

연속주조기에서 Driven Roll Motor의 Load Sharing 제어

천창근*, 신 건*, 김철우**
*포항산업과학연구원, **부산대학교

Load Sharing Control of Driven Roll in Continuous Caster

Chun Chang Keun, Shin Geon, Kim Cheul U
Research Institute of Industrial Science & Technology, Pusan University

ABSTRACT

As the modern technology of continuous casting plant is focused on improvement of slab quality, the control system of strand driven roll which has positive effect is investigated in this paper. An irregular distribution of withdrawal force gives rise to horizontal crack in high and middle grade carbon steel. Based on the basic understanding on design concept of high technology company, monitoring the withdrawal force distribution of strand driven roll and analysis of the control system was performed at continuous casters of POSCO. The control algorithm of withdrawal force distribution for A.C motor vector control, which was derived from above study and had been applied for POSCO Kwangyang 1-4 continuous casting plant, is presented.

1. 서 론

연속주조설비에 있어서 strand driven roll은 operator가 설정한 속도 제어 패턴에 따라 mold에서 주편을 인발하는 기능을 수행하며, 그림 1과 같이 strand의 상부 또는 상, 하부에 고르게 분포되어 있는 것이 일반적인 구조이다.

기존 설비에는 AC motor에 비해 비교적 속도 제어가 용이한 DC motor를 사용하며, 통상 8~10개의 motor를 하나의 제어 group으로 설정하여, thyristor converter 1개로 병렬 제어하는 것이 대부분이었다. 하지만, DC motor의 단점과 AC 모터의 제어기술 발달로 최근 POSCO의 신설 및 합리

화되는 설비에는 AC variable vector control 시스템을 적용하는 경우가 대부분이다.

한편, 연속주조 설비의 최근 특징은 주편의 품질 향상에 적극적인 초점을 맞추고 있으므로, strand driven roll 제어도 점차 고정도의 속도제어 뿐만 아니라 주편의 품질 향상을 위한 인발력 균등 분포 제어가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 선진 제철소에서 추구하고 있는 strand driven roll의 제어기술 방향을 조사하고, 현재 POSCO에 설치되어 있는 각 연주기의 strand driven roll 시스템 현황 및 특성을 조사하여 상호 비교 분석하고자 한다. 그리고, 최근에 신설된 광양제철소 1연주공장 4연주기의 strand driven roll 제어시스템을 대상으로 본 연구에서 제안한 AC motor vector 제어에 있어서 주조 중 연속적으로 인발력을 분배할 수 있는 제어 알고리즘을 제시하고 현장 적용을 통하여 검증하고자 한다.

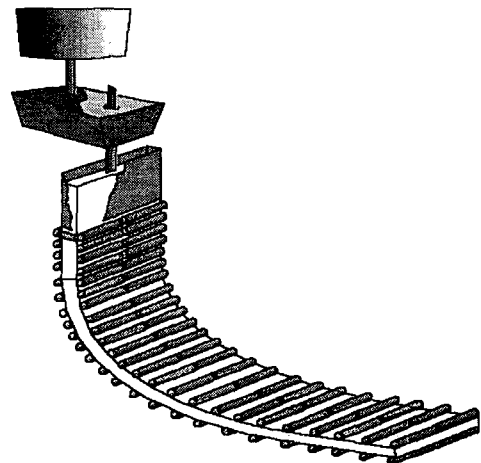


그림 1 연속주조기의 일반적인 구성도
Fig. 1 Typical Continuous Casting Machine

2. Driven roll 제어 현황 및 load sharing

2.1 加古川(Kakokawa) 제철소의 기술 동향

대부분의 연주기와 같이 일본의 加古川 제철소에서 처음에는 strand driven roll의 등속 제어를 실시하였다. 그러던 중에 중탄소강의 고속 주조 시 strand driven roll의 토크를 on-line으로 측정하여 본 결과, 그림 2와 같이 strand의 만곡 부위 근처 즉, bending 부분과 unbending 부분 사이에서 가끔 부분적으로 (-) 부하가 인가되는 등 매우 불규칙한 토크 분배가 발생한다는 사실을 발견하였다.

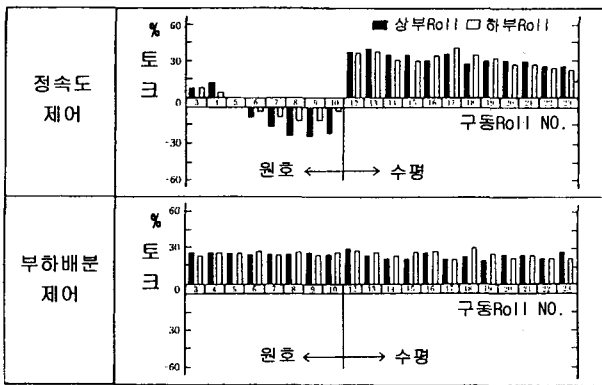


그림 2 加古川 제철소의 Driven Roll 제어 현황
Fig. 2 Driven roll control in Kakokawa works

그래서 3차원 변형해석을 실시한 결과, driven roll 상호간의 불균등한 인발력 분포가 주편 내부의 변형을 증대시켜 horizontal crack을 야기시킨다는 사실을 발견하였다. 그리고, 이러한 결함은 주편을 강 냉각하였을 경우 더욱 심화되어, 주조속도를 증가하는 데 있어서 결정적인 장애요인이라는 사실을 알게 되었다.

그 후, 加古川 제철소에서는 strand driven roll에 걸리는 인발력을 개별 strand driven roll에 일정하게 분배될 수 있는 제어방식을 적용한 결과, horizontal crack 이 1/4정도 감소한 결과를 얻을 수 있었다고 한다.

2.2 POSCO driven roll 제어 현황

2.2.1 포항 3연주공장 현황

포항 3연주공장 3연주기의 strand driven roll은 그림 3에서와 같이 strand 상부와 하부에 각각 12개씩, 4연주기는 13개가 mold 하부에서부터 연주기 출구까지 고르게 분포하여 설치되어 주편을 인발하는 구조로 되어있다.

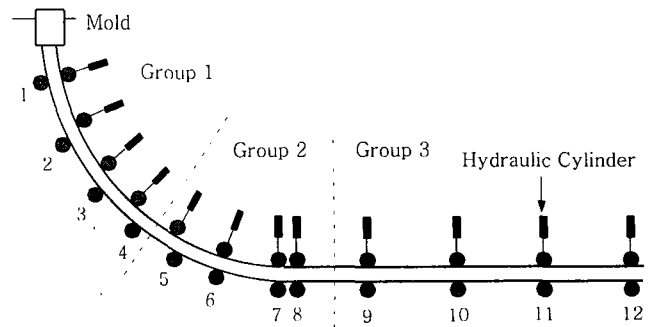


그림 3 포항 3연주공장 driven roll 구조
Fig. 3 Geometry of driven roll in Pohang 3CCP

그림 4는 포항 3연주공장의 strand driven roll motor의 제어 block diagram을 나타내는 것으로서, separated DC motor 8개를 1개 group으로 하는 전형적인 DC motor의 group 제어 형태를 가지고 있다.

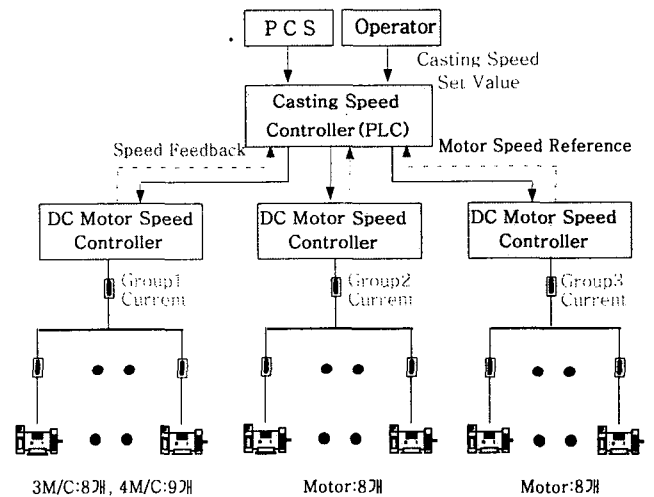


그림 4 포항 3연주공장 driven roll 제어 블록도
Fig.4 Configuration of driven roll controller in Pohang 3CCP

포항 3연주공장 3연주기의 strand driven roll 제어 시스템은 주조 속도 제어기만 구축되어있어 정상 상태에 도달하면 속도 오차가 $\pm 0.2\%$ 로 양호한 속도특성을 보였으며, 4연주기의 경우 주조 속도 제어에 부가적으로 각 group의 전류 편차가 25%를 벗어나면 주조속도 reference를 강제적으로 up 또는 down하여 group 전류가 일정 범위 내로 유지될 수 있도록 제어하고 있었으며, 정상 상태 속도 오차가 비교적 큰 $\pm 1.38\%$ 로 제어됨을 관측할 수 있었다. 또한, 인발력 분포를 측정하여 본 결과, 그림 5와 같이 상부 roll 및 하부 roll에 작용하는 인발력이 매우 불규칙하게 분포되는 것을 알 수 있었다.

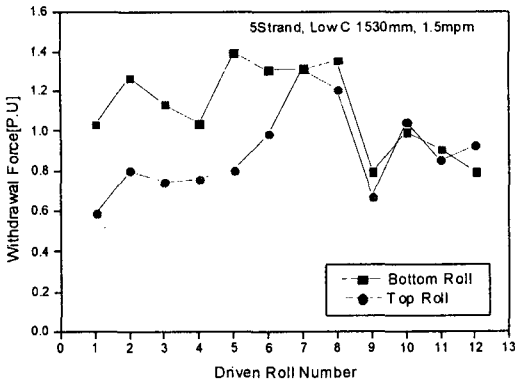


그림 5 포항 3연주공장 driven roll 인발력 분포
Fig. 5 Withdrawal force of driven roll in Pohang 3CCP

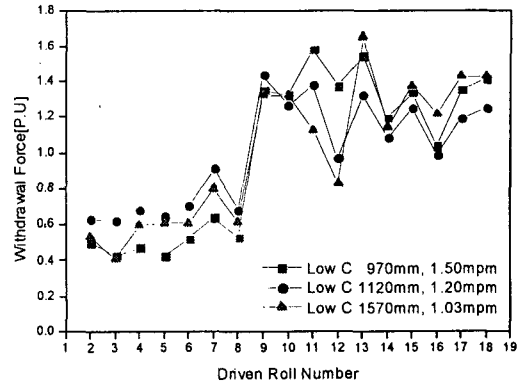


그림 7 광양 1연주공장 driven roll 인발력 분포
Fig. 7 Withdrawal force of driven roll in Kwangyang 1CCP

2.2.2 광양 1연주공장 현황

광양 1연주공장의 strand driven roll은 그림 6과 같이 strand 상부에 고르게 분포되어있으며, 제어는 포항 3연주공장과 같이 DC motor의 group 제어를 실시하고 있었다.

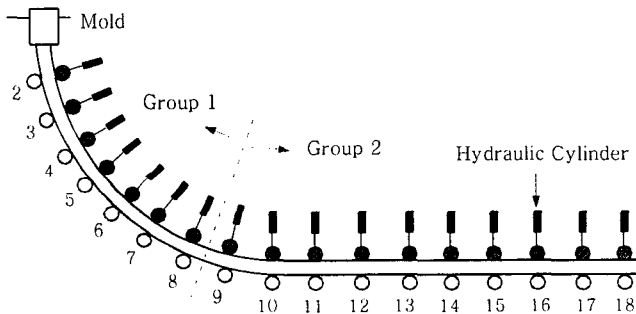


그림 6 광양 1연주공장 driven roll 구조
Fig. 6 Geometry of driven roll in Kwangyang 1CCP

광양 1연주공장의 strand driven roll도 그림 6과 같이 driven roll 2~8까지를 하나의 제어 group, driven roll 9~18까지를 또 다른 제어 group으로 하는 DC motor의 group제어를 실시하고 있다. 포항 3연주공장 3연주기와 같이 주조 속도만을 제어할 수 있도록 구축되어 있었으며, 주조속도가 목표 속도에 도달한 후 motor의 속도를 측정해 본 결과 속도 오차가 약 $\pm 0.4\%$ 로 비교적 양호한 특성을 나타내고 있었다. 하지만, 인발력 분포는 그림 5와 같이 group 1에 속하는 motor의 인발력 값이 group 2에 속하는 motor의 인발력 값에 비해 현저하게 작게 나타나거나, 생산하는 주편의 주조 조건과 같은 부하상태에 따라 group 1에 포함되어 있는 unbending구간의 몇몇 motor들이 가끔 부(-)의 인발력을 발생하였다.

그래서 본 연구팀에서는 주어진 시스템에서 인발력을 균등하게 분배하기 위하여 group 1에 속하는 motor의 속도 reference를 group 2 motor의 속도 reference를 강제적으로 조금 크게 설정하고 group 1 및 2에 속하는 motor의 field 전류를 개별적으로 약간 조정하여 group 1과 group 2에 인가되는 인발력 분포를 고르게 동작될 수 있도록 하였다. 그리고, 주편 품질을 분석한 결과, 중·고탄소강의 코너 크랙 발생률을 25.9%에서 16.3%로 감소됨을 알 수 있었다.

2.3 인발력 분배 알고리즘 적용

광양 1연주공장 4연주기는 POSCO에서 가장 최근에 신설한 연주기로서, strand driven roll 구조는 그림 8에서와 같이 상부에 규칙적으로 분포되어 있다. 또한 기존 연주공장의 제어시스템과는 달리 vector drive를 적용한 AC motor를 각 driven roll에 부착하여 개별 제어를 실시하고 있기 때문에 주조 중에 운전자가 원하는 인발력 분배 패턴을 구현할 수 있는 구조이다.

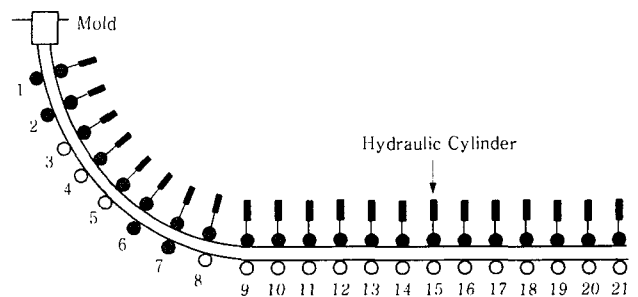


그림 8 광양 1연주공장 4연주기 driven roll 구조
Fig. 8 Geometry of driven roll in Kwangyang 1/4CCM

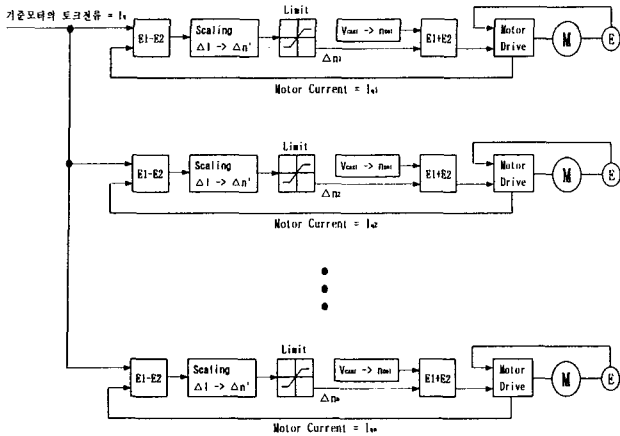


그림 9 제안한 인발력 분배 알고리즘의 구성도
 Fig. 9 Configuration for the proposed load sharing controller

그림 9는 본 연구에서 적용한 인발력 분배 제어를 위한 전체 구성도를 나타내는 것으로서, 모든 strand driven roll이 동일한 힘으로 주편을 인발하기 위하여 전체 driven roll motor 중 1개의 driven roll motor를 기준 motor로 선택한다. 그리고, 3상 AC motor vector 제어에 있어서 토크에 관계되는 전류는 q상 전류이기 때문에 driven roll motor의 q상 전류 모두를 상위 제어기인 PLC로 feedback 받아 기준 motor의 토크 전류와 나머지 driven roll motor의 토크 전류를 비교하여 그 차이에 해당하는 양에 비례하여 주조속도 reference를 조금씩 up-down하여 전체 인발력을 고르게 분배하는 방식이다.

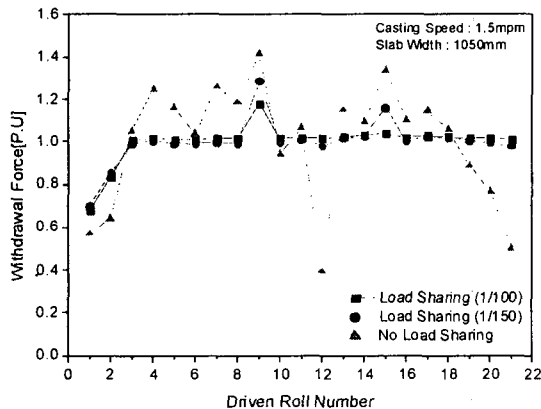


그림 10 광양 1-4연주기 driven roll 인발력 분포
 Fig. 10 Withdrawal force of driven roll in Kwangyang 1CC 4CCM

그림 10은 본 논문에서 제시한 인발력 분배 제어 알고리즘을 적용하여 현장 시험한 결과를 도시한

것으로서, 인발력 분포제어를 실시하지않고 속도 제어만 실시한 경우와 속도 reference 변동율을 1/100과 1/150으로 각각 제한하여 인발력 분포제어를 실시한 경우에 인발력을 측정하였다. 부하배분을 실시하지 않을 경우에 각 segment driven roll에 인가되는 인발력의 분포는 매우 불규칙적이거나 부하배분 알고리즘을 적용하였을 경우는 상대적으로 매우 규칙적인 인발력 분포를 나타내고 있다. driven roll 1과 2번에 발생하는 인발력은 부하배분 알고리즘을 적용하기 전후에 변화가 없는 것으로 보이는 데, 그 이유는 driven roll 1과 2는 주조 중에 주편의 rolling을 방지하기 위하여 roll 압하를 실시하지 않아 부하 배분을 적용하지 않았기 때문이다. 또, 9번과 15번 roll에서 불완전한 인발력 분포를 나타내는 것은 속도 지령값의 변동율을 너무 작게 설정하였기 때문인 것으로 추정된다. 이와 같은 문제점은 주조 속도 지령값의 변동율을 크게 설정하면 해결할 수 있지만, 주조 속도 지령값의 변동율을 너무 크게 설정하면 실제 주조 속도가 많이 변동하여 mold level hunting에 악영향을 미칠 수 있으므로 주의하여야 한다.

3. 결 론

최근의 연속주조 설비의 특징이 주편의 품질 향상에 적극적인 초점을 맞추고 있으므로, 본 논문에서는 주편의 품질 향상에 긍정적인 효과를 제공하는 strand driven roll의 제어기술에 관해 연구하였다. 본 연구에서는 현재 POSCO에 설치되어 있는 각 연주기의 strand driven roll 제어시스템 현황 및 특성을 상호 비교 분석하였으며, strand driven roll motor의 토크 전류 측정을 통하여 인발력 분포를 측정하였다. 그리고, 광양제철소 1연주공장 4연주기의 strand driven roll 제어시스템을 대상으로 주조 중 연속적으로 부하를 분배할 수 있는 제어 알고리즘을 도출하여 현장 적용하였다.

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, pp. 1120, 1993.
- [2] Bimal K. Bose, "Power Electronics and Variable Frequency Drivers" pp. 209-269, 1997
- [3] Davy Distington Limited "광양 1연주공장 4연주기 Electrical Equipment Requirement", 1995.
- [4] 송승호, 설승기, "연속 부하 분담 제어를 이용한 연속 구동 시스템의 속도 및 장력 제어 특성 개선" 전기학회 논문지, 48B권 9호, pp. 503-509, 1999, October.