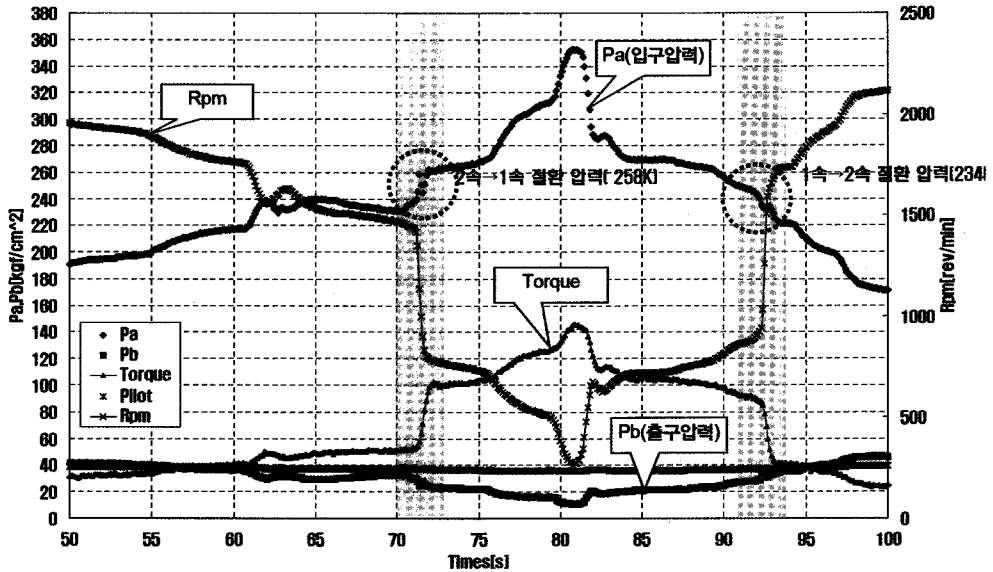


그림 9. Automatic shift characteristic test result

## 5. 결 론

본 연구를 통하여 건설기계용 주행모터의 국내기술 및 시장동향을 파악하였으며, 전량 수입중인 초대형 주행모터의 조속한 국산화 개발의 필요성을 제시하였다.

선진국 제품의 주요 기능별 특성 시험을 통하여 국산화개발을 위한 기술적 시험항목과 기술개발 요구목표를 분석하였다.

주요성능특성 분석을 위한 시험 항목은 배제 용적 시험, 최대 압력시험, 최대 회전수 시험 기본 성능(효율)시험과 Slip 특성시험, Parking Brake 성능시험, Brake 해제시험 및 자동 절환시험 등이며, 기술개발요구목표는 다음과 같다.

기술적 성능 지표	단위	전체비중 (%)	세계 최고수준 (Nabtesco/일본) 및 (Bosch/독일)	기술개발 요구목표
배제용적	cc/rev	10	305	320
용적효율	%	10	95.0	98
기계효율	%	10	94.0	89
전효율	%	(20)	89.3	87
최대 압력	bar	10	350	380
최대 속도	rpm	10	2500	2500
최대 유량	l/min	(10)	520	520
Stick slip 특성	rpm/bar	5	3.5/2.0	3.3/175
Parking brake 최대토크	kgf-m	5	135	125



기술적 성능 지표	단위	전체비중 (%)	세계 최고수준 (Nabtesco/일본) 및 (Bosch/독일)	기술개발 요구목표
Parking brake 해제압력	bar	5	10	9.5
자동절환	2속 → 1속	bar	260	280
	1속 → 2속	bar	235이하	270
최대토크	kgf-m	15	140	190
합계		100		

## ❁ 참고 문헌

- [1] 85ton급 굴삭기용 주행구동유닛의 개발보고서, 지식경제부, 2010.
- [2] Jaroslav Ivantysyn and Monika Ivanthynova, "Hydrostatic pumps and motors", First English Edition, pp. 210-390, 2000.
- [3] Anthony Esposito, "Fluid Power with Applications", 2003.
- [4] A. B. Goodwin, "Fluid Power Systems (Theory, worked examples and problems)", pp. 38-77, 1976.
- [5] 건설기계산업 동향, 한국건설기계협회, 2010.



이 용 범

· 한국기계연구원 시스템신뢰성연구실 책임연구원  
 · 관심분야 : 건설기계, 유압시스템  
 · E-mail : lyb662@kimm.re.kr