

연주 탕면레벨 안정화를 위한 하이브리드형 퍼지제어기 설계

Design of hybrid-type fuzzy controller for stabilizing molten steel level in high speed continuous casting

. 이 덕 만 *, 권 영섭 *, 이 상호 *

(Dukman Lee, Yeongsu Kueon, Sangho Lee)

* 포항제철 기술연구소 계속제어연구그룹 (Tel: 82-54-220-6295; Fax: 82-54-220-6914; E-mail: pc554173@posco.co.kr)

In this paper, a hybrid type fuzzy controller is proposed to maintain molten steel level stable and reliable manner in high speed continuous casting regardless of various disturbances such as casting speed change, tundish weight variation, clogging/unclogging of SEN(Submerged Entry Nozzle), periodic bulgings, etc. To accomplish this purpose, hardware filter and software filter are carefully designed to eliminate high frequency noise and to smooth input signals from harsh environments. In order to minimize the molten steel level variations from various disturbances the controller uses hybrid type control term: fuzzy logic term, proportional term, differential term and nonlinear feedback compensation term. The proposed controller is applied to commercial mini-mill plant and shows considerable improvement in minimizing the molten steel variation.

Keywords: molten steel level, continuous casting, mini-mill, fuzzy, fft, notch.

1. 서론

연속주조 공정에서 몰드레벨 제어에 특별한 관심이 집중되고 있다. 이는 몰드레벨의 안정성과 최종 제품의 표면품질간에는 직접적인 상관성이 있는 것으로 이제 널리알려져 있기 때문이다 [1, 2, 3]. 보통, 몰드레벨 변동에 영향을 주는 알려진 인자로서 강종 특성, 몰드 내 용강 변동에 의한 표면파(Surface Wave) [4,5,6], 주속의 변동, 턴디쉬 무게의 변동, SEN 의 Clogging/Unclogging [7], 가이드 롤(Guide Roll)의 간격 혹은 Bending 등으로 인한 벌짐(Bulging) 현상 등을 들 수 있다.

이러한 탕면레벨 변동을 최소화하고자 하는 노력을 많은 문헌상에서 찾아볼 수 있다. Lamant [2]는 몰드레벨과 슬라브 홈간에 관계론의하고 수학모델에 근거하여 PID 제어기의 파라미터를 최적으로 선택하는 문제를 다루었다. Kiupel [8]은 퍼지논리를 이용하여 기존 PID 몰드레벨 제어기와 병렬로 사용하여 제어기 성능을 높였다. Kurokawa[9]는 H_∞ 제어이론을 사용하여 몰드레벨제어기를 설계하고 신일본제철의 Kimitsu 제철소에 적용하였다. 한편, 몰드 내의 용강유동 현상을 연구하는 측면에서는 몰드 내의 용강유동에 의해 발생하는 표면파와 Vortex 현상에 대해 수모델(Water Model)을 만들어 연구하고 이러한 일련의 유동현상에 의한 표면품질 저하 현상과의 관계 및 방지책을 연구하고 있다[4,5]. 현재까지 발표된 대다수의 논문들은 살펴보면 2 mpm 이하의 일반 저속 연주기 상에서 탕면레벨 제어 문제를 다루고 있다. 그러나, 최근 유럽과 미국을 중심으로 한 전기로, 박스라브연주기, 컴팩트 밀에 의한 열연강판을 제조하는 소위 미니밀 프로세스의 실용화로 4 mpm 이상의 고속으로 주조를 행하게 될 경우에는 저속 공정에 적합한 기존 PID 형의 제어기는 효과적으로 작동하기가 어렵다. 그리고, 고속인 경우에 있어서 주속변화, 턴디쉬(Tundish) 무게 변동, SEN 의 clogging 및 unclogging 과 같은 외란 등도 상당히 빠른 주파수를 가지게 되므로 저속 조업용 설계된 기존 제어법 만으로는 구조적인 한계가 있다는 약점을 가지고 있다. 또한, 고속 연주조업을 진행하는 동안에 몰드레벨 표면에 발생하는 표면파나 벌짐등에 의한 단주기의 탕면레벨 변동이 있는 경우에 기존 방식에서 제시된 제어기들은 제어

기 및 플랜트의 동특성과는 무관하게 몰드레벨 센서에 입력된 신호를 여과없이 제어기에 사용하므로 제어기 입,출력간의 위상지연에 의하여 몰드레벨이 점점 더 커지는 현상이 목격되고 있다. 이러한 현상은 주속속도를 높이면 높일 수록 그 영향이 심하게 된다. 또한, 강종, 사이즈, 주속, 온도 등의 주조 조건이 빈번히 변경되는 연주기에 있어서 시스템의 동작점(Operating Point)이 많이 변하게 되므로 PI 혹은 PID 제어기의 경우에는 각 구간별로 많은 수 많은 제어개인 테이블을 유지해야 하는 번거로움과 튜닝의 난점이 있고 모델에 기반한 제어기 등을 이용할 경우도 동작점에 따른 모델의 파라미터 식별문제와 제어개인의 선정등에 많은 어려운 점이 있다. 반면 퍼지제어기와 같은 방식을 이용하면 수식 제어모델이 없이도 여러 동작점 별 숙련자의 경험을 제어규칙으로 쉽게 전환하여 적용 가능케 해 주고 설계의 방식에 따라 간단하면서도 효과가 우수한 제어기를 구축할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 연속주조기의 몰드(Mold) 내 용융금속 탕면레벨을 제어하는 제어기 설계에 있어서 특히 미니밀(Mini Mill)과 같은 주속 4 mpm 이상의 고속 연속주조 라인에서 탕면레벨을 주속변화, 턴디쉬 무게 변화, SEN 의 clogging 및 unclogging, 주기적인 외란 등 각종 외란에도 불구하고 안정적이고 신뢰성있는 탕면레벨을 유지할 수 있는 hybrid-type의 퍼지제어기를 제안한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여, 탕면레벨 제어기의 신호입력단은 각 외부 센서로부터 입력되는 신호에서 고주파 노이즈를 제거하는 하드웨어 필터부 및 하드웨어 필터링 된 신호를 제어기 내부에서 다시 저주파 필터링하는 소프트웨어 필터부를 가진다. 이렇게 함으로써 각종 고주파 노이즈에 의한 제어기 오동작을 방지할 수 있으며 안정된 센서신호를 보장한다. 다음으로, 제어기는 주속 및 턴디쉬 무게 변화, SEN의 Clogging/Unclogging 현상에 의한 탕면레벨 변동을 효과적으로 제거하기 위하여 설계된 각각의 외란제거 제어항과 퍼지제어항의 혼합형으로 구성되어 있다. 또한 증폭되는 탕면레벨 변동과 직접적인 연관이 있는 0.3 Hz 이상의 주기를 가지는 주기적인 외란을 제거하기 위하여 몰드레벨 신호에 대해 Notch 필터를 적용시켜 제거함으로써 제어기가 과도하게 반응하여 몰드레벨 변동을 유발하는 현상을 방지하도록 하는 기능이 첨가되어 있다.