

PID 제어 알고리즘을 지닌 Booster Pump System.

이 상균, 이 재춘, 이 병훈, 황 민규
LG전자 리빙시스템 연구소 전력전자팀

Booster Pump System with PID Control Algorithm

Lee SangKyun, Lee JaeChoon, Lee ByeongHoon, Hwang MinKyu
LG Electronics Living System Lab. PowerElectronics Team

Abstract - With Extraction Transient Data from Booster Pump System, This Paper establishes system model equation. and This equation is capable of PID control. Using Ziegler-Nichole tuning method of PID, Constantly estimated control method is done.

1. 서 론

고층건물의 개발이 한창인 요즘 고층건물의 급수 시스템에 대한 관심또한 크게 증가되고 있다. 일반적으로 고층건물의 급수 시스템은 환경, 위생등에 이점이 좋은 상향식 급수 가압 장치(Booster Pump System)가 각광을 받고 있으나, 고층 건물의 급수 설비 시스템의 최적 설계기법이 확립되지 않은 상태에 있다. 이에 본 논문은 Transient Response Data를 이용한 모델링 기법을 도입하여 시스템에 대한 모델링을 수행한후, 설정된 표현식에 PID 제어를 Design한 Booster Pump System을 소개하며, 이러한 기술 개발로 인해 급수 기술 개발에 기여하며 해외 개방에 대비한 국제 경쟁력을 고취시키하고자 한다.

2. 본 론

2.1 System Modelling

실험적으로 얻어진 Data를 통해 System에 대한 Model을 구하는 방법의 종류는 다음과 같다.

- 1) Transient Response (Impulse Or Step Response)
- 2) Frequency Response Data
- 3) Stochastic Steady-State Information
- 4) Pseudorandom-Noise Data

이중 모델식을 상대적으로 구하기 쉬운 1번을 본 논문에서는 사용하며, Step 입력(Reference Input :

$r(t)=10$)을 인가하였을 경우 출력(토출측의 압력값)의 실험 데이터(표 1참조)를 <그림 1>에 도시하였다. 본 그림1에서 보여준 구간중 본 논문에서는 $t > 0.25$ 인 구간을 제어구간으로 정하여 이 구간의 Data에 충실한 모델 표현식을 찾고자한다.

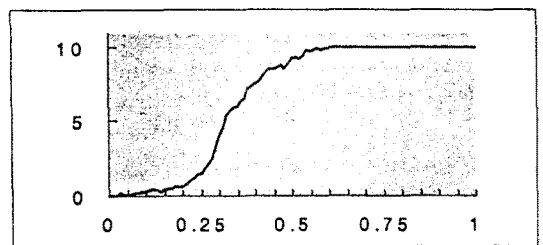
$$r(t) = 10u(t) \quad (1-1식)$$

Laplace Transform

$$R(S) = \frac{10}{s} \quad (1-2식)$$

입력	출력	입력	출력
0	0	0.35	6
0.05	0.1	0.4	7.5
0.1	0.3	0.45	8.5
0.15	0.4	0.5	9.2
0.2	0.6	0.55	9.7
0.25	1.5	0.6	9.9
0.3	4	∞	10

<표 1> Transient Data



<그림 1> Output(Pressure) versus Time

Transient Data로 얻어진 <그림 1>는 다음과 같은 exponential의 합으로 표시할수 있다.

$$y(t) = y(\infty) + Aexp(-at) + Bexp(-\beta t) + \dots \quad (2식)$$

(2식)에서 뒷부분의 항목을 무시할수 있다고 가정하면 ($\alpha < \beta$, a 가 가장 반응이 느린 극점) (2식)은 다음과 같이 다시 쓰여질 수 있다.

$$y(t) \approx y(\infty) + Aexp(-at)$$

$$\log[y(t) - y(\infty)] \approx \log A - \alpha t \log \exp$$

$$\approx \log A - 0.4343\alpha t \quad (3\text{식})$$

$y(t)$, $y(\infty)$ (=최종압력값, 10)의 오차값과 <그림 2>의 접선의 값을 통해 A, α 를 구함에 있어 본 제어의 대상은 $t \geq 0.25$ 인 구역임으로 $t < 0.25$ 영역에 대해선 무시하여 y절편은 $y(0.25)$ 값으로 가정한다.

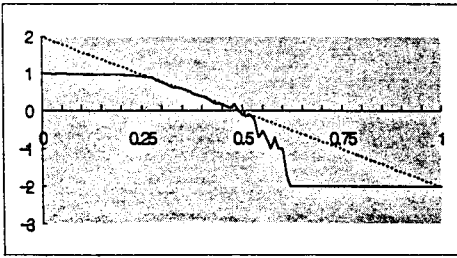
$$\log|A| = 0.97$$

$$0.4343\alpha = \frac{0.81 - 0.77}{\Delta t}$$

$$= 4$$

$$\therefore A = 9.3$$

$$\alpha = 9.2 \quad (4\text{식})$$



<그림 2> Log[y(∞)-y] vertus t

$$\therefore \text{if } t < 25 \quad y(t) = 0$$

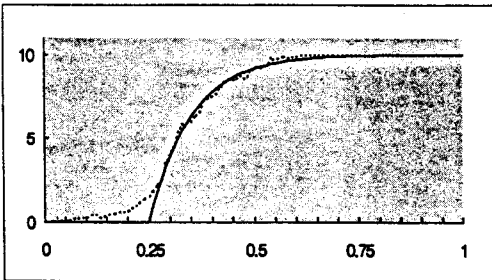
$$\text{else } y(t) = 10 - 9.3 \exp(-9.2t) \quad (5-1\text{식})$$

(5-1식)을 Laplace Transform으로 변환하면,

$$\text{if } S < 25 \quad Y(S) = 0$$

$$\text{else } Y(S) = \left[-\frac{10}{S} - \frac{9.3}{S+9.2} \right] \quad (5-2\text{식})$$

Transient Data 및 (5-2식)을 통해 얻어진 모델식과 의 Data는 <그림 3>와 같다.



<그림 3> Actual Data / Model Data

(식5-2)으로 얻어진 함수를 이용하여 시스템의 전달 함수는 출력함수에 Step Input의 역수를 곱함으

로 구해진다.

$$G(S) = Y(S) \cdot \frac{S}{10}$$

$$= \frac{0.7s + 9.2}{10(s + 9.2)} \cdot e^{-25s} \quad (6\text{식})$$

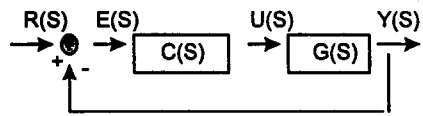
2.2 PID Controller Design

일반적으로 실험적 Data를 이용하여 얻어진 표현식에 대한 제어기 설계에 있어서 가장 간단하며 설계가 용이한 PID제어기를 본 논문에서 설계한다.

설계에 있어서 PID의 각 Parameter의 설정은 시스템의 극점의 변화를 주게됨으로 수렴속도, 안정성 등을 고려하여 선택해야한다.- K, Ti : 수렴속도, Td : Damping과 관련있음.

본 논문에서의 Tuning 방식은 Ziegler - Nichols Step Response Method를 이용한다.

<그림 5>는 제어기 및 시스템의 Block Diagram을 보여주며, PID 제어기 Parameter는 표2를 따른다.



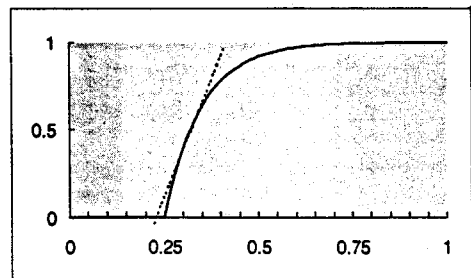
$$C(S) = K \left(1 + \frac{1}{TiS} + TdS \right)$$

<그림 4> 제어 Block Diagram

Type of Controller	Optimum Gain
Proportional	$K=1/RL$
PI	$K=0.9/RL$ $Ti=L/0.3$
PID	$K=1.2/RL$ $Ti=2L$ $Td=0.5L$

<표2> Ziegler-Nichols Tuning

표 2의 Parameter인 R, L은 (식 6)에서 얻어진 전달함수의 시간에 대한 그래프에 대한 접선으로부터 구해진다. (R : Slope, L : dead-Time)



<그림 5> Process Reaction Curve

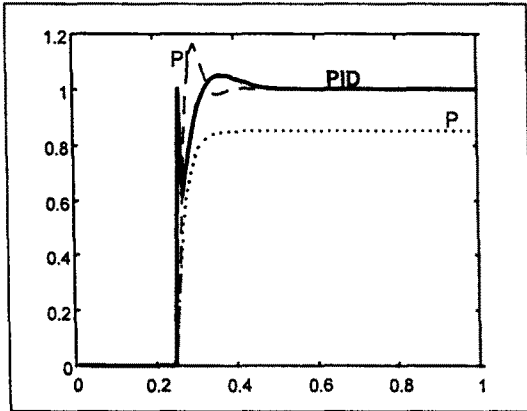
$$R = 7.3, L = 0.24$$

Ti계수는 L에 비례하는 함수로써 정상상태에 도달하는 시간을 줄이기위해 본 논문에서는 $L = 0.024$ 로한다.

$$\therefore K = 5.7 \text{ (Proportional)}$$

$$K = 5.14, Ti = 0.08 \text{ (PI)}$$

$K = 6.8, Ti = 0.048, Td = 0.012 \text{ (PID)}$ (7식)
(7식)을 이용한 Simulation결과는 (그림6)과 같다.

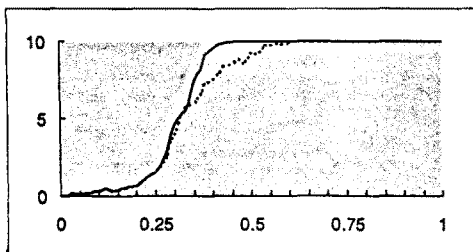


<그림 6> Step Response

(그림6)에서와 같이 P제어만 수행한 제어기는 수렴속도는 빠르나 정상상태에서 Off-Set값을 가지고 있으며, PI제어기는 정상상태의 Off-Set을 적분기의 영향으로 제거함이 가능하지만 과도상태에서 Stability가 나빠짐을 보인다. 이에반해 PID 제어기는 K, Ti항으로 인해 빠른 수렴과 Td항목으로 인한 Stability의 증가를 볼수 있다.

2.3 System Control

<그림 7>은 기존의 Open Loop 상태(점선)일 경우와 PID 제어기를 사용하여 Close Loop 제어(실선)를 수행할 경우의 실제의 System 결과를 보여준다. (그림 6)의 Simulation 결과와는 약간의 Delay를 보임은 실지로 펌프의 Tracking 소요시간과 배관등에 따른 요인으로 인한 것으로 생각된다.



<그림 7> Closed-Loop Step Response

3. 결 론

본 논문은 급수 가압 펌프 시스템에 있어서 과도상태의 Data를 이용하여 시스템에 대한 모델 표현식을 설정하였고, 설정된 모델식에 대해 Ziegler - Nichols Tuning Method를 사용한 PI제어기의 설계를 하였다. 또한 펌프의 역회전 방지를 위한 알고리즘을 제안하였는데 이러한 알고리즘을 지닌 급수가압 시스템은 차후 선진업체와 기술 경쟁을 할수 있는 중요 발판을 만들었다고 여겨진다.

그러나 본 논문에서 사용된 과도 상태의 Data의 제어 Factor는 펌프의 추종 속도 및 배관의 굵기, 길이등에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않아 가압 시스템의 설치 장소에 따라 모델 표현식이 일정치 않게되는 문제를 내포하고 있는데, 차후 급수가압 시스템의 제어 Factor를 고려한 범용의 Modelling이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] 백 춘기, "가압 급수 시스템 기술개발 연구", 냉동공조 기술, 1993, 8.
- [2] Stoner, M.A., "Modeling the State State Pressure Flow Response of Steam and Water System", Proc. the Int. District Heating Association, Vol. LXV, pp 53-67, 1974
- [3] Karl Johan Astrom, "Adaptive Control", Addison-Wesley
- [4] Gene F. Franklin, "FeedBack Control of Dynamic Systems", Addison-Wesley