

Booster Pump System에서의 PID 및 Fuzzy 제어를 이용한 일정 예측 최종 압력 제어

이병훈*, 이재춘, 전덕구, 이상균, 황민규
LG 전자 리빙시스템 연구소 제어팀
서울 금천구 가산동 327-23

Constant Estimated Terminal Pressure Control Using PID and Fuzzy Control in the Booster Pump System

Byeong-Hoon Lee, Jae-Choon Lee, Deok-Gu Jeon, Sang-kyun Lee, Min-Kyu Hwang
LG Electronics Inc. Living System Laboratory Control Team
email : bhlee@lsl.goldstar.co.kr

Abstract

본 논문은 Building, 아파트, 병원, 호텔 등의 건물의 급수 System 으로서 최근 대두되고 있는 Booster Pump System 에 관한 것으로서, 제품의 주요 특징 및 제어 알고리즘을 소개하고 특히 최종 User 에게 쾌적한 급수 환경을 제공하기 위한 주 제어 기능인 일정 예측 최종 압력 제어를 PID 및 Fuzzy 제어 이론을 이용하여 구현하였는데, 그 적용 알고리즘을 소개하고, 실제 제어 실험을 통해 PID 제어와 Fuzzy 제어를 비교하였다.

1. 서론

인간이 거주하는 건물에는 물을 공급하는 급수 시스템이 필수적으로 설치되어 있는데 이러한 급수 System 은 기존에 널리 쓰이고 있는 고가 수조 방식과 최근에 대두되고 있는 급수 가압 방식으로 크게 나누어 볼 수 있다.

고가 수조 방식은 지하 저수조의 물을 건물의 옥상 물탱크로 끌어 올려서 각 수요자에게 공급하는 방식인데 물탱크 설치에 따른 건물의 강도 보완이 필요하고, 도시 미관상 좋지 않고, 상향 및 하향의 이중 배관이 필요로하고, 물탱크가 오염되기 쉽고, 수압 문제 등의 문제점이 있었다. 이에 반하여 급수 가압 방식은 지하 저수조의 물을 직접 수요자에게 공급하는 방식으로 옥상 물탱크가 필요없고, 옥상층에도 수압이 양호하고, 공사 기간이 단축되고, 공사비가 적게 들고, 녹물 발생을 억제하는 등의 장점이 있어서 주로 구미 지역에서 널리 쓰이고 있으나 국내에서는 아직 초기 단계여서 일부 업체에서 주로 수입 판매를 하고 있는 실정이다. 이러한 시점에서 이번에 LG 전자는 급수 가압 Pump 시스템을 개발하였고 특히 축적된 기술적 Know-How 로써 Booster Pump System 의 핵심인 고기능의 Controller 를 개발하여 상품화하였다. 본 논문에서는 Controller 의 주요 특징들을 소개하고, 특히 Booster Pump System 제어의 주요 기능인 일정 예측 최종압력 제어를 PID 및 Fuzzy 제어 이론을 이용해서 구현하였는데 그 연구 결과를 소개한다.

2. Booster Pump System 의 주요 특징

2.1. 제품 개요

20 HP급 입형 다단 Pump 6대를 조합한 Boote(상향식 급수가압) Pump System과 사용자의 수량에 따라 Pump의 운전 대수와 출력을 자동 제어하는 장치를 개발하였는데, 특히 Controller는 Pump 대수, 마력수, Sensor 등의 조합에 따라 약 300 모델을 운용할 수 있으며, 또한 현대의 Pump는 인버터 구동을 함으로써 에너지 Saving 및 일정압력 운전을 가능케 하는 급수용 Pump System이다.

2.2. 주요 특징점

- 자동/수동 운전 모드 선택 기능
- Inverter 운전 및 Step 운전 전환 기능
- 인버터 구동을 통한 에너지 Saving 및 압력 탱크 소형화
- 교대운전으로 펌프 수명 연장
- 각종 보호 기능 (과전류 보호, 공운전 방지, 동과/고온 방지, 과대 압력 방지, 압력 Sensor 이상 여부 감지, RAM Error 이상 여부 감지 등의 자기 진단 기능 등)
- 배관 저항 손실을 보상하는 일정 예측 최종 압력 제어 기능
- PID 제어에 의한 일정 압력 제어 기능
- 화재 발생시 비상 운전 기능
- Set Point (기동 압력)의 Program 기능
- Data Battery Backup 기능

PID 제어에 의한 일정 예측 최종압력 제어는 아래와 같이 구현하였다.

마이크로 컴퓨터는 압력 Sensor 로 부터 검출한 실제 압력값과 배관 저장 손실이 보상된 설정 압력값을 비교를 하여 아래의 수식연산을 통해서 Inverter 구동 Data 를 처리하게 하였다.

New Inverter 구동값 = Old Inverter 구동값 +

$$\frac{E_{current}}{KP} + \sum \frac{E_{current}}{KI} + \frac{E_{current} - E_{old}}{T_{samp} \times KD}$$

여기서 KP:비례계수, KI:적분계수, KD:미분계수, Ecurrent:현재의 Error 값, Eold: 이전의 Error 값, Tsamp: Sampling Time

그림 4 에 나타난 것과 같이 Sampling Time, KP 계수, KI 계수, KD 계수는 User 로 부터 입력받는데 20 행 2 열의 Dot Matrix LCD 화면 상에 표시되는 각 설정 Data 를 Key 를 사용하여 설정 및 저장하도록 하였는데 이러한 User Interface 를 통해서 Pump 의 마력수, 배관 상태 등에 따라 다른 다양한 사용 환경에 맞추어 적절한 PID 계수를 설정할 수 있게 함으로써 적절한 제어를 수행할 수 있게 하였다.

Sampling Time: 12 Hz
KP: 50 KI: 40 KD: 20

그림 4. PID 계수 설정 LCD 화면

2.4.3. 퍼지 제어에 의한 일정 예측 최종 압력 제어 알고리즘

퍼지 제어기는 Mamdani 의 삼각형 퍼지 변수를 사용하였고 전건부 변수로서 토출압력의 편차 E 와 1 샘플링 시간에서의 E 의 변화분 ΔE, 후건부 변수로서는 Pump 를 구동하는 Inverter 구동 Data 값의 변화분 ΔU 로 하여 퍼지 PI 제어기로 구성하였다. 퍼지 제어기의 입출력 관계는 E, ΔE → ΔU 이다.

표 1 이 ΔU 에 대한 퍼지 룰 테이블을 나타내었다.

		ΔE						
		NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
E	NL				NL	NM		
	NM				NM			
	NS				NS	ZO		PM
	ZO	NL	NM	NS	ZO	PS	PM	PL
	PS	NM		ZO	PS			
	PM				PM			
	PL			PM	PL			

표 1. ΔU 에 대한 퍼지 룰 테이블

본 퍼지 제어기는 Matlab 의 퍼지 제어기 설계

Tool 을 활용하여 설계하였는데 그림 6,7,8 은 설계 과정 화면을 Capture 한 것이다.

그림 5 는 본 퍼지제어기의 구성도이다

전건부 변수는 토출 압력의 편차(error)와 편차의 변화율(c_err)로 하였고 후건부 변수는 인버터 구동 Data 의 변화분으로 하여 속도형으로 설계하였다.

그림 6 은 변수들에 대한 Membership 함수 및 파라미터 설정을 나타내고 있다.

그림 7 은 룰 적용 결과를 보여 주는 화면으로서 여기서 구한 Data 를 Table 화 하여 마이컴에 입력하여 실험하였고 몇 번의 파라미터 수정 작업을 통해서 적절한 값을 얻어 내었다.

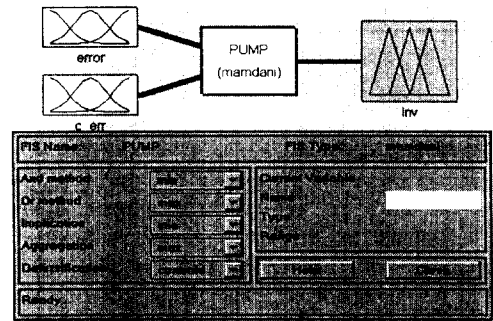


그림 5. 퍼지제어기 구성도

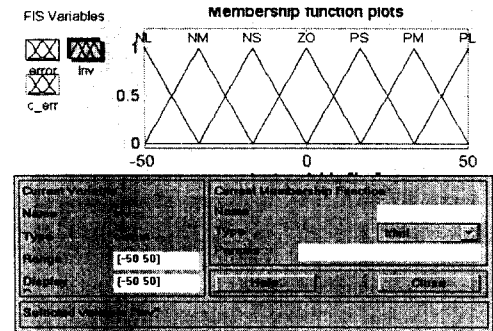


그림 6. 각 퍼지변수의 Membership Function

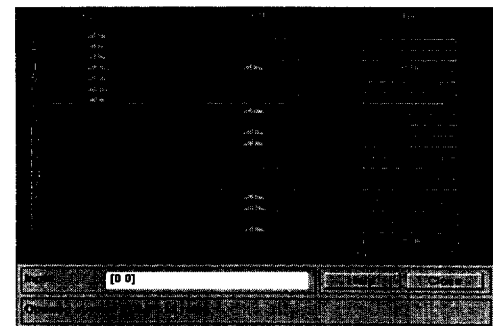


그림 7. Rule 적용 결과

3. 실험 및 결과

20 마력 Pump 6 대로 구성되는 Booster Pump System 을 대상으로 하였으며 1 대는 범용 Inverter 로 제어하였다. 그림 8 은 실험 장치도이다.

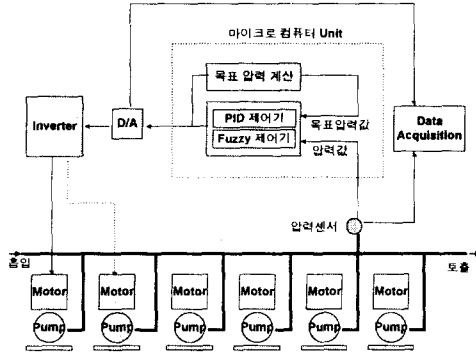


그림 8. 실험 장치도

실험은 배관 저항 손실 보상치를 100%로 설정하고 Sampling time 은 200msec, Inverter 의 0~60Hz 의 가감속 시간은 2sec 로 설정하고 실험을 하였는데 실제로는 토출 유량을 변화시켜 가면서 실험을 해야 하지만 재현성 및 비교 실험을 위해서 Set Point 를 조정했을 때의 압력의 변화와 Inverter 구동 Data 를 관찰하였다.

그림 9,10 은 Set Point 를 5.0 kgf 에서 8.0 kgf 로 조정한 경우와 반대로 8.0kgf 에서 5.0kgf 로 조정한 경우의 PID 제어와 Fuzzy 제어를 했을 때의 토출 압력의 변화를 나타내고 있다. 여기서 A 부분에서 Inverter 상한 또는 하한 주파수에 도달해도 압력의 변화가 없으므로 한대의 정속 구동 Pump 를 구동 또는 정지하고 다시 Inverter 의 변속에 의해 설정 압력을 추종하고 있으며 그 압력 추종 속도면에서 Fuzzy 제어가 PID 제어 보다 빠름을 나타내고 있다.

4. 결론

결론적으로 말하자면 두 경우 모두 System 이 요구하는 기능 구현에 문제가 없다. PID 제어는 마이크로 컴퓨터에 적용하는데 있어서 간단한 수식 연산만으로 제어가 가능하기 때문에 Program 의 Code 길이가 짧고 User 로 부터 PID 계수를 입력받게 함으로써 다양한 환경 조건에서도 적절한 제어가 가능하나 최적의 PID 계수를 찾아 내야하는 어려움이 있다. 반면 Fuzzy 제어는 별도로 User 로 부터 입력받아야 하는 절차는 필요 없으나 System 환경에 따라 Look up data 가 달라지기 때문에 마이크로 컴퓨터에 Look Up Table 화 하는데 있어서 어려움이 있다. 따라서 향후 제품 응용 측면에서 이러한 장단점을 적절히 조합하여 취할 필요가 있는데 즉, 다

양한 사용 환경에 맞추어 최적의 PID 계수를 Controller 가 직접 찾아내는 Auto Tuning 알고리즘을 구현할 필요가 있고 이러한 Auto Tuning 알고리즘 구현을 위해 Fuzzy, Neuro, GA 등의 이론을 적용하는 등의 연구가 필요하다고 생각된다.

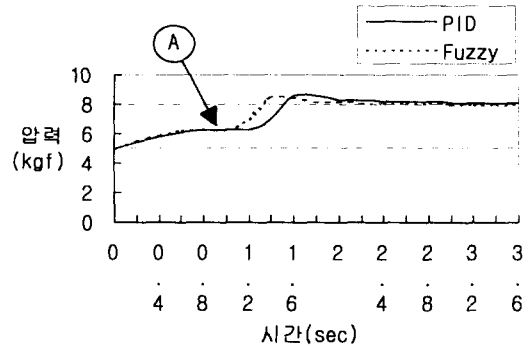


그림 9. Set Point 를 5.0kgf 에서 8.0kgf 로 조정했을 때의 토출 압력의 변화

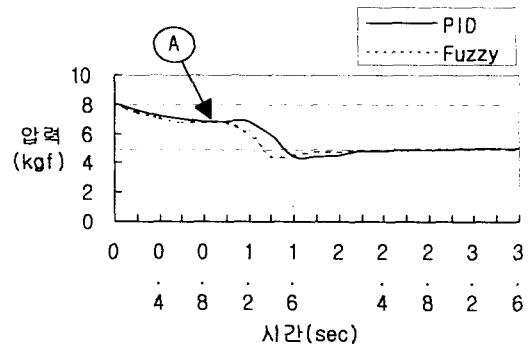


그림 10. Set Point 를 8.0kgf 에서 5.0kgf 로 조정했을 때의 토출 압력의 변화

참고 문헌

- [1] 박민용, 최항식, "퍼지 제어 시스템", 대영사, 1990
- [2] 한국건설기술연구원, "초고층 아파트 급수 시스템 개발", 과학기술처, 1993