

|||||
技術資料
|||||

슬래브 연속 주조기 설계기술의 개요

정영진 · 강기판* · 김영도** · 강충길†

An Introduction to Design Technology of Slab Continuous Casting Machine

Young-Jin Jung, Gi-Pan Kang*, Young-Do Kim** and Chung-Gil Kang†

1. 서 론

현재, 강의 연속주조에 있어서 220~350 mm의 슬래브를 제조하는 기존의 연속주조법에 비해 슬래브의 두께를 얇게 하는 박슬래브 연속주조에 대한 연구가 철강업계에서 활발히 진행되고 있다. 박슬래브 연속주조에서는 슬래브의 두께를 감소시킴으로써 주조속도의 고속화, 설비의 단축화 및 생산원가의 절감 등의 잇점을 얻을 수 있다. 그러나 연주기 설비의 설계를 위해서는 몰드에서부터 2차 냉각대의 전반에 걸친 해석적 기술과 실험 및 조업데이터가 확립되어야 독자적인 설계가 가능할 것이다. 그러나 현재까지는 국내에서 구축된 설계 데이터가 빈약하기 때문에 외국에 의존하고 있는 실정이다.

강의 생산은 1970년대 이후부터 생산성의 향상을 위해 연속주조법이 비약적으로 발전되었다. 연속주조를 사용하여 특히 최근에는 박판연속주조 및 고속연속주조가 중요한 과제로 대두되어 이의 설비를 위한 연구가 계속해서 진행중이다. 현재 국내에서도 설비비의 감소, 품질의 향상, 생산성향에 따른 원가절감, 설비의 편이성, 생산공정의 생략 및 에너지 절감 등의 이유 때문에 미니밀을 이용하여 판재를 생산하고 있다. 그러나 국내에서는 설비의 설계에 관해서는 연구 개발이 진행중에 있으나 선진사의 기술에 따른 설비의 일부만 도입에 따라 제작, 생산할 수 있는 정도이다.

특히 연주설비의 설계는 철강 판재를 성형하기 위한 설비에 소요되는 비용 중 많은 부분을 차지하고 있는 만큼 철강생산설비의 설계는 고부가가치 산업이라 할 수 있다.

그림 1은 연주기 설계에 있어서 설계 순서와 고려되어야 할 요소를 나타내고 있으며, roll geometry 설계를 위하여 다음 항목이 고려되어야 한다.

(1) 슬래브의 응고해석

응고해석을 통하여 응고완료점의 위치를 파악하여, 적절한 응고완료점의 위치 선정과 냉각조건을 결정하며 내부 결함 예측 및 벌징 해석에 기초자료로 활용된다.

(2) 벌징 및 변형률 계산

용강정압과 슬래브의 굽힘 및 교정에 의해 응고셀에 벌징변형 및 변형률이 발생하며, 변형률이 커질 경우 슬래브내에 크랙이 발생하여 응고셀이 터지거나 혹은 결함으로 남을 수 있으며, 특히 고속주조에서 두께 방향으로 작용하는 용강정압과 자중 및 굽힘에 의한 벌징현상이 큰 문제가 된다. 이로 인하여 내부 결함 및 중심편석은 슬래브의 내부 재질에 중대한 영향을 미치며 고속 연속 주조의 저해 요인이 되고 있다.

(3) 롤의 처짐량 계산

롤의 처짐이 심할 경우 소성변형이 발생하게 되어 롤의 수명이 짧아지게 되며, 또한 롤의 처짐은 응고셀의 변형에도 영향을 미치게 된다. 따라서 충분한 강성

부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Pusan National University)
*포항산업과학연구원 (Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang)
**동의공업대 컴퓨터응용설계과 (Department of Computer Applied Design, DongEui Institute of Technology)
†E-mail : cgkang@hyowon.pusan.ac.kr

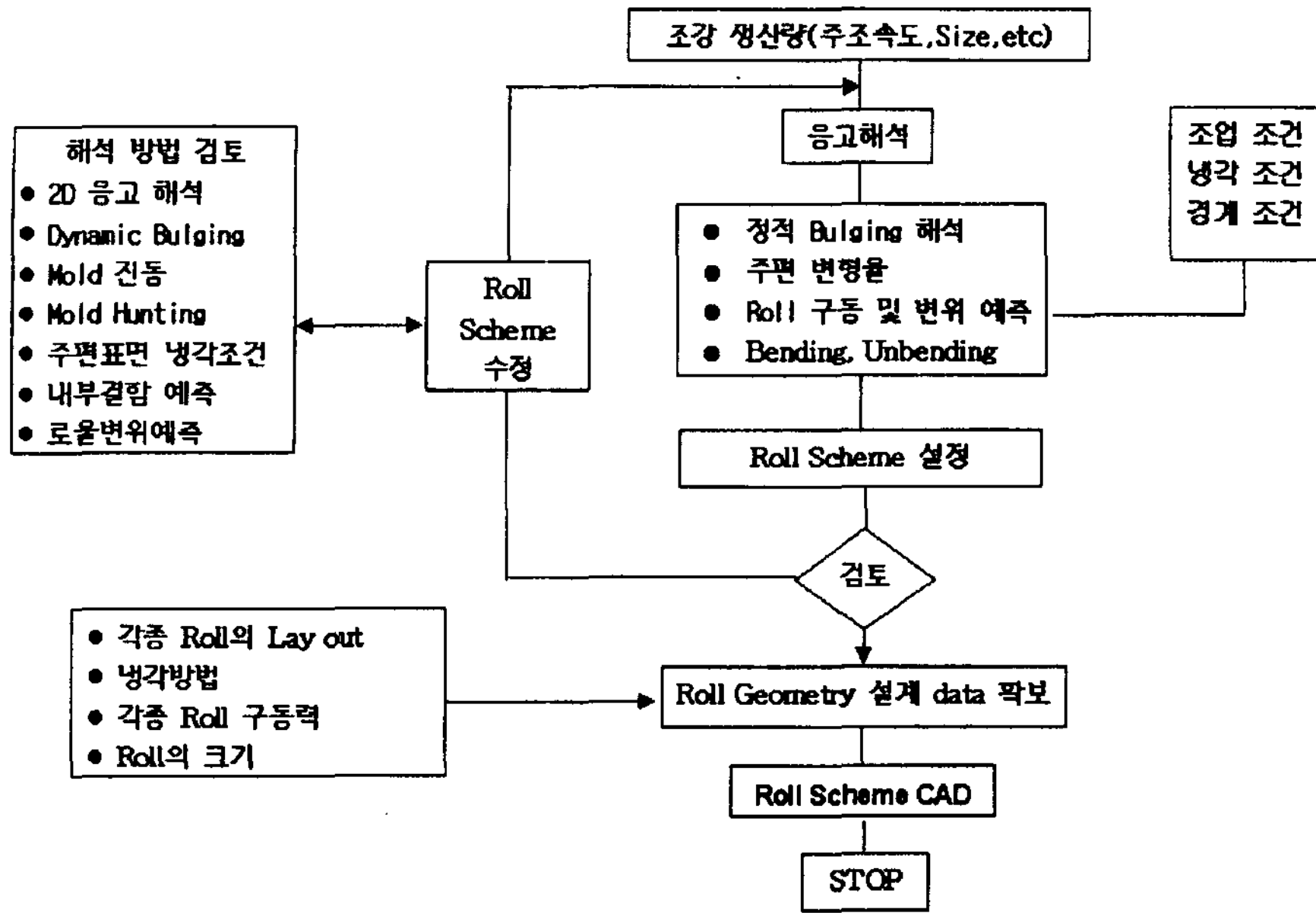


그림 1. Roll geometry 설계 순서.

을 갖는 롤의 형상 및 분할롤의 사용여부를 결정할 수 있다.

(4) 롤 구동력 계산

연주기에 있어서 여러 성분의 힘이 작용하기 때문에 슬래브가 인발될 때 저항력을 작용하는데 이것을 withdrawal force라고 하며 이 힘을 바탕으로 극한 조업조건에서 핀치 롤의 동력을 산출하여야 한다.

이와 같이 2차 냉각대에 있어서 파악되어야 할 부분들은 상호간에 테이터가 연관이 되어 있으므로 각각에 대하여 해석을 행하는 것은 의미가 없으며 전체적으로 통합하여 해석이 수행되어야 한다. 따라서 본 기술자료에서는 이상에서 설명한 해석 부분을 통합하여 roll scheme을 설계를 위한 기본적인 개념을 설명하고자 한다[1].

2. 해석법

(1) 슬래브의 응고해석

응고해석은 주로 1차원 해석과 2차원 해석 결과들이 많이 발표되어 있다. 그러나 연속 주조공정의 생산라인의 길이가 길기 때문에 2차원 해석을 할 경우 수 분 동안의 계산 시간이 필요하며, 특히 본 저자가 개발한 소프트웨어에서는 현장 작업자가 대화식으로 롤 배열

등의 설비 구조를 변경하는 것이 가능하므로 반복적으로 응고계산을 할 경우 계산시간이 많이 소요된다. 이와 같은 계산 시간을 줄이기 위해서 1차원 응고해석법을 사용하였다. 1차원 해석 결과의 타당성은 많은 연구에서 보고 된 바 있으며, 또한 슬래브의 기하학적인 형상이 두께에 비해 폭이 3배 이상일 경우 폭방향으로의 열전달은 무시한 1차원 해석만으로 충분한 결과를 얻을 수 있다[2]. 한편 일반적인 열전달 문제와는 달리 연속주조공정에서는 용탕을 응고시켜 고상인 슬래브를 제조하므로 상변환이 생기게 되며, 이와 같이 금속이 상변환을 할 때 응고잠열이 발생하게 된다. 따라서 응고잠열을 고려하기 위해 엔탈피법을 사용하여 응고현상을 고려하였다.

(2) 응고셀의 벌징 및 변형률 계산

응고중에 슬래브는 롤을 통하여 이송된다. 롤과 롤 사이에서 슬래브는 롤에 의해 지지되는 보로 볼 수 있으며, 응고셀은 슬래브 내에 용융상태로 있는 용강에 의해 압력을 받아 외부로 벌징변형을 하게 된다. 또한 응고셀은 롤에 의해 지지되므로 등분포하중을 받는 보로 취급하여 벌징과 변형률을 계산하였다.

(3) 롤의 처짐량 계산 : 롤은 슬래브를 지지하며 또한 용강정압에 의해 응고셀이 외부로 팽창하기 때문에 힘을 받게 된다. 롤은 베어링에 의해 지지되며 슬래브

로부터 힘을 받아 변형이 발생하므로 등분포하중을 받는 지지보로 가정하여 물의 처짐량을 계산하였다.

(4) 롤 구동력 계산 : 슬래브가 롤 사이를 지날 때 생기는 저항력을 계산하여 롤의 동력을 산출하였다.

3. Concept 설계에 필요한 구성요소

3.1 응고해석

응고열전달 수치해석법으로는 유한차분법 및 유한요소법이 널리 사용되고 있으며, 슬래브 연속주조에 있어서 응고현상을 다룬 연구결과들이 많이 발표되어 있다. 수치해석적으로 응고현상을 계산하기 위해서는 유한차분법이나 유한요소법 모두 격자를 분할하여 격자 절점의 온도를 계산하게 되는데, 현재 조업 중인 미니 밀 주조기는 종래의 슬래브연주와는 달리 몰드직하에서 내부편석을 제거하기 위해 soft-reduction을 행하기 때문에 슬래브의 두께에 변화가 생기게 된다. 따라서 기하학적 형상이 변화하므로 초기 격자분할모델이 고정되지 않게 되며 격자변화를 고려하여야 한다. 따라서 격자변화를 고려한 응고해석을 위해서는 일반화 좌표계를 사용한 유한차분법이나 임의형상의 해석에 유용한 유한요소법이 적합한 수치해석 방법이다[3].

슬래브 응고해석시 용탕은 몰드로부터 2차 냉각대를 걸쳐 슬래브가 지날 때 외부냉각에 의해 응고가 진행된다. 몰드 및 2차 냉각대에서의 냉각조건을 분류하면 다음과 같다.

(1) 몰드

냉각수 채널을 통해 냉각을 시키는 몰드에서 슬래브로부터 열량을 빼앗아 냉각을 시키게 된다. 일반적으로 몰드에서는 Savage-Pitchard[4]가 제안한 평균 열유속을 대류경계로 변환하여 몰드냉각을 고려한다.

(2) 2차 냉각대

2차 냉각대에서 이루어지는 냉각으로는 복사 냉각, 스프레이에 의한 냉각, 물에 의한 냉각으로 크게 3가지로 구분한다. 복사 냉각의 경우 일반적인 복사 냉각식을 사용하나 일반적인 대기 방열과는 다르기 때문에 보정상수를 사용하는 경우도 있다. 스프레이 냉각의 경우는 air-mist 냉각과 water spray[5]냉각으로 구분한다. Air-mist spray냉각의 경우 water spray 냉각보다 균일 냉각효과가 뛰어나고 spray nozzle 막힘이 적으며, 적은 비수량으로도 많은 열전달 효과를 얻을 수 있어 2차 냉각대에서의 온도 제어를 용이하게 하지만 설치

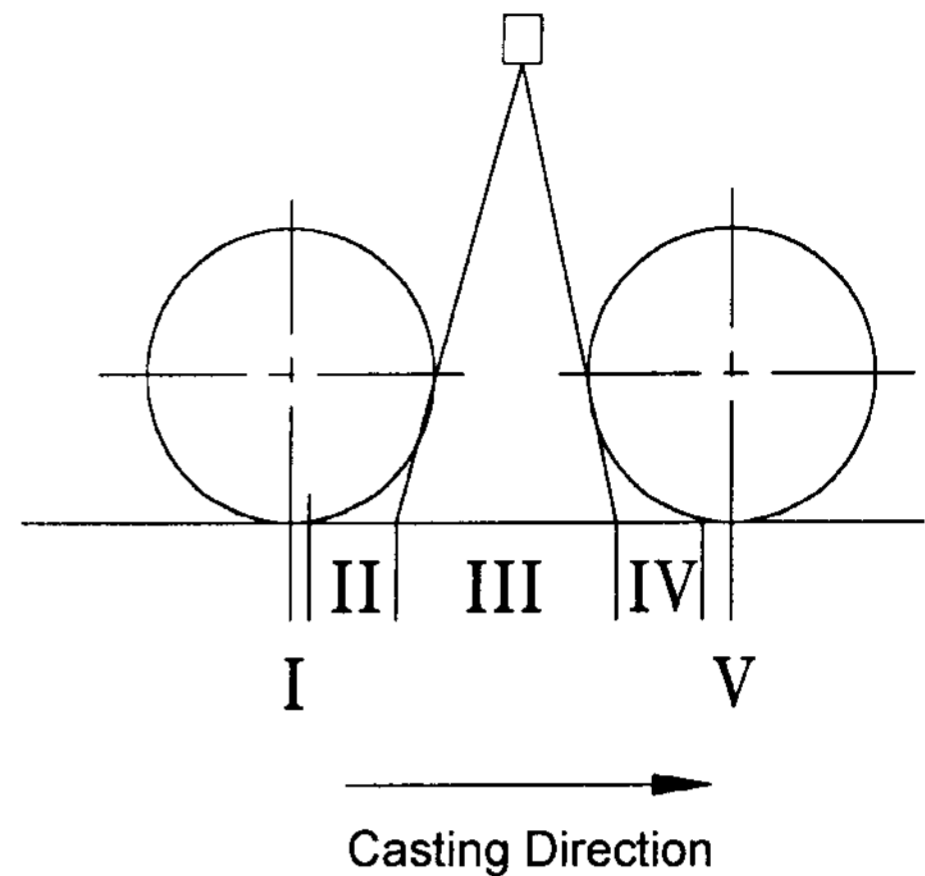


그림 2. 냉각영역의 분할.

및 유지비가 높고, 공기관에서 소음이 발생하는 단점이 있다.

또한 Air-mist 냉각의 경우는 노즐설계에 따라서 일정한 냉각수량과 공기압력을 유지하더라도 냉각 특성이 크게 틀려지는 경향을 보이고 있다. 따라서 제일 좋은 방법으로는 노즐 제작사가 제공하는 노즐타입에 따른 열전도계수 데이터를 입수하는 것이지만 그와 같은 데이터의 입수가 곤란하고 범용적인 프로그램을 위해 공기량과 냉각수량을 함수로 나타낸 식을 사용한다 [6].

종래에는 2차 냉각대에서 물에 의한 냉각을 고려하지 않고 분사되는 냉각수가 슬래브 전체를 평균적으로 냉각하는 것으로 취급하여 계산하는 것이 대부분이었다. 그러나 좀더 세밀하고 정밀한 냉각 제어해석을 위하여 최근에는 냉각영역을 5개 구간(그림 2)으로 나누어 해석을 진행하고 추세이다[3].

(1) 영역 I과 V : 물 접촉에 의해 냉각되는 영역이다. 물과 슬래브가 접촉을 하게되면 접촉면에서 접촉 열저항이 존재하며 대부분 대류경계를 이용하여 접촉 열저항을 고려한다.

(2) 영역 II와 영역 IV : 영역 II와 영역 IV의 길이는 우선 냉각수분사길이 III를 구하고 여기서 물 접촉 길이 I과 V를 더한 후 물 피치에서 뺀 절반 값을 사용하였다. 영역 II는 복사냉각영역이고 영역 IV는 슬래브의 상부면에서는 영역 III에 분사된 냉각수가 슬래브에 흐르게 되므로 물이 고여있는 것으로 볼 수 있다. 그러나 슬래브의 하부면에 있어서는 중력에 의해 분사된 물이 슬래브를 따라 흐르지 못하고 밑으로 떨어지

게 되므로 복사냉각으로 계산을 하였다.

(3) 영역 III : 영역 III의 길이는 롤과 접하는 접선을 구하여 길이를 결정하였다. 이 영역에서의 열전달 계수는 냉각 조건이 air-mist spray 냉각인지 water spray인지에 따라서 그 적용식을 달리한다.

3.2 응고셀의 벌징 계산

슬래브의 응고가 진행되는 동안에는 슬래브 내에 용강이 존재하며 따라서 액상인 용강의 압력에 의해 응고셀이 밖으로 불룩해지는 벌징변형이 발생하게 된다. 용강정압은 Meniscus 높이의 함수가 되며 용강정압과 조업조건에 따라 벌징량이 변한다. 그림 3은 수두(H : Meniscus에서 수직거리)와 한 개의 롤피치에 있어서 벌징의 형상을 보이고 있다. 한 개의 롤피치에 있어서 벌징의 최대값은 피치의 중앙에서 발생하게 되며 실제 벌징되는 형상을 보면 슬래브가 이동하므로 중앙에서 주조방향으로 약간 이동하여 최대 벌징변형이 발생하게 된다. 벌징해석은 많은 해석모델이 개발되었는데 해석적인 방법으로는 양단이 고정된 정적인 상태에 놓인 단순지지보로 가정하여 벌징량을 계산방법이 있고[7], 주속을 고려한 정적동적 벌징해석방법이 있다[8,9]. 최근에는 탄소성 크릴유한요소법을 이용하

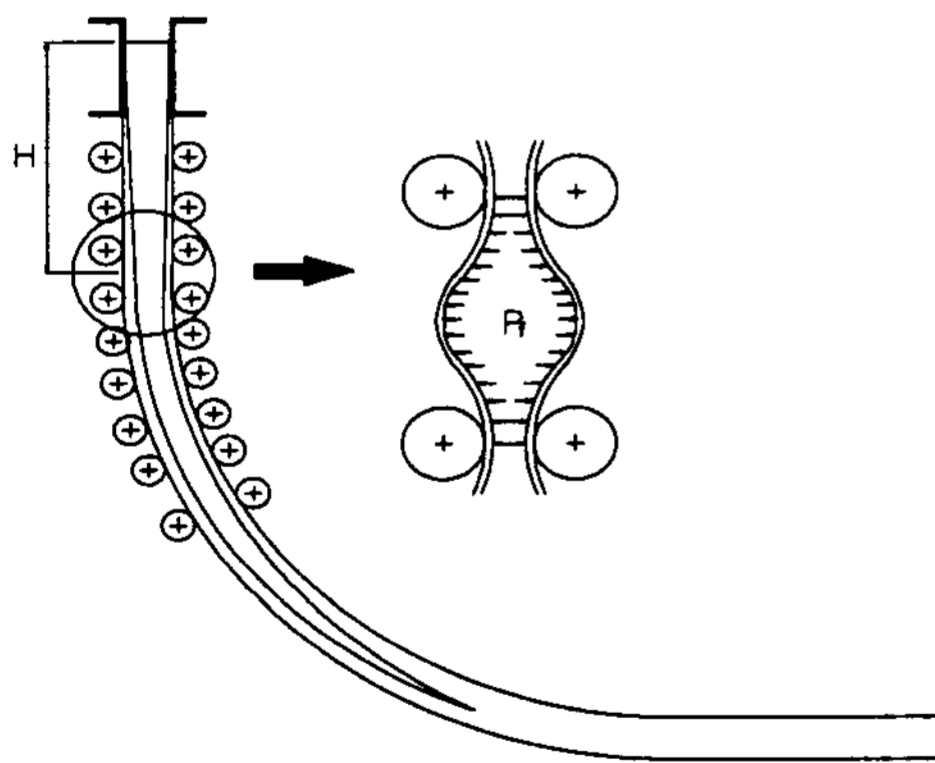


그림 3. 벌징의 발생.

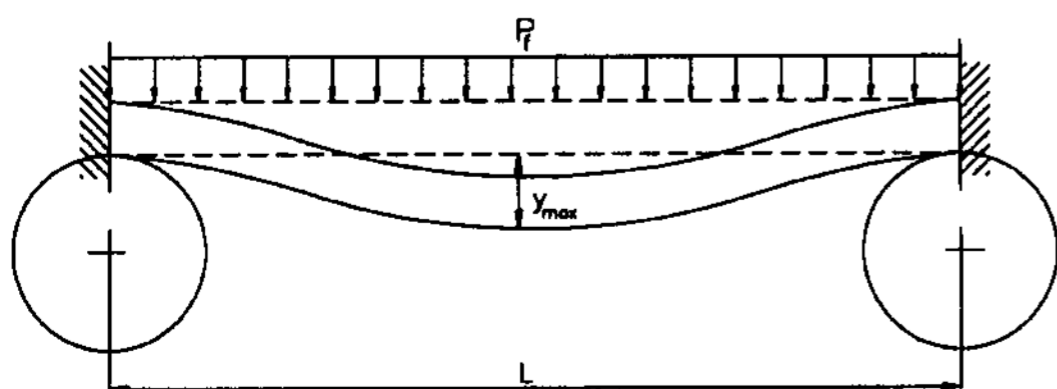


그림 4. 정적 벌징해석 모델.

여 3차원 벌징해석[10,11]은 물론 Mold level hunting 을 고려하기 위해 비정상 벌징해석 결과도 발표되고 있다[12,13]. 그러나 오래 전부터 수치해석적인 방법보다는 해석적인 방법인 정적해석법으로 계산한 값을 주조기 설계에 응용했으며 또한 최근까지도 정적해석법을 이용하고 있다.

용강정압 P_f 는 수두(H_i)와 용강의 비중을 곱하여 구하면 된다. 엄밀하게는 밀도와 비중량은 구별하여 사용하여야 하지만 일반적으로 밀도에는 중력가속도가 고려된 비중량 값을 사용하고 있다. 비중량을라 한다면 위치 H_i 에서의 용강정압은 식 (1)로 계산된다.

$$(P_f)_i = \gamma \cdot H_i \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

일반적인 슬래브의 형상을 보면 슬래브 폭이 한 개의 롤피치에 비해 10배이상의 크기를 가지므로 평면변형문제로 가정할 수 있으며, 따라서 그림 4와 같이 한 개의 롤 피치에 있어서 응고셀을 등분포하중을 받는 양단 고정보로 가정할 수 있다. 양단 고정보의 처짐량 계산식을 이용하면 벌징량 y_{max} 는 식 (2)와 같다.

$$y_{max} = C_1 \frac{P_f L^4}{32E\delta^3} \text{ (mm)} \quad (2)$$

여기서, L : 한개의 롤 피치(mm), E : 응고셀의 탄성계수(kgf/mm²), δ : 응고셀 두께(mm), C_1 : 온도, 강종에 따른 보정계수

현재까지 많은 벌징량 식이 나와 있으나 일반적으로 식 (2)와 비슷하게 사용되고 있다. 물론 강종이나 슬래브의 폭 및 두께에 따라서 식 (2)의 보정계수가 달라지거나 E값을 달리 사용되는 경우가 있다. 따라서 사용되어지는 연주기의 특성에 맞게 벌징식을 선택하는 것이 중요할 것으로 사료된다. 그러나 일반적으로 벌징량은 롤 피치 4제곱과 철정압에 비례하고 응고셀 두께의 3제곱에 반비례한다.

3.3 변형률 계산

응고셀과 내부 용강의 경계면에서 변형률이 발생하는데 변형률이 너무 커지게 되면 내부 크랙이 발생하는 원인이 된다. 따라서 변형률이 한계변형률안에 들 수 있도록 주조기를 설계하여야 하며, 또한 조업조건에 결정에 있어서도 이를 고려하여야 한다. 내부 변형률을 발생시키는 요소는 다음과 같다.

- 응고셀의 벌징변형에 의한 변형률 : ϵ_b
- 굽힘부와 교정부에서 곡률반경변화에 의한 변형률 : ϵ_{bend}
- 롤 misalignment에 의한 변형률 : ϵ_{mis}
- Soft-reduction에 의한 변형률 : ϵ_{soft}

(1) 벌징에 의한 변형률

벌징은 한 개의 롤피치중에서 중앙에서 가장 크게 변형하지만 변형률은 응고셀을 지지하는 롤의 바로 밑에 있는 내부의 응고셀 경계면에서 발생된다. 벌징에 의해 발생하는 변형률은 海田高照 등[14]이 제안한 식 (3)으로 계산하였다.

$$\epsilon_b = 17.5 \times \frac{P_f L^2}{F \delta^2} (\%) \quad (3)$$

(2) 곡률반경 변화에 의한 변형률

굽힘부와 교정부에서 굽힘 곡률반경이 변화하므로 응고셀내부에 변형률이 발생하게 되는데 다음 식으로 표시할 수 있다[14].

$$\epsilon_{bend} = (D - \delta) \left(\frac{1}{R_{i-1} - D} - \frac{1}{R_i - D} \right) \quad (4)$$

(3) 롤 misalignment에 의한 변형률

구조설비에 있어서 롤 배열이 바르지 않아 발생하는 변형률이다. 그림 5는 롤배열이 잘못되어 발생할 수 있

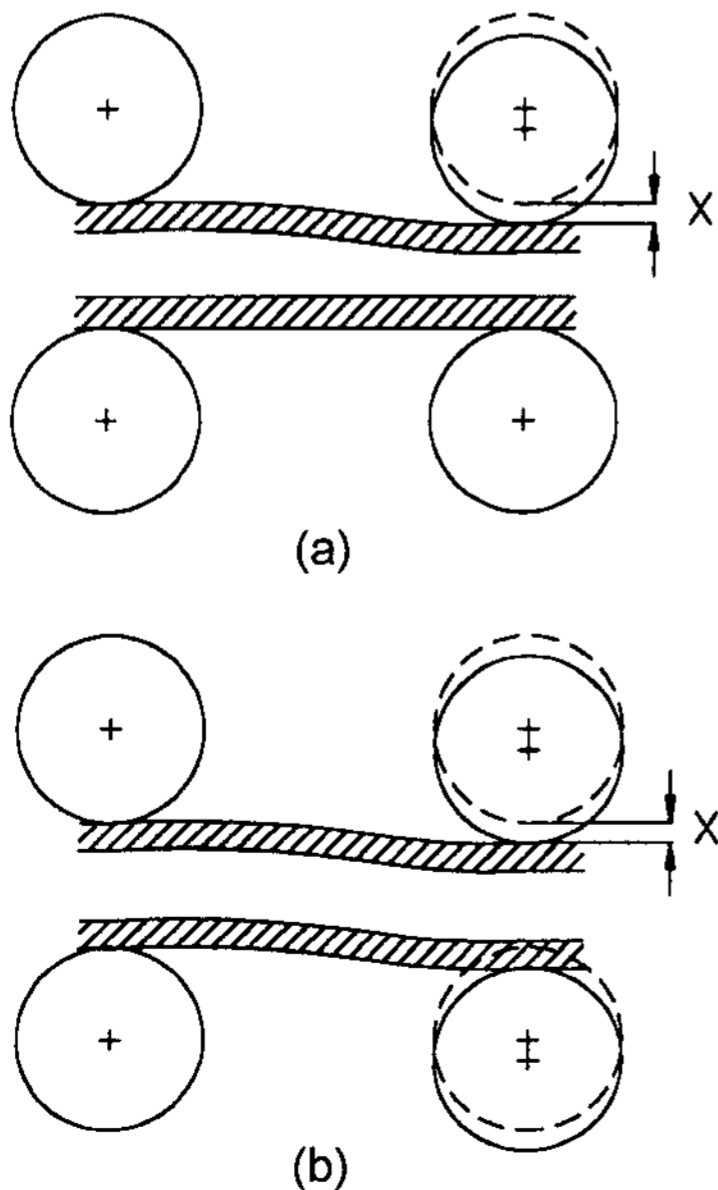


그림 5. Roll misalignment의 발생 경우.

는 응고셀의 처짐의 경우를 나타내고 있다. (a)와 같이 한 개의 롤의 배열이 잘못된 경우가 있고, (b)와 같이 슬래브가 다음의 segment로 넘어갈 때 segment의 잘못된 설치에 의해 발생할 수 있다. 이때 응고셀의 처짐을 한 단이 고정된 외팔 보로 취급하여 변형률을 계산하였으며, 이때 misalignment량 X는 최대 허용량인 0.5mm로 가정하였다[15]. 식 (5)는 롤 misalignment에 의한 변형률을 계산하는 식이다.

$$\epsilon_{mis} = 1.15 \times \frac{3X\delta}{L^2} \times 100 (\%) \quad (5)$$

(4) Soft-reduction에 의한 변형률

Soft-reduction을 행하면 내부 용강이 이동을 하고 응고셀은 roll misalignment와 마찬가지로 처짐이 생기는 것으로 볼 수 있다. 따라서 식 (5)를 사용하여 변형률을 계산하였으며 이때 roll misalignment량 X대신 한 개의 롤에서 reduction시키는 량을 입력하여 계산한다.

3.4 롤 처짐량 계산

롤은 슬래브 자중, 용강정압, 슬래브의 굽힘 및 교정에 의해 롤에 작용하는 힘이 이 중첩된 하중을 받게 되어 처짐이 발생하게 된다. 따라서 처짐량을 줄이기 위해 연주기에서는 분할 롤을 사용한다. 분할 수는 1-

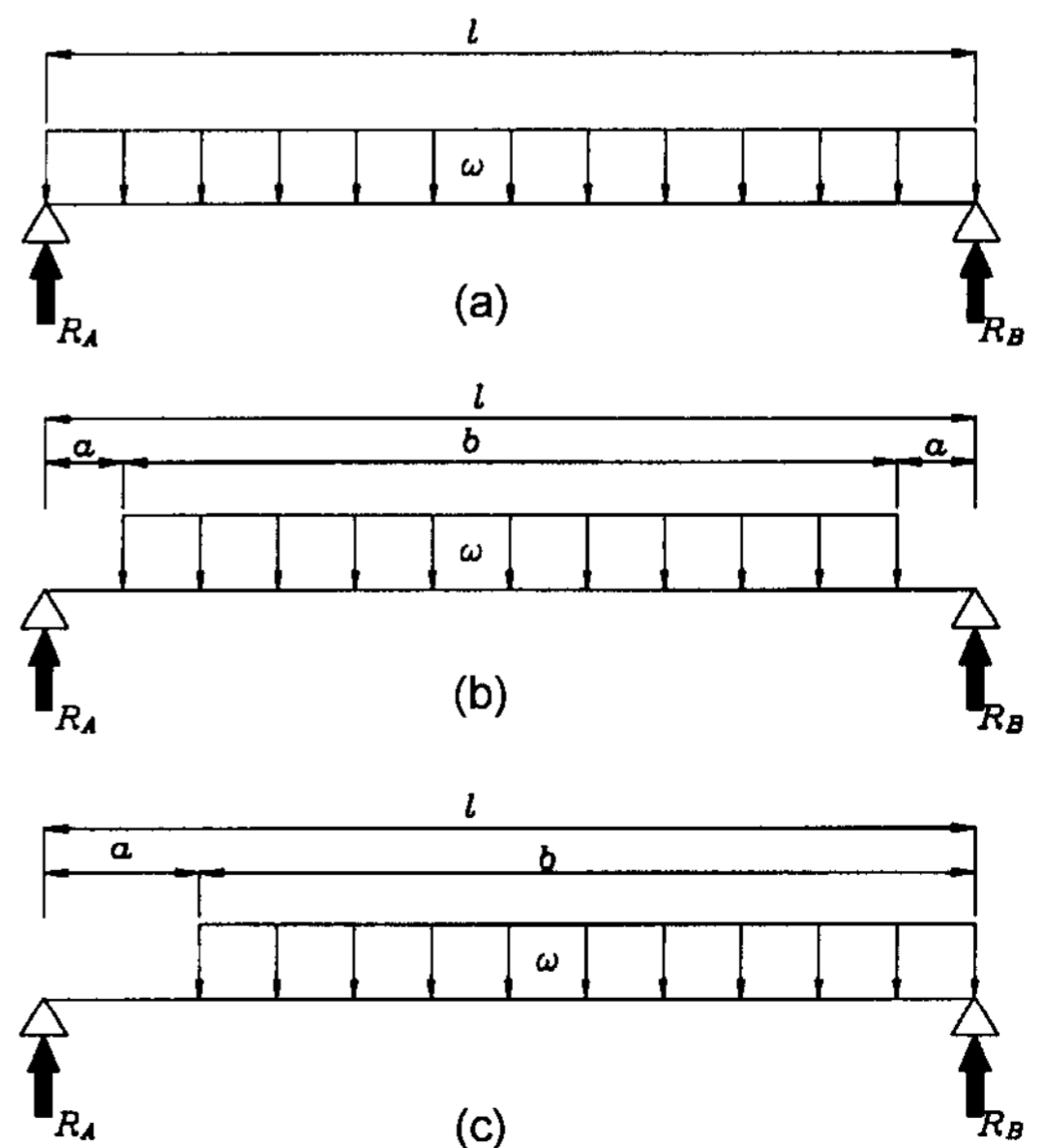


그림 6. 롤 처짐 계산모델.

3개로 분할되는 것이 대부분이다. 그림 6은 분할롤의 처짐량을 계산하기 위한 3가지 모델을 나타낸 것이다. 분할 롤의 경우 아래의 3가지 모델의 조합으로 나타낼 수 있다.

(a) 이 모델은 3분할 롤에서 중간 롤의 처짐을 계산하기 위한 모델이다.

$$\text{최대처짐량} : \delta_{max} = \frac{5\omega l^4}{384EI_z} \quad (6)$$

여기서, E : 롤재료의 탄성계수(=19000 kgf/mm²을 사용), I_z : 롤의 단면 관성모우멘트

(b) 이 계산모델은 1-piece 롤에 대한 식이다.

$$\text{최대처짐량} : \delta_{max} = \frac{5\omega l^4}{384EI_z} (8m - 4m^2 + m^4) \quad (7)$$

여기서, $m = 1 - \frac{2a}{l}$

(c) 2-piece롤과 3-piece 롤의 경우는 양쪽 가에 있는 롤에 대한 계산모델이다.

$$\text{최대처짐량} : \delta_{max} = \frac{\omega x_{max} a^2}{241EI_z} (2l^2 - a^2 - 2x_{max}^2) \quad (8)$$

3.5 Withdrawal force의 산출

연주기에 있어서 여러 성분의 힘이 작용하기 때문에 슬래브가 인발될 때 저항력이 작용하는데 이것을 withdrawal force라 한다. Withdrawal force에 관해서는 일반적으로 문헌에 자세하게는 발표되지는 않고 있으며 engineering사에서 가지고 있는 경험적 식으로 산출하게 된다. Withdrawal force의 성분으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 몰드의 마찰에 의한 저항력 : 용강정압에 의해 응고셀은 외부로 변형하고 슬래브와 몰드간에 마찰이 존재하므로 인발을 하기 위해서는 인발력이 필요하다.

(2) 슬래브의 자중에 의한 저항력 : 슬래브의 자중에 의한 힘은 롤에 수직력으로 작용하지만 인발력은 롤의 접선방향으로의 저항력이므로 수직력에 마찰계수를 사용하여 힘을 구한다.

(3) 용강정압에 의한 저항력 : 용강정압에 의해 응고셀이 외부로 변형하므로 응고셀을 통하여 전달된 용강정압이 롤에 수직력으로 작용하게 된다. 따라서 마찰

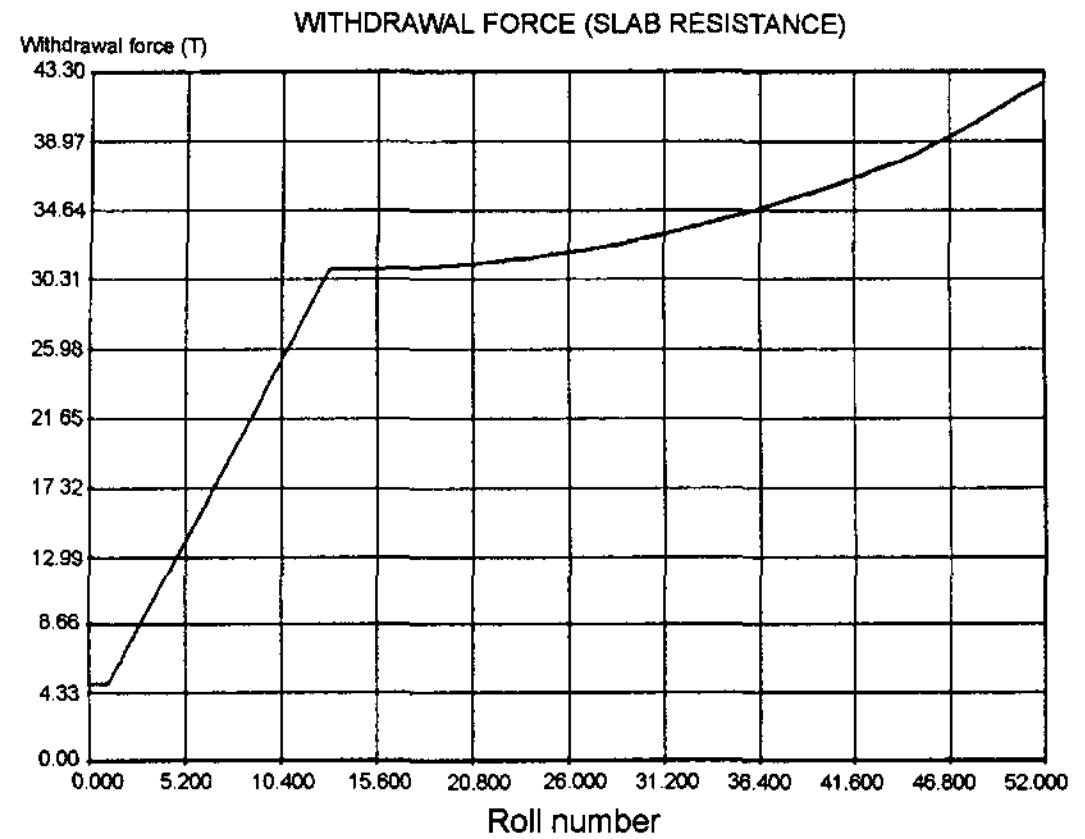


그림 7. Withdrawal force의 분포.

계수를 사용하여 접선력으로 변환하여 저항력을 계산한다.

(4) Milling효과 (슬래브의 자중, 용강정압에 의한 힘, 굽힘 및 교정에 의한 힘, soft-reduction에 의한 압하력) : 슬래브 내의 용강정압에 의한 힘과 펀치롤에 있어서는 유압실린더에 의한 가압에 의해서 롤과 접촉하는 고온의 슬래브표면이 미소하게 압입되어 압연효과가 생기므로 롤 구동력에 이를 고려해야 한다.

(5) 슬래브 자중에 의한 미끄럼력 : (1)~(4)에 의한 힘들은 롤에 저항력으로 작용하지만, 슬래브는 자중에 의해 주조방향으로 이동하는 성질을 가지므로 자중에 의한 미끄럼 힘을 빼 주어야 한다. 즉 슬래브 자중은 저항력과 반대방향으로 작용하게 된다.

이상과 같이 withdrawal force를 산출하는 방법을 열거하였지만 실제 withdrawal force를 구하여 펀치롤의 모터 구동력을 산출하기 위해서는 안전율을 고려하여 용량을 결정하여야 한다. 그림 7은 연주기 설계시 withdrawal force의 산출 결과를 보여준 것이다.

3.6 Roll geometry 설계

연주기 설계를 위해서는 우선 생산 목적에 적합한 연주기의 형식을 선택하는 것이 아주 중요하다. 현재 까지 개발된 연주기의 종류를 보면 수직형, 수직만곡형, 만곡형 등이 있다. 그림 8은 GUI(Graphic User Interface)방식으로 roll scheme을 입력한 데이터로부터 수직 만곡형 연주기를 도면화한 것을 보여준 것이다. 수직 만곡형 연주기는 설비의 높이를 낮추면서 수직형과 일정한 수직부를 갖추고 있어 개재물의 감소효과를

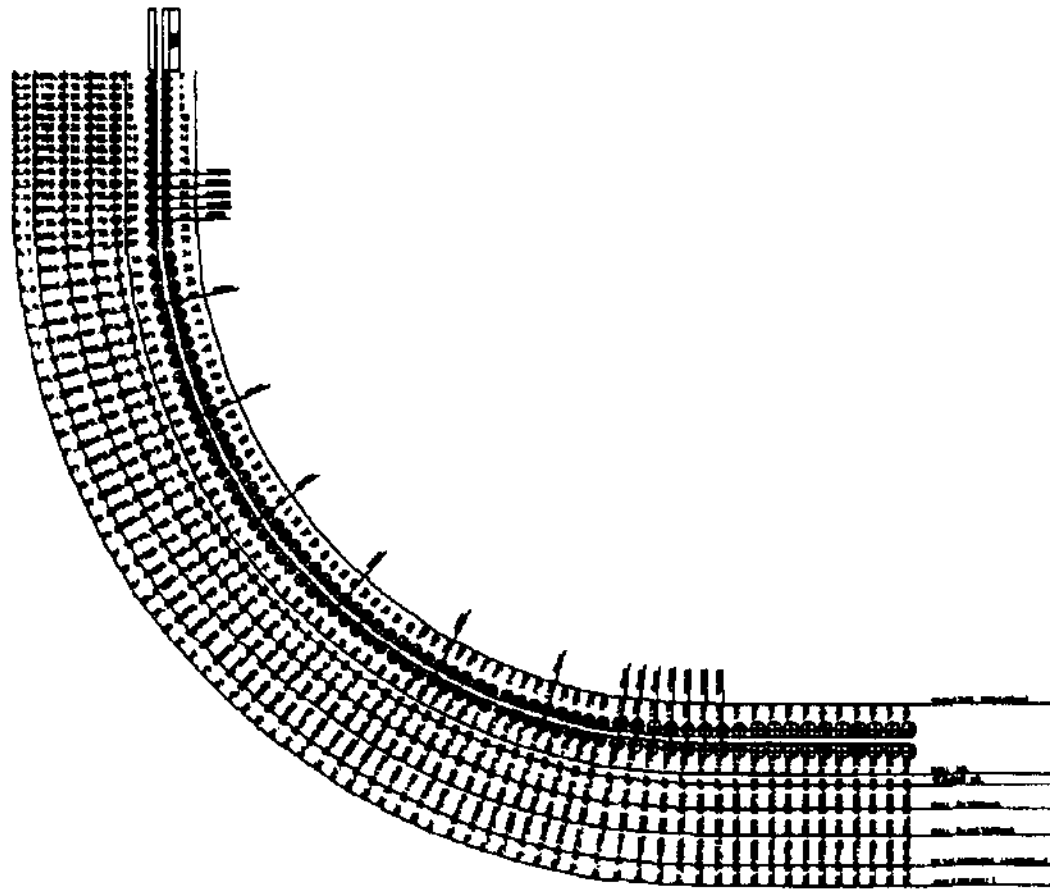


그림 8. 연주기의 roll scheme.

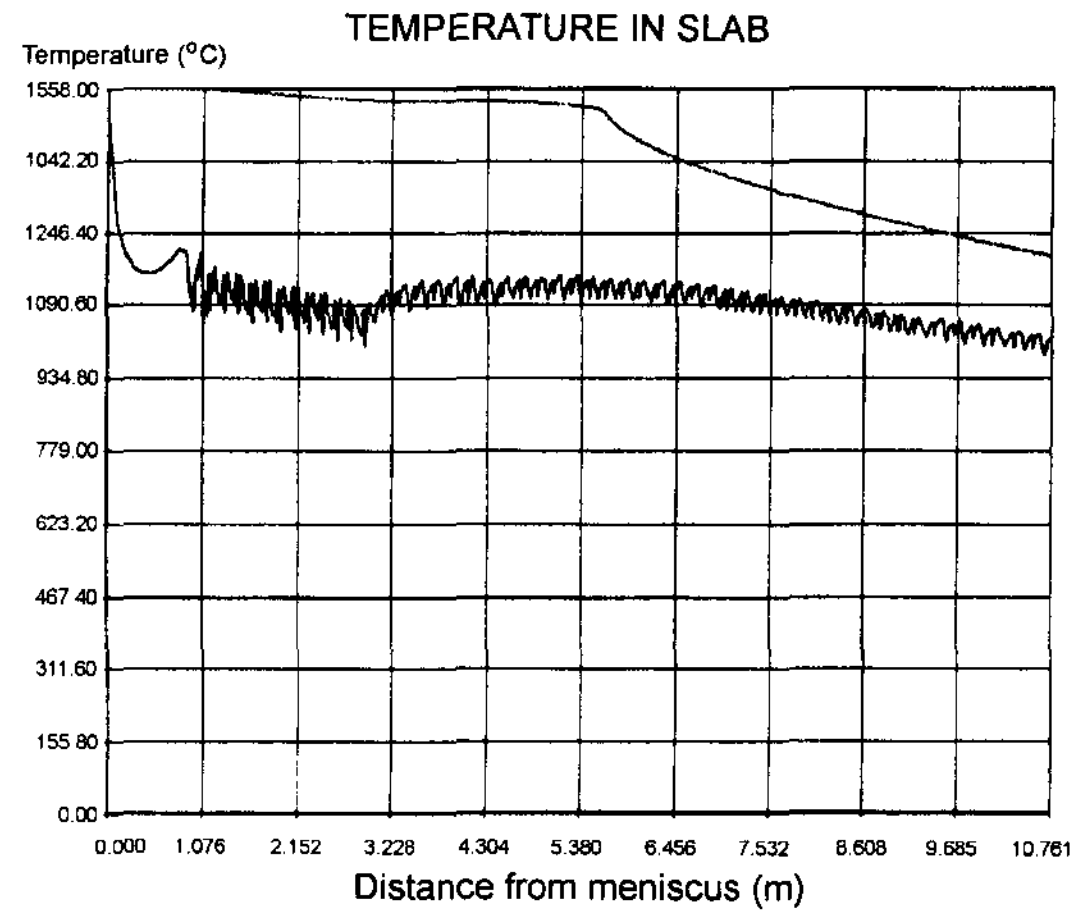


그림 11. 슬래브 표면과 중심에서 온도변화.

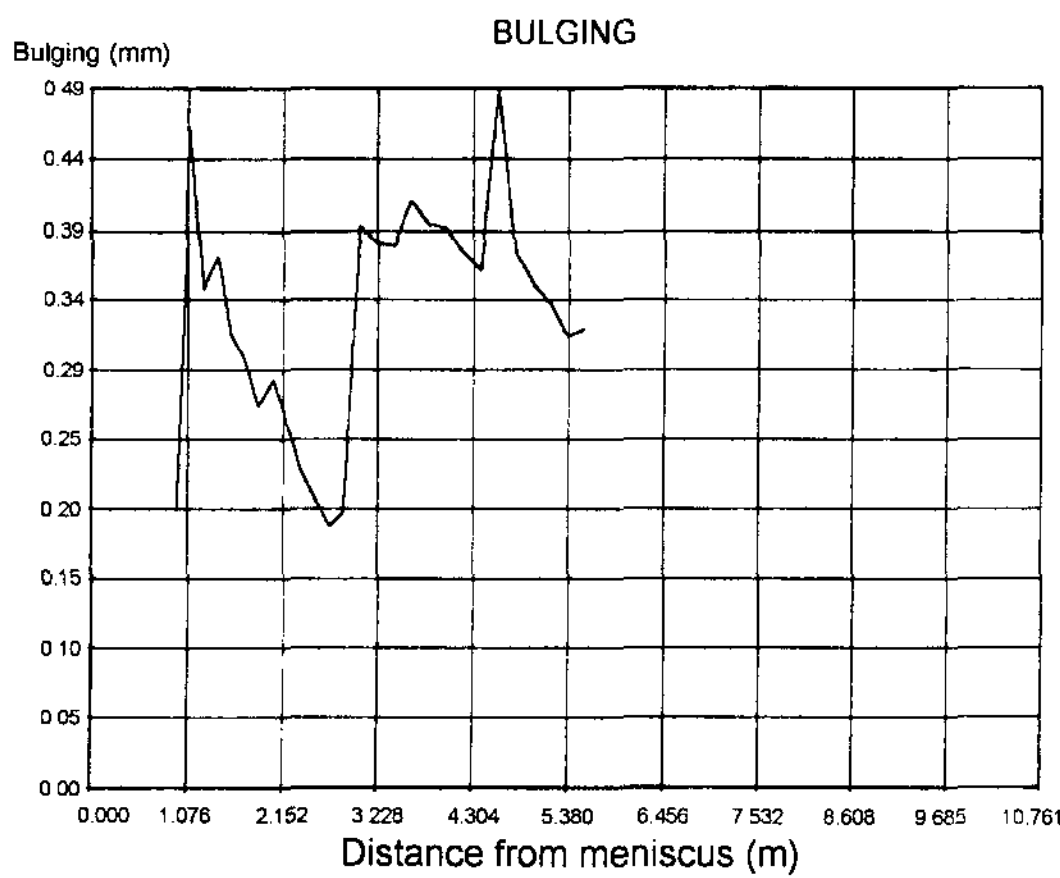


그림 9. 슬래브의 벌짐 분포.

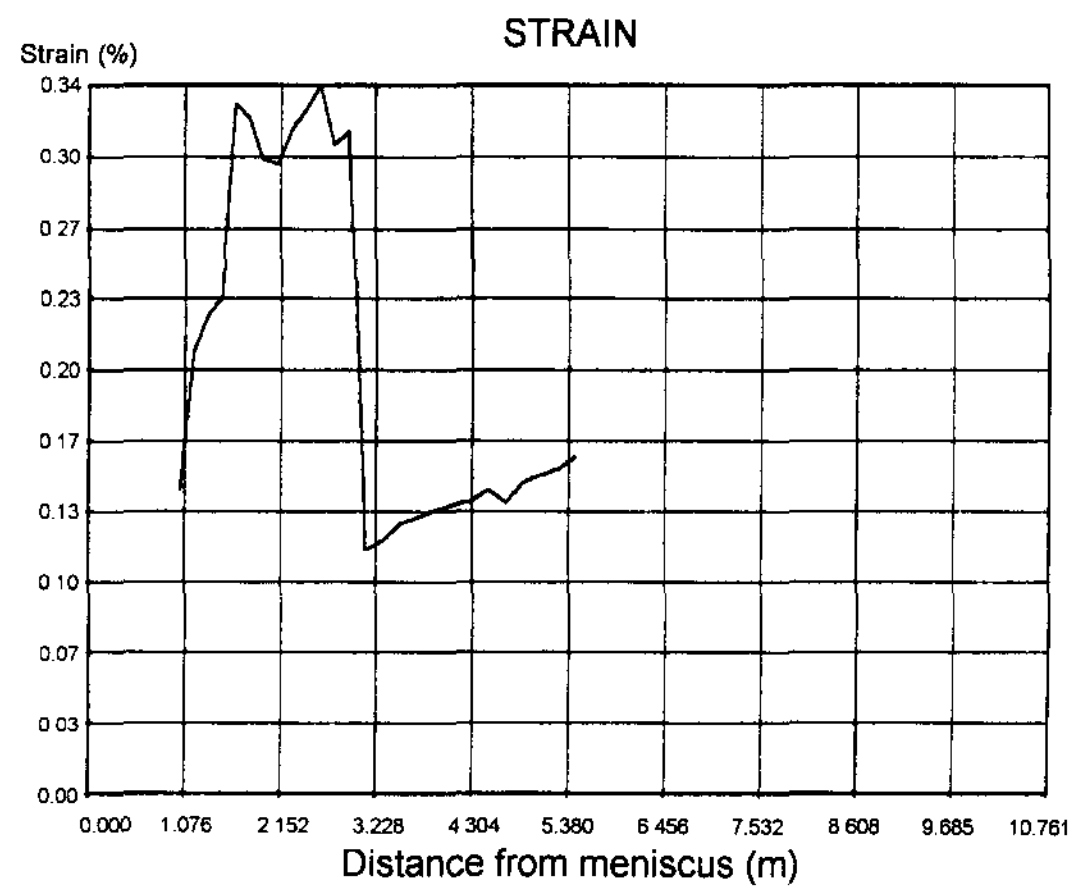


그림 12. Strain 분포.

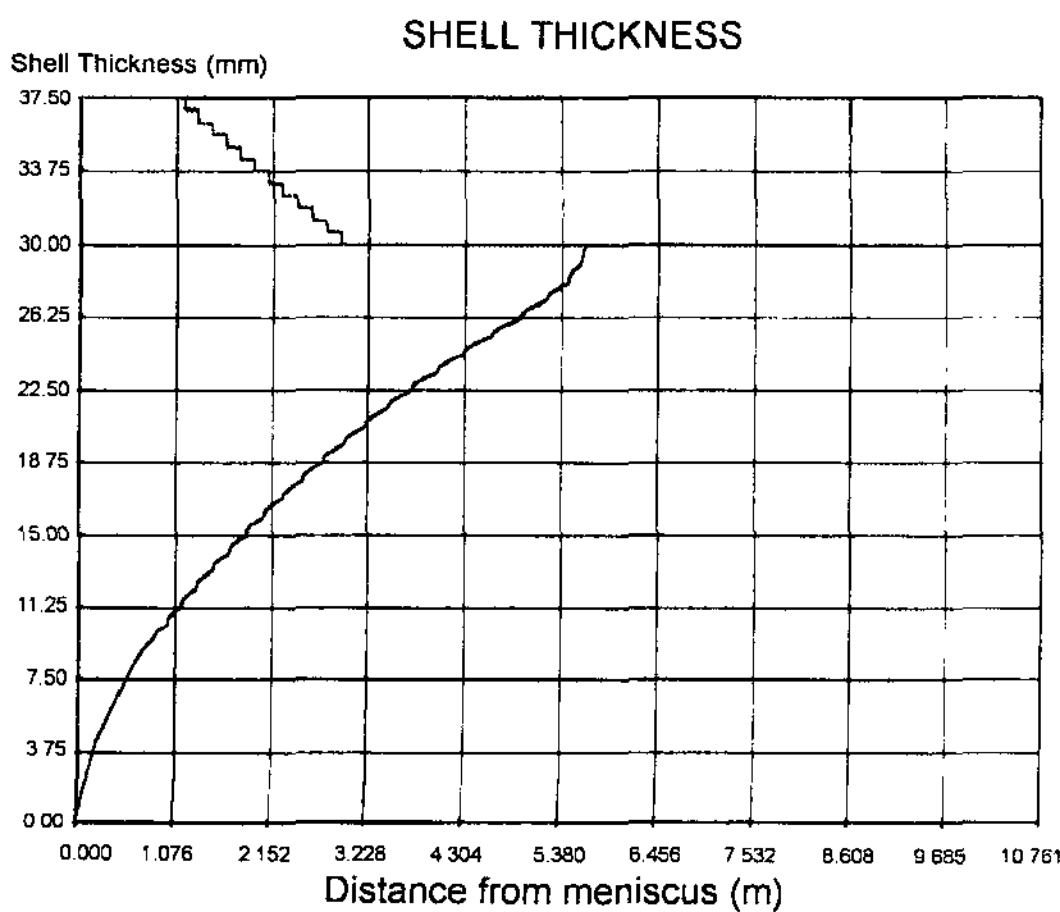


그림 10. 응고셸의 두께 변화.

확보하면서 생산성을 높일수 있어 고급강 위주의 연주기로 주로 사용되고 있다.

그림 9~12은 연주기 roll scheme 설정시 아주 중요한 기준 인자가 되는 벌짐량, 셸 두께변화, 슬래브 표면과 중심부에서 온도 변화, strain분포를 나타낸 것이다. 이런 요소들은 특히 연속주조시 2차 냉각대에서의 냉각특성을 결정하고 주편의 표면 및 내부 품질에 큰 영향을 주는 조업인자이다. 2차 냉각시 연주주편의 표면 온도는 주편 표면상태와 밀접한 관계가 있고, 응고 두께와 응고층내 온도구배는 응고층의 강도를 결정하기 때문에 주편의 벌짐, 롤 배열, 교정력 등에서의 기계적 응력과 관계되어 내부 품질을 결정하는 주요 요인이다.

2차 냉각대에서 주편 온도분포, 응고두께, strain분포,

벌징량 등을 결정하는 것은 스프레이 노즐에 의한 주편 표면에서의 열전달량, 주조속도, 주조온도, 강종 등이므로 이와 같은 변수들을 잘 제어하여 연주기의 구조적 특성에 맞는 roll scheme을 설정하는 것이 매우 중요하다.

2차 냉각대의 설계시 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 주편 복열에 의한 열응력에 의해 발생하는 결함을 방지 하기 위해서 100°C 이내로 한다. 또한 연주기 냉각 영역들간의 비수량 변화를 적게 하여 냉각 영역간 비수량 차이에 의한 복열을 최대한 억제한다.

(2) 주편의 온도가 취화영역(700~900°C) 범위에 들지 않도록 냉각 pattern을 조정한다.

(3) 벌징에 의한 과도한 변형을 피하기 위해 주편의 표면 온도를 1000~1100°C로 유지하도록 한다.

(4) 주편의 불균일 냉각에 의한 결함 방지를 위해 주조 방향 및 폭방향으로 균일 냉각을 한다.

(5) Segment는 교환시간 및 유지 비용을 고려하여 롤 개수와 롤 피치를 조정한다.

(6) 생산 목적과 강종 주편의 크기, 속도 등을 고려하여 연주기의 형식을 정한다.

4. 결 론

철강생산설비의 설계를 위해서는 많은 노하우가 바탕이 되어야 하는데 이와 같은 노하우는 주로 실험적 연구 및 실제조업에서 측정한 데이터가 바탕이 되어야 한다. 이미 연속주조법에 관해서는 많은 연구논문들이

발표되어 있기 때문에 설비를 설계하는 기본 계획 및 방향은 설정할 수 있지만 이론적인 해석만으로는 설계에 대한 신뢰성을 확보하기 힘들고 실제조업 데이터들이 받침이 되어야 한다. 본 기술자료를 이용하면 철강 및 AI 소재용 연속주조기 설계에 참고가 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Y. D. Kim, J. S. Choi, Y. J. Jung, C. G. Kang : Technical report of Pohang Steel Co., (1997)
- [2] M. El-Bealy, N. Leskinen, H. Fredriksson : Ironmaking and Steelmaking, 3 (1995) 246
- [3] Y. J. Jung, C. G. Kang, G. Shin : J. Kor. Inst. Met & Mater. Vol. 37, No. 7 (1999) 833
- [4] J. Savage and W. H. Pitchard : J. Iron Steel Inst., Nov. (1954) 269
- [5] M. Mitsutsuka : Trans. ISIJ, 54 (1968) 1457
- [6] Y. Kitagawa : Nishyama Tech. Report, ISIJ, (1986), 145
- [7] 森田喜保 : 住友金屬, Vol.35, No.3, (1983) 1
- [8] 安川登 : 連續鑄造における力學的舉動, 鐵鋼基礎共同研究會, (1985) 155
- [9] Y. J. Jung, G. Shin, G. H. Cho, C. G. Kang : Trans. KSME, A, Vol. 24, No. 7 (2000) 1650
- [10] K. Sorimachi, T.Emi : Ironmaking and Steelmaking, Vol.8, (1977) 69
- [11] K. Ebina, M. Hujitomi, S. Shimono : ANSYS Conference Proceedings, Vol.II, (1991) 5.2
- [12] I. W. Bang, J. H. Rhee, S. Y. Kim, U. S. Yoon, K. H. Oh : CAMP-ISIJ, 12 (1999) 111
- [13] K. Sugawara : CAMP-ISIJ, 2 (1989) 308
- [14] 森田喜保 : 住友金屬, Vol.35, No.3 (1983) p.1
- [15] POSCO로부터 데이터 입수