

## 컴퓨터를 이용한 냉간포머단조 공정설계

임창수\*\*, 서성렬\*, 이민철\*\*\*, 김주현\*, 전만수\*\*\*

### Computer Aided Process Design in Cold-Former Forging

C. S. Im\*\*, S. R. Suh\*, M. C. LEE\*\*\*, J. H. Kim\*, M. S. Joun\*\*\*

#### ABSTRACT

In this paper, a computer aided process design technique, utilizing a forging simulator and a commercial CAD software, is presented together with its related design system for cold-former forging of ball joints. The forging sequence design is carried out through user-computer interaction by using design templates, design database, experience or knowledge-based rules and some basic laws found in the literature. The forging simulation technique is used to verify the process design. The detail designs including die set drawings and die manufacturing information are automatically generated. It has been shown that the engineering and design productivity is much improved by the presented approach in the practical standpoint of process design engineers.

**Key Words :** Cold Former Forging(다단포머단조), Process Sequence Design(공정도 설계), Automatic Computer Simulation(자동컴퓨터 시뮬레이션), Detail Process Design(상세공정설계)

#### 1. 서론

냉간포머단조 기계 또는 자동 다공정 냉간단조 기계가 자동차 부품을 비롯한 기계부품의 대량생산 목적으로 광범위하게 사용되고 있다. 냉간포머단조에서는 봉재로부터 절단된 초기 소재가 전단, 옆세팅, 전방 및 후방압출, 피어싱 등의 공정을 거쳐 최종 모양으로 순차적으로 가공된다. 일반적으로 냉간포머단조는 대량생산 목적으로 사용되므로 공정수가 일반 냉간단조 공정에 비하여 많으며, 동시작업과 자동생산 등의 특징을 지니고 있다. 이러한 특징들은 포머단조 공정설계를 어렵게 만드는 요인이 되

고 있다. 즉, 소성변형의 건전성, 생산비용, 기계한계, 생산 자동화 등을 포함한 다양한 면들이 공정설계 단계에서 종합적으로 고려되어야 한다. 따라서 공정설계를 위한 체계적 접근방법과 설계 보조도구가 절실히 요구되어 왔다.

단조공정 설계는 수많은 설계변수의 창의적 및 경험적 결정 과정을 수반한다. 단조 공정수의 결정은 생산장비, 생산량, 제품의 복잡성 등에 의하여 결정되는데 현재로서는 경험 기술에 의존할 수밖에 없다. 단조 공정수가 결정된 후, 각 공정에 대한 설계변수들의 결정 단계에서도 공정변수간의 밀접한 상호연관관계와 소성유동의 복잡성 등으로 많은 노력, 시간, 비용이 요구된다. 특히, 냉간포

\* (주)센트랄 연구개발부  
 \*\* 연암공업대학 CAD/CAM실  
 \*\*\* 경상대학교 기계공학과, RRC/항공기부품기술연구센터

머단조 공정은 자동화와 대량생산이라는 변수가 추가되므로 공정개발에 투자되는 시간적, 경제적 비용이 매우 크다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 많은 연구자들<sup>14-16)</sup>이 냉간포머단조 공정설계의 자동화에 관하여 연구하였다. 그러나 대부분의 연구결과들이 새로운 공정의 공정설계에 매우 제한적으로 사용되어졌다.

일반적으로 자동설계 시스템은 공정설계 모듈과 설계검증 모듈로 구성되는데, 기존의 연구는 대부분 공정설계 모듈에서 공정도의 자동창성에 관한 연구에 초점이 맞추어졌다. 반면, Ehrismann과 Reiddner<sup>15)</sup>는 시간과 비용을 줄이고 설계 전문가와 시뮬레이터 전문가 사이의 상호이해를 촉진시키기 위하여 설계 및 생산보조 시스템과 시뮬레이션 시스템간의 통합 즉, 통합 시뮬레이션 시스템의 중요성을 강조하였다. Kim<sup>16)</sup> 등은 공정설계 모듈은 공정도의 생성, 체적 일정 유지, 설계 수정, 기본 설계법칙 검증, 상세도면 생성, 금형 가공 정보 추출 등을 포함한 일상적 개발업무에 소요되는 시간과 비용의 최소화를 강조하였으나, 당시의 컴퓨터 등이 단조 시뮬레이터를 설계검증 도구로 사용될 수 있을 정도로 충분히 강력하지 못했기 때문에 설계검증 모듈의 중요성을 과소 평가하였다.

현장의 공정설계 과정과 문제점을 조사해 보면, 완전한 자동설계라는 이상의 실현에 앞서 수 개월 소요되는 개발기간을 단축시킬려는 노력이 우선적으로 선행되어야 할 과제이다. 본 연구에서는 이러한 문제인식을 바탕으로 설계자들의 설계활동을 지원하는 자동설계 시스템에 관한 연구를 실시하였다. 개발된 자동설계 시스템은 공정설계 모듈과 설계검증 모듈로 구성되어 있으며, 적용예제로 크기와 종류가 다양한 볼스타드(ball stud) 냉간포머단조 공정을 선정하였다. 공정 수의 결정은 본 연구의 범위에 속하지 않는다.

## 2. 자동설계 시스템

일반적으로 포머단조기에 의하여 생산되는 단조품은 수 많은 유사한 형상과 치수의 제품군을 형성하고 있다. 베어링 내외륜, 볼스타드, 볼트, 너트 등이 그 대표적인 예이다. 단조 공정개발 업무를 분석해 보면, 기존의 설계 및 생산 자료의 정보화, 경험에 바탕을 둔 공정도 설계, 설계수정에 따른 공학계산, 도면제작 작업, 시험평가 및 설계의 검증 등에 상당한 시간과 노력이 소요됨을 알 수 있다. 특히 포머단조 공정설계에서는 큰 공정 수와 자동화 등으로 인하여 설계업무가 더욱 복잡하므로 설계생산성을 높

이기 위한 설계지원 시스템이 절실히 요구되고 있다.

최근 컴퓨터 하드웨어 기술의 급속한 발전과 더불어 단조 시뮬레이터가 설계검증을 위한 도구로 널리 사용되고 있다. 이 기능이 설계 지원 시스템과 통합된다면 설계검증은 물론이고 공정변수가 제품의 품질과 공정에 미치는 영향을 상세히 조사하는데 이용될 수 있다. 비록 몇몇 접근방법<sup>17-17)</sup>에서 설계검증 및 평가 목적으로 단조 시뮬레이션 기술의 활용을 시도하였으나, 설계기능과 검증기능 간에 완전한 통합이 이루어지지 않았고, 계산 및 사용자 인터페이스에 소요되는 많은 시간으로 인하여 실용성을 갖추는데 다소 미흡하였다고 판단된다.

이러한 고찰을 근거로, 단조 시뮬레이터 AFDEX/2D<sup>18)</sup>를 설계검증 도구로 사용하는 AutoCAD 환경에서 구동되는 축대칭 냉간포머단조 공정설계 지원 시스템인 DASFOR를 개발하였다. DASFOR는 공정설계 모듈과 설계검증 모듈로 구성되어 있으며, 설계·생산 자료의 정보화, 공정도 설계, 공학계산, 상세설계검증, 도면작성, 공정설계검증 등의 설계활동에 수반되는 제반문제들을 종합적으로 지원해 주는 설계지원 시스템이다. Fig. 1은

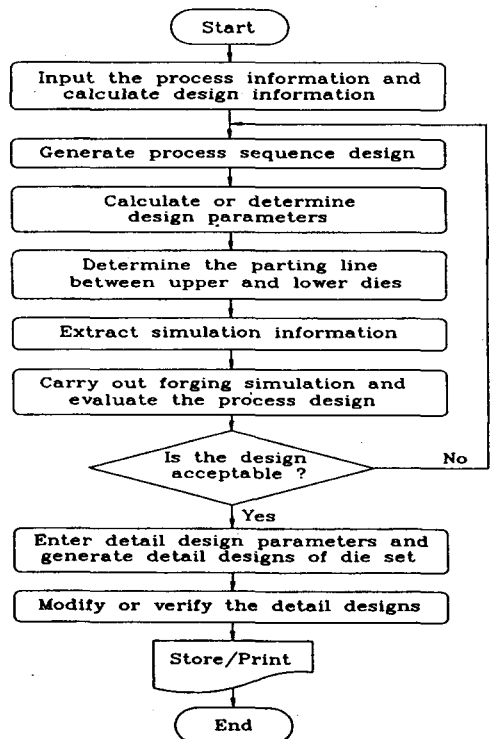


Fig. 1 Conceptual flow chart of the presented approach

DASFOR의 흐름도를 나타내고 있다. 3장과 4장에서 DASFOR의 기본 접근방법을 4단 볼스타드 냉간포머단조 공정설계에 적용하는 과정을 통하여 설명한다.

### 3. 공정설계 모듈

공정설계 모듈은 소재의 선택에서부터 도면 출력까지의 설계작업을 설계자와 컴퓨터간의 대화식 방식에 의하여 이루어지도록 돕는 역할을 수행한다. 공정설계 모듈의 주요 기능은 공정설계 데이터베이스의 구축 및 정보제공, 공정도의 대화식 창성, 각 공정별 데이터베이스의 구축, 공정도로부터의 금형 자동설계, 설계검증용 해석정보의 자동생성, 공정별 조립도 및 부품도의 자동생성, 치수와 공차의 자동기입, 설계의 부분적 수정, 결과의 출력 등으로 분류된다.

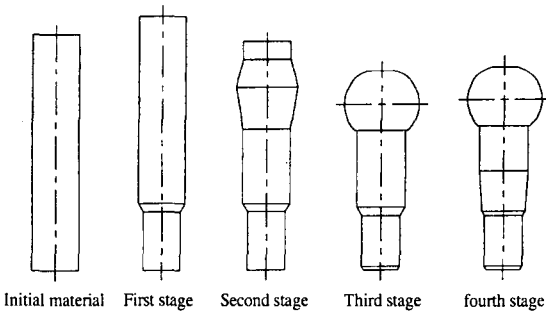


Fig. 2 A process sequence design

공정도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 소재가 각 단조공정을 거치면서 변화되어 가는 과정을 도시한 것을 일컫는다. 공정도의 창성은 매우 창의적이며 직관에 많이 의존할 수밖에 없는 문제이다. 단조공정 설계자의 관점에서 선결되어야 할 과제는 기존의 공정 정보와 경험지식들을 체계적으로 축적하고 이를 과학적으로 활용하는 기술이다. 실제 냉간포머단조의 경우, 서로 다른 치수를 가진 유사한 형상의 제품이 주로 생산되고 있다. 따라서 기존의 경험기술을 체계화한다면 이로부터 설계규칙을 과학적으로 뽑아낼 수 있을 것이다. 본 연구는 이러한 취지에 입각하여 비교적 많은 기술자료의 확보가 가능한 볼스타드 냉간포머단조 공정을 연구 대상으로 선택하였으며, 현장의 각종 설계정보와 문헌상의 정보로부터 단위 공정도를 변수화하여 데이터베이스화하였다. 현재 현장자료와 참고 문헌으로부터 수집된 30 여개의 단위 공정도들이 입력되어 있어, 사용자는 대화식으로 단위공정도를 호출하여 사용할 수 있다. Fig. 3은 단위 공정도의 설계형판(template)을 보여주고 있다. 설계형판은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 몇 개의 설계변수들로 표현된다.

사용자는 공정도를 설계형판으로부터 선택하여 생성시킬 수도 있고, 기존의 성공적인 설계자료를 복사하여 수정함으로써 생성시킬 수도 있다. 단조공정의 설계는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 단조의 역순으로 실시하는 것이 원칙이다. 완제품 치수가 결정되면, 다수의 공정도의 형상 치수들이 기하학적으로 혹은 경험적으로 결정되므로 공

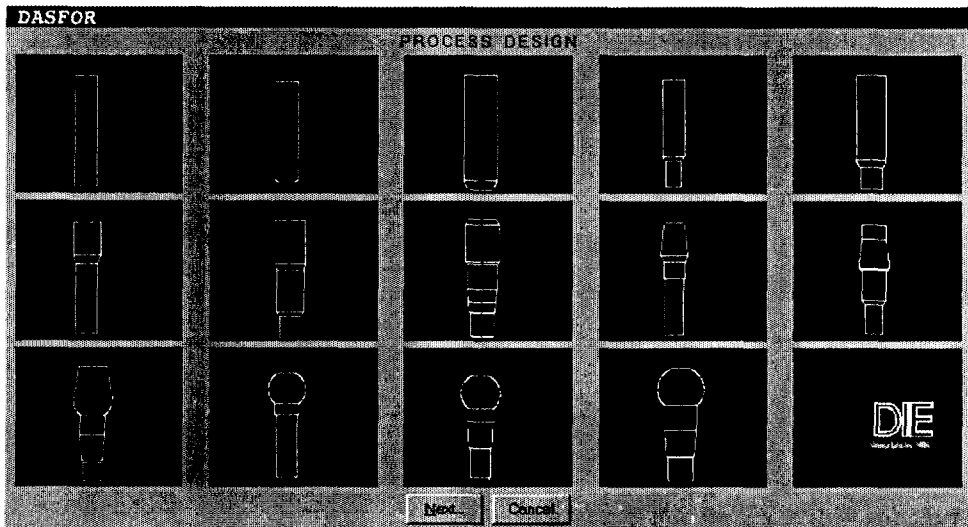


Fig. 3 Templates for the process sequence design in ball-stud forging

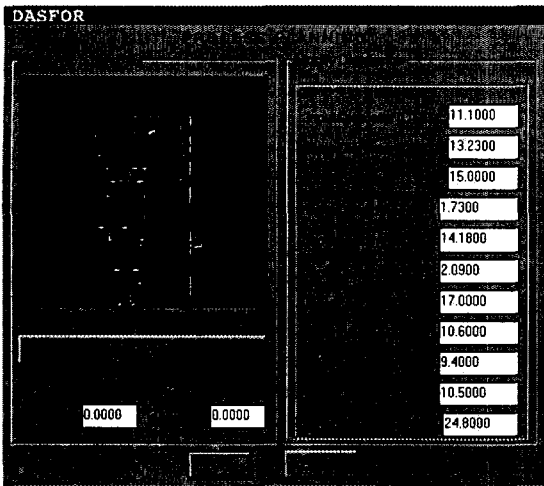


Fig. 4 Parameterized unit process template

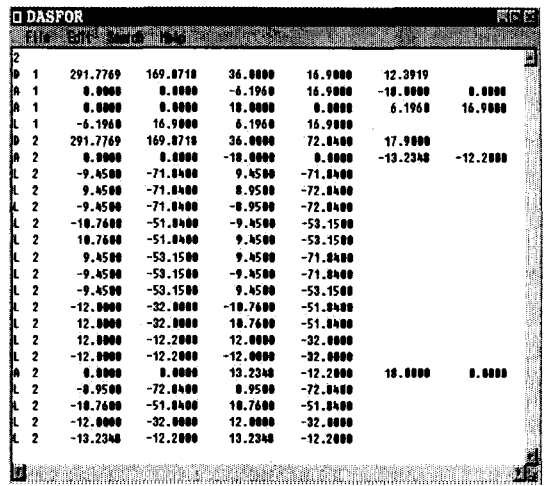


Fig. 6 Basic design information

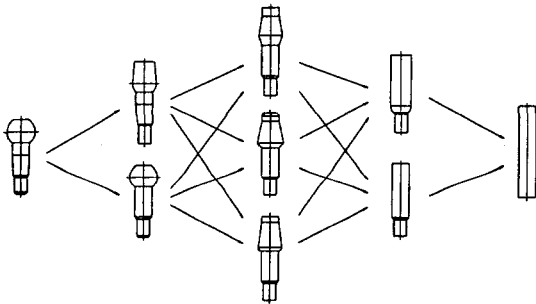


Fig. 5 Combination of possible process sequence designs for ball-stud forging

정도상의 미지수들중 일부가 기지의 값으로 바뀌며, 나머지 미지의 형상변수는 체적일정의 법칙과 설계자의 경험을 토대로 결정해 나아간다. 한편, 설계된 공정도가 이미 사용된 경우, 즉 데이터베이스에 저장된 성공적인 설계중에서 동일한 공정도가 있을 경우, 이에 관한 상세정보를 설계자가 항상 참고할 수 있도록 하였으며, 특히 설계자가 기존의 공정에서 설계변수간의 상호관계를 참고하거나 설계법칙들을 사용할 수 있다. 그리고 비록 전체 공정이 아니더라도 두 개의 연속된 단위 공정도가 기사용된 경우에 이를 참고할 수 있도록 하였다. 현재 설계법칙으로 소재치수, 가공률, 체적일정의 법칙 등이 일반적 기능으로 고려되어 있으며, 경험지식과 소재안착 등을 고려한 각종 설계법칙(1-17,19,20)들이 반영될 수 있도록 하였다. 전술한 설계법칙들로부터 주로 각 단계에서 부위별 지름이

결정되기 때문에 각 부위별 길이가 설계변수가 된다.

공정흐름도의 설계가 완료되면, 각 단위공정도를 두 부분으로 분할하여 상하금형을 설계하여야 한다. 상하분할을 통하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 기존설계정보파일을 얻게 된다. 이 정보파일은 시뮬레이션을 위한 입력데이터의 작성과 상세설계 도면의 작성 등의 목적에 사용된다.

공정설계에 대한 검증이 완료되면, 설계도면을 제작하거나 생산정보를 생성시켜야 한다. 하나의 포머단조품에 요구되는 설계도면은 수 십장에 이르므로 금형세트의 도면 작성 업무는 비교적 많은 시간을 요한다. 따라서 도면 제작과 검토에 소요되는 시간은 개발기간에 상당한 영향을 미치므로 도면 작성의 자동화는 설계지원 시스템이 갖추어야 할 주요 기능중의 하나이다. 일반적으로 단조금형의 표준화와 자동설계는 매우 어려운 문제로 분류되고 있으나, 냉간포머단조 금형은 비교적 많은 부품들이 표준화되어 있다. 금형의 형상 변수들중 다수는 공정 설계에서 결정되며, 나머지 중 다수도 포머단조 기계의 제원으로부터 설계변수들이 미리 결정되므로 자동화가 비교적 용이한 편에 속한다. 따라서 일부변수의 자동 또는 수동 결정으로 금형설계가 가능하다. 금형도면의 자동생성시에 고려해야 할 주요 정보는 기계의 제원, 상하금형의 간극, 공차 등이다. 본 연구에서는 입력된 정보와 실용목적으로 프로그램되어 있는 설계법칙과 설계규칙을 바탕으로 공정 조립도, 부품리스트, 부품도 등이 자동적으로 작성되도록 프로그램하였다. Figs. 7-10에 Fig.2의 공정도와 관련된 몇가지 상세도면을 제시하였다.

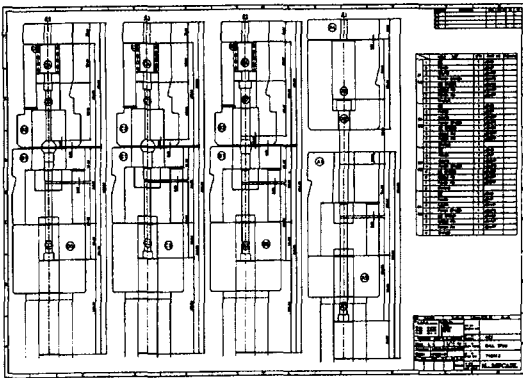


Fig. 7 Assembly drawing of the process design

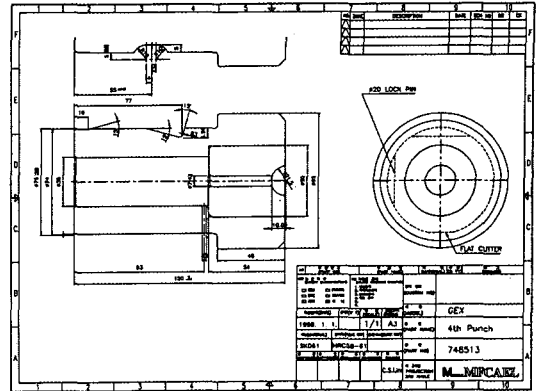


Fig. 10 Detail drawing of the punch set of the fourth stage

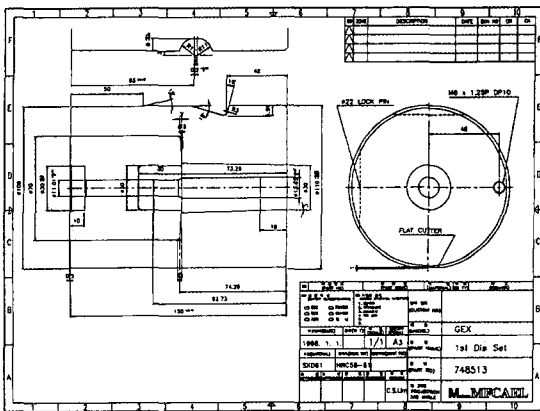


Fig. 8 Detail drawing of the die set of the first stage

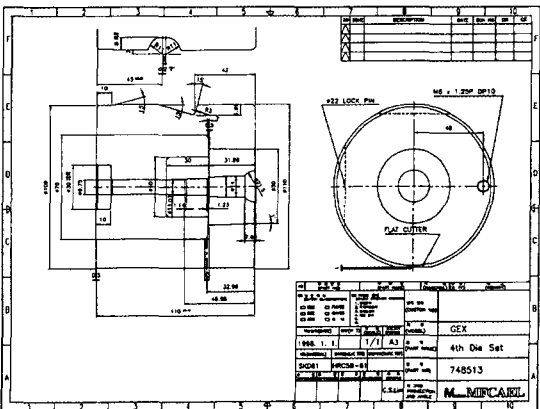


Fig. 9 Detail drawing of the die set of the fourth stage

#### 4. 검증설계 모듈

최근 개인용 컴퓨터와 관련 응용기술의 급속한 발전에 힘입어 단조 시뮬레이션 기술의 활용이 일반화되어 가고 있다. 포머단조 공정의 자동설계 목적으로 다수의 기존 연구에서 단조 시뮬레이션 기술을 최종 설계검증 도구로 사용할려고 시도하였으나 공정설계 프로그램 개발자가 직접 단조시뮬레이터를 개발하지 않았던 관계로 유기적 관계를 갖도록 하는데 실패하였다. 냉간포머단조 공정과 같이 공정제어변수가 많고, 정밀 계산을 요할 경우 이러한 문제는 더욱 심각하게 된다. 따라서 본 연구에서는 단조 시뮬레이터와 공정자동 설계 프로그램을 유기적으로 연결함으로써 통합된 공정설계-설계검증 연결 프로그램을 개발하였다. 특히, 단조시뮬레이터를 지능화 및 자동화함으로써 전 공정을 해석하는 동안 사용자 개입이 전혀 불필요하도록 하였다.

소재 및 금형의 형상정보는 공정도 설계 결과로부터 자동 생성되도록 하였으며, 금형의 속도, 마찰 등은 대화식으로 입력되도록 프로그램하였다. Fig. 11은 설계 데이터베이스에서 자동 추출한 시뮬레이션 대상 문제의 형상정보를 나타낸 것이다. 이 기능을 이용하여 복잡한 단조 공정 해석 데이터를 준비하는데 소요되는 시간적 손실을 대폭 줄일 수 있고 단조시뮬레이션 기술의 활용도를 높일 수 있다. 그 결과, 단조 시뮬레이터의 활용이 용이해짐에 따라 기존의 설계지원 시스템이 의존했던 제한된 경험 공식과 법칙으로부터 탈피할 수 있다. 단조 시뮬레이션을 통하여, 응력, 변형률, 변형률속도, 금형압력, 하중, 금속유동, 손상(damage), 경도, 마모량 등 각종 기계량이 출

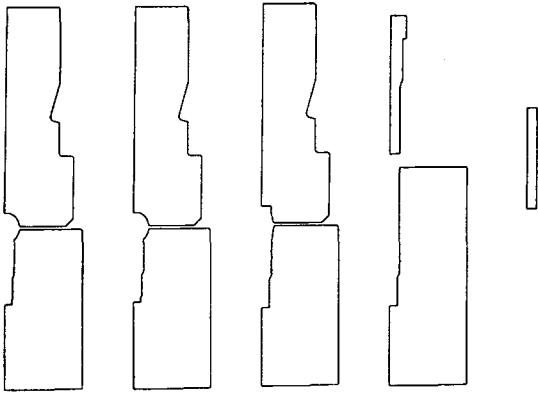


Fig. 11 Process geometries extracted from the process sequence design

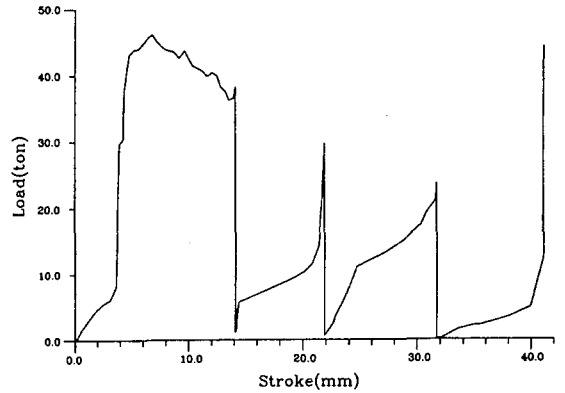


Fig. 13 Simulation result of forming load

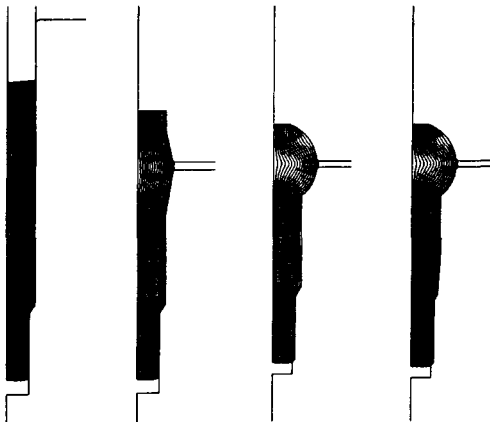


Fig. 12 Simulation result of metal flow

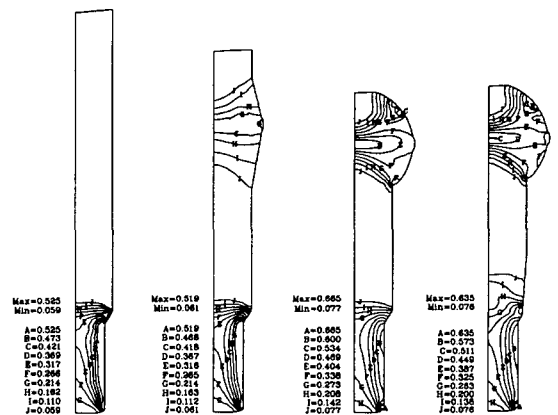


Fig. 14 Simulation result of damage

력된다. 이러한 정보를 바탕으로 공정설계자는 설계의 타당성 유무를 판정하고 가능성이 있는 설계들을 모아 서로 비교 분석함으로써 최적의 설계를 찾아갈 수 있다. Figs. 12-14에 주요 해석결과를 제시하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 단조시뮬레이터를 중심축으로 하는 냉간포머단조 공정의 자동설계 기술을 제시하였고 관련 프로그램을 예제를 통하여 소개하였다. 개발된 설계지원 시스템은 공정설계 모듈과 설계검증 모듈로 구성되어 있다. 전자는 기존의 공정설계의 복구, 수정, 대화식 치수 입력에 의한 새로운 형상의 공정설계 생성, 지식에 기초한 설

계법칙들을 활용한 설계 타당성 조사, 금형세트의 상세설계 등의 설계업무를 돕는 역할을 수행하고, 후자는 컴퓨터 시뮬레이션용 입력데이터의 자동생성, 자동 시뮬레이션, 해석결과와 정보화 등의 기능을 수행한다.

공정적용을 통하여 제시한 접근방법의 효용성을 입증하였다. 개발된 프로그램을 사용함으로써 공정설계 및 금형설계의 체계화를 이룰 수 있고, 실제 비용절감과 개발기간 단축 등의 효과를 얻을 수 있다. 실제로, 설계지원 시스템을 사용하지 않았을 경우 단순도면 작성 작업은 대개 3~4일이 소요되는 것으로 조사되었다. 그러나 본 논문의 적용예제에서는 30분 이내의 짧은 시간이 소요되었으며, 단조시뮬레이션 기술의 활용을 통하여 절약한 시행오차에 기인하는 비용을 포함하면 그 효과는 매우 크다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. P. Bariani and W. A. Knight, "Computer Aided Cold Forging Design: Determination of Machine Setting Conditions," *Annals of the CIRP*, Vol. 34/1, pp. 245-248, 1985.
2. P. Bariani and W. A. Knight, "Computer-Aided Cold Forging Process Design: A Knowledge-Based System Approach to Forming Sequence Generation," *Annals of the CIRP*, Vol. 37/1, pp. 243-246, 1988.
3. P. Bariani, E. Benuzzi and W. A. Knight, "Computer Aided Design of Multi-Stage Cold Forging Process: Load Peaks and Strain Distribution Evaluation," *Annals of the CIRP*, Vol.36/1, pp. 145-148, 1987.
4. M. T. Gokler, T. A. Dean and W. A. Knight, "Computer Aided Die Design for Upset Forging Machines," *Proc. of the 11th NAMRC*, pp. 217-223, 1983.
5. W. Makosch and K. Lange, "Application-Orientated CAD System for Multi-Stage Tooling Design for Cold Forging," *Proc. of the 16th NAMRC*, pp. 63-70, 1988.
6. H. Kim and T. Altan, "Computer-Aided Part and Processing-Sequence Design in Cold Forging," *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 33, pp. 57-74, 1992.
7. K. Sevenler, P. S. Raghupathi and T. Altan, "Forming-Sequence Design for Multistage Cold Forming," *J. Mech. Work. Tech.*, Vol. 14, pp. 121-135, 1987.
8. T. P. Davison and W. A. Knight, "Computer Aided Process Design for Cold Forging Operation," *Adv. Tech. Plast.*, Vol. I pp. 551-556, 1984.
9. A. A. Badawy, P. S. Raghupathi, D. J. Kuhlmann and T. Altan, "Computer-Aided Design of Multistage Forging Operations for Round Parts," *J. Mech. Working Tech.*, Vol.11, pp.259-274, 1985.
10. K. Osakada, T. Kado and G. B. Yang, "Application of AI-Technique to Process Planning of Cold Forging," *Annals of the CIRP*, Vol.37/1, pp.239-242, 1988.
11. G. B. Yang and K. Osakada, "An Expert System for Process Planning of Cold Forging," *Adv. Tech. Plast.*, Vol. 1, pp. 109-115, 1990.
12. D. Glynn, G. Lyons and J. Monaghan, "Forging Sequence Design Using an Expert System," *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 55, pp. 95-102, 1995.
13. P. Bariani, G. Berti, L. D'Angelo, M. Marengo and A. Rossi, "An Integrated CAD/CAE System for Cold Forging Process Design," *Adv. Tech. Plast.*, Vol. 1, pp. 7-12, 1990.
14. H. S. Kim and Y. T. Im, "Expert System for Multi-Stage Cold-Forging Process Design with a Re-designing Algorithm," *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 54, pp. 271-285, 1995.
15. R. Ehrismann and J. Reissner, "The Integration of Simulation Techniques in Expert Systems," *Adv. Tech. Plast.*, Vol. 1, pp. 197-202, 1990.
16. Q. C. Hsu and R. S. Lee, "Cold Forging Process Design Based on the Induction of Analytical Knowledge," *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 69, pp. 264-272, 1997.
17. 민규식, 최중용, 최재찬, 김병민, 조해용, "전·후방 압출품의 냉간단조 공정설계," *한국정밀공학회지 제14권 제8호*, pp. 57-64, 1997.
18. AFDEX/2D 2.1 사용자 매뉴얼, 경상대학교 기계공학과 소성가공 CAE 연구실, 1998.
19. 전만수, 임창수, 이민철, AutoCAD에 기초한 볼스타드 냉간단조금형 자동설계 프로그램개발, 경상대학교 항공기부품기술연구소, 1996.
20. 山本博一著, "프레스 金型選書 6 壓縮加工金型," 株式會社 シャパンマシニスト 社, 1977년.