

동력 절약형 유압유니트 제안 및 제어기 설계

염만오*, 이상윤⁺

(논문접수일 2009. 09. 14, 심사완료일 2009. 11. 24)

A Proposal of a Power Saving Hydraulic Unit and Controller Design

Man-Oh Yum*, Sang-Yun Lee⁺

Abstract

In a conventional system, hydraulic unit pumps out pressurized oil when the power use is not even necessary. As a result, it causes much power loss. This study is on the proposal of new hydraulic unit which controls the revolution of the pump in order to produce proper power needed and to have good response characteristic. In addition, the existing control methods such as PID control method, fuzzy control method, and adaptive control method are applied to the proposed hydraulic unit. Then the best control method is selected and the controller is developed to realize minimum power loss.

Key Words : Hydraulic unit(유압장치), Power(동력), Revolution(회전수), Control method(제어방법), Controller design(제어기 설계)

1. 서론

유압유니트는 유체동력을 기계동력으로 변환시키는 동력 변환장치이다. 공작기계, 수송기계, 공장 자동화공정 등에서 중요한 역할을 하며 그 활용범위가 증가하고 있는 추세이다.⁽¹⁻³⁾

이 경우 유압장치는 그 동력이 필요하지 않는 작업공정에서도 유압펌프는 계속 압력을 가진 작동유를 펌핑하는 시스

템으로 구성되어 있고 따라서 이로 인한 불필요한 동력손실이 많은 실정이다.

예로 머시닝센터의 경우 유압장치가 낭비하는 동력은 머시닝센터의 작업에 필요로 하는 전체 동력의 30%를 차지하는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 머시닝센터에 압유를 공급하기 위하여 사용하는 기존의 유압유니트 대신에 필요한 시간에 필요한 동력만을 제공 할 수 있는 동력절감 유니트를 제안하고, 동력

* 경남대학교 기계자동화공학부 (yummanoh@kyungnam.ac.kr)
주소: 631-701 경상남도 마산시 월영동 449

+ 경남대학교 기계자동화공학부 (dsplee@chol.com)

의 낭비를 최소화하고 응답특성이 우수한 유압유니트용 제어기를 개발하고자 한다.

기존의 유압유니트는 AC모터-유압펌프-릴리프밸브가 결합된 것이고 제안한 동력절감 유압유니트는 인버터-AC 서보모터-유압펌프-릴리프밸브가 결합된 시스템으로 구성한다.

이러한 시스템을 모델링하기에는 시스템에 불확실한 변수가 많이 존재한다. 불확실성이 존재하는 시스템에 주로 적용되는 제어기법으로는 퍼지제어와 적응제어 기법이 있다. 퍼지제어는 작업자의 경험이나 설계자의 플랜트에 대한 지식으로부터 시행착오와 경험적으로 퍼지 제어규칙을 만든다. 적응제어방식에는 자기동조 제어(Self Tuning Control) 기법과 모델 규범 적응제어(Model Reference Adaptive Control) 기법이 있다.

본 연구에서는 동력 절약형 유압유니트를 제안하고 이 유닛에 기존제어방식, PID 제어, 퍼지제어 및 자기동조제어 방식을 적용하여 동력을 가장 많이 절약하면서 유압유니트의 응답특성이 가장 우수한 제어기법을 선정하고자 한다.

2. 유압 시스템의 구성

2.1 기존 유압 유닛 구성⁽¹⁾

기존의 유압 유닛의 블록다이어그램은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 AC 모터가 유압 펌프와 직결되어 있고 압유는 체크밸브와 릴리프밸브를 통하여 Actuator에 공급된다. 압유의 압력은 릴리프밸브로 조절하고 압유를 연속적으로 공급하기 위해 AC 모터가 계속해서 동작한다. 기존 유압 유닛의 유량(Q), 압력(P) 및 동력 관계를 Fig. 2에서 나타내었다.

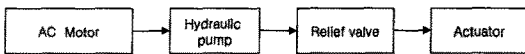


Fig. 1 Block diagram of conventional hydraulic unit

공작기계에서 공구를 고정하는 유압 척(Hydraulic chuck)의 경우 사용 압유의 압력은 기종에 따라 1.0MPa에서 10MPa 사이가 된다. 본 연구에는 유압시스템 압유의 목표 압력을 사용압력의 중간 정도인 6MPa로 하고 실린더의 부하는 유압 실린더 축에 스톱퍼(Stopper)를 달아 실린더가 전진하지 못하게 하는 힘으로 구성한다. 이 경우 6MPa의 유량(Q)은 계속 공급되어 실린더가 척을 고정하고 따라서 유량이 필요 없는 실린더의 전진행정 및 후진행정에서도 척을 고정하는 실린더에 “압력×유량”의 동력이 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 계속 공급된다.

이 경우 Fig. 2에서 알 수 있는바와 같이 유량이 적게 필요한 실린더의 전·후진 행정에서도 유량은 Q가 되어 이로 인한 동력손실이 계속 유지된다.

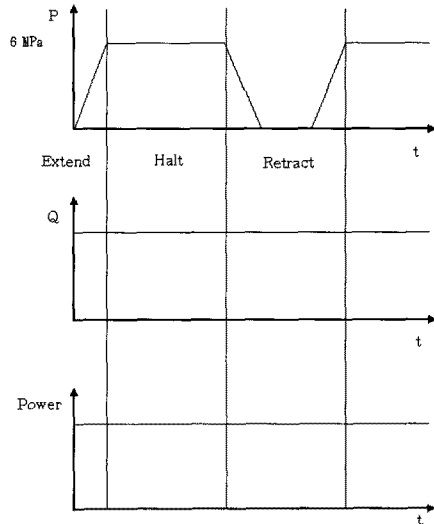


Fig. 2 P, Q and Power of conventional hydraulic unit

2.2 동력 절약형 유압 유닛(이하 유닛)의 구성

상기 기존 유닛의 불필요한 유량을 조절하여 동력을 절감하는 유닛을 구성한다. 유닛에서 압유의 압력을 측정하여 유압이 목표값(6MPa)에 도달하면 모터의 분당회전수(rpm)를 저속으로 일정하게 유지하여 손실유량을 없앤다. 이 경우 모터의 구동은 인버터를 사용하여 조절하고, 인버터는 제어기에 의해서 희망하는 목표압력을 최단시간에 도달하게 하고 지속적으로 유지하도록 하는 역할을 한다.

본 연구에서 제안하는 동력절감 유닛의 블록다이어그램은 Fig. 3과 같다.

Fig. 3은 기존 유닛과는 달리 AC 서보 모터가 유압 펌프와 직결되어 있고 릴리프밸브를 통하여 유압실린더에 압

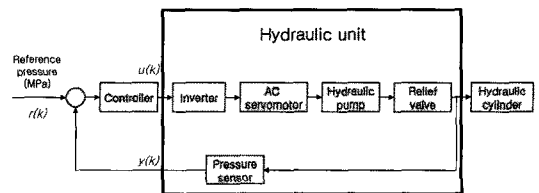


Fig. 3 Block diagram of power saving hydraulic unit

유를 공급한다. 압유의 최대 압력은 릴리프밸브로 조절하고 유압실린더에서 압유의 압력은 압력센서를 사용하여 측정하여 압력이 설정압력에 도달하면 유량이 일정하도록 가변속 모터의 분당회전수를 제어기로 제어한다.

Fig. 3에서 압력이 목표값(6MPa)이 되면 Fig. 4와 같이 정상상태 유량(Q1)를 0.1초 이내에 동력절약 유량(Q2)가 되도록 펌프의 분당회전수를 제어하며 이 경우 절약하는 동력은 Fig. 4의 빗금친 부분에 해당한다. 유압 실린더가 후진하는 경우 즉 척을 개방하는 경우에도 급 후진을 위해 유량이 0.1초 내에 Q2에서 Q1이 되도록 펌프 분당회전수를 제어하여 급후진 시킨다.

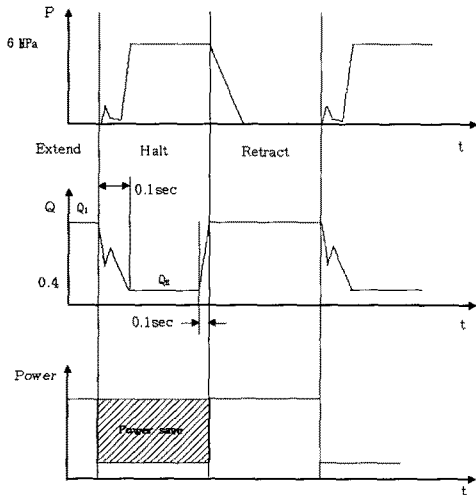


Fig. 4 P, Q and Power of power saving hydraulic unit

3. 제어 관련이론

3.1 PID 제어

PID 제어기는 비례기능, 적분기능 및 미분기능을 모두 오차량에 바로 연결시킨 형태로 Fig. 3에서 제어기를 PID 제

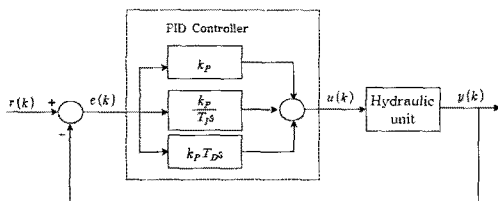


Fig. 5 Power saving hydraulic unit with PID controller

어기로 대체하면 Fig. 5와 같다.⁽⁴⁾

Fig. 5 에서 $r(k)$ 는 목표 압력으로 유니트 운영자가 수동으로 설정한다. PID 제어기의 입력신호는 목표압력과 유니트에서 압유 압력 $y(k)$ 의 차이인 오차 $e(k)$ 이다. 출력신호는 식 (1)로 계산된 결과인 $u(k)$ 전압으로 출력된다. $u(k)$ 전압 신호는 유니트에서 인버터와 결합된 AC 서보모터의 분당회전수를 조절한다.

PID 제어기를 프로그램으로 실행할 수 있도록 차분방정식으로 표현하면 식 (1)과 같다.⁽⁴⁾

$$u(kT) = u((k-1)T) + k_p e(kT) - e((k-1)T) + \frac{T_s k_p}{2T_i} (e(kT) + e((k-1)T)) + \frac{k_p T_D}{T_s} (e(kT) - 2e((k-1)T) + e((k-2)T)) \quad (1)$$

3.2 퍼지제어

Fig. 6은 Fig. 3의 제어기를 퍼지 제어기로 구성하여 나타낸 것이다. 일반적으로 퍼지제어기는 퍼지화기(Fuzzifier), 퍼지 추론(Fuzzy reasoning), 비퍼지화기(Defuzzifier)로 구성된다.^(3,4)

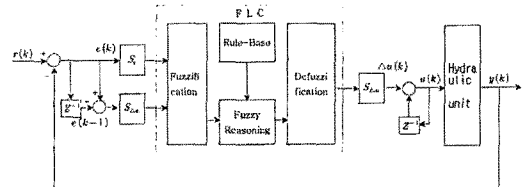


Fig. 6 Power saving hydraulic unit with fuzzy controller

퍼지 제어기의 변위출력은 $\Delta u(k)$ 이고 $u(k)$ 는 $\Delta u(k)$ 의 합으로 이루어지는 퍼지 제어기 출력이다. $u(k-1)$ 는 한 단계 이전의 $u(k)$ 의 값이다.

입력변수인 오차와 오차 변화량에 대한 퍼지집합과 언어 변수는 “NB”, “NM”, “NS”, “ZE”, “PS”, “PM”, “PB”로 각각 7개씩 사용하였다. 그리고 소속함수의 모양은 여러 가지 형태를 생각할 수 있으나 중형 소속함수를 사용하였다.^(3,4)

퍼지 추론과 비퍼지화 방법은 다양하지만 본 연구에서는 Fig. 7과 같은 퍼지추론과 비퍼지화를 사용하였으며 스케일링 계수 SF 를 고려한 $u(k)$ 는 식 (2)와 같다.^(3,4)

$$u(k) = u(k-1) + SF \times \Delta u \quad (2)$$

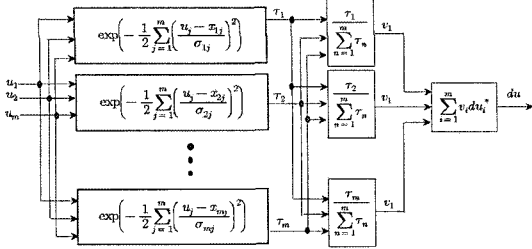


Fig. 7 Fuzzy inference and defuzzifier

3.3 자기동조 제어

Fig. 8은 Fig. 3의 제어기에 자기동조 제어기를 대체하여 블록다이어그램으로 나타낸것이다.^(5,6)

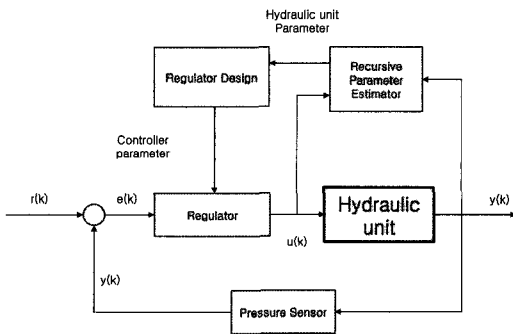


Fig. 8 Block diagram of Self-Tuning Controller

Fig. 8에서 제어기는 유니트의 입력신호인 AC 서보모터의 속도제어 입력 전압과 압력센서로부터 측정된 압유의 압력인 전압신호로부터 매개변수 추정값을 계산한다.

자기동조 제어기의 순환 인식 알고리즘은 실시간으로 변화하는 매개변수($a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$)를 추적할 수 있다. 시간 $k+1$ 에서 플랜트의 출력을 $y(k+1)$ 이라 하면 차분 방정식의 형태로 과거의 측정 항들이 식 (3)으로 주어진다.^(5,6)

$$y(k+1) = -a_1 y(k) - \dots - a_n y(k-n) + b_1 u(k) + \dots + b_m u(k-m) + e(k) \quad (3)$$

여기서, $u(k)$ 는 유니트의 속도제어 입력이고, $e(k)$ 는 평균이 0이고 분산이 유한한 확률변수이다.

순환 최소자승 알고리즘은 현재의 상관관계 잡음에서 추정을 기초로 유도된다. 제어기 예측 모델은 플랜트 전달함수가 가지는 동적잡음과 통합시킨다. 이러한 외란들이 서로 상

관관계가 없다면, 순환 최소자승 알고리즘은 외란에 영향을 받지 않는 매개변수를 추정하여 제어기를 구성하는데 사용한다.⁽⁶⁾

4. 실험장치 및 제어기 설계제작

실험장치 구성은 Fig. 9와 같다. DSP Processor를 기반으로 해서 제작한 DSP Board로 제어기를 구성하여 AC 서보모터를 제어하여 유압펌프를 동작시키고 유니트의 매개변수인 압유의 압력, 온도 및 유압펌프의 분당회전수를 A/D Card(NI-6229)로 보내며, PC에서 LabView로 만든 프로그램을 사용하여 A/D Card로부터 매개변수를 측정하여 파일로 저장한다.

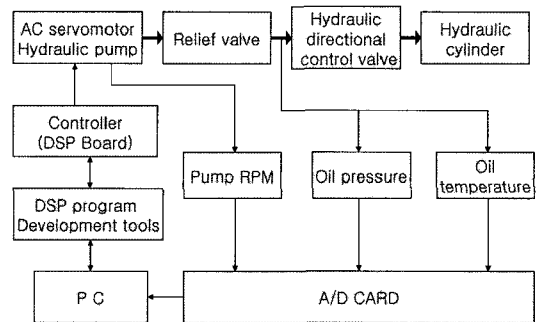


Fig. 9 Configuration of experimental system

제어기는 AC 서보모터를 구동하여 유압펌프를 동작시켜 만든 유량을 방향제어밸브로 보내고 방향제어밸브를 조절하여 유압 실린더에 유량을 공급하여 실린더를 전·후진시킨다. 이때 압유의 압력과 온도를 센서를 통하여 감지하여 제어기로 보낸다.

제어기로는 DSP Processor를⁽⁷⁾ 사용하여 PID 제어(이하 PID Control), 퍼지 제어(이하 Fuzzy Control), 자기동조 제어(이하 ST Control)이론을 수식으로 표현하고 이를 프로그램화 하였다.

제어기의 목표입력 $r(k)$ 과 압유의 압력 $y(k)$ 는 아날로그 신호 이므로 DSP Processor에서 처리하기 위해서는 아날로그 신호를 A/D 변환기를 사용하여 디지털로 바꾸어 주어야 한다. 그리고 DSP Processor에서 구현된 알고리즘의 출력은 디지털 신호이므로 유압시스템을 동작시키기 위해서는 D/A 변환기를 사용하여 아날로그신호 $u(k)$ 로 바꾸어 주어 야한다. 이를 고려한 제어기의 구성은 Fig. 10과 같다.

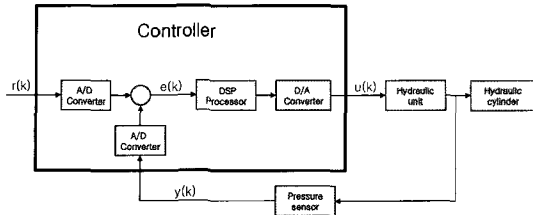


Fig. 10 Block diagram of Experimental hydraulic unit

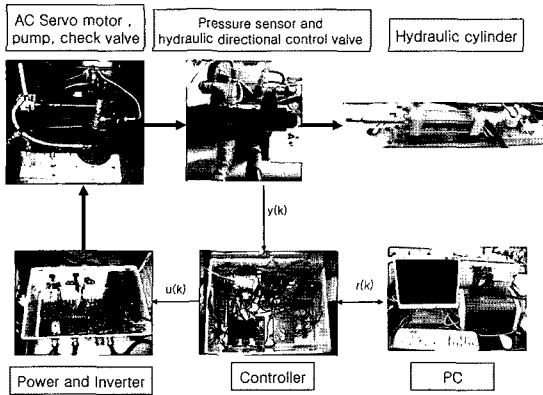


Fig. 11 Overall system configuration

제작한 제어기 및 실험장치 구성요소는 Fig. 11과 같다.⁽⁸⁾ Fig. 11은 제어 알고리즘을 구현할 제어기로 DSP Board⁽⁷⁾, DC 전원장치, 절연증폭기, 외부의 센서 신호를 DSP Board로 전송하는 실드 배선, 유니트의 유압 펌프를 구동하는 AC 서보모터, 드라이브와 전기 배전반 등으로 구성된다.

5. 실험 방법

실험은 유니트의 동력절감 효과(Fig. 4의 Power save 빗금친 부분)와 응답특성을 확인하기 매 6초 간격으로 방향제어밸브의 방향을 전환하여 실린더가 척을 고정하는 동작을 압력센서의 압력변화로 PC에서 관찰 한다.

기존 유니트 실험은 목표압력을 릴리프 밸브의 조절나사로 압력 게이지를 보면서 수동으로 6MPa, 7MPa, 8MPa 및 9MPa를 조절하여 분당회전수와 압력 및 온도를 관찰한다.

릴리프 밸브를 통해서 공급되는 유량은 AC 서보 모터가 최고속도로 회전했을 때 유압펌프의 최대유량인 18l/min가 공급되며 릴리프 밸브에서 목표압력을 초과하는 유량은 탱크포트를 통해 탱크로 복귀 된다.

제안한 유니트에 PID, Fuzzy, ST 제어기법을 적용하여

실험을 할 때 목표압력은 제어알고리즘으로 6MPa, 7MPa, 8MPa 및 9MPa로 조절하면서 분당회전수와 압력 및 온도를 관찰한다.

PID, Fuzzy, ST 제어기법은 PC에서 DSP Board로 구현한 제어기에 제어 알고리즘을 DSP 프로그램 개발장치를 사용하여 DSP Board를 프로그램 한다. DSP 프로그램 개발장치를 사용하여 구현한 제어 알고리즘(PID Control, Fuzzy Control 및 ST Control)을 사용하여 목표압력을 설정하고 실험을 실행하면서 매개변수를 측정하여 제어기 및 제어 알고리즘 적합성을 평가한다.

DSP Board의 전원을 켜고 PC의 DSP Processor 프로그래밍 Tool을 이용하여 DSP Processor 변수를 초기화 시킨다.

PC에서 작성한 제어 알고리즘을 DSP 프로그램 개발장치를 이용하여 DSP Board의 Memory에 Downloading한 후 DSP Board에서 제어 알고리즘을 수행한다.

측정된 압력 응답의 정상상태 오차가 규정치 보다 크면 DSP Board에서 제어 알고리즘 수행을 중단하고 PC에서 제어 알고리즘을 수정한 후 DSP Board의 Memory에 Downloading한 후 DSP Board에서 제어 알고리즘을 수행한다.

이러한 알고리즘 수행 및 수정 작업으로 측정된 압력 응답이 정상상태 오차를 만족하면 매개변수 압유의 압력과 온도 및 유압펌프의 rpm을 PC에 파일로 저장한다.

PID Control를 적용하여 실험할 때 비례상수, 적분상수 및 미분상수의 조절범위는 $k_p=0.1\sim0.5$, $k_I = 0.01\sim0.05$, $k_D = 0.001\sim0.008$ 을 사용하였다. 이때 샘플링시간 T_s 는 1msec를 적용하였다.

Fuzzy Control의 경우는 중형 소속함수의 분포밀도를 0.1~0.3 사이로 조절하였고 스케일링 계수 SF는 100~200 사이를 사용하였다. 이때 적용한 샘플링 시간 $T_s=1msec$ 이었다.

ST Control의 경우는 매개변수를 조절 하지 않고 샘플링 시간 $T_s=1msec$ 으로 하여 실험을 수행 하였다.

6. 실험결과 및 고찰

목표 압력을 6MPa로 하여 제어기법을 적용하지 않은 기존 유니트의 압력 응답과 본 연구에서 제안한 유니트에 PID, Fuzzy, ST 제어기법을 적용하여 실험한 압력 응답 결과는 Fig. 12와 같다.

Fig. 12에서 기존 유니트는 오버슈트가 발생하지 않고 정정시간이 0.26sec로 빠름을 알 수 있다. PID Control과 Fuzzy Control은 큰 오버슈트(9~10MPa)가 발생하고 응답

이 안정화되는 정상상태 도달시간이 3초 정도 소비된다.

ST Control은 목표압력을 잘 추종하나 최적의 제어 값을 추론하는데 0.8초가 소요되지만 오버슈트가 발생하지 않고 상승시간(0.19sec)이 빠르고 정상상태 도달시간(1.01sec)도 빨라 PID Control(3.21sec) 이나 Fuzzy Control(2.78sec) 보다 안정한 압력응답을 나타냄을 알 수 있다.

4가지 방식 압력응답 결과를 비교하면 오버슈트가 적으면서 응답시간이 빠른 제어방식은 기존 유니트(4.35%, 0.42sec)

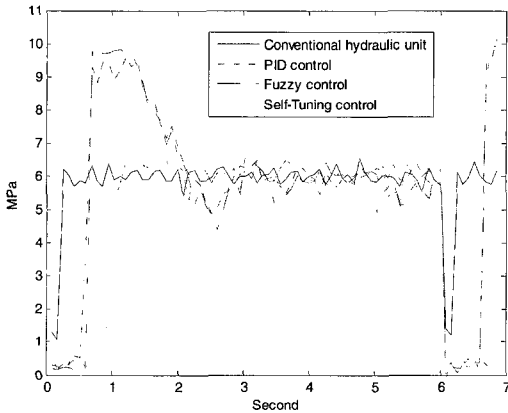


Fig. 12 Pressure response of hydraulic unit(desired pressure : 6MPa)

와 ST Control(8.67%, 1.06sec) 이다. Fig. 12의 시간영역 특성분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

이상과 같은 실험을 7MPa, 8MPa 그리고 9MPa에 대해서 행하고 응답시간(불감시간+정착시간)과 최대오버슈트를 구하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 응답시간은 기존 유니트(0.25~0.42sec)가 가장 빠르고 최대오버슈트는 기존 유니트와 ST Control이 4.35%, 8.67%로 작음을 알 수 있다. ST Control은 목표압력이 6MPa 일때 1.06sec, 7MPa 일때 0.84sec, 8MPa 일때 0.79sec, 9MPa 일때 0.71sec로 설정압력이 증가 시킬수록 응답시간이 빨라짐을 알 수 있다.

Table 2의 압력응답 결과로부터 오버슈트가 적으면서 응답시간이 빠른 제어방식은 기존 유니트(4.02~4.35%, 0.25~0.42sec)와 ST Control(8.67~11.2%, 0.71~1.06sec) 이다.

Fig. 13은 목표압력이 6 MPa 일 때(최 고정 행정) 유량변화를 측정한 것이다. 기존 유니트의 유량은 18l/min로 일정하다.

Fig. 13에서 PID Control, Fuzzy Control 과 ST Control 은 AC 서보모터의 rpm을 조절하여 유압 실린더로 공급되는 유량을 제어하여 목표압력을 조절한다. 그러므로 목표압력을 유지하는데 기존 유니트인 경우는 18l/min 유량이 필요하지만 제안하는 제어 방식을 사용한 경우는 유압 실린더가 동작하는 순간 3l/min 정도 유량의 변화가 생기고 과도영역

Table 1 Response(Desired pressure : 6 MPa)

Control method	Rise time (t_r)	Dead time (t_{dead})	Delay time (t_d)	Settling time (t_s)	Peak time (t_p)	Steady state error(%)	Maximum overshoot(%)
Conventional hydraulic unit	0.247s	0.1740s	0.207s	0.261s	0.261s	18.8	4.35
PID control	0.109s	0.260s	0.0637s	2.78s	0.695s	15.1	59.8
Fuzzy Control	0.0435s	0.610s	0.473s	3.21s	0.622s	17.0	66.7
ST Control	0.189s	0.870s	0.113s	1.05s	0.437s	25.2	8.67

Table 2 Comparison of response and overshoot

Control method	Response(Sec)				Maximum overshoot(%)			
	6MPa	7MPa	8MPa	9MPa	6MPa	7MPa	8MPa	9MPa
Conventional hydraulic unit	0.421	0.25	0.258	0.251	4.35	8.57	2.25	4.02
PID Control	0.369	0.661	0.583	0.502	59.8	34.7	20.3	10.7
Fuzzy Control	0.636	0.68	0.667	0.587	66.7	37.7	23.7	7.98
ST Control	1.059	0.841	0.793	0.707	8.67	11.2	9.06	6.22

이 안정되면 약 1l/min 정도가 연속해서 공급된다.

Fig. 13에서 PID Control, Fuzzy Control 과 ST Control 은 기존 유닛 보다 송출유량을 94.5% 줄이고 이에 대응하는 동력절감을 하게 된다.

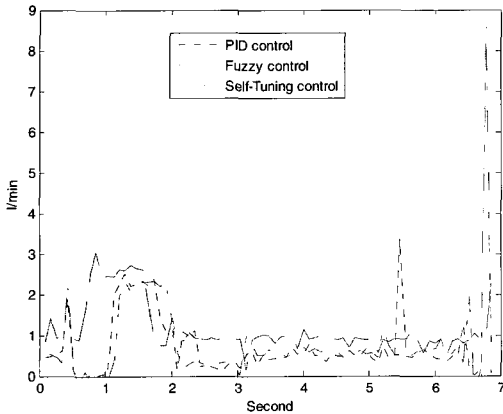


Fig. 13 Flow rate of hydraulic(Desired pressur : 6 Pa)

Fig. 14는 압력을 6MPa로 하여 기존 유닛의와 3가지 제어방식을 적용하였을 때 제어방식에 따른 압유의 온도변화를 4분 동안 측정하여 나타낸 것이다. 기존 유닛은 온도변화가 4분 동안 19.5℃ 상승한다. PID Control과 Fuzzy Control 은 0.5℃, ST Control은 1.5℃로 기존 유닛 보다 온도 변화가 작음을 알 수 있다. 이는 유량의 감소에 따른 것으로 판단된다. ST Control이 PID Control과 Fuzzy Control 보다 1.0℃ 높은 것은 유량응답에서 유량을 약 30l/min를 더

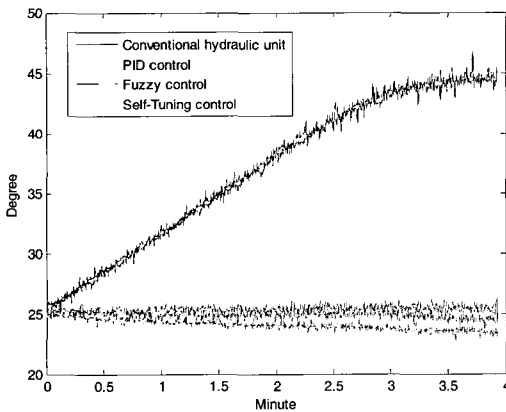


Fig. 14 Oil temperature of hydraulic unit(Desired pressure : 6 MPa)

사용하는데서 기인한다. Fig. 14의 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Variation of oil temperature

Control method	Start	End
Conventional hydraulic unit	25.0℃	44.5℃
PID Control	25.0℃	25.5℃
Fuzzy Control	25.0℃	24.5℃
ST Control	25.0℃	23.5℃

소비전력(PC) 계산은 펌프의 출력 동력 계산식 식 (4)를 사용하여 실험에서 측정된 압유의 압력과 유량을 이용하여 계산하였다.

$$PC = \frac{P \times Q}{60,000} \text{ (kW)} \quad (4)$$

여기서, P는 압력(kPa)이고, Q(유량)는 유량(lpm) 이다. 기존 유닛의와 본 연구에서 제안한 3가지 제어기법을 사용한 경우의 소비전력에 관한 실험결과를 Table 4와 Fig. 15에 나타내었다.

Table 4에서 PID Control(4.68%), Fuzzy Control(4.68%) 과 ST Control(5.51%)은 기존 유닛 대비 약 5.0%의 전력을 사용하므로 약 95.0%의 전력을 절약할 수 있음을 알 수 있다.

Table 4 Comparison of power consumption(desired pressure : 6 MPa)

Control method	During 6 seconds (kWs)	Hour per power consumption (kWh)	Percentage of power consumption
Conventional hydraulic unit	10.5kWs	6.32mWh	100%
PID Control	0.493kWs	296kWh	4.68%
Fuzzy Control	0.464kWs	279kWh	4.68%
ST Control	0.579kWs	347kWh	5.51%

ST Control이 PID Control과 Fuzzy Control 보다 1.0% 높은 것은 유량응답에서 유량을 약 30l/min를 더 사용하여 온도가 1.0℃ 상승하기 때문인 것으로 생각된다.

Table 5에서 소비전력은 기존 유닛을 100%으로 놓았

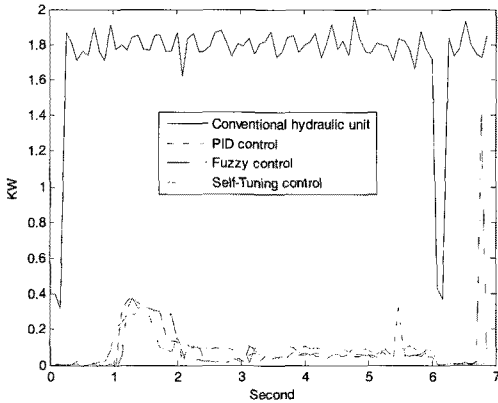


Fig. 15 Power consumption(desired pressur : 6 MPa)

Table 5 Power consumption and oil temperature

Control method	Percentage of power consumption				Temperature
	6MPa	7MPa	8MPa	9MPa	
Conventional hydraulic unit	100%	100%	100%	100%	19.5℃
PID Control	4.68%	4.80%	6.28%	4.11%	0.50℃
Fuzzy Control	4.68%	4.68%	6.47%	6.14%	-0.50℃
ST Control	5.51%	5.89%	6.70%	5.86%	-1.50℃

을 때 PID Control, Fuzzy Control 및 ST Control은 4.80% ~6.70%의 전력을 소비한다. 그러므로 기존 유니트에 비해 전력소비를 93.3% 절약할 수 있음을 알 수 있다.

이상의 결과를 정리하면 다음과 같다. 압력응답에서 오버슈트가 적으면서 응답시간이 빠른 제어방식은 기존 유니트(4.02~4.35%, 0.25~0.42sec)와 ST Control(8.67~11.2%, 0.71~1.06sec)이고, 유량응답에서 PID Control, Fuzzy Control 과 ST Control이 기존 유니트 보다 94.5%의 유량이 감소된다. 압유의 온도는 기존 유니트가 4분 동안 19.5℃ 상승하지만 PID Control과 Fuzzy Control은 0.5℃, ST Control은 1.5℃로 제한한 제어가 온도 변화가 작다. 소비전력은 PID Control, Fuzzy Control 및 ST Control이 기존 유니트 보다 전력소비를 93.3% 절약할 수 있다. 또한 ST Control은 제어기의 튜닝이 필요 없이 복잡한 구조의 유니트를 실시간 모델링을 기반으로 외란이나 부하의 변동에 잘 적응하는 제어기이다.

7. 결론

기존 유니트의 동력을 절약하기 위해 동력 절감형 유니트를 제안하고, 제안한 유니트에 3가지 제어이론을 실현할 수 있는 제어기를 설계·제작하여 유니트에 장착하여 실험을 행하였다.

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 3가지 제어기를 실험하는 과정에서 PID Control과 Fuzzy Control은 목표압력(6MPa, 7MPa, 8MPa, 9MPa)을 변경하면 계수 값(PID제어기는 PID 이득 값 그리고 퍼지 제어기는 스케일 값)을 다시 조절하였으나 ST-Control은 4가지 목표압력에 대해서 셀프튜닝이 되므로 튜닝시간이 절약되어 제어가 용이하게 됨을 알 수 있다.
- (2) 4가지 목표압력(6MPa, 7MPa, 8MPa, 9MPa)에 대한 응답시간은 기존유니트(0.25~0.421sec), PID Control(0.37~0.66sec), Fuzzy Control(0.59~0.68sec), ST Control(0.71~1.06)이고 기존유니트가 가장 빠르고 최대오버슈트는 기존유니트(2.25~8.57%), ST Control(6.22~11.1%), PID Control(10.7~59.8sec), Fuzzy Control(7.98~66.7sec)가 되어 기존유니트가 응답시간이 가장 짧고 오버슈트도 제일 작음을 알 수 있었다.
- (3) 4가지 목표압력(6MPa, 7MPa, 8MPa, 9MPa)에서 기존 유니트의 소비전력을 100%이라고 하면 유니트에 PID Control의 소비전력은 4.11~6.28%, Fuzzy Control은 4.68~6.47%, ST Control은 5.51~6.70%로 기존 유니트의 소비전력이 제일 많음을 알 수 있었다.
- (4) 목표압력 6MPa에서 압유의 온도 변화는 기존의 유니트가 19.5℃, ST Control는 1.5℃, PID Control는 0.5℃, Fuzzy Control가 0.5℃로 기존 유니트의 유온상승이 제일 کم을 알 수 있었다.

후 기

“본 논문은 2008학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원으로 연구되었음”.

참 고 문 헌

- (1) Ilrim nanotec Co., Ltd., 2008, *Development of high precision variable capacity hydraulic controller(Final*

- report), Ministry of knowledge economy, Changwon, pp. 1~126.
- (2) James L. J.(translation : Kim, S., et al.), 2002, *Introduction to fluid power*, SciTech Media, Republic of Korea, pp. 46
- (3) Lee, S. Y. and Yum, M. O, 2004, "Design and implementation of fuzzy controller using normalized-varied scale factor for hydraulic power unit," *The research institute of engineering & technology kyungnam university*, Vol. 22, pp. 159~167
- (4) Jung, D. H., 2004, *Design of Fuzzy Control Systems for the Gain Tuning of P-I-D Controllers*, Master's thesis, Kyungnam university, Republic of Korea.
- (5) Astrom, K. J. and Wittenmark, B., 1995, *Adaptive Control second edition*, Addison-Wesley Pub. Com., New York, pp. 1~561.
- (6) Rao, G. P., Sinha, S., Naidu D. S., and De, N. K., (edited by Sinha, N., Holland, D., Reidel Pub. Com.), 1986, "Some Aspects of Microprocessor-Based Control and Identification, Microprocessor-Based Control Systems," pp. 7~33.
- (7) Realsys, *DSP33 PLUS Board Manual*, Realsys, Anyang.
- (8) Yum, M. O and Lee, S. Y., 2007, "Characteristic Experiment of Domestic Developed Hydraulic Axial Piston Motor," *J. of KSMTE*, Vol. 18, No. 5, pp. 70~76.