

에너지 절감 전기-유압 시스템에 관한 연구

A Study on the Energy Saving Electro-Hydraulic System

*윤주현¹, #안경관², 조용래³, 이민수⁴

*J. H. YOON¹, #K. K. AHN(kkahn@ulsan.ac.kr)², Y. R. CHO³, M. S. LEE⁴

¹울산대학교 기계자동차공학과, ²울산대학교 기계자동차공학부, ^{3,4}울산대학교 기계자동차공학과

Key words : Energy Saving, Electro-Hydraulic System, AMESim, Heavy Equipment, Hybrid Actuator

1. 서론

오늘날 다양한 산업 분야에서 에너지 절감을 위해 하이브리드 시스템을 연구·개발하고 있다. 대표적으로 자동차 산업에서는 대체 에너지 자동차와 에너지 회생 하이브리드 자동차의 연구·개발이 동시에 진행되어 많이 개발 되었다. 그러나 산업의 기반을 마련하는 건설 중장비 분야에서는 에너지 효율과 환경문제의 규제가 다른 분야에 비해 심하지 않았으나 이에 대한 규제도 속속 마련되고 있는 실정이다. 따라서 건설 중장비제작 업체는 에너지 효율을 높이기 위해 엔진의 효율을 높이고, 기계적인 장치의 중량감소와 작업 모드 변화에 따른 연료 분사량 조절 등 기계적인 장치의 효율을 개선하고 있다. 실제 중장비는 유압 시스템이 단위면적당 출력이 크고, 과부하 방지가 쉽게 되며, 힘 조정이 쉬운 특징 등으로 큰 힘이 요구되는 장비에 많이 사용되고 있다. 그러나 이에 적용되는 유압 시스템은 엔진이 기동되면 엔진과 체결된 유압펌프가 같이 구동하게 되어 계속해서 작동유체가 유압 회로를 순환하고, 이에 따라 작업을 하지 않더라도 작동유체 전량이 탱크로 드레인 되면서 손실을 야기한다. 따라서 현재 중장비에서는 Fig. 1과 같은 에너지 손실 등으로 실제 23~25%의 일이 유효하게 사용되고 있는 실정이다. 따라서 유압 시스템을 개선하지 않고서는 실질적인 시스템 효율을 개선하는데 한계가 있다.

유압 시스템에서는 정확한 속도 제어, 물리적인 크기, 제어용 이성, 신뢰성, 비용절감 등과 같은 변수들을 개선하기 위해 연구·개발되고 있다. 현재 사용되는 대부분의 유압 시스템에서는 각종 밸브나 펌프, 관로 등을 통해서 많은 유체 유동 에너지가 열에너지로 발생되어 에너지 손실이 되고 있다. 또한, 구성 요소가 복잡하고 설치공간이 작은 경우에 적용이 어렵다. 이러한 유압 시스템의 단점을 개선하기 위해 Fig. 2와 같은 전기-유압 시스템이 제안되었다. 이는 전기-유압 액추에이터 혹은 하이브리드 액추에이터란 이름으로 활발히 개발이 진행되고 있다. 전기-유압 시스템은 항상 구동되는 엔진(전기모터)과 가변 유압펌프를 대신해서 전기모터와 고정형 유압펌프를 일체화해서 사용한다. 제어는 기존의 서보밸브나 비례제어밸브, 가변 유압펌프의 사관각 제어대신, 전기모터의 회전수와 회전방향제어로 시스템이 작동하게 된다. 이에 따라 액추에이터 작동 시에만 전기모터를 구동해서, 유압펌프를 구동하게 되므로 기존의 에너지 손실에 대해 상당한 에너지 절감효과를 얻을 수 있다. 이와 관련하여 Andersson, J.와 Krus, P.는 기존의 밸브제어 방식의 유압 시스템과 비교하여 전기-유압 액추에이터 시스템에 대한 에너지 절감효과 및 시스템의 모델링과 시뮬레이션으로 전기-유압 시스템을 검증 하였다.^{1,2} 또한 Rahmfeld R.과 Ivantysynova M.은 산업 기계에 적용해도 기존의 유압 시스템보다 에너지 절감이 되는 특징을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.³

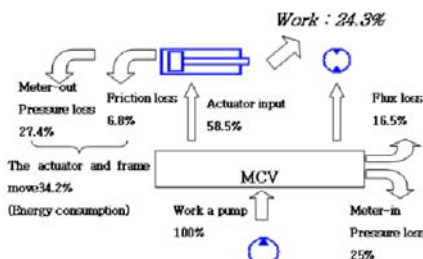


Fig. 1 The energy flowing map of the Excavator hydraulic system

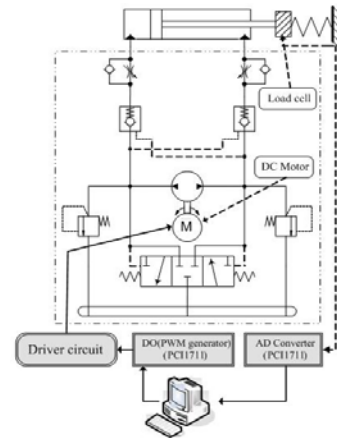


Fig. 2 Schematic diagram of Electro-Hydrostatic system

Table 1 Electro-Hydraulic Actuator Specification

No.	Specification	Value
1	Rated output	250W
2	Rated voltage	DC24
3	Rated flow	0.9L/min
4	Rated pressure	6.4Mpa
5	Setting pressure of relief valve	7.4Mpa
6	Max retaining pressure	13.7Mpa
7	Cylinder Inside Diameter	540mm
8	Cylinder stroke	300mm
9	Cylinder rod	20mm

본 연구의 목적은 전기-유압 시스템의 성능을 실험 할 수 있는 장치를 구성하고, 에너지 효율을 비교하기 위해 기계 해석 소프트웨어로 상용화된 AMESim을 이용해서 기존의 유압 시스템과 전기-유압 시스템을 모델링하여 전기-유압 시스템의 에너지 효율을 비교한다.

2. 실험 장치구성

실험 장치의 구성은 Fig. 3과 같다. DC모터의 회전 속도는 IGBTs (SGH80N60UF)를 사용해서 펄스 대역폭을 변환하는 드라이브 회로를 통해 제어된다. 전기-유압 시스템의 제어를 위해 IBM 호환성을 가진 PC를 사용했다. 또한 A/D보드 (Advantech PCI-1711)로 PWM 제어신호가 입력되고, 피드백 신호를 얻게 된다. 힘 측정을 위해 로드셀(SETech, YC60-500K)을 사용했다. 부하환경을 만들어 주기 위한 외부부하요소로 스프링 (30~75kN/m)을 사용했다. 실험 장치의 규격은 Table 1과 같다.

전기-유압 시스템은 DC모터와 기어펌프, 유압 탱크, 유압 실린더가 일체형으로 되어 있어 유압 배관이 없다. 또한 유압 실린더 로드는 DC모터의 정·역 회전으로 전·후진을 하게 된다.

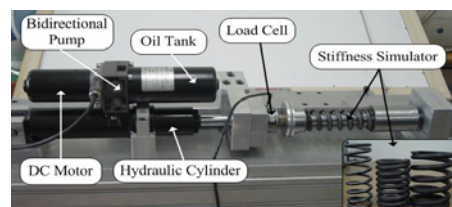


Fig. 3 Photograph of Experimental apparatus

3. AMESim 모델링 및 해석

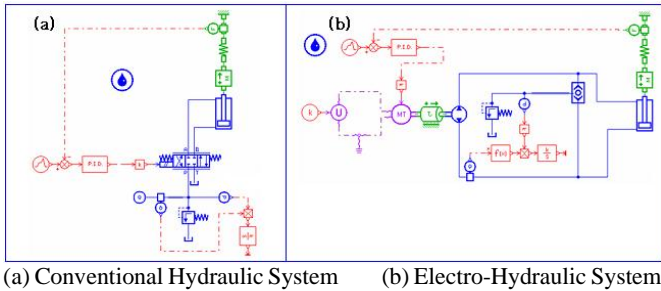


Fig. 4 System Modeling using AMESim

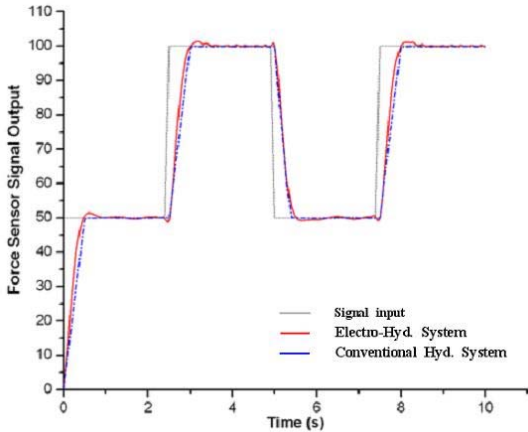


Fig. 5 Force signal responses of two hydraulic system

기계 해석으로 상용화된 해석툴인 AMESim을 사용하여 기존의 유압 시스템과 전기-유압 시스템을 모델링은 Fig. 4와 같다. Fig. 4의 (a)는 기존의 유압 시스템에 대한 모델링이며 이는 방향절환 솔레노이드밸브를 사용하여 실린더를 제어하게 되고, Fig. 4의 (b)는 전기-유압 시스템으로 실린더 제어는 전기모터의 회전수와 회전방향으로 제어한다. 따라서 기존의 유압 시스템은 항상 일정한 압력과 유량이 유압회로를 순환하고 있고, 전기-유압 시스템은 실린더를 움직일 때만 전기모터를 회전하게 된다. 두 시스템의 응답을 비교하기 위해 힘 추적 신호를 주었다. 이때 실린더 끝에 설치된 힘 센서로 계측된 값은 Fig. 5와 같다. 기존의 유압 시스템에 비해 전기-유압 시스템이 약간의 오버슈트와 정착시간이 긴 특성을 나타냈다. 이때 유체 특성은 Fig. 6에서와 같이 두 유압 시스템 모델링에서 압력 센서와 유량 센서를 통해 측정된 압력과 유량을 나타낸다. 측정된 압력과 유량을 통해 시뮬레이션 시간동안 소비된 유체동력을 비교하면

$$L_a = \frac{P_a \times Q_a}{612}, L_b = \frac{P_b \times Q_b}{612} \quad [1]$$

$$Energy Saving = \frac{L_b - L_a}{L_b} \times 100 \quad [2]$$

여기서, L_a 는 기존 유압 시스템 소요동력
 L_b 는 전기-유압 시스템 소요동력
 P_a 및 Q_a 는 기존 유압 시스템 압력과 유량
 P_b 및 Q_b 는 전기-유압 시스템 압력과 유량

시뮬레이션 결과 60.44%의 에너지가 전기-유압 시스템이 기존의 유압 시스템에 비해 절감되는 것을 확인했다. 또한, 정현파에 대한 신호 입력에 대한 시뮬레이션에서는 전기-유압 시스템이 기존의 유압 시스템 소요 동력의 55.72%의 에너지 절감이 되었고, 톱니파형에 대해서는 43.01%의 에너지 절감이 가능하다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인했다. 모델링한 유압 시스템과 전기-유압 시스템의 시뮬레이션 파라미터는 Table 1의 전기-유압 시스템의 사양과 같다.

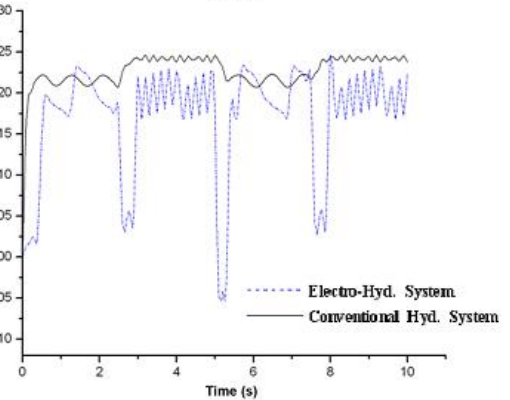
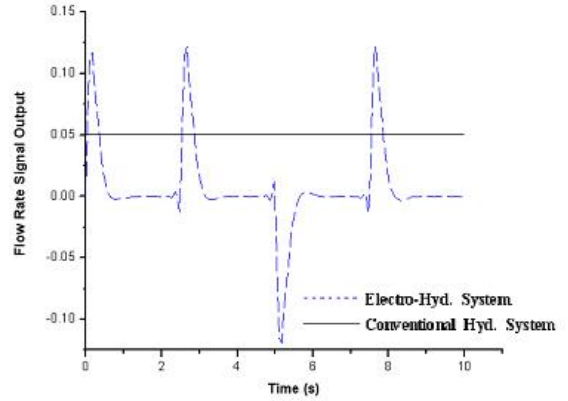


Fig. 6 Fluid signal of two hydraulic system

4. 결론

전기-유압 시스템은 압력과 유량의 비율이 유압펌프의 회전방향과 각도 속도에 따라 결정되고, 기존의 유압 시스템이 항상 구동해서 방향 제어밸브를 통해 움직이는 것에 비해 유동 마찰손실 및 교축손실, 동력손실을 줄일 수 있어 에너지 절감이 된다. 이에 대해 본 연구는 기존의 유압 시스템과 전기-유압 시스템을 상용화된 기계 해석툴인 AMESim을 사용하여 시뮬레이션을 한 결과 전기-유압 시스템이 평균 52%의 에너지가 절감이 되는 결과를 확인할 수 있었다.

본 연구를 응용하여 추후에는 건설 중장비를 대상으로 기존 중장비의 굴삭기 효율을 높이기 위해 전기-유압 시스템을 굴삭기에 적용할 예정이며, 더 나아가 유압 시스템이 사용되어지는 산업현장의 유압 시스템에 전기-유압 시스템을 적용할 것이다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.(PS-06-1-042)

참고문헌

1. Andersson, J., Krus, P., Nilsson, K. and Storck, K., "Modelling and Simulation of Heat Generation in Electro-Hydrostatic Actuation System", in Proc. of the 4th JHPS Int. Symposium on Fluid Power, Tokyo, Japan, November 15-17, 1999.
2. Andersson, J., Krus, P. and Wallace, D., "Multiobjective Optimization of Hydraulic Actuation System", Proc. of ASME Design Automation Conf., Baltimore, USA, September 11-13, 2000.
3. Rahmfeld R, Ivantysynove M. "Displacement Controlled Linear Actuator with Differential Cylinder - A Way to Save Primary Energy in Mobile Machines", in Proc. of the 5th Int. Conf. on Fluid Power Transmission and Control (ICFP'2001), Hangzhou, China, pp. 79-91, 2000.