

(論 文)

## 등속조인트 하우징의 냉간단조 공정설계

이진희\* · 강범수\*\* · 김병민\*\*\* · 이정환\*\*\*\*

(1993년 7월 5일 접수)

### Process Sequence Design in Cold Forging of Constant Velocity Joint Housing

Jin-Hee Lee, Beom-Soo Kang, Byung-Min Kim and Jung-Hwan Lee

**Key Words :** Constant Velocity Joint Housing(등속조인트 하우징), Process Sequence Design(공정설계), Multi-Operation Cold Forging(다단계 냉간단조), Net-Shape(정형), Closed Die Forging(밀폐형단조), Ironing(아이어닝), Backward Extrusion(후방압출), Surface Crack(표면균열)

#### Abstract

A process sequence of multi-operation cold forging for actual application in industry is designed with the rigid-plastic finite element method to form a constant velocity joint housing(CVJ housing). The material flow during the CVJ housing forming is axisymmetric until the final forging process for forming of ball grooves. This study treats the deformation as an axisymmetric case. The main objective of the process sequence design is to obtain preforms which satisfy the design criteria of near-net-shape product requiring less machining after forming. The process sequence design also investigates velocity distributions, effective strain distributions and forging loads, which are useful information in the real process design.

#### 1. 서 론

대부분의 금속성형공정에 있어서의 관심사는 소재 및 에너지 절감과 성형 후의 기계가공을 최소화하기 위하여, 거의 정형 또는 정형(net-shape) 부품을 생산하는 방향으로 발전하고 있으며, 냉간단조공정은 이러한 경향에 잘 부합된다.

그러나 냉간단조공정의 경우, 일반적으로 원하는 최종부품을 한번의 성형공정으로는 생산할 수 없는 경우가 많으므로, 몇번의 예비성형공정을 거치는 다단계 성형공정이 필요하다. 그러므로 새로운 부

품의 생산을 위한 성형공정의 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이기 위하여, 실제의 금형 및 공구의 제작 이전에 소재 유동 및 금형내부 채움정도와 성형하중 등의 상세한 정보를 제공할 수 있는 기법들이 필요하다.

냉간단조 공정설계의 가장 중요한 사항은 예비성형 회수 및 예비성형체 설계 등이며, 이를 실제 현장에서서는 대부분 경험적 지침, 설계자의 직관 및 실험에 의한 시행착오를 통하여 수행하고 있으므로, 시간의 소비가 많고 제품의 가격인상을 초래한다.<sup>(1~3)</sup> 최근에는 컴퓨터와 수치기법의 발전으로 컴퓨터를 이용한 여러가지 기법들이 성형공정설계 및 금형설계에 활발히 이용되고 있다.<sup>(4~19)</sup>

경험적 지식과 문헌 등을 재고찰하여 수립된 설계규칙을 이용한 성형공정 및 금형설계시스템<sup>(4~9)</sup>은 소재의 유동, 응력 및 변형률분포 등을 예측할

\*부산대학교 대학원 기계설계공학과

\*\*정회원, 부산대학교 항공우주공학과

\*\*\*정회원, 부산대학교 기계설계공학과

\*\*\*\*정회원, 한국기계연구원 소재성형실

수가 없는 반면에 유한요소법을 이용한 시뮬레이션으로는 이와 같은 정보들을 충분히 알 수 있다. 또한 유한요소법의 가장 실제적인 적용중의 하나가 다단계 성형공정에 있어서의 공정설계이다.<sup>(10~19)</sup>

최근 자동차의 전문구동화에 따라 등속조인트(constant velocity joint)의 수요가 늘어나고 있다. 전문구동의 경우, 구동축과 바퀴의 회전축이 정지, 또는 직진 이외에는 평행하게 되지 않으므로, 통상 유니버설조인트로는 출력의 매끄러운 전달이 어렵다. 따라서 엔진으로부터의 출력을 바퀴에 전달, 일정한 속도를 유지하는 역할을 하는 등속조인트의 사용이 필수적이다.

등속조인트의 형태는 여러가지가 있으나, 대개 튜립샤프트(tulip shaft), 스파이더(spider) 및 하우징(housing)으로 구성되어 있으며, 그 구성 부품들의 형상이 복잡하다. 이들 부품중 등속조인트 하우징은 형상이 복잡하며 높은 정밀도 및 다단계의 성형공정이 요구되고, 기계가공에 비용이 많이 소요되므로 가능한 한 최종제품에 가까운 형상으로 단조 성형하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 종래의 등속조인트 하우징은 열간단조공정에 의해 거친 형상으로 생산되었지만, 냉간단조 기술의 고도화에 따라 대부분 냉간단조공정으로 바뀌고 있다. 냉간단조공정은 기계가공이 거의 없는 정형의 하우징 생산이 가능하고 소재를 40% 가량 절약할 수 있으나, 이의 생산을 위해서는 다단계의 공정을 거쳐야 하므로 최종제품이 거의 정형이 되게 성형

하기 위해서는 많은 시행착오를 거쳐야된다.<sup>(20~23)</sup>

Kang 등<sup>(19)</sup>은 일반적으로 단조전문가에 의해 채택되고 있는 등속조인트 하우징의 냉간단조공정의 공정수와 어닐링 회수를 줄일 수 있는 방안을 제안 하였으나, 이는 냉간단조공정인 등속조인트 하우징의 공정설계를 체계적으로 행하기 위한 일반적인 설계방법론만을 제시하였다. 따라서 본 논문에서는 Kang 등<sup>(19)</sup>이 제시한 방법론을 실제 산업에 적용하기 위하여, 현재 실제 산업현장에서 개발하고자 하는 등속조인트 하우징을 선정하여 냉간단조 공정설계를 강-소성 유한요소법으로 행하였다. 생산과정에서 발생하는 문제(하우징의 컵부분 끝단에서의 미성형 부분발생, 끝단의 경사각도 유지, 프레스용량, 컵바닥 주위에서의 표면균열)를 고려하였으며, 유한요소 시뮬레이션을 통하여 거의 정형의 최종제품을 얻을 수 있는 공정조건과 예비성형체 등을 구하였다. 또한 소재의 유동형태, 단조하중 및 유효 변형률분포 등을 구하였으며, 이는 이와 유사한 형상의 등속조인트 하우징의 생산을 위한 공정설계시에 유용한 정보가 될 것이다.

2. 문제정의 및 유한요소 모델링

등속조인트 하우징의 냉간단조공정이 Fig. 1에 나타나 있다. Fig. 1의 첫번째 경우는 일반적으로 단조전문가에 의해 채택되고 있는 냉간단조공정으로서, 하우징의 샤프트(shaft)부분을 성형하기 위

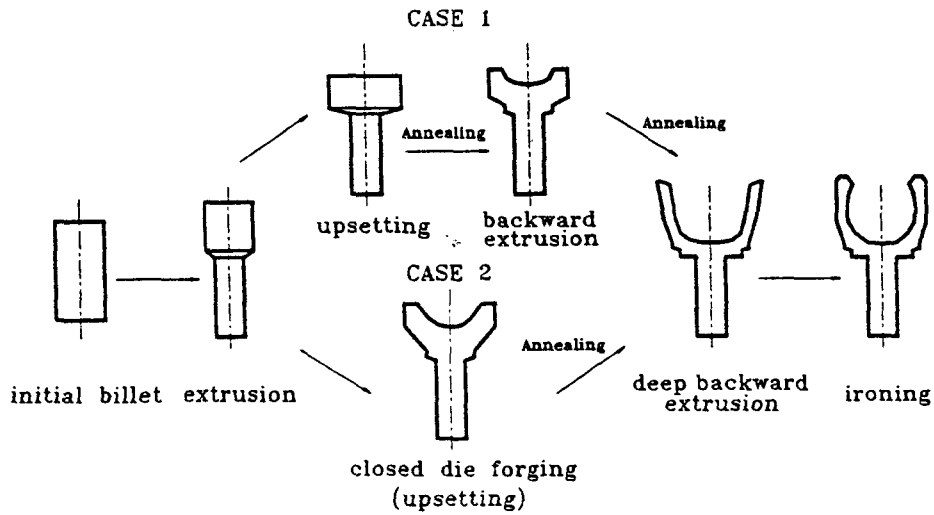


Fig. 1 Suggested processes of cold forging to form a constant velocity joint housing

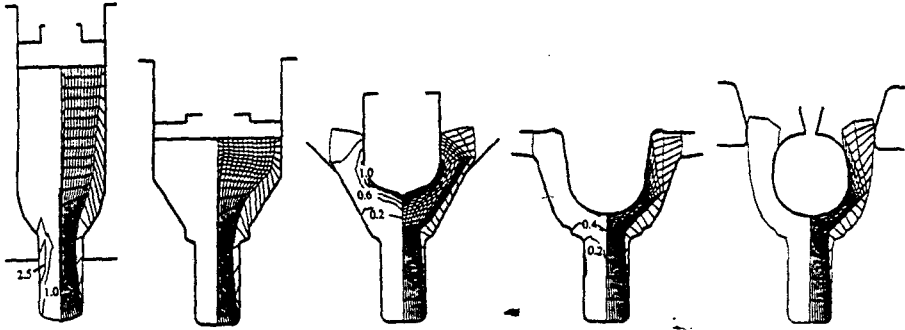


Fig. 2 Simulations of the conventional five-operation process<sup>(19)</sup>

한 전방압출, 컵부분을 성형하기 위한 예비공정인 업셋팅과 후방압출(backward extrusion), 컵부분을 최종성형하기 위한 후방압출 및 최종제품의 치수를 유지하기 위한 아이어닝(ironing)의 다섯 단계의 성형공정과 소재의 충분한 성형성을 유지하기 위해 2회의 어닐링(annealing) 과정을 거친다.<sup>(23)</sup> Fig. 1의 첫번째 경우의 공정에 따라 Kang 등<sup>(19)</sup>이 유한요소 시뮬레이션한 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. 여기서의 최대하중은 업셋팅공정에서 발생한다. 또한 Kang 등<sup>(19)</sup>은 공정의 수와 어닐링 회수를 줄이기 위해 Fig. 1의 두번째 경우를 제안하였

다. 이는 첫번째 경우에서의 업셋팅공정과 후방압출공정을 한번의 밀폐형단조(closed die forging)로 성형하는 방법으로써 성형공정중에 발생하는 최대하중은 첫번째 경우보다 높으나, 공정수와 어닐링 과정을 각각 한번씩 줄일 수 있는 장점이 있으므로, 본 논문에서는 Fig. 1의 두번째 경우를 택하여 실제 산업현장에서 성형하고자 하는 등속조인트 하우징의 냉간단조공정을 설계하였다.

설계할 최종제품은 Fig. 3(c)와 같으며, 실제 산업현장에서 성형하고자 하는 제품이다. 이의 성형을 위한 초기 빌렛은 Fig. 3(a)와 같은 원통형빌렛

(Unit : mm)

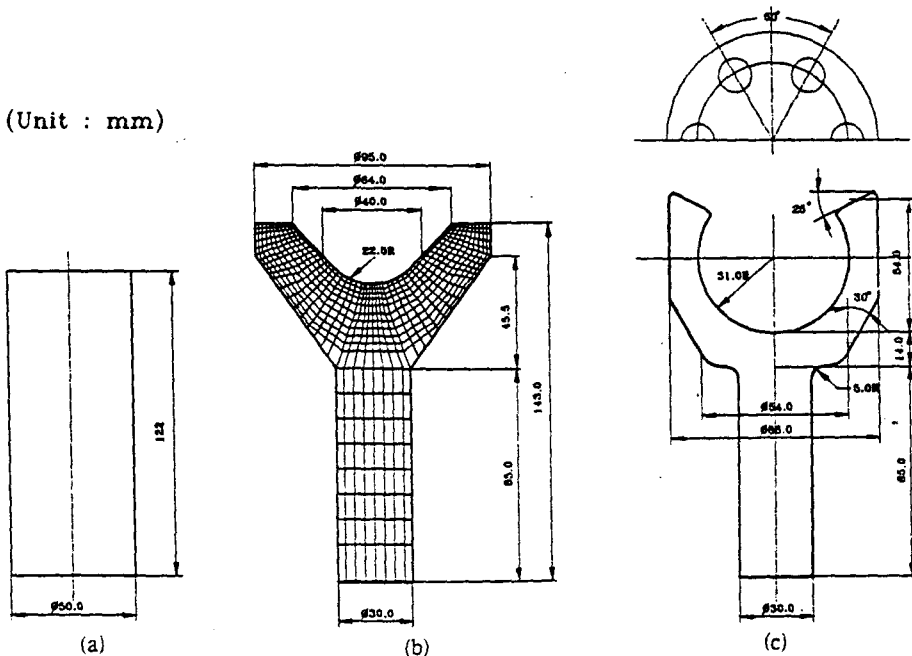


Fig. 3 Dimensions and configurations of (a) initial billet, (b) preform after closed die forging and (c) final product

이다.

등속조인트 하우징의 공정설계에 있어서의 주된 목적은 최종공정 후에 미성형 부분이 없게하고 가능한 한 기계가공을 줄이기 위해 정형의 제품으로 성형하는 것이다. 실제 등속조인트 하우징 냉간단조공정에서 발생하는 문제는 하우징의 컵부분 끝단에서의 미성형 부분발생과 끝단의 경사각도 유지 및 프레스용량 문제이므로, 이러한 문제점을 해결하는데 주안점을 두었으며, 여기서의 경사각도는 25°(Fig. 3(c) 참조)로 유지하는 것이다. 또한 실제현장에서의 프레스 사정을 고려하여, 프레스의 사용 가능한 최대용량을 1000톤으로 한정하였다.

등속조인트 하우징의 냉간단조공정 시뮬레이션을 위하여 강-소성 유한요소법을 사용하였으며, 금속 성형공정의 해석을 위한 강-소성 유한요소법의 수식화 및 계산기법은 이미 잘 정립되어 있다.<sup>(24,25)</sup>

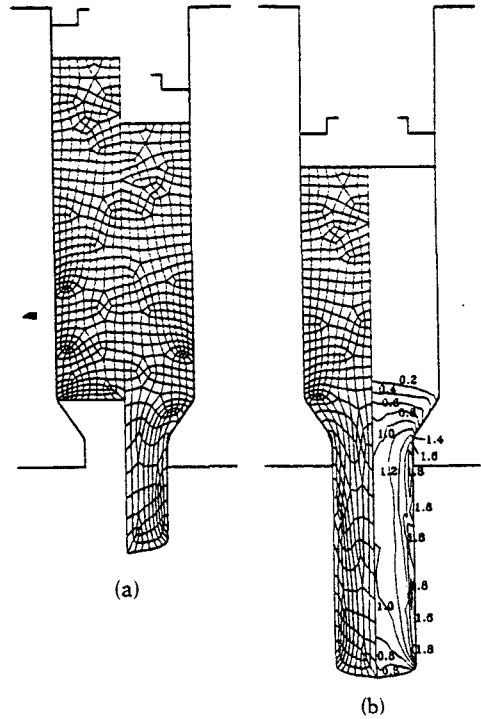
시뮬레이션 과정에서의 계산조건은 다음과 같으며, 사용한 치수의 단위는 mm이다.

- 다이와 소재 사이의 마찰조건 :  
 마찰상수  $m=0.1$ 을 사용
- 소재 : AISI1018 유효 응력-변형률 관계 :  
 $\bar{\sigma}=0.037(1.0+50.0\bar{\epsilon})^{0.254}$  (ton/mm<sup>2</sup>)

### 3. 유한요소 시뮬레이션 및 고찰

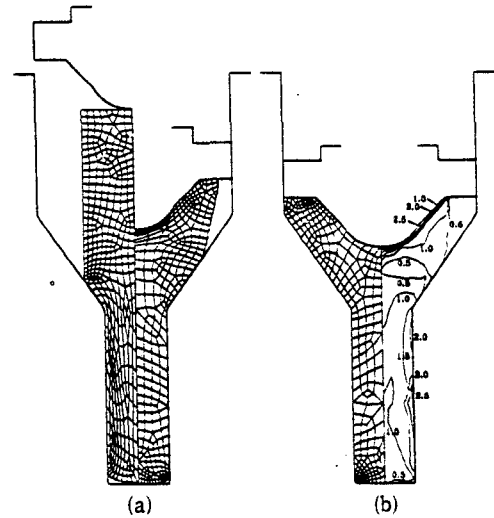
Fig. 3(c)에서 보듯이 등속조인트 하우징의 컵 내부는 6개의 볼 홈(ball groove)으로 이루어져 있다. 그러므로 실제의 성형공정의 해석을 위해서는 3차원 모델링이 필요하다. 그러나 3차원 해석의 경우, 방대한 컴퓨터 계산시간을 요구하며, 결과적으로 세밀한 메쉬를 사용하지 못하므로 공정의 정확한 해석이 어렵다. 등속조인트 하우징의 경우, 원주방향의 대칭면에 있어서는 원주방향으로의 금속 유동이 생기지 않으므로 축대칭 모델링으로 충분한 성형정보를 얻을 수 있다. 따라서 실제 공정과의 약간의 차이는 있지만, 등속조인트 하우징을 축대칭으로 정밀 근사시켜 강-소성 유한요소 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션과 실제공정과의 차이는 최종 금형 설계시에 보정해 주어야 할 것이다.

Fig. 4는 하우징의 샤프트부분을 성형하기 위한 전방압출공정을 나타낸다. 단면적 감소율은 64%이며, 다이반각은 35.5°로 다음 공정인 밀폐형단조와 최종 하우징의 형상을 고려하여 선정하였다. Fig.



(a) Initial setup (left) and stroke=59%(right)  
 (b) Final deformation (left) and effective strain distribution(right)

Fig. 4 Simulation of the extrusion



(a) Initial setup (left) and stroke=88%(right)  
 (b) Final deformation (left) and effective strain distribution(right)

Fig. 5 Simulation of the closed die forging

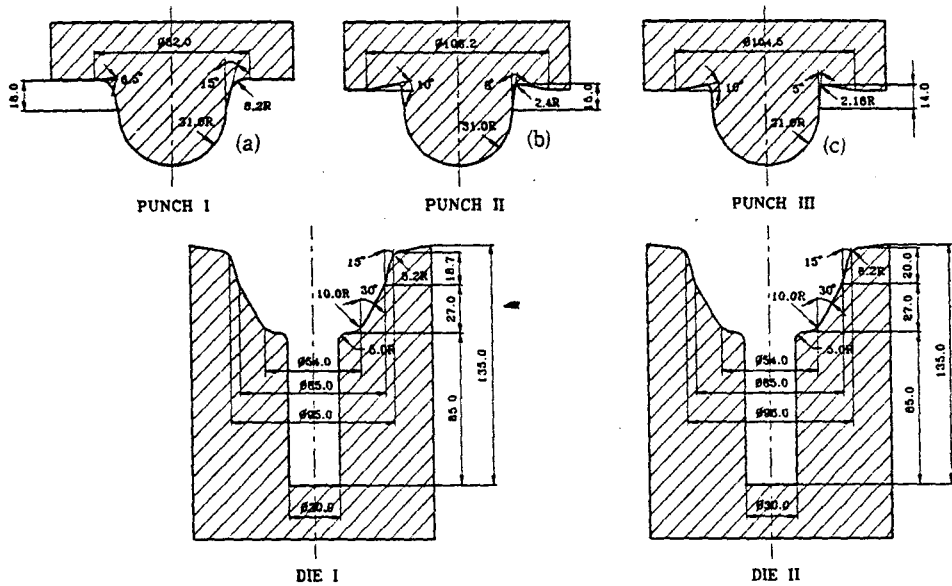


Fig. 6 Dimensions and configurations of dies for the deep backward extrusion

4(a)의 왼쪽은 초기빌렛이며, 오른쪽은 펀치행정이 59%일 때의 변형된 빌렛의 형상을 나타낸다. Fig. 4(b)는 펀치행정이 100%, 즉 하우징의 샤프트 길이만큼 압출된 상태의 변형상상과 유효변형률 분포이다. 변형상상이 전형적인 압출공정과 유사함을 알 수 있다. 압출하중은 Fig. 15(a)에 나타나 있으며, 최대하중은 270톤으로 프레스의 사용용량을 만족함을 알 수 있다. Fig. 4(b)의 유효 변형률 분포에서 알 수 있듯이, 컨테이너 내부의 소재는 거의 변형을 받지 않았다. 이 부분이 다음 공정인 밀폐형단조에서는 주로 변형을 받을 부분이 된다.

Fig. 5는 두번째 공정인 밀폐형 단조공정의 시뮬레이션 결과이며, 펀치와 접촉한 부분의 심한 변형으로 두번의 격자 재구성을 행하였다. Fig. 5(a)의 왼쪽은 압출 후의 소재를 초기소재로 한 것이며, 오른쪽은 펀치행정이 88%일 때의 변형소재의 형상을 나타낸다. Fig. 5(b)는 펀치행정이 100%일 때의 변형된 소재형상과 유효 변형률분포를 나타낸다. Fig. 15(b)에 단조하중을 나타내었으며, 최대하중은 850톤이다. 밀폐형단조시의 단조하중은 펀치의 행정의 압입량에 따라 조절할 수 있으므로 프레스의 용량을 초과하지 않는 최대의 하중까지 펀치를 진행시켜, 세번째 공정인 후방압출(deep backward extrusion)공정의 초기소재로 선정하였다. 또한 밀폐형 단조공정이 최종제품의 정밀도에

미치는 영향이 적으므로 프레스의 용량을 고려하여 설계한 예비성형체는 유효할 것이다. 밀폐형단조가 끝난 후의 예비성형체 치수는 Fig. 3(b)에 나타나 있다. Fig. 5(b)의 유효 변형률분포에서 보듯이 펀치와 접촉한 부분의 변형이 심하다. 이 부분은 다

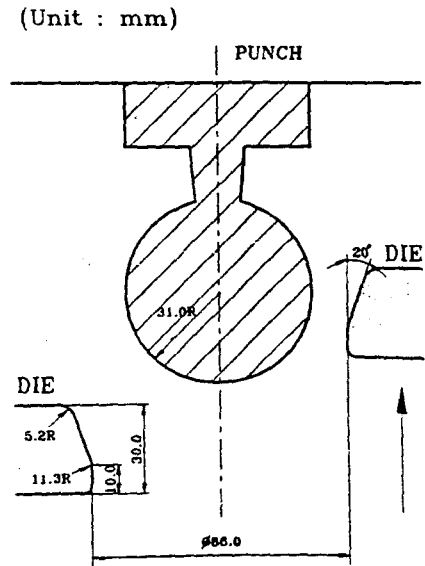


Fig. 7 Dimension and configuration of dies for the ironing

(Unit : mm)

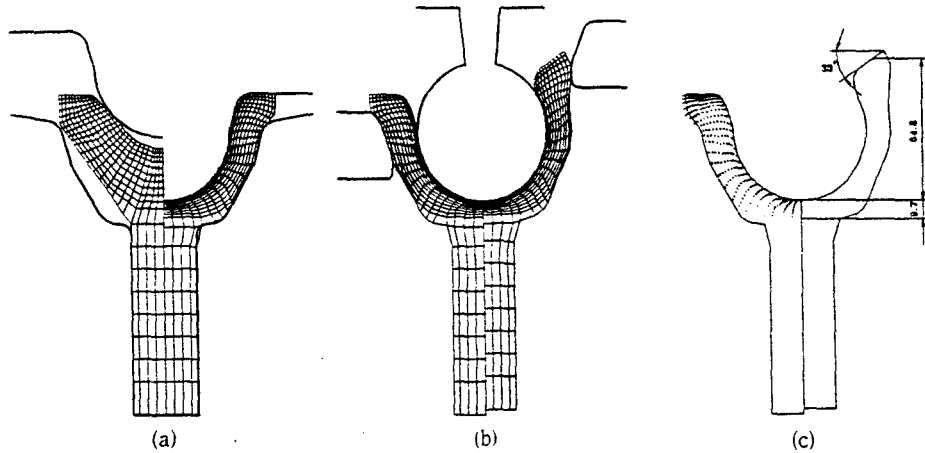


Fig. 8 Simulations of the deep backward extrusion using die in Fig. 6(a) and the ironing

음 공정인 후방압출시에 주로 변형을 받을 부분이 되므로 변형과 하중의 급격한 증가를 초래할 것이다. 그러므로 후방압출을 행하기 전에 소재의 변형 과정에서 발생한 가공경화를 원래의 빌렛상태로 복원시켜야 하므로 어닐링이 필요함을 알 수 있다. 따라서 후방압출을 행하기 전의 예비성형체는 변형률이 없다고 가정하였으며, 후방압출과 아이어닝을 거치는 동안 심한 격자왜곡을 고려하여 다시 격자 재구성을 행하였다. (Fig. 3(b) 참조)

Fig. 6은 후방압출공정의 시뮬레이션을 위해 설계한 금형을 나타낸다. 후방압출공정은 최종제품의 형상에 직접적인 영향을 미치므로 금형형상의 설계가 중요하다. 따라서 아이어닝이 끝난 후의 최종 하우징 형상을 토대로 후방압출 금형의 형상을 수정하는 방법을 사용하였다.

Fig. 7은 아이어닝공정을 위한 금형을 나타낸다. 펀치는 고정된 상태에서 다이가 움직여 최종치수의 하우징을 성형하는 공정이다.

공정의 전체적인 흐름을 알기 위하여 시험금형인 Fig. 6(a)를 사용한 시뮬레이션 결과에 Fig. 8에 나타나 있다.

Fig. 8(a)는 후방압출공정, Fig. 8(b)는 아이어닝 공정을 나타내며, Fig. 8(c)는 후방압출공정 후의 속도분포와 아이어닝공정 후의 최종치수를 나타낸다. Fig. 8(b)에서 보듯이 아이어닝공정 후에 소재가 완전히 펀치부분에 닿지 않은 부분, 즉 미성형 부분이 발생하였다. 이는 Fig. 8(c)의 후방압출 후의 속도분포에서 보듯이, Fig. 8(a)의 후방압출 후

에 소재의 많은 부분이 플래쉬형상으로 밖으로 밀려난 것이 원인임을 알 수 있다. 또한 아이어닝 중에 하우징 컵바닥 부분이 많은 압축을 받아 후방압출 후의 예비성형체보다 두께가 얇아졌음을 알 수 있다. Fig. 8(c)의 최종형상의 치수에서 보듯이 전체적인 치수가 하우징의 최종치수(Fig. 3(c) 참조)와 일치하지 않는다. 또한 컵부분의 끝단 각도도 33°로 원하는 치수에 맞지 않으며, 만약 미성형 부분이 없어졌을 경우는 더욱 각도가 커졌을 것이다.

후방압출공정에서의 과다한 변형은 하우징의 컵바닥 주위에 표면균열(surface crack)을 발생시킨다. Fig. 9는 소재가 탄소강일 경우, 컵바닥두께와 컵높이(yoke length)의 비로써 컵바닥 주위에서 표면균열이 발생하는 성형한계를 나타낸 것이며, 직

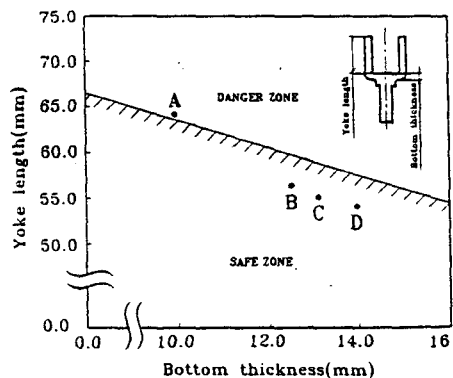


Fig. 9 Forming limit for a crack in the inner surface near the cup bottom

선의 아래부분이 안전 영역이다.<sup>(22)</sup> Fig. 8(c)의 최종 형상의 치수로 표시한 위치는 A점으로, 컵바닥 주위에서 표면균열이 발생할 가능성이 있음을 나타낸다.

이상에서 후방압출 후의 예비성형체가 최종제품에 많은 영향을 미치며, 특히 플래쉬형상으로 발생하는 소재의 양을 제어하는 것이 중요하다. 미성형부와 표면결합을 제거하고 최종 하우징의 치수를 유지하기 위하여, 후방압출 금형의 펀치부 형상을 Fig. 6(a)에서 Fig. 6(b)와 같이 수정하였다. 컵바닥부의 두께를 최종치수와 같게 하기 위하여 펀치부의 길이를 짧게 하였으며, 미성형부를 없애고 컵 끝단의 각도를 유지하기 위해서는 펀치부의 각도가 Fig. 6(a)의 경우는 너무 완만하므로 좀더 경사지게 변경하였다. 이는 플래쉬형상으로 생겨나는 소재의 양을 상당히 줄일 수 있을 것이며, 최종 컵부분의 각도를 유지하는데 도움이 될 것이다.

Fig. 10은 Fig. 6(b)로 수정된 후방압출 금형을 이용한 시뮬레이션의 결과를 나타낸다.

Fig. 10(a)는 후방압출공정, Fig. 10(b)는 아이어닝공정을 나타내며 Fig. 10(c)는 후방압출공정 후의 속도분포와 아이어닝공정 후의 최종치수를 나타낸다. Fig. 10(a)의 예비성형체와 Fig. 10(c)의 속도분포에서 보듯이, 플래쉬형상으로 밖으로 밀려난 소재가 Fig. 6(a)의 금형을 사용한 결과인 Fig. 8(a) 보다는 적으며, 펀치부분의 각도 수정으로 예비성형체의 끝부분이 최종성형 후, 컵부분의 끝단 각도를 유지하기에 유리한 형상으로 되어 있다.

Fig. 10(b)에서 보듯이 아이어닝 공정 후에 소재가 완전히 펀치부분에 닿아 미성형 부분은 제거되었으나, 최종 성형공정 후, 하우징 컵부분의 바닥이 압축을 받아 예비성형체 보다 두께가 약간 얇아졌음을 알 수 있다. Fig. 10(c)의 최종형상의 치수에서 보듯이, Fig. 6(a)의 금형을 사용한 경우보다는 상당히 나아졌으나, 전체적인 치수가 하우징의 최종치수(Fig. 3(c) 참조)와 일치하지 않는다. 컵부분의 끝단 각도는 30°로 약간의 수정이 더 필요함을 알 수 있다. 이 경우 컵바닥 주위에서의 표면균열은 발생하지 않는다. (Fig. 9의 B점) 이 경우도 플래쉬로 형성된 소재의 양이 많음을 알 수 있다. 따라서 원하는 최종치수의 하우징을 성형하기 위해서는 후방압출 후의 예비성형체를 좀더 수정하여야 한다.

몇번의 시행착오를 거쳐 후방압출 금형의 형상을 Fig. 6(c)와 같이 수정하였다. 컵부분의 높이와 두께를 유지하기 위해서 펀치부의 길이를 더욱 짧게 하였으며, 컵끝단의 각도 유지를 위해 펀치부 수직각도를 Fig. 6(b)보다 더욱 줄였다. 또한 플래쉬형태로 발생하는 소재의 양을 더욱 줄이기 위해 다이의 끝부분도 약간의 수정을 하였다.

Fig. 11은 Fig. 6(c)의 금형으로 행한 시뮬레이션 결과이다. Fig. 11(a)의 왼쪽은 펀치행정이 100%인 경우, 즉 펀치 내부부를 완전히 채운 상태까지 시뮬레이션한 결과이며, 이를 예비성형체로 하여 아이어닝공정을 시뮬레이션한 과정과 최종결과가 Fig. 11(b)와 (c)에 나타나 있다.

(Unit : mm)

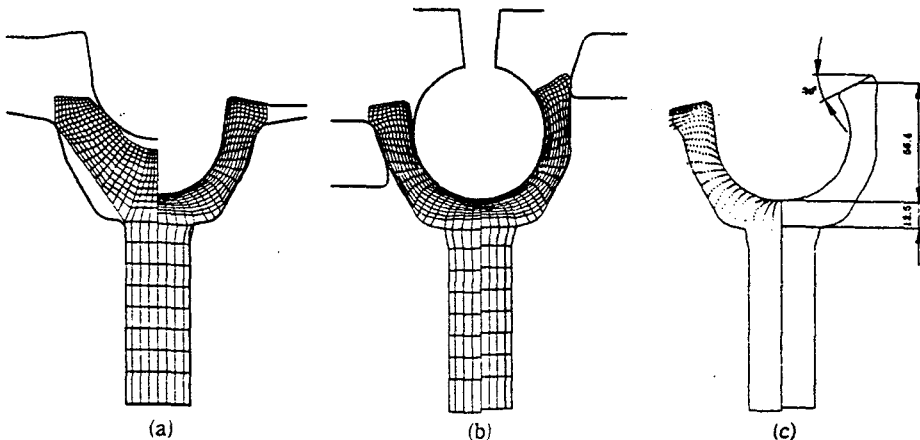


Fig. 10 Simulations of the deep backward extrusion using die in Fig. 6(b) and the ironing

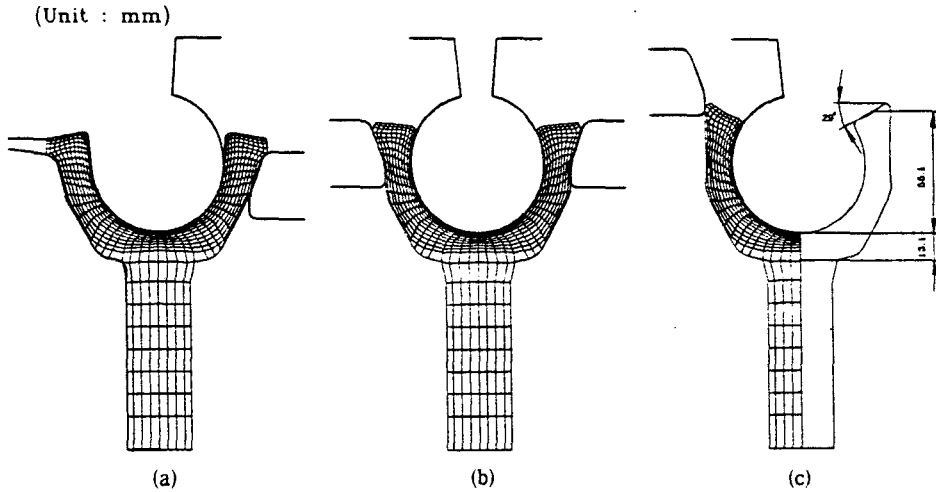


Fig. 11 Simulations of the deep backward extrusion using die in Fig. 6(c) and the ironing [punch stroke is 100%]

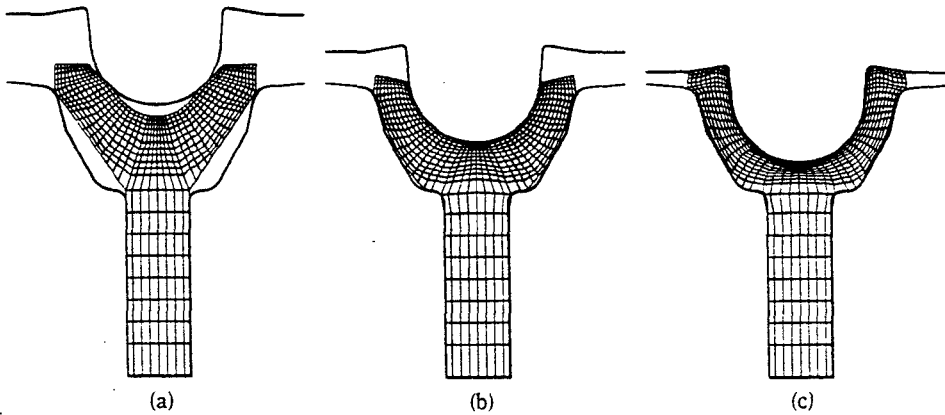


Fig. 12 Simulations of the deep backward extrusion using die in Fig. 6(c) [punch stroke is 95%]

Fig. 11(c)에서 보듯이 미성형 부분은 발생하지 않았으나, 최종치수가 원하는 제품의 치수(Fig. 3(c) 참조)와 일치하지 않는다. 또한 컵부분의 끝단 각도는 29°로 원하는 각도보다는 경사가 클 수 있다. 그러나 컵바닥 주위에서 표면균열은 발생하지 않는다(Fig. 9의 C점) Fig. 15(c)의 A점이 후방압출시 편치행정이 100%일 때의 하중을 나타내며, 약 1500톤이다. 실제로 사용 가능한 프레스용량은 1000톤이므로 최대 사용용량을 초과함을 알 수 있다. 그러므로 후방압출시 편치행정이 100%일 때의 예비성형체는 설계조건을 만족시키지 못하나, 최종제품의 치수에는 상당히 근접했음을 알 수 있다. 따라서 후방압출시 편치에 걸리는 하중을

1000톤 이하로 줄이고 원하는 최종치수의 제품을 얻기 위하여 예비성형체를 약간 더 수정할 필요가 있다. Fig. 11(c)의 결과와 최종제품인 Fig. 3(c)를 비교하면, 최종제품의 치수를 유지시키기 위해서는 후방압출시 컵바닥의 두께를 약간 늘리고, 플래쉬로 생성되는 소재의 양을 조금만 줄이면 컵부분의 끝단 각도도 최종제품과 동일하게 유지할 수 있을 것이다. 이를 위하여 후방압출시 편치행정이 100%가 아닌 상태에서 시뮬레이션을 중단하여, 이를 예비성형체로 이용하는 방법을 택하였다. 이는 최종성형과정에서 하중이 급격히 증가하므로 하중을 프레스용량에 맞게 유지할 수 있을 것이다. 후방압출 금형은 Fig. 6(c) 금형을 수정없이 그대로 사용하



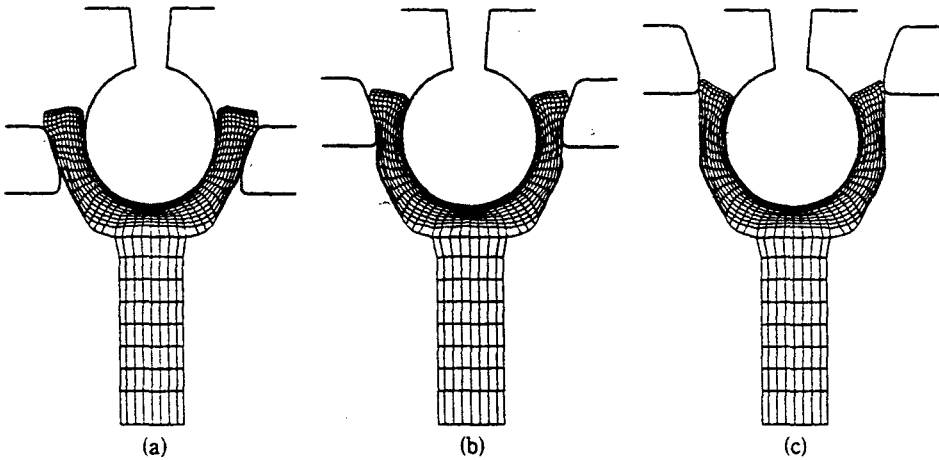


Fig. 13 Simulations of the ironing using the preform in Fig. 12

었다.

Fig. 12는 펀치행정이 95%일 때까지만 후방압출을 행한 시뮬레이션 결과이며, 검게 칠해진 부분이 소재가 차지 않은 부분이다. (Fig. 12(c) 참조)

Fig. 13은 Fig. 12(c)를 예비성형체로 하여, Fig. 7의 금형으로 행한 아이어닝공정의 시뮬레이션결과이다. Fig. 14(a)는 후방압출 후의 속도분포와 유효 변형률분포이며, Fig. 14(b)는 아이어닝공정 후의 최종제품 치수와 유효변형률분포이다.

Fig. 14(a)의 후방압출 후, 예비성형체의 속도분포를 보면 Fig. 6(b)의 금형을 사용하여 시뮬레이션한 경우(Fig. 10(c) 왼쪽)보다는 플래쉬로 빠져나가는 소재의 양이 적음을 알 수 있다. 이때의 유효 변형률분포인 Fig. 14(a)의 오른쪽을 보면, 최대 유효 변형률이 컵부분의 바닥에서 발생한다. 따라서 결함이 생길 경우, 컵바닥 주위에서 먼저 발생함을 알 수 있다. Fig. 13(c)를 보면, 아이어닝 후 소재가 완전히 펀치가 닿아 있으므로 미성형 부분이 없으며, 플래쉬로 생성된 소재의 양이 적으므로 최종성형공정 후의 컵바닥두께가 변하지 않았다. 이는 아이어닝 후의 유효 변형률분포인 Fig. 14(b)의 오른쪽 부분으로도 알 수 있다. 컵바닥 부분에서의 변형률분포의 변화는 없음을 알 수 있다. 예비성형체가 아이어닝공정 동안에 구형으로 변형하면서 컵바닥 부분을 제외한 모든 부분에서 변형을 받았다. 특히 다이가 통과한 컵표면에서 변형이 심하게 일어났으며, 이로 인해 컵내부도 압축을 받았음을 알 수 있다. Fig. 14(b)의 왼쪽부분은 최종성형 후의 제품의 치수이다. 최종치수가 최종

제품인 Fig. 3(c)의 치수와 거의 일치함을 알 수 있으며, 컵부분의 끝단 각도도 25°로 최종제품의 각도와 동일하게 유지되었다. 컵바닥 주위에서의 표면균열 발생여부를 조사한 결과, Fig. 9의 D점으로 나타나므로 표면균열은 발생하지 않음을 알 수 있다.

Fig. 15는 등속조인트 하우징의 냉간단조를 위한 전 공정동안의 하중-행정의 곡선을 나타낸 것이다.

Fig. 15(c)의 B점이 후방압출시 펀치행정이 95%일 때의 최대하중으로 약 980톤이며, 아이어닝공정 중의 최대하중은 약 150톤이 소요된다. 그러므로 프레스의 사용 가능한 최대용량을 만족함을 알 수 있다. 따라서 최종 아이어닝공정 후, 원하는 제품의 치수를 얻기 위해서는 후방압출공정에서 펀치행정이 95%일 때의 소재형상이 예비성형체가 되어야 함을 알 수 있다. 그러므로 실제공정의 적용에 있어서는 후방압출 금형 펀치부에 약간의 수정이 필

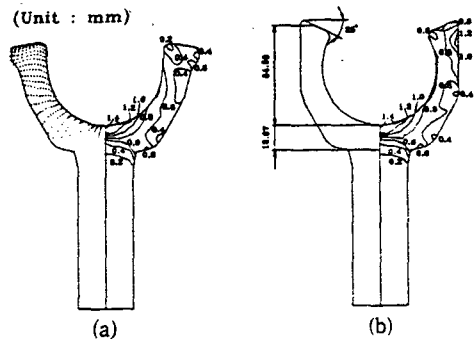


Fig. 14 Distributions of effective strains for the preform and final product

요할 것이다.

### 4. 결 론

실제 산업현장에서 성형하고자 하는 3차원 형상인 등속조인트 하우징을 축대칭으로 정밀 근사시켜, 이를 성형하기 위한 냉간단조 공정설계를 강-소성 유한요소 시뮬레이션하였다. 다단계 공정의 시뮬레이션과정을 통하여 최종형상의 치수와 동일한 형상을 성형할 수 있는 공정을 체계적으로 설계하였으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 산업현장에서 개발하고자 하는 등속조인트 하우징을 선정, 이의 성형을 위한 다단계 냉간단조 공정을 성형과정에서 발생하는 실제적인 문제(하우징의 컵부분 끝단에서의 미성형 부분발생, 끝단의 경사각도 유지, 프레스용량 등)를 고려하여 원하는 치수의 최종제품을 성형할 수 있도록 설계하였다.

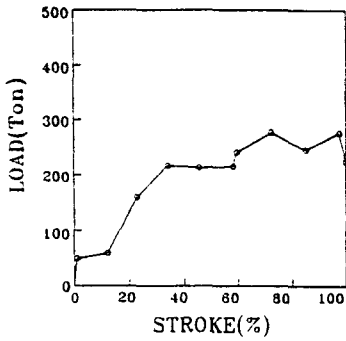
(2) 여러번의 시뮬레이션을 거치는 동안의 각 공정에 대한 정보들을 이용하여 최종제품의 치수와 동일한 형상을 성형할 수 있는 공정조건과 예비성형체를 구하였다.

(3) 시뮬레이션과정에서 구한 소재의 속도분포, 유효 변형률분포, 하중-행정의 곡선 및 하우징 컵 바닥 주위에서의 표면균열 발생여부 조사 등은 본 연구에서 행한 등속조인트 하우징뿐만 아니라, 이와 유사한 새로운 형상의 등속조인트 하우징의 공정설계에 있어서 유용한 정보로 제공될 것이다.

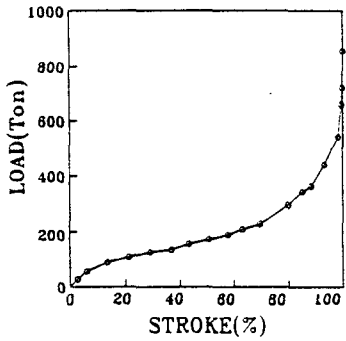
이상의 연구 결과에서 유한요소법을 활용한 소성가공의 공정설계는 실제현장에서 필요한 정보들을 미리 얻을 수 있으며, 이러한 정보들을 토대로 실제 공정을 설계할 수 있다. 이와 같은 체계적인 설계기법은 앞으로 그 활용성이 크게 증대될 것이다.

### 참고문헌

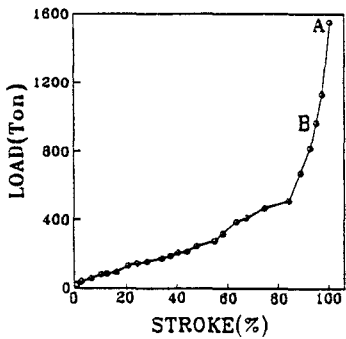
- (1) Lange, K., 1958, *Closed-Die Forging of Steel (in German)*, Springer-Verlag GmbH & Co. KG.
- (2) Altan, T., Boulger, F. W., Becker, J. R., Akgerman, N. and Henning, H. J., 1973, "Forging Equipment, Materials, and Practices," *MCIC-HB-03*, Battelle-Columbus Laboratories, Columbus, OH.
- (3) Pale, J. A., Shivpuri, R. and Altan, T., 1992, "Recent Developments in Tooling, Machines and



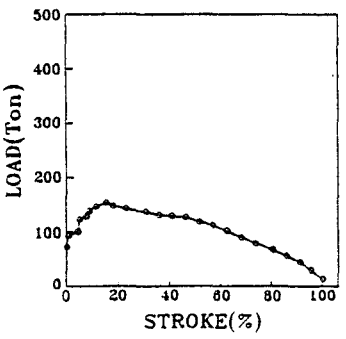
(a) Extrusion



(b) Closed die forging



(c) Deep backward extrusion using die in Fig. 6(c)



(d) Ironing

Fig. 15 Load-stroke curves for the four-operation process

- Research in Cold Forging of Complex Parts," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 33, pp. 1~29.
- (4) Biswas, S. K. and Knight, W. A., 1975, "Preform Design for Closed Die Forgings : Experimental Basics for Computer Aided Design," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 15, pp. 179~193.
- (5) Yu, G. B. and Dean, T. A., 1985, "A Practical Computer-Aided Approach to Mould Design for Axisymmetric Forging Die Cavities," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 25, No. 1, pp. 1~3.
- (6) Sevenler, K., Raghupati, P. S. and Altan, T., 1987, "Forming Sequence Design for Multistage Cold Forging," *J. of Mech. Work. Tech.*, Vol. 14, pp. 121~135.
- (7) Osakada, K., Kado, T. and Yang, G. B., 1988, "Application of AI-Technique to Process planning of Cold Forging," *Annals of the CIRP*, Vol. 37, No. 1, pp. 239~242.
- (8) Bariani, P. and Knight, W., 1988, "Computer-Aided Cold-Forging Process Design : A Knowledge Based System Approach to Forming Sequence Generation," *Annals of the CIRP*, Vol. 37, No. 1, pp. 243~246.
- (9) Vemuri, K. R., Oh, S. I. and Altan, T., 1989, "BID : A Knowledge-Based System to Automate Blocker Design," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 29, No. 4, pp. 505~518.
- (10) Park, J. J., Rebelo, N. and Kobayashi, S., 1983, "A New Approach to Preform Design in Metal Forming with the Finite Element Method," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 23, No. 1, pp. 71~79.
- (11) Hwang, S. M. and Kobayashi, S., 1986, "Preform Design in Disk Forging," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 26, No. 3, pp. 231~243.
- (12) Yang, D. Y. and Kim, K. H., 1988, "Rigid-Plastic Finite Element Analysis of Plane Strain Ring Rolling," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 30, No. 8, pp. 571~580.
- (13) Kang, B. S., Kim, N. S. and Kobayashi, S., 1990, "Computer-Aided Preform Design in Forging of an Airfoil Section Blade," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 30, No. 1, pp. 43~52.
- (14) Kim, N. S. and Kobayashi, S., 1990, "Preform Design in H-Shaped Cross Sectional Axisymmetric Forging by the Finite Element Method," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 30, No. 2, pp. 243~268.
- (15) Kang, B. S. and Kobayashi, S., 1991, "Preform Design in Ring Rolling Processes by the Three-Dimensional Finite Element Method," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 31, No. 1, pp. 139~151.
- (16) Kang, B. S., 1991, "Process Sequence Design in a Heading Process," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 27, pp. 213~226.
- (17) Altan, T. and Knoerr, M. 1992, "Application of the 2D Finite Element Method to Simulation of Cold-Forging Processes," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 35, pp. 275~302.
- (18) Kang, B. S., Lee J. H. and Others, 1993, "Preform Design in Flashless Forging of Rib/Web-Shaped Plane-Strain Component," Submitted for Publication.
- (19) Kang, B. S. and Kobayashi, S., 1993, "Process Sequence Design in Cold Forging to Form a Constant Velocity Joint Housing," Submitted for Publication.
- (20) Maki, T., 1982, "Trends in Forging Technology in Field of Constant-Velocity Joint," *JIDOSHA-GIJUTSU (JSAE)*, Vol. 36, p. 898.
- (21) KOMATSU Ltd., 1982, "KOMATSU Warm and Cold Forging System : Constant-Velocity Joint Forging Line," *FESA-E-G-003*.
- (22) Fujikawa, S., Yoshioka, H. and Shimamura, S., 1992, "Cold and Warm-Forging Applications in the Automotive Industry," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 35, pp. 317~342.
- (23) Project Team of Il-shin Cold Forging Company, 1992, "Cold Forging Process to Form a C. V. Joint Housing," Summary Report, Il-shin Cold Forging Company, Ltd., Changwon, Korea.
- (24) Zienkiewicz, O. C., 1977, *The Finite Element Method*, McGraw-Hill, New York.
- (25) Kobayashi, S., Oh, S. I. and Altan, T., 1989, "Metal Forming and the Finite-Element Method," Oxford Univ. Press.