

## 알루미늄 합금 형재의 열간압출 금형 설계 자동화에 관한 연구

이춘만\*, 송인성\*\*, 정원지\*

### A Study on the Automatic Design of Dies for Hot Extrusion of Aluminium Alloys

Choon-Man Lee\*, In-Seong Song\*\* and Won-Jee Chung\*

#### ABSTRACT

This study presents development of a automatic design software for process and die design of hot extrusion of aluminium alloys 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 a software system which includes a design rule extracted from literatures and experts in the extrusion industry. The developed system is effectively used to design extrusion processes and dies with reduced lead time and trial extrusion.

**Key Words** : Hot Extrusion(열간 압출), Computer-Aided Design(컴퓨터 지원 설계), Square Die(평금형), Auto-CAD, Interface program(연결프로그램), Die-land length(금형랜드부 길이)

#### 1. 서론

알루미늄 합금의 압출은 500℃전후의 비교적 낮은 온도에서도 무윤활 압출이 가능하고 한번의 변형으로 다양한 단면형상을 가진 형재를 얻을 수 있어 널리 사용되고 있다. 최근에는 형재의 단면이 복잡해지고 제품의 두께가 얇아짐에 따라 제품의 표면상태, 치수정밀도등의 향상에 대한 요구가 증가되고 있다.

각종 금형설계의 자동화에 대한 연구는 경험이 많은 숙련 기술자들에 의존해 온 설계의 노하우를 검토, 분석하여 체계화시킴으로써 경험이 적은 비숙련 자들에게도 훌륭한 설계를 할 수 있도록 하는

데에 노력이 집중되고 있다. 그동안 금형설계 자동화에 대한 여러 연구가 수행되었고, 압출에 대한 연구는 Altan<sup>(2,3)</sup>, Purnell<sup>(4)</sup>, Choi<sup>(5)</sup>등에 의한 연구가 있다. 또, 금형랜드부 길이 설계에 대해서는 Hardouin<sup>(6)</sup>, Miles<sup>(7)</sup>, Kim<sup>(8)</sup>등에 의해 연구된 바 있다.

본 연구의 목적은 알루미늄 합금 형재의 열간압출 공정설계와 금형설계에서 재질 및 윤활과 마찰, 응력과 재료유동 등의 변수들을 복합적으로 고려하고, 경험이 많은 숙련기술자들에 의존해 온 설계의 노하우를 검토, 분석하여 체계화시켜 적용하여 경험이 적은 사람도 손쉽게 설계할 수 있는 설계자동화 프로그램을 개발 하는데 있다.

\*\* 2002년 3월 13일 접수

\* 창원대학교 기계설계공학과

\*\* 창원대학교 기계설계공학과 대학원

개발된 프로그램에서는 제품의 형상과 재질, 프레스제원과 압출속도, 마찰 또는 윤활조건 등의 입력 데이터가 주어지면, 금형과 금형 주변장치의 설계치수가 결정되고, AutoCAD 와 연계하여 설계도면을 생성하며 금형을 가공할 수 있는 NC코드를 생성하도록 하였다. 프로그램의 각종 규칙과 데이터베이스는 각종 자료집, 현장전문가의 경험적 지식과 실험 등을 토대로 하여 구축하였다. 개발된 프로그램의 개략도는 Fig. 1과 같다.

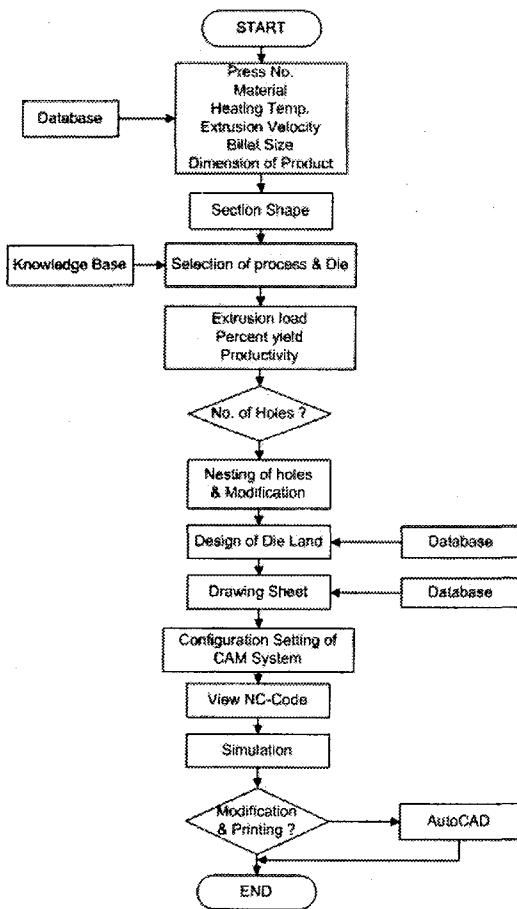


Fig. 1 Overall flowchart of the system

## 2. 프로그램의 주요 내용

### 2.1 데이터 입력과 데이터베이스 구축

개발된 프로그램의 주요 데이터베이스는 (1)소재(material) (2) 프레스 제원 (3) 빌렛(billet) (4) 금형 측면도 제원 (5) 금형랜드부 길이 적용에 필요한 데이터중 경험데이터 보간에 의한 방법을 위한 데이터 (6) 금형랜드부 길이 적용에 필요한 데이터중 기준 길이에 의한 방법을 위한 데이터 등이 있다.

구축된 데이터베이스는 개방된 구조를 취하여 수정 및 보완이 용이하고 산업체 나름대로의 실정에 맞는 프로그램 구축이 가능하도록 하였다.

### 2.2 형재의 단면 형상 입력과 면적 및 도심의 계산

형재의 단면 형상을 프로그램에 입력하는 방법은 AutoCAD R14에서 주어지는 DXF(Drawing eXchange Format) 파일을 읽어서 프로그램의 데이터로 바꾸는 연결 프로그램(Interface program)을 개발하였다. 이 프로그램에서는 그림을 그리는 데 필요한 데이터를 Fig. 2에서와 같이 선(Line)인 경우에는 시작점좌표(X1,Y1)와 끝점좌표(X2,Y2), 원호(Arc)인 경우에는 시작점좌표(X1,Y1), 중심점좌표(X0,Y0), 반경(R), 시작각도( $\theta_1$ ), 끝각도( $\theta_2$ ), 끝점좌표(X2,Y2)로 정의하여 문자파일(Text file)로 주고받도록 하였다.

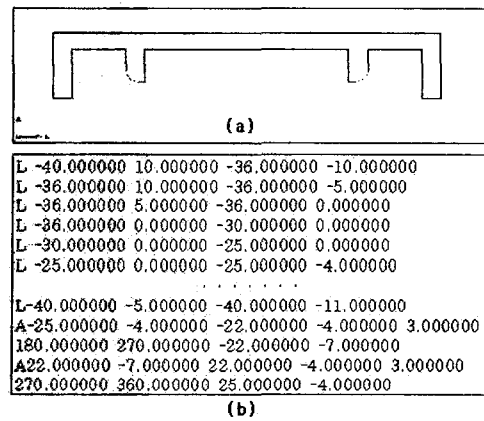


Fig. 2 (a) Drawing on AutoCAD and (b)Text data format

압출비를 계산하고 압출 구멍을 배치하기 위해서는 형상의 단면과 도심을 구해야 한다. 압출구멍의 형상은 대부분 직선과 원호로 되어 있으므로,

임의 형상의 단면적은 Green's theorem에 의해 직선과 원호의 경계선을 따르는 선적분을 이용하여 계산하였다.<sup>(9)</sup>

### 2.3 공정 및 금형선정의 추론

본 연구에서는 현장 전문가 면담과 각종 자료를 참고하여 공정 및 금형선정의 체계를 구축하고 공정 및 금형을 탐색하고 선정할 수 있도록 하였다. 공정선정은 압출형태의 외접원 직경(Circumscribing Circle Diameter, CCD), 재질, 빌렛의 표면가공, 치수 정밀도등을 기초로 하여 직접압출과 간접압출을 결정하도록 하였다. 금형선정은 단면형상, 형상비(Shape factor), 텅비(Tongue ratio), 재질의 용착여부등을 기초로 하여 선정 대상을 평금형(Flat die), 유동가이드를 가진 평금형(Flat die with flow guide), Semi-hollow die, Porthole die, 만드렐을 가진 평금형(Flat die with mandrel)과 압출 불가능인 경우 등으로 하였다.

### 2.4 압출구멍 개수 및 빌렛규격 선정과 압출하중의 계산

압출구멍의 개수와 빌렛 규격의 선정은 압출비, 프레스 제원 등에 의해 제한을 받으며, 재료 생산율(Yield)과 생산성(Productivity)에 큰 영향을 주게 되므로 이런 요소들을 계산하고 검토한 후에 결정되어야 한다. 본 연구에서는 Lee<sup>(9)</sup> 등이 제안한 계산 알고리즘을 사용하여 최적의 금형 압출구멍의 개수와 빌렛길이를 선정할 수 있도록 하였다. 최대 압출구멍의 개수는 산업현장에서 통상적으로 8개 정도까지 작업하는 것을 고려하여 8개로 한정하였다. 각 빌렛길이에 대해 계산한 생산율과 생산성 등의 결과를 한 화면씩 보여주어 사용자가 최적의 압출구멍수를 결정할 수 있도록 하였다. 압출하중의 계산은 Avitzur가 제안한 구면속도장<sup>(1)</sup>에 의한 상계해법과 현장경험식에 의한 방법을 사용하였다.

### 2.5 금형랜드(Die land)부의 설계

코임이나 굽힘 등의 불규칙적인 소성 유동을 방지하기 위한 금형랜드부의 설계는 대단히 까다롭고 어려운 문제이다. 본 연구에서는 Kim<sup>(8)</sup> 등에 의한 금형랜드부의 길이를 자동, 반자동, 수동의 3가지

방법으로 설계하는 방법을 적용하였다.

자동방법은 마우스로 직선의 근처에 점을 찍으면 수선의 발을 내리고 같은 기울기이면서 가장 가까운 다음 직선을 찾아 두께로 산정하고, 그 두 수선의 발의 중심을 도심과의 거리로 삼아 이를 금형랜드 길이 일반식에 대입해 금형랜드 길이를 산출한다. 반자동방법은 도심에서 지정한 간격만큼의 동심원을 그리고 이의 교점 중에서 4점을 선택하면 두께와 도심와의 거리를 계산하여 금형랜드 길이 일반식에 대입해 금형랜드 길이를 산출한다. 수동방법은 직선에서 마우스로 원하는 구간을 찍어 임의로 금형랜드 길이를 입력하는 방법이다.

### 2.6 자동 도면 생성

본 연구에서는 개발된 프로그램에 의해 설계된 자료를 넘겨주면, 데이터베이스로 저장된 부품들과 결합되어 자동으로 도면이 생성되도록 하였다. 자료관리를 쉽게 하도록 하기 위해 압출구멍 형상과 각 부품 데이터가 저장된 파일을 종합 관리하는 파일을 두어 계층구조(Tree structure)로 만들었다. 이 종합관리 파일중의 하나를 선택하면 금형, 유동가이드, 지지대(Backer)등의 치수 및 치수공차와 함께 압출구멍의 치수, 치수공차, 금형랜드의 길이, 각 부품의 직경과 두께 등이 그래픽화면에 나타나도록 하였다. 본 프로그램에서는 금형랜드부 길이가 표시된 최종도면을 AutoCAD화면에 자동으로 그려주어 도면을 쉽게 수정 또는 보완할 수 있는 기능을 추가하였다.

### 2.7 NC코드생성

AutoCAD의 DXF 파일을 연결 프로그램(Interface program)에서 불러 도형에 대한 정보를 얻고, 가공조건과 가공명령을 주어 공구경로 데이터를 산출하도록 한 후, 이를 NC코드로 변환할 수 있도록 하였다. 공구가 소재에 처음으로 접촉할 때 소재에 흠집을 내지 않도록 하는 접근방법(Approach method)은 직선과 원호 2종류의 접근방법이 가능하도록 하였다. 평금형 압출 금형의 NC코드 생성의 순서는 첫째로 AutoCAD상에 그려진 도면에서 평금형 압출용 금형의 와이어컷 방정기 가공용 NC코드를 생성한다. 둘째로 평금형 압출용

금형의 방전용전극의 와이어컷 방전기를 위한 NC 코드를 생성한다. 셋째로 방전용전극 높이차를 가공하는 NC코드를 생성하도록 하였다. 그리고, 마지막으로 NC코드를 확인하는 시뮬레이션 과정을 거치도록 하였다.

### 3. 결과 및 토론

본 연구에서 개발한 프로그램의 효율성을 검증하기 위해 창문레일 형제에 대해 압출공정과 금형의 설계해 보았다.

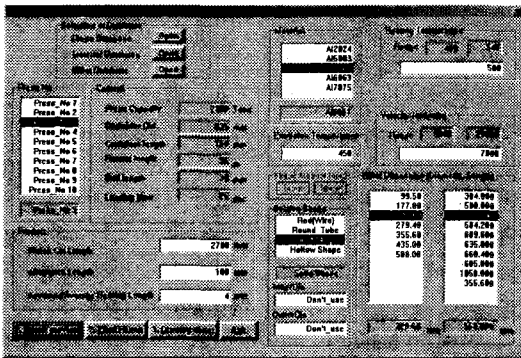


Fig. 3 Input of data (rail shape)

Fig. 3은 창문레일 형제(Rail shape)에 대하여 프레스 고유번호, 소재를 입력하고, 알루미늄 6061계열을 선택하면 데이터베이스에서 불러온 컨테이너의 가열온도, 압출온도, 압출속도의 추천값을 참고로 보여준다. 이를 참조하여 각각 500℃, 450℃, 7000 mm/min을 입력시키는 과정을 보여준다. 또한, 제품길이(Finish cut length)를 2700mm, 여유량(Allowance length)을 100mm, 금형랜드부 길이를 4mm로 입력한다. 여기에서 금형랜드의 길이를 가정한 이유는 이 값을 기준으로 개략적인 압출하중을 계산하기 위해서이다. 단면형상의 입력은 「Selection Shape」에서 「Solid Shape」을 선택하면, DXF파일을 선택할 수 있는 창이 뜨고 해당파일을 입력할 수 있다. 그리고 빌렛의 규격을 선정해야하는데, 빌렛직경을 선정하면, 같은 직경이면서 길이가 다른 빌렛 규격을 보여준다. 여기서는 빌렛직경을 228.6mm로 선정하였다.

이렇게 하여 압출조건과 단면형상 및 빌렛치수가 정해지면 Fig. 4와 같이 단면적 (Section area), 원주길이 (Perimeter), 형상계수 (Shape factor), 단중 (Weight/Length), 압출난이도 (Difficulty factor), 최대 외접원 직경 (Circumscribing dia) 등의 여러 정보를 화면상에 보여준다. Fig. 5와 Fig. 6은 공정선정과 금형선정 과정을 나타내는데 숙련된 사용자는 직접 선택할 수 있으나, 미숙련자가 공정과 금형을 선택할 경우 'Don't Know'를 선택하면 몇 가지 질문에 답함으로써 적절한 공정과 금형을 추천해준다.

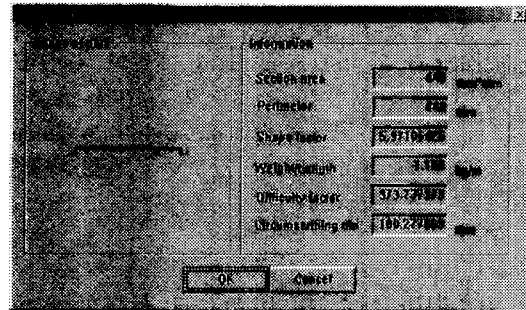


Fig. 4 Information of section shape (rail shape)

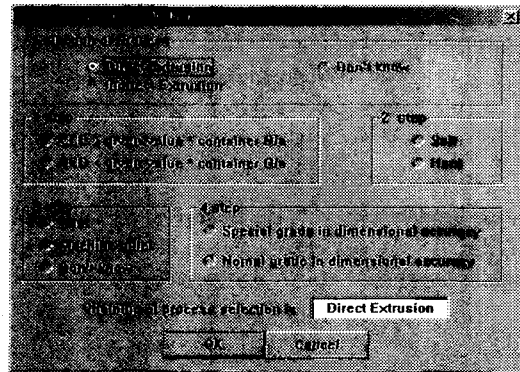


Fig. 5 Changing of process selection (rail shape)

Fig. 7은 입력된 데이터에 의해 최적의 압출구멍수를 선택하기 위해서 경험식과 상계해법에 의해 압출하중을 계산하고, 재료의 생산율과 생산성을 서로 비교하여 사용자가 최적의 빌렛길이와 압출구멍수를 선택할 수 있도록 도표로 보여주는 과정이다. 본 예제의 경우 압출하중은 상계해법에 의해 2659.9ton, 경험식에 의해 4990.2ton이며, 압출비



수정 및 보안을 용이하게 하였다.

다음은 NC코드 생성과정으로 Fig. 10과 같이 금형가공용 CAM system을 개발하였다. CAM system에는 단면형상의 기준선 정의, 공구의 시작점 위치, 좌표계, 절삭방향, 공구접근 형태, 공구의 작업표면, 단위계, 컨트롤러 종류 등을 설정하게 된다.

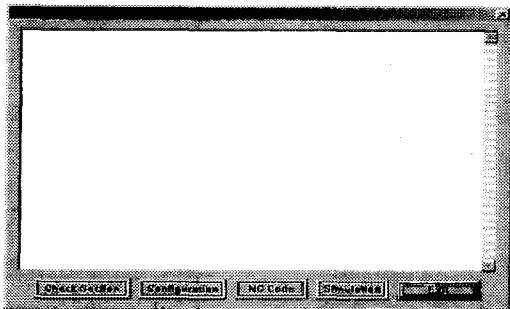


Fig. 10 CAM system menu

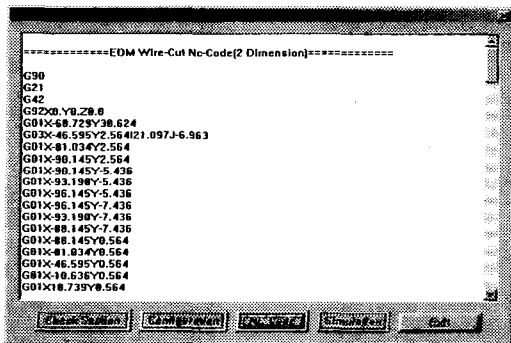


Fig. 11 NC-code (rail shape)

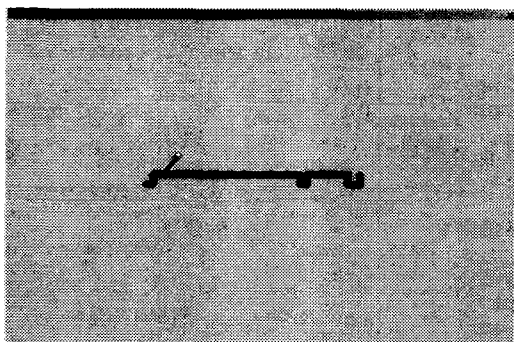


Fig. 12 Simulation of NC machining (rail shape)

Fig. 11은 지금까지 설정한 내용을 가지고 NC코드를 생성하여 파일로 만들고 이를 화면에 보여준다. Fig. 12는 생성된 NC코드에 의해 가공 시뮬레이션 하는 과정을 보여준다. Fig. 13은 금형랜드부 길이가 포함된 최종도면이 AutoCAD화면으로 변환되어 그려진 화면을 보여 준다. 설계자는 AutoCAD 화면상에서 필요할 경우 도면 보완작업을 수행할 수 있다. 가장 중요한 설계결과인 금형랜드부 길이만 출력하도록 되어있는데, 향후 압출기 위치에 관계되는 중요 치수들도 출력될 수 있도록 보완하고자 한다. Fig. 14는 AutoCAD 화면을 확대하여 보여 준 그림이다.

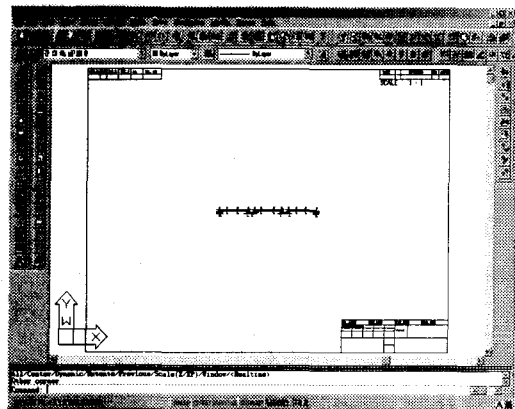


Fig. 13 Final drawing including die land length on AutoCAD graphic (rail shape)

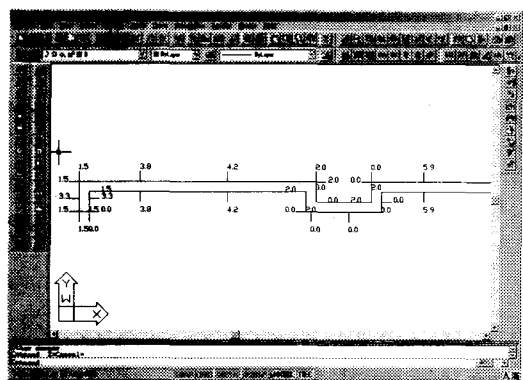


Fig. 14 Zoomed on AutoCAD graphic drawing (rail shape)



Fig. 18은 자동에 의한 방법으로 금형랜드부 길이를 적용했으며, Fig. 19는 금형의 측면도와 함께 나타낸 도면이다. 단면 꼭짓점의 금형랜드부 길이는 수동으로 입력하였다. Fig. 20은 지금까지 설정한 내용을 가지고 NC코드를 생성하고 화면에 시뮬레이션 하는 과정을 보여준다.

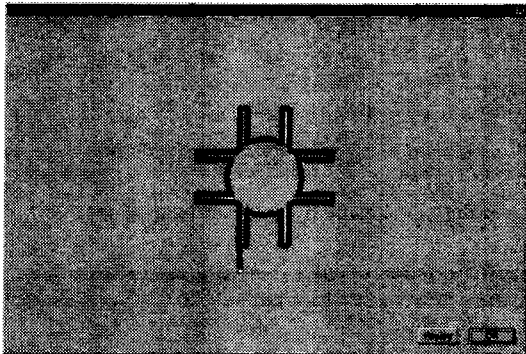


Fig. 20 Simulation of NC machining (star shape)

다음은 라운딩이 있는 n형상형재(Fig.22)의 다공압출(multi-hole extrusion)에 대한 예제이다. Fig. 21은 소재를 Al2024로 선택하고 빌렛의 가열온도, 압출온도 및 압출속도를 추천 값을 참고로 하여 각각 400℃, 500℃, 7000 mm/min으로 입력하였다. 제품 길이는 2700mm, 여유량은 100mm, 금형랜드부 길이는 10mm로 입력하여 얻은 계산 결과이다. 압출구 4개를 선택하였을 때 압출하중은 상계해법에 의해 1266.7ton, 경험식에 의해 1163.7ton이며, 압출비는 13.9이고 생산률은 71% 생산성은 1012 Kg으로 계산되었다.

구멍 수	외경 (mm)	내경 (mm)	길이 (mm)	압출 온도 (℃)	압출 속도 (mm/min)	압출 하중 (ton)	압출 비	생산률 (%)	생산성 (Kg)
1	1195.0	1191.0	55.5	1A	15100	17.0	45.7	42.8	417.5
2	1244.0	1214.7	27.7	7	7100	17.2	46.0	42.8	209.3
3	1242.2	1197.4	18.5	3	4100	14.3	74.9	71.0	847.9
4	1244.7	1143.7	12.9	2	2100	15.0	73.2	71.0	1812.1
5	1245.0	1129.3	11.3	2	2100	12.7	100.1	59.1	1811.6
6	1257.1	1116.4	9.2	2	2100	15.2	74.0	71.0	1218.9
7	1251.0	1072.9	7.9	2	2100	17.8	55.9	62.0	1016.2
8	1242.0	1052.9	6.0	1	1100	18.4	121.7	47.2	1816.7

Fig. 21 Result of analysis (n shape)

Fig. 22는 자동에 의한 방법으로 금형랜드부 길이가 계산된 결과이다.

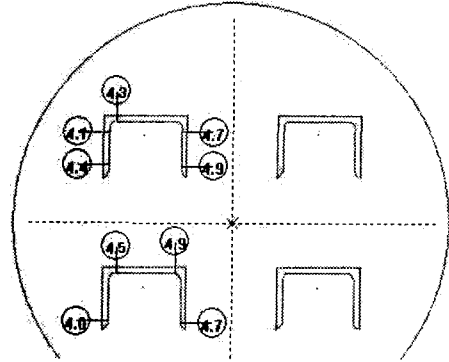


Fig. 22 Die-land length by automatic method (n shape)

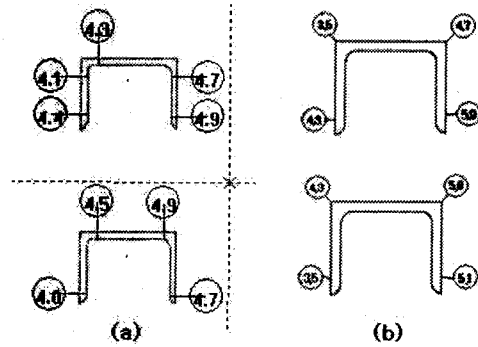


Fig. 23 Comparison of design results by (a) this study and (b) industry expert

Fig. 23은 n형상 형재의 다공압출에 대한 본 연구의 설계결과와 현장 전문가의 설계결과를 비교한 것으로 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 알루미늄 합금 형재의 열간압출 공정 및 금형을 손쉽게 설계할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 예제에 적용해 본 결과 설계시간을 많이 단축할 수 있었을 뿐만 아니라 더 정확한 금형도면을 생성할 수 있었다.



압출구멍의 배치는 단면 형상의 도심과 금형의 도심을 일치시키거나, 외접원 중심과 금형의 도심을 일치시켜 자동 배치토록 하였고, 특수한 경우에는 그림수정기(Graphic editor)를 이용하여 배치를 수정 가능하도록 하여 설계 작업이 더욱 용이하도록 하였다.

본 연구에서 개발된 프로그램의 주요내용과 연구내용은 다음과 같다.

1) 현장에서 사용되는 프레스, 소재 빌렛, 도면의 데이터와 금형랜드부 길이 등에 관한 데이터를 관리하는 데이터베이스 프로그램을 개발하였다.

2) AutoCAD와 본 시스템간의 연결프로그램(Interface program)를 구축하여 문자(Text)파일을 DXF파일로 또는 DXF파일을 문자(Text)파일로 직접 변환할 수 있도록 하여 효율성을 높였다.

3) 금형랜드부 길이를 설계하는 프로그램과 자동도면을 생성하는 프로그램을 개발하였고, 금형의 도면출력에서 재료의 수축률을 감안한 치수가 나타나도록 하였다.

4) 가공조건과 가공 명령을 주면 금형을 가공할 수 있는 NC코드를 자동 생성하고, 가공조건을 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다.

## 후 기

본 논문은 창원대(공모과제)와 과학기술부-한국 과학재단 지정 창원대학교 공작기계연구센터의 연구비 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

1. B. Avitzur, Metal Forming : Processes and Analysis, R.E.Krieger Pub. Co., 1979.
2. V. Nagpal, C. F. Billhardt, R. Gagne and T. Altan, "Automated design of extrusion dies by computer," Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Atlanta, pp. 15-17, 1977.
3. C. F. Billhardt, V. Nagpal and T. Altan, "A computer graphics system for CAD/CAM of aluminum extrusion dies," SME Paper MS 78-957, May 1978.
4. C. Purnell and D. Males, "Extrusion die design by computer," Light Metal Age, pp. 12, 1980.
5. 최재찬, 김병민 외 5인, "알루미늄합금 형재의 열간 압출 금형설계 자동화에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제7권, 제3호, pp. 26, 1990.
6. Jean-Pierre Hardouin, "Bearing Length Calculation By Control of Metal Flow Pressure," 5th International Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 1, pp. 291-303, 1992.
7. Nick Miles, Guy Evans, and Alan Middleditch, "Automatic Bearing Length Assignment Using the Medial Axis Transform," 6th International Aluminum Extrusion Technology Seminar, Vol. 2, pp. 59-65, 1996.
8. 김창우, 이춘만, "평금형 랜드부 설계자동화에 관한 연구," 한국소성가공학회지, 제9권 1호, pp. 1, 2000.
9. 이춘만, 이승훈, 양동열, "평금형을 통한 열간압출의 공정 및 금형설계용 전문가 시스템 개발에 관한 연구," 한국소성가공학회지, 제4권, 제4호, pp. 322-334, 1995.
10. 김동권, 조종래, 배원병, "중공 원형 소재로부터 다각형 튜브 제품의 평금형 전방 압출에 대한 최종단계의 상계해석," 한국정밀공학회지, 제12권, 제11호, pp. 91, 1995.