

알루미늄합금 형재의 열간압출 금형설계
자동화에 관한 연구

최 재찬*, 김 병민*, 이 진희**, 조 해용**
이 종수***, 홍 성석***, 조 남춘***

A Study on the Computer-Aided Design of Dies for Hot Extrusion
of Structural Shapes from Aluminum Alloys

Jae-Chan Choi, Byung-Min Kim, Jin-Hee Lee,
Hae-Yong Cho, Jong-Soo Lee, Sung-Suhk Hong,
Nam-Chun Cho

ABSTRACT

This paper describes the Computer Aided Design(CAD) of dies for direct hot extrusion of structural shapes such as Z's and U's from aluminum alloys. A simple analysis of the direct extrusion process is developed and used to formulate a design procedure for determining the optimal shape of the extrusion dies.

A computer software system has been developed to design flat-faced dies for non-lubricated hot extrusion process. This software is a system of computer programs which are written to logical design procedure. Computer programs are based on empirical and analytical relationships, as well as on established knowledge based system. In the interactive mode of operation, the results at various stages of the design process are plotted on a screen. At any stage, the designer can interact with the computer to change or modify the design, based on his experience.

The output from the program is (a)the design of the flat-faced die, (b) information on extrusion load, reduction ratio, and other process variables, etc.

The implementation of this CAD system is expected to (a)provide scientific basis and rationalize the die design procedure, (b)optimize extrusion variables to maximize yield and production rate, (c)improve utilization of existing press capacity, etc.

*부산대학교 기계설계공학과

**부산대학교 대학원

***국방과학연구소

기 호 설 명

W_T ; 텅(tongue)의 폭	P_s ; 단위면적당 압출하중(force of press/container area)
L_T ; 텅(tongue)의 길이	W_b ; 금형압출구 사이의 최소 틈새
L_b ; 빌렛의 길이	W_a ; 백커(backer)구멍 사이의 최소 틈새
T_b ; 금형의 두께	T_b ; 백커(backer)의 두께
P ; 압출하중	S ; 열 수축률(shrink allowance in percent)
$\bar{\sigma}$; 평균 유동응력(flow stress)	l_f ; 원 금형압출구 치수 l_0 의 수정된 치수
D_b ; 빌렛의 직경	α ; 빌렛의 선 팽창 계수
D_c ; 컨테이너의 직경	T_c ; 압출온도
D_c ; 외접원(circumscribing circle)의 직경	T_a ; 주위온도
A ; 컨테이너의 횡단면적	B_a ; 최초 베어링(bearing)의 길이
A_f ; 압출형재의 횡단면적	B_b ; 임의부의 베어링길이
l_s ; 압출형재의 주변길이(perimeter)	W_u ; 최초 베어링부의 두께
N ; 금형압출구의 갯수	W_b ; 임의부의 단면 두께
τ ; 전단응력	

1. 서 론

열간압출은 대개 실린더형 컨테이너에 가열된 빌렛(billet)을 넣어 원하는 형상의 금형압출구(die opening)를 통해 일정한 횡단면을 가진 긴 제품을 뽑아내는 성형공정으로써, 이들 압출제품은 자동차, 항공기, 가구, 건설산업 등에서 광범위하게 사용되고 있다. 알루미늄합금 형재("Z", "L", "T", "U", "H" 등)는 주로 직접 열간압출 공정으로 Flat-Face 금형을 통해 무윤활로 압출하므로, 금형설계는 제품형상, 압출온도, 합금의 전단 강도등의 영향을 받는다. 알루미늄 합금의 압출온도는 대개 300~600°C로 비교적 낮은 온도에서 압출을 행하므로, 전통적으로 사용되는 금형강(H12, H13)은 금형손상을 견디기에 적절하므로 특별한 금형강의 선정이 필요치 않으나, 형상이 복잡해지고, 단면 두께가 얇아짐에 따른 압출제품의 표면상태, 치수정밀도등의 요구가 증가되어 왔다. 따라서 최적한 설계변수를 찾는 것이 어려웠으므로, 오늘날까지 실제 산업 현장에서의 열간압출 금형설계는 과학적이라기 보다는 경험적 기술에 의해 행하여져 왔다.

이를 극복하기 위해 경험이 없는 설계자라도 숙련자와 같이 금형설계를 할 수 있는 시스템을 개발하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. (1-11)

열간압출에 관한 공정 및 금형설계 자동화 시스템에 관한 연구는 1970년대에 들어와 본격화되었다. Watt, G. A. (1)가 비철금속의 압출을 위해 이론적 해석보다는 실험에 의한 설계규칙으로, 압출금형 자동화 시스템인 "BNF" 시스템을 개발하기 시작하였으며, Nagpal, V. 와 Altan, T. (2)는 강, 티타늄의 압출을 위한 유선형 금형(streamlined die)을 설계, 제작할 수 있는 "SHAPE" 시스템을 개발했다. 이후 이들에 의해 이에 관련된 많은 논문(3-5)이 발표되었으며, Nagpal, V., Billhardt, C. F., Gagne, R. 과 Altan, T. (6)는 알루미늄제품의 압출을 위한 금형설계, 제작 자동화 시스템인 "ALEXTR"와 "EXTCAM"을 개발했다. Gunasekera, T. S. 와 Hoshino, S. (7-8)는 복합재료의 압출공정을 위한 금형설계자동화 시스템인 "STREAM"을 개발하였으며, 오늘날까지 복잡한 형상의 압출을 위한 자동화 시스템의 개발에 관한 노력이 계속되고 있다(9-11). 본 연구에서는 열간압출 공정의 금형설

계 과정을 실제 현장의 압출 작업자와 숙련 설계자의 경험을 토대로 설계과정을 규칙화하여, 알루미늄합금 형태의 압출을 위한 금형설계 자동화 시스템을 개발하였으며, 이를 실제 현장에 적용시켜 좋은 결과를 얻었다.

2. 금형설계 지식베이스

알루미늄합금의 형재 압출에 사용되는 금형은 주로 한개 또는 그 이상의 형상진 압출구를 가진 평평한 원판인 Flat-Face 금형⁽¹⁸⁾이며, 이의 금형설계를 위한 세부적인 절차는 다음과 같다.

- (1) 압출형재 설계.
- (2) 최적 금형 압출구의 갯수결정.
- (3) 각 금형압출구를 통해 균일한 금속유동을 유지하기 위한 압출구 위치 및 방향결정.
- (4) 제품의 열수축과 압출하중에 의한 금형변형을 고려한 압출구 형상의 수정.
- (5) 금속흐름의 균형을 유지하기 위한 금형 베어링(bearing) 길이의 결정.

위 사항의 설계를 자동화하기 위한 지식 베이스는 소성역학 이론, 금속성형편람, 관련서적⁽¹²⁻¹⁷⁾ 및 생산 현장 전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반성있고 모순이 없는 사항을 설계규칙으로 구축하였다.

2.1 압출형재 설계 규칙

규칙1. 압출형재의 재질은 알루미늄합금에 한한다.

규칙2. 압출형재의 형상은 기본형상인 “Z”, “L”, “T”, “U”, “H” 형에 한한다.⁽¹³⁾

규칙3. 압출형재가 Flat-Face 금형으로 압출 가능한지를 다음 식으로 판정한다.

$$W_r \geq (L_r + 1) / 2.1 \dots\dots\dots (1)$$

규칙4. 압출형재의 압출 난이도 판단은 형상계수(shape factor)를 사용한다.^(13, 14)

$$\text{형상계수} = \frac{\text{압출형재의 주변길이(mm)}}{\text{압출형재의 단중(kg/mm)}} \dots\dots (2)$$

규칙5. 압출형재의 단면치수, 제품의 길이, 각도,

휨, 굽힘 등의 허용차가 KS D 6759에 따른 보통급 또는 특수급에 적용되어 있는가를 검토한다.

2.2 최적 금형압출구 갯수 선정 규칙

규칙6. 금형압출구 갯수는 생산 설비(보유한 back-up 공구, 생산 설비의 운용, 최대압출 길이 등.)에 의존한다.^(4, 18, 19)

규칙7. 금형압출구의 갯수는 단면 형상의 치수에 의해 제한된다.^(12, 13, 18)

규칙8. 금형압출구의 갯수는 압출비(extrusion rate)의 영향을 받으며, 압출성 판단의 기준이 된다.^(13, 14, 19)

$$\text{압출비} = \frac{\text{컨테이너 내부 단면적}}{\text{제품의 단면적}} \dots\dots (3)$$

규칙9. 금형압출구 갯수는 프레스용량에 의해 제한되며, 압출하중(P)의 계산은 상계법(upper-bound method)을 사용한다. 압출 하중 P는 함수적으로 다음과 같다.^(15, 18)

$$\frac{P}{\sigma} = f(D_B, L_B, A_r, l_s, N, T_D) \dots\dots\dots (4)$$

규칙10. 금속흐름은 금형압출구간의 대칭의 증가로 균형을 잡을 수 있으므로, 결정할 수 있는 금형압출구 갯수 가운데 대칭을 이룰 수 있는 갯수를 선택한다.

규칙11. 금형압출구 갯수는 재료 생산률(Y)을 최대로 얻을 수 있도록 선택한다.^(16, 18)

$$Y = \frac{\text{Weight of the usable extruded section}}{\text{Weight of the billet}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (5)$$

규칙12. 선정된 금형압출구의 갯수에 최적한 빌렛규격을 결정한다.

2.3 금형압출구의 위치와 방향 설계 규칙

규칙13. 압출하중 예측에 따른 프레스가 선정되면 컨테이너 직경이 결정되며, 이 직경을 갖는 원판을 가정해서 이 원판위에 금형압출구를 위치시킨다.

규칙14. 규칙3에서 식(1)이 임계값인 경우^(12, 13), 원판의 재질을 금형재질로 가정하여, tongue부의 상당응력(equivalent stress)을 전단 변형률에너지설(s hearing strain energy theory)로 계산하여 금형재질의 항복응력과 비교한다.⁽¹³⁾

규칙15. 금형압출구 사이에는 금형의 파손을 방지하기 위한 최소 틈새를 두어야 하며^(12, 13, 18) 금형압출구가 1개일 경우 규칙15를 사용하여 상당응력을 계산하며, 2개일 경우 경험적으로 1in의 간격을 둔다. 압출구가 여러개일 경우 다음 식을 사용하여 전단응력을 계산한다.

$$\tau = \frac{P_s \cdot A}{N \cdot (W_D \cdot T_D + W_B \cdot T_B)} \dots\dots\dots (6)$$

규칙16. 빌렛의 표면이 제품의 내부로 유동하는 것을 막기 위해 금형압출구와 컨테이너 벽 사이의 최소 틈새를 둔다.^(12, 13, 18)

$$0.8D_c \leq D_u, \max \leq 0.85D_c \dots\dots\dots (7)$$

규칙17. 제품의 굽힘, 비틀림 등을 피하기 위해서는 압출재료가 축 방향으로 균일한 속도를 가지면 가능하므로 금형압출구를 위치시킬 때 대칭이 되게 놓는다.^(5, 12, 13, 16, 18) 대칭의 우선 순위는 금형압출구간에 점대칭, 선대칭 순으로 한다.

규칙18. 금형압출구가 1개일 경우 빌렛의 중심과 압출제품의 중심을 일치시킨다.^(4, 15)

규칙19. 금형압출구가 여러 개인 경우는 원판을 압출구의 갯수 만큼의 수로 나누어 각 분절의 중심과 금형압출구의 중심을 일치시킨다.^(4, 18)

규칙20. 금속의 유동은 금형의 가장자리 보다 중심에서, 금형압출구가 넓은 부분이 좁은 부분보다 흐름이 빠르므로 금형압출구의 방향은 흐름이 빠른 쪽을 금형의 중심에서 멀리 놓는다.^(4, 13, 14, 18)

규칙21. 금형설계와 제작이 용이하도록 위치시킨다.^(4, 13, 18)

규칙22. 금형직경의 선정은 다음 식을 사용한다.

- (1) $0.8D_c \leq D_v \leq 0.85D_c$ 인 경우
 $D_b = (1.1 \sim 1.23) \cdot D_c \dots\dots\dots (8-1)$
- (2) $D_v < 0.8D_c$ 인 경우
 $D_b = (1.25 \sim 1.45) \cdot D_v \dots\dots\dots (8-2)$

2.4 열수축과 변형에 의한 압출구형상의 수정 규칙
 규칙23. 압출후 압출제품은 주위 온도에 의해 냉각되어 수축되므로, 이에 따른 금형압출구 치수 수정은 다음 식으로 한다.^(12, 13, 18)

$$S = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 = \alpha (T_e - T_a) \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

대부분 알루미늄 합금의 α 는 약 $13 \times 10^{-6}/F$, 압출온도는 750-950F이므로 α , T_o 의 평균값을 계산하여 다음 식을 사용한다.

$$l_f = 1.011 \cdot l_o \dots\dots\dots (10)$$

규칙24. 압출압력에 기인한 금형변형에 의해 금형압출구형상이 변형하므로, 이에 대한 수정은 경험적으로 아래의 식을 사용하며, tongue부 선단에 더해 준다.^(12, 13, 18)

$$\text{팅(tongue)부 수정} = 0.005L_T \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{전체 금형변형에 의한 수정} = 0.002 \times W_T \dots\dots\dots (12)$$

2.5 금형 베어링(Die Bearing)길이 설계 규칙

규칙25. 금형베어링 길이는 빌렛의 중심으로부터 금형압출구까지의 거리, 압출부의 단면두께에 의존하며, 금속흐름이 가장자리보다 중심에서 빨리 흐르므로, 베어링길이는 중심으로 갈수록 길며, 두꺼운 단면에서 흐름이 빠르므로 상대적으로 두꺼운 단면이 길다.^(13, 18, 19)

규칙26. 최초 베어링은 두께가 가장 얇은 부분, 빌렛중심에서 가장 멀리 떨어진 곳을 선택하며, 최초 베어링의 길이는 경험적으로 다음과 같이 선정한다.

$$\text{최초 베어링 길이} = (1.0 - 1.2) \times \text{단면두께(Wall thickness)} \dots\dots\dots (13)$$

규칙27. 금형압출구가 한개인 경우, 경험적으로 임의의 부위에서의 베어링 길이는 다음과 같다.

$$B_b = B_a \left(\frac{W_b}{W_a} \times \frac{D_a}{D_b} \right) \dots\dots\dots (14)$$

규칙28. 금형압출구의 갯수가 여러개인 경우는 중심에서 가장 멀리 떨어진 곳에서부터 동심원을 그려 그 동심원에 포함되는 부위의 베어링길이는 같으며, 동심원은 몇 mm 단위로 잘라 중심을 향해 그려 나가며 이에 포함되는 형상부위의 길이만큼 최초 베어링길이에 더해 나간다.

3. 프로그램 구성 및 작동원리

알루미늄합금 형재의 열간압출 금형설계는 논리적 결정의 순서로 구성할 수 있으며, 각 결정은 서로 관련된 설계변수의 영향을 받는다.

따라서 개발된 소프트웨어는 Fig. 1.에서 보는 바와 같이 여러개의 모듈(형재설계모듈, 금형압출구 갯수선정모듈, 금형압출구 설계모듈, 금형압출구 수정모듈, 금형베어링설계모듈)로써 구성되며, 각각의 모듈은 순차적으로 실행되는 컴퓨터 프로그램 시스템이다.

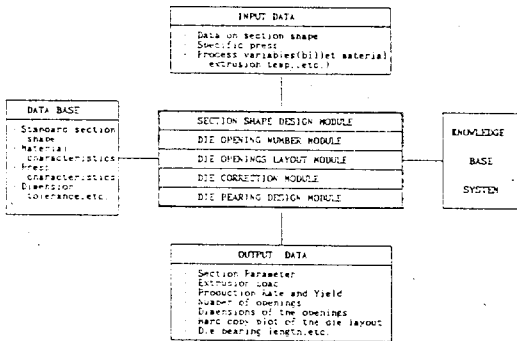


Fig. 1 Block diagram of CAD system for die design

3.1 형재설계모듈

형재설계모듈은 형상의 선택, 형상에 관한 주변사항들을 결정한다. 입력사항으로는 압출형상의 종류 및 치수, 알루미늄합금번호, 치수 허용차등급, 최종제품의 길이 등이다. 입력사항에 따라 선택된 형상, 치수, 치수허용차등이 화면에 나타나며, 다음으로 형상의 주변사항(황단면적, 주변길이, 외접원, 중량, 압출비, 형상계수 등)이 계산되고, 표준공차(길이, 진직도(straightness), 평면도(flatness), 비틀림(twist), 직각도(angularity) 허용차 등)를 데이터베이스로부터 읽어 출력시킨다. 다음으로 Flat-Face금형의 사용 유무를 판정한다.

3.2 금형압출구 갯수선정모듈

금형압출구 갯수선정모듈에서는 프레스특성(프레스 용량, 컨테이너 직경, 테이블 길이 등), 압출온도에 따른 합금특성, 빌렛규격 등에 대한 사항이 데이터

베이스에 저장되어 있으며, 입력사항으로는 사용하고 자 하는 프레스, 프레스에 따른 컨테이너 직경 등이다. 위 입력사항을 기초로 하여 압출구갯수와 빌렛규격에 따른 압출비, runout길이, 압출하중, 재료생산을 등을 계산 출력시킨다. 이 출력사항에 따라 설계자가 필요로하는 사항을 기초로(예를 들면 생산률을 최대로 하기를 원할 경우 생산률을 최대로하는 금형압출구 갯수와 빌렛규격을 선택한다.) 원하는 압출구 갯수를 선정한다.

3.3 금형압출구 설계모듈

금형압출구 설계모듈에서는 금형압출구의 위치와 방향을 결정한다. 금형압출구 갯수선정모듈에서 선택한 금형압출구 갯수와 빌렛 규격, 프레스특성 등이 입력 사항이 된다. 이에 따라 2.3절에 설명된 설계규칙으로 금형압출구의 위치와 방향을 결정한다. 프로그램은 상호 대화식으로 구성되어 있으므로 설계자가 원하는 부분을 컴퓨터에 나타나는 결과를 보면서 회전, 이동, 반전 등의 기능을 이용하여 자유롭게 형상의 위치와 방향의 변형이 가능하도록 하였다.

다음으로는 규칙15, 16에 따른 계산을 행하여 금형 강도를 검토하며, 검토한 결과가 만족하지 않을 경우 설계자는 다른 압출구 갯수를 선정하든지, 위치와 방향을 바꾸어 본다. 다음으로 금형직경을 선정한다.

3.4 금형압출구 수정모듈

금형압출구 수정모듈에서는 열수축과 금형 변형에 대한 금형압출구치수 수정을 행한다. 입력사항은 형재 설계모듈에서 입력한 형재의 치수를 그대로 사용하며, 출력사항은 2.4절의 설계규칙을 이용한 수정된 금형압출구 치수이다.

3.5 금형베어링설계모듈

금형베어링설계모듈에서는 금형베어링 길이를 결정한다. 출력사항은 2.5절의 설계규칙을 이용한 최초 금형베어링의 길이와 각 금형압출구에 대한 베어링길이이며, 화면에 출력된다. 압출구가 1개일 경우는 규칙27을 이용해 자동적으로 베어링 길이가 결정되며, 여러 개인 경우는 설계자가 출력된 사항을 고려해서 규칙28을 이용 베어링 길이를 입력시킨다. 마지막으로 평균

베어링길이를 계산하여, 최종 압출하중을 검토한뒤, 프레스용량과 비교하여 프레스 용량을 만족하면 프로그램이 끝나며, 만족하지 않을 경우는 처음으로 되돌아가서 다시 수행된다.

4. 프로그램의 적용

개발된 시스템의 능력을 설명하기 위하여 "Z" 형태의 열간압출 공정해석을 토대로한 금형설계를 예로 들었다. Fig.2는 모압출회사에서 설계한 형제설계 도면이다.

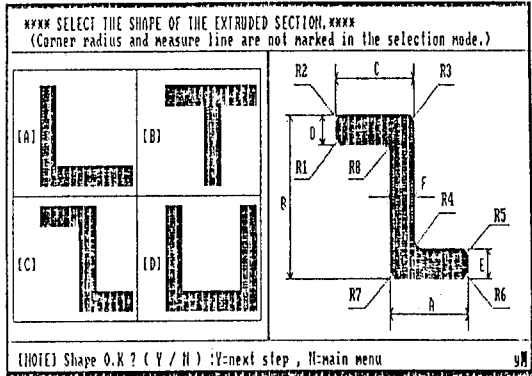


Fig.3(a)

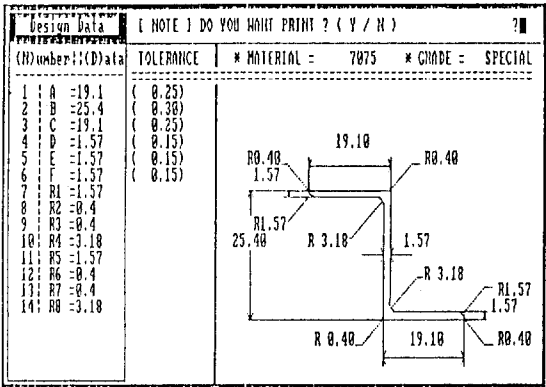


Fig.3(b)

Fig. 3 (a) Selection of shape

(b) Input of shape dimension and output of tolerance

Fig. 4(a), (b)는 입력시킨 치수를 기초로한 형제의 주변사항과 기본공차의 출력이다.

### CALCULATION OF PARAMETER ###	
1	ESTIMATED AREA = 98.1 mm ²
2	ESTIMATED PERIMETER = 119.3 mm
3	CIRCUMSCRIBE CIRCLE DIA. = 44.57 mm
4	HEIGHT = 0.280 (kg/m)
5	SHAPE FACTOR = 426.20 mm/(kg/m)
6	EXTRUSION PROPORTION = 280.7(7in/1H)
7	LENGTH = 500 ⁺¹ ₋₀ mm

[NOTE] DO YOU WANT PRINT? (Y / N)

Fig. 2 Shape design drawing in Some metal company

이 형제의 재질은 Al 7075이며, 압출품의 치수허용차는 특수급, 압출온도는 450°C이다.

위 형제설계 도면을 기초로한, 본 시스템의 금형설계 과정을 설명한다.

Fig. 3(a)는 압출형제의 선택과정으로 "Z" 형제를 선택한 결과이며, Fig. 3(b)는 실제 형제의 치수를 입력하여 출력된 결과이다.

#### STANDARD TOLERANCES ####	
1	CROSS SECTIONAL DIMENSIONS : K S D 6759 SPECIAL
2	STRAIGHTNESS = 1.00 mm/1000L
3	FLATNESS = 0.4 % / H (width)
4	THIST = 3.33 mm /1000L
5	ANGULARITY = 1 (DEGREES PLUS AND MINUS)
6	ALLOYS TEMP. = AL 7075 T - 5
(NOTE) DO YOU WANT PRINT ? (Y / N)	

Fig. 4(b)

Fig. 4. (a) Output of section parameter
(b) Output of standard tolerance for section

Fig. 3, Fig. 4에서 보듯이 Fig. 2의 형재설계 도면과 동일하다.

Fig. 5는 최적 압출구 갯수 선정을 위해 설계자에게 제공되는 판단자료의 출력이다.

Fig. 5(a)는 상계법을 이용한 압출하중(평균유동응력=6.11kg/mm²(450°C))의 출력이다. 프레스의 무리를 피하기 위해서 프레스 전 용량의 90%를 사용한다고 하면(2200ton일 경우 1980ton), 가능한 금형압출구 갯수는 7"×12" 빌렛을 사용할 경우, 6개 이상이 되어야 한다.

Fig. 5(b)는 재료생산률(최종압출제품 길이=500m)의 출력 결과이며 압출구 갯수가 6개일 경우 최대가 됨을 알 수 있다. 따라서 금속흐름과 압출구의 배치를 고려하여 최종적으로 압출구갯수를 6개로 선택하고, 빌렛규격은 7"×12", 프레스는 2200ton을 선택했다

##### CALCULATION OF EXTRUSION LOAD ##### [UNIT : Ton]	
[reference] NO. of holes	AVAILABLE PRESS CAPACITY # 1980(TON) # 2200(TON) (Next step) Represent by a graph (Press any key)
Billet size	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1	7" X 12" 2292
2	7" X 14" 2392
3	7" X 15" 2442
4	7" X 16" 2492
5	7" X 18" 2592
6	7" X 20" 2692
7	7" X 21" 2742
8	7" X 22" 2792
9	7" X 23" 2842
10	7" X 24" 2892
11	7" X 25" 2942
12	7" X 26" 2992
13	7" X 27" 3042
14	7" X 28" 3093
15	7" X 30" 3193

Fig. 5(a)

(Fig. 5(e)). Fig. 5(c), (d)는 압출구 갯수와 테이블 길이, 압출비의 관계를 나타내며 압출비를 제외하고는 위의 사항을 만족한다. 압출비가 최적치를 초과하므로 압출이 조금 어렵다는 것을 알 수 있다.

##### PERCENT YIELD FOR DIFFERENT NUMBER OF HOLES ##### [UNIT : %]	
[NOTE]	(1) PRESS CAPACITY = 2200(TON) (2) FINISH CUT LENGTH = 500(MM) (3) BILLET LENGTH = 12 (in) (4) BILLET DIA. = 7(in)
NO. of holes	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
EXTRUDE LENGTH (m)	36.0 34.5 23.0 17.0 13.5 11.5 9.5 8.5 7.5 6.5
EXTRUDE WEIGHT (kg)	10.1 19.3 19.3 19.0 18.9 19.3 18.6 19.0 18.9 18.2
LENGTH OF BUILT (LEFT) (mm) (in)	162.7 32.5 32.5 36.4 38.4 32.5 42.3 36.4 38.4 48.2 6.4 1.3 1.3 1.4 1.5 1.3 1.7 1.4 1.5 1.9
PERCENT YIELD	45 87 87 86 85 87 84 86 85 82
[NOTE] IN CASE OF PERCENT YIELD 100% OR MINUS, THE VALUE IS INVALUABLE (Note) Do you want next step? (Y / N)	

Fig. 5(b)

##### CALCULATION OF EXTRUSION PROPORTION(RATE) #####	
[INPUT DATA]	* MATERIAL = AL 7075 * CONTAINER INNER DIA. = 187.2 mm * CROSS-SECTIONAL AREA OF THE CONTAINER = 27523.35 mm ² * CROSS-SECTIONAL AREA OF THE EXTRUSION = 98.07 mm ²
NO. of holes	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
EXTRUSION PROPORTION	288.7 140.3 93.6 78.2 56.1 46.8 40.1 35.0 31.2 28.1
[REFERENCE] Useful range: (25 plus and minus 5-10 (below)	
[NOTE] *(Conclusion) : MAX. 35 * Possible NO. of holes: 8	

Fig. 5(c)

##### CALCULATION OF EXTRUSION LENGTH ##### [UNIT : M]	
[reference] NO. of holes	FINISH CUT LENGTH : #1980(TON) = 22(m) ; #2200(TON) = 36(m) (Next step) Represent by a graph (Press any key)
Billet size	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1	7" X 12" 69.6
2	7" X 14" 82.5
3	7" X 15" 88.9
4	7" X 16" 95.4
5	7" X 18" 108.2
6	7" X 20" 121.1
7	7" X 21" 127.5
8	7" X 22" 134.0
9	7" X 23" 140.4
10	7" X 24" 146.8
11	7" X 25" 153.3
12	7" X 26" 159.7
13	7" X 27" 166.1
14	7" X 28" 172.6
15	7" X 30" 185.5

Fig. 5(d)

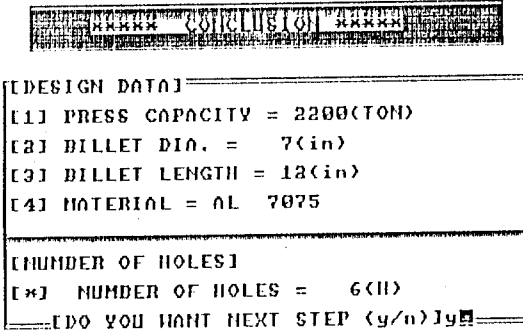


Fig.5(e)

Fig.5 Output for determination of opening numbers and process variables

- (a) extrusion load,
- (b) percent yield
- (c) extrusion proportion (rate)
- (d) extrusion length
- (e) process variables

Fig. 6은 규칙16과 규칙19를 적용해서 압출구의 위치와 방향을 선정한 것이다.

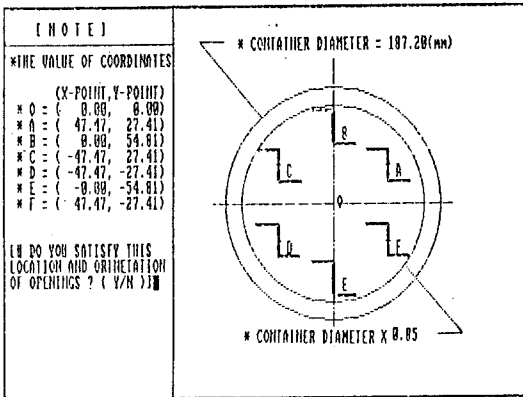


Fig.6 Layout of die openings

Fig. 7은 설계자가 대화식으로 이동, 회전, 반전 등의 기능을 이용하여, 규칙17을 적용한 최상의 압출구 배치이다. 다음으로 규칙15를 적용한 결과 전단응력이 41kg/mm²다. 금형재질인 SKD 61종의 경우 450°C에서 전단응력은 약 57kg/mm²이므로 압출구의 위치와 방향설계가 만족함을 알 수 있다.

Fig. 8은 규칙22를 이용한 금형직경의 선정과정이며, 금형 두께는 프레스가 정해지면 자동적으로 결정된다.

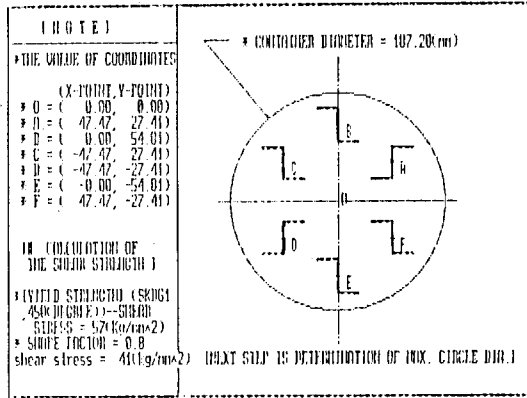


Fig.7 Die layout modified by rule # 17 and calculation of shear stress

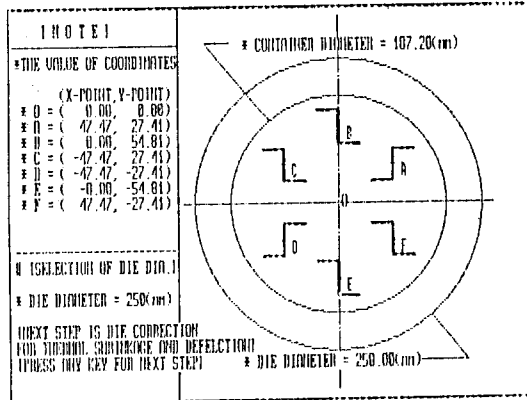


Fig.8 Calculation of die diameter

Fig. 9(a), (b)는 규칙23과 규칙24를 적용, 열수축과 금형변형에 의한 압출구의 수정과정이다.

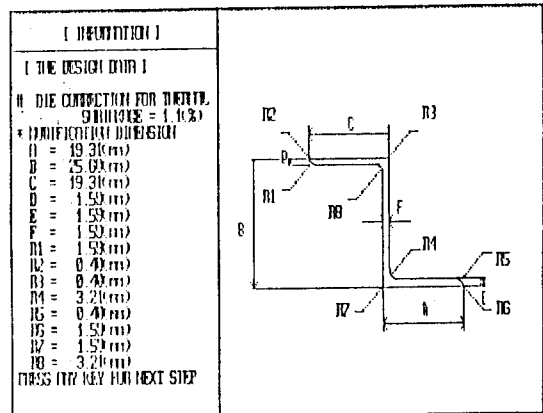


Fig.9(a)

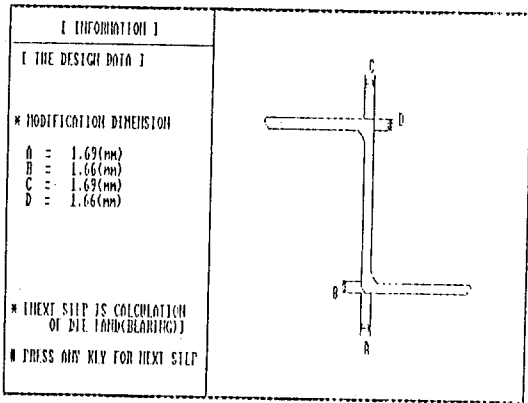


Fig. 9(b)

Fig. 9 Correction of die openings
(a) thermal shrinkage
(b) die deflection

Fig. 10은 규척25, 26, 28을 적용, 베어링 길이를 결정 출력한 것이다. 6개의 압출구중 A부분이 베어링길이다. 나머지도 같은 방법으로 결정한다.

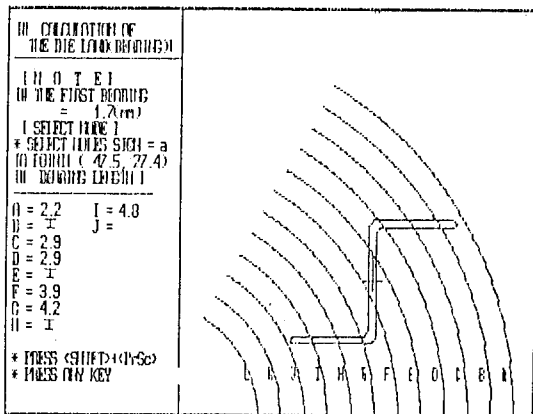


Fig. 10 Die bearing length(part A)

Fig. 11은 Fig. 2를 보고 실제로 모압출회사에서 설계한 금형도면이다.

Fig. 11에서 보듯이 압출구의 갯수는 6개, 금형직경은 250mm, 프레스는 2200ton을 사용하였다. 이상은 본 시스템의 결과와 동일하다. 열수축과 금형변형에 의한 압출구의 수정치는 Fig. 11과 유사하며, Fig. 11은 금형변형을 고려하지 않은 것 같다. 압출구의 위치와 방향, 베어링길이는 본 시스템으로 설계한 도면과 다르다. 모압출사의 경우 Y축에 대해서 압출구간에

선대칭을 이루고 있으며, 본 설계도면은 원점에 대해서 점대칭을 이루고 있다. 대칭이 증가할수록 금속흐름의 안정을 유지할 수 있으므로 본 설계도면이 대칭면에서 우수함을 알 수 있다. 모압출사가 압출구배치를 Fig. 11과 같이 한 이유는 압출시 앞에서 압출품을 잡아주는 보조공구가 없기 때문에 압출시 제품이 테이블위에 안정한 방향이 되도록 하기 위함이다.

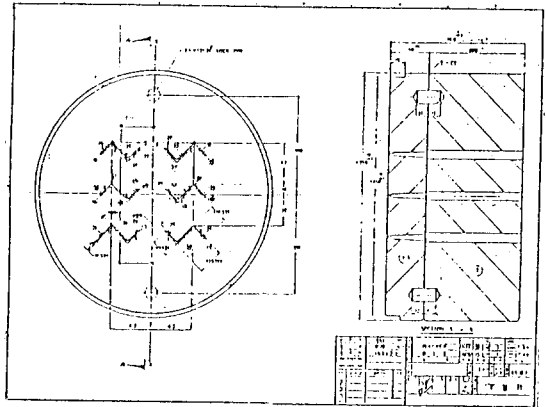


Fig. 11 Die design drawing using in the smetal company

압출구의 위치와 방향이 다르기 때문에 베어링길이가 달라지지만 베어링길이의 증가경향은 비슷함을 알 수 있다. 본 시스템으로 모압출사 설계도면을 그대로 적용해본 결과 금형강도를 만족했으며, 베어링길이기도 거의 일치했다. 실제로 모압출사에서 두 도면으로 시험압출한 결과 두 가지 모두 압출품의 치수허용치 범위를 만족하는 결과를 얻었다.

5. 결 론

본 논문에서는 알루미늄합금형재 제품을 생산하기 위한 Flat-Face금형의 자동금형설계 프로그램을 개발하였으며, 그 결론을 다음과 같다.

- 1) 알루미늄합금형재의 열간압출 금형설계 자동화에 필요한 지식을 추출, 규칙형태로 체계화하여 금형설계의 방법을 정식화하였다.
- 2) 설계규칙에 따른 각 모듈에서 형재의 치수, 치수공차, 주변사항, 압출하중, 생산률, 압출구갯수, 압

출구의 위치와 방향, 금형강도, 압출구의 수정치수, 금형베어링 길이등이 그래픽과 함께 문서화되어 출력되므로 작업지시서를 대신할 수 있다.

- 3) 경험이 적은 미숙련자도 숙련자와 같이 금형설계를 할 수 있으며, 설계시간이 단축되어 생산성을 향상시키므로 공급일정을 줄일 수 있다.
- 4) 공정변수의 최적화로 보유하고 있는 프레스용량을 항상 사용할 수 있으며, 재료생산률을 최대로 할 수 있다.
- 5) 개발된 시스템으로 "Z" 형태의 금형설계를 하여, 실제 현장에 적용시킨 결과, 압출된 제품이 치수 허용치 범위를 만족하는 양호한 결과를 얻었다.

參 考 文 獻

1. Watts, G. A., "Computer-Aided Design of Extrusion Dies", 4th BNF Computer Conference, Birmingham, 1974.
2. Nagpal, V., and Altan, T., "Computer-aided Design and Manufacture for Extrusion of Aluminum, Titanium and Steel Structural Parts(Phase 1)", AVSCON Report No. 76-12, AMMRC CTR 76-6, 1976.
3. Nagpal, V., and Altan, T., "Computer-aided Design and Manufacturing of Dies for Lubricated Extrusion of Shapes", J. of Mech. working Tech., Vol. 1, pp. 183-201, 1977.
4. Billhardt, C. F., Nagpal, V., and Altan, T., "A Computer Graphics System for CAD/CMA of Aluminum Extrusion Dies", SME paper, MS78-957, 1978.
5. Nagpal, V., Billhardt, C. F., and Altan, T., "Lubricated Extrusion of "T" Sections from Aluminum, Titanium and Steel Using Computer-Aided Techniques", ASME, Trans., J. Engr. industry, Vol. 101, pp. 319-325, 1979.
6. Nagpal, V., Billardt, C. F., and Altan, T., "Computer-Aided Design and Manufacturing for Extrusion of Aluminum, Titanium and Steel Structural Parts(Phase 2, AVRADCOM Report No. 78-29, AMMRCTR 78-26, Vol. 2, 1978.
7. Gunasekera, J. S., "Computer-Aided Modelling and Design of Shaped Extrusion Dies", ASME, Int. Computer Tech. Conf., pp. 452-459, 1980.
8. Gunasekera, J. S., and Hoshino, S., "Extrusion of Non-Circular Sections Through Shaped Dies", Annals of the International Institution of Production Engineering Research(CIRP), 29, 1, pp. 141-145, 1980.
9. Purnell, C., and Males, D., "Extrusion Die Design by Computer", Light Metal Age, pp. 12-15, April, 1980.
10. Gunasekera, J. S., Gegal, H. L., Doraivelu, S. M., Malas, J. C., Graham, J. C., and Altan, T., "Computer Aided Design of Multi-Hole, Streamlined Extrusion Dies", Annals of the International Institution of Production Engineering Research(CIRP), 33, 1, pp. 129-131, 1984.
11. Kiuchi, M., and Hoshino, M., "Computer Aided Simulations of Complex Three-Dimensional Extrusions", Proceedings of the Three Int. Conf. on Technology of Plasticity, Kyoto, Vol. 1, pp. 387-394, 1990.
12. Lange, K., "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill Book Co., pp. 161-16. 66, 1985.
13. Laue, K., Stenger, H, "Extrusion : Processes, Machinery, Tolling", ASM, 1976.
14. 日本 輕金屬協會, "アルミニウ 핸드ブック", 1982.
15. Avitzur, B., "Metal Forming : Processes and Analysis", McGraw-Hill Book Co., pp. 153-217, 1968.
16. Altan, T., Oh, S. I., Gegal, H. L., "Metal

- Forming : Fundamentals and Applications”, ASM, pp.189-229, 1983.
17. Kortesoja, V. A. , “Properties and Selection of Tool Materials”, ASM, pp.227-239, 1975.
 18. Nagpal, V. , Billardt, C. F. , Gange, R. , and Altan, T. , “Automated Design of Extrusion Dies by Computer”, Paper Submitted to International Aluminum Extrusion Technology Seminar. Atlanta, Nov 15-17, 1977.
 19. Korl, K. , Freeman, T. A. , “Extrusion Dies -Design Construction and Service Factors”, Precision Matal Modeling, pp.86-87, 11, 1965.