

열연 권취기의 오프라인 시뮬레이터에 관한 연구

최용준#, 이민철*

Study for the downcoiler's offline simulator

Yong Joon Choi[#], Min Cheol Lee^{*}

ABSTRACT

Downcoiler is one of the major facilities in hot strip mill operation. The key to good coiling is having good equipment, modern control systems, excellent maintenance and an understanding of coiling process. Therefore, this study aims to develop a program that is useful for calculating machine design parameters and simulating coiling process. In this study, the pinching and coiling mechanism of the downcoiler was thoroughly studied and some of operational factors and their effects on the coiling process were investigated. The software was developed to estimate engineering parameters for coiler component design and to determine optimal setting values for successful coiling operation. In order to check the accuracy and usefulness of the developed software, the simulation of the downcoiler in #2 Hot Strip Mill in Pohang Works was performed. The simulation results suggested that the set-up value for unit tension could be lowered. Test coiling operation by using the lowered set-up value for unit tension resulted in much more successful coiling in the aspect of strip quality and power consumption.

Key Words : Downcoiler (열연 권취기), Offline Simulator (오프라인 시뮬레이터), Unit Tension (단위장력)

기호설명

T = strip tension (N)

U_t = strip unit tension (N/mm^2)

$H.Y.P.$, σ = hot yield point (N/mm^2)

t = strip thickness, w = strip width

a, b = coefficient

μ = friction coefficient between strip and roll

F_g = upper housing weight

D = cylinder tube diameter

d = cylinder rod diameter

F_N = normal force, F_Z = tension force

P_1, P_2 = cylinder pressure

F_2 = cylinder force

F_{Roll} = roll force

R = upper roll diameter, r = bottom roll diameter

A = distance of roll center

C.D. = coil diameter, M.D. = mandrel diameter

a = acceleration/deceleration speed

ρ = strip density

T_i = coiling time

Ch_{RPM} = change RPM

접수일: 2005년 8월 30일; 게재승인일: 2006년 1월 13일

교신저자: 포스코 기술연구소 Postrip 압연연구프로젝트팀

E-mail cwj@posco.co.kr Tel. (054) 220-9240

* 부산대학교 기계공학부

1. 서론

열연 권취기(downcoiler)는 Fig. 1 과 같이 사상압연(mill stand) 후 철판(strip)을 코일(coil) 모양으로 감는 설비로 철판을 권취기로 유도하는 사이드 가이드(side guide) 및 핀치 롤(pinch roll), 스트립을 감는 맨드릴(mandrel), 스트립 선단을 맨드릴에 유도하는 것과 동시에 스트립과 맨드릴간에 마찰력을 발생시키는 역할을 하는 다수의 래퍼 롤(wrapper roll) 등으로 구성된다.

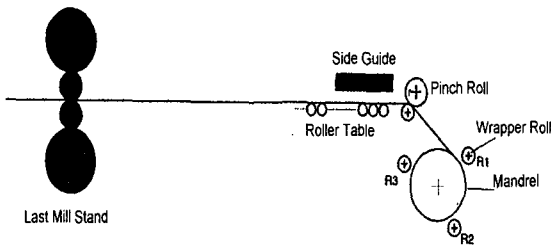


Fig. 1 The simple diagram of downcoiler

권취기는 열연 품질에 직결되는 설비로써, 그 설비의 특성에 따라 철판의 품질변이가 크게 발생하기 때문에, 이의 고유한 제반 기술을 보유한 회사는 세계적으로 장기간의 연구 개발을 수행한 몇 개사로 한정되어 있는 실정에 있다^{1,2}.

포스코의 경우 권취 설비에 대해서는 지난 20여 년간의 축적된 운전 경험을 바탕으로 한 설비 조업 능력은 매우 향상되어 있으나, 권취기 각 단위 설비에서의 기본 설계 능력의 부족과 메커니즘 이해 부족으로 부분 설비 개조 및 새로운 설비 도입의 기술검토가 어렵고, 새로운 강종 도입 시 조업상 최적조건을 도출하는데 장시간을 요하는 실정에 있다.

그러므로, 권취된 철판에서의 텔레스코프(telescope) 발생이나 박판 권취 시 제어 성능 불량 및 신 강종 도입이나 설비 증설 등과 같은 현실적인 문제가 발생하였을 때 이를 효과적으로 대응하기 위해서는, 조업 시 발생하는 권취기 각 부분의 메커니즘 이해와 운동 해석이 필수적이라 할 수 있으며, 또한 각 단위 설비의 한계 능력 계산과 부하 예측이 필수적이라 할 수 있다^{3,4}.

본 연구에서는 권취기의 각 단위 설비에 대해 세부적으로 설계 가능한 소프트웨어를 개발하고,

또한 동시에 오프라인(offline)으로 조업 수행 전에 최적의 장력이나 힘 등을 설정할 수 있으며 권취할 철판이 각 단위 설비에 미치는 부하를 예측할 수도 있는 종합 운전 시뮬레이터(simulator)를 개발하여, 열연 권취 설비의 기초 설계 및 운전 능력 기술을 확보하는 데 그 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 권취 장력(strip tension)

권취기에서의 장력은 핀치 롤(pinch roll)과 맨드릴(mandrel)사이의 힘의 값을 의미하며, 권취 성능 및 권취 형상을 결정짓는 가장 중요한 요소이다. 세계적으로 유명한 권취기 제조회사 들은 감기게 되는 철판에 따른 고유의 권취 장력 알고리즘을 가지고 있으며, 대표적으로 유럽의 제조 메이커인 SMS 사는 실험식을 바탕으로 한 식 (1)과 같은 공식을 사용하고 있다. Fig. 2 는 식 (1)에서의 열간온항복점(Hot Yield Point, H.Y.P.)에 대한 철판 두께와 단위 장력의 관계를 나타낸다. Fig. 2에서 보이는 바와 같이 열간온항복점이 높을수록 단위 장력이 커지며, 두께가 두꺼울수록 단위 장력이 줄어들고 있음을 알 수 있다.

$$T = U_t \times t \times w$$

$$U_t = \frac{9.81 \times \left(\frac{a}{t} + b \right) \times H.Y.P.}{200} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

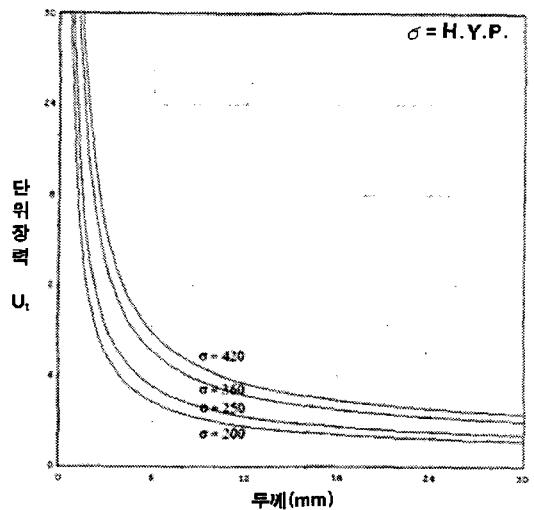


Fig. 2 Unit tension of the strip with H.Y.P.

일본의 제조 메이커들은 실험에 의한 테이블치를 구성하여 실제 조업에 적용하고 있다⁵⁻⁶. 대부분의 경우에 있어서 권취 장력(coiling tension)을 표현하는 수단으로 단위 장력(unit tension)을 많이 사용한다.

2.2 핀치롤 부(pinch roll unit)

핀치 롤은 권취기에 철판이 진입 할 때 맨드렐로의 가이드 역할을 하며, 중요한 기능으로는 상하롤 사이의 갭(gap) 및 압력 등을 조절함으로써, 맨드렐과의 장력, 사상 압연기(finishing mill)와 맨드렐 사이의 장력 조절을 통한 권취 형상의 질을 결정하는 것이다.

핀치 롤의 종류로는 상하롤 갭을 설정하는 방법에 따라 힙지형(hinge type)과 하우징형(housing type)이 있으며, 상하롤 갭 및 압력을 이용하여 철판의 장력을 조절하게 된다. 힙지형은 Fig. 3과 같이 장력을 조절하며 힘-평형식으로부터 식(2)와 같이 표현된다. 여기서, P_1 , P_2 는 단동형 실린더 경우의 내부 압력을 의미한다.

$$\begin{aligned} \sum F &= 0; & F_z &= 2\mu F_N \\ \sum M_o &= 0; & F_2 \cdot L + F_g \cdot M - F_N \cdot N &= 0 \quad (2) \\ \frac{F_2}{2} &= \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \cdot P_1 - \frac{\pi \times D^2}{4} \cdot P_2 \end{aligned}$$

핀치 롤의 하우징형은 Fig. 4와 같이 열간 압연기와 같은 형상을 가지며, 상부 핀치 롤이 수직으로 이동하므로 힘-평형식으로부터 식(3)과 같이 표현된다. 여기서, P_1 , P_2 는 하우징 상부에 고정된 단동형 실린더에 있어서의 내부에 가해진 압력을 표현한다.

$$\begin{aligned} \sum F_N &= 0; & F_z &= 2\mu F_N \\ F_N &= 2 \times F_{Roll} \times \cos(\theta) \\ \theta &= \arcsin\left(\frac{A}{(R+r)+t}\right) \\ F_{Roll} &= \frac{\pi \times D^2}{4} \cdot P_1 - \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \cdot P_2 + G \quad (3) \end{aligned}$$

식(2)와 식(3)으로부터, 실린더의 압력만으로 핀치 롤에서의 철판의 장력을 제어할 수 있음을 확인할 수 있다.

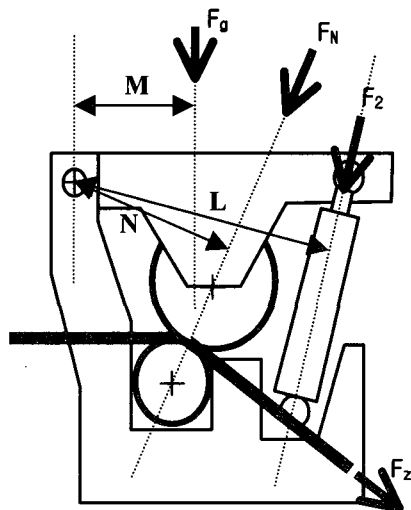


Fig. 3 The hinge type of pinch roll unit

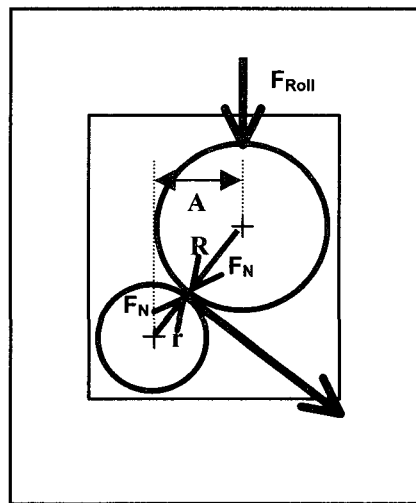


Fig. 4 The housing type of pinch roll unit

2.3 맨드렐 부(mandrel unit)

맨드렐은 Fig. 5와 같이 철판을 감는 역할을 하는 설비로, 직경을 변화시킬 수 있는 구조를 가지며, 판이 들어오기 전의 초기 확장 상태에서는 전체 직경 확장의 30 ~ 40%의 값을 가진다. 철판의 초기 진입 시에 장력을 형성하기 위해 3개의 래퍼 롤(wrapper roll)과 보호 커버(deflector)가 필요로 하게 된다. 래퍼 롤은 맨드렐에 대해 철판을

누르는 역할을 하는 반면, 보호 커버는 철판을 다음 래퍼 롤 방향으로 구부리는 역할을 한다. 철판이 맨드렐에 감기면, 래퍼 롤 만의 힘으로 철판을 누른다. 어느 정도 권취가 이루어진 후, 맨드렐은 전체 직경 확장을 행하며 이때 맨드렐과 철판 표면 사이에는 정적 마찰력이 발생하는데, 이순간에 장력이 형성된다. 그 후 래퍼 롤은 후퇴하며 맨드렐과 철판의 마찰력만으로 철판이 감겨지게 된다.

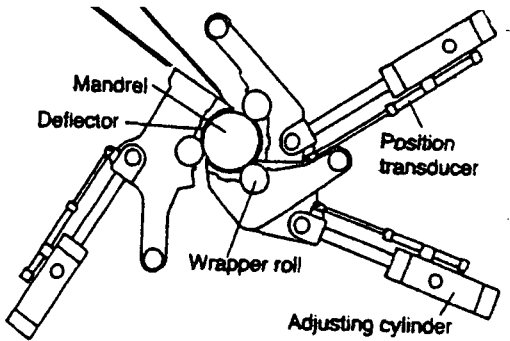


Fig. 5 The structure of mandrel unit

맨드렐에서 중요한 것은 철판을 감기 위한 토크(torque)의 크기이며, 토크에 대해 세부적으로 구분하면 철판의 장력(strip tension)에 의한 토크 Tr_1 , 철판의 구부림(strip bending)에 의한 토크 Tr_2 , 맨드렐 권취 속도의 가·감속에 의한 토크 Tr_3 , 그리고 권취된 코일(coil)의 직경 증가로 인한 맨드렐 회전수(RPM)감속에 의한 토크 Tr_4 의 합으로 구성된다.

먼저 철판의 장력에 의한 토크는 다음과 같이 식 (4)로 정의된다.

$$Tr_1 = \frac{1}{2} \times T \times C.D. \quad (4)$$

수식을 살펴 보면, 철판의 맨드렐에 대한 코일의 직경이 증가함에 따라 장력에 의한 토크 값이 커짐을 알 수 있다. 다음으로, 철판의 구부림에 의한 토크는 철판이 맨드렐 주위에 감길 때 발생하는 굽힘에 대해 소요되는 토크로 식(5)로 정의된다.

$$Tr_{2_1} = \frac{1}{4} \times H.Y.P. \times w \times t^2 \quad (5)$$

$$Tr_{2_2} = \frac{1}{60 \times C.D.} \times H.Y.P. \times w \times t^3$$

위의 두 식의 차이점은 첫 번째는 철판에 대한 순수 열간 항복 강도만을 고려한 것을 의미하며, 두 번째 식은 맨드렐에 철판이 감길 때의 코일의 직경 증가를 고려한 열간 항복 강도를 같이 고려하고 있다는 것이다. 필요에 따라 두 식 중 하나만을 선택하여 사용하면 된다.

맨드렐 권취 속도의 가·감속 토크는 맨드렐의 가·감속에 따른 관성(inertia)의 변화로 발생하는 토크로 다음의 식(6)으로 정의된다.

$$Tr_3 = I \times \alpha \times \left(\frac{C.D.}{2} \right) \quad (6)$$

$$(I = \text{Mandrel Machine Inertia} + \text{Motor Inertia} + \text{Strip Inertia})$$

식 (6)에서 철판의 관성(inertia)은 식(7)과 같다.

$$\text{Strip Inertia} = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{\pi \rho w}{32} (C.D.^4 - M.D.^4) \quad (7)$$

권취된 코일(coil)의 직경 증가로 인한 맨드렐 회전수(RPM) 감속은 관성(inertia)에 변화를 가져오며 부하로 작용하여 토크를 발생한다. 이때의 관성(inertia)의 변화로 발생하는 토크는 식(8)로 정의된다.

$$Tr_4 = I \times \frac{Ch_{RPM}}{Ti} \quad (8)$$

식(4) ~ 식(8)을 종합하면 맨드렐에서의 전체 토크가 식 (9)와 같이 계산되며, 감길 철판에 대한 부하를 미리 예측할 수 있게 된다.

$$Tr = Tr_1 + Tr_2 + Tr_3 + Tr_4 \quad (9)$$

3. 시뮬레이터의 구성

본 연구에서는 2 장에서 기술한 이론적인 수식을 바탕으로 권취 조업의 결과를 오프라인으로 미리 예측 및 확인할 수 있는 시뮬레이터 프로그램을 구성하였다. 본 시뮬레이터의 처리 흐름도는 Fig. 6 과 같으며, 가장 큰 장점으로서는 권취 하려는 대상 철판에 대해 펀치 롤 부에서의 능력 검토 및 맨드렐 부에서 요구되는 모터 토크까지의 종합적인 정보를 제공해줌으로써 최종적으로 사용자가 원하는 권취 가능 여부를 제공해 주는데 있다.

시뮬레이터의 구성을 위해 사용된 프로그램

언어는 National Instrument 사의 Lab/Windows CVI 이
 며, 권취기 각 부분별로 별도의 팝업 창을 만들고
 버튼 방식으로 구성함으로써 사용자가 쉽게 접근
 할 수 있도록 하였다.

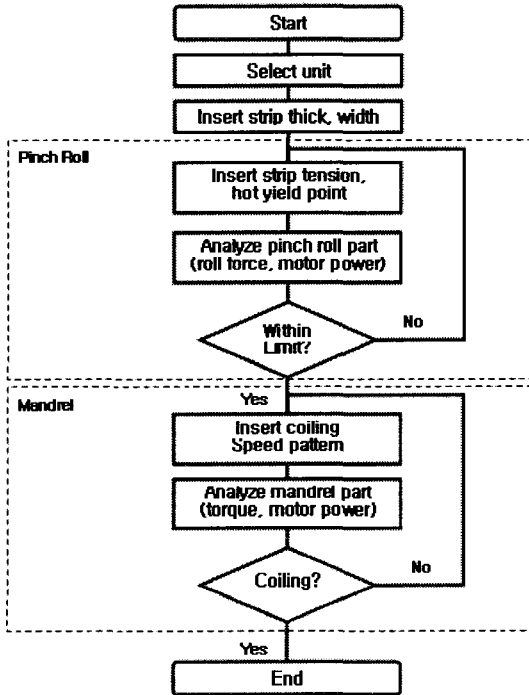


Fig. 6 Flowchart of the simulator

3.1 초기 시뮬레이터 화면

시뮬레이터 프로그램의 초기화면은 Fig. 7 과 같
 으며, 권취기의 이해를 돕기 위해서 각 부분을 3
 차원 그래픽 배경 화면으로 구성하였다.

초기 화면에 표시된 버튼을 그 기능에 따라 설
 명하면 다음과 같다.

먼저, “UNITS” 버튼은 실제 계산되는 값에 대
 한 각종 단위 변환을 도와주는 부분이며, 여기에는
 힘, 길이, 속도, 시간 등의 기본 치수(dimension)에
 대하여 SI 단위계나 기타 단위계로의 환산을 시켜
 주는 역할을 한다.

“STRIP” 버튼은 권취기에서 실제 권취 되는 철
 판의 사양을 표시하는 부분이며, 여기에는 두께,
 폭, 재질의 물성 치를 나타내는 항복 강도 등 기본
 사항을 입력할 수 있도록 되어 있다.

그 이하의 버튼은 권취기를 핀치롤 부, 맨드렐
 부, 래퍼 롤 부로 크게 3 부분으로 나누어서 각각

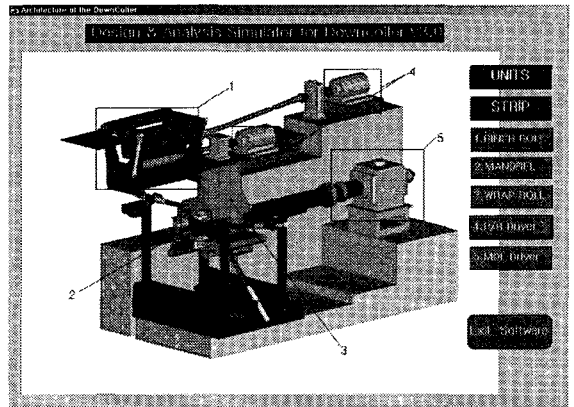


Fig. 7 Initial panel of downcoiler simulator

부분별로 시뮬레이션을 수행 가능케 하였다. 핀치
 롤 부와 맨드렐 부에서는 권취기에서 가장 중요하
 은 요소인 장력에 대해 분석을 할 수 있도록 하였으
 며, 기본 설계 치수도 입력하여 변화를 줄 수 있
 도록 하였다.

마지막으로, 권취기에서 필요한 모터, 즉 핀치
 롤 모터와 맨드렐 모터의 선정에 필요한 기초 설
 계 해석을 가능하게 하는 부분이 있다. 핀치롤 모
 터의 결정은 권취에 필요한 장력 토크가 정해지면,
 모터의 정격을 고려하여 설계할 수 있도록 하였으
 며, 맨드렐 모터의 결정은 속도, 장력, 굽힘 등의
 종합적인 해석을 통해서 정격을 설계할 수 있도록
 하였다.

3.2 핀치롤 및 맨드렐 부의 시뮬레이터 화면

Fig. 7 의 “PINCH ROLL” 버튼을 클릭하면 Fig.
 8 과 같은 화면이 나타나며, 핀치롤 부에서의 각
 요소 부분에 걸리는 힘과 핀치롤 부의 권취 능력
 을 검토할 수 있다.

화면에는 두 가지 형태의 핀치롤 모양이 표시
 되어 있으며, 왼쪽의 경우에는 힌지(hinge) 형, 오
 른 쪽의 경우에는 하우징(housing) 형으로 구분되
 어, 사용자가 기기의 종류에 따라 직접 선택할 수
 있도록 구성하였다.

힌지 형은 하우징 형에 비해 구조가 간편하며,
 유지 보수가 쉬운 장점을 가지고 있으나, 압연기
 와 같은 구조의 하우징 형에 비해 핀칭(pinching)
 능력에 제한이 따르는 단점도 있다.

Fig. 8 의 버튼을 통해 각 요소의 설계 치수 입
 력을 수행할 수 있으며, 그 값으로부터 식 1) ~ 식

(3)과 같이 실린더 힘, 핀치를 힘, 모터 파워, 장력과의 관계 등을 얻을 수 있다.

그 결과를 Fig. 9 에 나타내었으며, 구해진 결과로부터 권취할 철판이 핀치 롤 부분에 미치는 영향을 실제 권취 작업 없이 시뮬레이터를 이용하여 분석할 수 있게 하였다. 또한 실제 작업 후 결과로부터 시뮬레이터 값과의 비교를 통해 제어 이상이나 기계 결함 등의 잘못된 부분을 판단할 수 있게 하였다. Fig. 9 의 6 개 그래프는 실린더 및 장력과의 관계를 특정 철판에 대해 분석한 것이며, 화면 우측에는 특정 소재를 권취 할 때 핀치 롤 부에서 요구되는 값을 나열한 것이다.

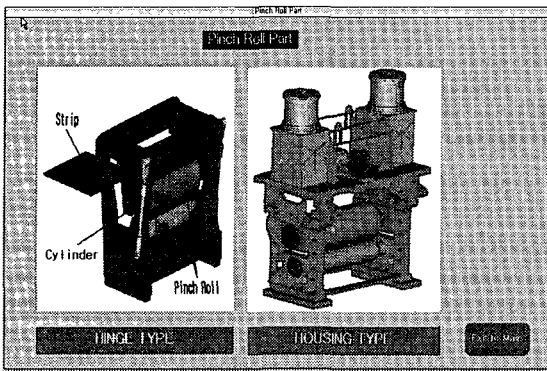


Fig. 8 Initial panel of pinch roll part

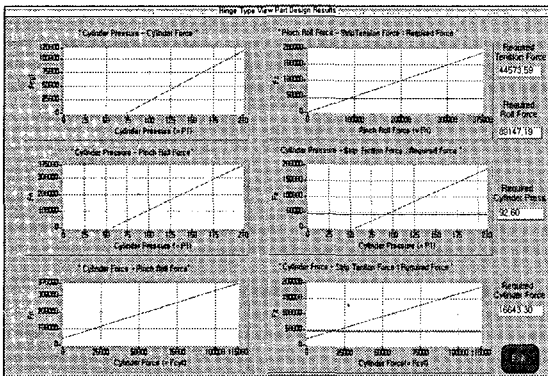


Fig. 9 Results panel of pinch roll part

Fig. 7 의 “MANDREL” 버튼을 클릭하면, Fig. 10 과 같은 화면이 나타난다. 본 화면의 목적은 맨드릴에서 요구되는 힘과 맨드릴의 권취 능력을 검토하는데 있다. 화면에는 배경화면으로 맨드릴의 3 차원 그림과 내부 단면 그림이 있으며, 사용자는 이를 보고 쉽게 그 구성 요소를 파악할 수 있게 된다. 또한, 내부 단면을 보면, 세그먼트(segment)와

웨이(wedge), 실린더 로드, 연결 바(connecting bar)와 같은 맨드릴에서 필수적인 요소들이 표현되어 있다.

또한 우측에는 “Mechanical Design” 항목과 “Process Design” 항목으로 나누어져 있으며, “Mechanical Design” 항목은 Mandrel 에 있어서의 기계적인 부분인 세그먼트와 웨지, 그리고, 연결바의 설계와 실린더 로드에서의 힘과 장력의 관계를 분석할 수 있는 항목으로 되어 있다.

Fig. 11 은 입력한 수치로부터의 세그먼트의 운동, 실린더 로드의 변위 등을 확인할 수 있는 출력 화면을 나타낸다.

권취 프로세스 항목은 맨드릴에서 권취가 진행될 때의 과정과 그 때 발생하는 여러 현상을 분석할 수 있으며, Fig. 12 와 같이 권취 속도, 관성(inertia) 등을 입력하면 요구되는 권취 토크는 장력, 굽힘, 그리고 기타 성분으로 구분하여 정보를 제공할 뿐만 아니라 종합적인 최종 토크도 합산하여 제공하도록 하였다.

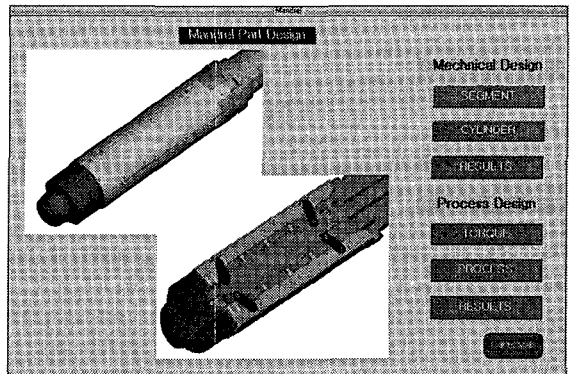


Fig. 10 Initial panel of mandrel part

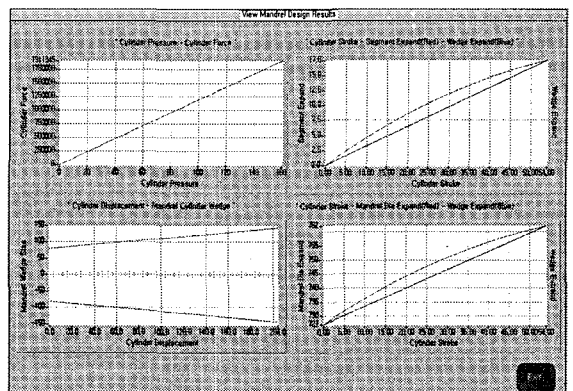


Fig. 11 Design panel of mandrel mechanical part

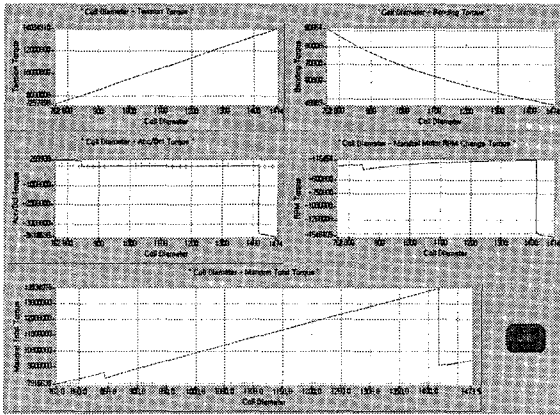


Fig. 12 Required coiling torque for mandrel

4. 시뮬레이터의 검증

본 연구에서 구성한 시뮬레이터의 타당성을 검증하기 위하여 현장 실험을 수행한 후 그 결과치를 비교해 보았다. 본 실험의 대상은 포항 2 열연 공장의 권취기로, 현재 권취 조건이 다른 공장보다 단위 장력을 높게 설정하여 작업하는 것으로 알려져 있다⁸. 그러므로, 본 실험은 적절한 권취 조건을 찾고자 하는 취지도 함께 있다.

실험조건은 Table 1 과 같으며, Case 1 과 Case 2 는 동일한 소재에 대해 현재의 조업 조건 단위 장력과 Fig. 1 을 기반으로 하는 단위 장력과의 비교 및 각각의 단위 장력에 대한 시뮬레이터 출력 값과 실제 조업 실적을 비교하기 위한 조건이며, Case 3 은 두꺼운 소재에 대해 본 시뮬레이터의 성능을 분석하기 위한 조건이다. 권취 할 대상 철판은 일반적인 재질의 강으로 구성되어 있으며, 권취 온도도 열연 공정에서 주로 사용되는 온도를 이용하였다.

실험 결과를 살펴 보면 다음과 같다.

Fig. 13 은 Table 1 의 Case 1 에 대한 맨드릴 모터의 전류 값과 시뮬레이터의 출력 토크를 모터 정격 전류로 환산한 결과를 나타낸 것으로, 기존 조업 조건으로 권취 작업을 수행한 경우 최고 2700(A) 까지 전류 치가 상승하는 것을 확인할 수 있다. 참고로 현재 포항 2 열연 권취기의 모터 정격은 100% 부하에 1870(A)이며, 정격 전류의 250% 까지 견딜 수 있는 구조로 설계되어 있다. 시뮬레이터의 출력 값과 실제 실험을 수행하였을 때의 결과는 상당히 유사함을 확인할 수 있으며, 실제

조업에서 초기에 많은 전류 치가 측정되는 것은 맨드릴 주위의 래퍼 롤의 작용에 의한 것으로 추정된다.

Table 1 Experimental Condition

	Case 1	Case 2	Case 3
Strip Thickness(mm)	6	6	15.7
Strip Width(mm)	1220	1220	1243
Coiling Temp. (°C)	620	620	600
Unit Tension(N/mm ²)	9.65	4.5	4.67

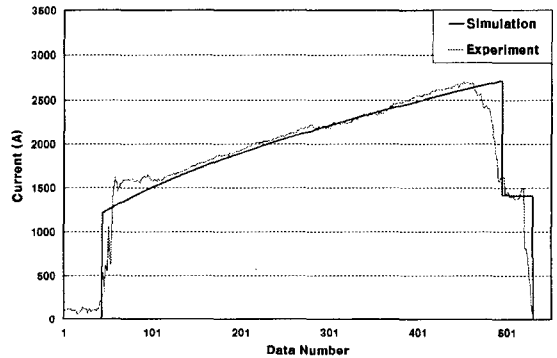


Fig. 13 Comparison of mandrel current and simulator result for case 1

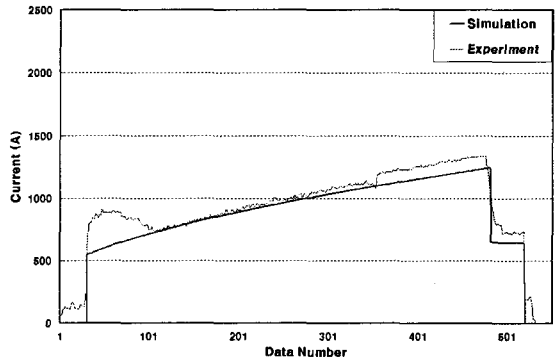


Fig. 14 Comparison of mandrel current and simulator result for case 2

Fig. 14 는 Table 1 의 Case 1 과 동일한 소재에 대해 Case 2 의 조건으로 작업을 수행한 것으로, 1300(A) 정도의 낮은 전류 값으로 권취가 수행됨을 확인할 수 있다. 그리고, 이때 시뮬레이터의 결과도 실제 조업과 유사함을 확인할 수 있다. 그러

므로, Table 1 의 Case 2 와 같이 낮은 단위 장력으로 도 충분히 권취가 수행됨을 확인할 수 있으며, 향후 전체 권취 소재에 대해 적절한 단위 장력으로 재구성할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Fig. 15 는 낮은 단위 장력으로 두꺼운 소재에 대해 권취를 수행한 결과로써 시뮬레이터의 예측이 비교적 정확함을 확인할 수 있다.

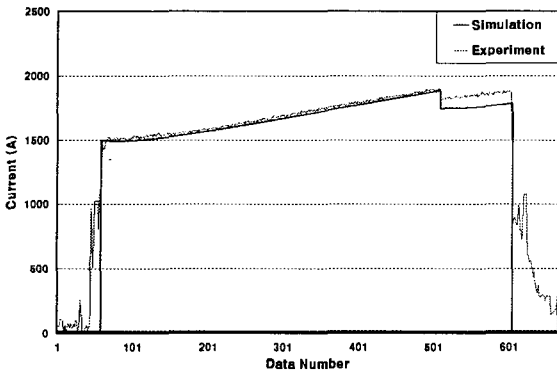


Fig. 15 Comparison of mandrel current and simulator result for case 3

5. 결론

본 연구에서는 권취기 구동에 필요한 기본 이론 식을 체계적으로 정립하였고, 구성된 이론 식을 바탕으로 윈도우 환경에서 오프라인 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터에는 단위 환산 부분, 권취 철판에 대한 기본 사양 입력 부분, 그리고 핀치 롤과 맨드릴 부분으로 크게 나뉘지며, 각 부분 별로 기본 설계 및 프로세스 분석, 구동 계 설계를 수행할 수 있도록 하여 현장 조업에서 활용 가능토록 구성하였다. 또한, 개발된 시뮬레이터의 타당성 검증을 위하여 포항 2 열연의 조업 조건을 입력하고, 이에 대한 현장 적용 실험을 수행함으로써, 프로그램의 시뮬레이션 결과와 비교 분석을 수행하였다. 개발한 시뮬레이터에서의 전류 값과 현장 조업에서의 측정 전류 값이 거의 일치함이 확인되어 성능이 검증되었다. 개발한 시뮬레이터를 이용할 경우 현장의 실제 조업 없이 테스트가 가능하여, 오프라인 상에서 조업의 패턴에 대한 예측이 가능하다. 또한 낮은 단위 장력으로도 충분히 권취를 수행할 수 있음을 확인하였으며, 이로 인해 권취 조업 시 전류 소모를 줄여 에너지 절감에도 많은 기여를 할 수 있으리라 기대된다.

향후 개발된 시뮬레이터를 업그레이드 시킴으로써 열연 권취기의 성능 향상 및 조업 안정화에 도움을 줄 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. Kuszaj, A. M., "Hot Strip Mill Downcoiler Design Considerations," Iron and Steel Engineer, Vol. 5, pp.77 - 88, 1968.
2. Kido, S., Akaji, M. and Murata, M., "Hydraulic Wrapper Roll in Hot Strip Downcoiler," Iron and Steel Engineer, Vol. 9, pp. 43 - 48, 1982.
3. Wolfgang, R. and Rosenthal, D., "High-Tech Rolling in Hot Strip Mills - Theory and Practice," Metallurgical Plant and Technology, Vol. 1, pp. 48 - 55, 1990.
4. Roberts, W. L., "Hot Rolling of Steel," Marcel Dekker Inc., 1983.
5. POSCO, "Pohang Steel Works No.2 Hot Strip Mill Maintenance Manual," SMS, 1995.
6. POSCO, "Pohang Steel Works No.2 Hot Strip Mill Operation Manual," SMS, 1995.
7. Ju, K. L., " Study of Control Model for Down Coiler," The Shanghai institute of Metallurgy, Vol.14, No.3, pp.52-56, 1992.
8. POSCO, "POSCO No.2 Hot Strip Mill Operation Manual," 1980.