

## 습식 다단 인발공정 해석 프로그램 개발 및 적용

이상곤\*, 김민안\*, 김병민# 조형호\*\*

### Development of Analysis Program for Multi-Pass Wet Wire Drawing Process and Its Application

Sang Kon Lee\*, Min Ahn Kim\*, Byung Min Kim\*\*, Hyung Ho Jo\*\*\*

#### ABSTRACT

This paper investigates the multi-pass wet wire drawing process considering the slip between the wire and the capstan. The production of fine wire through multi-pass wet wire drawing process would be impossible without backtension. The backtension is affected by many process parameters, such as slip, dies reduction, coiling number of wire at the capstan, machine reduction, characteristic of lubricant etc. Up to date, die design and dies pass schedule of multi-pass wet wire drawing process have been performed by trial and error of expert in the industrial field. In this study, an analysis program which can perform the analysis and considering the effect of slip at each capstan was developed. The effects of many important parameters (drawing force, backtension force, needed power, slip rate, slip velocity rate etc.) on multi-pass wet wire drawing process can be predicted by this developed program. It is possible to obtain the important basic data which can be used in the pass schedule of multi-pass wet wire drawing process by using this developed program.

**Key Words** : Multi-Pass Wet Wire Drawing Process(습식 다단 인발공정), Slip Rate(슬립율), Slip Velocity Rate(슬립 속도율), Drawing Force(인발력), Backtension Force(역장력)

#### 기호설명

$S$  = Slip at the capstan

$S_{rate}$  = Slip rate at the capstan

$S_{vel}$  = Slip velocity rate at the capstan

$U$  = Velocity of capstan

$v$  = Velocity of wire

$U_n$  = Velocity of the last drum

$F_d$  = Drawing force

$k_m$  = Average deformation resistance of wire

$k_{fm}$  = Average yield strength of wire

$\mu_D$  = Friction Coeff. between wire and dies

$f_1, f_2$  = Areas of inlet and outlet of dies

$F = f_1 - f_2$

$\alpha$  = Semi-dies angle

$Q = F/\sin\alpha$

$F_{i+1,b}$  = Backtension force of i+1th dies

$F_{i,d}$  = Drawing force of ith dies

접수일: 2003년 2월 27일; 게재승인일: 2003년 7월 11일

\* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

# 교신저자: 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

E-mail: brkim@pusan.ac.kr, Tel: (051) 510-2319

\*\* 한국생산기술원 나노소재팀

$\mu_{ci}$  = Friction Coeff. between wire and capstan  
 $n_i$  = Coiling number of wire at  $i$ th capstan  
 $T$  = Load evaluated by load cell  
 $P$  = Weight of weight

### 1. 서론

최근 자동차 타이어의 보강재로 사용되고 있는 Steel Cord 제품은 건식 인발(Dry wire drawing)공정 후 습식 인발(Wet wire drawing)공정을 거쳐, 최종 제품을 생산하는 연선(Wire laying)공정을 거쳐 생산된다. 특히, 습식 인발공정은 일반적으로 1,000 m/min 이상의 고속으로 진행되고 있어 공정 중의 단선(Wire breakage)은 생산효율을 저하시키고 생산 비용을 현저히 증가시키는 원인이 된다. 따라서, 인발공정시 단선방지를 통한 생산성의 향상 및 공정의 안정화는 극히 중요하다. 이를 위해서는 인발공정시 공정변수들이 미치는 영향평가 및 이를 통한 적절한 공정변수 선정이 매우 중요하다. 그러나, 현재까지 인발공정에 대한 연구는 유한요소법 등을 이용한 단 패스에 대한 연구에 국한된 경우가 많으며<sup>1</sup>, 다단 인발공정의 패스 스케줄에 관한 연구도 단순 등단면 감소율 및 등동력 패스 스케줄에 국한된 경우가 많다<sup>2</sup>. 현재 국내 인발 업계에서도 대부분의 다단 패스 스케줄은 등단면 감소율을 이용하며, 공정중에 단선 등의 문제가 발생하는 경우 대부분 현장 숙련자들의 경험에 의존하여 다이스 및 다이스 스케줄을 행하는 실정이다.

비슬립형인 건식 인발공정은 댄스(Dancer) 혹은 블록(Block)의 속도 제어에 의하여 장력의 변화를 조절함으로써 선재의 인발을 용이하게 한다<sup>3</sup>. 반면에, 슬립형 습식 인발공정의 경우에는 기계적인 제어에 의하여 장력을 조절하는 것이 아니라, 캡스탄(Capstan)에서 슬립을 허용함으로써 다이스의 변화에 따른 장력의 변화를 조절하게 된다<sup>3</sup>. 슬립은 습식 인발공정 시 선재의 속도와 그 선재가 감겨져 있는 캡스탄의 표면속도 차를 말하며, 이 슬립에 의하여 습식 인발공정 중에 다이스의 입구 및 출구에서 장력이 발생하게 된다. 따라서, 습식 인발공정에서는 적절한 다이스의 감면율 설정 및 캡스탄에서의 선재의 권취수에 따른 슬립의 제어가 중요하다.

습식 인발공정에서 선재를 인발하기 위한 인발력은 소재를 변형시키는데 필요한 힘, 소재와 다이

스 접촉면에서의 마찰을 극복하기 위한 힘, 그리고 다이스의 입구에서 인발 방향과 반대 방향으로 발생하는 역장력의 합으로 이루어져 있다. 따라서, 습식 인발공정 시 다이스의 입구 및 출구측에서 발생하는 인발력 및 역장력을 적절하게 조절함으로써, 보다 원활한 인발이 가능하게 된다<sup>4</sup>.

본 연구는 캡스탄에서의 선재와 캡스탄 표면사이의 슬립을 고려한 습식 인발공정의 다이스 설계 및 다이스 스케줄을 위한 선행 연구로서, 습식 인발공정 시 영향을 미치는 주요 공정변수(다이스 감면율, 다이스 반각, 선재의 물성치, 윤활제 특성, 캡스탄에서의 선재의 권취수 등)들을 고려하여 습식 인발공정을 정량적으로 해석할 수 있는 습식 인발공정 해석 프로그램(WetDA)을 개발하였으며, 이를 이용하여 현장 작업자들이 효율적으로 습식 다단 인발공정의 패스 스케줄을 수행할 수 있도록 하였다. 또한, 본 연구에서는 실제 현장에 적용되고 있는 습식 인발공정에 대한 해석을 수행하여 인발력, 역장력, 슬립률, 슬립속도율 등을 예측하고, 이를 기초로 선재의 단선율을 저감시키기 위한 패스 재설계를 수행하여 그 타당성을 검증하였다.

### 2. 습식 인발공정의 이론

#### 2.1 슬립률 및 슬립속도율

다단 습식 인발공정의 경우 다이스 및 캡스탄이 윤활제 속에 잠겨져 있는 상태에서 작업이 이루어진다. Fig. 1에서와 같이 습식 인발공정의 경우 선재와 캡스탄 표면 사이에 마찰로 인하여 선재속도와 캡스탄 표면속도가 다르다. 이 속도차를 슬립(S)이라고 하며, 그 차이를 캡스탄의 속도에 대한 비율로 나타낸 것을 슬립률( $S_{rate}$ )이라고 한다. 슬립과 슬립률은 다음과 같이 각각 표현된다<sup>5</sup>.

$$S = U - v \tag{1}$$

$$S_{rate} = (U - v) / U \times 100 [\%] \tag{2}$$

습식 다단 인발공정의 경우 이 슬립이 역장력의 발생에 영향을 미치기 때문에 슬립량의 조절을 통하여 역장력이 적절하게 일어나게 하는 것이 중요하다.

슬립속도율( $S_{vel}$ )은 Fig. 2와 같이, 각 캡스탄에서의 슬립을 마지막 권취드럼의 속도에 대한 비율로 나타낸 것을 말하며, 다음의 식으로 나타낸다<sup>6</sup>.

$$S_{vel} = (U - v) / U_n \times 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

$$F_d = k_m(F + Q \cdot \mu_D) + 0.77 \cdot \alpha \cdot k_{fm} \cdot f_2 \quad (5)$$

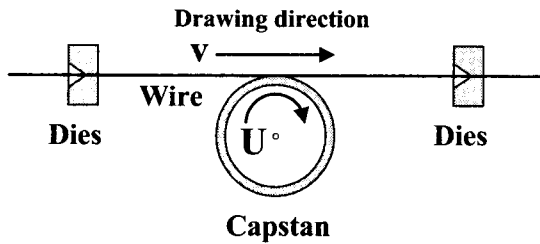


Fig. 1 Slip in the wet wire drawing process

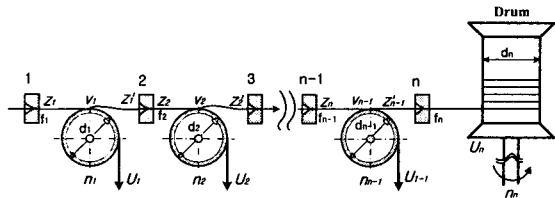


Fig. 2 Schematic representation of slip type drawing machine

### 2.2 기계 감면율

습식 다단 인발공정에서 선재와 캡스탄의 슬립 때문에 선재를 인발하는 캡스탄은 다이스 감면율을 고려하여 설계되어야 한다.<sup>5</sup> 다단 인발공정에서 한 다이스를 기준으로 전후에 위치하고 있는 캡스탄의 속도비를 기계 감면율(Machine reduction :  $K_i$ )이라고 하며, Fig. 2를 참조하여 다음의 식으로 계산되 어진다.<sup>3</sup>

$$K_i = \frac{U_i}{U_{i-1}} \times 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

### 2.3 인발력 및 역장력 계산

Fig. 3은 습식 다단 인발공정 중에 발생하는 인 발력과 역장력 관계를 나타낸 것이다. 다이스 출구 측에서는 선재를 인발하기 위한 인발력이 작용하게 되며, 다이스 입구측에서는 인발 방향과 반대방향 으로 역장력이 작용하게 된다. 본 연구에서는 습식 다단 인발공정에서 각 다이스의 출구측의 선재에 작용하는 인발력을 계산하기 위하여 다음의 Geleji 의 식을 이용하였다.<sup>7</sup>

역장력은 습식 인발 공정 시 캡스탄의 표면속도 와 선재의 속도 차이로 인하여 발생하는 슬립에 의 하여 인발 시 다이스 입구에서 인발 방향과 반대방 향으로 작용하는 힘이다. Fig. 3에서,  $i$ 번째 캡스탄 의 전·후에 위치한  $i$ 번째와  $i+1$ 번째 다이스에 있 어서  $i$ 번째 다이스의 출구측에서는 선재를  $i$ 번째 다이 스를 통과시키기 위한 인발력이 작용하고  $i+1$ 번째 다이스의 입구측에서는 캡스탄의 슬립에 의한 역장 력이 작용하게 된다. 다이스의 입구측에서 작용하 는 역장력의 크기는 Eytelwein의 식에 의하여 다음 과 같이 표현된다.<sup>8</sup>

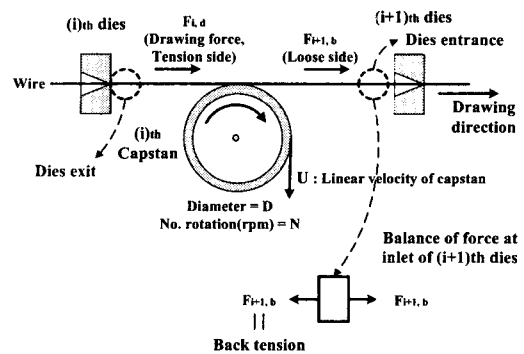


Fig. 3 Drawing and Backtension force at the continuous dies

$$F_{i+1,b} = \frac{1}{\exp(2\pi \times n_i \times \mu_{ci})} \cdot F_{i,d} \quad (6)$$

식(6)에서, 다이스 입구측에서 발생하는 역장력 은 이전 다이스의 인발력, 이전 캡스탄에서의 선재 의 권취수 및 선재와 캡스탄 표면사이의 마찰계수 에 영향을 받음을 알 수 있다.

### 3. 습식 인발공정 해석 프로그램

본 연구에서는 습식 다단 인발공정의 인발력, 역 장력, 소요동력, 슬립률, 슬립 속도율 등을 해석할 수 있는 프로그램(WetDA)을 개발하였다. Fig. 4는 개발한 프로그램의 순서도이다. 초기 선재의 물성 치, 다이스 및 캡스탄의 입력 데이터에 의하여 첫

패스에 대한 인발력을 계산하게 되며, 계산되어진 인발력, 선재와 캡스탄 표면 사이의 마찰특성 및 권취수에 의하여 다음 패스의 역장력을 산출하게 되며, 순차적으로 이후 패스에 대한 계산을 수행하게 된다.

해석 프로그램은 GUI환경으로 데이터의 입력 및 수정, 그리고 결과의 확인을 용의 하게 구성하였다. 해석을 위하여 총 패스 수, 선재 물성치, 다이스 및 캡스탄의 정보를 입력 데이터로 사용하며, Table 1에 해석을 위한 입력 데이터를 나타내었다.

해석을 통하여 산출되는 데이터는 Table 2와 같이 다이스 및 기계 감면율<sup>5</sup>, 평균변형률, 인발하중 및 인발응력, 역장력, 각 패스에서의 선재의 속도, 선재의 소성변형 및 다이스 접촉면에서의 마찰을 극복하고 선재를 인발하기 위해 각 패스에서 소요되는 동력<sup>7</sup>, 각 패스에서의 슬립률, 각 패스에서의 슬립률이 누적 된 총 슬립률<sup>5</sup>, 그리고 슬립 속도율<sup>6</sup>이다. 또한, Table 2의 산출 데이터를 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록, Fig. 5와 같이 그래프로 출력이 가능하게 하였다.

Table 1 Input data of WetDA program

	Input data
No. of pass	n(No. of pass)
Flow stress of wire	$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n$ (kgf/mm <sup>2</sup> )
Data of dies	Dia. of inlet and exit[mm]
	Semi-dies angle[°]
	Friction coefficient[ $\mu_D$ ]
Data of capstan	Diameter[mm]
	RPM[rpm]
	Coiling No. of wire
	Friction coefficient[ $\mu_C$ ]

Table 2 Output data of WetDA program

Output data	Output data
Dies reduction[%]	Machine reduction[%]
Average strain	Wire velocity[mm/s]
Drawing stress[kgf/mm <sup>2</sup> ]	slip rate[%]
Drawing force[kgf]	Total slip rate[%]
Backtension force[kgf]	slip velocity rate[%]
Required power[kW]	

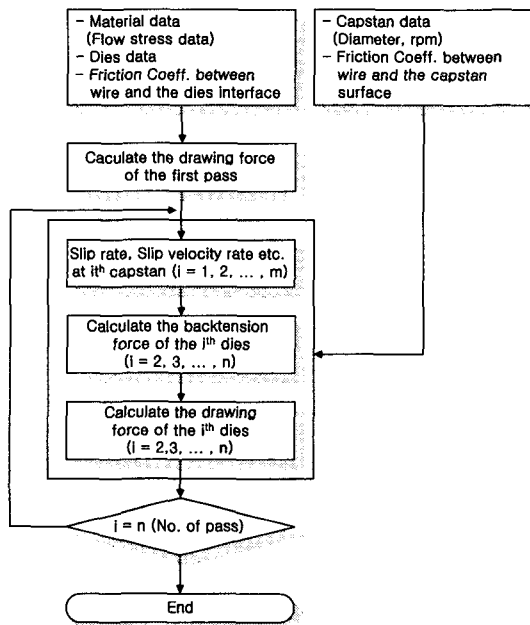


Fig. 5 Flow chart for analysis of multi pass wet wire drawing process

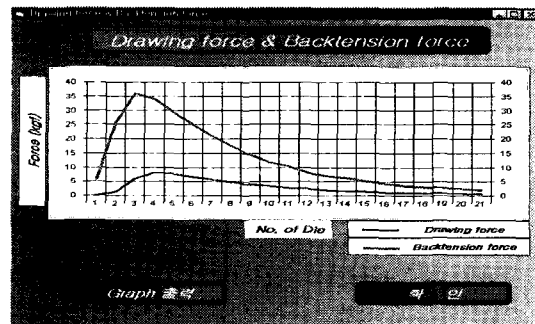


Fig. 5 Output graphic window of WetDA program

#### 4. 습식 다단 인발공정에서의 마찰특성 평가

##### 4.1 마찰특성 평가

##### 4.1.1 선재와 다이스 접촉면에서의 마찰특성

습식 인발공정 시 선재와 다이스 접촉면에서의 마찰계수를 평가하기 위하여 드로벤치(Draw bench)를 이용하였다. Fig. 6은 마찰시험을 위해 제작된 시험장치의 계략도를 나타낸다.

선재와 초경 다이스 그리고 윤활제(Supersol ADM)는 실제 공정에서 사용하고 있는 것을 이용하였으며, 별도의 공급장치를 설치하여 충분한 양의 윤활제가 공급되도록 하였다. 마찰계수( $\mu_D$ )는 식(5)로부터 식(7)로 변형시켜 계산하였다. 시험을 통하여 구한 선재와 다이스 접촉면 사이의 마찰계수( $\mu_D$ )는 0.11 이었다.

$$\mu_D = \left( \frac{F_d - 0.77 \cdot \alpha \cdot k_{fm} \cdot f_2}{k_m} - F \right) / Q \quad (7)$$

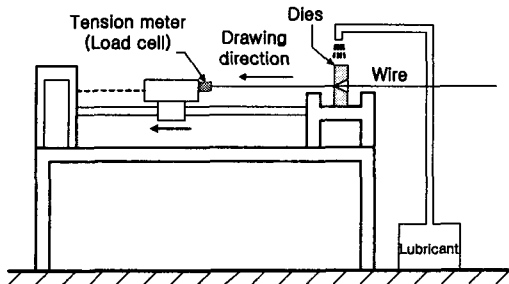


Fig. 6 Schematic drawing of test machine for lubricant between wire and dies

#### 4.2.2 선재와 캡스탄 표면사이의 마찰특성

습식 인발공정에서는 슬립과 캡스탄에서의 선재의 권취수가 공정에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서는 슬립과 캡스탄에서의 선재의 권취수에 따라 변동하는 캡스탄과 선재 사이의 마찰계수를 구하여, 본 해석 프로그램에 적용하였다. Fig. 7에 선재와 캡스탄표면에서의 마찰특성을 평가하기 위해 제작된 시험장치의 개략도를 나타내었다.

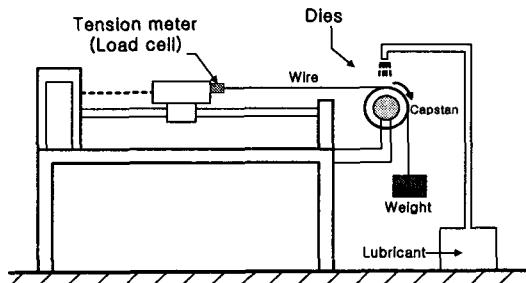


Fig. 7 Schematic drawing of test machine for lubricant between wire and capstan surface

Fig. 7의 시험에서도 역시 실제 현장에서 사용하고 있는 선재와 캡스탄, 그리고 윤활제(Supersol ADM)를 사용하였다. 캡스탄은 가변 전기모터를 사용하여 속도조절이 가능하게 하였다. 선재는 한쪽 끝을 로드셀에 고정시켜 하중을 측정하게 하였으며, 다른 한 쪽 끝에서 무게 추를 고정시켰다. 따라서, 본 시험 장치에서 가변 모터에 의해 회전하게 되는 캡스탄의 표면속도가 실제 인발공정 중에 발생하는 슬립이 되는 것이다. Fig. 7의 장치에서 마찰계수는 앞의 식(6)으로부터 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\mu_c = \frac{\ln(T/P)}{2\pi \cdot n} \quad (8)$$

슬립과 권취수의 영향을 동시에 고려하기 위하여, 본 연구에서는 캡스탄의 속도와 권취수를 변화시키며 시험을 수행하였다. 권취수는 실제 습식 인발공정 시 적용 가능한 범위인 0.25, 1.25, 2.25회에 대하여 시험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 권취수가 클수록, 그리고 슬립이 증가할수록 마찰계수( $\mu_c$ )가 점진적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

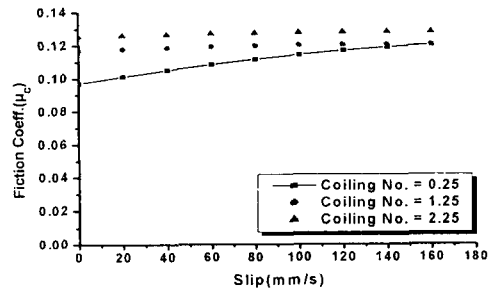


Fig. 8 Friction coefficient between wire and capstan

### 5. 실공정에의 적용 및 단선을 저감을 위한 패스 재설계

개발된 프로그램을 이용하여 실제 현장에서 사용하고 있는 습식 다단 인발공정에 대한 해석을 수행하였으며, 해석결과를 토대로 단선을 저감을 위한 패스 재설계를 수행하였다. 해석에 적용한 공정은 초기 선재 직경 1.54mm에서 최종 선재 직경

0.34mm의 22패스 습식 다단 인발공정이다.

본 프로그램을 이용하여 실제 습식 다단 인발공정에 대한 해석을 수행하기 위하여 먼저 초기 선재에 대한 물성치 시험을 실시하였다. 선재는 AISI 1080의 고탄소강으로, 유동응력식을 구하여 위하여, 초기 선재에 대한 인장시험을 실시하였다. 시험 결과 초기 선재의 유동응력식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 207.3 \bar{\epsilon}^{0.2308} [\text{kg/mm}^2] \quad (9)$$

본 해석 프로그램을 이용하여 초기 선경 1.54mm로부터 직경 0.34mm의 선재를 생산하는 22 패스 습식 다단 인발공정에 대한 해석결과는 다음과 같다. 먼저 Fig. 9는 해석을 수행한 공정에 대한 각 패스에서의 인발력과 다이스 입구에서 작용하는 역장력의 크기를 나타낸 것이다. 인발력 및 역장력도 전반부의 소재 직경이 상대적으로 큰 패스가 선재의 직경이 작은 후반부 패스보다 높음을 알 수 있다.

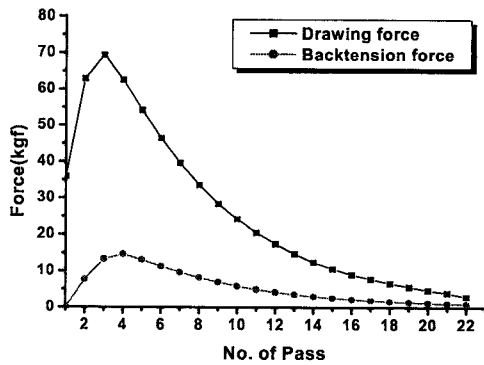


Fig. 9 Drawing force and backtension force

Fig. 10은 본 해석공정의 각 패스에서 인발력에 대한 역장력의 비율을 나타낸 것이다. 전반부 2패스 이후에 약 24~25%로 거의 균일한 값을 나타내었고, 마지막 2패스에서 약 30% 정도를 차지하였다. 실제 습식 다단 인발공정의 경우 단선을 방지하고, 안정적인 생산을 위해 적절한 역장력이 작용해야 한다.<sup>4,5</sup> 현재까지 본 연구에서와 같이 역장력을 정량적인 해석한 경우는 거의 없었으며,<sup>5</sup> 현장에서 패스 설계 또한 숙련된 기술자들의 경험에 의하여 문제가 발생하는 패스에 대한 교정 및 재설

계가 이루어지고 있다.

Fig. 11은 해석한 공정의 다이스 및 기계감면율을 나타낸 것이다. 다이스 감면율은 거의 모든 패스에 대하여 약 14.5%이고, 기계 감면율은 약 12.5%를 나타내고 있다.

Fig. 12는 각 패스에서의 슬립 속도율을 나타낸 것이다. 해석에 적용한 공정의 경우 슬립 속도율이 약 2~5.5% 사이의 값을 나타내며, 전반부에서 중반부 패스로 진행됨에 따라 점차 증가하다, 다시 후반부 패스에서 감소하는 경향을 나타내고 있다. 실제 습식 다단 인발공정의 패스 설계 시 슬립 속도율의 조절이 상당히 중요하다.<sup>6</sup> Fig. 12의 해석 결과를 기초로 패스 스케줄을 재설계 할 경우 보다 안정적인 패스 설계가 가능할 것이다.

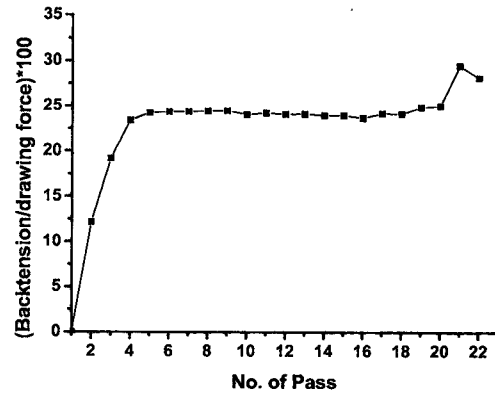


Fig. 10 Percentage of backtension force to drawing force

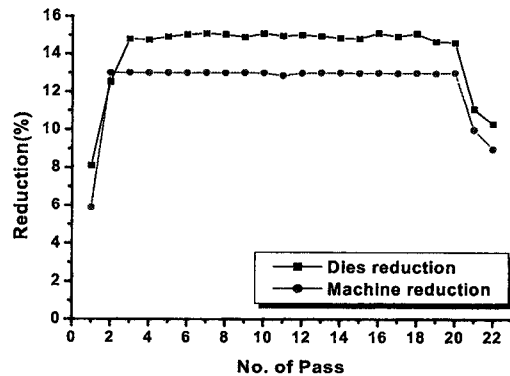


Fig. 11 Machine reduction and Dies reduction

Fig. 13은 각 패스에서 슬립률을 나타낸 것이다. 전반부에서 캡스탄 및 선재의 절대속도는 작지만, 슬립률은 후반부 패스보다도 전반부 패스에서 높게 측정됨을 알 수 있으며, 공정의 안정화를 위해 전반부 패스에서 슬립률을 실험으로 검증된 30%이하로 유지할 필요가 있다.<sup>6</sup>

이상의 결과를 기초로 실제 현장에서 슬립 속도를 적용하여 패스 재설계를 수행하였다.<sup>6</sup> 패스 재설계는 현재 적용하고 있는 습식 신선기의 사양을 그대로 유지하고 다이스 감면을 재설정을 통하여 수행하였다. Fig. 14에 재설계된 패스에 대한 다이스 및 기계 감면율을 나타내었다. 다이스 감면을 상승으로 인하여 기존 공정보다 패스 수가 3패스 감소한 19패스로 재설계되었다.

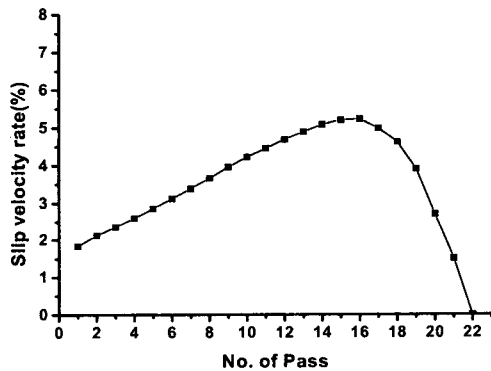


Fig. 12 Slip velocity rate at each pass

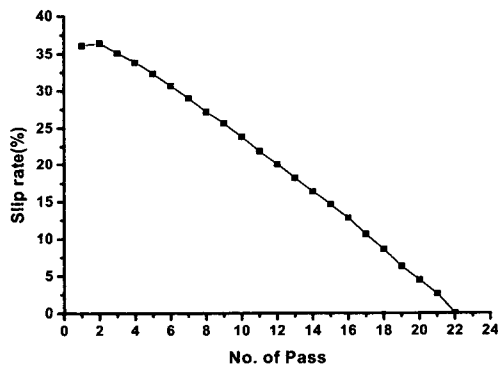


Fig. 13 Slip rate at each pass

Fig. 15는 재설계된 공정에 대한 인발력과 역장력을 나타낸 것이다. 인발력과 역장력의 형태는 기존공정과 유사하지만 다이스 감면을 상승으로 인하여 기존공정보다 높게 나타난 것을 알 수 있다.

Fig. 16은 재설계된 공정에 대한 슬립 속도율을 나타낸 것이다. 기존 연구<sup>6</sup>에서 습식 신선공정중 선재의 단선율을 최소화 하기 위해서는 각 패스에서 슬립 속도율을 3~8%로 설정하는 것이 가장 이상적이다.<sup>6</sup>

Fig. 17은 기존 공정과 재설계된 공정에 대한 실제 습식 인발실험을 실시하여 공정중에 발생하는 단선율을 나타낸 것이다. 실험결과에서 알 수 있듯이 기존 공정의 해석결과를 기초로 재설계된 공정에서 선재의 단선율이 현저하게 낮음을 알 수 있다.

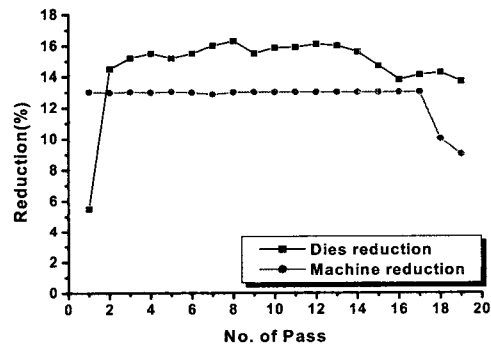


Fig. 14 Machine reduction and Dies reduction of redesigned pass

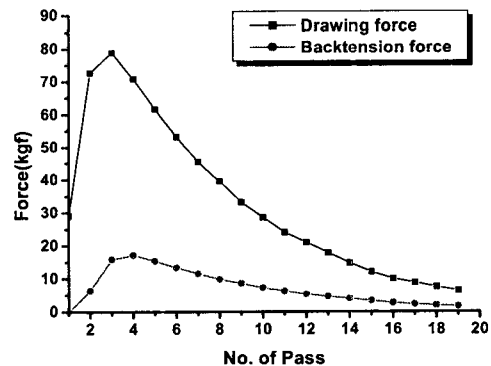


Fig. 15 Drawing force and backtension force of redesigned pass

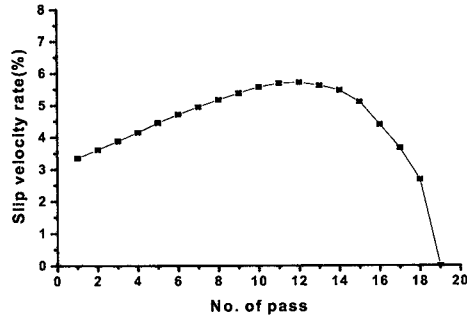


Fig. 16 Slip velocity rate at each pass

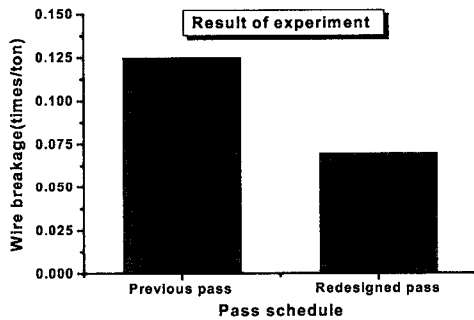


Fig. 17 Comparison of wire breakage between previous pass and redesigned pass

### 6. 결론

본 연구에서는 시행착오를 줄여 보다 효율적인 공정변수의 선정 및 다이스 스케줄을 위하여 습식 다단 인발공정 해석 프로그램(WetDA)을 개발하였다. 개발된 해석 프로그램을 이용하여 실제 현장에서 적용하고 있는 22패스 습식 다단 인발공정에 대한 해석을 수행하였으며, 해석 결과를 기초로 공정 중의 선재의 단선율을 감소시키기 위한 패스 재설계를 수행하고 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 습식 인발 공정시 선재와 다이스 표면 사이, 선재와 캡스탄 표면 사이의 마찰계수를 측정하였다. 선재와 다이스 표면사이의 마찰계수는 약 0.11이었다. 선재와 캡스탄 표면 사이의 마찰계수는 선재의 권취수와 슬립에 의존하며, 권취수와 슬립이 증가할 수록 0.125까지 증가하였다.

- (2) 캡스탄에서의 슬립을 고려한 해석 프로그램을 이용하여 실제 현장에서 적용하고 있는 초기 직경 1.54mm에서 최종 직경 0.34mm 선재 생산을 위한 22패스 습식 다단 인발공정에 대한 해석을 수행하였다. 해석결과 인발력 및 역장력은 선재의 직경이 큰 전반부에서 높으며, 패스가 진행되어 직경이 작아지면 점차 낮아지는 경향을 나타내었다. 역장력은 모든 패스에서 인발력의 약 25%를 차지하고 있음을 알 수 있었다.
- (3) 슬립률은 선재의 절대속도는 느리지만, 선재와 캡스탄과의 상대 속도차가 큰 전반부 패스에서 높게 나타났다.
- (4) 슬립 속도율은 패스가 진행됨에 따라 점차 증가하며, 후반부 패스에서 최고 값을 나타낸 후 급격히 줄어든다. 해석 결과 슬립 속도율은 모든 패스에 대하여 약 2~5.5%의 값을 나타내었다.
- (5) 기존 패스 스케줄에 대한 해석 결과를 기초로 슬립 속도율 재설정을 통한 패스 재설계를 실시하였다. 재설계된 공정은 전체적인 다이스 감면을 증가로 인하여 패스 수가 기존 공정에 비하여 3패스가 감소하였다.
- (6) 기존 공정 및 재설계된 공정에 대한 습식 인발 실험을 실시하여 실제 공정중에 발생하는 선재의 단선율을 비교한 결과 기존 공정의 해석결과를 기초로 재설계한 공정이 단선율이 현저히 낮게 평가되었다.

개발된 프로그램(WetDA)은 습식 다단 인발공정의 다이 설계 및 다이스 스케줄의 체계적인 수행 및 현재 적용되고 있는 공정의 공정개선 등에도 유용하게 적용할 수 있을 것이다. 특히 실제 현장 작업자들의 습식 인발공정예측 및 설계에 대한 신속한 대응을 가능하게 할 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

### 참고문헌

1. Hamada, T., Hirouchi, T. and Akiyama, M., "A Numerical Study on the Distribution of Temperature



- in a Fine High Carbon Steel Wire Subjected to High-Speed Drawing," *Wire Journal*, pp. 86-92, May 2001.
2. 日本塑性加工學會, "引抜き加工," コロナ社, 1990.
  3. Avitzur, B., Simchon, M. and Shi, J., "Wet Fine Wire Drawing with Slip," *Steel Cord Technical Report*, pp. 45-54, 1993.
  4. Skolyszewski, A., Packo, M., "Back Tension Value in the Fine Wire Drawing Process," *J. Mater. Proces. Technol.* Vol. 80-81, pp. 380-387, 1998.
  5. Teragna, P., "Calculation of the Basic Parameters for "Slip" Drawing Machine," *Wire Journal*, pp. 66-72, August 1976.
  6. 公開特許公報, 特開平9-24413, 日本國特許廳.
  7. Geleji, A., "Die Berechnung der Kräfte und des Arbeitsbedarfs bei der Formgebung im bildsamen Zustande der Metalle," Akademie-Verlag, Budapest, 1995.
  8. Geleji, A., "Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch," Akademie-Verlag GmbH, Berlin.