

유압시스템의 극저속 속도제어를 위한 퍼지논리 제어기의 설계

(The Design of the Fuzzy Logic Controller for Controlling the Speed in the Zero-Crossing Speed Region of a Hydraulic System)

손용태* · 황석영

(Woong-Tae Son · Seuk-Yong Hwang)

요 약

인버터를 적용한 유압시스템은 펌프의 마찰과 실린더 패킹 및 탑승 카와 레일의 마찰특성으로 인하여 PID 제어기로는 제어가 되지 않는 데드존이 생기게 된다. 본 논문에서는, 우선 유압시스템으로 구동되는 엘리베이터의 극저속 속도영역(zero-crossing)에서 속도가 제어되지 않는 원인이 되는 실린더의 마찰특성을 고찰하고, 이러한 실린더의 마찰특성으로 인하여 기존의 PID 속도제어기로 제어시 발생하는 문제점을 해결하기 위한 줌잉 퍼지론리를 포함한 퍼지제어기를 설계한다. 제안된 하이브리드 퍼지제어기는 정속주행구간에서는 PID제어기를 적용하고 PID제어기로 제어되지 않는 극저속 속도구간에서는 퍼지제어기를 적용하여 유압식 엘리베이터가 실린더의 마찰특성으로 인하여 극저속 속도영역에서 속도가 제어되지 않는 문제를 해결하고, 극저속 영역에서 뿐 아니라 정상상태를 포함한 전 운전영역에서의 제어성능이 우수함을 시뮬레이션과 실험을 통하여 보인다.

Abstract

Due to the friction characteristic of pump, cylinder, and between passenger car and the rail, there exist dead zone in the hydraulic system actuated with inverter, which can not be controlled by a PID controller. In this paper, the friction characteristic of a cylinder is considered first, which may cause the uncontrolled speed in the zero-crossing speed region. And then, the zooming fuzzy logic controller is designed to overcome the drawback by the existing PID speed controller. Finally, The proposed hybrid fuzzy controller is applied to the PID controller in the normal speed region, and to the fuzzy controller in the zero-crossing speed region. The reason is that the problem of the uncontrolled speed in the zero-crossing speed region caused by the friction characteristic of the cylinder in hydraulic elevator can be solved, and the effectiveness of the controlling system not only in the zero-crossing speed region but also the overall controlling region including steady-state can be simulated and performed.

Key Words : Hydraulic elevator, Inverter, PID controller, Fuzzy controller, Hybrid fuzzy controller

* 주저자 : 경원전문대학 전자정보과 강사
Tel : 031-677-2121, Fax : 031-677-2125
E-mail : handlee@netian.com
접수일자 : 2005년 1월 27일
1차심사 : 2005년 1월 31일
심사완료 : 2005년 2월 28일

1. 서 론

유압식 엘리베이터는 로프식 엘리베이터에 비하

유압시스템의 극저속 속도제어를 위한 퍼지논리 제어기의 설계

여 기계실을 건물 상부에 위치시키지 않고 자유롭게 배치할 수 있고, 탑승객 중량을 유압액을 통해서 모두 승강로 바닥에서 지지하기 때문에 건물에 대한 부담을 적게 할 수 있는 등 여러 장점이 있다.[1,2]. 그러나 유압식 엘리베이터는 모터를 회전시킬 때 전원을 직입시켜 회전시키므로 소비 전력이 로프식보다 훨씬 크고, 갑작스러운 모터의 기동, 정지로 인한 쇼크를 탑승객들이 그대로 느끼게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 인버터를 적용하고, 유압모터를 벡터 제어하여 전동기를 연속적으로 가변속 운전을 시킴으로써, 유압펌프의 회전수 제어로 유량을 제어하는 유압식 인버터 엘리베이터가 최근에 개발되기 시작하였다[3]. 유압식 인버터 엘리베이터는 소비 전력이 작고 부드러운 승차감을 얻을 수 있으나 전동기, 유압펌프, 유압실린더, 로프, 카 구조물을 포함한 유압시스템의 기계적인 공진과 온도 및 부하에 따라 변동하는 비선형성을 갖는 복잡한 시스템으로 특히, 극저속 속도영역에서 펌프의 마찰력과 실린더의 패킹 마찰력으로 인한 모터의 속도가 제어되지 않아 급작스러운 쇼크가 발생하는 단점이 있다[4].

이러한 문제점들을 해결하기 위해 퍼지제어기를 이용한 마찰 보상 기법이 제시되었다[5]. 퍼지 제어기는 입출력 관계가 비선형이고 큰 오차에 대해 처리 능력이 뛰어나기 때문에 비선형특성을 나타내는 시스템에 적합하나 오차가 매우 작을 때는 오차에 둔감하고 PID제어기가 갖고 있는 적분능력이 없기 때문에 정상상태 에러가 PID제어기에 비하여 클 수밖에 없다[6]. 오차 에러가 작은 정상상태 응답 특성을 개선하기 위하여 줌핑퍼지 제어를 사용하나, 제어 출력이 퍼지률에 의존하기 때문에 영역을 세분화하여 제어하려면 많은 퍼지 제어 규칙을 필요로 하여 연산량이 많아져 제어기구현에 속도가 빠른 CPU를 요구하게 된다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 하이브리드 퍼지제어기를 제안한다. 제안된 하이브리드 퍼지제어기는 실린더의 패킹과 카의 레일에 의한 쿨롱마찰력으로 인해 PID제어기로는 제어가 되지 않는 극 저속도 영역에서는 퍼지제어기로 제어하고, 일정속도 이상일 경우는 PID제어기로 제어하게 된다. 또한 극 저속도 영역에서는 제어률을 세분화

하는 줌핑퍼지 제어를 적용하여 제어기연산에 빠른 CPU를 요구하지 않는다.

2. 유압 시스템

2.1 인버터 제어 유압식 엘리베이터 시스템의 모델링

유압식 엘리베이터는 전기 시스템과, 유압 시스템, 그리고 카와 로프 등을 포함하는 기계 시스템으로 나누어 생각할 수 있으며 유압시스템인 엘리베이터의 구성은 그림 1과 같다.

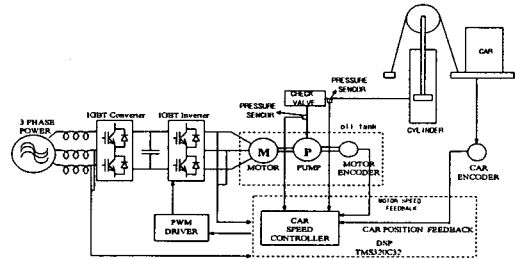


그림 1. 유압식 인버터 엘리베이터의 구성
Fig. 1. The configuration of a hydraulic elevator controlled by inverter

그림 2는 유압식 엘리베이터의 기계적 구성을 모델화한 것이다. 카를 하나의 강체로 취급하고, 풀리의 관성은 작으며, 로프는 질량이 없고 단순히 스프링과 댐퍼로 구성되어 있다고 가정하면, 기계 시스템의 운동 방정식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 M_c \ddot{x}_c + C_r(\dot{x}_c - 2\dot{x}_j) + K_r(x_c - 2x_j) &= -M_c \cdot g \\
 M_j \ddot{x}_j + 2C_r(2\dot{x}_j - \dot{x}_c) + 2K_r(2x_j - x_c) &= P_j A_j - M_j \cdot g
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

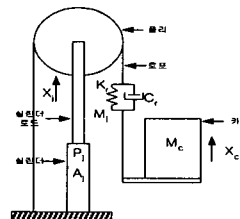


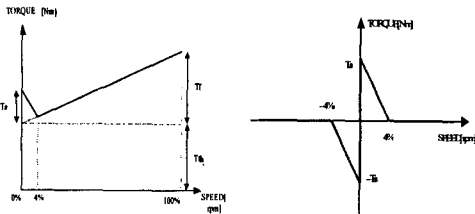
그림 2. 유압식 엘리베이터의 기계적인 모델링
Fig. 2. The mechanical modeling of a hydraulic elevator

2.2 유압펌프의 극저속 모델 및 마찰특성

유압시스템에서 나타나는 마찰은 크게 두 가지로 나눌 수 있으며, 첫째는 실린더의 패킹저항으로 인한 쿨롱마찰과 카와 레일의 마찰이다. 둘째는 펌프의 저속 운전시에 나타나는 스틱션 마찰이 존재하게 된다. 유압식 엘리베이터에서 사용하는 펌프는 스크류 펌프이며, 이 펌프는 스크류의 접촉으로 인해 마찰력이 기계 시스템의 마찰력보다 훨씬 크게 되어 시스템의 진동에 심각한 영향을 끼치게 된다. 정상 상태에서의 펌프의 토크 관계식에 펌프의 저속 회전 시에는 펌프의 회전 속도에 비례하는 점성 마찰 토크 이외의 실린더의 패킹으로 인한 추가적인 마찰 성분 T_s 를 펌프의 토크 관계식에 더하여 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$T_m = J_p \ddot{\theta}_p + C_p \cdot \sqrt{\nu} \dot{\theta}_p + V_o P_1 + T_s \quad (2)$$

유압펌프의 부하토크는 그림 3의 a)와 같은 특성을 가진다[7]. 그림 3의 a)에서 보듯이 펌프 정격 속도의 4[%]까지는 펌프 자체의 마찰력이 존재하게 된다. 여기에 실린더 패킹 마찰력까지 더하여 그림 3의 b)와 같은 유압엘리베이터에서의 마찰특성을 모델링할 수 있으며, 온도와 부하의 변동에 따라 마찰력 크기 T_s 가 변동한다. 그림 3의 b)와 같은 마찰특성은 모터의 극저속 속도영역에서 모터의 속도가 제어되지 않고 마찰력으로 인하여 정지되고 큰 토크가 인가되어야만 급작스럽게 기동하는 데드존(dead zone)이 존재하게 된다.



a) 유압펌프의 마찰특성 b) 유압시스템의 마찰모델

그림 3. 유압시스템의 마찰특성 및 마찰모델
Fig. 3. The friction characteristics and modeling of a hydraulic elevator

3. 극저속 속도제어를 위한 하이브리드 퍼지제어기 설계

3.1 PID제어기

PID제어기는 적분능력을 갖고 있어 정상상태 에러를 추종하는데 제어 성능이 뛰어난 것으로 평가받고 있다. 그러나 일반적으로 입출력 관계가 비선형이고 오차가 큰 비선형시스템에 적용할 경우에 제어 성능을 보장할 수 없고 발진할 가능성이 높다. 전동기 발생 토크 $T(s)$ 와 유압 실린더 내 압력 $P(s)$ 와의 관계는 식 (3)과 같이 주어지게 된다. 또한, 전동기 발생 토크 $T(s)$ 와 카 속도 $s \cdot X_c(s)$ 을 정리하면 유압식 엘리베이터의 속도제어 시스템의 전달함수는 다음 식 (4)와 같다.

$$\frac{P(s)}{T(s)} = \frac{V_o \cdot s \cdot B_f(s)}{\Delta_c(s)} \quad (3)$$

$$\frac{s \cdot X_c(s)}{T(s)} = \frac{2A_j \cdot V_o \cdot (C_r \cdot s + K_r)}{\Delta_c(s)} \quad (4)$$

여기서 K_1 은 압력손실계수, V_j 는 실린더의 단위 체적이며, $B_r(s)$ 는 유압 실린더 로드가 고정되어 있을 때 카와 로프 계의 특성방정식이고, $B_f(s)$ 는 실린더 내에 오일이 없고 유압 실린더 로드가 자유로울 때의 특성방정식이다. $\Delta_c(s)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta_c(s) = & [J_p \cdot s^2 + C_p \cdot \sqrt{\nu}] \cdot \left[\left(A_j^2 + \frac{C_l}{\sqrt{\nu}} \cdot K_1 \cdot A_j^2 \right) \cdot B_r(s) + \right. \\ & \left. \left(V_j \cdot s + \frac{C_l}{\sqrt{\nu}} \cdot (K_1 \cdot V_j \cdot s + 1) \right) \cdot s \cdot B_f(s) \right] \\ & + V_o^2 \cdot [K_1 \cdot A_j^2 \cdot B_r(s) + (K_1 \cdot V_j \cdot s + 1) \cdot s \cdot B_f(s)] \end{aligned}$$

PID 카속도 제어기의 게인은 식 (4)에 PID 카속도 제어기를 부가한 후 개루프 전달함수를 구하고, 보드 선도로 주파수 특성을 파악하여 차단주파수 10[rad/sec]에서 적당한 게인 마진과 위상 마진을 갖도록 설계한다. 설계된 PID게인은 시뮬레이션을 통하여 적절히 조정하여 적용한다. PID제어기의 입력은 카속도 에러이고, 출력은 모터에 인가되는 토크 전류이다. PID 카속도 제어기를 적용한 유압식 인버

터 엘리베이터 시스템에서 모터속도를 살펴보면, 비선형 부하특성이 나타나는 극저속 속도영역에서 제어기가 되지 않게 되며 멈추었다가 갑작스럽게 기동하는 것을 볼 수 있는데 이러한 문제점은 카가 기동할 때뿐 아니라 착상하고자 하는 층에 도달하여 정지할 때도 나타나게 되고, 승차감에 악 영향을 준다.

3.2 줌잉 퍼지제어기 설계

PID제어기는 출력이 선형적이므로 쿨롱마찰과 같은 비선형 부하 구간에서는 모터기동전까지는 출력이 선형적으로 변하기 때문에 임계점을 지나기 전까지는 모터가 기동하지 못하므로 응답 시간이 느리게 된다. 또한 에러가 누적되어 다음 출력에 영향을 주기 때문에 모터가 기동하여 갑작스럽게 마찰이 사라지는 구간에서는 출력을 급격하게 줄이지 못한다. 반면에, 퍼지제어기는 모터가 기동하지 않으면 다음 출력에서 바로 최대 출력을 내 보낼 수 있으므로 응답 속도가 빠르고, 임계점을 지나 모터가 기동을 시작하여 정지마찰력이 사라지는 다음 출력에서도 마이너스 토크를 출력할 수 있어서 오버슈트가 없게 된다. 제어 법칙에 관련된 퍼지 추론을 결정하기 전에 다음과 같이 퍼지제어기의 입력으로써 카속도의 오차 및 카속도의 오차의 변화율을 식 (5)와 식 (6)과 같이 정의한다.

$$e(k) = N(k) * - N(k) \tag{5}$$

$$\Delta e(k) = (e(k) - e(k-1)) / T \tag{6}$$

여기서 $N(k)*$ 은 카의 기준 속도이며, $N(k)$ 은 실제 카속도, $e(k)$ 는 카의 속도 편차, $\Delta e(k)$ 는 k차 샘플링간격에 있어 속도 편차, T는 샘플링시간이다. 퍼지제어기의 출력은 유압모터에 인가되는 토크 전류이며, 출력 전류의 최대 출력 범위는 모터의 정격 전류로 제한하였다. 퍼지 제어규칙을 위해 다음 식 (7)과 같이 언어 변수를 설정하였다.

$$L = [NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB] \tag{7}$$

퍼지화 방법은 퍼지싱글톤 방법을 적용하였고, 멤

버쉽 함수는 이등변삼각형법을, 퍼지추론은 Min-Max법을, 비퍼지화기는 무게 중심법을 사용하였다. 퍼지제어기는 입력오차가 큰 시스템에서 우수한 성능을 나타내나 입력오차가 작은 영역에서는 오차에 둔감하기 때문에 정상상태 에러가 클 수밖에 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 오차에러가 작은 구간에서는 퍼지제어기를 좀더 세분화하여 제어하는 줌잉방법을 사용한다. 본 논문에서 사용된 퍼지제어기는 오차에러가 큰 구간과 작은 영역을 구분하여 사용하였으며, 줌잉 제어규칙에는 카속도 에러, 카속도 에러의 변화율뿐만 아니라 모터의 속도 $Wp(k)$ 을 입력으로 하였으며, 모터의 속도 $Wp(k)$ 을 입력받아 극저속 속도영역, 또는 정상상태 영역 내 인지를 판단하여 세부적인 퍼지룰을 설정하였다. 퍼지제어규칙은 표 1에, 줌잉퍼지 제어규칙은 표 2에 나타냈다.

표 1. 퍼지 제어 규칙
Table 1. Fuzzy rule base

$\Delta e(k) \backslash e(k)$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NM	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NM	ZOOM	ZOOM	ZOOM	PS	PM
ZO	NB	NM	ZOOM	ZOOM	ZOOM	PM	PB
PS	NM	NS	ZOOM	ZOOM	ZOOM	PM	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PM	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

표 2. 줌잉 제어규칙(표 1에서 ZOOM표시)
Table 2. Zooming fuzzy rule base

$e(k), \Delta e(k)$	$Wp(k)$		
	NS	ZO	PS
$e(k)=NS, \Delta e(k)=NS$	NS	NM	NM
$e(k)=NS, \Delta e(k)=ZO$	NS	NS	NM
$e(k)=NS, \Delta e(k)=PS$	NS	NS	NS
$e(k)=ZO, \Delta e(k)=NS$	ZO	NS	NS
$e(k)=ZO, \Delta e(k)=ZO$	ZO	ZO	ZO
$e(k)=ZO, \Delta e(k)=PS$	PS	ZO	ZO
$e(k)=PS, \Delta e(k)=NS$	PS	PS	PS
$e(k)=PS, \Delta e(k)=ZO$	PS	PS	PS
$e(k)=PS, \Delta e(k)=PS$	PM	PM	PS

3.3 유압식 엘리베이터 제어를 위한 하이브리드 퍼지제어기

이 절에서 제안하는 시스템은 하이브리드 퍼지제어기를 유압식 엘리베이터 제어에 이용하기 위하여 먼저, 다음의 세종류의 제어기를 설계한다. i) 엘리베이터의 탑승카를 움직이기 전에 실린더 압력과 유압 펌프의 압력이 같도록 제어하는 부하보상 제어기를 설계한다. ii) 카속도 에러를 입력받아 모터의 출력토크 P_{ref} 를 생성하는 PID제어기를 설계한다. iii) 모터속도, 카속도 에러의 변화율을 입력으로 하고 모터의 출력토크 F_{ref} 를 생성하는 줌잉 퍼지제어기를 설계한다. 이들 세 종류의 제어기를 설계한 후, 비선형구간에서는 줌잉퍼지 제어기를 적용하고 선형구간에서는 PID제어기를 적용할 수 있는 하이브리드 퍼지제어기를 설계한다. 하이브리드 퍼지제어기는 PID제어기의 출력 P_{ref} 와 줌잉 퍼지제어기의 출력 F_{ref} 를 입력받아 하이브리드 퍼지제어기의 최종 출력인 모터토크 지령치를 출력하는 출력혼합기로 구성되어 있다. 이들 구성방법을 그림 4의 블록도에 나타내었다. 그림 4에서, 하이브리드 퍼지제어기의 출력 C_{ref} 는 식 (8)과 같이 구한다[6].

$$C_{ref} = \frac{close(e, de) F_{ref} + faraway(e, de) P_{ref}}{close(e, de) + faraway(e, de)} \quad (8)$$

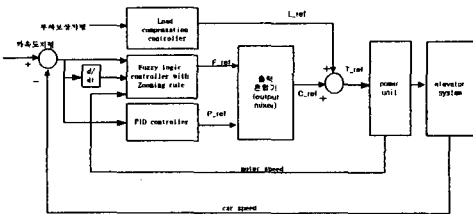


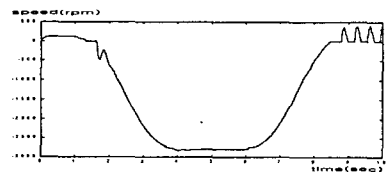
그림 4. 유압식 엘리베이터 제어를 위한 하이브리드 퍼지제어기의 블록도

Fig. 4. The block diagram of a hybrid fuzzy controller for controlling a hydraulic elevator

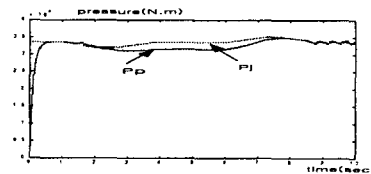
4. 시뮬레이션 및 실험결과

시뮬레이션은 i) PID제어기 ii) 줌잉 퍼지제어기 iii) PID제어기와 퍼지제어기를 혼합한 하이브리드

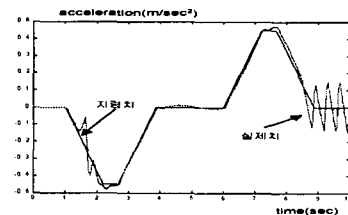
퍼지제어기를 비교하였으며, 샘플링시간은 1ms로 하였다. 모터가 극저속 속도영역에서 제어되지 않는 현상은 카가 하강할 때 심하게 나타나므로 카가 하강할 때를 기준으로 하였으며, 운전모드는 기동 후 1초간은 부하보상운전을 실시하고 이후부터 카가 움직이도록 하였으며, 10초에 정지하도록 시뮬레이션을 실행하였다. 시뮬레이션은 식 (1), 식 (2)의 방정식을 기초로 하여 구현되었으며, 유압모터는 이상적인 토크 원으로 가정하였다. 그림 5의 (a)는 PID 속도제어기로 카 속도제어를 행하였을 시의 모터속도를 나타낸 것이다. 모터속도가 극저속 속도영역에서 제어가 되지 않고 멈추었다가 갑작스럽게 기동하는 것을 볼 수 있다. 이러한 문제점은 카가 기동할 때뿐 아니라 정지할 때도 나타나게 되어 승차감에 악 영향을 주게 한다. 그림 5의 (b)는 펌프압력 P_p 와 실린더압력 P_j 를 나타낸 것으로 기동시와 정지시 압력이 흔들리는 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 (c)는 가속도 지령 값과 실제 가속도를 나타낸 것으로 정상 속도에서는 오차 없이 잘 되나 기동시와 감속시 극저



(a) motor speed



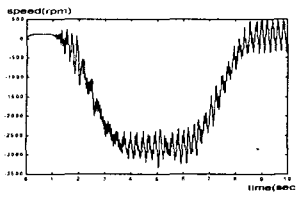
(b) pressure of pump and cylinder



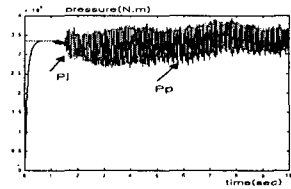
(c) car acceleration

그림 5. PID 카속도 제어기 시뮬레이션 결과
Fig. 5. The simulation results of PID controller

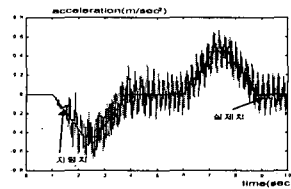
유압시스템의 극저속 속도제어를 위한 퍼지논리 제어기의 설계



(a) motor speed



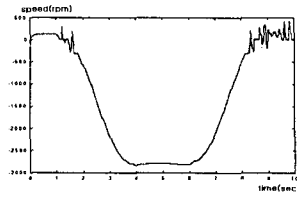
(b) pressure of pump and cylinder



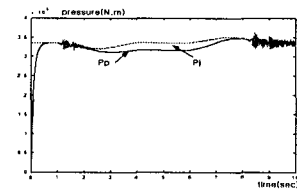
(c) car acceleration

그림 6. 퍼지제어기 시뮬레이션 결과
Fig. 6. The simulation results of fuzzy controller

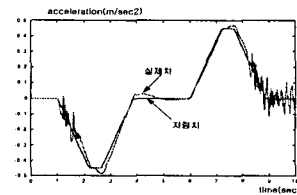
속 속도영역에서 심한 진동이 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 6의 (a)는 줌인 퍼지로지속 속도제어기로 카 속도제어를 행하였을 시의 모터속도를 나타낸 것으로 모터속도에 리플이 존재하나 극저속 속도영역에서 제어되지 않는 현상은 보이지 않고 있음을 확인할 수 있다. 그림 6의 (b)는 펌프압력 Pp와 실린더압력 Pj를 나타낸 것으로 전 운전 구간에서 압력에 고주파 성분의 리플이 존재하는 것을 알 수 있으며, 이는 고주파의 진동을 유발한다. 그림 6의 (c)는 가속도 지령 값과 실제가속도를 나타낸 것으로 지령치를 충실히 추종하고 큰 기동쇼크나 착상쇼크는 보이지 않으나 고주파의 진동 성분이 전 운전영역에서 나타남을 알 수 있다. 그림 7의 (a)는 본 논문에서 제안된 하이브리드 퍼지제어기로 카 속도제어를 행하였을 시의 모터속도를 나타낸 것으로 리플이 없어지고, PID제어기에서의 모터속도가 극저속 속도영역에서 제어되지 않는 현상도 보이지 않고 있다. 그림 7의 (b)는 펌프압력 Pp와 실린더압력 Pj를 나타낸



(a) motor speed



(b) pressure of pump and cylinder

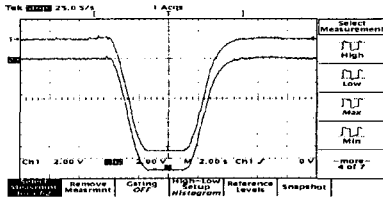


(c) acceleration

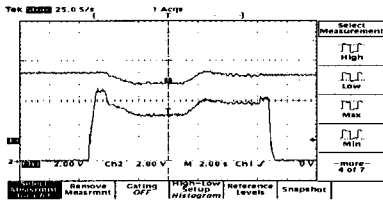
그림 7. 하이브리드 퍼지제어기 시뮬레이션 결과
Fig. 7. The simulation results of hybrid controller

것으로 극저속 속도영역에서만 리플이 약하게 존재하고 전 운전구간에서는 깨끗하게 나타나고 있다. 그림 7의 (c)는 가속도 지령 값과 실제 가속도를 나타낸 것으로, 그림 6의 (a)-(c)와 같은 기존의 퍼지제어기에서 보았던 극저속 속도영역의 고주파 진동 성분은 제거되었으며, 가/감속 시에 기동쇼크나 착상쇼크가 그림 5의 PID제어기의 경우에 비해서 승차감이 향상되었다.

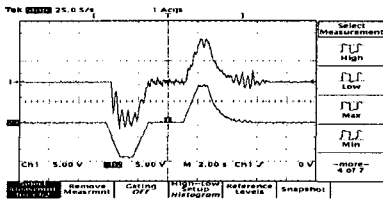
그림 8, 9는 엘리베이터 테스트 타워에서 실험한 데이터로서 모터속도, 실린더 및 펌프압력, 카 진동을 측정하였다. 실험조건은 무부하, 정지층수는 3층이고, 정격부하는 24인승, 정격속도는 45[m/min], 모터는 380[V], 48[kw]을 사용하였고 IGBT Converter, IGBT Inverter를 적용하였다. 그림 8은 PID제어기로 엘리베이터의 카속도를 제어할 경우의 실험파형이다. 그림 8의 (a)는 모터속도 지령치 및 모터속도를 나타낸 것이다. 모터속도가 극저속 속도영역에서 제어가 되지 않고 멈추었다가 갑작스럽게 기



(a)



(b)



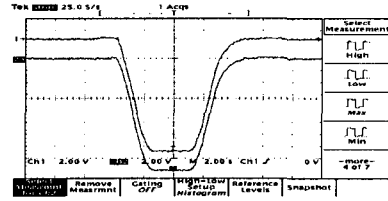
(c)

그림 8. PID제어기 적용시의 실험결과

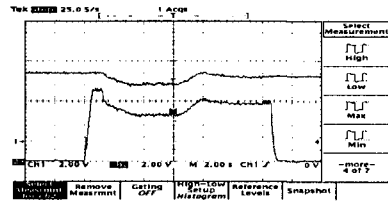
- (a) ch1:모터실제속도
ch2:모터속도지령치(1V/300(rpm), 2(V/div))
- (b) ch1 실린더 압력
ch2 펌프압력(10(V)/35(bar), 2(V/div))
- (c) ch1 실제가속도
ch2 가속도지령치(2(V)/100(A), 2(V/div))

Fig. 8. The experimental results of PID controller

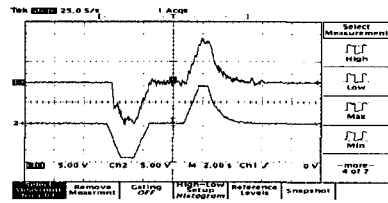
동하는 것을 볼 수 있다. 그림 8의 (b)는 펌프압력 P_p 와 실린더압력 P_j 를 나타낸 것으로 기동시와 착상시 압력이 흔들리는 것을 확인할 수 있다. 그림 8의 (c)는 가속도 지령값과 실제 가속도를 나타낸 것으로 정상 속도에서는 오차 없이 잘 지령치를 추종하고 있으나 기동시와 감속시 극저속 속도영역에서 심한 진동이 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 9의 (a)는 본 논문에서 제안된 하이브리드 퍼지제어기로 카 속도제어를 행하였을 시의 모터속도 지령치 및 모터속도를 나타낸 것으로 PID제어기에서의 모터속도가 극저속 속도영역에서 제어되지 않는 현상은 보이지 않고 있다. 그림 9의 (b)는 펌프압력 P_p 와 실린더압력 P_j 를 나타낸 것으로 극저속 속도영역에서만 리플



(a)



(b)



(c)

그림 9. 하이브리드 퍼지제어기 적용시의 실험결과

- (a) ch1모터실제속도
ch2모터속도지령치(1V/300(rpm), 2(V)/(div))
- (b) ch1 실린더 압력
ch2 펌프압력(10(V)/35(bar), 2(V/div))
- (c) ch1 실제 가속도
ch2 가속도 지령치(2(V)/100(A), 2(V/div))

Fig. 9. The experimental results of hybrid fuzzy controller

이 약하게 존재하고 전 운전구간에서는 깨끗하게 나타나고 있다. 그림 9의 (c)는 가속도 지령값과 실제 가속도를 나타낸 것으로, 그림 8의 (c)와 같은 기존의 PID제어기에서 보았던 극저속 속도영역의 진동 성분은 제거되었으며, 가/감속 시에 기동쇼크나 착상쇼크가 없고 승차감이 향상되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 유압시스템에 인버터를 적용한 유압식 인버터 엘리베이터제어를 위한 향상된 제어를 제안하였다. 제안된 제어기는, 기존의 PID 속도제어기로는 속도제어가 되지 않는 극저속 속도영역

유압시스템의 극저속 속도제어를 위한 퍼지논리 제어기의 설계

에서뿐 아니라 정상상태에서도 제어 성능이 우수한 하이브리드 퍼지제어기로서, 실린더의 패킹과 카의 레일에 의한 쿨롱마찰력으로 인해 PID제어기로는 제어가 되지 않는 극저속도 영역에서는 퍼지제어기로 제어하고, 일정속도 이상일 경우는 오차추정능력이 뛰어난 PID제어기로 제어하게 된다. 유압식 인버터 엘리베이터 카속도 제어기의 제어를 위하여, 기존의 제어기로 제어시 발생하는 문제점을 상당 부분 해결할 수 있는 우수한 하이브리드 퍼지제어기를 설계하였다. 제안된 하이브리드 퍼지제어기의 제어 성능을 확인하기 위하여 i) PID제어기 ii) 퍼지제어기 iii) 제안된 하이브리드 퍼지 제어기를 시뮬레이션으로 비교하였으며, i) PID제어와 iii) 하이브리드 퍼지 제어기의 실험결과를 비교하였으며, 제안된 하이브리드 퍼지제어기가 유압식 인버터 엘리베이터 시스템에서 비선형특성을 나타내는 극 저속영역에서뿐 아니라 에러가 작은 정격 속도영역에서도 부드러운 승차감을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

References

[1] E. Sasaki, T. Matsudo, I. Nakamura and K. Hida, "Hydraulic elevator to answer the needs of smooth and energy saving," The Hitachi Hyoron, Vol. 75, No. 7, 1993.
 [2] T. Matsudo, T. Mine, I. Nakamura, and H. Watanabe, "Valve Displacement Feedback Control Hydraulic Elevator," Proceedings of ELEVCON '2002, Elevator Technology 7, pp. 287-296, 2002.

[3] E. Sasaki, I. Nakamura and N. Arabori, "Hydraulic elevators controlled by Inverter," Japan Machinery Institute, Anthology of Lectures of Dynamics, No. 910-3, pp. 52-54, 1991.
 [4] K. Hatano and H. Kobayashi, "Advanced control hydraulic elevator," Japan Machinery Institute, Anthology of Lectures of Dynamics, No. 910-3, pp. 59-62, 1991.
 [5] J. T. Teeter, Mo-yuen Chow, J. J. Brickley, "ANovel Fuzzy Friction Comaption Approach to Improve the Performance of a DC Motor Control System." IEEE Trans. Industrial Electronics., vol. 43, no. 1, pp. 113-120, 1996.
 [6] Witold Pedrycz, "Fuzzy control and Fuzzy systems, Research studies press LTD.", 2nd Edition, pp. 197-199, 1993.
 [7] ALLWELER사 SMSN series Hydraulic PUMP catalog, 1998.

◆ 저자소개 ◆

손용태 (孫雄泰)

1954년 4월 22일생. 1982년 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1997년~현재 경원전문대학 전자정보과 강사.

황석영 (黃錫永)

1938년 5월 29일생. 1963년 서울대학교 전기공학부 졸업. 1973년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2004년~현재 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 명예교수.