

가변외란관측기를 이용한 연속시스템의 몰드 레벨 안정화

Mold Level Stabilization of Continuous Steel Casting Systems Using a Variable Disturbance Observer

손명공, 손천돈, 김구화, 이덕만, 권성하, 정은태*

(Myung-Gong Sohn, Cheon Don Son, GooHwa Kim, Duk-Man Lee, Sung-Ha Kwon, and Eun Tae Jeung)

Abstract : This paper presents a control method to maintain stable mold level for unsteady bulging in high speed casting. The stabilizing mold level is an important factor to get high quality products. But, for various reasons, there are several disturbance factors which make mold level unstable. Bulging is one of disturbance factors and considered for the current stage of study. We design a disturbance observer to attenuate the effect of bulging which is periodic mold level disturbance. Since the period of bulging varies with the casting speed, the parameters of disturbance observer are changed by the casting speed. Simulation is illustrated to demonstrate stable performance of the proposed method in comparison with a previous method in a variable operating frequency.

Keywords : mold level, casting, bulging, disturbance observer

I. 서론

고속 연속 시스템은 용융금속(용강)을 이용하여 연속적으로 주편을 생산하는 시스템이다. 연속적인 주편 생산의 과정은 그림 1과 같이 용융 금속이 래들(ladle)을 통해 턴디쉬(tundish)로 연속적으로 공급되고 턴디쉬는 스톱퍼(stopper)나 슬라이딩 게이트(sliding gate)의 통과 면적을 조절하면서 몰드 내로 용융금속을 보내 주며 몰드 내의 용융 금속은 몰드 아래에 설치된 롤러에 의해 밖으로 빠져 나가면서 주편을 생산하게 된다[1-3]. 이러한 과정에서 몰드 내의 용융금속의 몰드 레벨의 변동은 주편 품질뿐만 아니라 생산성도 저하시키는 원인이 되고, 몰드 레벨의 변동이 극히 심할 경우 조업 사고로 이어질 수 있으므로 연속 주조 공정에서 탕면을 일정한 높이로 유지하는 것은 무엇보다 중요하다.

일반적으로 몰드 레벨은 벌징(bulging)이나 노즐의 막힘(clogging)과 같은 외란으로 인하여 일정한 높이를 유지하지 못하고 출렁거리게 된다. 특히 벌징은 롤러 사이 부분을 지나는 주편이 부풀어 오르는 현상을 말하며, 롤러 사이의 간격이 일정하기 때문에 벌징은 주기적인 신호로 간주할 수 있다. 벌징과 같은 외란에 의하여 주기적인 탕면변동이 발생하게 되고, 이를 제대로 제거하지 못할 경우 그 변동이 계속 증폭되어 제어 불능의 상태까지 초래되는 경우가 빈번하다[1-4]. 이런 경우 주조 속도를 감소시켜 몰드 레벨의 안정화를 도모하기도 하지만 심할 경우 조업 중단의 사태에까지 이르게 한다. 일반적인 연속 주조 공정에서 몰드 레벨의 안정화를 위한 제어방법으로 몰드 레벨의 기준값과 센서로부터 측정된 실측값을 이용하여 턴디쉬의 유량 조절 장치인 스톱퍼나 슬라이딩 게이트의 위치를 조절하여 몰드 레벨을 제어

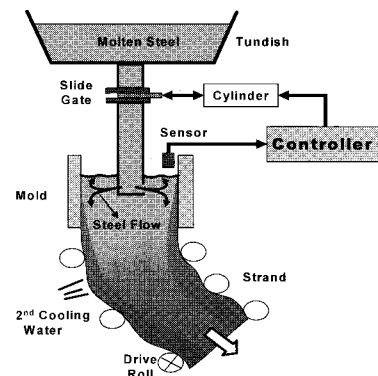


그림 1. 연속 주조 시스템.

Fig. 1. Continuous casting system.

하고 있다. 보통 PI(Proportional and Integral) 제어나 PID(Proportional, Integral and Derivative)제어가 많이 이용되고 있으며, 최근에는 주기적 몰드 레벨의 변동을 일으키는 벌징을 제거하기 위해 노치 필터(notch filter)나 외란관측기(Disturbance Observer, DOB)를 설계하여 외란을 제거하는 방법이 이용되고 있다[2,3]. 하지만 기존에 제시된 외란관측기[3]는 고정된 주파수를 가지는 외란을 제거시키는 데에는 탁월한 효과가 있지만, 벌징의 주파수가 바뀔 경우에는 적합하지 않으며 심지어는 벌징의 영향을 증폭시키기도 한다. 실제 벌징 주파수는 주조 속도에 의해 변화하고, 연속 시스템에서 주조 속도를 바꾸는 일은 흔히 일어난다. 따라서 본 논문에서는 주조 속도의 변화에 의해 변화된 벌징의 주파수를 고려하여 가변외란관측기를 설계한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 외란관측기의 기본지식에 대해 2장에서 다루고, 3장에서는 고속 연속 시스템을 소개하고 이에 대한 가변외란관측기를 설계한다. 4장에서는 설계된 가변외란관측기의 성능을 시뮬레이션을 통해 보이며, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 외란 관측기

일반적으로 외란관측기는 선형시스템에 대하여 다루어지

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 8. 17., 채택확정 : 2007. 12. 12.

손명공, 손천돈, 권성하, 정은태 : 창원대학교 제어계측공학과
(winnerlion@nate.com/son589@nate.com/shkwon@changwon.ac.kr/jet26@changwon.ac.kr)

김구화, 이덕만 : POSCO 기술연구소

(goohk@posco.com/drdrmllee@posco.com)

※ 본 연구는 2006년도 POSCO㈜의 연구비에 의하여 연구되었음.

며, 선형시스템의 외란을 관측하여 제거하기 위해 그림 2에서와 같이 제환을 이용한다[3,5]. 즉, (1)로 주어지는 선형시스템

$$y = G(s)u + d \tag{1}$$

에 대하여, 그림 2와 같이 외란관측기를 구성하여 시스템 $G(s)$ 에 대한 입력 u 와 외란관측기에 의한 제환 입력 u_d , 출력 y 를 계산하면

$$\begin{aligned} u &= u_m + u_d \\ u_d &= Q(s)u - \frac{Q(s)}{G(s)}y = -\frac{Q(s)}{G(s)}d \\ y &= G(s)u + d = G(s)u_m + (1 - Q(s))d \end{aligned} \tag{2}$$

이다. (2)에서 $(1 - Q(s)) = 0$, 즉 $Q(s) = 1$ 이 되면 외란 d 의 영향은 제거되고 출력 y 는

$$y = G(s)u_m \tag{3}$$

으로 입력 u_m 에 대해서만 영향을 받는다. $Q(s) = 1$ 로 두면, 외란관측기에서 $G^{-1}(s)$ 의 항이 존재하게 된다. 제어대상 시스템 $G(s)$ 는 대부분의 경우 분모의 차수가 분자의 차수보다 크기 때문에, $G^{-1}(s)$ 는 분자의 차수가 분모의 차수보다 크게 되어 실제 구현이 불가능하다. 만약 시스템에 영향을 끼치는 외란 d 의 주파수가 $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ 와 같이 어떤 주파수 대역 내에서만 존재한다면, 외란의 영향을 제거하기 위한 이상적인 $Q(s)$ 를 그림 3의 보드선도와 같이 나타낼 수 있다. 이때 설계된 $Q(s)$ 의 전달함수는 시스템의 전달함수 $G(s)$ 의 차수를 고려하여 $Q(s)/G(s)$ 의 분모의 차수가 분자의 차수보다 크거나 같게 설계되어야 한다.

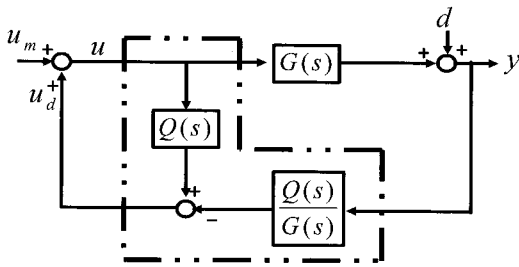


그림 2. 외란관측기.
Fig. 2. Disturbance observer.

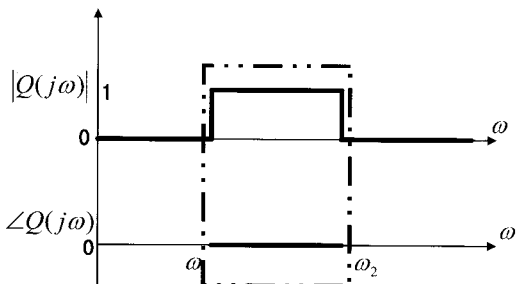


그림 3. 이상적인 $G(s)$ 의 보드 선도.
Fig. 3. Bode plot of ideal $G(s)$.

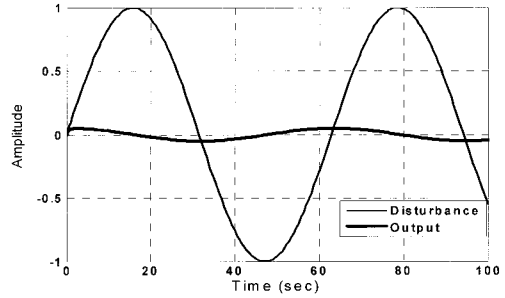


그림 4. 예제에 대한 출력그래프.
Fig. 4. Plots of disturbance and output in example.

Example: 제어 대상 시스템의 전달함수 $G(s)$ 와 외란 d 가

$$G(s) = \frac{1}{s+1}, \quad d = \sin 0.1t$$

인 시스템을 고려한다. 시스템의 전달함수가 분모와 분자의 차수 차이가 1차이므로 $Q(s)$ 의 분모 차수가 분자 차수보다 적어도 1차 이상 커야한다. 또한 외란의 각주파수가 $\omega = 0.1$ [rad/sec]이므로 $\omega = 0.1$ 근처의 각주파수에서 $Q(s) = 1$ 이 되는 $Q(s)$ 를

$$Q(s) = \frac{2}{s+2}$$

와 같이 저역 통과 필터(low pass filter) 형태로 선택한다. 설계된 외란관측기의 외란 제거 능력을 보이기 위하여 $u_m = 0$ 일 때의 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같고, 외란을 약 95% 제거하는 것을 알 수 있다.

III. 고속 연주 시스템에서의 외란관측기 설계

일반적인 외란관측기는 선형시스템에서 주기적인 외란을 제거하는데 탁월한 역할을 한다. 하지만 본 논문에서 다루고 있는 고속 연주 시스템은 비선형이므로 2장의 외란관측기를 직접 적용할 수 없다. 그러므로 이 장에서는 연주 시스템의 비선형성을 고려한 외란관측기를 설계한다. 먼저 3.1절에서 연주 시스템의 모델을 소개하고, 3.2절에서 이에 대한 가변외란관측기를 설계한다.

1. 연속 주조 시스템의 모델링

고속 연주 시스템은 그림 1과 같이 턴디쉬에 있는 용융 금속이 슬라이딩 게이트를 통과하여 유입되는 양과 주조 속도에 따라 몰드 아래로 빠져 나가는 용융 금속의 양의 차이에 의해 발생하는 몰드 레벨 변화를 레벨 센서를 이용하여 검출하고 이를 슬라이딩 게이트 밸브의 명령치로 보내주어 몰드 레벨을 안정화하는 시스템이다. 그림 5는 고속 연주 시스템의 간략화 된 블록선도를 나타낸다.

그림 5에서 슬라이딩 게이트, 슬라이딩 게이트에서 몰드까지의 노즐 그리고 몰드레벨 센서의 전달함수는 1차 지연 형태의 전달함수를 가지며 시뮬레이션을 위해 각각의 시정수를 $(\tau_1 = 0.01, \tau_2 = 0.01, \tau_3 = 0.05)$ 로 한다. 몰드 내부의 용강의 변화량은 몰드로 유입되는 용강의 양과 몰드를 빠져 나가는 용강의 양의 차이에 대한 함수를 나타낸다. 몰드로 유입

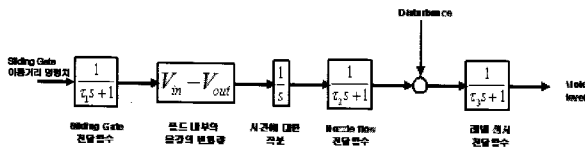


그림 5. 고속 연주 시스템의 블록 선도.
Fig. 5. Block diagram of continuous casting system.

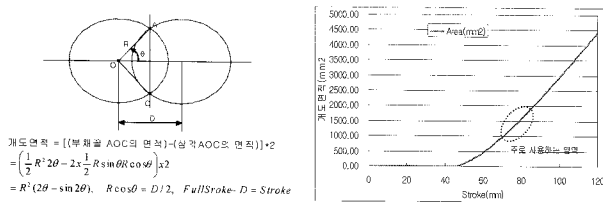


그림 6. 슬라이딩 게이트의 이동거리에 따른 개도면적.
Fig. 6. Opening area according to stroke of sliding gate.

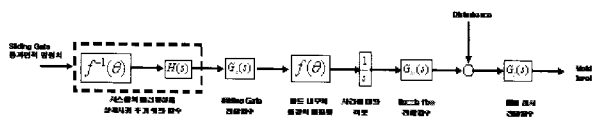


그림 7. 외란관측기 설계를 위한 시스템의 비선형성 제거.
Fig. 7. Non-linearity cancellation for design of disturbance observer.

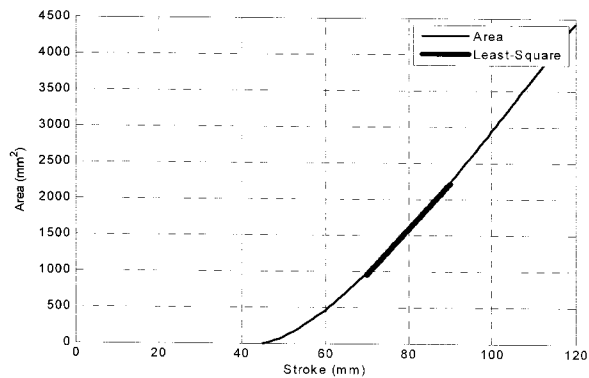


그림 8. 최소 자승법에 의한 근사화.
Fig. 8. Least square approximation.

되는 용강의 양은 슬라이딩 게이트의 개도면적[1]과 용융금속의 곱으로 계산 되어지며 이는

$$\text{유입되는 용강의 양} = \text{개도면적} \times \text{용강의 속도} = R^2(2\theta - \sin 2\theta) \times c\sqrt{2gh} \quad (4)$$

이다. 여기서 R 은 슬라이딩 게이트의 반지름, θ 는 슬라이딩 게이트의 고정판과 이동판이 겹쳐질 때 중심과 두 원판이 만나는 두 지점사이의 중심각의 반이고, c 는 용강의 속도 상수, g 는 중력 가속도, h 는 턴디쉬 속의 용강의 높이이다. 그림 6은 슬라이딩 게이트의 이동거리에 따른 개도 면적이다.

(4)는 비선형 함수를 포함하고 있으며 이는 외란관측기 설계에서 고려해야 한다. 그림 7과 같이 (4)의 비선형 함수의 역함수를 이용하여 비선형성을 제거할 수 있다. 비선형성을

상쇄하기 위해서는 그림 7과 같이 슬라이딩 게이트의 전달함수도 적당한 전달함수 $H(s)$ 를 설계하여 상쇄시켜 주어야 한다. 그림 7에서 슬라이딩 게이트의 전달함수는 연주 시스템의 전체 응답보다 시정수가 짧으므로 $G_s(s)=1$ 로 근사화할 수 있고 $H(s)=1$ 로 할 수 있다. 그리고 (4)의 비선형성은 슬라이딩 게이트의 주요 동작 범위 내에서 최소 자승법(least-square)[6]을 이용해서 1차 근사화된 함수를 구하고 이의 역함수를 곱해 줌으로써 비선형성을 상쇄시킬 수 있다. 그림 8은 최소 자승법에 의해 슬라이딩 게이트의 이동거리에 따른 개도면적을 근사화한 그래프이며, 슬라이딩 게이트의 주요 동작 범위에서 거의 일치함을 확인할 수 있다.

고속 연주 시스템에서 용강이 몰드 아래의 롤러 사이를 통과하면서 생기는 주기적인 외란인 벌징은 롤러 사이의 거리와 밀접한 관계가 있고 또한 주조 속도에 따라 주기가 변화하므로, 벌징의 두 주기는

$$T_1[\text{sec}] = \frac{\text{롤러 사이의 거리}_1[\text{mm}]}{\text{주조 속도}[\text{m/min}] \times \frac{1000[\text{mm/m}]}{60[\text{sec/min}]}} \quad (5)$$

$$T_2[\text{sec}] = \frac{\text{롤러 사이의 거리}_2[\text{mm}]}{\text{주조 속도}[\text{m/min}] \times \frac{1000[\text{mm/m}]}{60[\text{sec/min}]}}$$

로 표현되며 두 개의 정현파의 합으로 표현되는 벌징은

$$\text{Bulging} = A_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T_1} t\right) + A_2 \sin\left(\frac{2\pi}{T_2} t\right) \quad (6)$$

과 같이 표현 할 수 있다[3].

2. 고속 연주 시스템에 대한 가변외란관측기 설계

고속 연주 시스템에서 몰드 레벨에 큰 영향을 끼치는 외란인 벌징의 영향을 제거하기 위한 외란 관측기를 설계한다. 3.1절에서 제시된 고속 연주 시스템의 비선형성을 고려한 외란관측기는 그림 9와 같다. 여기에서 $G(s)=1/s$ ($0.05s+1$) 이다.

고속 연주 시스템에서 외란관측기 설계는 ‘ $Q(s)$ 를 어떻게 설계하는가?’의 문제이고, 슬라이딩 게이트의 전달함수 그리고 노즐의 전달함수를 고려한 전달함수는 $(1/s(\tau s+1))$ 과 같이 되므로 $Q(s)$ 의 분모의 차수가 분자의 차수보다 2차 이상 크도록 설계하여야 한다. 그러나 본 논문에서는 $Q(s)$ 의 설계를

$$Q(s) = \frac{(1\text{차 다항식})}{(3\text{차 다항식})}$$

형태의 전달함수로 구하는 방법에 대해서만 다루고, 나머지의 경우에 대해서도 비슷한 방법으로 $Q(s)$ 를 설계할 수 있다.

시스템의 외란으로 작용하는 벌징의 두 각주파수는 ω_1 과 ω_2 이고, 롤러 사이의 거리와 주조 속도에 의해 결정되는 두 각주파수의 평균주파수 성분을 제거시키는 외란관측기를 설계할 수 있다. 두 각주파수의 평균주파수 성분을 제거시키기 위한 $Q(s)$ 의 전달함수를

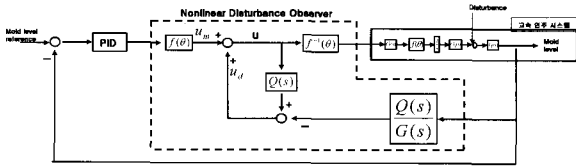


그림 9. 고속 연주 시스템에서의 외란관측기 설계.
Fig. 9. Design of disturbance observer for continuous casting system.

$$Q(s) = \frac{k(s+a)}{(s+b)(s+m)^2} \quad (7)$$

같이 결정한다. 벌징의 평균 각주파수에서 $Q(s) \approx 1$, $\angle Q(s) \approx 0$ 이 되게 $Q(s)$ 를 설계하기 위해 $\omega = (\omega_1 + \omega_2)/2$ 로 하고 a, b 를

$$a = \frac{1}{2}\omega, b = 2\omega \quad (8)$$

로 선택한다. 이때 $Q(s)$ 의 위상이 '0'이 되는 조건을 이용하면 m 은

$$\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{a}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{b}\right) - 2 \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{m}\right) = 0$$

$$\Rightarrow m = \frac{\omega}{\tan\left[\frac{1}{2}\left\{\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{a}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{b}\right)\right\}\right]} \quad (9)$$

이다. 또한 $Q(s)$ 의 크기가 '1'이 될 수 있게 (8)과 (9)를 이용하면 k 는

$$a = \frac{\sqrt{\omega^2 + b^2}(\omega^2 + m^2)}{\sqrt{\omega^2 + a^2}} \quad (10)$$

이다.

(7)은 고속 연주 시스템에서 하나의 벌징 성분에 대한 외란관측기의 한 부분이고, 실제 시스템은 연주 속도에 의해 벌징의 각주파수가 변화한다. 변화하는 벌징의 각 주파수는 3.1에서와 같이 롤러 사이의 거리와 연주 속도에 의해 결정되고 결정된 각주파수에 따라 (7)의 $Q(s)$ 가 결정되게 함으로써 각주파수가 변화는 벌징성 외란을 제거할 수 있다.

IV. 시뮬레이션

이 장에서는 제안된 가변외란관측기를 이용하여 고속 연주 시스템에서 주기적 탕면레벨 변동을 일으키는 벌징성 외란을 제거하는 능력을 시뮬레이션을 통해 확인하고 그 결과에 대해 기술한다.

그림 10은 시뮬레이션을 위한 MATLAB SIMULINK의 블록선도이다. 본 시뮬레이션에서는 벌징의 주파수 변화에 따른 외란관측기의 성능을 확인하는데 목적이 있으므로 전체 탕면 레벨제어기는 기존에 사용하고 있는 PID제어기를 사용하였다. 그림 11은 롤러 사이의 거리가 (333mm,314mm)이고 주조 속도는 1[m/min] → 2[m/min] 로 변화는 벌징에 대

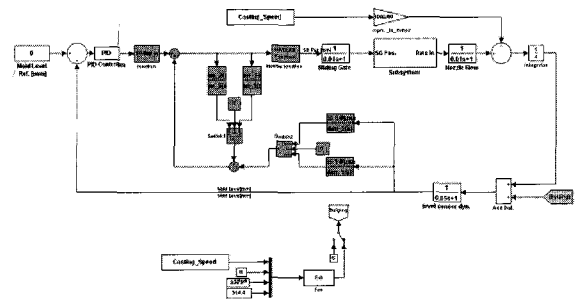


그림 10. Matlab simulink를 이용한 시뮬레이션 블록선도.
Fig. 10. Simulation block diagram using matlab simulink.

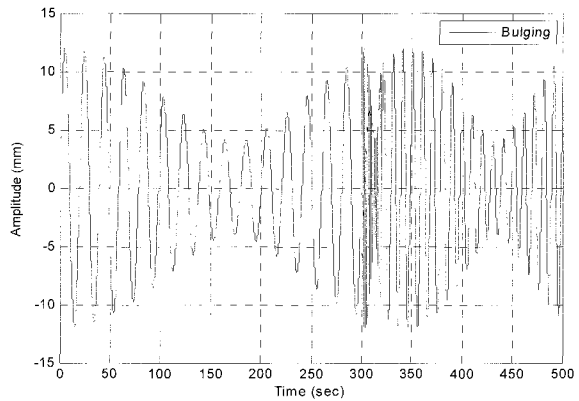


그림 11. 벌징 $\left(8\sin\left(\frac{2\pi}{19.9}t\right) + 4\sin\left(\frac{2\pi}{18.8}t\right)\right)$ 그래프.

Fig. 11. Plot of bulging $\left(8\sin\left(\frac{2\pi}{19.9}t\right) + 4\sin\left(\frac{2\pi}{18.8}t\right)\right)$.

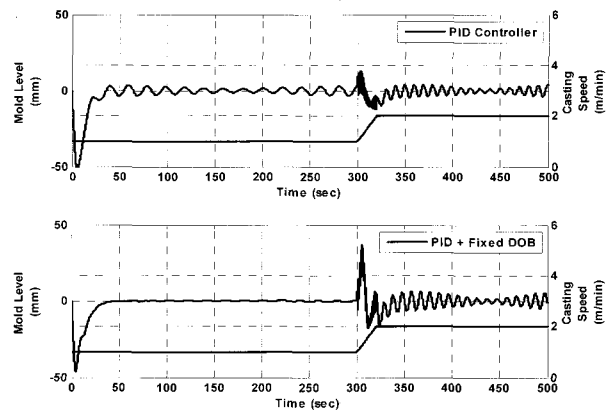


그림 12. 주조 속도 변화에 따른 PID 제어기와 고정된 외란관측기에 의한 몰드 레벨의 그래프 비교.

Fig. 12. Comparison of mold level for PID controller and fixed disturbance observer according to casting speed variation.

한 그래프이고, 그림 12는 벌징이 외란으로 인가되었을 때 기존의 PID 제어기만으로 시뮬레이션 한 결과와 주조속도가 1[m/min] 일 때 설계된 고정 $Q(s)$ 가 외란관측기로 첨가된 제어기로 시뮬레이션 한 결과이다.

그림 12에서 고정된 외란관측기는 주조 속도가 1[m/min]

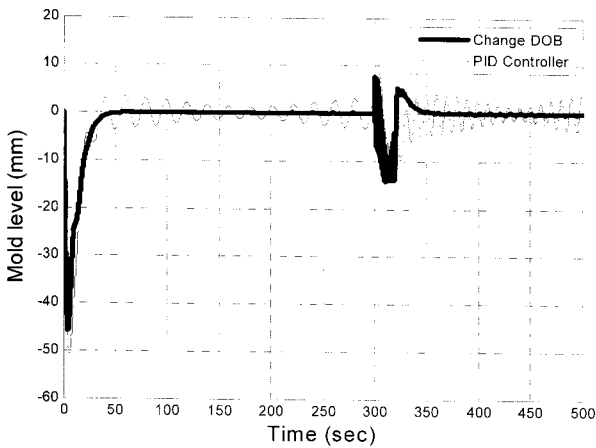


그림 13. 주조 속도 변화에 따른 PID 제어기와 가변외란관측기에 의한 몰드 레벨의 그래프 비교.

Fig. 13. Comparison of mold level for PID controller and variable disturbance observer according to casting speed variation.

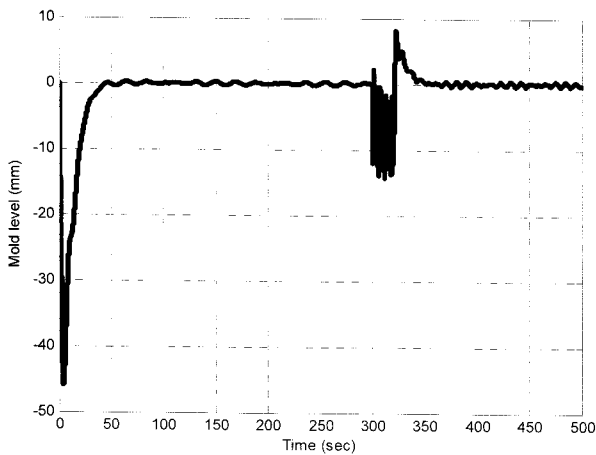


그림 14. 설계된 외란관측기와 다른 벌징의 각주파수가 인가 되었을 때의 몰드 레벨 (관측기 설계 시 이용된 롤러 사이의 두 거리: 322mm, 314mm, 시뮬레이션에 이용된 롤러 사이의 두 거리: 322mm, 314mm).

Fig. 14. Mold level in case of different bulging frequency from designing frequency of disturbance observer.

인 벌징 주파수에 대해 설계하였으므로 300초까지는 벌징에 대한 외란 성분을 거의 제거시키는 것을 볼 수 있지만, 300초 이후 주조 속도의 변화로 인한 벌징 주파수에 대해서는 기존의 PID 제어기보다 성능이 더 좋지 않음을 확인 할 수 있다. 그림 13은 논문에서 제시된 방법에 의해 가변 벌징 주파수에 대한 가변 외란관측기를 적용한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 300초 이후 주조 속도의 변화에 따른 가변 외란관측기가 자동으로 생성되어 변화된 벌징 주파수에 대해서도 몰드 레벨을 안정화시키고 있다.

가변 외란관측기는 변화하는 벌징의 각주파수를 측정하여 외란관측기의 제어 이득을 변화시켜 줌으로서 몰드레벨의

안정성을 확보하고 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 계산된 벌징의 각주파수가 실제 벌징의 각주파수와 다르게 되면 외란관측기는 몰드레벨의 안정성을 확보하는데 악영향을 끼칠 수 있다. 본 논문에서는 계산된 벌징의 각주파수보다 좀 더 넓은 범위의 각주파수를 제거할 수 있는 외란관측기를 설계함으로써 계산된 벌징의 각주파수가 실제 벌징의 각주파수와 조금 다른 값을 가지더라도 몰드레벨이 안정화 시킬 수 있다. 그림 14는 롤러 사이의 두 거리가 (332mm,314mm)인 벌징의 각주파수에 대해 설계된 외란관측기를 적용하고 실제 벌징은 각주파수를 결정하는 롤러 사이의 두 거리를 (350mm,290mm)로 하여 시뮬레이션 한 결과이다. 이는 본 논문에서 제시한 방법으로 설계된 외란관측기는 실제 벌징의 각주파수가 조금 다르더라도 몰드레벨의 안정성을 확보하고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 고속 연주 시스템의 몰드 레벨 안정화를 위해 주기적인 외란인 벌징의 주파수 변동에 따라 가변되는 외란 관측기를 설계하였다. 또한 슬라이딩 게이트에 의해 나타나는 비선형성을 고려하여 외란관측기를 설계하였다. 제안된 방법으로 설계된 외란관측기를 이용하여 기존의 제어기와 성능을 비교하였고, 설계된 가변 외란관측기는 주기적인 외란의 주파수가 변하더라도 안정적으로 몰드 레벨을 유지할 수 있음을 확인하였다. 그리고 설계된 외란관측기는 주기적인 외란의 실제 주파수가 조금 틀리더라도 안정적으로 몰드 레벨을 유지할 수 있음을 보였다. 이는 조업과정에서 주조 속도를 증가시키더라도 탕면 레벨을 안정적으로 유지할 수 있고 생산성 향상과 제품의 품질을 유지 할 수 있다. 또한 본 논문에서 설계된 외란관측기는 주기적인 외란을 제거하기 위한 제어기이지만 PID 제어나 H_{∞} 제어 등 다른 제어기와 결합이 용이한 장점도 지니고 있다.

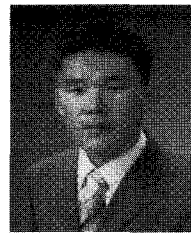
참고문헌

- [1] Y. Kueon and W. Xiao, "Improve mold level control for continuous steel casting by fuzzy logic control," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 1999.
- [2] R. M. C. De Keyser, "Improved moule-level control in a continuous steel casting line," *Control Eng. Practice*, vol. 5, no. 2, pp. 231-237, 1997.
- [3] 이덕만, 박해두, "A study on minimizing periodic mold level variation in high speed casting," *Control, Automation, and Systems Symposium*, pp. 83-86, 2006.
- [4] 김구화, 이정현, "The phenomenon of periodic fluctuations of mold level in continuous casting of slab," *Control, Automation, and Systems Symposium*, 2007.
- [5] Tilman Bunte, Dirk Odenthal, Bilin Aksun-Guvenc, and Levent Guvenc, "Robust vehicle steering control design based on the disturbance observer," *Annual Reviews in control*, pp. 139-149, 2002.
- [6] S. C. Chapra, R. P. Canale, *Numerical Method for Engineers, Fourth Edition*, Mc Graw Hill Companies, 2002.



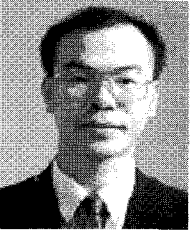
손명공

2006년 창원대학교 메카트로닉스 공학부 제어자동화시스템 공학과 졸업. 2006년~현재 창원대학교 대학원. 제어계측 공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 T-S 퍼지 제어, 비선형 제어임.



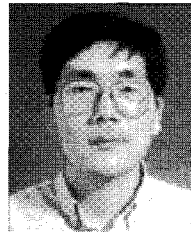
손천돈

2006년 창원대학교 메카트로닉스 공학부 제어자동화시스템 공학과 졸업. 2006년~현재 창원대학교 대학원. 제어계측 공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 T-S 퍼지 제어, 비선형 제어임.



김구화

2003년 경북대학교 물리학과 박사. 1989년 12월~2003년 6월 포항산업과학연구원 책임연구원. 2003년 7월~현재 POSCO 기술연구소 계측연구그룹 전문연구원. 전자기 및 초음파 응용 계측 및 신공정 개발.



이덕만

1997년 포항공대 전자전기와 박사. 1997년 5월~현재 POSCO 기술연구소 공정 제어연구그룹 전문연구원. 프로세스 제어 및 자동화(연주 탕면제어 및 열연장력/두께 제어 등).

권성하

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 4 권 제 2 호 참조.

정은태

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제 3 권 제 2 호 참조.