

〈論 文〉

유한요소해석을 통합한 다단 냉간단조 공정설계시스템

최재찬* · 김병민* · 이언호**

An Integrated Process Planning System and Finite Element Simulation for Multistage Cold Forging

J. C. Choi, B. M. Kim and E. H. Lee

Abstract

An integrated process planning system can determine desirable operation sequences even if they have little experience in the design of multistage cold forging process. This system is composed of seven major modules such as input module, pre-design module, formability check module, forming sequence design module, forming analysis module, FEM verification module, and output module which are used independently or in all. The forming sequence for the part can be determined by means of primitive geometries such as cylinder, cone, convex, and concave. By utilizing this geometrical characteristics(diameter, height, and radius), the part geometry is expressed by a list of the primitive geometries. Accordingly, the forming sequence design is formulated as the search problem which starts with a billet geometry and finishes with a given product one. Using the developed system, the sequence drawing with all dimensions, which includes the dimensional tolerances and the proper sequence of operations for parts, is generated under the environment of AutoCAD. Several forming sequences generated by the planning system can be checked by the forming analysis module. The acceptable forming sequences can be verified further, using FE simulation.

Key Words : Multistage Cold Forging, Process Planning System, FE Simulation, Primitive Geometries, AutoCAD, Sequence Drawing

1. 서 론

냉간단조 성형은 제조분야에서 그 역할이

*부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

**부산대학교 대학원

증대되고 있으며, 최근의 진보된 공구 재료와 설계에 의해 제품의 기계적 성질을 크게 향상시킬 수 있다. 게다가 단조품의 다품종 소량생산, 생산준비 시간의 단축 및 생산비용의 절감 등에 대응하기 위하여 절삭가공을 최소화시키는 정형 가공법에 관한 연구

가 진행 중이며, 현장 기술과 경험만으로 제품을 생산하던 기존의 방법이 점차 컴퓨터 지원 기술로 대체되고 있는 추세이다. (1~11)

이러한 관점에서 2가지의 해석방법이 있는데, 첫번째 방법이 전문가 시스템(expert system)이고 나머지 한 방법은 소성유동 해석을 위한 수치계산(FEM)이다. 두 접근방법 중에서 전문가 시스템만을 사용하는 것은 재료유동이나 응력, 소성변형률, 내부결함, 불완전한 다이 충만성 및 연성파괴 등을 예측할 수 없다. 또한 수치해석적인 방법은 소프트웨어나 하드웨어에 크게 영향을 받고 모델링을 위한 계산시간이 많이 걸리는 것이 수치해석의 어려운 점이다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하고 최적의 공정변수를 찾기 하기 위하여 Osaka⁽¹⁾ 등은 유한요소 시뮬레이션과 전문가 시스템을 연계하여 유한요소해석으로 얻은 결과들을 전문가 시스템의 지식베이스로 사용하였고, Alberti⁽²⁾ 등은 지식베이스 시스템에 의해 실행된 몇가지 가능한 성형절차를 예비선택하여, 그 공정을 유한요소해석을 통하여 최적 성형절차를 결정하는 통합된 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 AutoCAD환경 하에서 프레스나 냉간포머(cold formers)로 성형되는 다단 냉간단조제품에 대해 유한요소해석을 통합한 공정설계시스템을 개발하여 공정설계 시스템에 의해 실행된 몇가지 성형순서 중에서 가장 적절하다고 생각되는 공정도를 결정한 후, 부품의 가공별 치수공차(dimensional tolerances)를 고려하고 실제작업조건에 맞는 금형을 사용하여 그 공정을 유한요소 시뮬레이션을 통하여 검증해 보기로 한다.

그리고 본 시스템은 부품단면의 형상을 필렛/코너반경을 포함하는 기본형상(원통, 원추, 오목원추, 볼록원추)의 합성으로 표현하여 형상특징을 인식시킴으로써 기하학

적 특성(직경, 높이, 반경 등)을 고려한 설계가 가능하며, 또한 형상인식된 부품단면에 대해 단조가능한 단면으로 변환하는 모듈에서는 단조하기 어려운 깊은 홈이나 구멍, 언더컷 등에 대한 형상수정을 하고, 가공여유(machining allowances) 및 필렛/코너반경 등을 지정할 수 있다.

따라서 부품의 치수공차가 고려된 공정도는 필렛/코너반경을 포함하는 단면의 기본형상에 의해서 구해진 기하학적 특성과 유한요소해석에 의한 검증을 통하여 소재로부터 최종부품까지 결함이 없는 공정순서, 공정수, 작업방법 및 성형하중 등이 자동적으로 창출되며, 이는 AutoCAD환경 하에서 구성하였기 때문에 설계자는 출력된 공정도에 작업도면에 맞도록 화면에서 쉽게 수정할 수 있다.

2. 다단 냉간단조 공정설계시스템

2.1 시스템의 규칙베이스

공정설계 규칙은 "IF[조건부], THEN[결과부]" 형태의 생산규칙(production rule)을 사용하여 규칙베이스를 구성하였으며, 이에 대한 설계규칙은 이미 많은 문헌에 잘 알려져 있다.^(3~11)

2.2 시스템 내의 형상표현

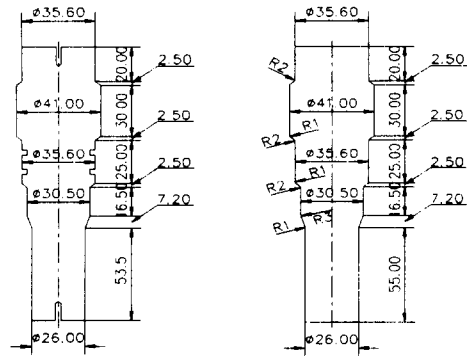
(1) 형상입력 및 도면요소표현

본 연구에서 개발된 시스템은 AutoCAD 환경 하에서 수행되는 AutoLISP을 이용하여 구축되었다. 형상입력 방법은 AutoCAD에 의해 도면화된 파일을 화면상에 적재하거나 혹은 화면상에 사용자가 직접 도면화하여 입력할 수 있다.

입력된 부품단면의 외곽형상은 직선(line)과 원호(arc)로 구성된다. 본 시스템에서는 자동적으로 부품의 다이, 펀치 및 녹아웃에 해당하는 점을 기준으로 단면을 상부와 하부로 분리한 후, AutoCAD drawing data

base⁽¹²⁾로부터 각각의 도면요소를 검색하여 직선에 대하여 시작점 및 끝점 그리고 원호인 경우에는 시작점, 끝점 및 중심점 등으로 단면의 형상을 도면요소표현으로 변환할 수 있다. 단면을 도면요소표현으로 변환하면 쉽게 체적, 직경 및 높이 등을 계산할 수 있다.

(2) 단면의 기본형상(primitive geometry)표현
 입력된 단면형상의 특징을 고려한 공정설계를 자동적으로 수행하기 위하여, 단면의 도면요소표현은 부품단면의 기하학적 특성을 고려한 기본형상표현으로 변환된다. 단면의 기본형상표현은 부품의 하부를 다시 다이부와 녹아웃부로 분리한 후 인접한 도면요소가 만나는 점을 이용하여 단조품을 원통(cylinder), 원추(cone), 오목원추(concave) 및 볼록원추(convex) 등과 같은 기본형상의 리스트로 변환시키고, 이 기본형상에는 높이, 하부 직경, 상부 직경, 필렛/코



(a) assembly ready part (b) cold forgeable part

Fig. 1 An example of forging design

너반경 및 오목/볼록원추의 반경 등의 기하학적 특성이 주어진다. Fig. 1(b)와 같은 중실 다단 부품의 하부를 도면요소표현을 통해 기본형상표현으로 변환하면 다음과 같다.

• 기본형상표현 : 부품의 하부(다이부 및 녹아웃부)

	높이	하부 직경	상부 직경	필렛 반경	코너 반경	오목/볼록 원추의 반경
(0.0 ("CYLINDER"	30.0	41.0	41.0	1.0	0.0	0.0)
("CONE"	2.5	35.6	41.0	2.0	1.0	0.0)
("CYLINDER"	25.0	35.6	35.6	1.0	2.0	0.0)
("CONE"	2.5	30.5	35.6	2.0	1.0	0.0)
("CYLINDER"	16.5	30.5	30.5	3.0	2.0	0.0)
("CONE"	7.2	26.0	30.5	1.0	3.0	0.0)
("CYLINDER"	55.0	30.0	30.0	0.0	1.0	0.0)
("CONE"	0.0	0.0	26.0	0.0	0.0	0.0)

여기서 원통과 원추인 경우는 오목/볼록 원추의 반경이 0.0이다.

2.3 시스템의 구성

유한요소해석을 통합한 다단 냉간단조 공정설계시스템의 구성은 Fig. 2와 같이 크게 7개의 모듈, 즉 입력모듈, 전처리설계(pre-design)모듈, 성형성·결합 검토모듈, 공정순서 결정모듈, 공정해석모듈, 유한요소해

석 검증모듈 및 출력모듈 등으로 구성되었다.

먼저 입력모듈에서는 AutoCAD환경 하에서 도면화된 기계가공 부품, 소재 직경과 재질 및 접촉면의 마찰계수(μ , m) 등을 입력하며, 만약 재질이 데이터베이스에 없으면 사용자가 등가탄소량 및 성형한계 등을 대화식으로 입력한다.

전처리설계모듈에서는 기계가공 부품을

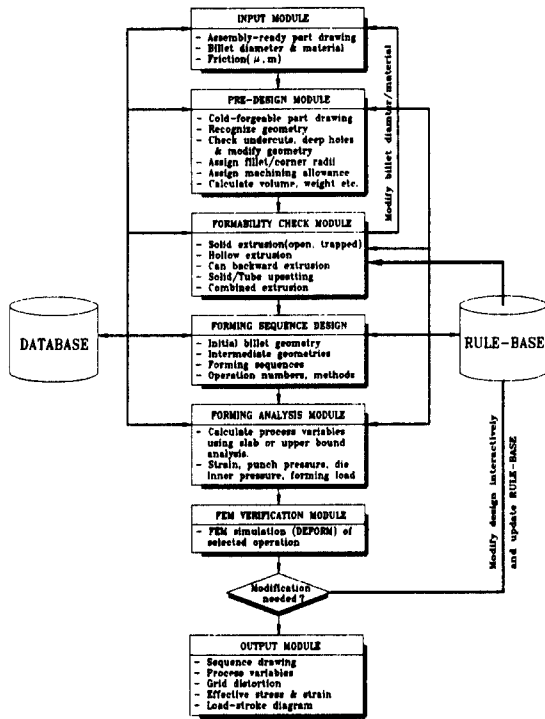


Fig. 2 Structure of integrated process planning system

단조가능한 부품으로 변환하기 위한 모듈로서, 기본형상의 합성으로 형상인식된 Fig. 1(a)의 부품단면에 대해 먼저 펀치, 다이 및 녹아웃에 해당하는 단면을 상부와 하부로 분리한 후, 언더컷, 단조하기 어려운 깊은 홈이나 구멍 등의 유무를 확인하여 Fig. 1(b)처럼 시스템 내에서 자동적으로 단면을 수정하고, 필렛/코너반경 및 가공여유 등을 지정한다.

성형성·결합 검토모듈에서는 입력된 소재 직경과 재질에 대한 공정별(중실·중공 전방압출, 캔 후방압출, 중실·중공 업세팅 등) 성형성을 검토하고, 예를 들어 중실 구속 전방압출의 경우에는 주대수변형률, 가공 전·후의 길이대 직경비 및 압출각도 등을 이용하여 한번에 구속압출로 성형되는지 혹은 이젝션의 곤란 및 내부결합의 발생 유무 등을 검토한다. 만약에 결합이 예상되면, 소재직경을 재입력하거나 소재재질을

변경하여 결함을 피하도록 한다.^(9~11)

공정순서 결정모듈에서는 기본형상표현으로 형상인식된 부품에 대한 공정별 규칙베이스에 의해 소재로부터 최종부품까지 결함이 없는 공정순서, 공정수, 중간 단계의 기하학적 형상 및 작업방법 등이 자동적으로 창출된다.

공정해석모듈에서는 먼저 공정순서에 의해 구해진 각 작업의 기하학적 형상 및 유동응력 등을 이용하여 상계법 및 슬래브법 등으로 성형순서에 따른 공정변수, 즉 변형률, 펀치압력, 다이내압 및 성형하중 등을 계산하고, 실행된 공정순서들 중에서 공정수, 공정변수 및 중간단계 열처리 유무 등을 비교하여 가장 적절하다고 생각되는 공정순서를 결정한다.

유한요소해석 검증모듈에서는 공정해석모듈에서 결정된 적절한 공정을 실제 금형을 사용하여, 유한요소 시뮬레이션에 의해 재료유동, 재료내부의 유효응력·변형률 분포, 금형내 충만성, 결합 등을 예측할 수 있다. 만약에 재료의 결합 등이 예상되면, 공정조건이나 금형을 수정하여 시뮬레이션하고, 유한요소해석에 의해 검증된 결과는 본 시스템의 규칙베이스에 새롭게 추가하게 된다.

마지막으로 출력모듈에서는 공정도, 공정변수, 유효응력·변형률 분포, 하중-변위선도 등이 출력된다. 여기서 유한요소해석에 의한 검증을 통해 출력된 공정도는 AutoCAD환경 하에서 구성하였기 때문에 설계자는 작업도면에 맞게 쉽게 수정할 수 있다.

3. 적용 및 고찰

본 연구에서는 다단 냉간단조 공정설계시스템에 의해 실행된 몇가지 성형순서 중에서 가장 적절하다고 생각되는 공정도를 결정 한 후, 그 공정을 실제작업조건에 맞는

금형을 사용하여 유한요소해석을 통해 검증하고자 한다.

3.1 공정조건

사용된 재질은 AISI 1010강으로 재료의 응력-변형률 관계식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 72.979 \bar{\epsilon}^{0.220} [\text{Kg}_f/\text{mm}^2]$$

초기 소재는 전단(cropping) 후 상온에서 풀림처리와 윤활처리를 한 것으로 가정하였으며, 각 공정에 대한 공정조건은 Table 1 과 같다. 여기서 구속압출 공정에서의 소재와 금형사이의 틈새(clearance)는 0.20 mm로 하였으며, 업세팅공정에서의 상부편치와 하부금형의 틈새는 2.00 mm로 하였다.

3.2 다단 냉간단조 공정설계시스템의 적용

먼저 공정설계시스템의 적용을 살펴 보면, Fig. 1(a)의 기계가공품을 단조가능한 부품으로 변환된 Fig. 1(b)의 중실부품에 대해서 소재직경 $\phi 41.00$ 과 $\phi 35.60$ 을 사용하여 실행한 결과는 다음과 같다.

Table 1 Conditions of process design for multistage cold forging

Conditions	Processes	Values
Phosphate-soap lubricants	Slab method	$\mu=0.04$
	Upper-bound method	$m=0.08$
Die land length	Trapped extrusion die	3.00 mm
	Open extrusion die	2.00 mm
Clearances	Trapped extrusion	0.20 mm
	Upsetting	2.00 mm
Die relief angle	Extrusion die	3.00°

입력된 소재직경 $\phi 41.00$ 에 대해 구속압출 시의 소재와 금형 사이의 틈새가 고려된 소재의 최종직경은 $\phi 40.60$ 으로 나타났으며, Fig. 3(a), Table 2와 Table 3은 소재직경 $\phi 40.60$ 으로 할 때의 출력결과이다. Fig. 3(a)는 먼저 2회의 구속압출과 압출반각 15° 로 양단 비구속압출되고, 마지막 공정에서 1회의 양단 업세팅으로 최종부품이 완성되는 공정순서이다. 이때의 공정변수들은 중간단계 열처리의 유무에 따라 각각 Table

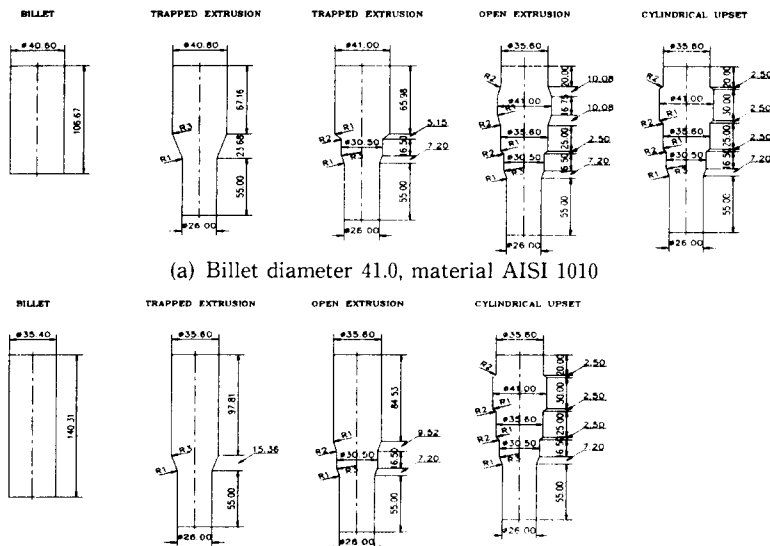


Fig. 3 Example sequences

2, Table 3과 같이 출력된다.

입력된 소재직경 $\phi 35.60$ 에 대해 구속압출 공정에서의 틸새가 고려된 소재의 최종 직경은 $\phi 35.40$ 이며, Fig. 3(b), Table 4와 Table 5는 소재직경을 $\phi 35.40$ 으로 할 때의 공정순서 및 출력결과이다. Fig. 3(b)는 먼저 구속압출과 압출반각 15° 로 비구속압출되고, 마지막 단계에서 한번에 양단 업세팅된다. 이때의 공정변수들은 중간단계 열처리의 유무에 따라, 각각 Table 4, 5와 같이

Table 2 Output of process variables using billet diameter 41.0 without annealing

Variables Process	Strain	Punch pressure [kg/mm ²]	Die pressure [kg/mm ²]	Forming load [tons]
Cropping				54.17
Trapped extrusion	0.90	92.40	70.74	120.80
Trapped extrusion	0.59	75.49	53.83	99.67
Open extrusion	0.56	46.22	2.9	61.02
Cylindrical upsetting	0.28	137.16	93.84	181.1

Table 3 Output of process variables using billet diameter 41.0 without annealing

Variables Process	Strain	Punch pressure [kg/mm ²]	Die pressure [kg/mm ²]	Forming load [tons]
Cropping				54.17
Trapped extrusion	0.90	92.40	70.74	120.80
Trapped extrusion	0.59	110.01	88.35	145.24
Open extrusion	0.56	83.04	39.72	109.68
Cylindrical upsetting	0.28	245.16	201.84	323.66

출력된다.

여기서 Table 2, 3, 4 및 5는 상계법 및 슬래브법 등에 의해 구해진 각 작업의 공정 변수들, 즉 변형률, 펀치압력, 다이내압 및 성형하중 등을 나타낸다.

일반적으로 플랜지가 있는 부품에서 머리부의 강도를 높이려면, Fig. 3(b)와 같이 소재직경 $\phi 35.60$ 으로 머리부의 변형률을 크게 함으로써 요구하는 기계적 성질을 갖게 할 수 있고, Fig. 3(a)의 공정순서는 최종부품의 직경 $\phi 41.00$ 부분이 계속해서 변형을 받으므로 과도한 성형하중이 작용하여 결함이 생길 수가 있다. 그리고 냉간포머로 성형되는 단조품들은 통상 각 공정에서의 열

Table 4 Output of process variables using billet diameter 35.6 without annealing

Variables Process	Strain	Punch pressure [kg/mm ²]	Die pressure [kg/mm ²]	Forming load [tons]
Cropping				41.18
Trapped extrusion	0.63	67.92	46.26	67.61
Open extrusion	0.31	25.08	3.42	24.97
Cylindrical upsetting	0.68	133.76	68.78	176.59

Table 5 Output of process variables using billet diameter 35.6 without annealing

Variables Process	Strain	Punch pressure [kg/mm ²]	Die pressure [kg/mm ²]	Forming load [tons]
Cropping				41.18
Trapped extrusion	0.63	67.92	46.26	67.61
Open extrusion	0.31	37.5	15.84	37.33
Cylindrical upsetting	0.68	218.21	153.23	288.08

처리를 하지 않는 경우가 많으므로, Fig. 3(a)와 Fig. 3(b) 및 Table 3과 5를 비교해 볼 때 Fig. 3(b)의 공정순서가 Fig. 3(a)에 비해 공정수와 성형하중이 작고 중간열처리를 하지 않아도 되므로 적절한 공정설계라고 생각된다.

3.3 유한요소해석에 의한 검증

공정설계시스템에 의해 결정된 Fig. 3(b)의 공정순서는 실제작업조건에 맞는 금형과 Table 1의 공정조건으로 강소성 FEM 프로그램인 DEFORM⁽¹³⁾을 사용하여 검증하고자 한다.

Fig. 4는 Fig. 3(b)의 공정순서에서 구속압출 금형과 입구안내부(guide entrance)가 없는 비구속압출 금형으로 시뮬레이션한 다음, 마지막 업세팅 금형에서 압출된 부품이 하부금형에 걸치게 됨을 나타낸다. 이는 비구속압출 공정에서 공구 사이의 비구속 소재부가 압출 후 약간의 배불림(swelling)이 생기기 때문이다. 이와 같이 냉간단조시 가공정밀도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 사용하는 프레스의 정밀도와 강성도(stiffness), 소재 체적 및 형상치수의 불평형 등

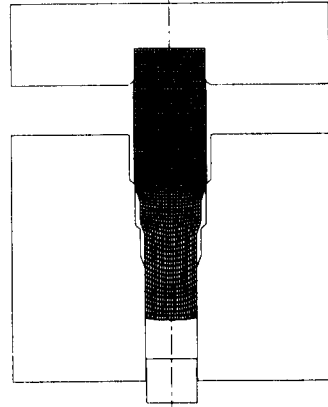


Fig. 4 Initial setting at upsetting process

이다. 특히 소재를 금형의 중심 또는 미리 정해져 있는 금형 속의 정위치에 바르게 두는 일도 부품정밀도를 얻는 데 중요하다. 그리고 가압방향에서의 부품의 치수공차는 프레스의 강성도와 소재 체적의 불평형에 큰 영향을 미치게 되므로,⁽¹⁴⁾ 본 시스템에서는 다단 냉간단조에서의 부품별 치수공차를 고려하여 유한요소해석에 의한 검증을 통해 규칙베이스로 재구축하였다.

따라서 Fig. 3(b)의 공정순서를 구속압출 공정에서의 틈새 0.20 mm 및 각 공정별 치

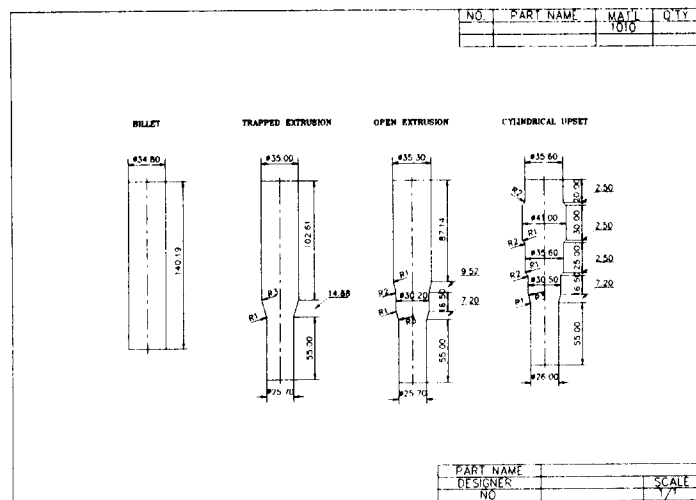


Fig. 5 Sequence drawing considering dimensional tolerances of parts: billet diameter 35.6, material AISI 1010

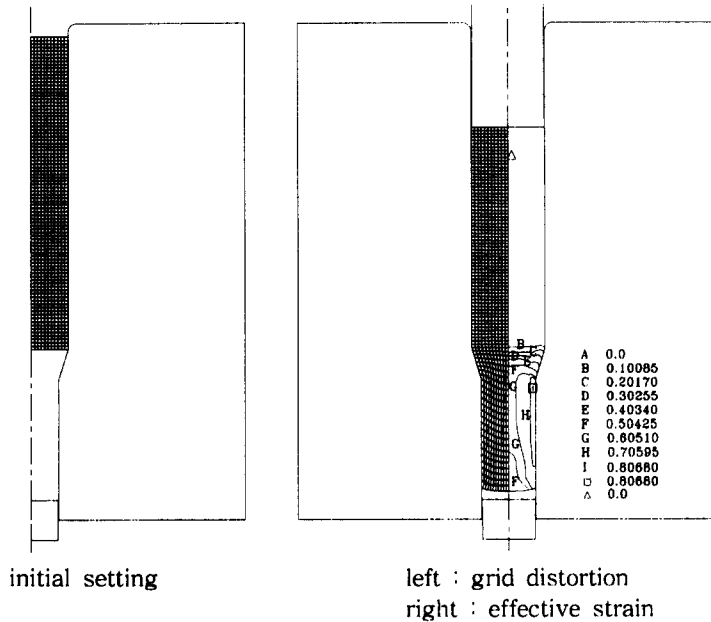


Fig. 6 FEM simulations of trapped extrusion considering dimensional tolerances of parts

수공차 0.30 mm⁽¹⁵⁾ 등을 고려하면, 입력된 소재직경 $\phi 35.60$ 은 $\phi 34.80$ 으로 되며, 본 시스템에서 재설계된 공정도가 Fig. 5와 같이 자동적으로 출력된다. 그리고 틈새 및 치수공차 등이 고려된 공정도 Fig. 5는 유한요소 시뮬레이션을 통해 검증해 보기로 한다.

Fig. 6의 구속압출공정에서의 유효변형률은 다이랜드 부근에서 0.80680(□ 부분)으로 최대가 되었다. Fig. 7의 비구속압출 공정에서는 입구안내부가 있는 금형과 소재의 동심도를 고려한 펀치를 사용하였으며, 입구안내부의 위쪽에서 유효변형률이 0.84274(□ 부분)로 최대이고, 공구 사이의 비구속 소재부는 압출 후 약간의 배블림이 생기는데, 이는 Fig. 8의 업세팅 금형에서 성형되는 부분이므로 별문제는 없다. Fig. 8의 업세팅공정은 머리부의 아랫부분에서 유효변형률이 1.0725(□ 부분)로 최대가 됨을 알 수 있다. 그리고 각 공정별 하중-변위선도는 Fig. 9와 같다.

다음으로 Fig. 10처럼 입구안내부가 없는

비구속압출 금형을 사용할 경우에는 직경 $\phi 30.20$ 부분을 길이 16.50 mm로 압출하게 되면 Fig. 4처럼 공구 사이의 비구속 소재

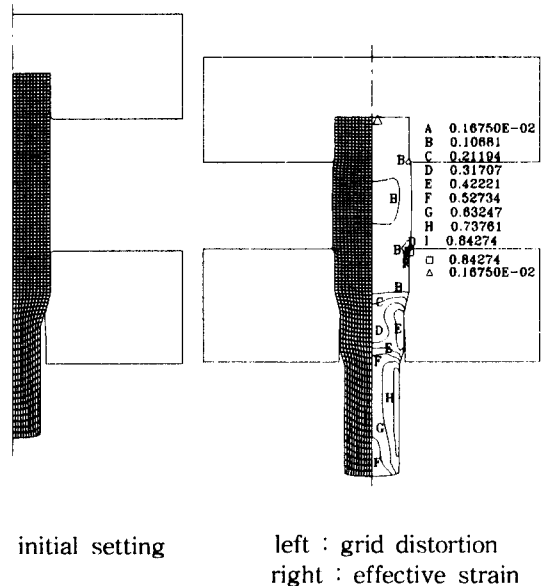


Fig. 7 FEM simulations of open extrusion with guide entrance considering dimensional tolerances of parts

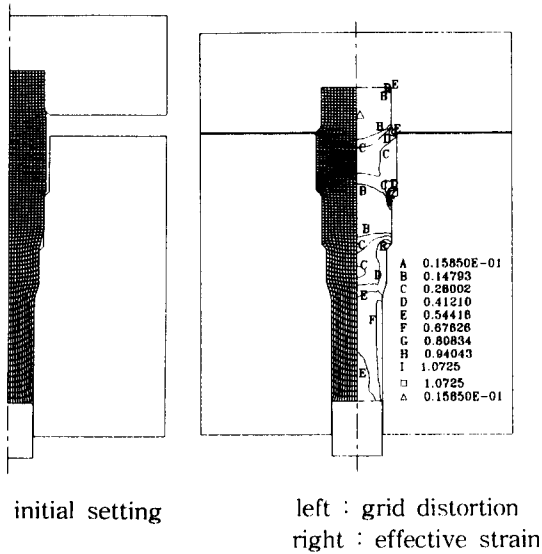


Fig. 8 FEM simulations of cylindrical upsetting considering dimensional tolerances of parts

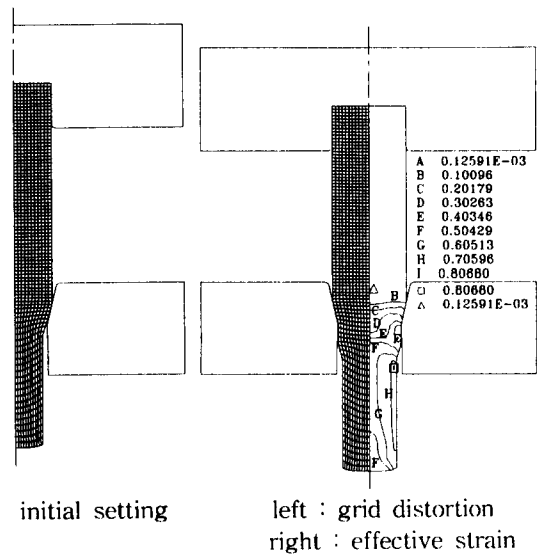
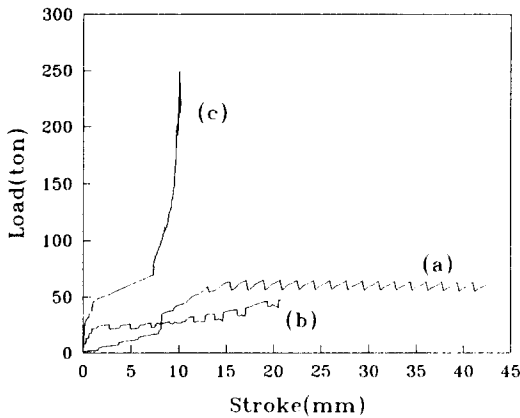


Fig. 10 FEM simulations of open extrusion without guide entrance considering dimensional tolerances of parts



(a) Trapped extrusion
(b) Open extrusion with guide entrance
(c) Cylindrical upsetting

Fig. 9 Load-stroke diagram

부가 약간의 배불림이 생겨서 마지막 업세팅공정에서 부품이 하부금형에 걸치게 된다. 그리고 비구속압출만으로 소재의 직경을 감소시킬 경우 비구속부의 소재직경이 계속해서 증가하여 압출조건에 따라 업세팅 효과가 일어나거나, 펀치행정에 따라 증가된 비구속 소재부의 직경이 냉간압출의 허용공차를 초과하여 압출길이 제한을 받게

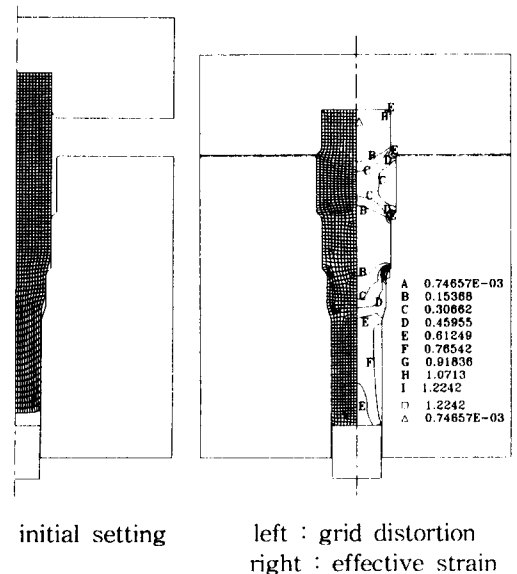
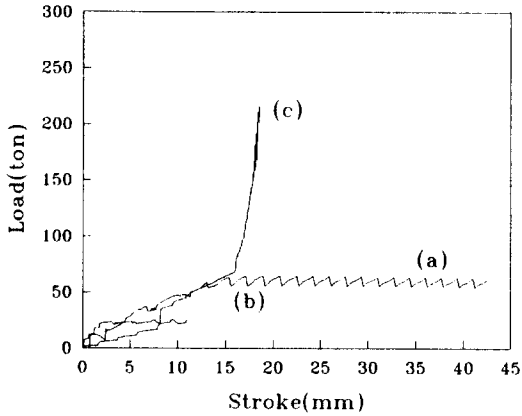


Fig. 11 FEM simulations of cylindrical upsetting considering dimensional tolerances of parts

된다. 따라서 Fig. 10의 유한요소해석에 의한 검증을 통해 압출반각 15°, 마찰상수 0.08일 때 비구속 소재부의 직경이 허용공차 0.30 mm 내에서 비구속압출할 수 있는 최대 압출길이는 7.95 mm가 됨을 알 수 있



(a) Trapped extrusion
 (b) Open extrusion with guide entrance
 (c) Cylindrical upsetting

Fig. 12 Load-stroke diagram

었다.

Fig. 11은 업세팅공정으로서 머리부의 아랫단에서 유효변형률이 1.2242(□ 부분)로 최대가 되었다. 이것은 Fig. 8과는 달리 업세팅에 의해 재료유동이 진행됨에 따라 압출되는 곳이므로 다소 커진 것을 알 수 있다. 그리고 각 공정별 하중-변위선도는 Fig. 12와 같다.

이와 같이 유한요소해석에 의한 검증을 통해 여러 경우를 다양하게 검토하여 설계자는 다단 냉간단조품의 치수공차를 고려한 부품에 대해 최종부품의 기계적 성질, 성형기계의 능력 및 제조설비 등을 고려하여 비용을 최소화 하는 공정설계를 할 수 있다. 그리고 AutoCAD에 의해 출력된 공정도는 효율적인 도면 관리를 위해 공차, 기호 등을 기입함으로써 현장에 바로 사용할 수 있는 설계 도면으로 사용할 수 있으며, 공정도 및 공정변수들은 바로 시스템 내에 저장되므로 금형설계 및 펀치설계에 이용할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 프레스나 냉간포머로 성형

되는 다단 냉간단조품에 대해 유한요소해석을 통합한 공정설계시스템을 개발하여 유한요소해석에 의한 검증을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 시스템은 AutoCAD환경 하에서 도면화된 부품단면의 도면요소표현으로부터 변환된 기본형상을 이용하여 형상특징을 인식시킴으로써 기하학적 특성이 고려된 설계가 가능하였다.

(2) 필렛/코너반경을 포함하는 단면의 기본형상에 의해 구해진 기하학적 특성과 유한요소해석을 통하여 다단 냉간단조품의 치수공차가 고려된 공정순서, 공정수, 중간단계의 기하학적 형상 및 작업 방법 등이 공정도로 자동 창출된다.

(3) 출력된 공정변수들(변형률, 펀치압력, 다이내압 및 성형하중)과 공정도는 바로 시스템 내에 저장되므로, 금형설계 및 펀치설계에 이용할 수 있다.

(4) 유한요소해석에 의한 검증으로 성형하중, 유효변형률 분포, 금형내 충만 여부, 결함여부 등을 예측할 수 있어, 설계자는 최종부품의 기계적 성질, 성형기계의 능력 및 제조설비 등을 고려하여 비용을 최소화 하는 공정설계를 할 수 있다.

후 기

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원하에 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Osakada, K., Yang, G. B., Nakamura, T. and Mori, K., 1990, "Expert System for Cold-Forging Process Based on FEM Simulation," Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 249~252.
 (2) Alberti, N., Cannizzaro, L. and Micari,

- F., 1991, "Knowledge-Based Systems and F. E. Simulation in Metal-Forming Processes Design An Integrated Approach," Annals of the CIRP, Vol. 40, No. 1, pp. 295~298.
- (3) Lange, K., 1985, "Handbook of Metal Forming," McGraw-Hill, New York.
- (4) Badawy, A. A., Kuhlmann, D. J., Raghupathi, P. S. and Altan, T., 1985, "Computer-Aided Design of Multistage Forging Operations for Round Parts," J. Mech. Work. Technology, 11, pp. 259~274.
- (5) Sevenler, K., Raghupathi, P. S. and Altan, T., 1987, "Forming-Sequence Design for Multi-Stage Cold Forging," J. Mech. Work. Technology, 14-2, pp. 121~136.
- (6) Bariani, P. and Knight, W. A., 1988, "Computer Aided Cold Forging Process Design : A Knowledge-Based System Approach for Forming Sequence Generation," Ann. CIRP, 37, pp. 243~246.
- (7) Osakada, K., Kado, T. and Yang, G. B., 1988, "Application of AI-Technique to Process Planning of Cold Forging," Ann. CIRP, Vol. 37-1, pp. 239~242.
- (8) Nakanishi, K., Takata, O., Yamazaki, T., Danno, A., Shirai, T., Imai, T. and Mure, Y., 1993, "Knowledge Based System for Forming-Sequence Design of Multistage Cold Forging," J. of the JSTP, Vol. 43 No. 387, pp. 416~421.
- (9) 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, 1988, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간 단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구 (I)," 대한기계학회 논문집, 제12권 제4호, pp. 712~720.
- (10) 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, 1989, "PC에 의한 냉간단조공정 및 금형설계의 전산화에 관한 연구(II)," 대한기계학회 논문집, 제13권 제1호, pp. 190~198.
- (11) 최재찬, 김병민, 이언호, 김성원, 김호관, 1994, "다단 냉간단조품의 자동공정설계시스템," 한국정밀공학회지, 제11권 제4호, pp. 77~87.
- (12) 김용성, 서재철 譯, 1989, "AutoCAD 와 DATABASE," 영진출판사.
- (13) Oh, S. I., Private Communication, SFTC Inc., Columbus, Ohio and DEFORM Manual(Version 4.0).
- (14) 기전연구소 편집부 譯, 1989, "프레스 핸드북," 기전연구소.
- (15) ICFG document DOC 1/77, "Production of Steel Parts by Cold Forging."