

연속주조기에서 스트랜드 구동롤의 인발력 분배 제어

千昌根*, 金喆禹**

Load Sharing Control of Driven Roll in Continuous Caster

Chang-Keun Chun and Cheul-U Kim

요 약

연속주조 프로세스는 고온의 액체 용강을 고체 금속으로 만드는 프로세스로서, 스트랜드 구동롤의 역할은 운전자가 설정한 주조 속도 제어 패턴에 따라 정확하게 주편을 인발하는 것이다. 기존의 스트랜드 구동롤의 제어는 주조 속도만을 제어하였으나 전동기 드라이버 세팅의 부정확성 및 변동, 연속적인 주조에 의한 구동롤의 마모 및 변형에 의한 롤 직경의 변경, 주조 중 주편 벌짐량의 변동 등의 요인에 의해 주조 중 주편을 인발하는 데 소요되는 전체 인발력이 각 구동롤에 적절하게 분배되지 않아 주편 코너부에 수평 크랙을 발생시켜 주조 속도를 증가하는데 있어서 결정적인 장애요인이었다. 본 논문에서는 스트랜드 구동롤에 인가되는 인발력 분포와 주편 품질과의 상관 관계를 도출하고 주조 중에 연속적으로 인발력을 분배할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 인발력 분배 알고리즘은 각 구동롤 전동기의 절대적인 토크를 제어하는 것이 아니라, 상위제어기에서 결정한 인발력 분배 비율에 따라 각 구동롤 전동기의 토크분 전류를 상호 비교하여 속도 설정치를 조정함으로써 이루어진다. 그리고 인발력 분배 알고리즘의 동작 확인을 위해 광양제철소 1연주공장 4연주기에 적용하여 양호한 결과를 확인하였다.

ABSTRACT

As the continuous casting process is to product slab with high temperature liquid steel, the main role of strand driven roll is to withdraw slab from mold as operator set up casting speed pattern. The strand driven roll in old cast machine is controlled casting speed only. Due to inaccuracies in drive setting up, varying roll diameters, bulging in the product, withdrawal force was distributed irregularly. As a result, because of horizontal crack in slab corner, high casting speed can't be achieved. In this paper, the correlation between the distribution of withdrawal force and slab quality is investigated and the new control algorithm which can be distributed regularly the withdrawal force of strand driven roll is proposed. The principle of proposed algorithm is not to control motor torque directly but to control motor speed reference according to sharing ratio of withdrawal force which is set up in high level controller. The proposed algorithm implemented in POSCO Kwangyang 1-4 continuous casting plant.

Key Words : Continuous caster, Load sharing, Vector control

*정회원, 포항산업과학연구원 선임연구원
E-mail : ckchun@nist.re.kr

**정회원, 부산대학교 전자전기통신공학부 교수
접수일자 : 2003. 5. 9
1차심사 : 2003. 5.26
심사완료 : 2003. 6. 3

1. 서 론

연속주조 프로세스는 고온의 액체 용강이 주형(mold)을 통과하여 1차로 냉각되어 얇은 응고 셸이 만들어지고, 스트랜드(strand)에서 냉각수를 살수하여 완전한 고체 금속으로 만들어지는 프로세스로서 전체 제

철 공정에서 제품의 품질을 결정하는 중요한 프로세스이다. 연속주조 설비에서 스트랜드 구동롤(strand driven roll)의 역할은 운전자가 설정한 주조 속도 제어 패턴에 따라 정확하게 주편을 인발하는 기능을 수행하며, 스트랜드의 상부 또는 상, 하부에 고르게 분포되어 설치되어있는 것이 일반적인 구조이다.

기존의 연속주조 설비에서 스트랜드 구동롤의 제어는 주조 속도만을 제어하였으나, 전동기 드라이버 세팅의 부정확성 및 변동, 연속적인 주조에 의한 구동롤의 마모 및 변형에 의한 롤 직경(diameter)의 변경, 주조 중 주편 벌짐(bulging)량의 변동 등의 요인에 의해 주조 중 주편을 인발하는 데 소요되는 전체 인발력(withdrawal force)이 각 구동롤에 적절하게 분배되지 않고 스트랜드의 만곡 부위 근처 즉, 벤딩(bending) 부분과 언벤딩(unbending) 부분 사이에서 가끔 부분적으로 부(-)의 부하가 인가되는 등 전반적으로 스트랜드 전체에 매우 불규칙한 인발 토크 분포가 발생하였다. 이러한 불규칙적인 인발력 분포는 주편 내부의 변형을 증대시키고 주편 코너부에 수평 크랙(horizontal crack)을 발생시켜 주조 속도를 증가하는 데 있어서 결정적인 장애요인이었다^{[1][2]}.

연속주조 프로세스의 최근 기술동향은 기존의 대량생산 구조에서 주편의 품질을 향상시킬 수 있는 방향으로 적극적인 초점을 맞추고 있으므로, 스트랜드 구동롤 제어도 점차 고정도의 주조 속도제어 뿐만 아니라 주편의 품질 향상을 위한 인발력 분배 제어가 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 스트랜드 구동롤에 작용하는 인발력 분포와 주편의 품질과의 상관 관계를 도출하고, 모든 스트랜드 구동롤 전동기의 출력 토크 정보를 상위 제어기로 귀환하여 마스터 구동롤 전동기의 출력 토크 정보와 슬레이버 구동롤 전동기의 출력 토크 정보를 비교하여 각 슬레이버 전동기의 속도 설정치를 조정함으로써 주조 중 연속적으로 인발력을 분배할 수 있는 제어 알고리즘을 도출하고자 한다. 그리고, 포스코(POSCO) 광양제철소 1연주공장 4연주기의 스트랜드 구동롤 제어에 적용하여 그 방법을 검증하고자 한다.

2. 스트랜드 구동롤 시스템의 모델링

그림 1은 2개의 스트랜드 구동롤과 다수개의 지지롤(guide roll)로 구성된 연속주조기의 구동롤에 대한 단위 시스템의 구성도로서, 식 (1)은 2개의 구동롤 사이

에 작용하는 인발력을 시변 계수의 비선형 미분 방정식으로 표시하였으며 질량 보존의 법칙과 후크의 법칙으로부터 유도된다. 여기서, f 는 주편에 작용하는 인발력을 의미하며, E 는 주편의 재료에 따라 결정되는 탄성 계수(Young's modulus)이고, A 는 주편의 폭과 두께의 곱인 단면적, L 은 구동롤 사이의 거리를 나타낸다^[3-9].

$$\frac{df_{12}}{dt} = \frac{AE}{L}(v_2 - v_1) + \frac{1}{L}(v_1 f_{01} - v_2 f_{12}) \quad (1)$$

식 (2)와 (3)은 2개의 전동기에 각각 작용하는 출력 토크 방정식으로서, J 는 전동기의 관성 모멘트이고, r 은 구동롤의 반지름이며, $v(=r\omega)$ 는 구동롤의 선속도, G 는 감속기의 기어비, τ 는 구동롤의 토크를 나타내며, 주조 속도가 정상 상태에 도달하면($dw/dt=0$) 주편에 작용하는 인발력은 각 구동롤의 반지름과 기어비, 전동기의 토크 함수가 된다.

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = G_1 \tau_1 + r_1(f_{12} - f_{01}) \quad (2)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = G_2 \tau_2 + r_2(f_{23} - f_{12}) \quad (3)$$

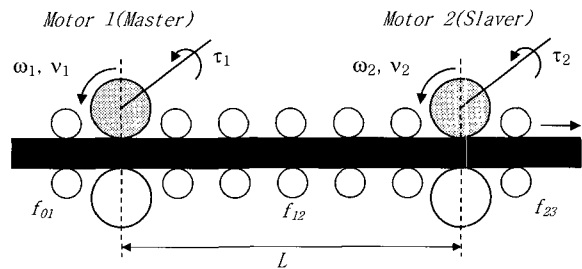


그림 1 연속주조기에서 구동롤의 단위시스템 구성도
Fig. 1 System configuration of strand driven roll in continuous caster

3. 기존 연주기 구동롤 제어 시스템

대부분의 기존 연주기 구동롤 제어시스템은 그림 2와 같이 제어기 하나에 다수개의 직류 전동기를 병렬로 연결하고 그 중 하나의 전동기 속도만을 귀환하여 전기자 전압을 조정함으로써 그룹 전동기의 속도를 제어하고, 그룹 내부의 각 개별 전동기의 속도 튜닝은 오프 라인(off line)에서 계자 전압을 개별 조정하여 주조 속도를 제어하는 구조로 되어있었다. 따라서, 주조 중에 각 구동롤 전동기의 속도를 정확하게 제어할 수

없을 뿐만 아니라 연속적으로 인발력을 분배시킬 수 없는 구조였다.

그림 3은 기존 광양 1연주 공장의 스트랜드 구동롤의 설치 구성도로서 구동롤이 스트랜드 상부에만 규칙적으로 설치되어 있으며, 구동롤 제어는 만곡부 근처에 존재하는 구동롤 2~8번까지를 하나의 제어 그룹, 수평 구간 존재하는 구동롤 9~18번까지를 또 다른 제어 그룹으로 하여 주조 속도를 제어하고 있었다.

주조 속도가 정상 상태에 도달한 후 주조 속도를 측정해 본 결과 설정치에 비해 속도 오차가 약 ±0.4%로 비교적 양호한 특성을 나타내고 있었으나, 인발력 분포는 그림 4와 같이 그룹 1에 속하는 구동롤의 인발력이 그룹 2에 속하는 구동롤의 인발력에 비해 현저하게 작게 나타나는 것으로 조사되었다. 그리고 주요한 특징으로는 생산하는 주편의 조업 조건과 같은 부하 상태의 변화에 따라 그룹 1에 포함되어 있는 몇몇 구동롤들이 가끔 부(-)의 인발력을 발생하였다.

그래서 주어진 시스템에서 인발력을 균등하게 분배하기 위하여 그룹 1에 속하는 전동기의 속도 설정치를 그룹 2에 속하는 전동기의 속도 설정치보다 강제적으로 약 6rpm 정도 크게 설정하고, 각 그룹 내부의 구동롤 인발력은 직류 전동기의 계자(field) 전류를 개별적으로 약간씩 조정하여 주조 중에 인발력 분포가 전체적으로 고르게 동작될 수 있도록 하였다. 그리고 인발

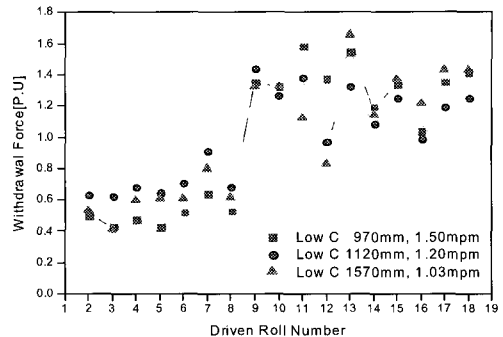


그림 4 광양 1연주공장 스트랜드 구동롤의 인발력 분포
Fig. 4 Withdrawal force of strand driven roll in Kwangyang 1CCP

력 분포와 주편 품질과의 관계를 분석하기 위하여 실험이 진행되는 기간 중 생산된 주편에 대한 품질 평가를 실시한 결과, 중·고탄소강의 코너 크랙 발생률이 25.9% -> 16.3%로 감소한 결과를 얻을 수 있었다.

하지만 이러한 인발력 분배 방법은 강종(steel grade) 및 주조 속도, 설비 상태의 변화와 같은 부하 상태가 변화될 경우에 인발력 분포가 달라지기 때문에 시스템의 인자를 매번 바꾸어야 한다는 단점을 가지고 있어, 연속적으로 인발력을 분배할 수 있는 제어 알고리즘 개발의 필요성이 있다는 것을 알 수 있었다.

4. 인발력 분배 알고리즘

4.1 시스템 구성

광양 1연주공장 4연주기는 포스코(POSCO)에서 가장 최근에 신설한 연주기로서, 스트랜드 구동롤의 설치 구성은 그림 5에서와 같이 스트랜드 상부에 21개가 규칙적으로 분포되어 있으며, 이와는 별도로 스트랜드 하부의 벤딩(bending) 부분과 언벤딩(unbending) 부분에도 2개씩 설치되어 있다.

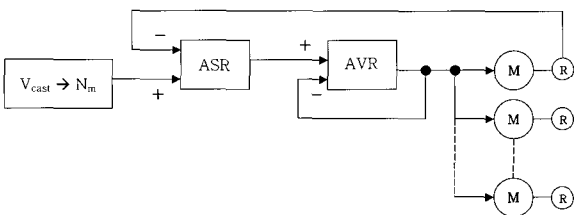


그림 2 기존 연주기 구동롤 제어 시스템
Fig. 2 Control system of strand driven roll in old caster

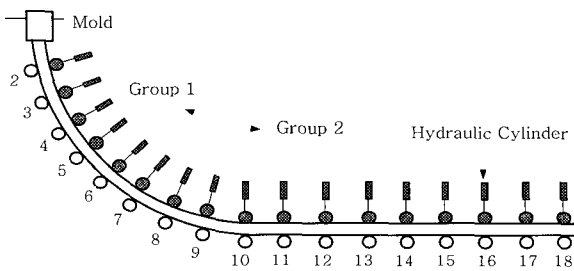


그림 3 광양 1연주공장 스트랜드 구동롤의 구조
Fig. 3 Geometry of strand driven roll in Kwangyang 1CCP

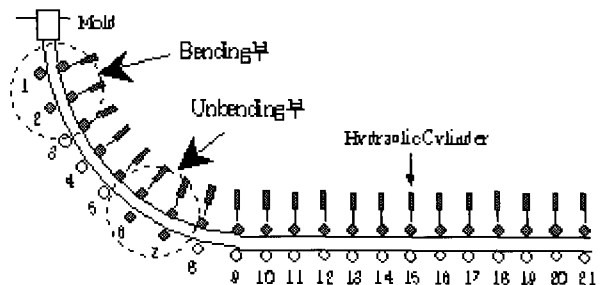


그림 5 광양 1연주공장 4연주기 스트랜드 구동롤 구조
Fig. 5 Geometry of driven roll in Kwangyang 1CCP 4CCM

구동률 제어시스템은 기존 연주기와는 달리 교류 전동기에 가변속 벡터 제어 드라이버를 설치하여 각 구동률을 개별적으로 제어할 수 있는 구조로 되어있었으며, 그림 6은 4연주기에 적용한 전동기의 벡터 제어기 구조이며, 정상 상태($dw/dt=0$)에서 구동률의 인발력은 토크 전류($=I_q$)와 자속 전류($=I_d$)에 비례하지만, 일반적으로 자속 전류는 약제자 운전영역을 제외하면 일정하게 유지하는 제어를 실시하므로 본 논문에서는 인발력 분배 제어를 위해서 토크 전류만 상위 제어기로 제한한다^[10].

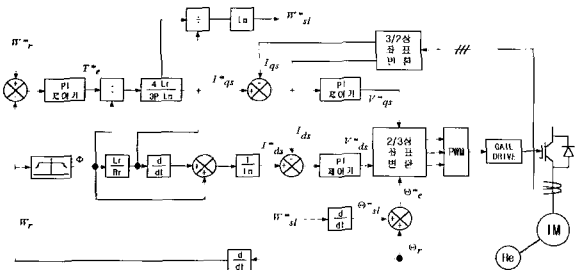


그림 6 광양 1연주공장 4연주기에 적용된 벡터제어기 구조
Fig. 6 Configuration of vector controller in Kwangyang 1CCP 4CCM

4.2 인발력 분배 제어의 구현

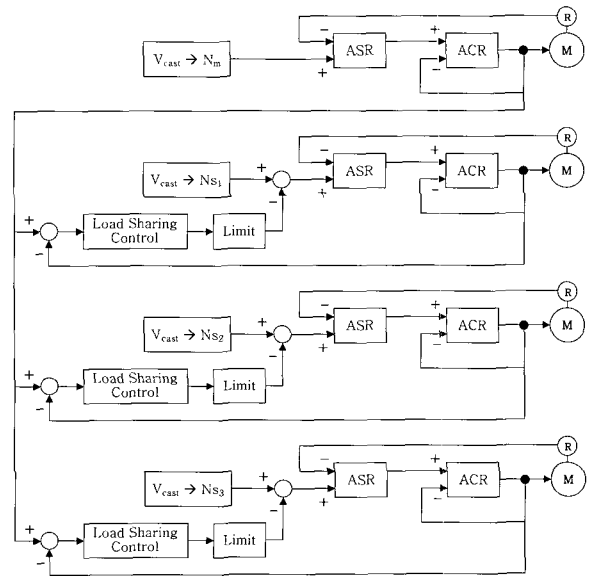
본 논문에서 제안한 인발력 분배 제어의 원리는 각 전동기의 절대적인 토크를 제어하는 것이 아니고 각 구동률에 인가되는 토크의 비율을 제어하는 것이다. 그림 1과 같이 다수개의 구동률 중에 한 개의 구동률을 마스터(master)로 설정하여 속도 제어기와 전류 제어를 직렬로 연결한 구조를 그대로 유지하고, 나머지 구동률들은 슬레이버(slaver)로 설정하여 마스터 구동률의 토크 출력과 일정하게 유지되도록 속도 기준값을 조정하게 된다. 인발력의 차이가 발생하는 경우의 수는 표 1과 같이 마스터 구동률의 인발력이 슬레이버 구동률의 인발력에 비해 클 경우와 작을 경우 2가지가 있는데, 마스터 구동률의 인발력이 클 경우에는 슬레이버 구동률의 속도 기준값을 상승하여 출력 토크를 상승시키고, 마스터 구동률의 인발력이 작을 경우에는 슬레이버 구동률의 속도 기준값을 하강하여 출력 토크를 하강시킴으로써 전체 구동률의 출력 토크를 비슷하게 유지한다.

그림 7은 본 연구에서 도출한 인발력 분배 제어를 위한 제어기 구성도를 나타내는 것으로서, 우선 각 구동률의 속도 설정치는 주변의 선속도를 일정하게 하기 위하여 연주기의 곡률 반경과 롤 갭(상부롤과 하부롤

표 1 인발력 분배 원리

Table 1 Principle of withdrawal force distribution

$\tau_m > \tau_s$	$w_s^*, v_s^* \uparrow \gg w_s, v_s \uparrow \gg$
일 경우	$\tau_m \downarrow, \tau_s \uparrow (\text{until } \tau_m \approx \tau_s) \gg f_{ms} \uparrow$
$\tau_m < \tau_s$	$w_s^*, v_s^* \downarrow \gg w_s, v_s \downarrow \gg$
일 경우	$\tau_m \uparrow, \tau_s \downarrow (\text{until } \tau_m \approx \tau_s) \gg f_{ms} \downarrow$



•ASR : Automatic Speed Regulator •ACR : Automatic Current Regulator
•Vcast : Casting Speed •N : Driven Roll Speed •R : Resolver

그림 7 본 연구에서 제시한 인발력 분배 제어를 위한 제어 블록다이어그램

Fig. 7 Block diagram for the proposed load sharing control

과의 거리) 정보, 구동률의 반경과 감속기 정보를 이용하여 상위 제어기에서 결정한다. 그리고 인발력 분배 비율도 각 구동률의 반지름과 감속기 정보를 이용하여 상위 제어기에서 결정하게 된다.

그 후 인발력 분배 제어를 실시할 구동률 전동기의 토크분 전류를 모두 인발력 분배 제어기인 상위 제어기로 전송하면 마스터 구동률의 토크분 전류와 각 슬레이버 구동률의 토크분 전류를 상호 비교하여 그 차이를 인발력 분배 제어기(PI 제어기)의 입력으로 하고, 인발력 분배 제어기의 출력은 제한치(limit)를 통과하여 상위 제어기에서 결정한 속도 설정치와 함께 각 구동률의 속도 제어기(ASR)에 입력되어 표 1에서 보여진 원리에 따라 인발력 분배가 이루어지게 된다.

한 가지 유의할 점은 연속 주조 프로세스에서 주조 속도 변동은 주변의 품질에 영향을 미치는 주형 레벨

제어 및 2차 냉각수 제어에 영향을 미치므로 주조 속도 설정치에 대한 제한치를 적절하게 조절하여 인발력 분배가 이루어지는 동안 주조 속도 변동을 최소화할 필요가 있다.

5. 실 험

5.1 실험 장치 및 구성

표 2는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 실험에 사용된 설비의 사양을 나타내는 것으로 모든 스트랜드 구동롤은 11kW 유도전동기에 의해 구동되며, 각 구동롤의 감속 기어비와 롤 반지름 비율이 2.73~2.80로 거의 일정하게 설계되었다. 그리고, 주형 직하에는 응고되는 주편의 응고셀이 매우 얇기 때문에 구동롤 1번과 2번은 인발력 분배 알고리즘에서 제외했으며, 연주기 상부에 존재하는 구동롤 3번부터 21번까지에 대해서 적용하였다.

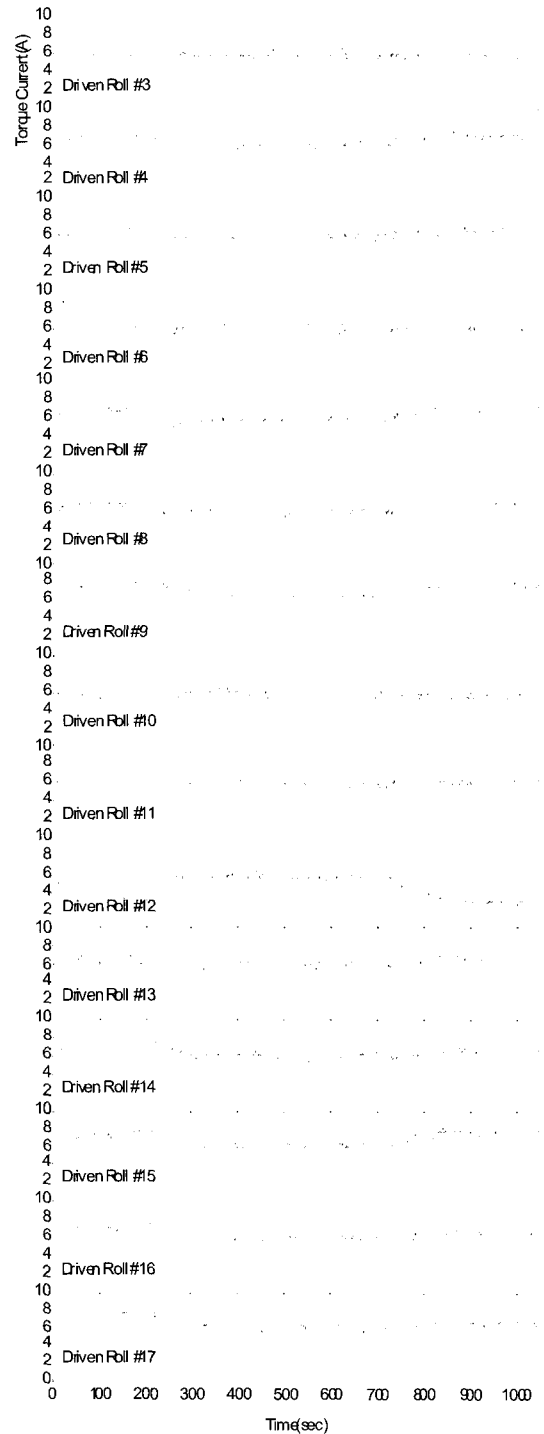
표 2 기계 장치 및 설비 사양
Table 2 Specification of mechanical device

전동기	유도기 정격 출력 : 11kW 정격 속도 : 1800rpm 정격 전압 : 440V 정격 전류 : 21A
감속기어비	구동롤 1-2 : 350.27 구동롤 3-7 : 367.69 구동롤 8-21 : 395.45
롤 지름	구동롤 1-2 : 250mm 구동롤 3-7 : 270mm 구동롤 8-21 : 285mm
구동롤 사이의 거리	L1,2 : 1.457m L2,3 : 1.510m L3,4 - L6,7 : 1.561m L7,8 : 1.597m L3,9 : 1.625m L9,10 - L20,21 : 1.950m

5.2 실험 결과

그림 8과 9는 주편 폭 1050mm, 주편 두께 230mm를 대상으로 본 논문에서 제시한 인발력 분배 제어 알고리즘을 적용하기 전후의 토크분 전류와 주조 속도, 주형 레벨의 실험 파형을 나타내는 것으로, 주조 속도 설정치는 1.51mpm으로 일정하게 유지함과 동시에 마스터(master) 구동롤은 부하배분을 실시하기 전의 전체 구동롤 전동기의 토크 전류 평균치와 비교적 가까우면서 연주기 출구 측에 있는 19번을 지정하여 시간 223초부터 727초 사이에 인발력 분배 알고리즘을 적용하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 인발력 분배 제어

를 실시하지 않았을 경우에는 각 구동롤의 토크분 전류의 크기는 각각 다르지만 인발력 분배 알고리즘을 적용하면 마스터 구동롤의 토크분 전류와 각 슬레이버 구동롤의 토크분 전류 크기가 비슷한 크기로 서로 추종하면서 인발력 분배 제어가 수행됨을 알 수 있다.



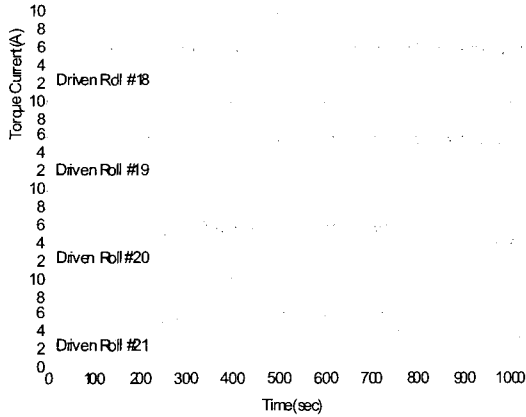


그림 8 각 구동롤의 토크 전류
Fig. 8 Torque currents of strand driven roll

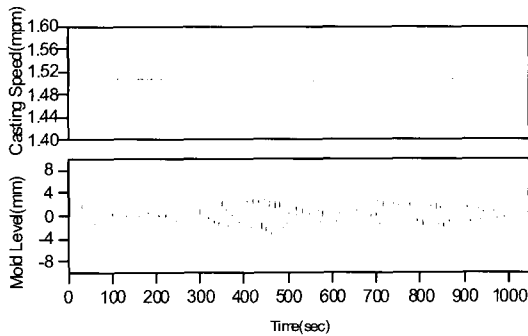


그림 9 주조 속도와 주형 레벨
Fig. 9 Casting speed and mold level

그림 9는 주조 속도 변동과 주형 레벨 변동과의 관계를 보여주기 위하여 도시한 것으로, 인발력 분배 제어 모드로 전환되는 순간 주조 속도 변동이 $\pm 0.1\%$ 로부터 $\pm 0.3\%$ 로 약간 증가되었으나, 그 영향이 인발력 분배 제어 모드 이전의 주형 레벨 변동과 비교하면 추가적인 악영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

그림 10은 실험 조건에 따른 각 구동롤의 인발력 분포를 나타내는 것으로서, 인발력 분배 제어를 실시하지 않고 속도 제어만 실시한 경우와 주조 속도 설정치의 변동율을 1/100과 1/150으로 각각 제한하여 인발력 분배 제어를 실시한 경우이다. 인발력 분배를 실시하지 않을 경우에 각 구동롤에 인가되는 인발력의 분포는 매우 불규칙적이거나 인발력 분배 알고리즘을 적용하였을 경우는 상대적으로 매우 규칙적인 인발력 분포를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 하지만, 언벤딩(unbending) 위치에 존재하는 9번 구동롤의 토크분 전류와 주조속도 변동율을 1/150로 제한하였을 때의 15번 구동롤의 토크분 전류는 인발력 분배 제어를 실시

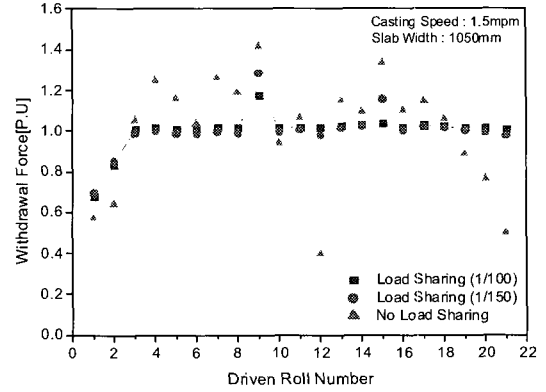


그림 10 광양 1연주공장 4연주기 구동롤의 인발력 분포
Fig. 10 Withdrawal force of driven roll in Kwangyang 1CCP 4CCM

하였음에도 불구하고 인발력이 적절하게 분배되지 못하였다. 이와 같은 문제는 주조 속도 설정치의 변동율을 충분히 크게 설정하여 인발력 분배 제어를 실시하면 완전한 인발력 분포가 이루어지겠지만 주조 속도 지령값의 변동율을 너무 크게 설정하면 그림 9에서와 같이 주조 속도의 변동이 증가하여 주형 레벨 제어에 악영향을 미쳐 주편의 품질을 저해할 수 있으므로, 적절한 범위에서 조정하여야 할 것으로 판단된다.

6. 결 론

연속주조 프로세스는 속도 제어모드로 운전하는 연속 구동 시스템으로 제철공정에서 제품의 품질을 결정하는 매우 중요한 프로세스이다. 본 논문에서는 주편의 내부 품질 향상에 긍정적인 효과를 제공하는 스트랜드 구동롤의 제어기술에 관해 연구하였으며, 이를 위해 먼저 기존 연주기를 대상으로 구동롤의 인발력 분포와 주편 품질과의 상관 관계를 도출하였으며, 주조 중에 연속적으로 인발력을 분배할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 인발력 분배 알고리즘의 원리는 각 구동롤 전동기의 절대적인 토크를 제어하는 것이 아니라, 상위제어기에서 결정한 인발력 분배 비율에 따라 각 구동롤 전동기의 토크분 전류를 상호 비교하여 속도 설정치를 조정함으로써 이루어진다. 그리고 제안한 인발력 분배 알고리즘의 동작확인을 위해 광양제철소 1연주공장 4연주기에 적용하여 양호한 결과를 확인하였다.

향후에는 주조 중에 연속적으로 롤 갭(roll gap)이 변경되는 동안 안정적인 인발력 분배가 이루어질 수

있는 알고리즘에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 谷川完士 외 6명, "Development of Continuous Torque Control Casting for High Speed Casting", CAMP-ISIJ Vol. 6, p. 1120, 1993.
- [2] Davy Distington Limited, "광양 1연주공장 4연주기 Electrical Equipment Requirement", 1995.
- [3] 송승호, 설승기, "연속 부하 분담 제어를 이용한 연속 구동 시스템의 속도 및 장력 제어 특성 개선", 전기학회 논문지, 48B권 9호, pp. 503~509, 1999.
- [4] 송승호, 설승기, "장력 관측기를 이용한 폴림롤/감김롤의 장력제어", 전기학회 논문지, 49B권 1호, pp. 62~69, 2000.
- [5] 이정욱, 최창호, 현동석, "연속 공정 라인의 실시간 마찰 손 보상을 통한 장력 제어 특성 개선", 전기학회 논문지, 49B권 10호, pp. 701~707, 2000.
- [6] 송승호, "연속 공정용 진동기 구동장치를 위한 통합형 토크 및 속도제어 알고리즘", 전력전자학회 논문지, 제7권 2호, pp. 186~193, 2002.
- [7] 권병기, 최창호, 현동석, "연속공정라인에서 벡터제어용 유도전동기의 오프라인 파라미터 추정", 전력전자학회 논문지, 제5권 1호, pp. 88~94, 2000.
- [8] Seung-Ho Song and Seung-Ki Sul, "A New Tension Controller for Continuous Strip Processing Line", IEEE Trans. on Industry Applications Vol. 36, No. 2, pp. 633~639, 2000.
- [9] Seung-Ho Song and Seung-Ki Sul, "Design and Control of Multi-span Tension Simulator", IEEE Trans. on Industry Applications Vol. 36, No. 2, pp. 633~639, 2000.
- [10] 김대일, 신명호, 현동석, "속도센서가 없는 유도전동기의 고정자자속 기준제어를 위한 강인한 속도제어기 설계", 전력전자학회 논문지, 제7권 6호, pp. 531~536, 2002.



김철우(金喆禹)

1942년 12월 5일생. 1969년 부산대 전기공학과 졸업. 1974년 일본 전기통신공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동경공업대 전기전자공학과 객원교수. 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 부산대 전자전기통신공학부 교수. 당 학회 자문위원.

저 자 소 개



천창근(千昌根)

1968년 2월 29일생. 1993년 부산대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~현재 포항산업과학연구원 선임연구원.