

비선형 PID 제어기의 최적 설계 및 실제 적용

Optimal Design and Real Application of Nonlinear PID Controllers

이 문 용, 구 도 균, 이 종 민
(Moon-Yong Lee, Doe-Gyoon Koo, Jong-Min Lee)

Abstract : This paper presents how nonlinear PID control algorithms can be applied on chemical processes for a more stable operation and perfect automation. A pass balance controller is designed to balance the exiting temperatures of a heater and a heat exchange network. The proposed controller has gain-varying integral action and deals with the operational constraints in an efficient manner. Also, the use of a PID gap controller is proposed to maximize energy saving and operation stability and to minimize operator intervention in operation of air fan coolers. The proposed controller adjusts the opening of a louver automatically in such a way that it keeps the air fan pitch position within the desired range. All these nonlinear PID controllers have been implemented on the distributed control system (DCS) for good reliability and operability. Operator acceptance was very high and the implemented controllers have shown good performance and high service factor still now on. The proposed methodology can be directly applied to similar processes without any modification.

Keywords : nonlinear PID controller, pass balance control, fan pitch position control, industrial application, chemical process control

I. 서론

PID 제어기는 그 단순성과 뛰어난 효율성으로 현재까지도 공정제어의 90% 이상을 점하고 있는 가장 대표적인 제어기이다. 최근들어 컴퓨터와 통신 기술의 급속한 발달에 힘입어 여러 가지 복잡한 현대제어 이론의 실제 산업 적용이 시도되고 있으나 아직까지는 운전원의 이해의 어려움과 구현상의 문제점 등의 제한점을 가지고 있는 실정이다. 반면 기존의 선형 PID 제어기를 적절히 수정 개선함으로써 선형 PID 제어기의 단순성을 최대한 유지하면서 선형 제어기의 단점을 보완하여 제어성능을 향상시키고자 하는 시도가 산업체를 중심으로 이루어져 왔으며 가장 대표적인 예가 여러가지 비선형 PID 제어기에 대한 연구[1]-[7]라 할 수 있다. 현재까지 산업체에서 가장 널리 사용되고 있는 대표적인 비선형 PID 제어 logic으로는 (1)제어기 이득을 미리 정한 예정(schedule)에 의거하여 변화시키는 이득예정(gain scheduling) 방법, (2)운전조건에 따라 자동으로 이득이 조정되는 적응이득(gain-varying) 방법, (3)오차의 적절한 함수형태로 제어기 이득을 변화시키는 방법 등이 있다. 이러한 비선형 PID 제어기는 공정의 비선형성이 지배적인 경우에 매우 효과적이나 선형 공정의 경우에도 적절한 적용에 의하여 제어성능이나 안정성을 대폭 향상시킬 수 있다[1]. 액위의 평균(averaging)제어를 위하여 오차자승(error square) 타입의 비선형 PID 제어기를 적용[6][7]하는 것이 선형 공정예의 비선형 PID 제어기를 적용하는 대표적 예라 할 수 있다.

이와 같이 비선형 PID 제어기는 여러 가지 단위장치 및 공정으로 이루어진 화학공정의 제어 및 자동화에 특히 효과적으로 적용될 수 있으며 그 기대효과가 매우 크다 할 수 있다. 본 논문에서는 화학공정의 대표적 몇몇 단위 공정의

제어를 효과적으로 이룰 수 있는 비선형 PID 제어기를 설계하고 이를 실제 공정에 적용한 결과를 소개하고자 한다. 제안된 비선형 PID 제어방법은 가열로 및 열교환 망에서의 분로(pass)의 유출온도를 조업제약(constraint)을 만족하면서 균일하게 제어하기 위한 분로균형제어(pass balance control)기법과 공냉기(air fan cooler)의 안정운전을 위한 팬 각도위치제어(fan pitch position control)기법에 관한 것이다. 제안된 제어기법들은 Distributed Control System (DCS) 상에 구현할 수 있도록 단순성이 유지되면서도 실제 적용 결과 매우 우수한 성능을 보임을 확인 할 수 있었다. 제안된 방법들은 유사 화학공정 장치에 수정없이 적용할 수 있어 그 산업적 유용성이 높을 것으로 기대된다.

II. 비선형 적분제어기의 분로균형 (pass balance)제어 응용

1. 가열로 분로균형제어

가열로 제어시스템 그림 1은 공정제어를 위한 부분과 연소제어를 위한 부분 그리고 안전을 위한 각종 Interlock 으로 구성된 복잡한 단위 루프들로 구성되어 있다. 공정제어 측은 가열로로 유입되는 원료량을 조절하기 위한 유량 제어 루프와 stream의 유출 온도를 주어진 설정점에 유지시키기 위한 온도 제어루프로 구성되어 있다. 이때 가열로에서의 열 전달 효과를 높이기 위해 원료 stream은 일반적으로 몇 개의 분로(pass)로 나뉘어져 가열로로 유입된다. 각 분로의 유량은 일반적으로 균일하게 설정되게 되는데 만약 각 분로에서의 모든 조건이 균일하다면 분로의 유량이 같은 한 동일한 유출 온도를 보여야 한다. 그러나 실제로는 버너 운전 상태나 가열로내의 연소가스 패턴의 차이, 분로간의 비대칭적 구조, 유량 측정기기 오차등의 이유로 분로간의 열분포가 균일하지 못하게 되며 결과적으로 분로마다 다른 유출 온도를 보이게 된다. 이 경우 특정 분로에서의 고열점(hot spot) 발생에 의한 coking 혹은 튜브의 변형, 가열로 운전 제약 심화 그리고 연료소비 증가[8] 등의 문제가 발생하게 되므로 따라서 운전원은 주기적으로 각 분로의 유량을 적절

접수일자 : 1997. 1. 27., 수정완료 : 1997. 5.15.

이문용, 구도균 : 영남대학교 화학공학및공업화학부

이종민 : Aspen Tech. Korea

* 본 논문은 96년도 한국과학재단(No. 961-1110-060-1)에서 지원하여 연구하였습니다.

히 조절해 주어 분로 당 균일한 유출 온도를 유지할 수 있도록 항상 주의를 기울여야 한다. 그러나 총 유량을 일정하게 유지하면서 각 분로의 유출 온도를 동일하게 맞추는 작업은 용이치 않으며 따라서 운전원의 숙련도 정도와 주의력 등에 따라 온도 균일성이 크게 달라질 수 있으며 운전원으로 하여금 보다 중요한 다른 문제로의 집중을 어렵게 한다. 이러한 제어 목적을 자동적으로 수행하기 위하여 몇몇 해당회사나 s/w 회사에서는 고유의 제어기법들을 개발 적용하고 있다[2],[9]-[12]. 이를 위한 접근방법으로는 각 분로의 유출 온도를 동일하게 제어하기 위한 PID 타입의 온도 제어기가 자유도 만족을 위하여 분로 수 보다 하나 적게 설치되어 분로의 유량을 조정하게 되고 나머지 한 개 분로의 유량은 총유량을 일정하게 맞추도록 조정되는 scheme이 일반적이는데 경우에 따라 상위 level에서 각 분로의 밸브 개폐 정도를 고려하여 온도제어기의 설정점을 재 조정해 주는 밸브위치(valve position) 제어기가 추가될 수도 있다[3]. 그러나 대부분의 경우 제어방법의 구체적 내용은 비공개로 되어 있는 실정이다.

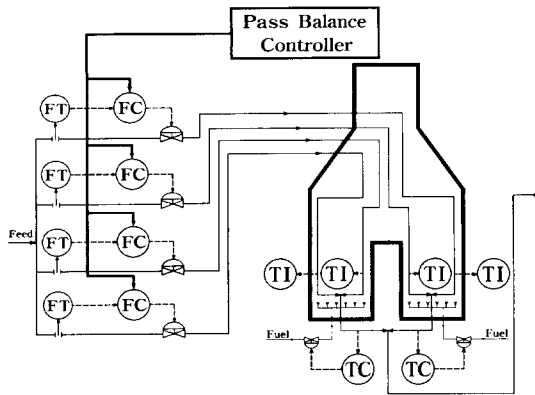


그림 1. 가열로 분로균형제어 블록 선도.
Fig. 1. Block diagram for heater passbalance control.

이상적인 분로균형 제어기는 가열로 유입 원료의 총 유량을 일정하게 유지하면서 각 분로의 유출온도를 최대한 균일하게 함과 동시에 각 분로의 조업제약 조건도 충족하여야 한다. 따라서 제어 목적 및 제약 조건들에 대한 관계는 아래와 같이 표현될 수 있다. 즉

$$\min_{F_i} \sum_i |T_{avg} - T_i| \quad (1)$$

subject to

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = F_{total} = Constant \quad (2)$$

$$\& F_{min} \leq F_i \leq F_{max} \quad (3)$$

$$\& |\Delta F_i| \leq \Delta F_{max} \quad (4)$$

여기서 n 은 한 연실(chamber)에서의 분로의 갯수를 의미하며, ΔF_i 는 $F_i(t+1) - F_i(t)$ 로서 i 번째 분로에서의 차분 유량이다.

결국 분로균형 제어는 위의 제약된 최적화 문제를 여하히 효율적으로 풀어줄 수 있는 방안을 구현하느냐의 문제로 귀결된다. 이를 만족하는 제어로직으로서 몇가지 타당한 가정을 도입함으로써 최적화 문제를 직접 풀지 않으면서 다음과 같이 구현할 수 있다.

우선, 비열효과가 지배적이고 비열이 일정하다고 하면 각 분로에서 받아들인 열량의 합은

$$\sum F_i C_p (T_i - T_{in}) = F_{total} C_p (T_{avg} - T_{in}) \quad (5)$$

여기서 $F_{total} = \sum F_i$ 이고 합쳐진 stream에서의 평균 유출 온도는

$$T_{avg} = (\sum F_i T_i) / (\sum F_i) \quad (6)$$

각 분로에서의 열 전달량이 시간에 대해 일정하게 유지된다고 할 때 유출 온도가 T_{avg} 가 되게하는 분로 유량 F'_i 는

$$F'_i = F_i (T_i - T_{in}) / (T_{avg} - T_{in}) \quad (7)$$

이때 F'_i 를 다음 샘플링 시간단계에서의 i 번째 분로의 목표유량으로 해석할 수 있다. (6)의 T_{avg} 를 (7)에 대입하고 기준온도 T_{in} 를 0으로 설정하여 정리하면 i 번째 분로의 차분유량 ΔF_i 는

$$\Delta F_i = -\beta F_i (T_{avg} - T_i) / T_{avg} \quad (8)$$

$$\therefore F_i(t+1) = F_i(t) + A(T_{avg} - T_i)|_t \quad (9)$$

여기서 $A = -\beta F_i / T_{avg}|_t$ 이고 β 는 제어 동작을 조절해주는 동작억제변수(move suppression parameter) 로서 $0 \leq \beta \leq 1$ 의 범위에서 적절히 설정된다.

(9)에서 볼 수 있듯이 이 제어기는 모든 $F_i(t+1)$ 의 합이 항상 일정하게 유지되도록 매 순간마다 제어기 이득 A 가 변하는 순수한 적분제어기로 구성되며 정상상태에서의 오프셋 제거가 보장되게 된다.

한편 제약조건 (3)과 (4)는 동작억제변수 β 를 적절히 설정해 줌으로써 간접적으로 만족시킬수 있으나 보다 직접적인 만족을 위하여 아래와 같은 확인 및 조정과정을 매 샘플링 시간마다 거치게 한다. 즉

만약 $|\Delta F_i| \geq \Delta F_{max}$ 이면 각 분로에서의 새로운 차분유량 설정점은

$$\Delta F'_j = \Delta F_j \Delta F_{max} / |\Delta F_i| \text{ for } j = 1, \dots, n \quad (10)$$

이때 i 는 $|\Delta F_i| \geq \max_k |\Delta F_k|$ for $k=1, \dots, n$ 인 분로를 뜻한다.

만약 $F_i \geq F_{max}$ 이면 새로운 유량설정점은

$$\Delta F'_j(t+1) = (F_{max} - F_i(t+1)) \Delta F_j / (\Delta F_i + F_j(t+1)) \text{ for } j = 1, \dots, n \quad (11)$$

이때 i 는 $\Delta F_i(t+1) = \max_k \Delta F_k(t+1)$ for $k=1, \dots, n$ 인 분로를 뜻한다.

만약 $F_i(t+1) \leq F_{min}$ 이면 새로운 유량설정점은

$$\Delta F'_j(t+1) = (F_{min} - F_i(t+1)) \Delta F_j / (\Delta F_i + F_j(t+1)) \text{ for } j = 1, \dots, n \quad (12)$$

이때 i 는 $F_i(t+1) = \min_k F_k(t+1)$ for $k=1, \dots, n$ 인 분로를 뜻한다.

위의 (10), (11), (12)와 같은 간단한 조정단계를 매 제어 주기마다 수행함으로써 제약조건 (2), (3), (4)를 모두 만족하는 제어동작을 내보내게 된다.

위의 비선형제어기는 β 만을 주 조율변수로 갖기 때문에 조율이 매우 간편하다는 장점이 있다. β 는 제어속도와 제어출력 크기를 고려하여 설정해 주는데 가열로의 온도제어 루프와 분로유량 루프 간에 심각한 동적상호간섭작용(dynamic interaction)이 발생하지 않도록 적절히 작은 값을 사용하여야 한다. 이러한 간섭작용은 분로균형제어기의 제어 주기를 공정제어기의 주기보다 충분히 크게 설정해 줌으로써 방지할 수 있다. 만약 공정의 정확한 동적모델을 알 수 있는 경우에는 일반적인 최적제어 목적함수에 대한 최적화를 수행함으로써 최적의 β 값을 구할 수 있으나 모델을 구하기가 어려운 실제적인 경우에도 공정의 반응특성을 관

찰하면서 trial-error방법으로 비교적 용이하게 적절한 값을 설정할 수 있다. 설정된 β 값은 비선형성이 심각하지 않은 범위 내에서의 총 유입유량 변화에 대해서는 재 조율이 필요하지 않다. 한편 제어기에 gap로직을 첨가하여 분로 간의 어느 정도의 온도편차(bias)를 허용해 줌으로써 제어기가 순수 적분동작만을 갖는데서 올 수 있는 지속진동(ultimate oscillation) 현상을 개선 할 수도 있다. 현재까지로는 분로유량제어 루프 중 하나라도 이상이 있는 경우(예: 밸브 failure)에는 분로균형제어는 자동으로 수행될 수 없고 운전원에 의해 수동으로 조작되어야 한다. 또한 가열로의 각 연실은 비록 같은 가열로 내에 있지만 독립적으로 운전되기 때문에 독립적으로 분로균형 제어기를 적용시켜야 한다는 점에 특히 유의하여야 한다.

2. 열 교환망 분로균형 제어

열 교환망에서의 분로균형 제어 그림 2는 가열로에서의 방법을 그대로 적용할 수 있다. 단 원료 쪽과 생산물 쪽을 동시에 균형제어 하는 경우가 생길 수 있으며 이 경우 루프 간의 동적간섭작용에 의한 제어성능 저하와 심한 경우 불안정성 문제가 야기될 수 있으므로 한쪽을 충분히 detuning 해 주거나 제어주기를 크게 해주어야 한다. 열 교환망에서의 분로의 수는 대부분의 경우 2개로 이루어지게 되어 구현이 보다 단순화 될 수 있다.

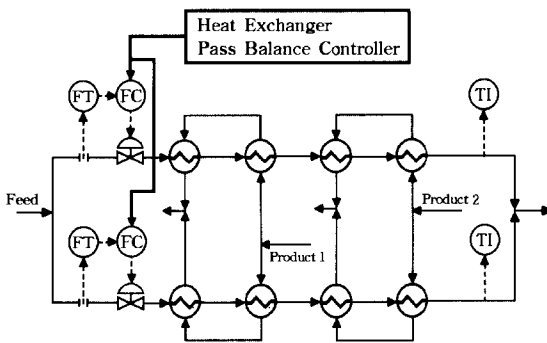


그림 2. 열교환망 분로균형제어 블록 선도.
Fig. 2. Block diagram for heat exchanger network pass balance control.

III. PID Gap 제어에 의한 냉각팬 각도위치(fan pitch position)제어

공냉기 (air fan cooler)는 화학 공정에서 가장 흔히 사용되는 열 교환기 중의 하나라 할 수 있다. 공냉기에서의 생산물 stream의 유출 온도를 제어하기 위한 조작 변수로는 (1)냉각팬의 각도 (2)미늘창(louver)의 개폐 정도 (3)냉각팬의 회전속도 등이 있으나 (1)의 경우가 (2)에 비해 제어 선형성과 민감도가 좋기 때문에 조작변수로 많이 쓰이고 있으며 (2)는 필요시 운전원이 수동으로 조절하여 (1)을 보완해 주도록 하는 것이 일반적이다. (3)의 경우는 가장 좋은 제어 조작성을 보여 주지만 대용량 모터의 가변속도를 구현하는 기기가 매우 고가이고 설비유지가 어렵기 때문에 아직까지는 많이 적용되고 있지 못한 실정이다.

일반적으로 공정 처리량의 증가 등에 의하여 기존 공냉기들은 냉각팬 모터 용량이 한계치 근처에서 운전되고 있는 경우가 많다. 이런 경우 냉각팬 각도가 어느 이상이 되면 모터의 과부하에 의한 trip 발생의 위험이 있고 따라서 냉각팬 각도가 적정 한계치 이상 올라가는 경우 운전원은 보조적 수단으로서 미늘창의 열림 정도를 적절히 조절하여 냉각팬 각도가 적정범위 내에 들도록 유의하여야 한다. 예를

들어 미늘창의 열림정도가 너무 작으면 냉각팬의 각도가 과도하게 크게 되고 따라서 모터 과부하 trip의 위험성이 커진다. 반면 미늘창의 열림정도를 너무 높이면 대기 온도가 떨어질 경우 냉각팬의 각도가 포화되어 제어성이 급격히 저하된다. 따라서 공냉기 운전과 관련한 운전원의 일상 업무 중의 하나는 냉각팬의 각도를 가장 좋은 제어 선형성과 에너지 효율을 보이는 범위(대상공정의 경우는 20°~50°였음)내로 유지시키기 위하여 주기적으로 미늘창의 열림정도를 조절하는 것이다. 이와 같은 업무는 주기적으로는 새벽과 저녁에 발생하는데 대개의 경우 운전원들의 shift 교대시간과 일치하여 지속적인 유의가 어려운 경우가 많으며 급작스런 기후변동 시에도 신속한 대응이 요구되어 운전원으로 하여금 보다 중요한 다른 업무에의 집중을 저하시키는 작용을 하고 있어 이의 효율적인 자동화가 절실히 요구되는 상황이다.

따라서 이를 위한 제어기는 미늘창의 열림정도를 적절히 조절해 줌으로써 stream온도를 제어하기 위한 조작변수인 냉각팬의 각도가 원하는 일정 범위 내에서 유지 될 수 있도록 해야 함과 동시에 설정된 냉각팬 각도위치 제어기가 온도루프에 외란으로 작용하지 않도록 유연한 제어동작을 내어야 하는 조건을 만족하도록 설계 되어야 한다. 이와 같은 조건을 만족하면서도 DCS 상에 쉽게 구현 될 수 있도록 충분한 단순성을 가지는 제어기를 PID gap 로직을 이용하여 그림 3과 같이 설계하였다.

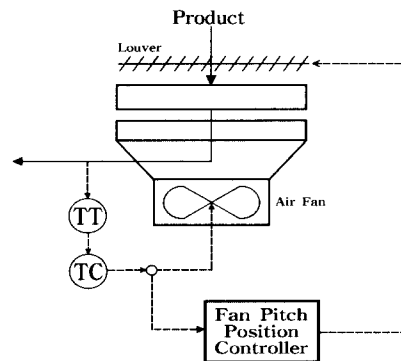


그림 3. 냉각팬 각도위치제어 블록 선도.
Fig. 3. Block diagram for fan pitch position control.

PID gap 제어기는 설정점과 제어변수 간의 오차가 일정 범위 내인 경우는 제어동작을 수행하지 않고 일정범위 이상인 경우 PID로직에 의해 작동하는 단순한 비선형 PID제어기의 일종이다. 따라서 원하는 팬 각도범위에 대응하는 gap을 설정하고 팬 각도가 이 범위에서 벗어나는 경우에 한하여 PID로직에 의하여 미늘창의 열림정도를 자동 조정해 줌으로써 팬 각도가 다시 원하는 범위로 복귀 할 수 있도록 하는 원리를 이용하였다. 그림 4는 PID gap제어기에서의 제어기 이득과 오차와의 관계를 보여주고 있다. 한편 상기 시스템의 경우 공정의 안정성에 냉각기 유출 온도가 매우 민감하게 작용하여 동적모델 추정 실험이 어려웠기 때문에 앞먹임(feedforward) 기법은 적용할 수 없었다. 이와 같이 동적모델을 미리 구할 수 없었을 뿐만 아니라 PID gap 제어기에 대한 조율방법의 부재로 인하여 제어기의 조율값은 trial-error에 의해 구하였다. 제어성능 향상을 위한 PID gap 로직이외의 방법으로서 미늘창을 미세하게 조정하다가 냉각팬 각도가 적정 범위를 벗어나면 좀더 큰 이득을 사용하는 이득예정(gain scheduling) 방법을 적용할 수 있다. 그러나 이 경우 대부

분 미늘창의 공통적 특징인 둔감영역(dead zone)과 hysteresis는 미세 제어 동작에 대한 제어 효율성을 크게 저하시킬 수 있고 또한 냉각팬 각도 제어기의 끊임없는 제어 동작이 외란으로 작용할 가능성이 커지게 되므로 이에 대한 검증이 선행되어야 함에 유의하여야 한다.

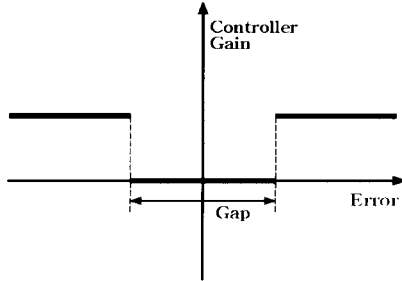


그림 4. PID gap 제어기의 이득과 오차 관계도.
Fig. 4. Relationship between controller gain and feedback error in PID gap controller.

IV. 실제 적용 및 결과

제안된 제어기들을 모 정유회사 중질유 분해공정의 해당 장치들에 실제 적용하여 검증하였다. 제어기를 설치한 DCS는 Honeywell사의 TDC 3000 기종이었다. 제어방법이 충분히 단순하여 DCS상에 구현하는데 어려움이 없었으며 일부는 DCS에서 제공해 주는 모듈을 그대로 사용하여 구성함으로써 쉽게 설치 될 수 있었다. 해당공정에서의 가열로 1기와 원료 예열 교환망 그리고 공냉기 3기에 대해 제어기 검증시험을 수행하였다.

그림 5는 가열로에 분로균형 제어기를 걸기 전과 후의 각 분로에서의 유량설정점과 유출온도 결과를 보여주고 있다. 대상 가열로는 2개의 연실로 이루어졌으며 원료 stream은 각 연실마다 2개의 분로로 나뉘어 지나가고 연실에서 나온 분로는 다시 합쳐져서 온도제어기에 의해 연료량을 조정함으로써 독립적으로 유출온도가 제어된다. 각 분로의 유출온도는 TI로 DCS상에 모니터링 되게 된다. 각 분로의 유량은 FC로 제어되는데 유량 설정점들은 분로균형 제어기가 설치 안된 경우는 운전원에 의하여 주기적으로 총유량이 일정하게 유지되면서 유출온도가 균일해지도록 수동 설정되게 된다. 분로균형 제어기 그림 1은 각 분로 유출온도와 유량 정보를 이용하여 각 분로에서의 유량을 매 제어주기마다 자동으로 계산하여 설정해 주게 된다. 그림에서 볼 수 있듯이 분로균형 제어기가 off인 상태에서는 운전원의 조정이 간헐적임을 알 수 있고 조정도 상대적으로 정확하지 못하여 각 분로에서의 유출온도 차이가 항상 존재함을 알 수 있으며 분로균형 제어기를 on했을 경우는 적절한 제어 동작에 의해 균일한 유출온도가 유지됨을 알 수 있다. 특히 제어 동작이 과도하지 않고 유연하게 움직이면서도 좋은 제어 성능을 보이고 있다.

그림 6은 원료 예열교환망에 분로균형 제어기를 걸기 전과 후의 각 분로에서의 유량 밸브의 열림 정도와 유출온도 결과를 보여주고 있다. 대상 열교환망에서의 분로는 유량제어기가 설치되어 있지 않았으므로 제어기는 유량밸브의 열림 정도를 계산하도록 설계되었다. 그림에서와 같이 분로균형 제어기의 on/off 경우 유출온도 제어에 큰 차이가 있음을 알 수 있고 분로균형 제어기가 각 분로의 유출온도를 균일하게 제어해 줌을 확인할 수 있다. 제어루프 간의 상호 간섭작용을 고려하여 생산물 측에는 분로균형 제어기를 설치하지 않았다.

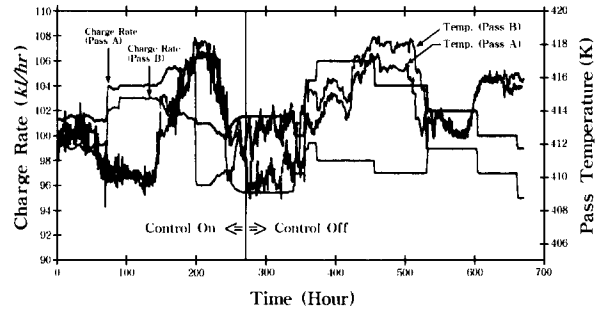


그림 5. 가열로 분로균형 제어 적용결과.
Fig. 5. Result of heater pass balance control.

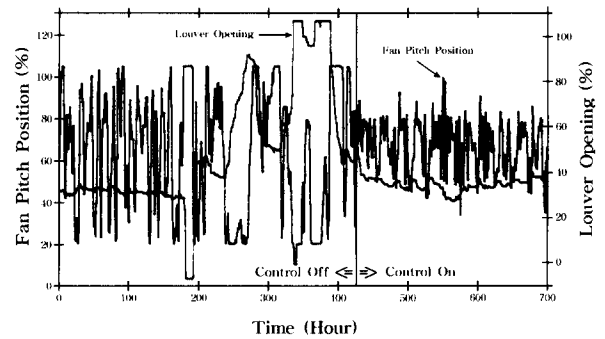


그림 6. 열교환망 분로균형 제어 적용결과.
Fig. 6. Result of heat exchanger pass balance control.

그림 7은 냉각팬 각도위치 제어기를 걸기 전과 후의 냉각팬의 각도와 미늘창(louver)의 열림 정도를 기록한 운전 차트이다. 제어기의 gap은 원하는 냉각팬 각도 범위에 대응하여 약간의 여유를 주어 설정되었으며 PI 동작만을 사용하였다. 냉각팬 각도위치 제어기를 걸지 않았을 때는 냉각팬 각도의 운전범위가 포화상태를 포함하여 매우 큰 폭으로 변하고 있으며 운전원의 미늘창 조정도 간헐적이고 정교하지 못하여 적절하게 냉각팬 각도를 유지시키지 못하고 있음을 알 수 있다. 반면 제어기를 걸었을 경우에는 냉각팬의 각도가 원하는 적절한 범위내에서 안정적으로 유지되면서 운전됨을 볼 수 있다. 냉각팬 각도위치 제어기의 제어 동작도 안정적으로 작은 범위에서 적절하게 움직이고 있음을 확인할 수 있다. 한편 그림에는 나타내지 않았지만 생산물 유출온도는 위치제어기를 걸기 전이나 후의 차이가 없었으며 이는 각도위치 제어기가 온도루프에 외란으로 작용하지 않음을 의미하고 있다. 결과적으로 복잡한 고급 제어방법이나 앞면 임 기능 없이도 간단한 피드백(feedback) gap 동작만으로도 충분한 제어 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

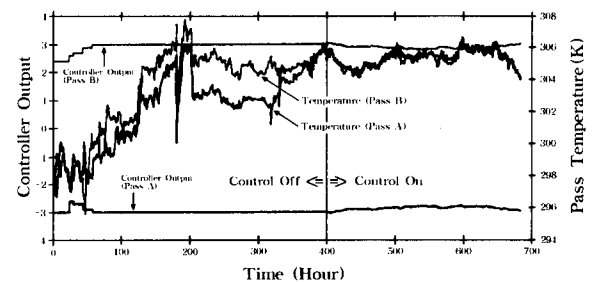


그림 7. 냉각팬 각도위치 제어 적용결과.
Fig. 7. Result of air cooler fan pitch position control.

V. 결론

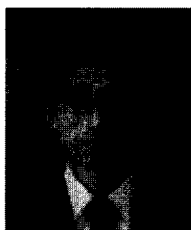
비선형 PID 제어 방법들을 이용하여 화학공정의 중요한 regulatory 루프들에 대한 제어기를 구현하였다. 가열로 및 열교환망에서의 분로의 유출온도를 제반 제약 조건을 항상 만족하면서 균일하게 유지시켜 주기 위한 가변이득 적분제어기를 설계하고 이를 실제공정에 적용하여 우수한 성능을 확인하였다. 공냉기에서의 냉각팬 각도를 자동으로 일정 범위내에 유지시키기 위하여 PID gap 로직을 적절히 응용한 냉각팬 각도위치 제어기를 설계하였으며 실제 공정에 적용한 결과 좋은 제어성능을 확인할 수 있었다.

이러한 제어기들은 적용된 제어로직이 간결하여 DCS 상에 쉽게 구현이 가능하므로 균일한 제어 계층을 유지하면서도 DCS 활용 효율과 시스템 신뢰도를 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 운전원도 쉽게 이해할 수 있어 운전원들의 호응도가 매우 높았으며 현재까지 100%에 가까운 가동율(service factor)를 보여 주고 있다. 제어기가 적용된 단위 regulatory 루프들은 화학 공정에서 흔히 나타날 수 있는 대표적 루프들이므로 다른 공정에도 쉽게 확장될 수 있어 그 산업적 효용성이 매우 클 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] F. G. Shinsky, *Feedback Controllers for the Process Industries, 1st ed*, McGraw-Hill, 1994.
 [2] G. Liptak, K. Venczel, *Instrument Engineers' Handbook*, vol. 2, Chilton, 1978.
 [3] F. G. Shinsky, *Process Control Systems*, 4th ed,

McGraw-Hill, 1996.
 [4] A. Jutan, "A nonlinear PI(D) controller," *The Can. J. of Chem. Eng.*, vol. 67, pp. 485-493, June, 1989.
 [5] M. J. Pakianathan, "P only or P+I in one controller," *Hydrocarbon Processing*, pp. 93-95, Dec., 1992.
 [6] P. S. Buckley, "Nonlinear averaging controller with digital controllers," *Texas A&M Instrumentation Symposium*, January, 1982.
 [7] S. Roy, C. Smith, "Better than averaging level control," *InTech*, vol. 42, no. 7, pp. 50-55, July, 1995.
 [8] F. G. Shinsky, *Energy Conservation Through Control*, 1st ed, Academic Press, 1978.
 [9] S. Ozawa, "原油蒸留装置最適化制御システムの開発と実用化," *計装*, vol. 31, no. 12, 1988.
 [10] K. Muske et al., "Crude unit product quality control," *Comp. Chem. Engng*, vol. 15, no. 9, 1991.
 [11] R. DiBiano, "Importance of versatile control strategy on crude unit," *Chem. Eng. Prog.*, pp. 56-64, Feb., 1981.
 [12] A. A. Buster, "Application of controlling computers to fractionating units," *Symp. Ser.*, vol. 34, no. 57, 1961.



이 문 용

1982년 서울대학교 화학공학과 졸업. 한국과학기술원 화학공학과 석사(1984), 동대학원 박사(1991). 1984-1994년 (주) 유공 울산연구소. 1994년-현재 영남대학교 화학공학부 교수. 관심분야는 공정제어, 공정 모델링 및

설계, 공정 최적화.



구 도 균

1996년 영남대학교 화학공학과 졸업. 1996-현재 동대학원 석사과정. 관심분야는 비선형제어, 모델예측제어.



이 종 민

1987년 한양대학교 화학공학과 졸업. 동대학원 석사(1989). 1989-1996년 (주) 유공 울산연구소. 1996-현재 Aspen Tech. Korea., 관심분야는 공정 정보 시스템, 고급제어, 운전원 훈련 모사시스템.