

## 유압펌프용 가변속 SRM 구동시스템 설계

이주현, 김봉철, 이진국, 안진우  
경성대학교

### Design of Variable Speed SRM Drive for Hydraulic Pump Application

Ju-Hyun Lee, Bong-Chul Kim, Zhen-Guo Lee, Jin-Woo Ahn  
Kyungsung Univ.

#### ABSTRACT

This paper proposed a hydraulic pump system that is driven by a variable SR drive. The operating pressure of hydric pump is limited by the pump speed and the mechanical structure. The operating of hydraulic pump is separated as constant pressure and constant flow region. Under fixed speed, the pressure can be controlled as constant value, and then decreased by increasing of pump speed.

A 2.2[kW], 12/8-pole SR motor and DSP based digital controller are designed and tested for hydraulic pump system. The test results show that the system has some good features such as high efficiency and high response characteristics.

#### 1. 서론

유압 펌프 시스템에서 구동 전동기는 가격 및 구동의 단순성으로 인하여 유도 전동기를 적용한 시스템이 많이 사용되고 있으나, 상용 전원에서 사용되는 유도 전동기의 구동 시스템은 부하에 따른 정속 운전 특성이 좋지않고, 또한 가변속 제어를 위해서는 별도의 벡터 제어 드라이브가 요구된다. 한편, SRM은 전동기의 구조가 유도 전동기에 비하여 매우 견고하고, 단순하여 제작이 경제적이며, 초기 구동 토크가 유도 전동기에 비하여 매우 높아 유압 펌프 시스템에서 속응성을 높일 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 가변속 제어용 전동기를 적용한 고정 용량형 유압 펌프 시스템에서 SRM 구동 시스템을 적용하기 위하여 적합한 SRM을 설계하고, 이를 효율적으로 구동하기 위한 구동 시스템 및 제어 방식을 제안한다.

#### 2. 유압 유닛 시스템의 구성

##### 2.1 유압 유닛 시스템 구조

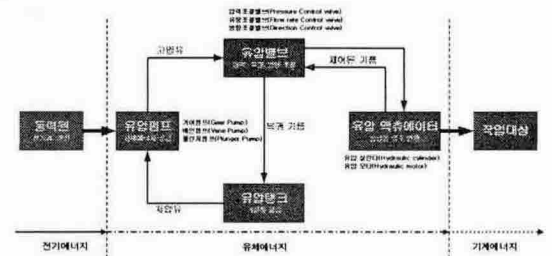


그림 1. 유압 유닛 시스템의 에너지 변환  
Fig. 1 Energy conversion of Hydraulic pump system

그림 1은 유압 유닛 시스템에서의 에너지 변환을 나타내고 있다. 펌프는 전동기로부터 기계적 동력을 얻어서 이를 압력을 지닌 유체유동으로 변환시키는 역할을 한다. 펌프의 출력단 압력과 구동용 전동기 토크의 관계는 다음과 같다.

$$p = \frac{T_m}{V_{pump}} \quad (1)$$

단,  $p$  : 유압 펌프 토출 압력 [MPa]  
 $T_m$  : 유압 펌프 구동용 전동기 토크 [Kgf · cm]  
 $V_{pump}$  : 펌프의 배제 용적 [cm<sup>3</sup>/rev]

즉, 유압 펌프의 토출 압력은 전동기의 손실과 펌프의 손실을 무시하고, 유압 펌프의 배제 용량이 일정하다고 가정하면 전동기의 토크에 직접 비례하게 된다. 따라서, 유압 펌프의 토출 압력은 유압 펌프용 전동기의 토크에 의해 제어될 수 있으며, 유압 펌프의 외부에 가해지는 압력은 전동기의 부하 토크로 작용하게 된다.

또한, 펌프의 출력 유량과 유압 펌프 구동용 전동기의 관계는 다음과 같다.

$$Q = n_m \cdot V_{pump} \quad (2)$$

단,  $Q$  : 유압 펌프 출력 유량 [cm<sup>3</sup>/min]

$n_m$  : 유압 펌프 구동용 전동기 회전 속도 [rpm]

따라서, 유압 펌프의 토출량은 제 손실을 무시하면, 펌프 구동용 전동기의 속도에 비례하며, 일정 배제 용적을 가지는 유압 펌프의 경우 속도 제어에 의해 유량의 제어가 가능하다.

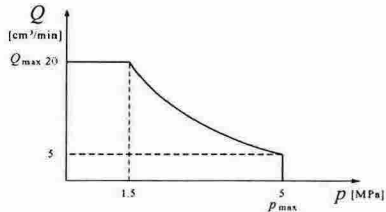


그림 2. 유량, 유압 제어 설정값  
Fig. 2 Control value of the flow rate and oil pressure

그림 2는 유량, 유압의 제어 설정값을 나타내고 있다. 최대유량은 20[cm<sup>3</sup>/min], 최대유압은 5[MPa]으로 제한되어 있다. 또한, 최저유량은 5[cm<sup>3</sup>/min], 최저유압은 1.5[MPa]로 설정되어 있는데, 이는 최저유량, 최저유압 이하에서는 유압 유닛의 정상적인 작동이 어렵기 때문에 프로그램 상에서 최저값을 설정해 두었다.

## 2.2 SRM 설계

SRM의 기본설계는 SRM 전용 설계보조 프로그램을 사용하였다.

유압 유닛 시스템에 적용되는 SRM의 정격전압은 3 $\phi$  220V이며 출력 및 코깅 토크 등을 고려하여 12/8극 SRM을 선정하여 치수를 설계하였고, 설계결과와 요구 성능은 표 1에서 보여진다.

표 1 전동기의 규격  
Table 1 Specifications of the prototype SRM

정격전압	3 $\phi$ 220[V]	출력	2.2[kW]
전류	Peak 38.8 [A]	토크	Peak to Peak 10.9[Nm]
	Mean 12.9 [A]		r.m.s 4.4[Nm]
	r.m.s 19.7 [A]		
속도	5000 [rpm]	극당 권선수	41[turn]
길이	102[mm]	공극	0.2[mm]

## 3. 유압제어 시스템의 구성

### 3.1 유압 펌프 시스템

그림 3은 본 논문에서 제안하는 유압 펌프 시스템의 전체 제어 블록을 나타내고 있다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 유압 펌프 시스템의 전체 제어 블록을 나타내고 있다.

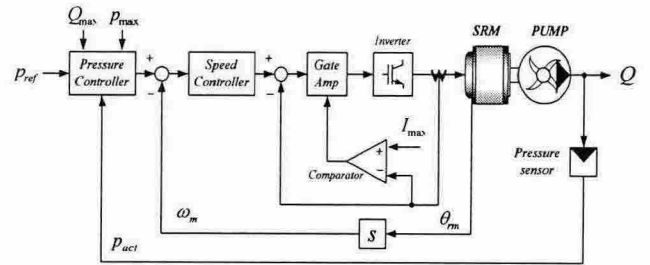


그림 3. 유압 제어 시스템 블록도  
Fig. 3 Block diagram of hydraulic pump system

최대유량, 최대압력을 설정하면 실제 압력을 받아 지정속도와 설정된 곡선에서의 속도를 비교하여 작은 값을 기준속도로 선택하고, DSP에 의해 기준 파라미터를 결정하고 그에 따라 최적 구동점을 찾게 된다. 여기서 만들어진 신호가 게이트 앰프단을 거쳐, 인버터를 구동시키게 되고 이때 구동 전류는 설정된 최대전류를 넘지 않는다. SRM의 토크는 인버터의 펄스폭을 제한하는 방식으로 구현하였다.

### 3.2 인버터부

SRM 컨버터는 토크가 전류방향에 무관하므로, 한 상에 한 개의 소자만으로 가능하다. 하지만 실제로 상당 스위치 한 개로 회로를 구성하는 데는 SRM의 유도성 회로특성으로 인해 스위치 턴 오프 시 전류가 완전히 소멸될 때까지 연속성을 유지해야 한다는 문제점이 있다. 또한 단락사고 시 소자를 보호하기 위해서는 상당 2개의 스위치가 요구된다. 본 연구에서는 인버터에 IPM을 사용함으로써 인버터의 소형화가 가능하고 잡음에 강하며, 과전류나 과전압에 대해 이상신호를 보냄으로서 인버터 고장을 미연에 방지할 수 있다.

### 3.3 제어부

제어기는 SRM의 고성능 제어를 위하여 전동기 제어 전용으로 설계된 TI사의 TMS320LF2407A를 사용한 제어시스템을 구성하였다. 설계된 제어시스템은 상전류의 검출 및 엔코더 신호의 검출을 프로세서 내에서 처리하도록 설계되어 있어 하드웨어의 구성이 매우 단순하다.

## 4. 실험 결과

그림 4는 제작된 전동기의 속도 대 토크-효율 곡선이다. 속도 대 효율곡선에서 전체적으로 평균 80%의 효율을 나타내었다. 설계시의 시뮬레이션에 근접함을 알 수 있다.

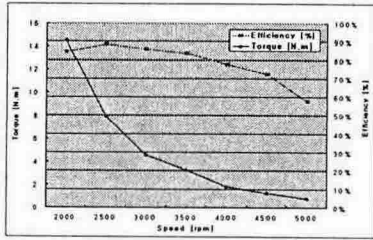


그림 4. 속도 대 토크-효율 곡선  
Fig. 4 Speed versus Torque-Efficiency

그림 5는 유량 지령 변화시의 응답파형을 나타내고 있다. 전동기의 속도 감소, 즉 설정유량의 변화에 대해서 압력도 즉각적으로 응답하는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 압력 지령치에 따른 응답속도를 보여준다

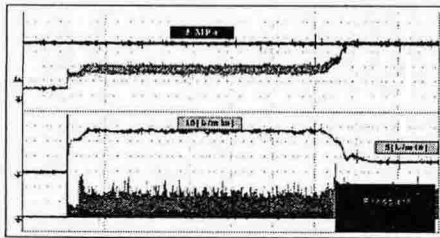


그림 5. 유량 지령 변화 시 응답파형  
Fig. 5 When order change of the flow rate, response waveform

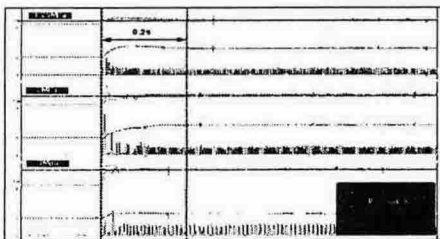


그림 6. 압력 지령치에 따른 응답속도  
Fig. 6 The response speed by pressure

그림 7은 유압 유닛이 1시간 연속 구동시에 모터, 오일의 온도변화를 나타낸다.

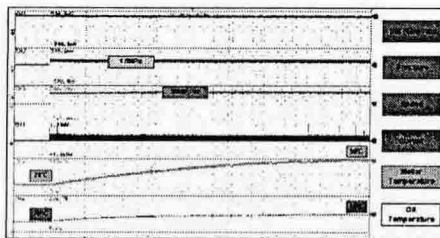


그림 7. 1시간 연속구동 시 모터, 오일의 온도변화  
Fig. 7 Temperature change of system(motor, oil) at hour series drive

모터의 회전속도는 3000[rpm], 압력은 1.5[MPa]에서 1시간동안의 온도변화를 측정하는 것이다. 모터

의 온도는 모터 고정자측 외형의 온도를 측정하였고, 오일의 온도는 유압유닛 오일 탱크 속 기름의 온도를 측정하였다. 전동기의 온도는 28℃에서 96℃ 상승하였고, 오일의 온도는 28℃에서 49℃로 상승하였다. 1시간 구동시간동안 압력, 속도, 전류는 변화 없이 일정하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 가변속 제어용 전동기를 적용한 고정 용량형 유압 펌프 시스템에서 SRM 구동 시스템을 적용하기 위하여 적합한 SRM을 설계하고, 이를 효율적으로 구동하기 위한 구동 시스템 및 제어 방식을 제안하였다.

유압 펌프 시스템에서 SRM의 설계를 위해 적용하고자 하는 유압 펌프의 배제 용적과 최대 압력으로부터 SRM의 기저 속도 및 최대 속도와 출력 토크를 산정하고 이를 바탕으로 SRM의 설계를 수행하였다.

제안된 시스템은 최대 설정 유량과 최대 설정 압력 내에서 전체 유압 시스템의 소비 전력이 최소가 되는 운전 모드로 동작하는 방식이다. 즉, 유압을 유지하기 위한 SRM의 속도 제어뿐만 아니라, 유압 펌프의 압력을 피드백하여, 소비 전력이 허용되는 최대 소비 전력 내에 존재하도록 제어하는 방식이다. 그리고 실험을 통해 제안한 제어방식에 의한 유압유닛로서의 구동, 응답성, 문제점을 확인하였고, 실제 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안하는 가변속 제어용 SRM을 적용한 유압 시스템은 SRM의 설계와 유압 시스템에서의 실험을 통하여 그 특성을 검증하였고, 실제 구동특성의 실험을 통해 유압시스템에서의 SRM의 효율성 및 활용도를 입증하였다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호: R-2005-B-109) 주관으로 수행된 과제임

## 참고 문헌

- [1] C. S. Kim, M. G. Kim, H. G. Lee and J. W. Ahn, "Development of SRM and Drive System for Small Pallet Truck" Annual Proc. of KIEE, pp. 732-734, 2000.
- [2] P. J. Lawrenson, J.M. Stephenson and P. T. Blenkinsop et al, "Variable-speed Switched Reluctance Motors", IEE Proc. B, vol.127, no.4, 1980, pp. 253-265.
- [3] Texas Instruments "TMS320F243/F241/C242 DSP Controllers Reference Guide - System and Peripherals", January, 2000
- [4] 신홍렬, 자동화를 위한 유압제어기술, 북두출판사, 1993.