

평가지표를 이용한 2자유도 PID제어기 설계

A Design of 2 DOF PID Controller Using Performance Index

유 항 열*, 이 정 국*, 이 금 원*, 이 준 모**

Hang-youal Yoo, Jung-Kuk Lee, Keum-won Lee, Jun-Mo Lee

요 약

PID제어는 수십년간 잘 사용이 되어 왔다. PID알고리즘은 적당한 튜닝법을 사용하여 파라미터를 구하여 제어시스템을 설계한다. 그러나 어떤 경우에는 다양한 평가지표가 필요하고, 따라서 이들 다양한 평가지표를 사용하여 설계할 제어시스템이 필요로 하는 조건들을 만족되게 해야 한다.

본 논문에서는 오차, 제어입력의 에너지 및 제어입력의 변화율 등의 시간영역지표들은 물론이고 견실성을 확보하기 위해서 견실성 지표 예들 들면 가중치를 부과한 상보감도함수의 무한대놈을 포함한 선형조합형태의 평가지표를 사용하여 2 자유도 PID제어기를 설계한다. 수치해석을 통하여 최적의 2 자유도 PID파라미터들을 구한다. 이들 I-PD형 등의 2자유도 형은 PID를 변형한 형태로서 단일의 PID제어기들에 비해 더 개선된 출력특성을 얻을 수 있음을 보인다. 시뮬레이션은 MATLAB m 및 mdl파일을 통하여 실행한다.

Abstract

PID control has been well used for several decades. For PID algorithms, some tuning methods are used for selecting PID parameters and with these selected parameters, PID control system is designed. But in some cases various kinds of performance indices are used instead of well-known tuning rules, and so variable type of performance index must be tested so that the designed control system meets the some specifications.

For 2 DOF PID controller design this paper presents a linear combinational type of performance indices constituting of index for robust performance, which is obtained by h infinity norm of a weighted complementary sensitivity function, including other time domain indices such as error, energy and changing rate of control input. By numerical methods, the optimal 2 DOF PID parameters are obtained. Therefore various types of 2 degree of freedom PID controllers such as I-PD controller are used so that this two degree of freedom PID controllers may give more desirable output characteristics. Simulations are done with MATLAB m file and mdl files.

Key words : PID, parameter tuning, performance index, 2 DOF(degree of freedom), linear combination.

I. 서 론

현대제어이론으로 대표되는 제어이론은 비약적인 기술 발전이 이루어져오고 있고, 새로운 제어이론 및 신기술이 연구되고 적용되고 있는 시점에서도 불구하고 PID(Proportional, Integral and Derivative) 제어기는 아직 현장에서 많이 사용되고 있기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다. PID제어기에 있어서 파라미터 튜닝법은 많이 제시가 되어 있고,[1]-[4] PID제어기의 구조 자체를 개량하여 보다 사용하기 쉽고 성능을 높이려는 시도를 해 오고

있다.[5]-[6] PID 제어기는 일반적으로 구조가 단순하고, 하드웨어적으로 구현이 쉽고, 동조할 계수가 적어서 다루기가 용이하고, 대부분의 산업공정에서 그 값싼 제작 비용에 비해서는 강인함을 보이는 장점을 가지고 있다.

일반적으로, 빌딩의 공조제어로는 제어 루프의 대부분이 실내의 온도 제어이고, 프로세스 제어의 형태이다. 그러나 공조제어는 실내 기온을 측정된 것으로 실내를 환기하고 있기 때문에, 동작점이 수시로 변동한다는 점이 기타 화학, 철강 등의 프로세스 제어와는 다른 특징이 있다. 플랜트의 운전조건이 변화가 심한 경우나, 외기에 의하여 동작점이 변동한 경우 또는 잡음 등이 존재하는 환경에서는 이를 완전하게 커버할 수 있는 조정법은 존재하지 않는다. 따라서 현장에서 얻은 데이터를 기준으로

*관동대학교 전자공학과, **관동대학교 정보기술 공학부
접수 일자 : 2003. 7. 15 수정 완료 : 2004. 1. 26
논문 번호 : 2003-3-6

하여 목적을 잘 설정하여 강인하면서도 유연하게 대응할 수 있는 조정법이 필요로 되어 최근에 많이 연구가 되고 있다.[7]-[8]

본 논문에서는 플랜트의 전달함수를 1차지연 + 지연시간계로 하여 공조시스템을 표현하고, 그리고, 조작량을 구속조건으로 하여 에너지소비를 최소로 하게 하는 PID 파라미터를 탐색하여 최적의 제어성능을 얻고자 하며, 여기서 PID파라미터 값은 최적화법에 의하여 탐색한다. 특히 평가함수는 시간영역의 평가지표외에 실제적인 응용을 위해서 견실성이 확보되어야 하는데, 견실성을 위한 많은 지표중에 대표적으로 곱셈형 불확실성구조에 대한 견실안정지표인 가중상보감도함수를 고려하여,[9]-[11] 2자유도 PID제어기를 설계한다. 특히 사용하는 평가지표는 다양하게 구성하여 에너지 소비 및 조작부의 손상?마모 등을 파라미터 조정에 반영할 수 있고, 견실성을 확보하기 위해서 대표적인 상보감도함수를 택하여 가중치를 부가하여 h 무한대 놈을 계산하고 이를 평가지표에 반영하여 현실성을 높였다. 비교를 위해서 PID방식과 I-PD방식 등의 다양한 2자유도 PID 제어기 설계를 시뮬레이션을 하였으며 각각의 경우에 대한 파라미터는 최적화법에 의해 각각 추출하며, 기준입력 추종특성 및 외란 억제 특성을 시뮬레이션하여 잡음의 영향도 고려하였다.

II. 2자유도 PID제어기

1. 문제 설정

플랜트의 전달함수를 다음과 같이 설정한다.

$$G_p(s) = \frac{K_p}{1 + T_p s} e^{-L_p s} \quad (1)$$

여기서 플랜트는 액츄에이터 및 센서를 포함한 식으로서 공조제어 시스템의 밸브개폐를 모델링 한 것이다. 여기서 T_p 는 공조기의 시간변화율에 관여하는 시정수이고 느리기 때문에 수십초에 달하고, L_p 는 온수 또는 냉수밸브와 열유입량 사이의 지연시간을 나타내며 는 플랜트의 직류이득이다. 특히 이 시스템에서는 제어목적이 조작량이 작고 오차가 적어야 하는 것 외에 진동성분이 적어야 하기 때문에 이를 실현하도록 제어기는 설계되어야 한다. 많이 사용되는 PID제어기 전달함수는 다음과 같이 설정 된다.

$$G_c(s) = k_p + \frac{k_I}{s} + k_D s \quad (2)$$

여기에서, k_p , k_I , k_D 는 PID제어기의 비례, 적분, 미분 Gain이다. 이 때, 제어기 구조는 기존의 PID외에 변형한 2자유도 형태 예를 들면 I-PD 방식도 취함으로서 효

율적인 제어기 구조를 탐색한다. I-PD 등과 같은 2자유도의 경우는 그림 1에서 일반적인 2자유도 PID 구조로 하여 블록선도로 나타내었다. 특히 불확실성 구조에 따른 견실성지표도 반영할 수 있게 한다.

변형된 PID구조들은 특징들을 가지고 있는데, 예를 들면 2자유도 방식인 I-PD방식은 외란억제에 관해 조정된 PID 파라미터 값을 이용한 경우보다는 오버슈트가 거의 없는 경향을 보이고 있다. 빌딩의 온도, 풍향등을 제어대상으로하는 공조제어에는 오버슈트가 적은 것, 또한 조정 파라미터가 적은 것이 바람직하기 때문에 다양한 2자유도 PID제어기구조에 대해서 최적의 구조를 선택할 필요가 있다.

2. 2자유도 PID제어기의 설계

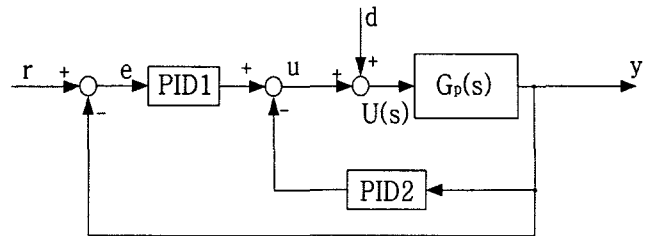


그림 1. 2자유도 PID 제어시스템 블록도.

Fig. 1. 2 DOF PID control system block diagram.

2.1 평가지표

빌딩의 공조제어등의 경우는 다양한 형태의 평가지표가 필요한데, 최적화에 사용하는 평가지표들을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$ISTE = \int_0^{\infty} 2e^2 dt \quad (3)$$

$$ISC = \int_0^{\infty} -u_0)^2 dt \quad (4)$$

$$ISTC = \int_0^{\infty} \left(\frac{du}{dt} \right)^2 dt \quad (5)$$

$$IHS = \|W(s)T(s)\|_{\infty} \quad (6)$$

특히 이 IHS는 K_p 나 L_p 가 불확실한 경우에 곱셈형 불확실성 대한 지표이고.[9] 여기서 $T(s) = 1 - S(s)$ 에서 구하며 $S(s) = dG_{cl}/dp \cdot P/G_{cl}$ 에서 구하는데,

여기서 G_{cl} 은 폐루프전달함수이다. 한편 (3)식은 오차 $e (= r - y)$ 에 시간의 제곱을 가중치로 곱한 것으로서 같은 오차라도 시간의 경과함에 따라 나타나는 오차에는 큰 가중치를 부여하고 있음을 보여 주고 있다. 즉 오차시간승적분 (ISTE)을 나타내고 있고 결과적으로는 감쇠

가 강한 응답을 얻을 수 있다. (4)식은 제어입력에 관한 평가지표이고, 일반적으로 평가함수에 많이 사용되고 있으며 제어입력의 에너지를 최소화하기 위한 지표(ISC)이다. 여기서 u_0 는 기준이 되는 제어입력이다. 또, (5)식은 제어입력의 변동 즉 진동에 관한 구속조건이며, 이는 제어입력의 빠른 변동에 의해 진동이 되어, 조작부에 손상을 입히지 않도록 일정변동폭을 가진 제어입력을 얻기 위해 지표(ISTC)이고 (6)식은 견실성을 확보하기 위해서 대표적으로 상보감도함수 $T(s)$ 를 선택하여서, 이에 가중치 $W(s)$ 를 부가한 다음 h무한대 놈 즉, $|WT|_{\infty}$ 를 계산한 값을 지표(IHS)로 삼는다. 이러한 정의를 기초로, 평가함수를 다음과 같이 선형조합 형태로 정의한다.

$$J = ISTE + w_1ISC + w_2ISTC + w_3IHS \quad (7)$$

여기에, 가중치는 제어목적에 따라 설계자가 $w_1 = 0 \sim 5$, $w_2 = 0.1 \sim 2.5$, $w_3 = 1 \sim 10$ 와 같이 적당히 선별한다. 특히 w_3 의 경우는 주파수영역에 관련된 IHS 지표의 가중치로서 시뮬레이션을 거쳐 다른지표들과의 유사한 값이 되도록 조정하여야 한다. 또 평가지표를 고려하는 시간은 그림 1에서 기준입력 또는 외란입력을 각각 스텝상의 외란을 인가하여 기준입력 추종성 또는 외란영향억제성을 보는 과정에서 정하며 공조시스템에서 수십 또는 수백분까지로 설정한다.

2.2 최적화법

최적화법에는 최대경사법 등을 사용할 수 있다. 이 방법은, 평가함수의 1차의 도함수만을 이용하고 최적해 탐색간격을 빠르게 한 방법으로 계산량 및 기억 용량도 적게 사용되고 있다. 그러나, 최소화해야 할 평가함수의 형태에 의해서는 극소값이 최소값으로 나타날 수가 있기 때문에 적당한 초기치를 사용하여 최적해에 도달한 것을 확인할 필요가 있다. 이때 최적의 평가함수 J 값의 여부는 평가함수의 선형조합항들이 2차형태임을 감안하면 미분값이 0인 곳에서 최소가 될 것으로 생각되며 수치해석에서는 편의상 증분값이 매우 작은 양의 실수 ϵ 에 대해서

$$|\Delta J| \leq \epsilon \quad (8)$$

등이 되면 정지하도록 한다. 여기서 달성할 수 있는 수준은 step size에 의존하게 되는데, 점차 정밀하게 탐색하는 방법으로 여러번에 걸쳐 탐색한다면 더 적은 값들로 달성을 할 수 있고, 본 논문에서는 10^{-2} 로 설정하여 시뮬레이션에 적용하였다. 계산알고리즘은 시간영역지표를 계

산하기 위한 Matlab mdl파일이 표시된 그림 2가 포함된 그림 3과 같다.

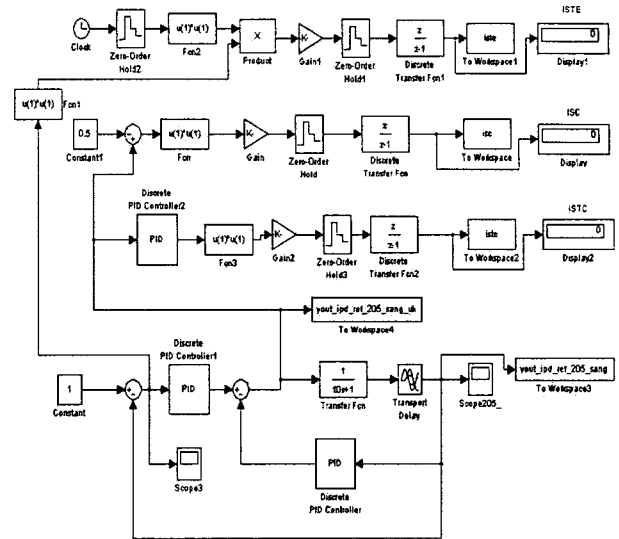


그림 2. 매트랩 시뮬링크 파일(ipd_ref_0505.mdl)
Fig. 2. Matlab simulink file(ipd_ref_0505.mdl).

```

W(s), ε, stepsize 및 상보감도함수 설정
for k_P1 = 0 : stepsize : 10
for k_D1=0 : stepsize : 10
for k_I1=0 : stepsize : 10
for k_P2 = 0 : stepsize : 10
.....
sim('ipd_ref_0505'); % mdl 파일(시간영역 3
                    % 개 지표 계산)
tmp = ( (K_p / (1 + T_p s)) ) e^{-L_p s} \dots
[ (k_P1 + k_P2) + (k_D1 + k_D2)s + (k_I1 + k_I2) \frac{1}{s} ];
T = \frac{tmp}{1 + tmp}; % 상보감도함수
|WT|_{\infty} 계산; % 주파수 영역 지표
J 계산; % 식 (7)
ΔJ의 stop조건 맞으면 break; % 식 (8)
end
end
end
end
    
```

그림 3. 계산 알고리즘.
Fig. 3. Calculation algorithm.

3. 계산 결과

시뮬레이션에서 사용한 값은 $K_p=1, T_p=10[\text{min}], L_p=1[\text{min}]$ 이다. PID컨트롤러와 2자유도형태의 I-PD 등의 방식들의 파라메타 값들을 (7)식의 평가지표를 사용한 최적화법에 의해 추출하였고, 그 결과는 표 1~3과 같다. 여기서 사용된 최적화법은 최적값을 나타내는 파라미터 값 근처에서 정밀하게 반복검사 함으로서 시간을 절약하였다. 이런 방법은 단순하지만, 극소치가 최소값이 되는 것을 막을 수 있다. 견실성 지표를 위한 가중치 함수는

$$W(s) = \frac{2.1s}{1+s} \tag{9}$$

를 사용한다. 식 (9)의 가중치 함수를 구하기 위해서는 식 (2)의 플랜트의 시간지연요소 L_p 가 최고 1.0[min]까지 변하는 불확실성이 있다고 보고,

또, 이 경우는 곱셈형 불확실성으로 볼 수 있기 때문에 $|\mathcal{T}_p/G_p - 1|_\infty = |e^{-L_p j\omega} - 1|_\infty < |W(s)|_\infty$ 에서 $L_p=1.0$ 로 두고 그림 4의 점선으로 표시된 곡선을 작도한 후 중간대역 이득이 2인 것을 참고로 하여 시행착오로 구한다.

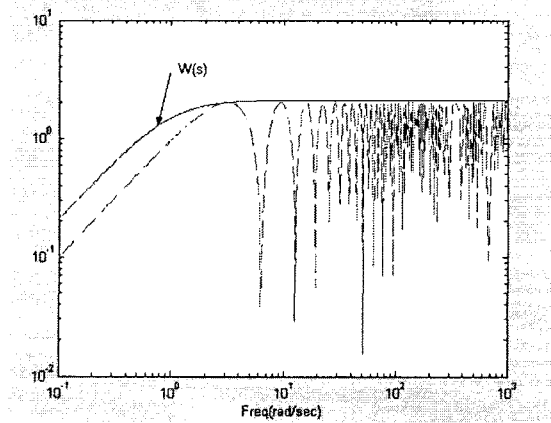


그림 4. 가중치 함수.

Fig. 4. Weighting function.

표 1은 2자유도 PID제어에서 해당되는 모양에 따라 식 (7)을 최소화하도록 튜닝된 파라미터를 나타내고 있다. 표 1을 보면, 구조에 따라서 튜닝된 파라미터는 다소간의 차이를 보이고 있다. 여기서 예를 들면 k_{P1} 은 전향경로 상에 있는 PID1의 비례항 파라미터이며, k_{D2} 는 local 귀환경로에 있는 PID2의 미분항 파라미터이다. 이 PID 파라미터는 루핑변수들로 하여 MATLAB m 파일내에서 MATLAB mdl 파일을 call하여 값을 구하고 IHS는 이들 루핑변수들을 사용하여 계산된 상보감도함수와 가중

치 함수로부터 MATLAB m 파일내에서 그림 3와 같은 위치에서 계산된다. 표 2 및 3은 표 1의 최적값 경우에 해당되는 지표값 중에서 J 값은 MATLAB m 파일에서 그 외의 지표값은 MATLAB mdl 파일로부터 얻는다. 표 2는 기준입력을 0으로 하고 단위계단형태의 외란입력이 1분 후에 들어올 때 외란제거 성능에 따른 지표값들을 보여주고 있다. 표 3은 단위계단 입력에 대한 출력추종에 관련된 지표값들이다. 표 2와 3에서 사용한 가중치 값은 $w_1=2, w_2=0.5, w_3=10$ 을 사용하였다. IHS의 경우는 그 값이 0.5내외인 것을 감안하여 다른 항과 레벨을 맞추기 위해 10을 사용했다.

특히 각 표들에서 PID 및 PI-D는 IHS를 제외하고는 거의 동일한 파라미터 및 지표값을 보이고 있는데, 그 이유는 기준입력으로 계단입력이 들어감으로서 미분의 영향을 받지 않기 때문에 거의 동일한 결과를 나타내고 특히 입력력 변화 속도가 느리기 때문에 미분에 크게 영향을 받지 않아서 PI조차도 이들과 유사한 결과를 보이고 있다.

표 1. 2자유도 PID 파라메타 동조.

Table 1. 2 DOF PID parameter tuning.

	k_{P1}	k_{I1}	k_{D1}	k_{P2}	k_{I2}	k_{D2}
PI	2.00	0.22	-	-	-	-
PID	2.00	0.22	0.01	-	-	-
PI-D	2.12	0.22	-	-	-	0.01
PI-PD	1.22	0.86	-	2.95	-	0.01
I-PD	-	1.51	-	6.54	-	1.45

표 2. 외란정특성 성능지표.

Table 2. Performance indices of disturbance rejection

	ISTE	ISC	ISTC
PI	95.34	3.45	5.13
PID	96.38	3.45	5.13
PI-D	90.12	3.43	5.13
PI-PD	6.02	6.01	5.41
I-PD	1.66	6.05	5.88

표 3. 추종응답특성 성능지표.

Table 3. Performance indices of tracking response characteristic

	ISTE	ISC	ISTC	IHS	J
PI	22.17	17.04	19.94	0.36	69.82
PID	22.19	17.04	20.93	0.14	68.14
PI-D	20.04	17.60	22.45	0.17	68.17
PI-PD	19.24	18.86	7.88	0.37	64.60
I-PD	23.83	21.25	4.04	0.40	72.35

이들 표들은 출력추종과 외란정정 특성에 관련하여 얻어진 값들이다.

III. 시뮬레이션 및 고찰

3.1 가중치에 의한 영향

앞서는 명령추종과 외란정정 문제에 따른 지표값들을 보여 주고 있으나, 본 절에서는 각 가중치의 영향을 알아 본다. 그림 5는 w_1 및 w_2 가 들어간 항이 다른 항에 비해서 상대적으로 작거나 큰 경우에 대한 결과이다. 2개의 가중치가 작은 경우는 상대적으로 *ISTE*에 대한 가중치가 높아서 제어입력 u 의 크기 및 변동성에 대한 값이 2개 가중치가 큰 경우에 비해서는 비교적 크을 알 수 있다. 그림 5의 범례에 나와 있는 '2:2'는 ' $w_1=2, w_2=2$ '를 의미한다. 그림 6은 w_2 의 상대적 크기에 따른 영향을 보여주고 있다. w_2 가 클수록 u 의 변동분이 적은 경향을 나타내고 있다. 이외에도 가중치는 *ISC*에 비중을 두는 경우 ($w_1=5, w_2=1, w_3=10$) *ISTC*에 대해 비중을 두는 경우 ($w_1=1, w_2=5, w_3=10$), *ISTE*에 비중을 두는 경우 ($w_1=0.5, w_2=0.5, w_3=10$) 및 제어입력의 에너지 및 진동성분 억제에 비중을 두는 경우 ($w_1=5, w_2=5, w_3=10$)로 나누어 시뮬레이션을 진행하였 보았으나 대체적으로 지표에서 목표로 하는 조건과 유사한 성질을 나타내었다.

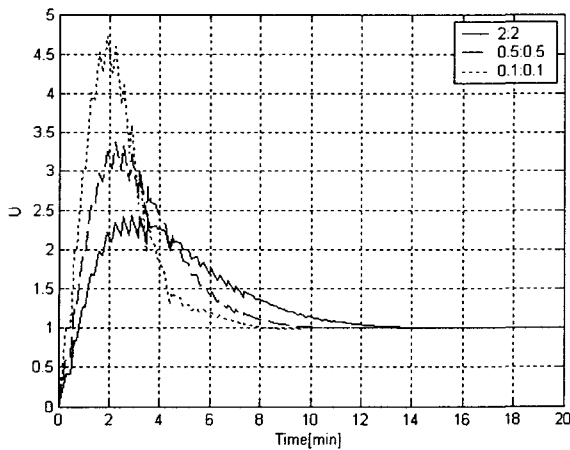


그림 5. 가중치에 따른 제어입력(상대적으로 작거나 큰 w_1 및 w_2 경우).

Fig. 5. Control input due to weighting value(smaller or larger case of w_1 or w_2).

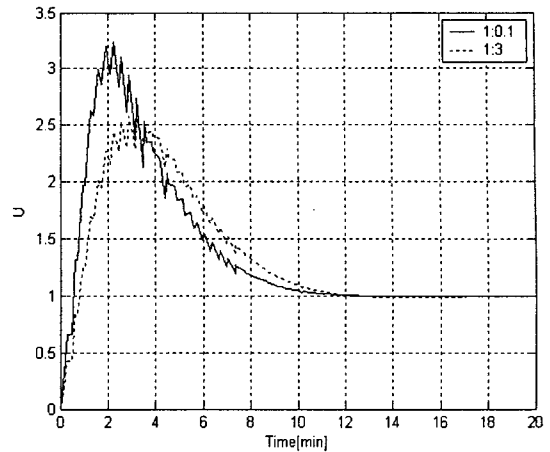


그림 6. 가중치에 따른 제어입력(w_2 가 상대적으로 작거나 큰 경우).

Fig. 6. Control input due to weighting value(smaller or larger case of w_2).

3.2 출력추종 및 외란정정

공조시스템에 대한 PID 또는 2자유도 형태의 I-PD 등의 제어 결과 기준입력의 추종성은 그림 7에 PID를 비롯한 2자유도 방식의 결과를 제시했다. 1자유도 2개와 2자유도 3개는 표 3에서 *ISTE*지표값을 보면 이 그림에서와 같은 큰 차이가 없이 나타나는 결과를 예측할 수 있다. 왜냐하면 이 지표가 추종오차와 직접적으로 관련되어 있기 때문이다. 다만 이 표 3에서 보면 *ISTC*값이 차이가 나기 때문에 그림으로 제시하는 하지 않았지만 제어입력의 모양에서는 차이가 난다. 그림 7은 플랜트 모델의 지연항 때문에 1분후에 출력이 나타난다. 출력추종문제에 있어서는 그림 7에서 보는 바와같이 I-PD의 경우가 초기오차가 있는데, 이 결과는 시간제항이 곱해져 있는 *ISTE*지표가 다른 구조보다 표 3에서처럼 크게 나오며 따라서 이표의 *J*값이 다른 경우에 비해 비교적 크게 나온 결과와 같다. 외란정정 특성은 그림 8에 제시하였다. 외란은 편의상 1분 후에 나타나게 하여 총 2분후서부터 출력이 나타난다. 정정시간은 I-PD경우가 다른 구조에 비해 매우 짧게 나타났으며, 이것은 표 2를 보면 예측할 수 있다. PI-PD 및 I-PD구조가 다른 구조에 비해 탁월하게 적은 *ISTE*지표값을 보여 주고 있다. 결과적으로 볼 때 I-PD 경우가 오버슈트가 나타나지 않고 진동이 상대적으로 적은 부드러운 제어입력을 가지는 것을 알 수 있다. 여기서, 응답시간은 공조기의 특성상 수 십초에서 수 분으로 상당히 느린 편이다. 결국 외란억제 특성은 I-PD가 크기 및 정정시간 면에서 제일 양호하다. 표 2를 보면 *ISC* 및 *ISTC*는 여러방법들에 대해서 큰 차이를 보이지 않고 있으나 *ISTE*는 차이가 있다. 에너지소비효율 및 조작부와의 급격한 변화를 막기위한 지표인 *ISTC*는 이 표에서 어떤 경우에도 유사하게 나타났으나 추종성능에서 I-PD의 경우가 표 3에서처럼 비교적 적은 값을 나타냈다. 전체적으로 볼 때 공조시스템의 제어를 위해서는 I-PD방식이 제일 적합한 것을 알 수 있다.

제어시스템에서의 입력은 밸브 개도율이고, 출력은 센서로 측정되는 실내온도로 볼 수 있는데, 여기서 급격한 입력의 변화는 에너지효율을 급상시키는 요인이 된다. 또 그림 7에서는 I-PD 및 PI-PD방식은 오버슈트가 없었고, 정정시간도 10[min]으로 짧은 것을 알 수 있다.

한편 가중치에 따라서 최적 평가함수 값이 틀려지므로 설계자는 제어목적에 맞게 가중치를 잘 설정하여야 할 필요가 있다.

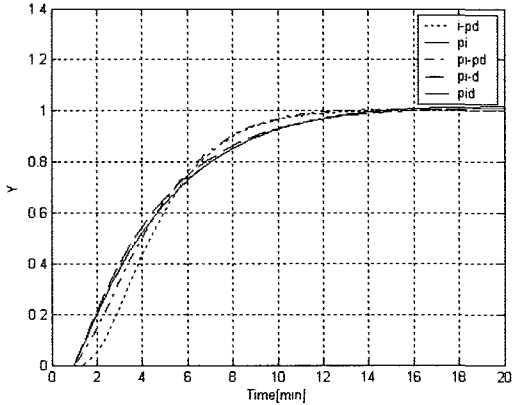


그림 7. 출력추종 특성.

Fig. 7. Property of output tracking.

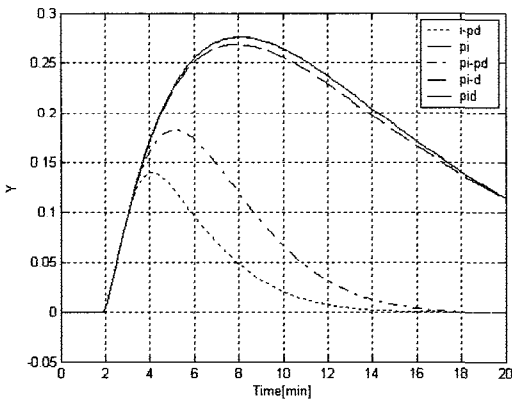


그림 8. 외란정정 특성

Fig. 8. Property of disturbance rejection.

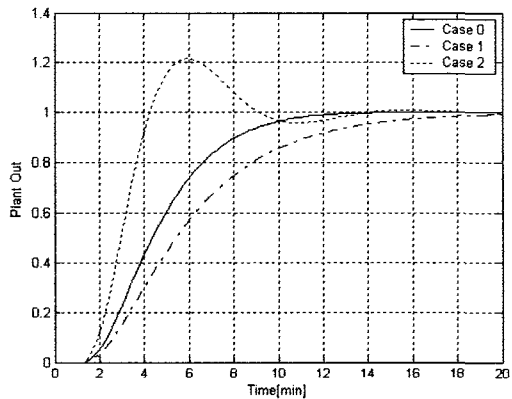


그림 9. 시간지연요소 L_p 변동에 따른 출력

Fig. 9. Output due to the variation of time-delay factor L_p .

그림 9는 I-PD구조의 경우에 시간지연요소 L_p 의 변동에 따른 출력을 보여주고 있다. case 0(표 2의 최적값 이용)과 비교할 때 case 1($k_{I1}=1, k_{P2}=5.5, k_{D2}=1$)과 case 2($k_{I1}=3.5, k_{P2}=8, k_{D2}=2$)는 출력이 안정하지 않다.

IV. 결 론

본 논문은 빌딩내 공조시스템을 제어대상으로 하여 조작량, 시간 및 조작량 변화율이 포함된 평가함수를 사용한 2자유도 PID 제어기를 설계하였으며 최적화법에 따라 PID 파라미터를 구하였고, 구현시 I-PD등 2자유도방식들과 PID방식의 응답을 비교하였다. 결론은 다음과 같다.

. 조작량의 변동율을 추가한 평가함수의 최적화는 결과적으로 진동이 적은 출력을 얻을 수가 있다. 그렇지만 시뮬레이션에 의하면 작은 변화분까지도 다 고려할 수는 없기 때문에 이에 대한 연구가 더 필요하다.

. 지역 최소값인 극소값이 많이 되는 것을 피하려고 하다 보니까 계산량이 과도할 수 있는데, 이는 여러번에 걸쳐 상세하게 탐색하는 방법을 취하여 계산시간을 단축하였다.

. 평가지표상으로는 PID에 비해 I-PD등 2자유도 경우가 더 좋은 경향을 보이고 있으며, 따라서 2자유도 경우를 적절히 선택할 필요가 있다.

. I-PD구조가 제어기 출력의 진동성이나 오버슈트 등 지표값이 적게 나와서 공조시스템에는 제일 적합한 것을 알 수 있다.

. 플랜트 특성의 변동이 심한 경우 주파수 영역에서 고려한 건설성 등을 고려하였다. 시간지연요소를 선택하여 시뮬레이션을 하였으나 기타의 파라미터에 대해서는 적당한 불확실성 모델을 설정하고 이에 따른 건설안정지표를 유도하여 사용하면 된다.

. 본 평가지표를 사용하는 방법은 기존의 PID계수를 구하는 방법에 보조적으로 사용할 수 있다고 보여진다. 평가지표를 사용하는 경우는 반드시 시간영역 응답을 확인하여 보고 아울러 기존의 다양한 방법들과 같이 사용될 수 있는 방법이나 평가지표에 대한 최적화기법에 대해서도 추후로 연구해 볼 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 小河守正, 片山徹, "特集PID制御技術の新しい展開, " 計測自動制御學會論文集, 34卷, 7号, 1998.
- [2] 須田ほか, PID制御, 시스템制御情報ライブラリー-6, pp46-47, 朝倉書店, 1992.
- [3] K. J. Åström and T. Hägglund, PID Controllers, Theory, Design, and Tuning, Instrument society of America, 1995.

[4] 重政, 芳谷, 大松, "セルフチューニング PID制御方式動向と事例," 計測と制御, Vol. 37, No.6, pp423-431, 1998.

[5] 荒木光彦, "2自由度制御系-I-PID・微分先行型・I-PD制御系の統一見方などについて," システムと制御, Vol. 29, No. 10, pp649-656, 1985.

[6] 桑田龍一, "改良形限界感度法とPID;I-PD制御鉛特性," 計測自動制御學會論文集, Vol. 23, No. 3, pp26-33, 1987.

[7] Keisuke Ozawa, Yoshiyuki Noda, Takanori Yamazaki, Kazuyuki Kamimura and Shigeru Kurosu, "A Tuning Method for PID Controller Using Optimization Subject to Constraints on Derivatives of Control Input," SICE Vol.39. No. 3, pp259-265, 2003.

[8] K. Kamimura et al., "A Comparison of Controller Tuning Methods from a Design Viewpoint of the potential for Energy Savings," ASHRAE Transactions Vol. 108, No. 2. pp155-165, 2002.

[9] Doyle C. D. et al, *Feedback Control Theory*, Macmillan Publishing Company, 1992.

[10] 延山英たく, "連続時間有限整定時間制御のロベスタ化," 計測と制御, Vol.38, No.9, p547-552, 1999.

[11] あさ井徹, "モデル不確かさ," 計測と制御, Vol. 42, No.7, pp603-608, 2003.



이금원 (Keum-won Lee)

正會員

1982년 한양대학교 전자공학과 졸업

1984년 한양대학교 전자공학과 졸업

(공학석사)

1992년 한양대학교 전자공학과 졸업

(공학박사)

1992년 3월 ~ 현재 관동대학교 전자 공학과 교수

관심분야 : H_∞ 이론, 건설제어, 유한정정제어, 필터설계 및 의용전자.



이준모 (Jun-Mo Lee)

正會員

1975년 명지대학교 전자공학과 졸업

1979년 명지대학교 전자공학과 졸업

(공학석사)

1992년 단국대학교 전자공학과 졸업

(공학박사)

1980년 3월 ~ 현재 관동대학교 정보기술 공학부 교수

관심분야 : 컴퓨터 및 퍼지 제어, 신경회로망, 멀티프로세서 디자인



유항열 (Hang-youal Yoo)

準會員

2003년 관동대학교 전자공학과 졸업

2003년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 전자

공학과 석사과정 재학 중

관심분야 : H_∞ 이론, 건설제어 및 유한정정제어.



이정국 (Jung-Kuk Lee)

準會員

1999년 관동대학교 전자공학과 졸업

2001년 관동대학교 전자공학과 졸업

(공학석사)

2001년 3월 ~ 현재 관동대학교 전자공

학과 박사과정 재학중

관심분야 : H_∞ 이론, 건설제어 및 유한정정제어.