

스테인리스 와이어의 인발에 관한 연구

A Study on the Wire Drawing of Stainless Steel

박 강 근*
Park, Kang-Geun

최 원 식**
Choi, Won-Sik

요 약

본 논문은 인발공정에 의해서 만들어지는 스테인리스 강선의 제작 시에 필요한 인발기술에 관한 연구이다. 스테인레스 강 선재는 표면이 아름답고, 표면가공을 다양하게 할 수 있으며 내식성 및 내마멸성이 우수할 뿐만 아니라 강도가 크고 가공성이 뛰어나고, 내화 내열성이 우수하여 건축물에도 많이 사용되는 볼트, 너트, 스크루우, 용접선, 와이어 로우프 등에 많이 사용된다. 대공간 연성 건축물에 특히 많이 사용되는 스테인리스 와이어의 제작 시에 최적의 다이스 설계 기준값을 찾아서 현장 적용이 용이 하도록 하였다. 스테인리스 와이어의 인발 생산 과정의 역학적 개념을 이해함으로써 와이어 로우프의 물리적 성질을 파악할 수 있다고 사료된다.

Abstract

Stainless steel is very famous for using of industrials structure and joint elements. Stainless steel wire drawing is one of the most ancient crafts. But there's not any standard size of tapered die during the drawing. This paper was studied die angle and dimension of whole die by using AFDEX drawing simulator. Stress, metal flow and strain rate was analyzed by AFDEX tools during the wire drawing. So optimum data of during dies was taken from them. Simulation data was correspond with experimental data. The results of the optimum dies are shown that (1) Reduction angle is 13.8° (2) Back relief angle is 20° (3) Bearing length is 0.7975mm (4) Bearing dia is 0.2393mm

The research of the optimum result when the make dies is connected an enterprise. After researching, I hope that indirection effect creation make development situation of the manufactural technical, practical application of the other die size by the detail data, utility factor and economical efficiency.

키워드 : 스테인리스 강, 와이어 인발, 항복조건, 소성 이방성

Keywords : Stainless steel, Wire Drawing, Yield criterion, Plastic anisotropy

1. 서 론

1.1 연구의 배경

대공간 연성구조물에 많이 사용되는 스테인리스 강선(stainless steel wire)은 인발공정에 의해서 만들어지며, 인발공정은 약 11세기경에 개발되었으며 압출과 유사하나 압출에서는 압축력이 작용하는 반면, 인발에서는 인장력이 작용하는 것이 다르다. 봉재 및 선재의 인발공정은 마무리 공정이다. 제품은 그

대로 사용하거나 굽힘 또는 기계가공 등의 후속공정을 통하여 다른 형상으로 가공되기도 한다. 스테인리스강 선재는 표면이 아름답고, 표면가공을 다양하게 할 수 있으며 내식성 및 내마멸성이 우수할 뿐만 아니라, 강도가 크고 가공성이 뛰어나며, 내화, 내열성이 우수하여 볼트, 너트, 태핑스크루우(tapping screw), 머시인 스크루우(machine screw), 망(weaving), 스프링, 로우프, 용접선등 범위가 대단히 넓게 사용되고 있다. 이러한 선재가공은 원하는 선경까지 가공 시에 강도 등 물성 확보와 사용자의 제품요구가 다양해지고 있으나, 국내의 이 분야의 발전정도는 중소기업형 산업으로 와이어 로프(wire rope) 등 일반소재로

* 정희원, 부산대학교 산업건축과 교수

** 부산대학교 바이오산업기계과 교수

Tel : 055-350-5345 E-mail : sampgk@pusan.ac.kr

채산성이 약하고, 가공공정 등에 대하여 이론적 접근 보다는 경험적 접근이 많다. 그러나 선재인발의 핵심기술은 소재기술, 다이스기술, 다이스가공기술, 생산 및 품질관리기술, 자동화 기술 등으로 이루어져 있으며 특히 우리나라의 다이스 설계기술은 크게 낙후되어 있어 이에 대한 연구가 필요하다. 선재 인발 다이스의 설계기술은 주로 시행착오적인 접근방법에 의하여 발전되어 왔으며, 최근에는 CAD/CAM, CAE 시스템 등 각종 소프트웨어를 이용한 가공의 자동화와 이러한 시스템의 활용으로 발전이 가속화되고 있다.

1.2 연구의 현황 및 목적

정밀 선선다이스 설계 및 가공기술은 초경합금의 역사와 더불어 시작 되었다. 1914년 Lohmann과 Voightlander가 초경합금 주물의 실험을 실시하였고, 1923년 Baumhauer와 Berlin에 의해 현재의 초경합금을 최초로 발명 하였다. 1926년 Friedrich Krupp사가 WIDIA(wie diamant)를 상업적으로 생산하기 시작했으며 PCD 다이스의 역사는 1954년 G.E사가 Graphite를 고온, 고압하에서 소결하여 인조 Diamond powder를 상업적으로 생산하기 시작했으며 1974년 G.E사는 다결정 복합체(Polycrystalline diamond 이하 PCD)를 개발하여 COMPAX명으로 판매 하였다. 또한 1979년 DeBeers 회사는 Syndite명으로 PCD를 개발 Milling, 암석 Drilling에서 다이스용 재료까지 개발하여 사용되고 있다. 금속의 성질 중 소성을 이용한 가공은 날로 증가하고 있으며, 특히 선재 또는 봉재의 인발 기술은 날로 발전되어 더욱 산업화 되고 있는 실정이다.¹⁻²⁰⁾

특히 스테인리스 와이어 인발기술은 11세기 이후 계속 발전과 연구를 거듭하였으며 RN Wright²¹⁾는 선재인발시 기계적 해석에 대해 연구하였으며, V.S. Dixif²²⁾등은 변형 경화된 선재의 정상상태에서의 해석에 대해서, Guoyi Tang²⁴⁾등은 절선의 냉간 인발에 대한 전-소성 응용에 대해 연구하였고, M.C. Ryiz²⁵⁾등은 선재인발과정 전후의 환경문제평가에 대해서 Ke-Fu Tao²⁶⁾등은 오스테나이트 스테인리스강의 선재인발에 대한 전소성에 대한 연구를 하였

으며, J. Zhang²⁷⁾등은 특수크롬강에 대한 냉간 드로잉에 대한 연구를 하였다.

스테인리스강의 사용범위는 더욱더 그 수요가 증가할 것으로 예상되고 그 제조방법은 개선되기는 하였으나 다이스 제작방식은 아직도 고전적인 시행착오법(try and error method)에 의존하고 있는 실정이다¹⁻⁶⁾. 특히 인발다이스는 다이아몬드 재질로서 그 가공이 쉽지 않고 또한 가공 후에 정확한 다이의 측정방법이 미흡하여 설계조차도 시행착오법에 의존하고 있는 실정이다. 소성가공 공정의 해석에서 마찰은 공정의 특성을 결정짓는 주요인자중의 하나이다. 인발공정에서 다이와 소재간의 적절한 마찰력은 필수적이다. 그러나 과도한 마찰력은 압하력을 증가시키고 다이의 마모를 과속화시키므로 적절히 통제되어야 한다. 인발공정의 경우, 마찰은 금속유동(metal flow)의 형태를 결정짓는 역할을 하지만 금형의 마모수명을 떨어뜨리므로 적절히 통제되어야 소성가공 공정의 해석에서 마찰은 공정의 특성을 결정짓는 주요인자중의 하나이다. 인발공정에서 다이와 소재간의 적절한 마찰력은 필수적이다. 그러나 과도한 마찰력은 압하력을 증가시키고 다이의 마모를 과속화시키므로 적절히 통제되어야 한다. 인발공정의 경우, 마찰은 금속유동(metal flow)의 형태를 결정짓는 역할을 하지만 금형의 마모수명을 떨어뜨리므로 적절히 통제되어야 한다. 냉간가공에서는 변형저항이 크기 때문에 윤활제를 사용하는 것이 일반화 되어 있다. 열간에서도 극심한 금형의 마모를 줄이기 위하여 흔히 윤활제를 사용하고 있다. 마찰에 영향을 미치는 주요 인자에는 접촉면의 압력, 윤활상태, 상대속도, 온도, 소재의 성질, 조도 등이 있다. 소성가공에서 마찰면은 고온 고압의 극한 상황이므로 마찰인자가 마찰력에 미치는 영향을 정확히 분석하기란 쉽지 않다.

따라서 본 연구에서는 스테인리스 와이어의 품질 및 생산성에 영향을 미치는 다이스 설계의 기준값을 찾기 위하여 인발 시뮬레이터인 AFDEX를 사용 시뮬레이션을 통한 인발다이스 제작 시에 현장에 적용가능토록 하였다.

2. 이론적 배경 및 해석

2.1 결정의 슬립

금속은 원자의 규칙적 배열로 이루어진 결정체이고 대부분은 면심입방(fcc) 및 체심입방(bcc) 구조를 갖고 있다. 단결정체(single crystal)에서는 미시적, 거시적으로 물리적, 화학적 성질은 이방성(anisotropy)이다. 그러나 다결정체(polycrystal)에서는 결정립이 선택방위(preferred orientation) 혹은 집합조직(texture)을 가지면 거시적 이방성을, 임의 배열을 가지면 거시적 등방성(isotropy)을 보이지만, 대부분은 거시적 이방성을 나타내는 것이 일반적이다. 이런 이방성특성은 소재의 가공공정 혹은 제품의 성질에 큰 영향을 준다. 또한 금속결정은 통상 그 자체에 점결함(void defect), 선결함(line defect) 및 면결함(plane defect) 등의 격자 결함을 갖고 있다. 이들 결함은 금속의 각종성질, 즉 소성변형에 중요한 영향을 미친다. 금속의 변형은 원자의 상대이동(슬립)에 의해서 생기고 이것이 가역적이면 탄성변형이지만 비가역적 변형의 일종인 소성변형은 결정의 슬립 - 전단변형에 의해서 생긴다. 슬립변형을 일으키는데 필요한 임계전단응력(critical shear stress) τ_{cr} 의 값은 원자밀도가 최대인 면에서 원자밀도가 최대인 방향으로 최소이고 이것이 슬립면과 슬립방향이 되는 결정구조에 따라 정해진다. 완전한 결정체의 임계전단응력 크기는 통상 실측치의 1,000배 정도이다. 실제 금속에서는 슬립면의 슬립방향으로 전위의 이동에 의해 소성변형이 생긴다. 단축인장에서의 Luder's band와 같은 금속표면에 생기는 슬립밴드(slip band)는 이런 결정 슬립에 의한 대표적인 예로 볼 수 있다. 한편 물체의외력이 가해져 슬립계의 전단응력이 임계전단응력에 달하면 전위 이동이 시작되고 전위운동을 지속하기 위해서는 재료의 가공경화에 따른 응력의 증가가 필요하게 된다.

2.2 항복조건

항복조건이란 어떤 부하경로 하에서 재료의 탄성한계를 넘어 재료에 연속하여 영구적인 소성변형(plastic deformation)을 생기게 하는데 필요한 응력

상태를 정하는 법칙이다. 항복조건에 가장 일반적인 형태는 다음과 같이 나타낸다.

$$f(\sigma_{ij})=C, \text{ 혹은 } f(\sigma_{ij}, K)=0 \quad (1)$$

여기서 f 는 항복함수이고, K, C 는 재료의 가공경화를 나타내는 재료 상수이다. 또한 일반적으로 금속재료의 경우에 보통크기의 정수압응력 ($p = \sigma_{kk}/3 = I_1/3$)은 항복조건에 근사적으로 영향을 미치지 못한다는 실험사실에 근거하여 항복함수 f 를 편차응력($S_{ij} = \sigma_{ij} - p \delta_{ij}$)의 불변량만의 함수로 다음과 같이 표시한다.

$$F(S_{ij})=C, \quad (2)$$

$$f(J_1, J_2, J_3, k)=f(J_2, J_3, k)=0 \quad (3)$$

여기서 J_1, J_2, J_3 는 편차응력에 대한 불변량으로 다음과 같이 정의된다.

$$J_2 = (I_1^2 + 3I_1^2)/3 = (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)/6 \quad (4)$$

$$J_3 = (2I_1^3 + 9I_1I_2 + 27I_3)/27 \quad (5)$$

한편 바우싱거효과 (Bauschinger effect)를 무시하는 경우에는 항복함수는 편차응력의 우함수이어야 하므로 J_2 만의 함수로 표시된다.

$$f(J_2, k)=0 \quad (6)$$

이와 같은 전제조건을 만족하는 항복함수로 등방성 재료에 대해 대표적인 것으로 최대 전단응력설에 기초한 Tresca의 조건과 전단변형 에너지설에 기초한 Von Mises 조건이 있다. 최대 전단응력이 임계값 k 에 달하면 항복이 일어난다고 가정한다.

$$(\sigma_{max} - \sigma_{min})/2 = (\sigma_1 - \sigma_2) = k \quad (7)$$

여기서 상수 k 는 단축 인장시험에서 결정할 수

있다. 즉, 위식은 단축인장인 경우($\sigma_{max}=\sigma_1, \sigma_{min}=\sigma_2$) 와 순수전단의 경우($\sigma_{max}=\sigma_1, \sigma_{min}=\sigma_3=-\sigma_1$)를 고려하면 $\sigma_1-\sigma_3=2k=\sigma_0, k=\sigma_0/2$ 가 된다. 여기서 σ_0 는 항복응력, k 는 전단항복응력이다.

2.2 소성 이방성 이론

통상 냉간압연된 자동차용 강판 및 D&I can용 강판은 압연에 의한 선택방위의 형성으로 판내에서 방향에 따라 강판의 항복거동 및 기계적 특성이 다른 이방성을 나타낸다. 이런 이방성 재료에 대해 Hill은 von Mises의 항복함수를 다음과 같이 일반화 할 수 있다.

$$f=0.5 E_{ijkl} \sigma_{ij} \sigma_{kl} - \sigma e^{2/3} \tag{8}$$

여기서 E_{ijkl} 은 4단계 텐서이고 i 와 j, k 과 l 그리고 ij 와 kl 에 대하여 대칭이다. 냉간압연된 판에 나타나는 직교이방성의 경우에 대하여 고찰하면 직교하는 3개면에 대하여 대칭인 성질을 갖으므로 대칭면의 교선인 3개의 직교축을 직교이방성 주축이라고 한다. 압연방향, 압연방향과 직각방향 그리고 판두께방향을 이방성 주축과 일치시켜 각각 x, y, z 좌표계로 취하면 Hill의 2차형 항복조건식은 다음과 같이 나타내진다.

$$f(\sigma_{ij}) = F(\sigma_y - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_x)^2 + H(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 2L \tau_{yz}^2 + 2M \tau_{zx}^2 + 2N \tau_{xy}^2 = 1 \tag{9}$$

여기서 F, G, H, L, M, N 은 이방성 매개변수이다. 변수 F, G, H 는 단축인장시험에서 그리고 변수 L, M, N 은 전단시험에서 각각 결정된다.

만일 $F=G=H$ 그리고 $L=M=N=3F$ 이 성립하는 경우에 Hill의 이방성 항복조건식은 von Mises의 항복조건식과 일치하게 된다.

Hill의 이방성이론의 구성식은 다음과 같다.

$$\{dx/(1+R)X-Ry\}=\{dy/(1+R)y-x\}=\{dz/-\{X+y\}=d \tag{10}$$

Hill의 구 소성이방성 이론에 의하면 응력의 2차

항으로 표시되는 항복함수는 R 값이 1보다 작은 금속에 대해서 등 이축인장시험결과를 항상 과소평가 하였다. 이런 비정상거동을 보정하기 위하여 Hill은 새로운 이방성 항복조건식을 가정 하였다. Hill이 제안한 일반화된 항복조건식의 4가지 특정한 경우 중에서 네번째의 것만이 실제 실험결과의 해석에 이용되고 있다.

$$(2R_m + 1) [\sigma_x - \sigma_y]^m + [2\sigma_z - \sigma_x - \sigma_y]^m = 2(R_m + 1) \sigma_0^m \tag{11}$$

$$R_m = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4 \tag{12}$$

이 식에서 지수 m (m_1)은 등 이축인장시험 혹은 다른 하나의 비례 하중경로에서의 실험결과로부터 계산된다. Bressani 등은 다음 식을 제안하였다.

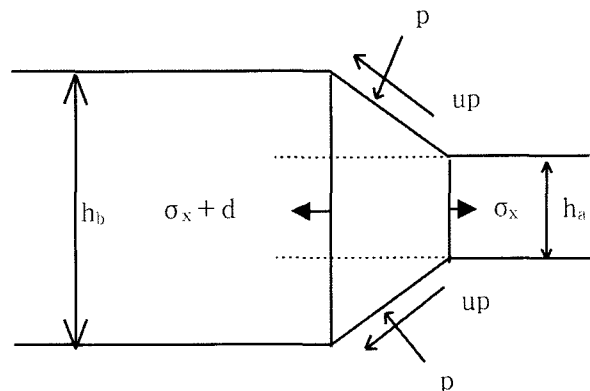
$$R_m < 1 : m = 1.14 + 0.86R \tag{13}$$

$$R_m > 1 : m = 2 \tag{14}$$

3. 해석결과 및 고찰

3.1 인발 해석

본 인발시 작용하는 힘은 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있으며, 인발공정이 가장 간단한 금속가공 공정의 하나이지만 해석에 의하여 측정값을 계산하는 것은 어려운 일이다. 먼저 인발응력은 다음의 식에 의해서 계산될 수 있다.



<그림 1> Stress of the drawing process

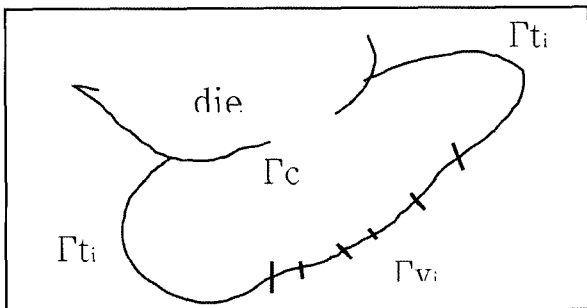
$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_0(1+B/B)[1-(h_a/h_b)^B] \\ &= \sigma_0(1+B/B) [1-(1-r)^B] \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 항복조건은 $\sigma_x + p = \sigma_0$ 이고 $B = c_0$ 그런데 강선의 인발은 콘형의 다이스에서 행하므로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\sigma = \sigma_0(1+B/B) [1-(D_a/D_b)^{2B}] \quad (16)$$

3.2 인발 시뮬레이션 이론

역학에서 다루는 자연법칙은 크게 두가지로 요약된다. 하나는 뉴턴의 운동법칙이고 다른 하나는 에너지 보존 법칙이다. 인발에서 전자는 소재의 소성 유동, 금형의 변형, 응력분 포를 지배하고 후자는 소재와 금형의 온도 분포를 지배한다



<그림 2> Model of drawing process

<그림 2>는 인발가공 공정을 개념화한 것이다. 인발가공 공정에서 금형과 소재는 해석영역 Ω 와 경계 Γ 로 나누어지며, 경계 Γ 는 표면력(Traction)이 $t_i = t_i$ 로 주어진 t_i , 속도가 $v_i = v_i$ 로 주어진 Γ_{v_i} , 금형과 소재의 접촉면을 표현하는 Γ_c 등으로 세분화 할 수 있다. 금형-소재 접촉면에서 압축력이 작용하면, 금형과 소재의 범선속도가 동일하다. 즉, Γ_c 에서 $v_n = v_n$ 이다. 소재는 비압축성, 강소성, 등방성 경화등의 성질을 가지고 있으며 Von Mises 항복이론과 관련 유동법칙을 따르며, 가속도의 영향은 무시할 정도로 작다고 간주한다.

소성가공 공정의 유동해석 문제는 소재의 속도장 V_i 와 정수압 P 를 구하는 것이다.

가) 평행방정식

$$\sigma_{ijj} + f_i = 0 \quad (17)$$

나) 응력-변형률속도 관계식

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= -p \delta_{ij} + \sigma'_{ij}, \\ \sigma'_{ij} &= (2\sigma/3\varepsilon) \varepsilon'_{ij} \end{aligned} \quad (18)$$

다) 속도-변형률속도 관계식

$$\varepsilon'_{ij} = (v_{i,j} + v_{j,i}) \quad (19)$$

라) 비압축성 조건

$$v_{ii} = 0 \quad (20)$$

마) 경계조건

$$\sigma_{ij} n_i = t_i \text{ on } \Gamma_{t_i} \quad (21)$$

$$v_i = v_i \text{ on } \Gamma_{v_i}$$

$$v_n = v_n \text{ on } \Gamma_{v_i}$$

$$\sigma_{ti} = -u \sigma_{ng}(\nu_{ti}) \text{ on } \Gamma_c$$

(Coulomb friction)

$$\sigma_{ti} = mkg(\nu_{ti}) \text{ on } \Gamma_c$$

(Constant shear friction)

평행방정식에서 f_i 는 체적력(body force)이다. 구성방정식에서 σ 와 ε 는 각각 유효응력과 유효변형률속도를 의미한다. 일반적으로 식(18)은 식(22)과 같이 다시 쓸 수 있다.

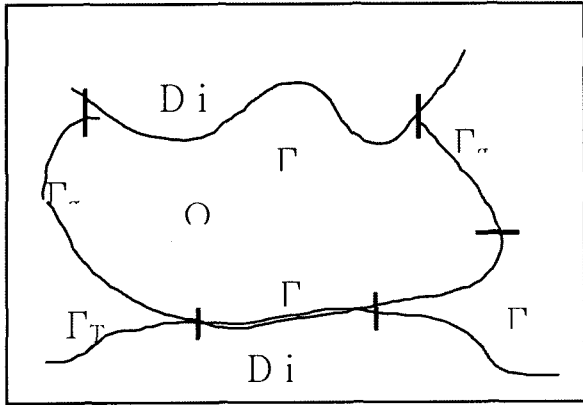
$$\sigma = \sigma(\varepsilon, \varepsilon, T) \quad (22)$$

여기서 변형률, 변형률속도, 온도의 함수이며 소재의 기계적 성질 또는 상태를 반영하는 함수이다. 식(38)은 벡터 n_i 의 해석경계에서 정의되며 외향 단위 법선벡터이다. 상기 식에서 $g(\nu_{ti})$ 는 다음 식(23)과 같이 정의된다.

$$g(\nu_{ti}) = -(2/\pi) \times \tan^{-1}(\nu_{ti} - \nu_{ti}) \quad (23)$$

3.3 온도해석의 수식화

<그림 3>에서 보는 바와 같이 온도해석 대상 물



〈그림 3〉 Model of the temperature analysis

체는 영역 Ω 와 경계 Γ 로 구성되어 있다. 경계 Γ 는 열전달율이 주어진 경계(Γ_q), 온도가 주어진 경계(Γ_T), 방사 및 대류 열전달이 일어나는 경계(Γ_c), 금형-소재의 접촉면(Γ_c)등으로 나누어진다. 소재는 소성열이 발생하는 반면, 금형은 강체라고 간주한다. 소재에 가한 에너지의 일정량은 소성열로 방출되고, 나머지는 내부에너지로 저장된다고 간주하며, 접촉면에서 발생한 마찰일은 금형과 소재에 각각 (0,50)%씩 전달되는 것으로 간주한다. 열전도율, 비열등은 온도의 함수로 주어진다. 고체의 열전달 현상은 다음과 같은 에너지보존 방정식으로 수식화된다.

$$(k T, i), I + Q = \rho c (\partial T / \partial t) \quad (24)$$

여기서 k 는 열전도계수, ρc 는 열용량, Q 는 변형 에너지에 기인한 발열을 의미한다. 즉 발열율은 식 (25)와 같이 나타낸다.

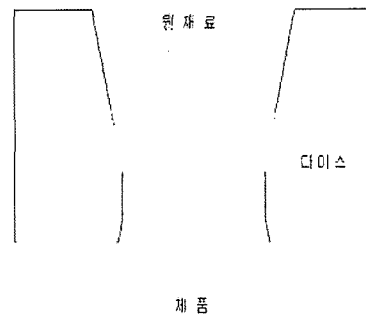
$$Q = C_g i_j i_j \quad (25)$$

로 표현된다. 발열율계수 C_g 는 응력동력 $i_j i_j$ 중에서 열로 변환되는 비율을 의미한다. 그리고 각 경계 조건은 다음식 (26)과 같이 나타낸다.

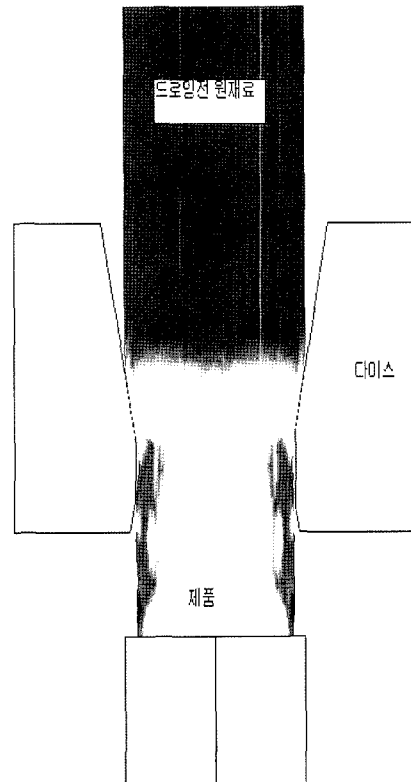
$$\begin{aligned} T &= T \text{ on } \Gamma_T \\ kT, \text{ ini} &= q_f - h_c(T - T_c) \text{ on } \Gamma_c \\ kT, \text{ ini} &= -h_c(T - T_w) \text{ on } \Gamma_q \\ kT, \text{ ini} &= -\sigma \epsilon (T^4 - T_c^4) - h_e(T - T_e) \text{ on } \Gamma_e \end{aligned} \quad (26)$$

3.3 응력의 흐름분포

다이 제작 후 공정실시결과 0.8mm 선재인발시 다이에 대한 가장 적정한 설계값은 시뮬레이션에서 얻은 값인 Approach 각도각 13.8도이며, Back relief 각은 20도 다이직경은 0.7975mm였으며, 베어링부의 길이는 0.2393mm로 하였다. 금속흐름 분포 / 응력분포는 <그림 4>와 <그림 5>에서 보는 바와 같다.



〈그림 4〉 Metal flow



〈그림 5〉 Stress of metal

〈표 1〉 Stress of Wire

Items	Before Drawing (Mpa)	After Drawing (Mpa)
Yielding stress	354	751
Maximum Tensile stress	790	905

〈표 2〉 Vickers Hardness

Items	Before Drawing	After Drawing
1	201.7	337.6
2	201.4	337.0
3	203.5	343.5
4	201.7	331.3
5	206.8	330.6
Ave	203.02	336.0

시뮬레이션에서 얻은 값으로 실제 다이스를 제작하였다. 이를 통한 실험결과 드로잉전후의 비커스 경도는 <표 1>과 <그림 6>과 같이 드로잉후의 경도가 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다 또한 드로잉전후의 용력은 <표 1>과 <그림 5>에서 보는 바와 같이 항복용력은 약 2배 증가하고 최고용력은 약 15% 증가함을 알 수 있었다.

스테인리스강 선재의 제작법은 다이아몬드다이스를 통하여 제작하는 특수한 가공인 만큼 그 과정이 아주 까다로워서 다이스 제작에 있어 시행착오법에 의한 어려움을 겪고 있던 것을 0.8mm 선재 제작에 있어 시뮬레이션을 행하여 미리 다이스의 최적 값을 얻은 후 실제로 다이스를 제작하여 비교 검토 결과 시뮬레이션이 실험과 잘 일치 하였으며, 앞으로 다른 직경의 선재제작에도 이와 같은 원리를 바탕으로 다이스를 제작하기 전에 미리 관련된 자료들을 바탕으로 시뮬레이션을 실시 후 다이스를 제작한다면 경험적인 착오를 과감히 줄일 수 있을 뿐만 아니라 품질의 증대, 생산성 향상, 많은 작업공정에서 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

스테인레스 강의 0.8mm 와이어 선재인발에 있어서 다이각 직경에 대한 최적 값을 얻기 위하여 AFDEX시뮬레이션을 통한 실험과 다이제작 후 적

용해 본 결과 다이제작의 최적조건을 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 0.8mm 선재인발시 다이에 대한 가장 적정한 설계 값은 시뮬레이션/다이스 제작 후 얻은 값인 Approach 각도는 각 13.8도이며, Back relief 각은 20도 다이직경은 0.7975mm 였으며, 베어링 부의 길이는 0.2393mm로 거의 일치하였음을 알 수 있었다.
- (2) Spring Wire, Weaving Wire, Roping Wire, Welding Wire, Cold Heading Wire, Free Cutting Wire, Other Wire 등 스테인리스 강선의 0.8 mm 다이스 제작기준으로 다이스 사용 감소 등 원가절감을 통한 기술혁신의 효과가 기대 된다.
- (3) 소성가공 공정의 해석에서 마찰은 공정의 특성을 결정짓는 주요인자중의 하나이다. 인발공정에서 다이와 소재간의 적절한 마찰력은 필수적으로 일어나고 과도한 마찰력은 압력을 증가시키고 다이의 마모를 과속화 시키므로 적절히 통제되어야 한다. 인발공정의 경우, 마찰은 금속유동의 형태를 결정짓는 역할을 하지만 금형의 마모수명을 떨어뜨리므로 적절히 통제되어야 한다. 마찰에 영향을 미치는 주요 인자에는 접촉면의 압력, 윤활상태, 상대속도, 온도, 소재의 성질, 조도 등이 있다. 소성가공에서 마찰면은 고온 고압의 극한 상황이므로 마찰인자가 마찰력에 미치는 영향을 정확히 분석해석 해야 된다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2006년 건설핵심기술연구개발사업비(대공간 건축물 건설기술 개발비)의 연구결과의 일부로서 건설교통부의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 강구조한계상태설계 기준(안) 및 해설 작성에 관한 연구, 대한건축학회, 1995
2. 한국강구조학회, 강구조 한계상태 설계법, 한국

- 강구조학회, 1997
3. 한국강구조학회, 강구조의 설계, 구미서관, 2000
4. 한국강구조학회, 콘크리트 충전 강관구조 설계 및 시공지침, 한국강구조학회, 2001
5. S.M Hwang and M.S. Joun. "Analysis of Hot Strip Rolling by a Penalty Rigid Viscoplastic Finite Element Method", Int. J. Mech. Sci., Vol.34.pp971-9841, 1997
6. M.S Joun and M.C. Lee, "Quadrilateral Control for Metal Forming Simulation", Int. J.Num. Methods Eng., Vol.40, pp4059-4075, 1997
7. P. S Timoshenko and J.N Goodier, Theory of Elasticity, London, 1982
8. W.Johnson and P.B Mellor. Engineering Plasticity, 1980.
9. J.A.Schey, "Tribology in Metal Working, Friction, Lubrication and Wear", ASM,Ohio, 1983
10. T.Wanheim and N,Bay, "Ann. of CIRP" , Vol.27, pp.189. 1987
11. Holger Jarleborg : "Deformation Hardening of Austenitic Stainless Steel in wire Drawing WIRE and WIRE Products", 1966.
12. Eickemeyer J.,Weinhold H., Wellert H. and Franke P. "Surface markings on Druckschmierung mit festen Seifenfilmmen beim Ziehen Drahtwelt" 1993.
13. BETZALEL AVITZUR, "Analysis of Wire Drawing and Extrusion Through Conical Dies of Small Cone Angle Journal of Engineer for Industry".1963
14. Guoyi Tang, Jin Zhang, Yunjie Yan, Huihua Zhou, Wei Fang, "The engineering application of the electroplastic effect in the cold-drawing of stainless steel wire", Journal of Materials Processing Technology vol.137, pp.96-99. 2003