

〈論 文〉

평금형을 통한 열간압출의 공정 및 금형설계용 전문가 시스템 개발에 관한 연구

이춘만* · 이승훈** · 양동열***

(1995년 5월 9일 접수)

A study on Development of Expert System for Process and Die design of Hot Extrusion through Square Dies

C. M. Lee, S. H. Lee and D. Y. Yang

Abstract

This study presents development of an expert system for process and die design of hot extrusion through square dies. The design of extrusion dies is still an art rather than a science with increasing complexity of shape and thinness of section. Therefore, most of the die design is still dependent on personal judgement, intuition and experience. The objective of this study is to develop an expert system which includes a rule base system extracted from literatures and experts in the extrusion industry. The system also includes finite element simulation program. The developed system is effectively used to design two types of processes and dies with lead time and trial extrusion.

Key Words : Expert System, Hot Extrusion, Square Die

1. 서 론

각종 설계의 Expert system에 대한 연구는 경험이 많은 숙련기술자들에 의존해 온 설계의 노하우를 검토, 분석하여 체계화 시킴으로써 경험이 적은 비숙련기술자들에게도 훌륭한 설계를 할 수 있도록 하는데에 노력이 집중되고 있는 실정이다. 소성가공

공정설계와 금형설계는 재질, 윤활과 마찰, 응력과 재료유동 등 수많은 변수들을 복합적으로 고려해야 하는 어려운 문제이므로 이의 Expert system화는 필수적으로 요구되고 있으며, 그동안 여러 연구⁽¹⁻⁶⁾가 수행되었고, 압출에 대한 적용은 Purnell⁽⁷⁾, Altan^(8,9), Choi⁽¹⁰⁾등에 의한 연구가 있다. 최근에는 Computer의 계산능력 향상과 더불어 소성가공 공정을 유한요소법으로 시뮬레이션(FEM simulation)하는 기능을 통합하는 추세이며, 앞으로는 System의 유연성이나 학습기능을 추가시켜 새로운 제품의

*창원대학교 정밀기계공학과

**창원대학교 대학원

***한국과학기술원 기계공학과

공정추정, 공정평가등에 대한 연구나 제품 결함 예측, 공구 수명 예측등에 대한 체계적인 연구가 되어 나갈 것으로 보인다.

본 연구에서는 평금형을 통한 열간압출에 대해 제품의 형상과 재질, 공구의 재질, 마찰 또는 윤활조건 등의 입력 Data가 주어

지면, 금형과 금형 주변장치, 펀치(punch) 등의 설계치수가 결정되고, 설계도면을 생성해 주는 Expert system을 개발하였다. System의 각종 규칙(rule)과 Data base는 각종 Handbook, 현장 전문가의 경험적 지식과 실험 등을 토대로 하여 구축하였고,

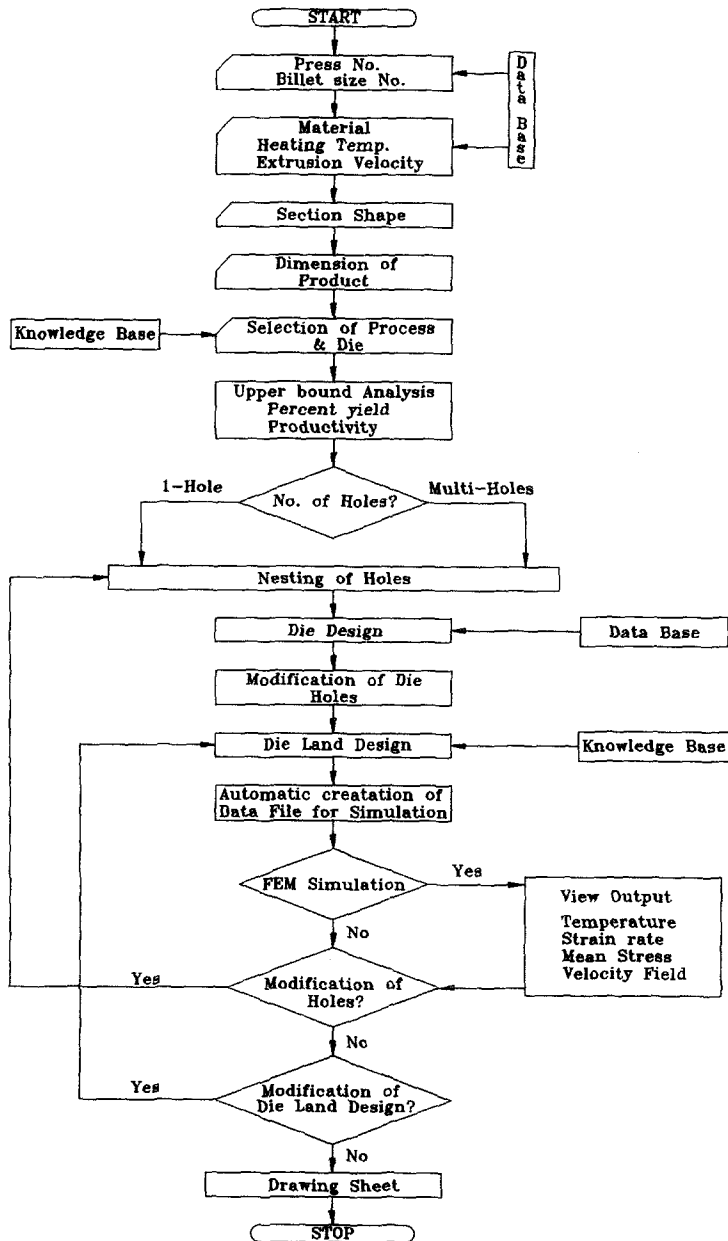


Fig. 1 Overall flow chart of expert system

이를 기준으로 설계된 1차 설계 Data는 FEM Simulation에 의해 검토하고 재설계하도록 하였다. 개발된 Expert system의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서 개발된 System은 공정 및 금형의 선택 과정을 현장전문가의 경험을 토대로 하여 Rule base화 시켜 손쉽게 구성하였고, System의 모든 Menu는 Pull-down menu 방식 또는 Pop-up menu 방식을 채택하여 사용자가 간편히 사용할 수 있도록 하였다.

2. System의 내용

2.1 Data 입력과 Data base구축

본 System에서는 입력 가능한 압출재의 단면 형상을 봉재(rod or wire), 둥근 튜브재(round tube), 형재(solid shape), 속이 빈 형재(Hollow Shape)의 4가지로 분류하였다. 입력된 형상에 따라 제품의 치수와 금형랜드(die land) 길이 등이 입력되도록 하였다. 구축된 Data base는 개방된 구조를 취하여 수정과 보완이 용이하도록 하였고, 산업체 나름대로의 실정에 맞는 System 구축이 가능하도록 하였다. 주요 Data base는 (1) 소재(material) (2) 프레스 제원 (3) 빌렛(billet) 규격 (4) 압

출구멍 보정 (5) 공정 및 금형선정등에 관한 자료를 보관하도록 하였다.

2.2 형재의 단면형상 입력

형재의 단면형상을 System에 입력하는 데는 2가지 방법이 가능하도록 하였다. 첫째는 Auto-CAD에서 주어지는 DXF File을 읽어서 System의 Data로 바꾸는 Interface program을 개발하였고, 둘째는 임의 형상의 형재 단면 모양을 그리거나 수정할 수 있는 Graphic editor를 개발하였는데, 단면형상을 직선(line), 호(arc), 원(circle)등으로 묘사하여 입력할 수 있도록 하였다. 입력되는 Data file의 내용을 해석하고자 하는 형재의 단면을 예로 들어 Fig. 7에 나타내었다. 직선인 경우는 시작점의 좌표값, 원호인 경우는 원호의 시작점의 좌표값과 중심점의 좌표값, 원호의 반경, 원호의 시작각도와 끝각도를 입력하도록 하였다. 이들 Data가 입력되면 화면상에 Fig. 7와 같은 단면형상이 그려지고, 단면적, 원주길이, 단중, 최대외접원 직경등이 자동으로 계산된다.

2.3 공정 및 금형선정의 추론

본 연구에서는 현장 전문가 면담과 각종

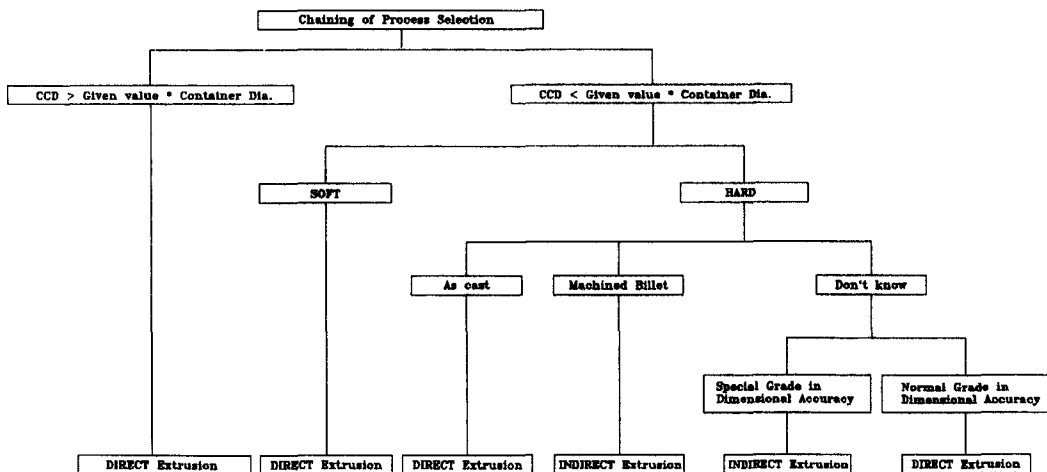


Fig. 2 Hierarchical structure of process selection

자료를 참고하여 공정 및 금형선정의 체계를 구축하고 전진 추론 방법에 의해 공정 및 금형을 탐색하고 선정할 수 있도록 제어하는 전진 추론엔진(inference engine)을 C언어로 작성하였다.

공정선정은 압출형재의 외접원 직경(circumscribing circle diameter, CCD), 재

질, 빌렛의 표면가공, 치수정밀도등을 기초로 하여 직접압출과 간접압출을 추론할 수 있도록 하였고, 압출 공정선정 추론에 관한 계층도를 Fig. 2에 나타내었다. 금형선정은 단면형상, 형상비(shape factor), 텡비(tongue ratio), 재질의 용착여부등을 기초로 하여 추론 대상을 평균형(flat die), 유

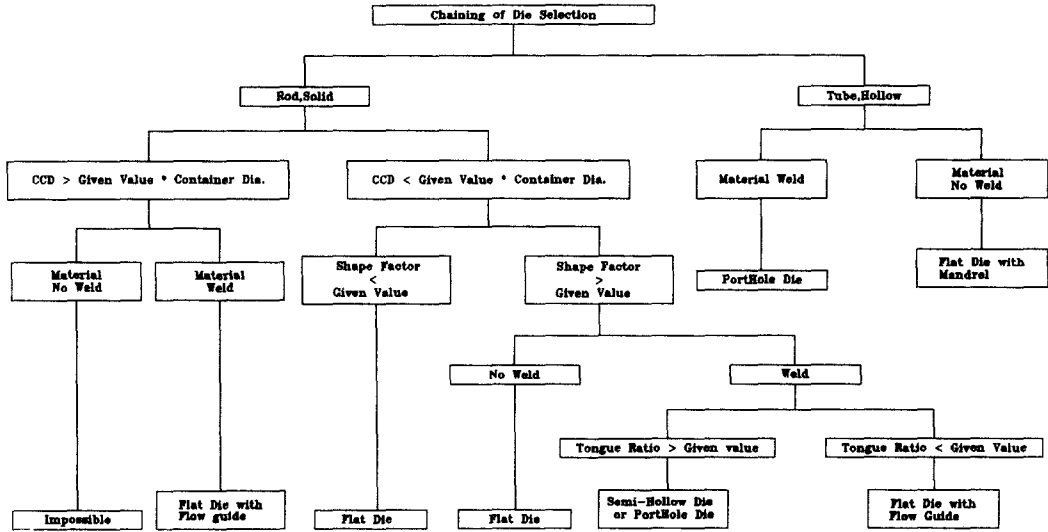


Fig. 3 Hierarchical structure of die selection

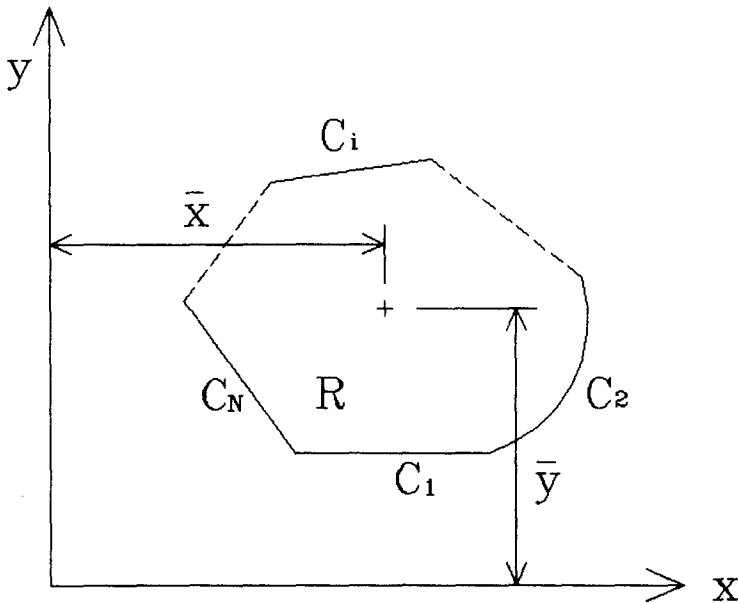


Fig. 4 Line integral in the arbitrarily shaped region R bounded by curves C_i

동가이드를 가진 평금형 (flat die with flow guide), Semi-hollow die, Porthole die, 만드렐을 가진 평금형 (flat die with mandrel) 과 압출 불가능인 경우 등으로 하였으며, 평금형 압출 금형선정 추론에 관한 계층도를 Fig. 3 에 나타내었다.

2.4 면적 및 도심의 계산

압출비를 계산하고 압출구멍을 배치하기 위해서는 임의형상의 형재단면의 단면적과 도심 (centroid) 을 구해야 한다. 압출구멍 형상은 Fig. 4와 같이 대부분 직선과 원호로 구성되어 있으므로, 임의형상의 단면적은 Green's theorem에 의해 직선과 원호의 경계선을 따르는 선적분을 이용하여 계산하였다.

즉, 단면적 $A = \iint_R dx dy = \sum_{i=1}^N \int_{C_i} -y dx$
 $= \sum_{i=1}^N \int_{C_i} x dy$ 로 계산하였다. 여기서, C_i 는 i 번째 직선이나 원호의 외곽선 (Contour) 을 나타내고, N 은 단면을 구성하는 직선과 원

호의 총 갯수를 나타낸다. 임의의 단면형상의 도심과 금형의 도심은 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$\bar{x} = \frac{\int x dA}{\int dA} = \frac{G_x}{A}, \quad \bar{y} = \frac{\int y dA}{\int dA} = \frac{G_y}{A} \quad (1)$$

경계선이 $y=ax+b$ 인 직선인 경우,

$$G_x = \frac{(y^3 - 3by^2 + 3b^2y)}{6a^2},$$

$$G_y = -\frac{(a^2x^3 + 3abx^2 + 3b^2x)}{6} \quad (2)$$

여기서, a 는 직선의 기울기, b 는 y 축 절편이다.

경계선이 $x=x_c+r\cos\theta$, $y=y_c+r\sin\theta$ 인 원호인 경우,

$$G_x = x_c \frac{r^2}{2} \theta + \frac{r^3}{3} \sin \theta$$

$$G_y = y_c \frac{r^2}{2} \theta - \frac{r^3}{3} \cos \theta \quad (3)$$

여기서, (x_c, y_c) 는 원호중심점의 좌표값이고, r 은 원호의 반지름이다.

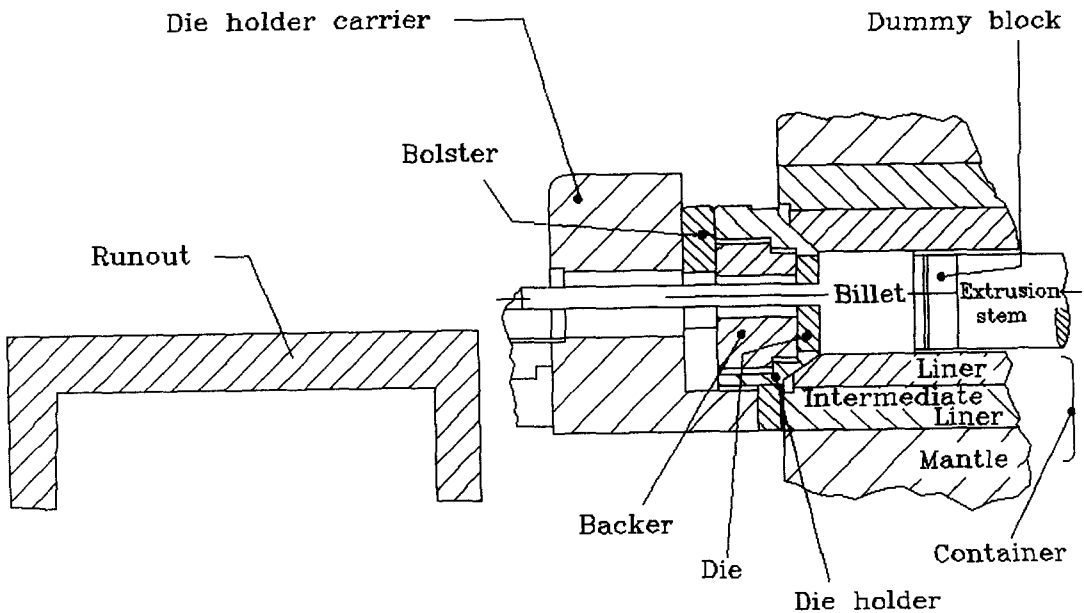


Fig. 5 Schematic diagram of extrusion process

2.5 압출구멍 갯수 및 빌렛규격 선정과 압출하중의 계산

압출구멍의 갯수와 빌렛 규격의 선정은 압출비, 프레스 제원등에 의해 제한을 받으며, 재료 생산률(yield)과 생산성(productivity)에 큰 영향을 주게 되므로 이런 요소들을 계산하고 검토한 후에 결정되어야 한다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같은 수평식 프레스를 이용하고, Fig. 6에서와 같은 계산 알고리즘을 사용하여 최적의 금형 압출구멍의 갯수와 빌렛길이를 선정할 수 있도록 하였다. 빌렛직경과 길이가 주어지고, 제품길이 L_f , 허용길이 L_a , 런아웃길이(runout length) L_R , 단중(weight per unit

extrude length) W_u , 최대 압출중량(Maximum extrude weight) W_t 라고 할때 최소 및 최대 압출구멍의 갯수는 다음과 같다.

$$N_{hmin} = \text{정수값} \left(\frac{W_t}{W_u L_R} \right),$$

$$N_{hmax} = \text{정수값} \left(\frac{W_t}{W_u (L_f + L_a)} \right) \quad (4)$$

그리고, 한개의 압출 구멍당 생산되는 제품 갯수의 최소 및 최대값은 다음과 같다.

$$N_{fmax} = \text{정수값} \left(\frac{L_R - L_a}{L_f} \right), N_{fmin} = 1 \quad (5)$$

위의 계산에서 제품 갯수는 최대값에서 시작하여 1개씩 줄여가면서 조건에 맞는 갯수를 찾도록 하였고, 압출구멍의 갯수는 최소값에서 시작하여 1개씩 늘려가며 반복 계산하도록 하였는데, 최대 압출구멍의 갯수는 산업현장에서 통상적으로 8개정도까지 작업하는 것을 고려하여 8개로 한정하였다. 각 빌렛길이에 대해 계산한 생산률과 생산성등의 결과를 한 화면씩 보여주어 사용자가 최적의 압출구멍수를 결정할 수 있도록 하였다.

FEM Simulation과정에서도 압출하중이 계산되지만, 계산시간이 적게 걸리는 구면 속도장에 의한 방법(8)과 경험식으로 계산하여 압출구멍수를 결정하는데 도움을 주도록 하였다.

2.6 압출구멍의 배치

압출구멍을 금형위에 배치할때 가능한 한 소성유동이 균일하도록 하고, 서로 인접한 압출구멍 사이와 압출구멍과 컨테이너 내벽 사이에 최소간격을 유지하도록 하였다. 압출구멍의 배치는 2.4절에서 기술한 방법으로 도심을 계산하여 금형과 단면 형상의 도심을 일치시키거나 외접원의 중심과 금형의 도심을 일치시켜 자동배치할 수도 있고, 키보드나 마우스를 이용하여 사용자가 직접 수동배치할 수 있도록 하였다. 자동배치할 때는 단면형상을 평행(parallel nesting)하

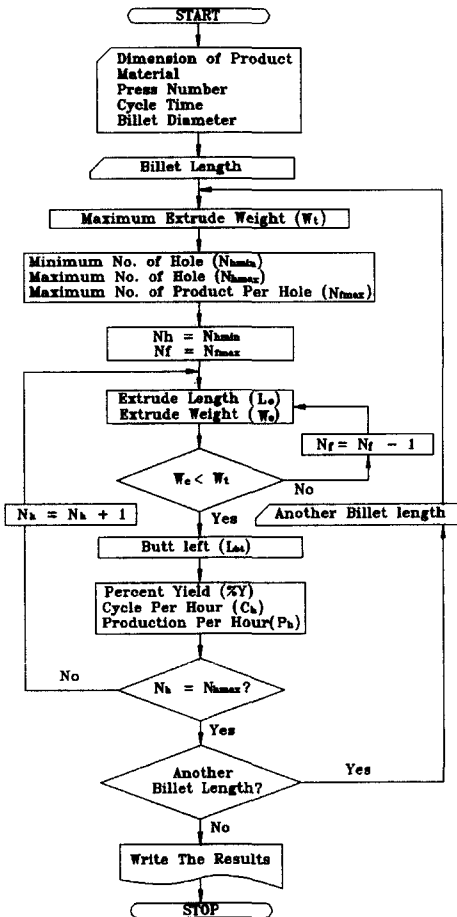


Fig. 6 Flow chart for determination of optimal number of die holes

게 하거나, 금형중심을 기준으로 방사형(radial nesting)으로 배치할 수 있도록 하였다. 또, 배치된 것을 사용자가 이동(translation), 회전(rotation), 반사(Mirror)등을 사용하여 편집할 수 있도록 하였다.

2.7 금형랜드(Die land)부의 설계와 금형 압출구 수정

꼬임이나 굽힘등의 불규칙적인 소성유동을 방지하기 위해서는 금형랜드(Die land)부의 설계는 대단히 까다롭고 어려운 문제이다. 본 연구에서는 각 단면 형상에 대하여 각종 자료와 현장 전문가의 경험적 지식을 체계화하여 일반적이고 모순이 없는 다음과 같은 규칙을 만들어 금형랜드부의 길이를 결정하였다.

(1) 축대칭 형상의 봉재나 튜브재 압출인 경우, 일정직경까지는 직경의 제곱근에 해당하는 값을 금형랜드부의 길이로 하고, 그 이상인 경우에는 직경의 일정값이 증가할때마다 일정한 값을 더해 나간다.

(2) 임의의 형상을 갖는 3차원 압출인 경우에는 기준 금형랜드부의 길이를 정하고, 그 값에다 압출 제품 두께에 반비례하고 컨테이너 중심에서의 거리에 반비례하게 일정한 값을 더해 나간다.

또한, 손쉽게 도면을 작성할 수 있도록 Graphic editor에서 마우스로 금형위의 임의의 위치를 선정하면 이들 규칙에 의해 금형랜드부의 길이가 자동으로 계산되고, 인출선과 함께 치수기입이 되도록 하였다.

공정이 열간 상태하에서 이루어지므로 수축율과 응력에 의한 금형의 굽힘(dishing) 현상을 고려하여 치수보정을 해야 하는데, 제품형상의 치수에 경험치를 곱하여 압출구멍을 자동적으로 수정하도록 하였다. 또한 앞에서 언급한 금형랜드부의 설계규칙과 압출구멍 보정율은 사용자가 직접 입력 및 수정할 수 있도록 하여 산업체 나름대로의 실정에 맞도록 System구축이 가능하도록 하

였다.

2.8 FEM Simulation과 재설계

축대칭 압출문제를 FEM으로 해석한 경우는 여러 학자⁽¹¹⁻¹⁷⁾들에 의해 이루어졌고, 최근에 와서 3차원 형상에 관한 해석⁽¹⁸⁻¹⁹⁾도 활발하게 진행중에 있다. 본 연구에서는 3차원 임의 형상의 압출공정을 동일한 압출비를 갖는 축대칭 압출공정으로 근사화시켜 해석할 수 있는 프로그램을 개발하고, 유동해석과 온도해석을 행하여 공정 및 금형설계에 이용하였다. 실제 3차원 압출공정과 근사해석에는 상당한 차이가 있으나 개략적인 압출하중, 압출온도, 압출속도 등의 공정변수를 확인하고, 금형의 1차설계에 이용하는데는 유용한 결과를 얻을 수 있었다. 여기서, 사용된 방법은 소성유동을 강소성 FEM으로 정상상태(steady-state) 해석하고, 그 결과를 넘겨서 온도 해석을 하는 비연계(decoupled)방법을 사용하였다. 정상상태 온도 문제를 해석하기 위한 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$K_1 T_{,ii} + k^* \bar{\sigma} \dot{\epsilon} = 0 \quad (6)$$

여기서, K_1 은 열전도 계수, T 는 빌렛온도, k^* 는 소성변형 에너지의 열로 바뀌는 비율이며, $\bar{\sigma}$ 는 유효응력(effective stress), $\dot{\epsilon}$ 는 유효변형률 속도(effective strain rate)를 나타낸다. 이를 유한요소 분할화(Finite element discretization)하면 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\int_{V_{(m)}} K_1 N_{\alpha,i} N_{\beta,i} T_{\alpha} dV = \int_{V_{(m)}} k^* \bar{\sigma} \dot{\epsilon} N_{\beta} dV + \int_{S_{q(m)}} q_n N_{\beta} dS \quad (7)$$

여기서, N 은 보간함수(interpolation function)이고, h 는 대류 열전달계수, T_{α} 는 주변온도(ambient temperature), q_n 은 경계조건을 나타내는 열유동벡터(heat flux-vector)이다. 식(7)을 풀기위하여 다음과

같은 경계조건을 이용하였다.

- (1) 자유표면 (free surface)에서
대류 열유량 (convection heat flux) :

$$q_n^d = h(T - T_\infty) \quad (8)$$

- (2) 금형과 빌렛의 접촉면에서
전도열유량(Conduction heat flux) q_n^d
는

$$q_n^d = h_{hub}(T - T_d) \quad (9)$$

마찰열유량(friction heat flux) q_n^f 는

$$q_n^f = mk_v y \quad (10)$$

여기서, T_∞ 는 금형과 빌렛의 주위 온도, h_{hub} 는 윤활로 인한 열전달계수, T_d 는 금형면의 온도, k_v 는 재료의 전단 항복 강도, m 는 마찰상수이며, y 는 각 절점에서의 속도벡터이다.

FEM Simulation결과는 사용자의 선택에 따라 온도분포, 변형률속도 분포, 평균응력 분포, 속도분포등을 화면상에서 볼 수 있도록 하였다.

2.9 자동 도면 생성

본 연구에서는 Expert system에 의해 설계된 자료를 넘겨주면, Data base로 저장된 부품들과 결합되어 자동으로 도면이 생성되도록 하였다. 또한, 자료관리를 쉽게 하도록 하기 위해 압출구멍 형상과 각 부품 Data가 저장된 File을 종합관리하는 File을 두어 계층구조(tree structure)로 만들었다. 이 종합관리 File중의 하나를 선택하면 금형, 유동가이드, 지지대(backer)등의 치수 및 치수공차와 함께 압출구멍의 치수, 치수공차, 금형랜드의 길이, 각 부품의 직경과 두께등이 Graphic화면에 나타나고, 문서화 또는 도면화하여 출력할 수 있도록 하였다.

3. 결과 및 토론

본 연구에서 개발한 System은 퍼스널 컴

퓨터에서 Borland C++로 작성하였는데 170여개의 Subroutine과 30,000여 Source line으로 되어 있다. 본 System의 효용성을 검증하기 위해 국내에서는 설계기술이 초보 단계에 있는 초대형 형재와 소형의 형재의 2가지 경우에 대해 압출공정과 금형의 설계를 해 보았다. Fig. 7은 2.2절의 방법에 의해 대형 형재단면의 형상을 입력하는 File의 내용을 보여준다. Fig. 8은 최적의 압출구멍 갯수의 선정과 압출하중을 구하는데 필요한 Data인 프레스의 정보를 프레스 고유번호로 입력하는 과정이다. Fig. 9는 소재를 선택하는 과정으로 소재를 알루미늄 6061계열을 선택하면 Data base에서 불러온 컨테이너의 가열온도, 압출온도, 압출속도의 추천값을 참고로 보여준다. 이를 참조하여 각각 500°C, 450°C, 2000mm/min을 입력시키는 과정을 보여준다. Fig. 10은 제

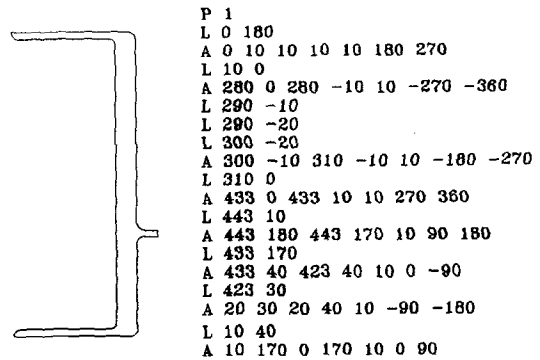


Fig. 7 Input of solid section shape

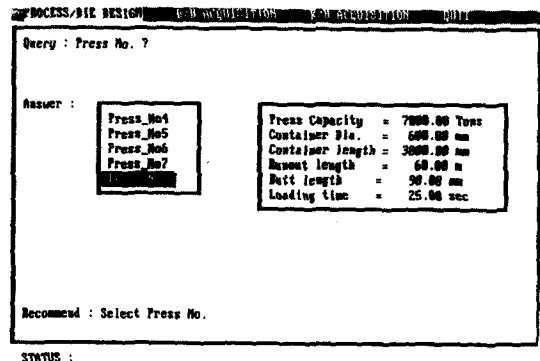


Fig. 8 Selection of press information

폼치수, 허용길이, 평균 금형랜드길이를 입력하는 과정이다. 여기서, 금형랜드의 길이를 가정한 이유는 이 값을 기준으로 개략적인 계산을 하고, 나중에 수정이 가능하기 때문이다. Fig. 11은 입력한 단면 형상, 최대 외접원, 단중, 형상계수, 면적등의 여러 정보를 화면상에 보여주는 과정이다. Fig. 12 과 Fig. 13은 공정선정과 금형선정 과정을 나타내는데 숙련된 사용자는 직접 선정할 수 있으나, 미숙련자가 공정과 금형을 선정할 경우 'Auto Selection' 이나 'Don't Know'를 선정하면, 몇가지 질문을 하고 적절한 공정과 금형을 추천해 주는 과정을 보여주고 있다. 이 경우에는 간접압출과 평균형이 추천되었다. Fig. 14는 빌렛의 규격을 선정하는 과정으로 빌렛직경을 580mm를 선정하면 같은 직경이면서 길이가 다른 빌

렛규격을 보여준다. Fig. 15는 앞에서 입력된 Data에 의해 최적의 압출구멍수를 선정하기 위해서 경험식과 상계해법에 의해 압출하중을 계산하고, 재료의 생산률과 생산성을 서로 비교하여 사용자가 최적의 빌렛 길이와 압출구멍수를 선정할 수 있도록 도표로 보여주는 과정이다. 본 예제의 경우에는 압출하중이 6025ton이고, 압출비가 16이며, 압출구멍수와 제품의 갯수는 1개, 압출 길이는 20500mm, 압출중량은 912.7kg, 재료의 생산률은 83.2%로 계산되었다. Fig. 16은 이 단계까지 사용자에게 의해 입력된 Data와 계산된 결과값을 모두 요약하여 나타내었다. Fig. 17은 FEM Simulation을 수행하여 위하여 격자를 생성(mesh generation)하는 과정으로 규칙적인 격자(regular mesh), 경제적인 격자(economizing

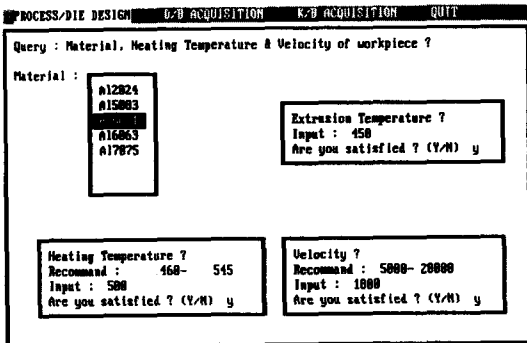


Fig. 9 Input of material information

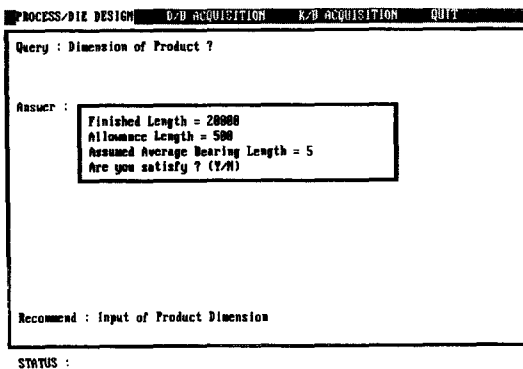


Fig. 10 Input of product dimension

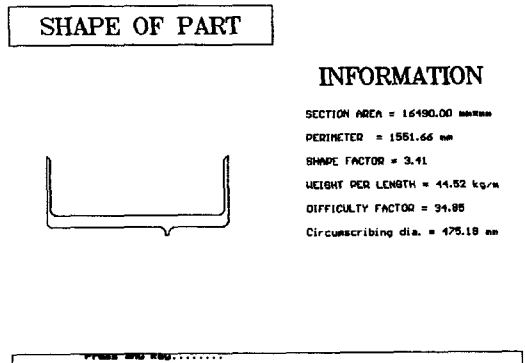


Fig. 11 Information of section shape

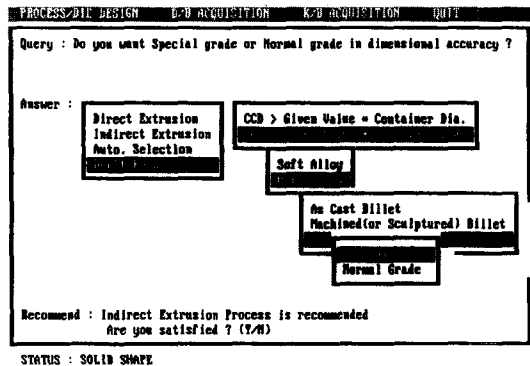


Fig. 12 Chaining of process selection

mesh)를 선택할 수 있도록 하였다. 격자형태를 선정하고 주요 격자갯수를 입력해주면 자동으로 격자가 생성되고 FEM해석이 수행된다. Fig. 18과 Fig. 19는 FEM Simulation으로 구한 온도분포, 변형률속도 분포를 나타냈는데, 금형랜드부 근처에서의 빌렛온도가 600°C임을 알 수 있고, 금형의

코너부근에서 급격한 소성변형이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이때 계산된 압출면압은 20.8kg/mm²이 작용되므로 적절한 값이 됨을 알 수 있다. FEM Simulation의 결과를 보고 나서 압출구멍의 갯수나 위치, 금형랜드부를 재설계할 것인지 여부를 물어보고, 재설계를 원할 경우에는 설계 과정중의

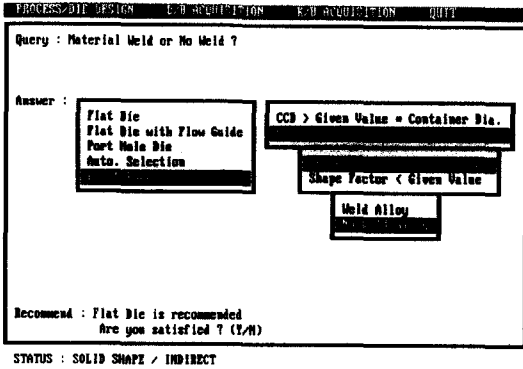


Fig. 13 Chaining of die selection

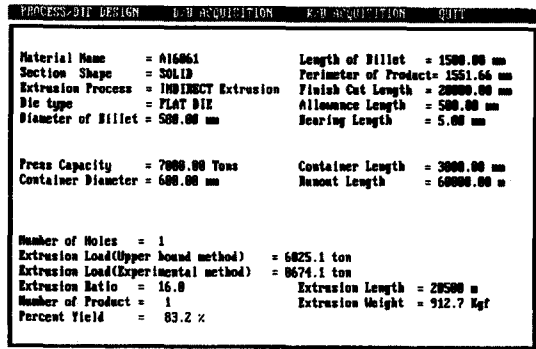


Fig. 16 Summary of input data and results by analysis

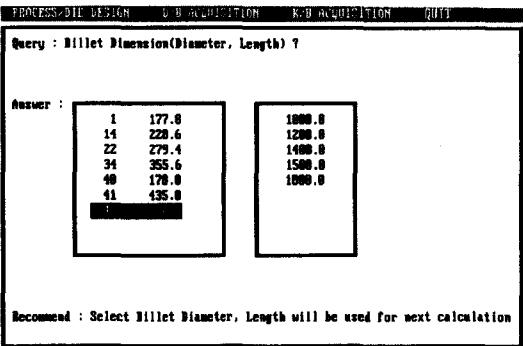


Fig. 14 Selection of billet diameter

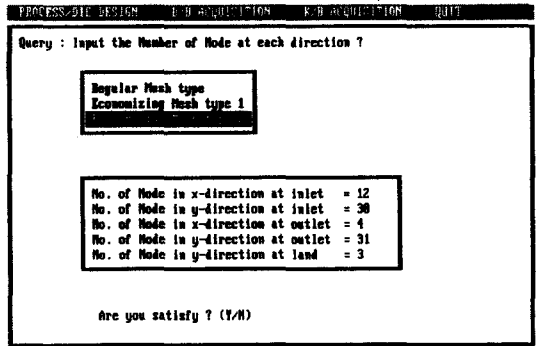


Fig. 17 Data input for initial mesh generation

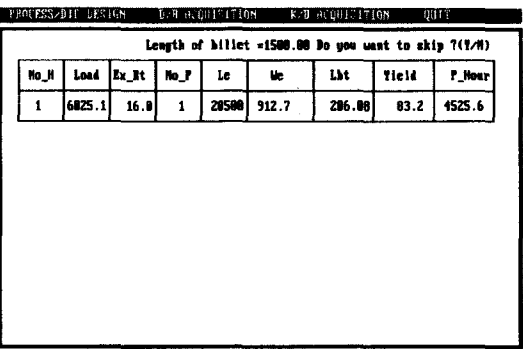


Fig. 15 Output table by analysis

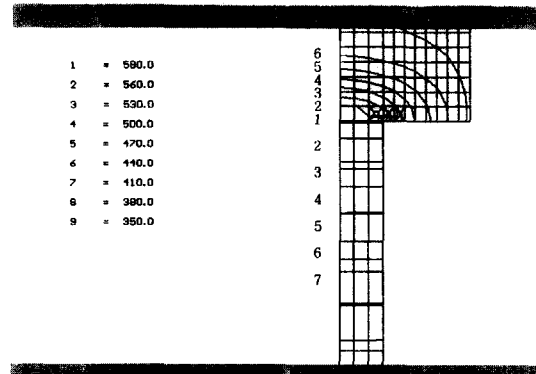


Fig. 18 Distribution of temperature

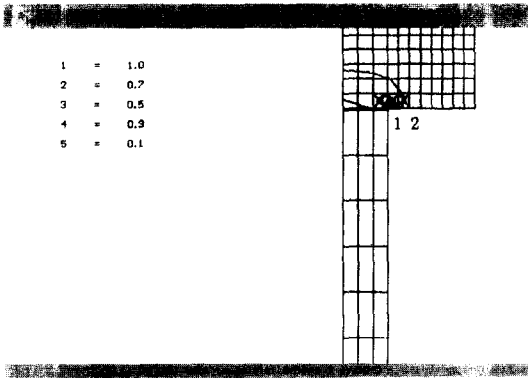


Fig. 19 Distribution of strain rate

PROCESS/DIE DESIGN D-P ACQUISITION K-P ACQUISITION QUIT

Length of billet =204.00 Do you want to skip Y(N)?

No_M	Load	Ex_Rt	No_P	Le	We	Lbt	Yield	P_Hour
1	1713.0	145.0	24	24200	11.5	34.99	80.4	41.5
2	2037.1	72.9	12	12200	11.6	39.75	80.4	80.3
3	2204.0	49.6	8	8200	11.7	32.52	80.4	116.7
4	2300.0	36.5	6	6200	11.8	31.28	80.4	150.9
5	2359.9	29.2	4	4200	10.0	54.77	67.0	177.9
6	2400.6	24.3	3	3200	9.2	65.09	60.3	201.9
7	2424.9	20.0	3	3200	10.7	46.11	70.3	235.6
8	2442.3	18.2	2	2200	8.4	75.70	53.6	243.0

STATUS : SOLID SHAPE / DIRECT / FLAT DIE

Fig. 21 Output table by analysis

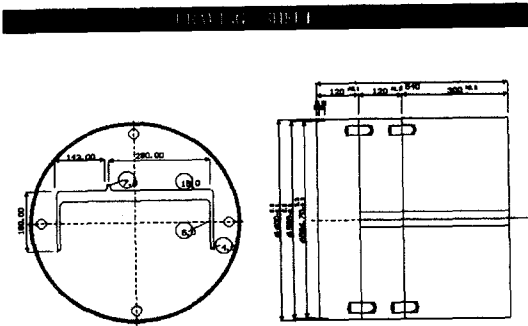


Fig. 20 Drawing sheet for large section shape

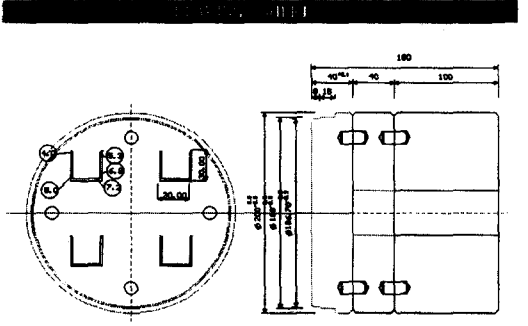


Fig. 22 Drawing sheet for U section shape

적당한 위치로 되돌아가고, 설계에 만족할 경우에는 Graphic editor에서 금형위에 압출구멍을 배치하고, 치수를 입력하여 Fig. 20과 같이 도면을 완성할 수 있다. 같은 방법으로 형 형재의 압출공정 및 금형설계에 본 System을 적용하였다. 알루미늄 7075계열의 소재를 선정하고, 가열온도, 압출온도 및 압출속도를 각각 400℃, 350℃, 1500 mm/min로 입력하였다. 공정과 금형선정은 직접압출과 평금형이 추천되었다. Fig. 21은 앞의 Data를 기초로 하여 2.5절의 과정을 거쳐 계산 결과를 도표로 나타낸 것이며, 공정의 편의성과 재료의 생산률, 생산성등을 고려하여 압출구멍 4개가 최적의 압출구멍수임을 알 수 있고, 이를 선정하였다. 계산 결과, 압출하중이 2300ton, 압출비가 36.5, 제품의 갯수가 6개, 압출길이가

6200mm, 압출중량이 11.8kg, 재료 생산률이 80.4%임을 알 수 있었다. 압출구멍의 배치는 단면형상의 도심과 금형의 도심을 일치시키는 평행 자동배치 방법에 의해 Fig. 22와 같이 도면을 완성할 수 있었다. 이 결과는 국내의 선도적인 압출회사에서 숙련기술자가 작성한 금형도면과 거의 일치하였을 뿐 아니라, 설계에 걸리는 시간이 2~3시간이던 것을 20~30분 이내로 단축하였다.

4. 결 론

(1) 평금형을 통한 열간압출의 공정 및 금형을 손쉽게 설계할 수 있는 System을 개발하였고, 개발된 System은 다음과 같은 특징이 있다.

(가) 공정 및 금형선정은 추론기능을 도입하여 효과적으로 선택할 수 있도록 하였다.

(나) 자동 격자생성 기능을 갖춘 축대칭 근사해법에 의해 FEM시뮬레이션할 수 있는 프로그램을 포함시켜 효과적으로 공정 및 금형설계에 이용할 수 있도록 하였다.

(다) 압출구멍의 배치는 단면 형상의 도심과 금형의 도심을 일치시키거나, 외접원중심과 금형의 도심을 일치시켜 자동 배치토록 하였고, 특수한 경우에는 수동배치도 가능하도록 하였다.

(라) 금형랜드부의 길이는 규칙에 의해 자동 계산되도록 하였으며, 임의 형상의 형재단면을 그리거나 수정할 수 있는 Graphic editor를 포함시켜 설계 작업이 더욱 용이하도록 하였다.

(2) 알루미늄 6061소재로 외접원 직경이 475mm에 달하는 초대형 형재의 압출공정의 설계에 적용해 다음의 공정 조건과 설계 지침을 얻을 수 있었다.

(가) 압출시 최고온도는 빌렛이나 컨테이너의 가열온도보다 압출속도의 영향을 더 받는다. 그 이유는, 대형 형재의 압출은 빌렛직경이 크므로 빌렛중심에서 표면으로의 열 확산이 지연되는 시간을 고려하여 압출속도를 결정해야 하기 때문이다.

(나) 7000ton 프레스와 600φ 컨테이너를 사용하여 본 예제의 형재를 압출하는 경우에는 압출면압 25kg/mm²정도이하, 램속도 2.0~3.2mm/sec, 압출온도 400~450°C 범위에서 유지하는 것이 좋다.

(3) 향후 본 System은 보다 정확한 소성유동을 예측하기 위한 3차원 FEM 해석용 프로그램을 개발하여 포함시키고, Port-hole 금형설계 System 개발에 대한 연구가 계속

되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정연구과제(과제제목: 평금형을 이용한 열간압출의 공정 및 금형설계를 위한 Expert System의 개발에 관한 연구, 과제번호: 93-0200-06-01-3)에 의하여 연구가 수행되었습니다. 이 연구에 많은 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한, 현장의 많은 자료를 지원해 주신 삼선공업(주)와 (주)동양강철 관계자에게도 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) G. Eshel et al., 1985, "A rule-based system for automatic generation of deep drawing process outline", Computer Aided Intelligent Process Planning, Vol. 19, pp.1~18.
- (2) P. Hartley, C. E. N. Sturgess, T. A. Dean and G. W. et al., 1987, "Forging die design and flow simulation: Their integration in intellegent knowledge Based system", J. Mechanical Working Technology, Vol. 15, pp. 1~13.
- (3) K. Osakada, T. Kado and G. B. Yang, 1988, "Application of A. I. techninque to process planning of cold forging", Annuals of the CIRP, Vol. 37, No. 1, pp. 239~242.
- (4) J. Tang, S. I. Oh, T. Altan and R. A. Miller, 1988, "A knowledge based approach to automatic forging design", J. Material Shaping Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 7~17.
- (5) G. Yang and X. Y. Ruan, 1990, "Expert system for cold die design", Int. Conf. Die and Mold Design, pp. 477~481.

- (6) S. C. Lu, 1985, "A consultative expert system for finite element modeling of strip drawing", Proc. 13th. NAMRC. Conf., pp. 433~441.
- (7) C. Purnell and D. Males, 1980, "Extrusion die design by computer", Light Metal Age, p. 12.
- (8) C. F. Billhardt, V. Nagpal and T. Altan, 1978, "A computer graphics system for CAD/CAM of aluminum extrusion dies", SME Paper MS 78~957, May.
- (9) V. Nagpal, C. F. Billhardt, R. Gagne and T. Altan, 1977, "Automated design of extrusion dies by computer", Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Atlanta, pp. 15~17.
- (10) 최재찬, 김병민 외 5인, 1990, "알루미늄합금 형재의 열간 압출 금형설계 자동화에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 7권 3호 p. 26.
- (11) C. C. Chen, S. I. Oh and S. Kobayashi, 1979, "Ductile fracture in axisymmetric extrusion and drawing-Parts 1, Deformation mechanics of extrusion and drawing", Trans. ASME, J. of Eng. for Ind., Vol. 101, 23~35.
- (12) C. C. Chen, S. I. Oh and S. Kobayashi, 1979, "Ductile fracture in axisymmetric extrusion and drawing-Parts 2, Workability in extrusion and drawing", Trans. ASME, J. of Eng. for Ind., Vol. 101, 36~44.
- (13) O. C. Zienkiewicz and P. N. Godbole, 1974, "Flow of plastic and viscoplastic solids with special reference to extrusion and forming processes", Int. J. Num. Meth. in Eng., Vol. 8, 3~16.
- (14) K. Iwata, K. Osakada and S. Fujino, 1972, "Analysis of hydrostatic extrusion by the finite element method", Trans. ASME, J. of Eng. for Ind., May, 697~703.
- (15) E. H. Lee, R. L. Mallett and W. H. Yang, 1977, "Stress and deformation analysis of the metal extrusion process", Comp. Meth. in Appl. Mech. Eng., Vol. 10, 339~353.
- (16) P. R. Dawson and E. G. Thomson, 1977, "Steady state thermomechanical finite element analysis of elastoviscoplastic metal forming processes", ASME PVP-PB-V25, 167~182.
- (17) O. C. Zienkiewicz, P. C. Jain and E. Onate, 1978, "Flow of solids during forming and extrusion: some aspects of numerical solutions", Int. J. Solids Structures, Vol. 14, 15~38.
- (18) X. Q. Zhang, Y. C. Lam, C. Devadas, 1993, "Progress in numerical simulation of extrusion of aluminium sections", Proceeding of the Fourth Int. Conf. on Tech. of Plasticity, Advanced Tech. of Plasticity.
- (19) K. Mori, K. Osakada and H. Yamaguchi, 1993, "Prediction of curvature of an extruded bar with noncircular cross-section by 3-D rigid-plastic finite element methods", Int. J. Mech. Sci. Vol. 35, No 10, pp 878~887.