

선재압연에서의 소재선단 미수냉부 발생원인 규명

손봉호*, 유재상
포항종합제철 기술연구소 계측제어연구그룹

Investigation of the Causes of Uncooled Region Induced at Top End in Wire Rolling Process

Boong-Ho Son*, Jea-Sang Yoo
Instrumentation & Control Research Group, POSCO

Abstract - In order to reduce the trimming loss for water cooling zone next to finishing block mill in wire rolling, the operational data related to the crop length control of uncooled region was acquired and analyzed. The time deviation of water cooling spray nozzles and the immoderate preset length of uncooled wire rod result in the excessive trimming loss. Therefore, the preset length of uncooled wire rod at each cooling zone are established. The test results of #3 wire rolling mill turned out to be good enough to be expected to increase the ratio of products about 0.15% and establish operational standards of cooling zone.

1. 서 론

선재압연공정에 있어서 사상압연 출측의 수냉대 냉각 설비는 연속압연으로 인해 상승한 소재온도를 적절한 범위로 냉각함으로써 다음 공냉공정의 제어냉각을 원활하게 하기 위한 것이다. 수냉대는 통상 수십 m로 길이가 한정되어 있어 고속으로 통과하는 소재에 대한 충분한 냉각능을 확보하기 위해 고압의 냉각수를 사용한다. 소재가 통과하기 전에 냉각수를 분사하는 것은 Cobble 발생의 원인이 되므로 소재 선단부가 통과하자마자 수냉을 시작하는 것이 최선이며, 이런 과정에서 수냉되지 않는 선단부, 즉 미수냉부가 발생하게 된다. 미수냉부는 재질특성이 떨어지기 때문에 최종 정정라인에서 절사하게 되는데 이 Trimming량이 선재 실수를 저하의 주요 요인 중 하나가 되며, 일본 선전제철소 대비 그 발생량이 2배 이상 높은 실정으로 개선이 요구된다.

미수냉부 발생에 영향을 미칠 수 있는 주요 인자로는 HMD 반응오차, 등가거리에 의한 오차, 잘못된 속도기준값의 사용, 기계적 동작지연 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 미수냉부 발생량을 최소화할 목적으로 POSCO 3선재공장을 대상으로 이러한 관련인자들의 영향도를 정확히 파악하고자 하였다. 이를 위해 사상압연 전후 공정에서 소재 선단부의 통과여부를 계측할 수 있는 선형 광센서와 밸브의 동작지연을 계측할 수 있는 유압센서를 각 수냉대에 추가로 설치하였으며, 이와 함께 기존 제어 시스템인 PLC와의 Interface를 통해 미수냉부 제어와 관련된 각종 변수값을 동일 시점을 기준으로 하여 획득할 수 있는 시스템을 개발하였다. 제품 Size별로 개발시스템에 저장된 각종 인자들의 시계열적 변화상태를 종합적으로 분석하여 미수냉부 발생원인을 명확히 규명함으로써 그 감소방안을 도출하였으며, 이를 통해 Trimming Loss 감소에 의한 제품실수율 향상, 조업 안정화 등에 기여하고자 한다.

2. 본 론

2.1 수냉대 설비현황

POSCO 3선재공장 수냉대 제어와 관련된 사상압연기 전후 설비의 배치현황을 그림 1에 보인다. 중간사상 출측(#19 STD)에서 L/H까지의 총길이는 81m 정도이며, 사상압연기(NTM) 입측에 있는 19L HMD가 미수냉부 길이를 제어하기 위한 기준신호로 사용된다.

사상압연기 출측에 있는 수냉대는 약 10m 간격으로 배치된 4개의 Zone으로 구성되며, 1A&1B, 2, 3으로 구분된 3개의 밸브(Primary Valve)에 의해 제어된다. 각 Zone은 작업조건에 따라 작업자가 사용여부를 선택하는 3개의 2차영역으로 구분되며, 이들 영역은 총 12개의 Secondary Valve에 의해 냉각수 분사여부가 결정된다.

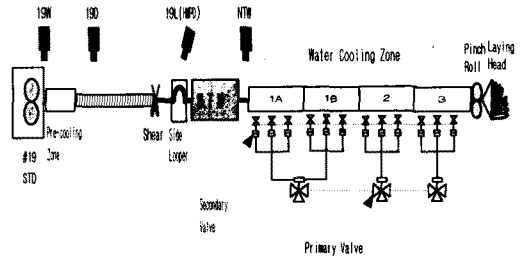


그림 1 3선재공장 수냉대 제어관련 설비 배치현황

2.2 미수냉부 제어 알고리즘

중간사상 최종 패스인 #19 스탠드를 빠져나온 소재는 그 선단부가 Shear에 의해 절단된 다음 Side Looper를 통과하게 된다(그림 1참조). 이 때 Side Looper 측면에 설치되어 있는 19L HMD(HMPD)가 이를 감지하게 되면, 이 신호를 기점으로 사상출측 HMD(NTW)가 소재를 감지할 때까지의 구간을 모터 PLG에 의한 실측거리 또는 도표상의 등가거리로 변환하고 여기에 NTW로부터 각 수냉 Zone까지의 실제거리와 작업자가 키보드로 입력한 각 Zone에 대한 미수냉부 설정길이를 합산하면 제어해야 할 총길이값이 각 Zone별로 구해진다. 이 길이값을 최종 스탠드 압연속도에 근거한 경과시간으로 변환하고 여기에 수냉대 밸브의 동작지연 감안시간(현재는 350 msec 사용) 제하면, 각 Zone별 Primary Valve 제어 시간이 구해진다. 그림 2는 MELPLAC 550에서 수행되는 현재의 미수냉부 제어 알고리즘을 Flowchart 형식으로 개략적으로 정리한 것이다.

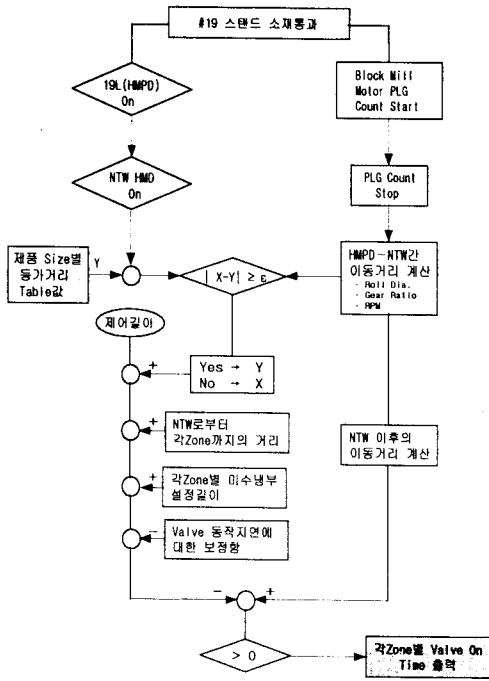


그림 2 MELPLAC 550 PLC에 의한 미수냉부 제어 알고리즘

이러한 제어로직에 있어서 미수냉부 발생에 영향을 미칠 수 있는 주요 인자로는 HMD의 반응오차, 등가거리나 속도기준값에 의한 오차, 밸브 개폐의 기계적 동작오차 등을 들 수 있다.

2.3 수냉대 조업분석시스템 개발

수냉대 제어와 관련된 조업인자들의 상태를 감시하고 미수냉부 과다발생에 대한 원인을 규명하기 위해서 수냉대 조업분석 시스템을 설계, 제작하였다. 그림 3은 개발된 시스템의 MMI용 화면을 보인 것이다. HMD의 반응오차를 평가하고 소재선단부의 현재 위치를 보다 정확히 추적하기 위해서 5개의 선형 광센서를 배치하였으며, 4개 Zone으로 구성되는 수냉대 밸브의 동작지연은 유압센서를 이용하여 예측할 수 있도록 하였다. 이와 함께 기존의 HMD신호와 미수냉부 제어와 관련된 각종 신호들이 MELPLAC 550과 Interface되어 있어 동일 시점을 기준으로 이들 데이터들의 시계열적 분석이 가능하므로, 이런 과정을 통해 주요 인자들이 미수냉부 발생에 어느 정도 영향을 미치는지 정확히 파악할 수 있다.

2.4 미수냉부 과다발생 원인

수냉대 조업분석 시스템을 활용하여 2개월 이상의 실적데이터를 수집하고 이를 분석한 결과에 의하면, 사상압연기 입출측에서의 압연속도 변화, 등가거리를 이용한 PLC 제어로직, HMD 반응오차 등은 미수냉부 발생과 관련된 인자들이긴 하나 과다발생의 주된 요인으로 간주하기는 곤란한 것으로 조사되었다. 미수냉부 과다발생은 PLC 제어로직상 밸브지연 감안시간으로 사용되는 인자의 편차가 매우 심하다는 사실에 기인하는 바가 큰 것으로 밝혀졌다. 이 시간은 PLC로부터의 제어신호 출

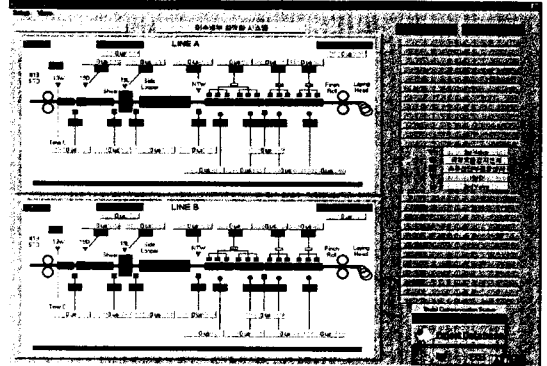


그림 3 미수냉부 제어관련 조업상태 감시용 MMI 화면

력후 노즐을 통해 냉각수가 분사될 때까지의 시간을 의미하는 것으로, PLC On신호에 의해 3-Way밸브가 동작할 때까지의 시간과 밸브동작 후 실제로 냉각수가 분사될 때까지의 시간이 합해진 것이다. 표 1은 PLC 제어신호 출력후 3-Way 밸브 동작시까지의 시간을, 표 2는 밸브동작후 실제 노즐로 물이 분사될 때까지의 시간을 각 Zone별로 정리한 것이다. 3-Way 밸브가 동작하는데 걸리는 시간은 어느 Zone에서나 비교적 일정한 편이나 밸브동작 후 냉각수가 분사되는 시간은 1, 2, 3 Zone으로 진행할수록, 즉 Laying Head에 가까워지는 Zone일수록 평균 지연시간이 증가할 뿐만 아니라 최대 및 최소값의 편차도 심해짐을 알 수 있다. 이는 배관라인의 구조와 배치상태에 기인하는 것으로 미수냉부 과다발생의 주요인이 된다. 이로 인해 조업자들이 수냉대에서의 Cobble 발생을 우려한 나머지 미수냉부 길이를 크게 설정하게 되는 경향이 있다.

표 1 PLC 제어신호 출력후 3-Way밸브 동작시까지의 시간

구분	A라인 (msec)			B라인 (msec)		
	1 Zone	2 Zone	3 Zone	1 Zone	2 Zone	3 Zone
최소	96.3	118.8	89.8	83.4	105.6	102.5
평균	113.4	140.0	101.8	102.0	108.8	113.3
최대	132.9	168.5	114.0	109.6	116.4	121.8

표 2 PLC 제어신호 출력후 3-Way밸브 동작시까지의 시간

구분	A라인 (msec)			B라인 (msec)		
	1 Zone	2 Zone	3 Zone	1 Zone	2 Zone	3 Zone
최소	10	30	270	40	40	110
평균	80	210	370	150	200	320
최대	640	370	820	300	400	750

2.5 미수냉부 감소방안 현장적용 테스트

앞절에서 언급한 바와 같이, 3-Way밸브 동작후 노즐에서 냉각수가 분사될 때까지의 시간편차가 미수냉부 과다발생의 가장 주된 요인이다. 이것은 현재와 같은 밸

브위치와 배관구조를 갖는 설비여건에서는 감소할 수 밖에 없는 문제로 밝혀졌다. 관련분야 전문가들의 기술자문에 따르면, 밸브와 노즐사이의 거리를 가능한 한 짧게 하는 것이 이런 시간편차를 줄이는 최선의 대책이라고 조언하고 있다. 그러나 이 문제를 해결하기 위해서는 밸브위치 및 배관라인의 변경과 같은 설비 개조공사를 수반하므로 상당한 시간이 걸린다. 이런 여건을 고려하여 여기서는 Cobble 발생우려로 인해 충분히 큰 값으로 입력하는 미수냉부 설정길이를 적정값으로 조정하는 감소방안을 제시하고 이를 우선 실조업에 적용하는 실험을 실시하였다. $\phi 5.5\text{mm}$ 제품을 대상으로 실시한 미수냉부 설정길이 변경조건은 표 3에 정리된 바와 같다. 2 Zone의 설정길이를 변경하지 않은 것은 Test 대상강종이 해당 Zone의 수냉을 필요로 하지 않았기 때문이다. 한편, 그림 4는 미수냉부 설정길이 변경에 따른 적용효과를 정경라인에서 비교관찰한 것으로, Trimming 해야 하는 Ring수가 상당히 감소하였음을 알 수 있다. 이는 제품의 실수를 향상과 직결되는 결과로서, 적절한 미수냉부 설정길이의 적용만으로도 연간 0.15%의 실수를 증가 예상된다.

표 3 미수냉부 설정길이 변경의 현장Test 조건

제품Size ($\phi 5.5\text{mm}$)	미수냉부 설정길이 (m)		
	1 Zone	2 Zone	3 Zone
기 존	60	50	40
변 경	35	50	30

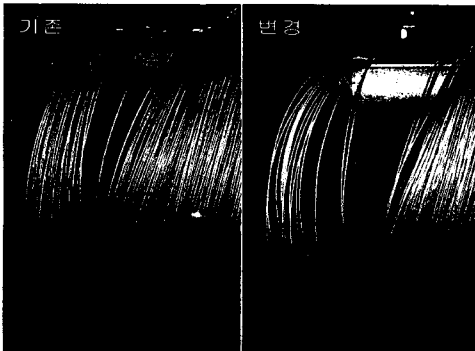


그림 4 미수냉부 설정길이 조정에 따른 적용효과

3. 결 론

포항제철 3선재공장 수냉대 냉각설비와 관련하여 미수냉부 발생의 감소방안을 도출하고 이를 실조업에 적용하기 위한 연구과제를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 선형 광센서 및 유압센서를 이용한 수냉대 조업분석 시스템을 통해 미수냉부 발생원인을 조사한 결과, PLC로부터의 제어신호에 의해 3-Way밸브가 동작한 다음 냉각수가 노즐로부터 분사될 때까지의 소요시간에 대한 편차가 심하고 그로 인해 조업자가 Cobble 발생을 우려하여 미수냉부 설정길이를 충분히 크게 입력하는데 기인하는 것임을 알 수 있었다.

나. 3-Way 밸브위치나 배관구조, 즉 기계적 요인에 의해 유발되는 시간편차는 현재의 여건과 같다는 전제하에서 조업자가 입력해야 하는 미수냉부 설정길이의 적정값은 다음과 같다.($\phi 5.5\text{mm}$ 제품인 경우)

제품Size ($\phi 5.5\text{mm}$)	미수냉부 설정길이 (m)		
	1 Zone	2 Zone	3 Zone
기 존	50 - 70	45 - 60	40 - 55
변 경	35	30	25

개발된 수냉대 조업분석 시스템은 현재의 조업상태를 판단하는 감시시스템으로도 지속적으로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 3선재공장에서 생산하는 제품Size 전체에 대한 현장Test는 현재 일정을 잡아 추진중에 있으며, 설비 개조공사는 현장에서 직접 계획을 수립하여 실시할 예정이다. 이러한 일련의 작업들이 진행되고 나면 미수냉부 Trimming량 감소로 인한 제품실수를 향상, 조업 안정화 등에 크게 기여할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1]일본철강협회:철강관람 제3판 III(2), 1980, p.891
- [2]Ueno Yasunaga, Masaki Hidenao, Abe Tamanori, Yamaguchi Kazuo, "Water Cooling Control System at Wire Rolling Works", Sumitomo Metals, Vol. 45, No. 4, 1983, pp.70-71
- [3]Hunger L., Novotny P., "Automated Wire Rolling Lines with Production Control", Wire World Int., Vol.27(1-2), 1985, pp.5-7
- [4]Eugene A. Avallone and Theodore Baumeister III: Standard Handbook for Mechanical Engineers, McGraw Hill, 1987, p.16-3
- [5]KEYENCE:센서·제어기기 Handbook, 1999-2000
- [6]포항제철(주), 손기문:"3선재 Booster 냉각능력 개선", 1997