



서보모터 일체형 유압펌프의 특징 및 개발동향

성백주 | 한국기계연구원

[요약문]

서보모터 일체형 유압펌프는 핵심 유압기술과 전기 및 전자 제어기술로 구성되는 다분야 융합기술로서, 이와 관련된 기술을 활용하는 전기, 기계, 유압 등 거의 전 산업분야에 걸쳐 이 기술의 국산화 개발에 따른 파급효과가 크다. 특히, 이 개발 기술의 특징은 기존 유사제품과의 동일 출력대비 획기적인 저소음화와 컴팩트화 그리고 에너지 절감의 극대화를 이루었다는데 있다. 본 기술의 개발과정을 통해서 전기 및 기계의 일체화 설계기술, 제작기술, 주물기술, 유체해석기술, 시험평가기술 등 선진국에 비해 상대적으로 취약한 이 분야의 국내 기술인프라 기반기술을 확고히 할 수 있는 계기가 될 수 있다. 본 고에서는 서보모터 일체형 유압펌프의 산업, 기술 동향 및 특화동향 분석을 통한 연구개발 방향 변화를 살펴보고, 향후 기대되는 기술적 비전을 소개하였다.

1. 개요

서보모터 일체형 유압펌프는 탱크하우징 내부에 있는 서보모터와 유압펌프에 의하여 유압모터, 유압실린더 등의 유압액추에이터에서 요구하는 유압동력을 공급하는 장치로서 기존에 탱크하우징 외부에 있는 각종 유압밸브와 제어기 모듈에 의하여 유압액추에이터를 제어하는 방식에서 벗어나, 단순히 서보모터의 속도조절 만으로서 부하를 제어할 수 있는 하는 컴팩트한 유압동력발생장치로써, 유압시스템을 사용하는 기계장비에 직접 탑재되기도 하고 기계장비 주변에 간편하게 배치될 수도 있다¹⁾.

서보모터 일체형 유압펌프의 구성은 크게 4부분으로 나누어진다. 작동유를 보관하고 모든 구성부품들을 보호하고 있는 탱크하우징, 동일 축으로 연결되어 유압동력을 발생시키는 서보모터와 유압펌프, 작동유의 온도상승을 방지하여 시스템의 장시간 사용을 가능하게 하는 고효율 냉각장치 그리고 유압액추에이터를 제어하고 여유유량을 최소화함으로써 에너지를 절감하고 작동유의 급속한 온도상승을 방지하는 시스템 통합제어모듈로 구성된다.

서보모터 일체형 유압펌프의 모든 구성품들은 탱크하우징 내부에 위치하게 되어 작동유에 직접 노출이 된다. 특히, 서보모터가 유중에 노출되면 절연에 기술적 어려움이 많기 때문에 아직까지 널리 상용화되고 있지는 않다. 제어기 모듈은 본 장치의 가격상승의 원인이 되고 더군다나 유압동력을 공급받는 유압 액추에이터의 적용범위가 구체화되지 않고 범용적으로 사용되어질 경우 제어정밀도의 문제점도 안고 있기 때문에 시스템에 탑재하기가 부담스럽다.

제어기 모듈을 개발하고자 한다면 가격을 낮춰야 하며 또한 유압 액추에이터의 사양 및 기능에 따라서 제어기 튜닝도 가능하도록 하여야 하기 때문에 해결해야 할 기술적인 난제들이 많다. 미국, 일본, 독일 등에서는 이들에 대한 선행연구들이 많이 이루어지고 있지만 기술적 어려움과 경제성의 이유로 널리 상용화되지는 못하고 있다.



2. 서보모터 일체형 유압펌프의 구조

서보모터 일체형 유압펌프는 그림 1과 같이 탱크하우징 내부에서 유압을 토출하는 가변용량형 유압펌프와 유압펌프를 구동하는 BLDC 서보모터, 유압액추에이터의 부하와 속도를 감지하여 통합제어모듈로 각각의 신호들을 보내주는 압력센서와 속도센서, 유압액추에이터의 작업조건을 판단하여 전기모터의 속도와 유압펌프의 설정압력을 제어하는 통합제어모듈, 작동유의 온도를 냉각하는 냉각기와 이를 제어하는 온도제어장치 등으로 구성된다.

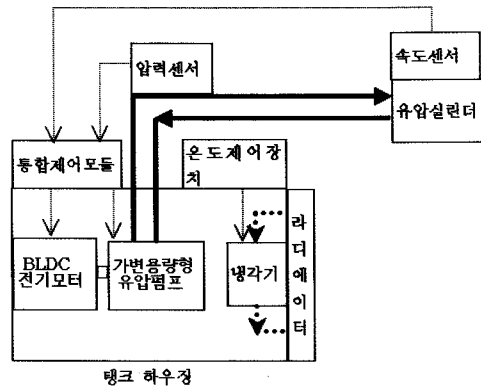


그림 1. 서보모터 일체형 유압펌프의 구조도

2.1 유압 펌프

전기모터와 동일 축으로 연결된 유압펌프는 기계동력을 유압동력으로 전환하는 기기로서 전기모터의 속도와 시스템의 압력을 고려하였을 때 피스톤형 (piston type) 유압펌프가 적합하다. 에너지 절감효과를 극대화하려면 압력 절단기능 (pressure cut-off function)을 필요로 하므로 이를 수행하기 위해서 가변용량형 구조로 설계되어야 한다. 본 기능이 내장되면 유압시스템에 안전밸브는 생략될 수 있다. 그림 2는 유압펌프의 내부 구조도이다¹²⁻⁴¹.

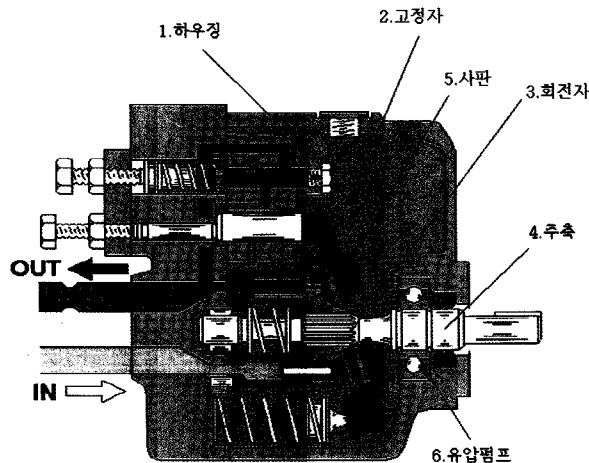


그림 2. 유압펌프 내부 구조도

2.2 탱크일체형 고 냉각효율 하우스징

탱크하우스징은 안정적으로 유량을 공급할 수 있을 정도의 충분한 작동유를 저장하여야 하며 아울러 본 장치에 구성되는 모든 요소부품들을 내장 또는 외장하는 기능을 수행하고 있다. 그리고 기계장비의 장착 자유도를 확보하기 위하여 경사보상기능도 포함하여야 한다. 설계할 때 탑재되는 냉각기의 부담을 줄이기 위해서는 하우스징의 표면적을 크게 하여 대기중으로 열량을 충분히 방출할 수 있도록 하여야 한다. 유압작동유는 액추에이터와 시스템의 제어밸브에서 규정하는 청정도가 유지되어야 하며 이를 위해서 탱크하우스징 내부에 유압필터가 설치된다. 그림 3은 서보모터와 관련 구성품들을 내장하고 있는 탱크하우스징(2)을 보여주고 있다.

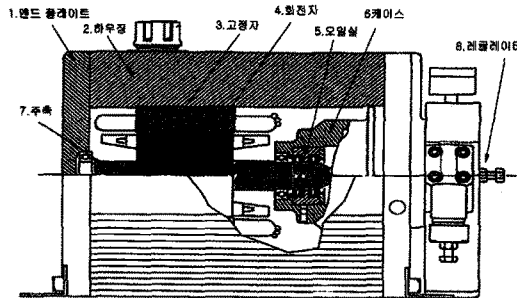


그림 3. 탱크 하우스징

2.3 유압펌프-서보모터 통합제어 유닛

통합제어 유닛은 유압 액추에이터의 속도 또는 부하를 감지하여 전기모터와 유압펌프를 제어하기 위하여 온보드형으로 설계된다. 유압 액추에이터의 작업조건을 모델링한 SCA(system control algorithm), 각종 센서의 신호를 취득하는 A/D Converter, 제어신호를 보내는 D/A Converter, 그리고 SCA의 기준신호(reference signal)와 센서들의 신호(field signal)의 차로부터 최적의 제어신호를 출력하는 PID 제어기들로 구성된다.

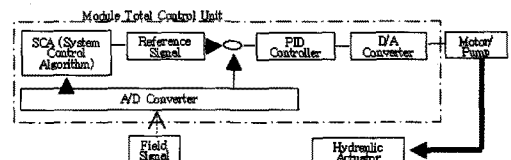


그림 4. 통합제어 개념도

SCA는 유압 액추에이터의 작업조건을 모델링한 S/W로써 프로그램을 통합제어모듈에 저장하게 된다. 이 프로그램은 액추에이터의 작업조건이 달라지거나 사양이 달라지면 그때마다 수정된 S/W를 내장하는 것이 가능하다. 만약 자동조정(Auto tuning)기능을 내장하게 하면 요구사양에 따른 프로그램 수정이 필요 없다. SCA의 역할은 액추에이터의 작업조건이 결정되면 액추에이터 제어에 필요한 제어기의 기준신호를 결정하게 된다.

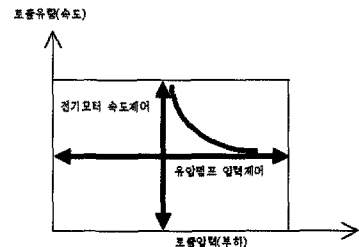


그림 5. 유량과 압력의 제어 범위

통합제어모듈은 서보모터의 속도와 유압펌프의 압력을 제어하며, 그에 따른 유량과 압력의 제어범위는 다음 그림 5와 같다. 액추에이터의 속도제어에 필요한 작동유의 유량제어는 전기모터의 속도에 의하여 제어되며 액추에이터의 부하제어에 필요한 작동유의 압력제어는 유압펌프의 레귤레이터 절단기능에 의하여 제어된다.



3. 서보모터 일체형 유압펌프의 시장 동향

서보모터 일체형 유압펌프는 공작기계, 농기계, 방산장비, 자동차, 건설기계, 항공기 등 유압실린더나 유압모터와 같은 유압식 액추에이터가 사용되고 있는 모든 분야에 널리 이용될 수 있다. 그리고 향후 무인화장비, 원격장비, 첨단장비 등으로 유압시스템의 응용범위가 확대됨에 따라 제어기 모듈에 의하여 유압동력이 자동으로 제어되는 기술에 대한 선행연구도 가속화되고 있다. 통합제어모듈은 사용동력을 효율적으로 제어함에 따라 에너지를 절감할 수 있는 장점을 수반하므로 그간 일본, 미국, 유럽 등의 선진국에 상대적으로 낙후되어 있던 유압시스템의 선진화에 대한 파급효과도 기대할 수 있다.

여기에서는 기존의 유압동력발생장치의 국내의 시장동향을 분석함으로써 향후 대체 사용될 서보모터 일체형 유압펌프 시장을 유추해 보겠다. 그림 6은 유압동력발생장치로서 서보모터 일체형 유압펌프가 대체 장착될 것으로 기대되는 기존의 공작기계(Horizontal Machining Center)와 일반 기계장비를 보여주고 있다.

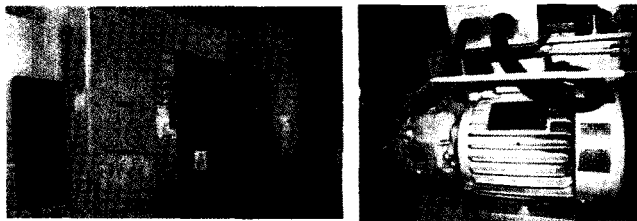


그림 6. 서보모터 일체형 유압펌프의 응용 사례

3.1 해외 시장 동향

유압동력발생장치의 주요 시장은 전체의 45% 이상을 차지하고 있는 건설기계와 12% 이상을 차지하고 있는 공작기계 분야이다. 건설기계의 세계시장의 규모는 약 680억불(2005년 기준)이며 시장의 증가 추세를 감안하면 2011년에는 약 720억불로 예측되고 있다. 그림 10은 2005년도를 기준으로 한 건설기계 분야의 매출액과 매출순위를 보여주고 있다.

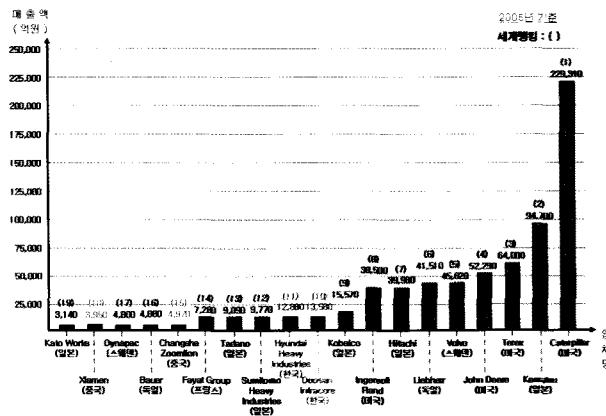


그림 7. 건설기계 분야의 매출액

공작기계의 세계시장의 규모는 약 190억불(2006년 기준)이며 시장의 증가추세를 감안하면 2011년에는 약 240억불로 예측되고 있다.

표 1. 세계 공작기계 수급현황

(단위 : 억불)

구 분	2003	2004	2005	2006
수 요	125	150	170	190
공 급	125	140	160	180

3.2 국내 시장 동향

유압동력발생장치의 국내시장의 규모는 세계시장의 약 4%를 차지하고 있어 2011년 기준 약 3360억원으로 예측된다.

표 2. 유압동력 발생장치의 국내시장 규모

(단위 : 억불)

구 분	2008	2009	2010	2011
수 요	3120	3200	3280	3360

국내에서 응용되는 분야는 건설기계, 농기계, 공작기계, 등 광범위 하게 분포되어 있으며 분야별 제품군을 조사하면 다음과 같다.

표 3. 유압동력발생장치를 사용하는 분야별 제품군

분 야	원제품
건설기계	굴삭기, 로우더, 도우저, 크레인, 지게차, 덤프트럭, 믹서트럭, 펌프트럭
농기계	트랙터, 콤바인, 경운기
특장차	고소 작업차, 렉카, 살수차, 냉동탑차
철도차량	전동차(지하철·고속전철), 디젤기관차
방위산업	수송트럭, 자주포, 전차, 장갑차, 선박(구축함)
성형기계	프레스, 사출기, 다이캐스팅
공작기계	범용 공작기계, CNC 공작기계
항공기	상용기, 커뮤터기, Biz기, 상용기, 전투기, 고등훈련기, 기본훈련기, 수송기, 대형 항공기, 중소형 항공기
발전설비	수력 발전기, 풍력 발전기, 원자력

그러나 유압동력발생치로서 사용되는 서보모터 일체형 유압펌프는 전용시험장비로만 부분적으로 응용되며 있으며, 아직까지 기계장비에는 상용화되고 있지 않다.

4. 기술동향

4.1 해외 기술개발 현황

4.1.1 일본

에너지 절감과 소형화 적합한 제어기 모듈의 알고리즘과 제어기를 연구하고 있다. 제어방식은 PID제어를 채택하고 있으나 유압액추에이터의 종류에 따라 게인들이 변한다. 따라서 모든 유압액추에이터에 제어기를 쉽게 적용하기 위하여 자동 게인튜닝에 관한 연구를 활발히 진행 중이다.



핵심기술인 전기모터와 유압펌프가 탱크 하우징 내부에 배치되어 있으며 한 개의 축으로 연결되어 있다. 유압펌프는 레귤레이터에서 조정된 압력에 의하여 최대압력이 제어되는 구조이다. 유압펌프를 제어기 모듈에서 제어하려면 레귤레이터의 구조가 단순한 기계-유압식이 아닌 전자-유압식으로 변경된다. 즉 레귤레이터에 전자유압밸브가 탑재되는 구조를 가지며 이때 전자밸브는 비례압력제어밸브, 비례감압밸브, 서보밸브, PWM(Pulse Width Modulation) 밸브가 사용될 수 있다.

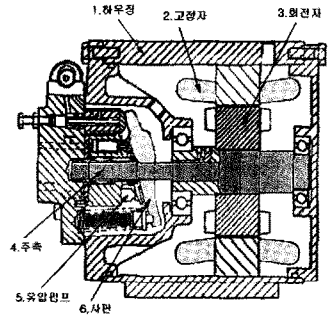


그림 8. 서보모터 일체형 유압펌프의 구조도

4.1.2 유압

저압대용량/고압 소용량 실현하기 위하여 2개의 펌프가 한 개의 전기모터에 연결된 2-stage 방식을 채택하여 널리 상용화하고 있으며 콤팩트한 구조를 갖기 위하여 유압펌프가 전기모터 내부에 배치된 구조를 활발히 연구하고 있다.

유압펌프가 전기모터 내부에 배치됨으로써 탱크 하우징의 전장이 짧아지기 때문에 설치공간이 좁은 기계장비에 유리하다. 유압펌프는 피스톤 방식이며 실린더블록이 전기모터의 회전자에 고정되어 함께 회전을 하고 있다. 유압펌프의 용량은 레귤레이터의 서보피스톤에 의하여 가변되고 있다.

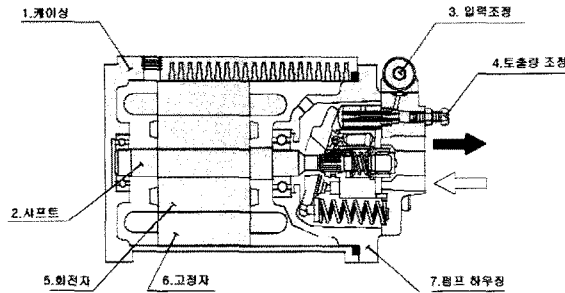


그림 9. 전기모터 내부 취부형 유압펌프의 구조도

4.2 국내 기술개발 현황

서보모터 일체형 유압펌프에 대한 기술개발이 전무하며 부분적인 기술개발은 이루어진 사례는 있다. 한국기계연구원은 토크렌치용 파워팩으로 저압대용량/고압소용량 2단 동력발생장치를 개발하였는데 전기모터는 탱크하우징의 외부에 설치된 구조이다.

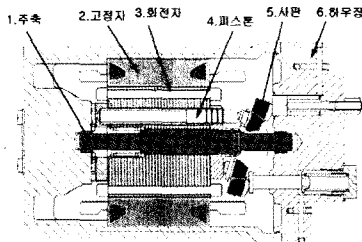


그림 10. 국내에서 연구 중인 유중 서보모터 일체형 유압펌프

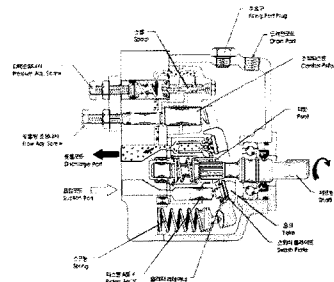


그림 11. 피스톤식 가변 용량형 유압펌프

일부 기업에서 상품화 중인 파워팩은 서보모터 일체형 유압펌프의 및 제어기 모듈의 설계기술이 아니라 단지 유압시스템을 조립하는 수준에 불과하다. 그리고 제어기 모듈기술은 국내에서 개발 또는 상품화된 적이 없다.

피스톤형식 가변용량형 유압펌프에 대한 연구는 한국기계연구원을 비롯하여 제일유압(주), 세원셀론텍(주) 등에서 활발하게 연구를 진행하였으며 기계-유압식 레귤레이터를 탑재한 유압펌프는 현재 공작기계, 건설기계, 농기계 분야에 많이 활용되고 있다.

5. 특허로 살펴본 연구개발 방향 변화

5.1 서보모터 일체형 유압펌프의 특허 동향

서보모터 일체형 유압펌프와 관련된 특허는 총 363건이 출원되었으며 일본 117건, 미국 110건, 유럽 64건, 한국 63건이 출원되어 일본이 최다 출원국으로 나타났다. 특허 출원의 기업적 분포를 살펴보면 다출원사는 Vickers, Komatsu, Yuken Kogyo, Hitachi, Shimadzu로서 일본 및 미국 기업이 특허출원을 주도하고 있는 것으로 나타났다.(2008년 기준)

그 중 일본은 90년대 중반에 특허출원이 급증하다가 2000년대에 들어 최근까지 점점 감소하는 경향을 보이고 있으며, 우리나라의 경우 전체적인 출원 추이가 90년대 초반부터 일본과 2~3년의 격차를 두고 유사한 패턴을 보이고 있는 것으로 보아 이 분야에서는 우리나라의 기업들이 주요선진국의 연구개발 동향을 모니터링하면서 이를 답습해 오고 있는 것으로 판단된다.

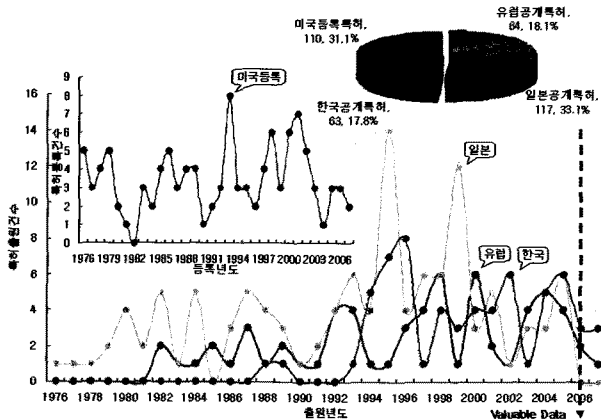


그림 12. 서보모터 일체형 유압펌프의 특허출원(등록) 추이

주요 특허 출원 기업의 세부 기술별 추이를 살펴보면 Vickers, Yuken Kogyo, Daikin Industries, Shimadzu는 주로 탱크 일체형 고냉각 효율 하우징에 대한 특허활동을 하고 있으며 펌프-모터 모듈 통합 제어기에 대해서도 소수의 특허출원을 하고 있고, Komatsu, Honda Motor, Robert Bosch는 주로 소용량 축 일체형 유중 전동펌프에 대한 특허활동을 하고 있으며, Komatsu는 펌프-모터 모듈 통합 제어기에서도 활발한 특허활동을 하고 있다. 국내 연구기관인 한국기계연구원은 소용량 축 일체형 유중 전동펌프에 대해 특허활동이 상대적으로 집중되어 있으며 펌프-모터 모듈 통합 제어기에 대해서는 특허활동을 없는 것으로 나타났다.



5.2 특허로 살펴본 연구개발 방향 변화

5.2.1 전체 특허분포도

그림 13은 전체 특허 분포도이다. 서보모터를 포함한 전동기 일체형 유압펌프 기술의 특허분포도를 볼 때 관련 기술 중에 대표적으로 Valve, Controller, Actuator, Axial Piston, Assembly 등의 기술분야에 많은 특허가 분포하고 있는 것으로 나타났다.

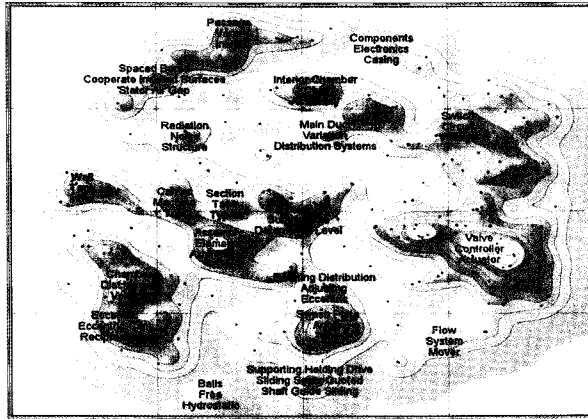
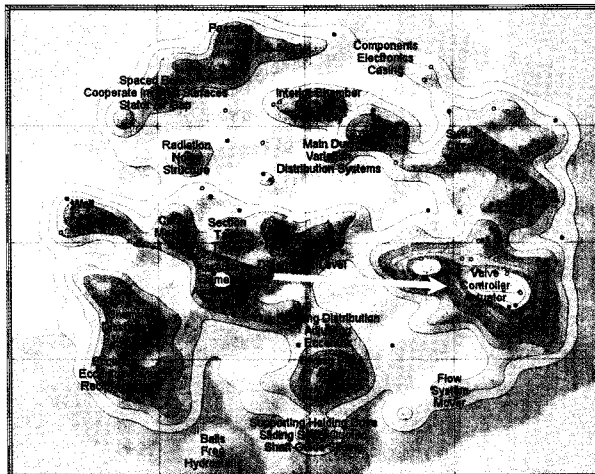


그림 13. 서보모터 일체형 유압펌프의 특허분포도

5.2.2 연구개발 방향의 변화

특허 분포도를 출원연도를 기준으로 시대에 따른 연구개발 트렌드의 변화를 비교해 보았다. 그 결과 과거에는 Determines Level 및 Rotating Distribution 관련 기술 분야에 대한 연구개발이 활발하게 진행되었지만, 최근에는 Main Duct Variation Distribution Systems 관련 기술 분야에 대한 연구가 상대적으로 활발하게 진행되고 있는 것으로 나타났고, Valve Controller Actuator 관련 기술 분야는 지속적으로 연구개발이 활발하게 진행되고 있는 것으로 나타났다.



푸른색(과거), 노란색(최근)

그림 14. 서보모터 일체형 유압펌프의 구간별 연구개발 방향 변화

6. 서보모터 일체형 유압펌프의 비전

- 설계 및 관련 기반 기술을 보유하여 자동화장비, 공작기계 등의 산업체 파급효과가 큰 유압부품(펌프, 레귤레이터, 밸브, 등)의 기술향상에 기여함.
- 유압 핵심 부품에 사용되는 밸브의 잠재적 고장형태와 그 영향을 분석해 초기의 동작성능과 장기 작동 후 동작 성능을 파악, 성능 테스트 방법 및 기술 획득하여 주요부품개발에 필수적인 종합성능, 내구성, 내환경성시험 및 평가 기술을 보유하는 것을 기대함.
- 신 모델은 이전 모델보다 전혀 새로운 관점으로 개발할 수 있는 기술적 근거를 마련하고, 유압 핵심 부품의 신뢰성 향상으로 인하여 일반산업기계의 유압 핵심 부품에도 기술 적용 가능함.
- 개발대상 기술은 첨단기계장비, 항공기, 정밀시험장비 등에 적용가능한 차세대 전자-유압 기술로 수입의존도 매우 높은 기존의 건설기계, 공작기계, 자동차 및 일반산업기계 등의 동력발생장치를 수입대체 함으로, 개발 시 연간 500억원의 수입대체효과를 기대하며 이러한 차세대 기술 보유에 따른 국내 산업의 수출 경쟁력 및 신뢰도 향상에 기여하여 수출증대효과를 기대함.

❖ 참고 문헌

- [1] 한국산업기술재단, 2008 부품소재 로드맵 RFP보고서, 2008
- [2] Mansour A. Karkoub, Osama E. Dad, Mahmoud G. Rabie, 1999, "Predicting axial piston pump performance using neural networks", Mechanism and Machine Theory, Volume 34, Issue 8, pp.1211-1226
- [3] Paolo Casoli, Andrea Vacca, Germano Franzoni and Gian Luigi Berta, "Modelling of fluid properties in hydraulic positive displacement machines, Simulation modelling Practice and Theory", Volume 14, Issue 8, pp. 1059-1072, 2006
- [4] P. Kalafetis and Th. Costopoulos, "Modelling and simulation of an axial piston variable displacement pump with pressure control, Mechanism and Machine Theory", Volume 30, Issue 4, pp. 599-612, 1995



성 백 주

· 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부
 시스템신뢰성연구실 선임연구원
 · 관심분야 : 전기식 액추에이터 개발 및 기계류
 부품 신뢰성 연구
 · E-mail : sbj682@kimm.re.kr