

# 건설차량용 독립 미터링 밸브(IMV)의 특허 동향

## Patent Trend of Independent Metering Valve for Construction Vehicle

윤소남

S. N. Yun

### 1. 서 론

우리 주위에 흔히 볼 수 있는 건설차량에 있어서, 새롭게 개발되고 있는 IMV(Independent Metering Valve)는 유량제어밸브를 뜻하는 것으로, 특별히 건설기계에 현재 사용되고 있는 4/3 형식 밸브 대신에 4개의 2/2 형식 밸브가 독립적으로 사용되고 있기 때문에 IMV라는 용어를 사용하는 것으로 사료된다.

최근의 에너지 절약 키워드는 건설 차량(기계) 분야에도 많은 영향을 미치고 있으며, 고소 작업 차량이나 굴삭기에 있어서는 기존의 4/3 방식 방향 유량 제어 밸브의 단점인 압력 손실, 열 손실 및 이에 따른 전체적인 에너지 손실 문제로 IMV(Independent Metering Valve)로 대체하려는 의지가 매우 높으며, 세계 선진국들은 실제적으로 IMV를 채용하고 있고, IMV의 채용으로 기존 시스템에 비하여, 약 30% 이상의 에너지 효율을 상승시키는 효과를 얻고 있다고 보고하고 있다. 반면에 기존의 4/3 방식 밸브 대신에 IMV를 사용하게 되면 하나의 액추에이터를 구동시키기 위하여 기본적으로 4개의 IMV가 필요하게 된다. 결국 굴삭기인 경우에는 굴삭기를 구성하는 붐, 암, 버킷 및 선회 제어를 위하여 무려 16개의 IMV가 필요하게 된다. 이는 굴삭기라는 매우 제한된 공간에 16개의 IMV를 탑재해야 하는 문제가 발생하게 되는데, 첫 번째 과제로 얼마나 작게 만들어서 기존 굴삭기 기능을 유지하게 하느냐가 매우 중요하다.

두 번째로는 기존 스푼 방식이 가지는 누설문제를 해결하기 위한 방안으로 스푼-포핏 하이브리드 방식들이 제안되고 있는데, 밸브의 구조가 매우 중요하고 기존 스푼이 가지고 있는 면적 선도를 구현하기 위하여 섬세한 가공 기술이 구사되어야 하며, 때문에 밸브 가격이 상승하는 원인이 될 수 있다.

세 번째로는 스푼-포핏 하이브리드 밸브를 제어하는 파이로트 밸브로 어떤 방식의 밸브를 사용할 것이냐이다. 현재 제안되는 방식들은 감압밸브로 감압 밸브의 성능이 우수하게 되면 쉽게 적용이 가능하

는 장점이 있으나, 감압력과 메인밸브(스풀-포핏 하이브리드 밸브) 제어 선형성을 결정하기 위한 변수들이 매우 많아 적절한 설계 개념이 도입되어야 할 것이다.

마지막으로는 메인밸브에 기계적인 피드백 기능을 추가할 것이냐 하는 문제이다. 감압밸브의 제어에 의해서 움직이는 메인밸브는 소정의 위치에 이르게 되면 기계적으로 잠금장치가 되어 결국에는 입력압력에 증가하는 메인밸브의 위치 결정이 기계적으로 이루어지게 하면 매우 우수한 제어특성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 결론적으로 기존의 4/3 방식 제어 형태에서 IMV 방식으로 가는 과정에서는 해결해야 하는 많은 숙제들이 있기 때문에 이러한 문제들을 하나씩 해결해 나가는 과정이 필요하다 할 수 있다.

이론적으로 IMV 기술은 기존 건설 차량의 에너지 손실을 매우 혁신적으로 향상시킬 수 있기 때문에 국내외 건설 관련 기관에서 많은 연구들을 하고 있으며, 많은 특허들이 출원 및 등록되고 있다. 이 해설에서는 몇 가지 특허를 대상으로 IMV의 변천사를 가름하고자 한다.

### 2. 특허 소개

Table 1은 1984년부터 2015년까지 출원된 특허를 차례로 정리(특허명, 특허 번호, 특허권자, 밸브 형식 및 특허 등록 년도)한 것으로, IMV 자체로는 HUSCO(INCOVA), 시스템적으로는 Caterpillar가 많은 특허들을 출원하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 2014년부터는 현대중공업(현대건설기계)에서 등록된 특허들을 볼 수 있다. 또한, IMV용으로 사용되는 밸브들을 살펴보면 Poppet 형식과 Spool 형식이 독립적으로 출원되다가 캐터필러로부터 포핏/스풀 융합으로 된 밸브특허가 출원되고 있는 것을 확인할 수 있다. Table 1의 특허 리스트를 기준으로 국내외로 구분하여 특허 내용을 살펴보기로 하자.

Table 1 Patent list for IMV

No	Title	Patent No.	Company	Valve type	Year
1	Electrohydraulic valve system	US4437385	Deere & Co.	Poppet	1984
2	System and method for controlling an independent metering valve	US5960695	Caterpillar	Spool/poppet	1999
3	System and method for calibrating a independent metering valve	US6357276B1	Caterpillar	Spool	2002
4	Hydraulic circuit with a return line metering valve and method of operation	US6467264B1	HUSCO	Poppet	2002
5	Hydraulic system with cross function regeneration	US6502393B1	HUSCO	Poppet	2003
6	건설기계용 제어밸브 장치	JP1998-184604A	Caterpillar	Spool	2003
7	Velocity based method for controlling a hydraulic system	US6718759B1	HUSCO	Poppet	2004
8	Velocity based electronic control system for operating hydraulic equipment	US 6732512B2	HUSCO	Spool	2004
9	Velocity based method of controlling an electrohydraulic proportional control valve	US6775974B2	HUSCO	Poppet	2004
10	Independent metering valve assembly for multiple hydraulic load functions	US6918248B2	Caterpillar	Spool/poppet	2005
11	Hydraulic control system with energy recovery	US6854268B2	Caterpillar	Spool/poppet	2005
12	작업 기계의 하이브리드 시스템	JP2007-10006	Caterpillar	Spool	2007
13	Method for recuperating potential energy during a lowering operation of a load	US2010/0154399A1	-	Poppet	2010
14	건설장비용 유압회로 장치	KR10-2012-0022628	Parker	Poppet	2013
15	Independent metering valve with flow limiter	US8752371B2	Caterpillar	Spool	2014
16	굴삭기의 전자유압 밸브 시스템	KR1020140147551	Hyundai	Spool	2014
17	Pressure control type independent flow control hydraulic system for excavator	EP2857602A1	Hyundai	Spool	2015

2.1 국내 특허 동향

전술한 바와 같이, 국내에서는 유일하게 현대건설 기계에서만 특허를 등록한 것으로 조사되었다. 따라서 이 자료만을 통하여 국내 동향을 분석하는 것은 무리가 있다 사료되지만, 소개 차원에서 서술하는 것으로 하겠다.

Fig. 1은 2014년도 현대건설기계에서 등록한 특허 회로도를 보이는 것이다. 자료에 따르면 기존의 4/3 방식 밸브를 사용하고, 별도로 IMV를 사용하여 실린

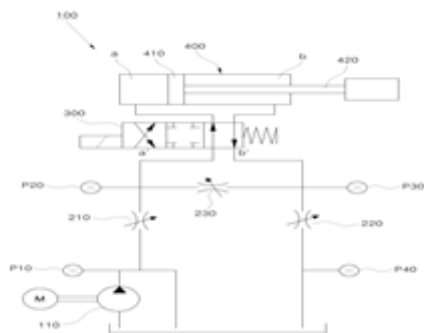


Fig. 1 IMV patent from Hyundai(2014)

더를 제어하는 형식으로 별도의 IMV를 사용하여 유량 보상을 하는 특징이 있다.

Fig. 2 역시 현대건설기계의 2015년도 특허 회로도를 보이는 것으로, 자료를 통하여 분석한 결과로는 IMV로 스폴밸브를 사용하는 것으로 파악되었다. 회로적으로는 캐터필러나 히스코와는 조금 다르게 IMV를 배치하고 있는데, 저자의 생각으로는 아마도 2010년 초반부터 상당한 연구가 이루어졌을 것으로 판단되고, 현재에도 자체적으로 많은 연구들이 이루어지고 있는 것으로 사료된다. 따라서 기존 IMV에 버금가는, 더 나아가서는 기존 IMV보다 우수한 기술을 세상에 내놓았으면 하는 희망을 가져본다.

특허는 찾지를 못했지만, 볼보코리아에서도 IMV 관련 연구를 오랫동안 해오고 있는 것으로 알고 있다.

최근 동력기계학회 학술대회 및 논문집을 보면 볼보코리아에서 연구되고 있는 IMV에 대한 정보를 엿볼 수 있는데, 국내외에서 연구되고 있는 기본 형식인 4개의 IMV를 세트론 한 구조를 보여주고 있다.

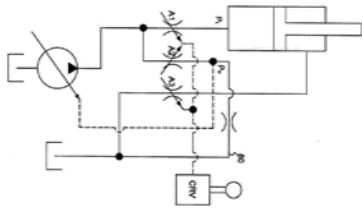


Fig. 2 IMV patent from Hyundai(2015)

기본적이고 개념적인 그림과 회로도, 그리고 문장 역시 세세한 내용을 적고 있지 않아 어떠한 형식으로 어느 정도의 용량으로 연구되고 있는지에 대한 정보는 알 길이 없다. 다만, 발표되는 내용으로 봐서는 상당 기간 연구가 이루어졌다는 것을 직감할 수 있다. 머지않은 기간 내에 볼보코리아의 IMV 개발 실적을 들을 수 있는 기회가 있었으면 좋겠고, 유공압 건설기계학회에서 지식을 합하여 차세대 굴삭기용 IMV 개발 지원이 이루어졌으면 하는 바람도 가지고 있다. 저자가 스웨덴에서 열렸던 SICFP 2017(15th Scandinavian International Conference on Fluid Power)에 참석하여 스웨덴 Volvo의 발표를 들었지만 역시 IMV에 대한 상세 내역은 확인할 수 없었다. 다만 중국에서 IMV에 대한 여러 가지 제안들을 하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 국외 특허 동향

국외에서 출원되고 있는 IMV는 모두 2/2방식으로 4개를 1조로 하는 완벽한 Full-IMV를 지향하고 있음을 알 수 있었다.

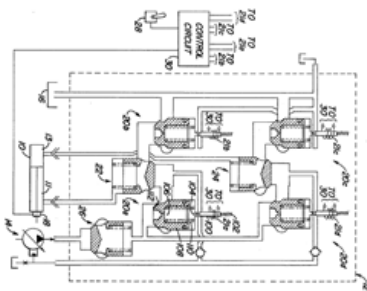


Fig. 3 IMV patent from Deere & company(1984)

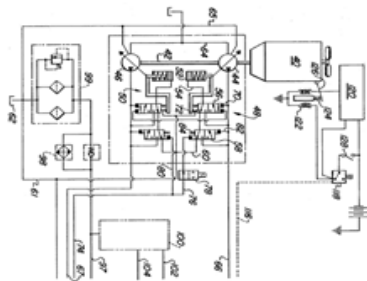


Fig. 4 IMV patent from Deere & company(1988)

Fig. 3과 Fig. 4는 존 디어라고 잘 알려진 회사의 IMV 특허 회로도이다. Fig. 3에서는 포펫방식을 제안하고 있고, Fig. 4에서는 스펴방식을 제안하고 있다.

Fig. 5~Fig. 9까지는 캐터필러의 1999년에서 2014년도까지 등록된 특허 및 회로도를 보이고 있다. 1999년도에는 최초로 스펴-포펫 하이브리드 방식을 제안하고 있으며, 2003년도에는 굴삭기 전체에 대해 스펴방식 IMV를 제안하고 있다. 2005년도에는 다양한 용도로 사용이 가능한 IMV가 내장된 회로를 제안하고 있고, 2007년도에는 액추에이터 충격압을 저

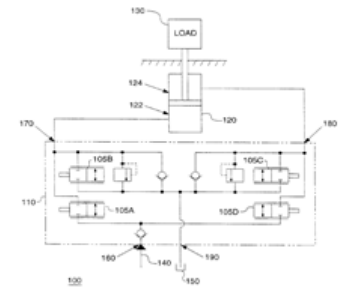


Fig. 5 IMV patent from Caterpillar(1999)

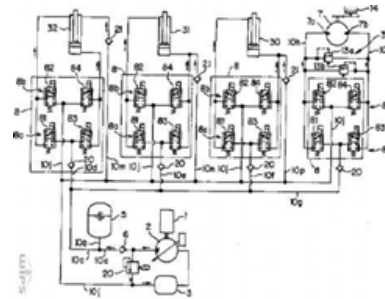


Fig. 6 IMV patent from Caterpillar(2003)

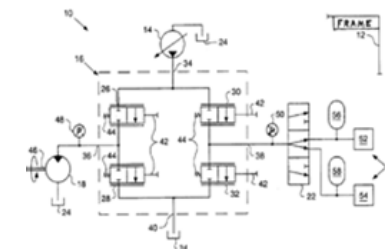


Fig. 7 IMV patent from Caterpillar(2005)

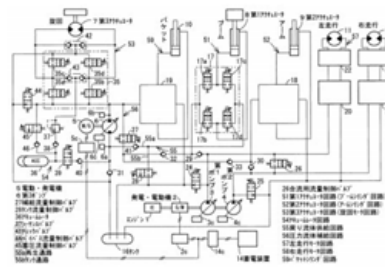


Fig. 8 IMV patent from Caterpillar(2007)

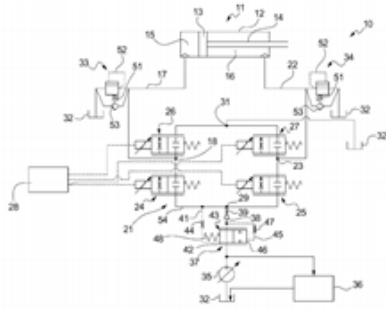


Fig. 9 IMV patent from Caterpillar(2014)

감시키는 구조의 IMV 회로도를 제안하고 있으며, 그 어느 기관보다 많은 특허를 내는 동시에 실질적으로 IMV가 내장된 굴삭기를 산업계에 선보이고 있다.

Fig. 10과 Fig. 11은 HUSCO International에서 제안하는 포켓방식 IMV 시스템 회로를 보이는 것이다. 인터넷 자료와 논문들을 종합해 보면, 조지아공대에서 HUSCO 연구원이 박사학위를 받았으며 조지아공대에서 연구했던 실적들이 HUSCO를 통하여 모두 캐터필러로 옮겨가지 않았나 하는 생각을 해 본다.

HUSCO International 밸브의 특징은 포켓밸브임에도 불구하고, 양방향 제어가 가능한 매우 독특한 밸브이며, 이 밸브를 이용하여 상당한 연구 실적을 쌓은 것으로 보고되고 있다.

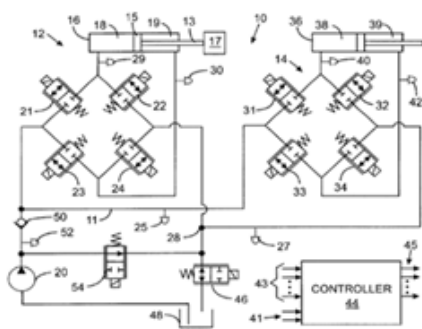


Fig. 10 IMV patent from HUSCO(2002)

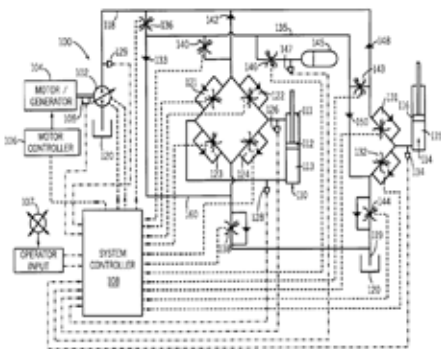


Fig. 11 IMV patent from HUSCO(2002)

Fig. 12는 2010년도에 미국에 등록된 Volvo 제안 특허의 회로도를 보이는 것으로, 전술한 기업들의 회로와 다를 바 없다. 포켓을 이용한 IMV를 제안하는 것으로 구조를 알 수는 없으나, 회로도만을 참조하면, 파이로트를 이용하는 동시에 양방향 제어가 가능한 기술이 요구된다.

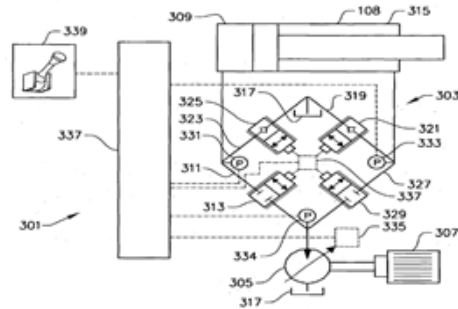


Fig. 12 IMV patent from Volvo(2010)

Fig. 13은 파커에서 제안하는 IMV 회로도를 보이는 것이다. 파커에서 제안하는 IMV는 현재 상용화되어 있는 기계적인 피드백 기능을 가지고 있는 유량 제어밸브를 활용하는 것으로, 기존 밸브가 블록화 되어 있어 굴삭기에 적용하기가 쉽다. 또한, 블록화 되어 있는 조건에서 기본적으로 500[lpm] 이상의 유량을 통과시킬 수 있기 때문에 대용량 굴삭기 적용이 가능한 장점이 있다. 그러나 이 밸브는 양방향제어가 곤란하기 때문에 양방향 제어를 위하여 매우 독특한 회로를 추가시켜야 하는 문제가 있다. 만약에 이 밸브를 이용하여 양방향 제어를 가능하게 한다면, 어떠한 밸브보다도 응용이 쉬울 것으로 사료된다.

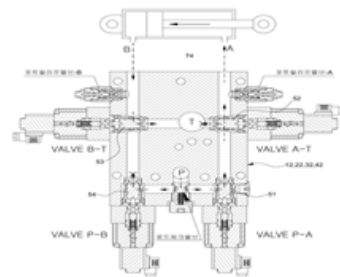


Fig. 13 IMV patent from Parker(2013)

Fig. 14는 Fig. 13의 회로에서 양방향 제어가 가능한 회로를 추가한 것으로(특허 출원중), Fig. 13에서 IMV를 상세하게 전개하면, Fig. 14와 같이 된다.

Fig. 14에서 10은 메인 포켓밸브부이고, 20은 기계적인 피드백 제어부 그리고 30은 파이로트 제어부이다. 또한, 205는 기계적인 피드백 스프링이며, 320은

감압밸브이다. 일반적인 동작 즉, 유압공급장치(50)로부터 공급되는 압력유량은 각각 관로 51 및 감압밸브 320으로 전달되고, Fig. 14의 파이로트부와 같이 회로가 연결되어 있는 상태에서는 감압력이 관로 308로 전달되어 피드백 피스톤 201을 오른쪽으로 작동시킨다. 때문에 오리피스 109가 열리게 되고, 관로 105는 구동기 쪽으로 연결되어 순간적으로 관로 105의 압력이 떨어진다. 결과로 메인 포켓밸브부는 Fig. 14와 같이 111에서 110으로 연결되어 유압공급장치 50의 유압력이 구동기로 전달된다. 피드백 스프링 205는 피드백 피스톤 201이 오른쪽으로 움직인 만큼 반발력이 작용하는데 이 반발력은 솔레노이드 311에 의하여 움직인 감압밸브 300을 오른쪽으로 밀어서 초기 상태 303으로 만들어 더 이상의 감압력이 피드백 피스톤에 공급되지 않도록 하는 기계적인 피드백 역할을 수행하게 된다. Fig. 14에 보이는 회로에서 양방향 제어가 가능해야 하기 때문에, 즉 구동기로부터 유압공급장치 50으로 역류되는 유체를 제어해야 할 필요성이 있기 때문에, 이 경우에는 파이로트 라인 305에 고압을 작용시키면 피드백 피스톤이 메인 포켓을 시트측으로 밀리게 되고, 구동부로부터 역류하는 압력에 비례하여 감압력 또한 제어가 가능하기 때문에 쉽게 양방향 제어가 가능해지게 된다.

### 3. 동향 분석 결과 정리

이 해설에서는 국내외 출원 혹은 등록된 특허를 대상으로 IMV 특성 및 IMV가 내장된 회로의 특성을 분석하는 기회를 가졌다. 모든 특허가 예상하고 있듯이 미래에는 4/3 방식 밸브 대신에 2/2방식 밸브 4개가 한조로 구성되는 것은 분명한 사실이다. 다만, 어떠한 방식으로 양방향 제어를 자유롭게 할 것이냐 하는 문제와 수많은 IMV의 조합을 굴삭기에 어떻게 배치해야 할 것인가 혹은 이 많은 밸브들을 어떻게 최적으로 운용할 것인가 하는 문제들이 남아있다.

또한, 누설 문제 및 운전자의 승차감 개선을 위하여 어떠한 구조의 밸브를 개발하여야 하는 문제까지 기술 개발을 위한 절차들이 많이 남아 있다.

자료들을 보면 IMV(Independent Metering Valve)는 Digital Valve 혹은 Programmable Valve라는 명칭으로 전 세계에서 연구되고 있다. 심지어는 캐터필러에서 IMV가 내장된 굴삭기를 출시하고 있다. 따라서, 국내에서도 신중한 선택과 집중적인 연구가 필요한 시기라 사료된다.

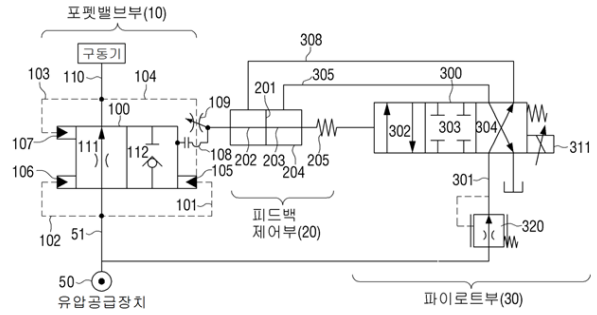


Fig. 14 Suggested IMV circuit for Excavator

## 4. 결 론

이 해설에서는 특허 분석을 통하여 IMV의 세계적인 동향을 살펴보았다. 특허 분석 결과로부터 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. IMV는 향후 개발되는 굴삭기의 필수 요건이기 때문에 반드시 개발할 필요가 있으며, 에너지 효율을 고려하여 적절한 회로 채용이 요구된다.
2. IMV는 기본적으로 양방향 제어가 가능해야 하기 때문에 정/역 방향 제어 시 제어 계인이 다르지 않도록 이론적으로 세밀한 고찰이 필요하고, 가공 또한 정밀성이 요구된다.
3. 특허를 통해서 볼 때, IMV는 기존 스펴이 가지고 있는 누설 특성을 개선할 필요가 있기 때문에 스펴과 포켓이 조합된 구조가 바람직하다.
4. 스펴-포켓 하이브리드 방식을 채용하는 경우에 있어서는 운전자의 승차감 개선을 위하여 기존 스펴의 면적 선도를 유지해야만 한다. 스펴-포켓 하이브리드 방식에도 적절한 면적 선도 제어가 가능한 교축 및 노치가 필요하다.
5. IMV를 이용한 회로에서 리제너레이션(Regeneration) 기능은 다양한 이론 해석 결과를 통하여 필요성 및 가능성을 고려하여 설계할 필요가 있다.

## 후 기

이 해설의 결과는 산업핵심기술개발사업(과제번호:10063469)으로 이루어졌음을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. E.T.N., "Fail operational controls for an independent metering valve", 2018

2. Thomas J. Ulery, "Proportional cartridge valves-economical alternative to large valves", Agricultural engineering 71, No. 4, p.11, 1990.
3. R. Book and C.E. Goering, "Programmable electrohydraulic valve", SAE Transactions, Vol. 108, No. 2, pp.346~352, 1999.
4. A. Shenouda & W.J. Book, "Selection of operating modes of a multi-functional hydraulic device", Proceedings of IMECE 2005, pp.1~11.
5. Keith A. Tabor, "A novel method of controlling a hydraulic actuator with four valve independent metering using load feedback", SAE 2005-01-3639.
6. Bin Yao, "Integrated mechatronics design of precision and energy saving electro-hydraulic systems", Proceeding of the 7<sup>th</sup> international conference on fluid power transmission and control" pp.360~372, 2009
7. M. Chen, D. Zhao, "The gravitational potential energy regeneration system with closed-circuit of boom of hydraulic excavator", Mechanical systems and signal processing

#### [저자 소개]

윤 소 남

E-mail : ysn688@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7155

1986년 제주대학교 기계공학과 학사

1990년 부경대학교 기계공학과 석사

1994년 부경대학교 공과대학 박사

2005년 어번대 마이크로나노시스템/재료

연구실 객원연구원, 1994년~현재 한국기계연구원 책임연구원, 스마트 액추에이터, 유공압 밸브, 다축 시뮬레이터, 극한지 및 심해잠수정용 유압기기 개발 연구에 종사, KSFC, KSME, KSPSE, KSPE, KSAE, KSAS, SASE, ICROS, KHNES, JFPS 등 회원, 공학박사

