

-이 논문은 1988년도 문교부 지원
학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음-

축대칭 다단 냉간단조 금형설계에 관한 연구

최 재찬, ** 김 성원, * 조 해용, * 김 형섭*

A Study on the Computer aided Design of Multi- Stage Cold Forging Die for Rotationally Symmetric Parts.

Jae-Chan Choi, ** Seong-Weon Kim, * Hea-Yong Cho, * Hyung-Sub Kim*

-Abstract-

This paper describes some research of Computer-aided Design of multi-stage cold forging die of rotationally symmetric parts produced by the press or former. An approach to the system is based on knowledge based system.

Knowledges for tool design are extracted from the plasticity theory, handbooks, relevant references and empirical know-how of experts in cold forging companies. The developed system is composed of three main modules such as die design module, punch design module, tool elements design module which are used independently or in all. Using this system, design parameters (types of dies, geometric shapes and dimensions of dies, types of punches, geometric shapes and dimensions of punches, geometric shapes and dimensions of tool elements) in each operation are determined and the output is generated in graphic form.

The developed system, aids designer, provides powerful capability for designing dies, punches and tool elements.

* 부산대학교 대학원

**정회원 부산대학교 기계설계과

1. 서론

냉간단조에 사용되는 금형은 다이, 펀치 및 주변부품으로 구성되며, 주로 금속재료를 소재로하여 만든 형을 말하며, 주요용도에는 수송형기계, 전기전자 제품, 사무용기계, 광학기계, 일반산업기계 및 건축자재를 비롯하여 잡화에 이르기까지 다양하다.

냉간단조는 재결정온도 이하에서 칩을 발생하지 않고 금속의 모양을 유용한 형상으로 변형시키는 가공법으로써 냉간단조에 사용되는 금형은 다른 프레스 가공에서 볼 수 없는 대단히 큰 응력하의 가혹한 작업 조건에서 사용되므로 형파손이 많으며 따라서 금형수명의 저하는 금형의 가격을 상승시켜 제품가격의 상승의 원인이 된다. 그러므로 금형의 파손대책을 고려한 신뢰성이 높은 금형설계가 기술적 경제적 성공을 위해 아주 중요하지만 지금까지는 주로 시행착오 등에 의한 숙련기술자들의 경험에 의존해 왔다.

따라서 경험이 많은 숙련기술자들에게 의존해온 금형설계를 경험이 적은 기술자들도 능숙하게 설계를 행할 수 있도록하는 시스템을 개발하려는 연구가 여러분야에서 활발하게 진행되고 있는 추세이다.

금형설계 시스템의 자동화에 관한 연구는 1970년대 초반부터 미국, 일본을 중심으로 활발히 진행되어 왔다. M. Tizza¹⁾는 다이프드로잉에 관하여 자동공정설계 및 금형설계를 가능케하는 프로그램을 개발하였으며, R. X. Yu Zhang²⁾ 등은 마이크로컴퓨터에서 블랭킹다이의 CAD시스템을 개발하였다. 또한 高橋政一³⁾ 및 鈴木秀志⁴⁾ 등은 자동차 전장품의 부품에 대한 냉간단조공정설계 및 금형설계시스템을 개발하였다.

최근에는 지식베이스와 인공지능에 기초한 자동공정계획 및 금형설계시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이 방법은 공정 및 금형설계의 자동화에 아주 적합한 것으로 알려져 있다. Eshel⁵⁾은 축대칭 다이프드로잉에 관한 AGFPO시스템을 개발하였으며, 냉간단조용 전문가 시스템으로는 Altan⁶⁾, 平井恒夫 및 片山傳生⁷⁾의 시스템이 있다.

본 연구에서는 축대칭 다단계제품에 대하여 금형설계자의 설계과정을 분석하여 금형설계의 자동창출을 위한 방법과 설계과정을 정식화하였으며, 경험이 없는 설계자라도 숙련자와 같이 금형설계를 할 수 있는 전

문가시스템의 개발이며, 주요대상으로는 다이, 펀치 및 주변부품을 대상으로 하여 기 연구^{8), 9)}를 축대칭 다단계제품용 금형으로 확장하고 새로운 부분을 추가하였다. 본 연구의 전편¹⁰⁾에서는 공정설계를 다루었고 본 논문에서는 금형설계를 다루었다.

2. 금형설계 지식베이스

냉간단조는 성형에 있어서 높은 압력 및 높은 하중이 요구되며, 이를 대처하기 위해서는 성형에 필요한 금형의 강도의 결정 및 계산 등은 고도의 경험과 기술을 요한다. 본 금형설계 시스템에서는 먼저 성형공정에 따라 금형을 기본구조로 나누고 각 기본구조에 따라 펀치, 다이 및 주변부품을 기술지식과 경험지식을 통하여 설계하였으며, 특히 주변부품에 대해서는 각 성형작업에 공통으로 사용할 수 있도록 부품을 되도록이면 표준화¹¹⁾하였다.

그리고 금형설계의 지식베이스는 소성역학 이론, 각종 핸드북^{12), 13), 14)} 및 관련서적, 생산현장 전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반성이 있고, 모순이 없는 사항에 대하여 설계규칙으로 구축하였다.

2. 1다이에 대한 규칙¹⁶⁾

규칙1. 다이의 구조는 두꺼운 원통으로 취급할 수 있는 다이인서트와 보강링 등으로 구성되며 설계할 수 있는 링의 최대갯수는 4개이다.

규칙2. 성형에 사용하는 프레스를 결정하면 다이의 총외경은 결정된다.

규칙3. 다이인서트와 보강링의 항복조건은 Tresca 항복조건을 사용한다.^{17), 18)}

규칙4. 다이인서트와 보강링의 설계는 최대허용내압이 발생하도록 직경을 분할하고, 최대허용내압이 작용할 때에는 다이인서트와 보강링이 동시에 항복하도록 끼워맞춤공차를 준다.^{16), 17), 18)}

규칙5. 다이인서트와 보강링이 동일한 공구강이면 압축응력이나 인장응력에 대하여 동일한 항복강도를 가지므로 성형 중에 다이인서트에 인장응력의 발생을 허용한다.^{16), 17), 18)}

규칙6. 다이인서트의 재질이 초경합금이면 인장응력에 취약하므로 성형중에 다이인서트에 인장응력의

발생을 허용하지 않는다.^{15) 16) 17) 18)}

규칙7. 다이인서트와 보강링의 조립은 최외각링부터 순차적으로 행한다.^{17) 18)}

규칙8. 다이정각은 되도록이면 펀치하중을 최소화하도록 선정하지만 성형되는 제품의 형상에 따른다.

규칙9. 다이인서트와 보강링의 조립방법에는 열박음, 억지끼워박음 및 이두가지의 조합된 방법등이 있다.

규칙10. 링의 조립방법이 열박음이면 가열온도는 뜨임온도 이하라야한다.¹⁶⁾

2. 2 전방압출다이에 관한 규칙

규칙11. 비구속 전방압출다이는 소재의 단면의 항복응력 이하의 하중으로 성형되므로 다이내장부를 만들 필요가 없고 분할할 필요가 없다.

규칙12. 구속 전방압출다이는 피가공물의 주대수 변형률(ϕ_m)에 따라 비분할다이, 수평분할다이, 수직분할다이 등으로 분류되며, $\phi_m < 0.8$ 이면 비분할다이를 사용하고, $\phi_m < 1.0$ 이면 수평분할다이를 사용하며, $0.8 < \phi_m < 1.0$ 사이이고, 다이정각 2α 가 90° 보다 크면 수직분할다이를 사용한다.¹⁹⁾

규칙13. 다이렌드의 길이는 피가공물의 재질에 관계없이 $2-4mm$ 이다.^{16) 19) 20)}

2. 3 후방압출다이에 관한 규칙

규칙14. 이젝터가 없으면 낮은 유동응력을 갖는 비철금속의 제품의 성형에 사용한다.

규칙15. 이젝터가 있는 후방압출 다이는 수평분할다이와 수직분할다리로 분류되며 다이내압이 $1600N/mm^2$ 이상이면 수평분할다이를 사용한다.¹⁶⁾

규칙16. 외부형상이 단이진 제품이면 단달립 다이를 사용하고 단이 없는 제품이면 스트레이트 다이를 사용한다.¹³⁾

2. 4 펀치에 관한 규칙^{16) 19) 20)}

규칙17. 중공압출펀치에서 멘드럴의 길이 대 직경 비가 1.5보다 작으면 중공압출일체형펀치를 사용한다.

규칙18. 중공압출펀치에서 일체펀치와 멘드럴 사

이의 천이부분의 반경은 가능한한 커야 한다.

규칙19. 후방압출펀치에서 스트리퍼부쉬가 필요없으면 단형의 후방압출펀치를 사용한다.

규칙20. 후방압출펀치에서 스트리퍼부쉬가 필요하면 장형의 후방압출펀치를 사용한다.

규칙21. 후방압출펀치는 고정방법이나 탈피도구의 사용을 고려하여 가능한 짧아야하며, 효과적인 펀치의 길이는 좌굴을 고려하여 직경의 3배를 초과하지 않아야 한다.¹⁶⁾

규칙22. 후방압출펀치는 응력집중을 피하기 위하여 단면변화부에 작은 원주각과 큰 천이반경을 가져야 한다.

규칙23. 후방압출펀치에서 노우즈의 형상은 일반적인 가공이면 표준데이터가 권장되나 깊은압입(펀치 직경의 3배이상)이면 평평형상쪽을 사용한다.

규칙24. 후방압출펀치에서 성형렌드의 길이는 표준데이터의 값($h = (0.3-0.7)\sqrt{d}$)을 사용한다.¹⁶⁾

규칙25. 후방압출펀치에서 성형렌드부를 제외한 부분은 가공중에 제품과 접촉하지 않게끔 릴리프의 여유량($0.1-0.2mm$)을 붙인다.¹⁶⁾

2. 4 설계계수의 계산에 관한 규칙^{16) 17) 18) 19)}

다이 및 펀치의 설계를 위하여 필요한 계산들은 좌굴압력, 분할직경, 최대허용내압, 공차, 압입력, 압입온도 등인데 좌굴압력의 계산은 오일러의 식을 이용하였으며, 다이에 관한 계산들은 규칙1에 의하여 전 길이에 일정한 압력을 받는 두꺼운 원통으로 고려하였으며 Lamé의 방정식으로부터 시작된다.

이 경우에 규칙5와 규칙6에 의하여 다이인서트의 재질에 따라 계산식이 다르며, 각 경우에 대하여 규칙3을 적용하여 계산하였으며 계산된 결과는 설계규칙으로 구축되었다.

3. 프로그램의 구성

개발된 금형설계시스템은 통합시스템이나 독립시스템으로 수행되는 여러개의 모듈로써 구성되었으며, 각각의 모듈은 주 프로그램에서 선택된다. 모듈은 크

게 다이설계모듈, 펀치설계모듈, 주변부품설계모듈 등 3개의 모듈로서 구성되어 있으며, 가공방식에 따라서 전방압출, 후방압출, 업세팅 등으로 나누며 개괄적인 블록다이아그램은 Fig. 1과 같다.

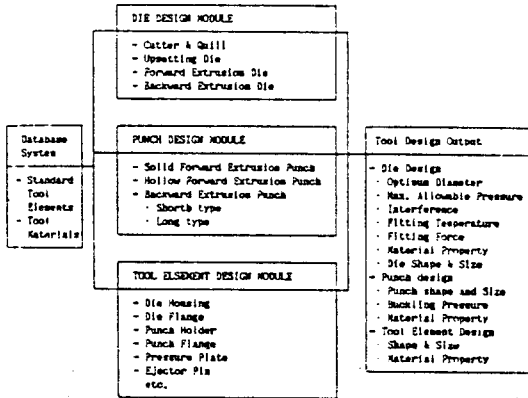


Fig.1 Block Diagram of CAD system for Tool Design

3.1 다이설계모듈

다이설계모듈은 Fig. 1에서 보는바와 같이 4개의 부모모듈로 이루어져 있으며, 각각의 부모모듈은 다시 1) 입력사항 2) 공구재질의 선정 3) 설계변수의 계산 4) 도면화 및 설계변수의 출력 5) 압력분포 등의 부작용으로 이루어져 있다.

입력사항으로는 작업형태, 다이의 기하학적 형상 및 치수, 다이와 소재사이의 마찰계수, 생산갯수, 압입방법 및 공정설계에서 구해진 다이내압 등이 입력된다.

다이의 기하학적 형상은 작업형태가 결정되면 자동적으로 결정된다. 다음은 다이의 재질이 입력된다. 생산갯수에 따라, 혹은 재질의 기계적성질에 따라서 프로그램에 기본적으로 내장된 다이의 기계적성질이 데이터베이스로 저장되어 화면에 나타나며 대화식으로 재질이 선정된다. 다이의 재질이 데이터베이스에 없는 경우에는 사용자가 직접 대화식으로 입력할 수 있다.

다음은 주어진 입력사항을 기초로하여 설계변수등을 계산한다. 계산되는 설계변수는 최적분할직경, 최

대허용내압, 한계내압, 공차, 압입력 및 압입온도 등이며 또한 규칙 12 및 규칙 15에 의하여 주대수 변형률과 다이 내압에 따라 다이의 분할방식 등이 결정된다. 도면화 및 설계변수등을 출력하는 부작용에서는 요구되는 설계에 맞게 형상 및 치수의 도면화를 행하며 또한 실제제작에 필요한 설계변수등을 출력한다. 여기서 다이내압과 최대허용내압의 크기를 비교하여 다이내압이 최대허용내압보다 크면 다이의 파손이 예상되므로 다음의 3가지 방법으로 다시 금형설계를 행한다. 첫번째 방법은 다이세트의 총 외경을 늘리는 방법이다. 그러나 대부분 규칙 2에 의하여 다이세트의 총 외경이 프레스의 제원에 따라 결정되어지므로 주의를 요한다.

다이세트의 총 외경이 같을지라도 보강링의 갯수에 따라 다이세트의 최대허용내압이 더 커지지만 이 방법은 다이를 가공할 때 더 많은 비용과 시간이 걸린다. 세번째 방법은 강도가 더 높은 다이의 재질을 선정하는 방법이다. 압력분포를 나타내는 부작용에서는 다이세트에 미치는 응력분포를 직경에 따라 그래프와 수치로 나타나며 이 응력분포에 기초하여 다이내압이 다이에 미치는 영향을 알 수 있다.

3.2 펀치설계모듈

펀치설계모듈은 Fig. 1과 같이 3개의 부모모듈로 이루어져 있으며, 각각의 부모모듈은 1) 입력사항 2) 공구재질의 선정 3) 펀치의 설계변수 계산 4) 도면화 및 설계변수의 출력 등의 부작용으로 이루어져 있다.

작업형태와 생산제품의 형상에 따라 펀치의 직경을 입력하고 공정설계에서 구해진 펀치내압에 따라 펀치의 재질을 입력한다. 그러면 부작용3에서는 입력된 펀치의 직경을 기준하여 펀치의 형상 및 치수 등이 데이터베이스를 통하여 설계되며 펀치의 직경과 길이에 따라 그리고 펀치재질의 기계적 성질에 따라 좌굴압력이 계산된다. 계산된 좌굴압력이 펀치압력보다 크면 펀치의 파손이 예상되므로 설계된 펀치는 좌굴이 발생하지 않도록 다시 설계되어진다. 부작용4에서는 펀치의 형상 및 치수의 도면화를 행하고 실제 제작에 필요한 설계변수 등을 출력하여 작업지시서로 사용한다.

3. 3 주변부품설계노출

주변부품설계모들은 다이와 펀치를 제외한 프레스나 단단포마를 구성하고 있는 부품들의 설계를 행한다. 각 부품은 모듈별로 주프로그램에서 선택되어지며 다이의 총 외경에 따라, 그리고 다이의 높이에 따라 형상 및 치수 등이 결정되며 그밖의 치수와 형상은 유닛화되어 데이터베이스를 통하여 결정된다. 각각의 부모들은 다시 3개의 부작업으로 이루어져 있으며 출력된 도면은 작업지시서로 사용된다.

4. 프로그램의 적용

개발된 시스템의 능력을 설명하기 위하여 단단제품의 성형공정 해석을 토대로 하여 금형설계를 예로 들었다. Fig. 2는 실제로 Y단조회사에서 사용되고 있는 현장의 다이 도면이다.

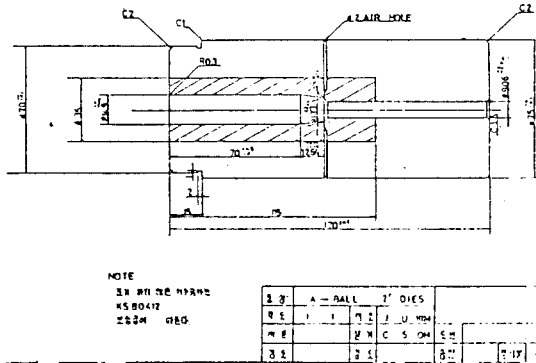


Fig. 2 Die Drawing Using in the Y Metal Company

이 도면은 보울트를 만들기 위하여 설계된 다이를 제작하기 위한 도면인데, 한개의 보강링을 사용하고 있으며 다이세트의 총 외경은 70mm 이고 분할직경은 35mm이며, 공차는 0.134mm이다. 또한 다이는 수평분할다이를 사용하고 있다.

Fig. 3은 이 프로그램을 사용하여 대화식으로 입력사항을 적용했을 때의 출력결과이다. 출력결과에서도 알 수 있는 바와같이 실제의 현장의 도면과 비교해 보면 거의 일치함을 알 수 있다.

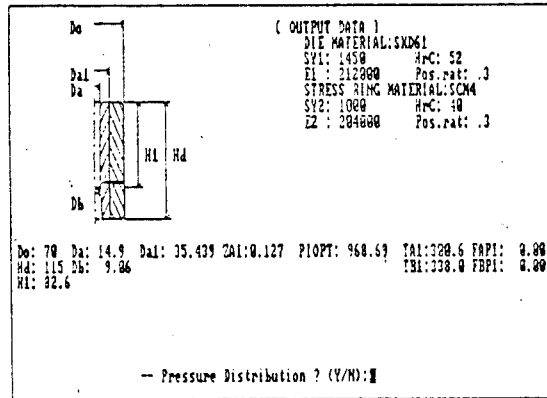


Fig. 3 Output Data for Sample Product(1)

Fig. 4는 단이진 후방압출제품의 다이설계의 일례를 보인다. 이 예는 외부형상의 단이 3개인 경우이다.

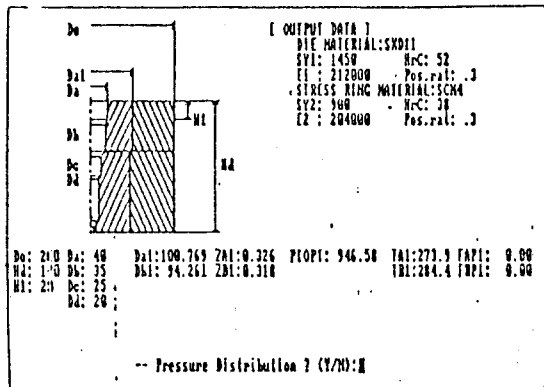
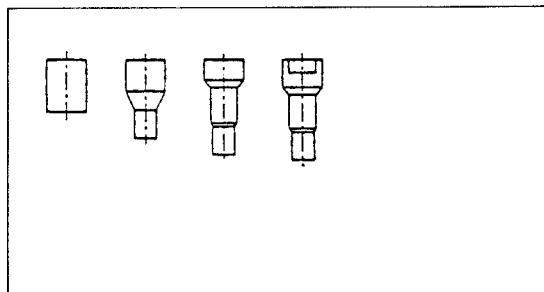


Fig. 4 Output Data for Sample Product(2)



(a)

** WORKPIECE SPECIFICATION **

PROCESS #1 BILLET		FORCE = 29.58
DIAMETER = 30.00 HEIGHT = 42.20		
PROCESS #2 EXTRUSION (Trap)		STRAIN = 1.14 Pp = 1316.00 Pd = 1130.10 FORCE = 93.03
DIAMETER = 30.00 17.00 HEIGHT = 27.59 13.00 20.00		
PROCESS #3 EXTRUSION (Trap)		STRAIN = 0.81 Pp = 964.40 Pd = 778.40 FORCE = 68.17
DIAMETER = 30.00 20.00 17.00 HEIGHT = 15.56 5.00 23.00 3.00 20.00		
PROCESS #4 BACKWARD EXTRUSION		STRAIN = 0.59 Pp = 1064.60 Pd = 473.20 FORCE = 33.45
DIAMETER = 30.00 20.00 17.00 HEIGHT = 20.00 5.00 23.00 3.00 20.00 HOLE DIA. = 20.00 HOLE HEI. = 10.00		

(b)

Fig. 5 Computer Output for Sample Product (3)

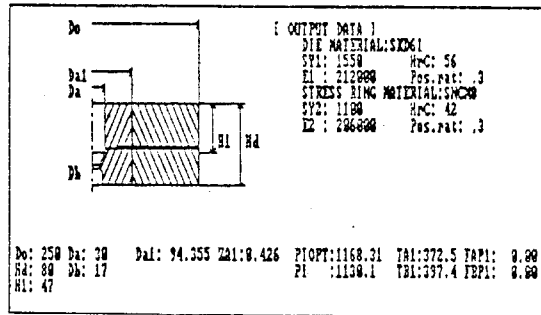
Fig. 5는 상부에 구멍이 있는 중실제품에 대하여 공정설계 프로그램의 입력사항에 대한 출력결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)는 주어진 소재직경에 의한 최종제품을 생산하기 위한 순서를 나타내며, Fig. 5(b)는 중간공정의 상세치수와 성형변수에 따른 공정변수의 계산결과로써 각 작업의 편치압력, 성형하중, 다이내압 등을 나타내며 이 결과는 금형설계의 기초가 된다.

이 제품을 생산하기 위한 2번째 공정의 다이설계의 적용예인 Fig. 6은 다이인서트의 재질이 공구강인 경우의 구속 전방압출다이의 설계에 대한 입력사항이며 Fig. 7은 출력결과이다.

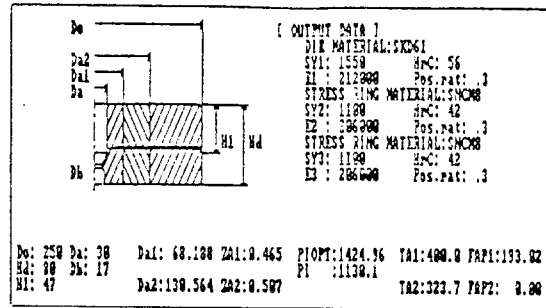
[INPUT DATA]		
0. TOOL STEEL (1) TUNGSTEN CARBIDE (2)	= 1	
* FORWARD OR BACKWARD EXT. (F OR B)	= F	
1. STAGES NUMBER (0 - 4)	= 1	
2. STRESS RING NUMBER (1 - 3)	= 1	
3. FITTING IN HEAT (P-PRESS)	= H	
4. FRICTION COEF. (DIE-STRESS RING)	= .13	
5. FITTING TAPER	= 0	
6. FITTING LENGTH (OHD)	= 45	
7. FITTING LENGTH (TAD)	= 35	
8. Pa (INNER PRESSURE :1 STAGE)	= 1130.1	

Fig. 6 Input Data for Process #2 (Tool Steel)

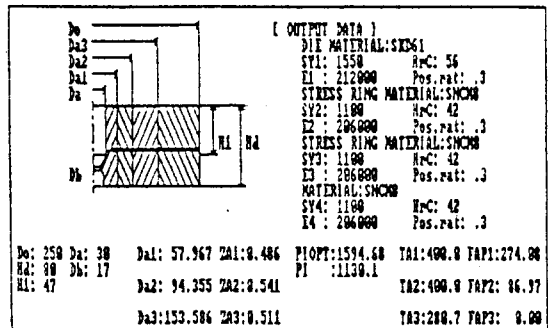
Fig. 7(a), (b), (c)는 보강링의 갯수를 증가시키면서 프로그램을 적용한 결과를 나타내며, Fig. 8은 다이에 대하여 직경에 따른 압력분포를 나타낸다. 이 적용예에서 알 수 있듯이 다이의 총 외경이 일정할 때 보강링의 갯수가 증가함에 따라 최대 허용 내압도 커지는 것을 알 수 있다. 또한 다이의 분할은 주대수변형률에 따라 결정되는데 이 다이는 수평분할다이를 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Output Data for Process #2 (Tool steel)

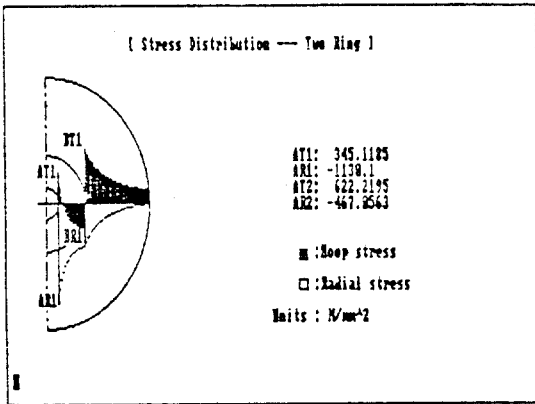
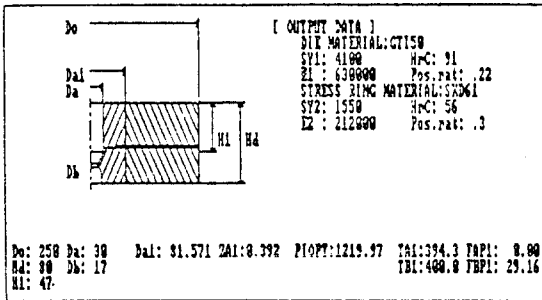
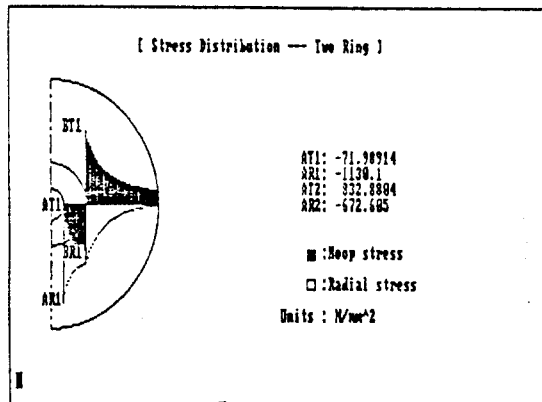


Fig. 8 Pressure Distribution for Process #2(T.S)

Fig. 9는 다이인서트의 재질이 초경합금일 때의 다이설계의 입력사항에 대한 출력결과이다.



(a)



(b)

Fig. 9 Output Data for Process #2(W.C)
(a) Die Design (b) Pressure Distribution

Fig. 9(a)는 다이인서트의 재질이 초경합금이고 보강링의 갯수가 한개일 때의 출력결과를 나타내며, 규칙12에 의하여 수평분할다이이고, Fig. 9(b)는 그에 따른 압력분포를 나타낸다.

다이인서트의 재질이 초경합금인 경우에는 규칙6에 의하여 다이인서트의 재질이 공구강인 경우와는 그 압력분포가 다를 수 있다.

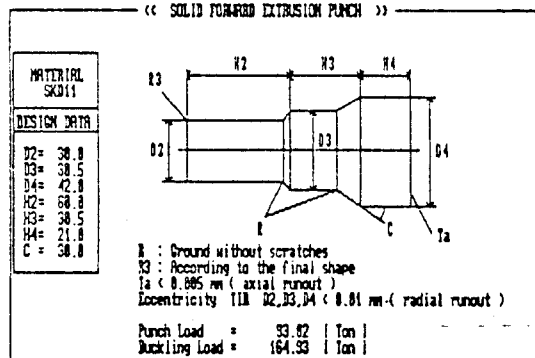
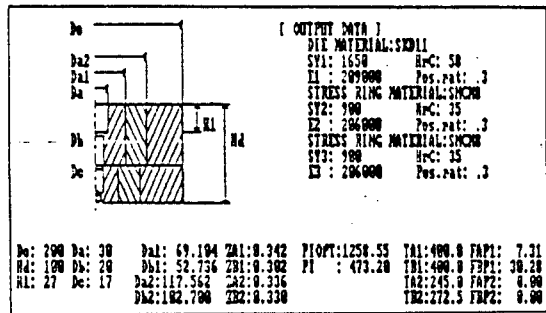
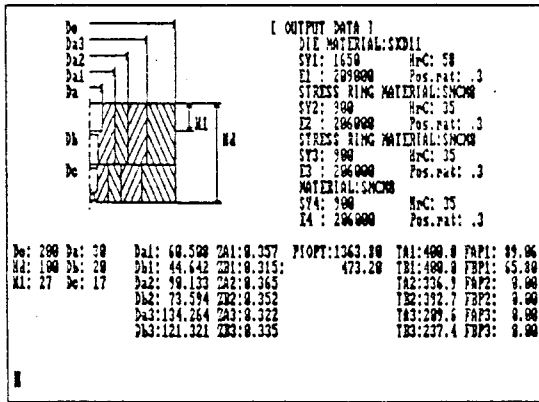


Fig. 10 Punch Design for Process #2

Fig. 10은 위 공정의 금형설계 중에서 펀치설계의 출력결과를 나타낸다. 이 출력결과는 펀치의 기하학적 형상, 펀치압력 및 좌굴압력 등을 나타낸다. Fig. 10의 출력결과는 펀치압력의 좌굴압력보다 작으므로 펀치의 설계는 안전하다. Fig. 11(a), (b)는 위 제품을 성형하기 위하여 마지막 공정인 후방압출공정에 대한 출력결과를 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 11 Die Design for Process #4

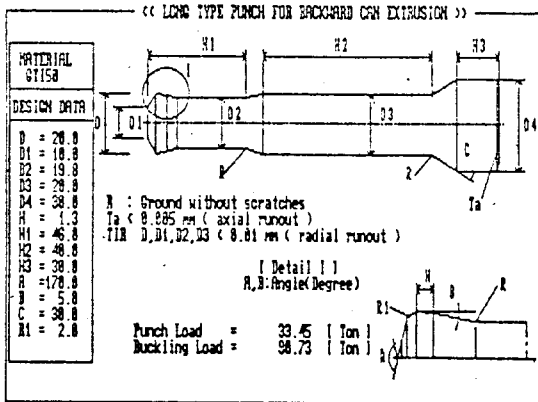


Fig. 12 Punch Design for Process #4

주변부품설계에 대한 적용에는 위 제품의 3번째 공정인 전방압출다이에 대하여 적용하였는데, 그 출력 결과를 Fig. 13-15에 보여준다. 주변부품의 설계는 크게 다이에 관련된 부품과 펀치에 관련된 부품으로 나누었는데 Fig. 13은 프레스조립도를 나타내며, Fig. 14는 다이하우징, Fig. 15는 펀치플랜지의 설계를 나타내는데 표준화를 행하여 다이세트의 총 외경과 길이에 따라 그 형상과 치수가 데이터베이스를 통하여 결정된다.

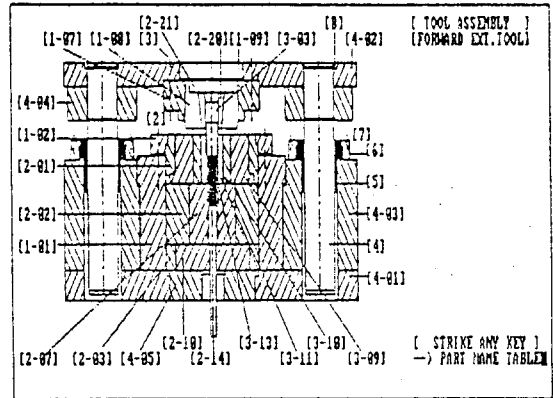


Fig. 13 Tool Assembly for Process #3

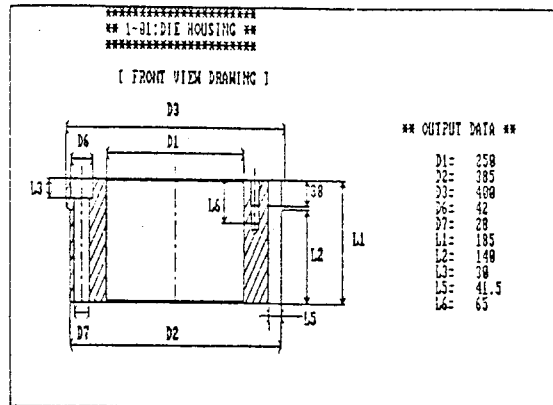


Fig. 14 Output Data for Die Housing

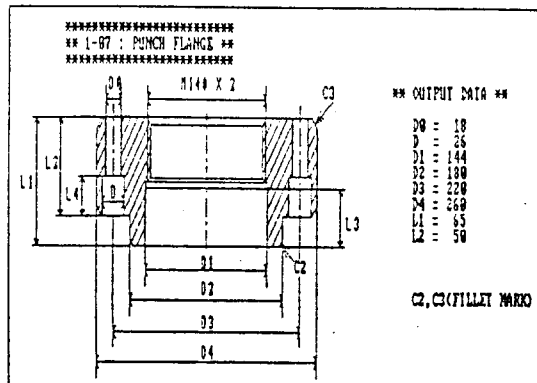


Fig. 15 Output Data for Punch Flange

5. 결론

본 논문에서는 프레스나 다단포마로 가공하는 축대칭 다단제품을 생산하기 위한 자동금형설계 프로그램을 개발하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1) 축대칭형상의 금형설계 자동화에 필요한 지식을 추출하여 규칙형태로 체계화하여 금형설계의 방법을 정식화 하였다.

2) 체계화 된 규칙을 사용하여 축대칭부품을 생산하기 위해 필요한 다이의 기하학적 형상, 분할직경, 최대허용내압, 공차, 압입력 및 압입온도와 펀치의 기하학적 형상, 치수 및 좌굴압력 등이 문서화되어 작업 지시서를 대신할 수 있다. 또한 주변부품의 표준화를 행하였다.

3) 경험이 적은 미숙련자도 숙련자와 같이 금형설계를 할 수 있으며 설계시간이 단축되어 생산성이 높다.

4) 개발된 시스템은 생산현장에서 실제로 적용해본 결과 잘 일치하여 바로 사용할 수 있다.

5) 개발된 시스템은 냉간단조의 총합자동화 생산시스템의 모듈로써 사용할 수 있다.

후기

이 연구는 1988년도 학술진흥재단의 지원으로 수행된 결과의 일부이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. M. Tizza, "A CAD/CAM System for Deep-Drawing Processes", Department of Mechanical Engineering, Technical University of Heavy Industry, Miskolc, Hungary, 1981.
2. Ruan Xue-Yu, Zeng Xian-Zhang, Wang Lu, Li Yu-Jin, "A Blanking Die CAD System on Microcomputer", Shanghai Jiao Tong University, China.
3. 高橋政一, "冷間鍛造型 CAD/CAMシステム - その - 概要", 機械と 工具, Vol. 31-8, pp. 81-87, 1987.
4. 鈴木秀志, "冷間鍛造型 CAD/CAMシステム - その - 適用實例", 機械と 工具, Vol. 31-9, pp. 81-87, 1987.
5. Eshel, G., Barash, M., Hohnson, W., "A Rule-Based System for Automatic Generation of Deep Drawing Process Outline", Computer Aided Intelligent Process Planning, Vol. 19, pp. 1-18, 1985.
6. Taylan Altan, "Design and Manufacture of Dies and Molds", Annals of the C. I. R. P., Vol. 36, The Ohio State University/USA, pp. 455-462, 1987.
7. 平井恒夫, 片山傳生, 赤松憲一, "冷間鍛造型設計へのAIの應用", 人工知能(AI)とその 응용, pp. 67-86, 1988.
8. 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, "퍼스널컴퓨터에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구 (I)", 대한기계학회논문집, 제12권, 제4호, pp. 712-720, 1988.
9. 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, "PC에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구 (II)", 대한기계학회논문집, 제13권, 제1호, pp. 190-198, 1989.
10. 최재찬, 김형섭, 허만조, "축대칭 다단 냉간단조의 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구 (I)", 한국정밀공학회지, 제6권, 제4호, pp. 84-93, 1989.
11. ギンタ ヒケミ, "金型 CAD/CAM", 月刊精密機械設計編輯部, 1987.
12. 山本博一, "壓縮加工金型", PRESS金型選書6, 1971.
13. 丸善, "プレス加工便覧", 日本塑性加工學會, pp. 588-603, 1970.
14. 일간공업신문사, "금형설계편람", 금형편람 편집위원회, pp. 564-570, 1967.

15. I. C. F. G., "General Aspects of Tool Design and Tool Materials for Cold Forging & Warm Forging", No. 4/82.
16. I. C. F. G., "General Recommendations for Design, Manufacture and operational aspect of Cold Extrusion Tools for Steel Components", No. 6/82.
17. Alder, G., Walter, Stuttgart, "Berechnung Voneinfachen und Mehifachen Prespassungen", INDUSTRI-ANZZIGER 89. jg. Nr. 39, Vol. 16, pp. 21-25, 1967.
18. HOWARD H. KUHN, "Optimum Die Design for Power Metallurgy & Power Technology, Vol. 14, pp. 259-275, 1978.
19. Lange, K., "Handbook of Metal Forming", McGrawHill Book Company, 1985.
20. Part Shape Develepment & Tool Design for Multi-Die Cold Forging, National Machinery, Tiffin, Ohio