'92 韓國自動制御學術會議論文集 1992. 10. 19~21

무게 측정에 의한 원료 정량 투입 제어 방법

권 오 정, 황 일 영, 이 광 순
서강 대학교, 화학공학과

A Method for Feeding Flow Rate Control by Measuring Weight.

O Jung Kwon, Il Young Hwang, Kwang Soon Lee.
Department of Chemical Engineering, Sogang University.

ABSTRACT

A cost-saving feeding rate control method for a batch reaction process is proposed by reconfigu - rating the flow rate control loop where the feeding rate is estimated by differentiating weight measurement. While the existing control methods require either a flow rate measurement device or a flow rate estimator, the proposed method is devised not to require neither of these facilities by directly controlling the tank weight with a time-varying set point. Experimental evaluation in a pilot-scale unit shows that the proposed method can significantly reduce the actuator hunting of the existing method where the flow rate is estimated by differentiating the weight measurement.

1. 서론

대부분의 회분식 반응기 운전 과정에는 반응 진행 중에 원료를 투입할 필요가 있다. 일반적으로 정량의 원료 주입을 위해서는 orifice와 같은 유량계를 이용하여 유량을 측정하여 제어하는 경우와 무게를 측정하여 이의 차분으로 유량을 추정하는 방법을 생각할 수있다. 그런데 전자의 경우 유량센서와 추가적인 장치를 필요로 하므로 원료 저장시에 필요한 weighing sensor만을 이용하여 무게를 측정하므로써 유량을 추정하는 방법이 경제적으로 훨씬 잇점이 있다. 본 연구에서는 무게 측정을 통한 일정한 유량 제어를 위한 새로운 제어 구조를 제시하고 이를 제어하기 위한 제어기 파라미터를 결정하기위한 지침을 제시하였다. 그리고 실험을 통해서 이들의 성능을 검증하였다.

2. 공정 모델링

공정은 일정한 유량의 반응물을 반응기에 투입하는 과정이므로,

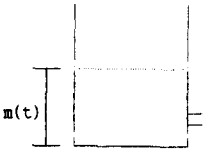


Fig. 1. Weighing Process.

$$W(t)=Wo-\int_0^t m(t)dt \qquad (1)$$

을 변이 변수로 취하고 laplace transform을 시키면

$$\bar{W}= W(t)-Wo \ , \ M=m(t) \qquad (2)$$

$$\bar{W}(s) = -\frac{1}{s}M \qquad (3)$$

의 관계식을 얻을 수 있다.

3. 제어구조의 제시

기존의 유량 측정을 이용한 제어계는 아래와 같이 표현된다.

Fig. 2. Block diagram of using flowrate as a pv.

그림2에서 PI제어기는 다음과 같이 표현되고

$$U(t)= Kc\ (R-M) + \frac{1}{\tau i}\int_0^t [R-M]\ dt \qquad (4)$$

이를 Laplace transformation시키면,

$$U(s) = Kc\,(R-M) + \frac{Kc}{\tau i}\left(\frac{R}{s} - \frac{M}{s}\right) \qquad (5)$$

이때 $-\frac{M}{s} = W$, $M = Kv*U$ 의 관계를 이용하여 다음의 표현으로 변형할 수 있다.

$$U = Kc\,R - Kc\,Kv\,U + \frac{Kc}{\tau i\,s}R + \frac{Kc}{\tau i}W \qquad (6)$$

이를 정리하면,

$$U = \frac{Kc}{1 + Kc\,Kv}\left[1 + \frac{1}{\tau i\,s}\right]R + \frac{Kc}{1 + Kc\,Kv\,\tau i}W \qquad (7)$$

이러한 표현에서 제어기 출력(CO)이 설정점과(SP) load cell에서 측정된 무게에대해 의존적인 관계를 가지게 된다. 이러한 사실로서 측정된 무게를 이용하여 유량을 추정하는 블록 선도를 그림 3과같이 고안할 수 있다.

Fig. 3. Conventional control block.

그런데, 그림 3의 블록선도에서 제어 성능을 살펴보면 유량에대한 설정점의 관계는 식 (8)에 나타난 것과 같이 lead /lag을 이루므로 적절한 제어기 변수를 선택하면 원하는 제어 성능을 얻을 수 있다. 그런데, 블록구조에서 나타난 미분작용기는 측정된 무게 뿐만 아니라 측정 잡음이나 공정상의 잡음을 미분하게 되어 제어기 출력변수가 큰 값으로 움직이게 된다. 이는 공정에서의 성능을 저해 하게되는 요인이 될 수 있으므로 잡음에 대한 성능을 향상시킬 수 있는 폐회로를 재 구성할 필요가 있다.

제어 변수와 설정값간의 전달 함수를 식(8)에 나타내었으며, 제어 변수와 잡음간의 전달 함수를 식(9)에 나타내었다.

$$\frac{M}{R} = \frac{Kc\,Kv\left(1 + \frac{1}{\tau i\,s}\right)}{1 + Kc\,Kv\left(1 + \frac{1}{\tau i\,s}\right)}$$

$$= \frac{\tau i s + 1}{\frac{\tau i}{C\,Kv}s + 1} \qquad \text{put, } C = \frac{Kc}{1+KcKv} \qquad (8)$$

$$\frac{M}{\varepsilon} = \frac{M}{R}s = \frac{s\,[\tau i\,s + 1]}{\frac{\tau i}{C\,Kv}s + 1} \qquad (9)$$

Fig. 4. proposed control block.

$$\frac{M}{R} = \frac{C\,Kv\left(1 + \frac{1}{\tau i\,s}\right)}{1 + \frac{C\,Kv}{\tau i\,s}} = \frac{\tau i\,s + 1}{\frac{\tau i}{C\,Kv}s + 1} \qquad (10)$$

$$\frac{M}{\varepsilon} = \frac{\frac{C\,Kv}{\tau i}}{1 + \frac{C\,Kv}{\tau i\,s}} = \frac{s}{\frac{\tau i}{C\,Kv}s + 1} \qquad (11)$$

앞의 block구조에서 PI제어기는 3개의 다른 block을 활용하여 PI제어기를 구성하였다. 그림 4에서 제어기 출력과 유량간의 관계를 선형적인 관계로 나타내었다. 실제 실험에서 이들간의 관계는 선형적인 관계를 보였으나 보정의 결과가 비선형적인 관계가 나타나더라도 선형적인 관계로 주어져도 이는 적절하게 관계를 설정한 것으로 생각할 수 있다. 그이유는 식(10)에서 C*Kv=1일 때 "perfect control"이 가능함을 생각할 수 있다. 그런데 valve의 선형적인 관계와 비선형적인 관계의 차이는 C*Kv≒1의 관계를 이루므로 "perfect control"을 이루기는 어렵다. 그러나 전달 함수에서 steady state gain은 변화하지 않음으로 lead/lag을 이루면서 steady state에 도달하게 된다. 결국 이러한 선형적인 관계로 고려하는 것은 원료주입 시간이 긴 공정에 대해서는 큰 문제가 되지않음을 살펴 볼 수 있다. 그리고 대개의 펌프는 시정수가 매우 짧아 이를 선형적인 관계로 고려할 수 있다.

4. 제어 변수의 제시

제어기 변수(controller parameter)는 우리가 제시한 블록구조를 통해 C*Kv=1의 상황에서 설정치에대한 유량이 "perfect control"이 가능하게 될 수 있음을 볼 수 있었다.

reset time(τi)은 상당히 큰 값을 취함으로서 원하는 유량에 대해 "perfect control"을 가능하게 하여주고, 유량과 잡음간의 관계에서 시정수를 크게하여 유량에 미치는 영향이 설정점이 미치는 영향보다 훨씬 작아지게 됨을 기대할 수있다. 또한 corner frequency는 시정수와 반비례의 관계를 가짐으로 τi가 증가함에 따라 corner frequence가 감소하게 되

어 좋은 filtering기능을 보여 준다.

5. 모사 결과

제시된 차분을 이용한 제어계와 본 연구에서 제안된 제어계를 이용한 전산 모사결과를 살펴보면 우리가 제시한 공정이 잡음을 제거시키면서 원하는 성능을 얻을 수 있음을 보여준다. 일반적으로 잡음은 측정과정에서 수반되는 잡음과 공정 자체에서 가지는 잡음으로 나뉠 수 있다. 그런데 측정과정에서 가지는 잡음은 일정한 범위의 크기를 가지게 되므로 이보다 훨씬 지배적인 요소로 탱크내 원료의 무게를 측정하는 과정에서 수위가 지속적으로 흔들리는 잡음을 생각할 수 있다. 이는 탱크내 무게가 클 때와 작을때 가지는 잡음의 크기가 달라 짐을 기대할 수 있다. 그러므로 수위의 흔들림은 탱크내에 들어있는 무게에 비교해서 일정한 비율의 크기로 이를 나타내었다. 차분을 이용한 구조는 그림 5에서 잡음에 의해 안정하지 않은 모습을 보여주고 있고, 그림 6에서는 유량이 설정점을 중심으로 상당히 벗어난 결과를 보이고 있다.

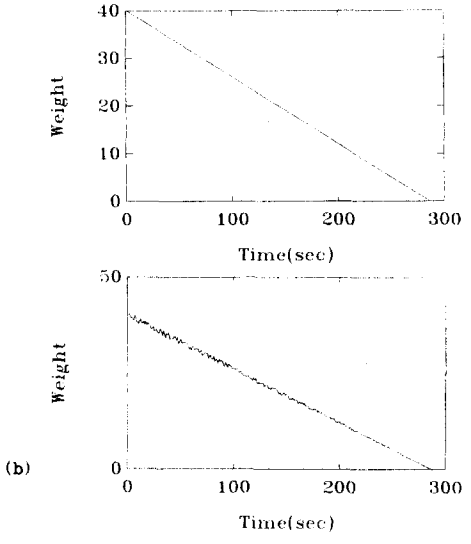
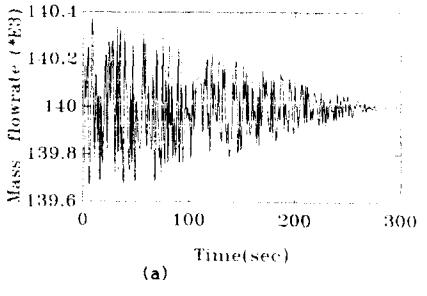


Fig. 5. Weight comparison between the proposed control scheme(a) and the conventional one(b).



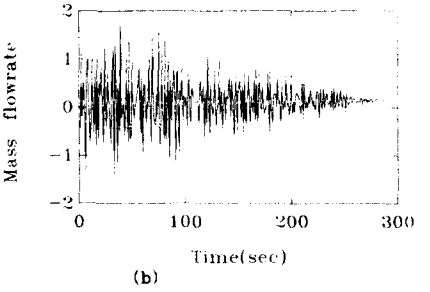


Fig. 6. Mass flowrate comparison between the proposed control scheme(a) and the conventional one(b).

6. 실험 장치

실험 장치는 그림 7에서 보여주는 바와같이 구성하였다. load cell에서 측정된 원료의 무게 자료는 RS 232C를 통하여 PC로 전달 되고 PC내에 짜여진 제어 구조를 이용하여 출력변수를 내보내게 된다. 출력 변수값을 이용하여 D/A converter를 이용하여 4~20mA전류로 변환하여 Inverter로 전달 하게 된다. 이때의 전류값은 pump의 회전 속도를 0~60Hz로 조절 함으로서 원료 주입 유량을 조절 하게 된다.

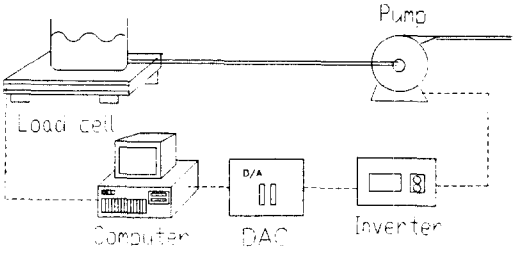


Fig. 7. Scheme of Experiment Apparatus.

7. 실험 결과

실험의 결과는 모사에서 보았던 경향들과 상당히 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 8은 두개의 제어구조간의 시간에 따른 무게의 관계를 나타내었다. 차분을 이용한 제어구조는 잡음의 영향에의해 상당히 변화가 심함을 볼 수 있다. 그림 9에서는 제어기 출력에 대해 비교하였다. 우리가 제안한 제어기 구조는 안정된 제어기 출력값을 보이는 반면, 차분을 이용한 구조에서는 상당한 변화폭을 보이고 있다. 이때 제어기 출력값을 살펴보면 제안된 구조에서는 시간에따라 계속적으로 증가하는 모습을 보이고 있다. 이는 조업 초반에는 탱

크에 저장되어있는 반응물의 정역학적인 에너지 차이에의해 펌프의 회전속도가 낮아도 일정한 원료 주입 유량을 유지할 수있으나 계속적으로 조업을 하게되면 수위가 감소하게 되어 정역학적인 에너지가 감소하게 된다. 그러므로 일정한 유량을 유지하기위해서는 펌프의 회전수가 점점 증가해야하므로 위와 같은 결과를 보이게 된것으로 생각할 수 있다. 그림 10에서 시간에따른 유량의 변화폭을 살펴보면 본 연구에서 제안한 제어구조가 차분을 이용한 제어 구조에 비해서 설정치 0.14에 근접함을 볼 수 있다.

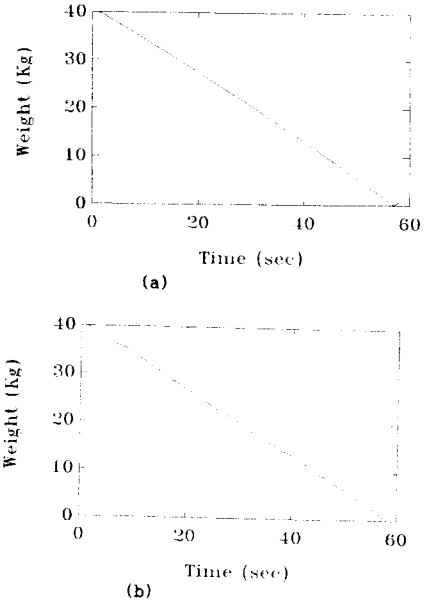


Fig. 8. Comparison of weight between proposed block(a), conventional block(b).

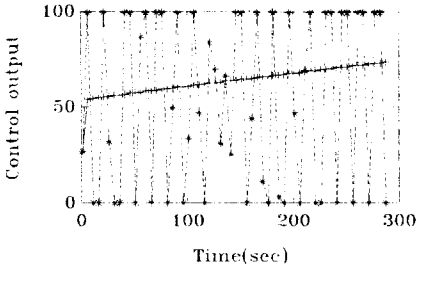


Fig. 9. Comparison of control output between proposed block('+'), conventioal block('*').

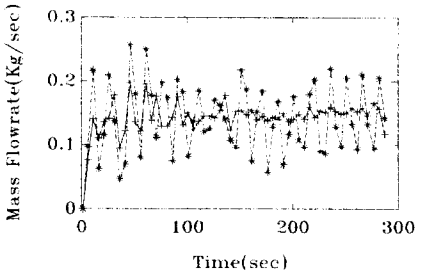


Fig. 10. Comparison of mass flowrate between proposed block('+'), conventional block('*').

8. 결론

제안된 제어구조가 차분을 이용해서 유량을 추정하는 제어구조에 비해 훨씬 좋은 제어 결과를 보임을 전산기 모사와 실험을 통하여 검증하였다. 모사결과를 살펴보면 각기 다른 제어구조에서 유량에 대한 평균값이 모두 0.14로서 유량에 대한 설정점의 관계는 동일한 성능을 보이는 반면 유량에대한 잡음의 변화는 분산을 구함으로서 성능을 비교할 수 있을 것이다. 제안된 구조는 0.0308의 값을, 차분을 이용한 제어구조는 0.3712의 값을 가짐으로 훨씬 나은 성능을 제안된 구조가 보여주고 있다. 실험에서도 각기 평균값은 우리가 설정한 유량 0.14이나 분산을 구했을 때 0.0007759와 0.0031의 값을 얻을 수 있었다. 이로서 본 연구에서 제안한 제어 구조의 성능이 훨씬 좋음을 볼 수 있었다.

참고 문헌

Benjamin c.Kuo," Automatic Control System',5th ed ,Prentice-hall.

Karl J.Astrom," computer controlled system", 2ed, Prentice-hall.