

# 기어류 부품의 단조 금형설계용 CAD 프로그램 개발

최종웅\*, 조해용\*\*, 최재찬\*\*\*, 조창용\*\*\*\*

## A Development of CAD Program for Forging Die Design of Gear Components

J. Choi\*, H. Y. Cho\*\*, J. C. Choi\*\*\* and C. Y. Jo\*\*\*\*

### ABSTRACT

This study described computer aided die design system for cold forging of non-axisymmetric parts. To design the die of cold forging, an integrated approach based on a rule-base system and commercial F. E. code were adopted. This system is implemented on the personal computer and its environment is a commercial CAD package named as AutoCAD. The system includes four modules. In the initial data input module, the variables which are necessary to design of die are inputted by user and die material are selected from the database. In the analysis and redesign module, stress distribution action on the designed die is analyzed by commercial FEM code NISA II. The designed die is modified to prevent failure in both states of stress free and pressurizing. The developed system provides powerful capabilities for die design of non-axisymmetric parts.

**Key Words :** Non-Axisymmetric Three-Dimensional Parts(비축대칭 3차원 부품), Stress Concentration (응력집중), Computer Aided Die Design(컴퓨터 원용 금형설계)

### 기 호 설 명

$D_i$	: 컨테이너 내경 [ mm ]	$S_{y2}$	: 제1보강링의 항복강도
$D_o$	: 다이세트의 총 외경 [ mm ]	$D_c$	: 다이내경 [ mm ]
$d_2$	: 제1보강링의 외경	$d_1$	: 금형인서트의 외경
$K_f$	: 금형인서트와 보강링의 항복강도비	$d_3$	: 제2보강링의 외경
$P_{i,opt}$	: 최대허용내압 [ Kg/mm <sup>2</sup> ]	$P_d$	: 다이내압 [ Kg/mm <sup>2</sup> ]
$Q_{1,opt}$	: 최적분할직경비 [ $D_i/d_1$ ]	$Q$	: 최적분할직경비 [ $D_i/d_1$ ]
$Q_{3,opt}$	: 최적분할직경비 [ $d_2/d_3$ ]	$Q_{2,opt}$	: 최적분할직경비 [ $d_2/d_3$ ]
		$S_{y1}$	: 금형인서트의 항복강도
		$S_{y3}$	: 제2보강링의 항복강도

\* 부산대학교 기계기술연구소  
 \*\* 충북대학교 기계공학부, 정회원  
 \*\*\* 부산대학교 기계공학부, NSDM for ERC, 정회원  
 \*\*\*\* 한국기계연구원

## 1. 서 론

간단한 형상의 소재로부터 표면이나 내부에 결함이 없이 보다 복잡한 부품으로 변환시키는 가공법인 단조에 사용되는 금형은 가혹한 작업조건하에서 사용되므로 금형의 손상이 심하여 수명이 매우 짧다. 수명의 저하는 금형 비용의 증가에 그치지 않고 가동률의 저하 및 품질관리 비용의 증가 등에 연관되어 부품 비용의 상승 원인이 되므로 구조, 재질, 강도 등을 고려하여 종합적으로 설계하여야 한다. 특히, 단조품의 정밀도는 금형의 정밀도에 지배적인 영향을 받으므로 정밀부품을 제작하기 위해서는 금형설계시 금형의 탄성팽창, 제품의 탄성회복 등을 고려하여야 한다.<sup>(1-3)</sup> 산업현장에서의 금형설계는 과거의 축적된 기술과 경험이 크게 의존하여 왔으나, 최근에는 설계에 대한 최적의 설계변수 및 금형변수 등을 결정하기 위하여 컴퓨터에 의한 자동화 시스템이 필수적이다.

컴퓨터를 이용한 금형설계 시스템의 개발에는 Choi<sup>(4)</sup> 등이 GWBASIC언어를 사용하여 축대칭 단조품의 금형설계에 있어 경험이 없는 설계자라도 대화식으로 설계할 수 있는 자동화 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 형상 표현의 한계로 인하여 설계대상이 제한되어 있고 출력된 금형도면의 수정이나 재설계를 할 수 없는 불편함이 있었다. Lee<sup>(5)</sup>는 축대칭 단조의 공정설계 및 금형설계를 위하여 AutoLISP언어를 사용하였고 유한요소법을 이용한 검증기능을 포함시켜 향상된 신뢰도를 갖는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 범용CAD프로그램인 AutoCAD환경 하에서 작동되므로 출력된 도면의 수정은 가능하나 금형을 재설계할 때 공정변수를 처음부터 다시 입력하여야 하는 불편함이 있었으며 부품들도 중실, 중공 및 캔 형상의 축대칭 부품들로 한정되어 있었다.

비축대칭 형상의 단조에 관한 금형설계에 있어 Cho<sup>(6)</sup>는 헬리컬 기어의 압출에 대하여 전극의 과방전량과 압출기어의 후가공을 고려한 금형을 설계하고 합금강을 소재로 하여 유한요소해석과 실험을 행하였다. Choi<sup>(7)</sup> 등은 기어류 부품의 단조에 있어 상계법을 이용하여 금형에 작용하는 하중을 구하고 이를 바탕으로 보강링을 사용한 금형을 설계하고 실험하였으나 이것은 모델 재료인 알루미늄에 적용가능한 것이었고 실제 재료인 합금강에 대하여 적용할 수 없었다. 이상에서와 같이 금형설계의 자동화는 CAM을 위하여 주로 CAD 프로그램 상에서 구현하고 있으며, 지금까지 개발된 시스템들은 압출, 2차원 축대칭 부품의 단조 및 알루미늄과 같은 모델재료에만 적용이 가

능한 것이었다.

따라서, 본 연구에서는 컴퓨터를 이용한 비축대칭 냉간 단조품의 금형설계 프로그램을 개발하여 금형설계와 도면출력을 자동화하고 금형설계에 경험이 없는 초보자라도 숙련자와 같이 금형을 설계할 수 있는 금형설계 시스템을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 여러 문헌<sup>(2, 4-7)</sup>에서 제시된 2차원 축대칭 금형설계규칙과 경험식을 사용하여 축대칭형상에 대한 금형을 먼저 설계한다. 설계된 금형을 이용하여 비축대칭 형상에서 발생하는 응력집중을 고려하기 위해 유한요소해석을 한다. 유한요소해석을 통하여 금형의 안정도를 평가하고 설계된 금형이 단조중 파손되지 않도록 여러 가지 금형변수를 수정하여 비축대칭 부품의 단조에 적용 가능한 금형설계 프로그램을 개발하고자 하였다. 또한, 개발된 프로그램을 일반적인 비축대칭 부품인 인벌류우트 스피어 기어의 단조 금형설계에 적용하여 금형을 설계하고자 하였다.

## 2. 금형설계 규칙베이스<sup>2-5)</sup>

본 연구에서 개발된 냉간단조품의 금형설계 시스템의 규칙베이스는 전문기술지식을 소성역학이론, 각종 핸드북, 관련문헌 및 생산현장 전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반적이고 이론적으로 모순이 없는 사항에 대하여 규칙베이스로 구축하였다.

전문가 시스템의 지식을 표현하는 방법으로는 if-then 형의 생성규칙(production rule)에 의한 표현방법, 클래스와 객체형태의 프레임(frame)에 의한 표현방법, 노드(node)와 아크(arc)에 의해 표현되는 의미망(semantic net)에 의한 표현방법 등 많은 방법이 제안되어 쓰이고 있는데, 본 금형설계에 구축된 시스템은 결정트리에 기초한 "IF [conditions] THEN [actions]" 형태의 생성규칙을 이용하였다. 조건부의 정보에 따라서 결과부의 정보를 계산하고 결과부의 출력정보는 다음 조건부의 입력정보가 된다. 여기에 제시된 규칙베이스는 경험적인 설계지침들과 노하우(know-how)를 체계화하여 정량화 하였다.

- 규칙 1) 금형세트 총 외경은 프레스의 체원에 따라 결정된다.
- 규칙 2) 금형인서트와 보강링의 항복조건은 Tresca 항복조건을 적용한다.
- 규칙 3) 금형인서트와 보강링의 조립순서는 다이 인서트의 교체가 편리하도록 최외각 링부터 순차적으

로 행한다.

규칙 4) 금형인서트와 보강링의 설계는 최대허용내압이 발생할 수 있도록 직경을 분할한다. 최대허용 내압 계산식은 다음과 같다.

보강링이 1개인 경우 :

$$P_{i\ opt} = S_{y1} \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{K_1} \right] - Q \cdot \sqrt{\frac{1}{K_1}} \right)$$

보강링이 2개인 경우 :

$$P_{i\ opt} = \frac{1}{2} \cdot (S_{y1} + S_{y2} + S_{y3}) - \frac{1}{2} S_{y1} \cdot Q_{1\ opt}^2$$

규칙 5) 최대허용내압이 작용할 때는 금형인서트와 보강링이 동시에 항복되도록 끼워맞춤공차를 준다. 끼워맞춤공차 계산식은 다음과 같다.

보강링이 1개인 경우 :

$$Z_1 = \left[ \frac{1}{E_2} \frac{1 + Q_{2\ opt}^2}{1 - Q_{2\ opt}^2} + \frac{1}{E_1} \frac{1 + Q_{1\ opt}^2}{1 - Q_{1\ opt}^2} \right] \cdot P_1 \cdot d_1$$

보강링이 2개인 경우 :

$$Z_1 = \left[ \frac{1}{E_2} \frac{1 + Q_{2\ opt}^2}{1 - Q_{2\ opt}^2} \cdot \frac{Q_{3\ opt}^2}{Q_{3\ opt}^2} + \frac{1}{E_1} \frac{1 + Q_{1\ opt}^2}{1 - Q_{1\ opt}^2} \right] \cdot P_1 \cdot d_1$$

$$Z_2 = \left[ \frac{1}{E_3} \frac{1 + Q_{3\ opt}^2}{1 - Q_{3\ opt}^2} + \frac{1}{E_2} \frac{1 + Q_{2\ opt}^2}{1 - Q_{2\ opt}^2} \right] \cdot P_2 \cdot d_2$$

규칙 6) 금형인서트와 보강링의 설계에서 다이내압  $P_d$ 와 최적 분할비를 사용할 때의  $P_{i\ opt}$  및 끼워맞춤에 의한 금형인서트의 항복방지를 위한 한계내압  $P_{i\ limit}$ 의 관계는  $P_d \leq P_{i\ opt} \leq P_{i\ limit}$  이다.

한계내압 계산식은 다음과 같다.

보강링이 1개인 경우 :

$$P_{i\ limit} = S_{y1} \cdot (1 - Q^2) \begin{cases} Q = 0 \\ \frac{P_{i\ opt}}{S_{y1}} = 1 \end{cases}$$

보강링이 2개인 경우 :

$$P_{i\ limit} = S_{y1} \cdot (1 - Q^2) \begin{cases} Q = 0.22 \\ \frac{P_{i\ opt}}{S_{y1}} = 0.95 \end{cases}$$

규칙 7) 금형인서트와 보강링이 동일한 공구강이면, 압

축응력이나 인장응력에 대하여 동일한 항복강도를 가지므로 작업중에 금형인서트에 인장응력을 허용한다.

규칙 8) 금형인서트와 보강링의 재질이 다른 경우 즉, 금형인서트의 재질이 초경합금(W.C.)이면, 금형인서트가 인장응력에 취약하므로 작업중에 금형인서트에 인장응력을 허용하지 않는다.

규칙 9) 금형인서트와 보강링의 조립방법은 열박음(heat fitting), 억지끼워박음(press fitting) 및 이들의 조합된 방법 등이 있다.

규칙 10) 금형의 재질은 기계적 성질에 따라 작업 중 결합이나 파손이 일어나지 않도록 Table 1과 Table 2에서 선정한다.

규칙 11) 마모가 현저한 대량생산과 정밀공차를 갖는 부품을 성형할 때의 금형의 재질은 초경합금을 선정하며 기계적 성질은 Table 2와 같다.

규칙 12) 보강링의 열박음은 [가열온도] ≤ [뜨임(tempering)온도] 이다.

### 3. 프로그램의 구성과 작동원리

일반적인 기계장치와 마찬가지로 금형설계에서도 설계 시간 단축 및 품질향상을 위해 컴퓨터를 이용한 설계 및 제작기술 개발이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 앞서 논의한 방법론에 근거해 Fig. 1과 같이 전체시스템을 구성하고 컴퓨터를 이용하여 금형을 설계하기 위한 통합설계 시스템을 구축하고자 하였다. 시스템의 구성은 초기치 입력 모듈, 금형설계 모듈, 금형 해석 및 수정 모듈 및 이들 모듈간의 관리 및 통제를 위한 관리모듈 등의 4개 모듈로 이루어져 있다.

본 시스템은 금형해석 및 수정 모듈에서 금형을 해석하기 위한 유한요소해석을 제외한 모든 모듈은 하나의 환경에서 수행되며, 각 모듈사이에서 시스템을 중단하지 않고서도 모든 과정을 수행할 수 있다.

금형에 대한 유한요소해석은 AutoCAD환경에서 작동하는 AutoLISP언어로 작성된 시스템에 의해 자동설계된 금형을 FEM 프로그램인 NISA II를 이용하여 시뮬레이션 함으로써 비축대칭 부품을 단조가공할 경우 금형에 작용하는 응력분포 및 응력집중부위를 예측할 수 있다. 본 시스템과 NISA II와의 인터페이스는 IGES파일을 통해서 이루어진다.

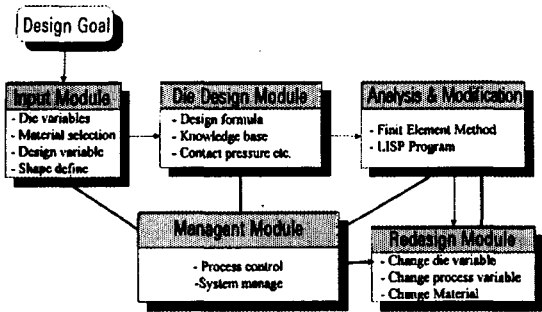


Fig. 1 Structural diagram of the developed system

### 3. 1 관리모듈

일반적으로 금형은 그 용도 및 사용조건에 따라 강도적 신뢰성, 요구수명 등이 만족되도록 설계된다. 이러한 설계과정에서 여러 가지 다양한 설계지식이 존재하고 이들 각각의 모듈은 상호간에 긴밀한 협조를 통해서 설계를 진행해 가야한다. 이에 관리모듈에서는 모듈간의 자료전달 및 상호협조를 위해 각 모듈 사이에 연관된 공통의 변수들을 참조하여 각 모듈에 필요한 값들을 구할 수 있도록 하였다. 또한, 이러한 값들이 어떤 모듈에 의해 변화될 경우 이를 해결할 수 있도록 설계자의 지식을 이용할 수 있는 대화식으로 설계를 진행하게 된다.

### 3. 2 초기치 입력모듈

초기치 입력 모듈은 금형설계의 초기값을 입력하는 모듈로서 다이 변수 입력부분, 금형의 재질 선택부분, 설계 변수 입력부분 및 단조품 형상입력부분으로 구성되어 있다. 금형설계에 필요한 다이 변수들은 금형의 총외경 및 두께, 보강링의 개수 등이 있다. 단조품 형상입력부분에서 기어단조 금형의 경우 잇수, 모듈, 압력각 등의 변수가 있으며 이 값들은 사용자가 정의해 주어야 한다.

### 3. 3 금형설계 모듈

금형설계 모듈은 금형재질에 대한 데이터 베이스를 이용하여 주어진 입력사항을 기초로 하여 실제 제작에 필요한 금형변수, 즉 최적 분할직경, 한계내압, 접촉면압, 끼워맞춤 공차 등이 계산된다. 실제 본 시스템으로 설계할 때 본 모듈에서 설계된 결과는 설계자에게 화면으로 보여지고 이를 받아들이게 되면 해석 및 수정모듈의 입력조건으로 넘겨진다.

### 3. 4 금형해석 및 수정모듈

금형해석 및 수정모듈은 금형설계 모듈에서 설계된 금형에 대하여 유한요소법을 이용한 응력해석 및 이를 기초

로 금형의 수명향상을 위해 금형수정을 할 수 있는 모듈이다. 이때 유한요소해석을 위해 설계된 금형에 부과되는 경계조건은 인서트와 보강링, 보강링과 보강링 사이의 끼워맞춤 공차에 의해 발생하는 접촉면압과 최종성형단계에서 다이에 작용하는 성형압력 등이다. 이때 입력값인 접촉면압과 단조 최종상태에서 금형에 작용하는 내압은 각각 LISP 프로그램과 참고문헌(9)에서 제시된 속도장을 이용하여 상계법으로 구한 값을 사용한다.

외치형 기어류 부품을 내면에 치형이 가공된 금형을 사용하여 단조할 경우 치형의 기하학적 형상으로 인하여 이뿌리부에 응력집중으로 인한 과도한 응력이 발생하여 금형이 파손될 수 있다. 금형파손이 예측될 경우 본 시스템에서 제시한 네 가지 방법을 사용하여 응력의 크기를 감소시키기 위해 금형을 수정하여 재설계 한다. 금형수정의 첫 번째 방법은 금형세트의 총 외경을 증가시키는 방법이다. 두 번째 방법은 금형세트의 총 외경이 결정되더라도 보강링의 개수를 늘임으로써 금형세트의 최대 허용내압을 증가시키는 방법이다. 하지만 이 방법은 다이를 가공할 때 더 많은 비용과 시간이 걸리는 단점이 있다. 세 번째 방법은 금형설계 모듈에서 계산된 공차량을 조절함으로써 금형세트에 작용하는 응력을 조절하여 궁극적으로 금형의 이뿌리부에 작용하는 응력집중의 크기를 감소시키는 방법이다. 네 번째 방법은 강도가 높은 금형재질을 선정하는 방법이다. 금형의 해석 및 수정은 초기치 입력 모듈에서 입력한 공정변수를 변화시키면서 원하는 응력 상태의 금형을 얻을 때까지 반복 수행 할 수 있다.

## 4. 시스템의 적용 결과 및 고찰

### 4. 1 초기치 입력모듈

제시한 금형설계 규칙을 기초로 하여 일반적인 비축대칭 부품중의 하나인 인벌류우트 스피어기어의 단조 금형을 설계한다. 먼저, 제시된 규칙들을 사용하여 축대칭 형상에 대하여 일반적인 금형설계를 한 후 금형해석 및 수정모듈을 거쳐 비축대칭 형상인 기어의 금형을 설계한다. 금형인sert를 제외한 보강링의 개수는 1개, 인서트와 보강링 사이의 마찰계수는 0.13 등을 입력하고 다이 및 펀치의 재질을 선택한다. 금형의 재질을 선택하면 데이터베이스에 Table 1, Table 2와 같이 저장된 재료의 특성량이 자동으로 입력된다. 금형의 재질은 공구강이며 보강링의 압입방법은 열박음이다. 설계대상으로 하는 외치형 기어 부품은 잇수가 10, 모듈 2.0, 압력각 20°인 표준 인

Table 1 Mechanical properties of tool materials

Material	HRC	Young's Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio	Material	HRC	Young's Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio
SKD12	62	206000	2150	0.3	SKH9	62	220000	2150	0.3
SKD12	60	206000	1950	0.3	SKH54	65	230000	2450	0.3
SKD12	58	206000	1650	0.3	SKH54	64	230000	2350	0.3
SKD11	62	209000	2150	0.3	SKH54	63	230000	2250	0.3
SKD11	60	209000	1950	0.3	SKH3	62	206000	2150	0.3
SKD11	58	209000	1650	0.3	SKH3	61	206000	2050	0.3
SKD1	62	208000	2150	0.3	SKH3	60	206000	1950	0.3
SKD1	60	208000	1950	0.3	SKH3	58	206000	1650	0.3
SKD1	58	208000	1650	0.3	SKH3	54	206000	1500	0.3
SKD61	56	212000	1550	0.3	SKH3	50	206000	1300	0.3
SKD61	54	212000	1500	0.3	SKH3	44	206000	1200	0.3
SKD61	52	212000	1450	0.3	SKH3	40	206000	1100	0.3
SKD61	50	212000	1300	0.3	SKS41	58	206000	1650	0.3
SKD61	47	212000	1200	0.3	SKS41	56	206000	1550	0.3
SKD61	42	212000	1100	0.3	SCM4	35	204000	900	0.3
SKD61	35	212000	900	0.3	SCM4	28	204000	700	0.3
SKH9	65	220000	2450	0.3	SNCM8	42	206000	1100	0.3
SKH9	64	220000	2350	0.3	SNCM8	35	206000	900	0.3
SKH9	63	220000	2250	0.3	SNCM8	28	206000	700	0.3

Table 2 Mechanical properties of tool materials(W.C)

Material	HRC	Young's Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio	Material	HRC	Young's Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio
GTT 50	91	630000	4100	0.22	GTT 50	87	540000	3300	0.22
GTT 50	89	610000	3800	0.22	GTT 50	85	500000	3100	0.23
GTT 50	88	570000	3600	0.22	GTT 50	84	450000	2900	0.24

Table 3 Specifications of gear and design variables

Involute spur gear			Die set			
No. of teeth	Module	Pressure angle	Diameter	Material		Height
				Insert	Stress ring	
10	2.0	20°	225.0 mm	STD11, Hrc62	STD61, Hrc50	30.0 mm

벌류우트 스피어 기어이다. Table 3에 초기치 입력모듈에서 사용자에게 의해 결정되는 입력값들을 나타내었다.

4. 2 금형설계 모듈

축대칭 원형 내면을 갖는 금형에 대한 설계 규칙을 이용하여 축대칭 부품의 단조금형을 설계한후 기어의 이괄 원직경을 내경으로 하는 기어류 부품단조 금형을 설계한다. Table 3에서 주어진 입력조건에 따라 계산된 금형변수는 Table 4와 같이 계산되어 화면상에 나타나어지며, Fig. 2는 이를 근거로 설계된 금형이다.

4. 3 금형해석 및 수정모듈

금형설계 모듈에서 설계된 축대칭 단조금형의 결과를 기초로 하여 인벌류우트 치형의 기어단조 금형에 작용하

Table 4 Calculated results of die variables

Variables	Values
Optimum division diameter	81.3242 [ mm ]
Contact pressure	453.638 [ N/mm <sup>2</sup> ]
Theoretical interference fit tolerance	0.4365 [ mm ]

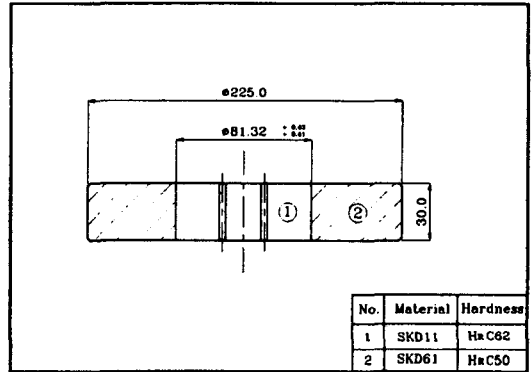
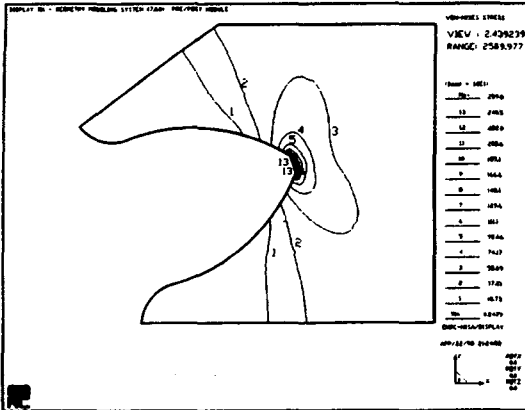


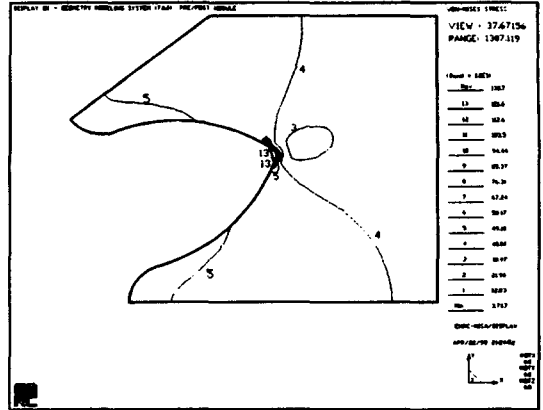
Fig. 2 Schematic drawing of designed die with inputed die variables

는 응력분포를 유한요소 해석한다. 보강링이 1개인 인벌류우트 스피어기어의 단조금형에 대하여 단조 최종상태의 내압이 작용할 때와 작용하지 않을 때 설계된 금형에 발생하는 응력분포를 해석하면 Fig. 3과 같다. 내압이 작용할 경우 이뿌리부의 응력집중으로 인한 최대응력의 크기는 인서트의 항복강도를 초과하지 않지만, 단조 작업을 하지 않는 상태인 내압이 없는 경우는 접촉면압에 의해 이뿌리부에 항복강도를 초과하는 응력이 발생함을 볼 수 있다. 이와 같이 이뿌리부에서 응력집중으로 인한 최대응력이 금형재료의 항복강도를 초과하여 금형의 변형이나 파손의 우려가 있는 경우 금형의 수명향상을 위하여 본 연구에서 제시한 금형수정 방법을 사용하여 최대응력의 크기를 감소시킬 수 있도록 이미 설계된 금형을 수정하게 된다.

금형수정의 첫 번째 방법은 금형세트의 총 외경을 변화시키는 것이다. Fig. 4와 Fig. 5는 225.0 mm인 금형세트의 외경을 각각 250.0 mm와 270.0 mm로 증가시킨 경우에 있어 내압이 작용할 때와 작용하지 않을 때에 대한 응력분포를 나타낸 것으로, 내압이 작용할 때는 금형세트의 외경이 증가함에 따라 끼워맞춤공차량이 증가하여 금형인서트에 작용하는 접촉면압이 커져서 단조 가공 중 인서트에 발생하는 인장응력을 더 많이 감소시킬 수 있으므로 단조 최종상태에서 전체 금형에 작용하는 응력

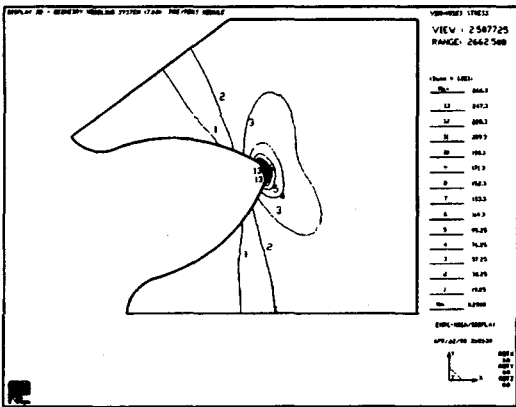


(a) without inner pressure

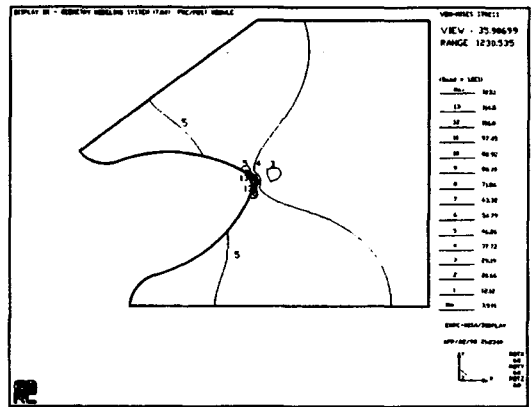


(b) with inner pressure

Fig. 3 Stress distribution on the designed die



(a) without inner pressure



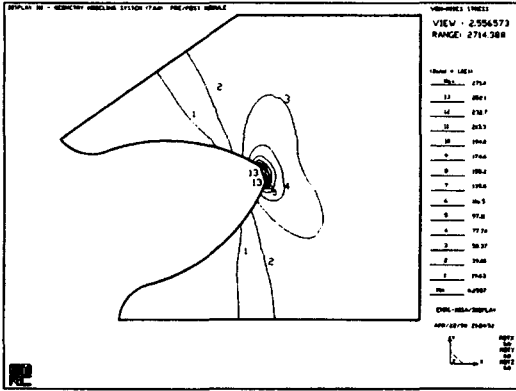
(b) with inner pressure

Fig. 4 Stress distribution on the modified die(Do=250.0mm)

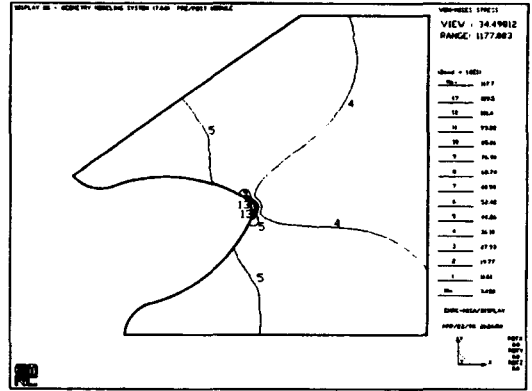
분포 및 이뿌리부에서 최대응력의 크기가 감소함을 볼 수 있다. 반면, 내압이 작용하지 않는 상태에서는 접촉면압의 증가로 인하여 이뿌리부에서 응력의 크기가 증가하여 금형파손에 대한 우려가 더 커짐을 알 수 있다. 따라서, 금형의 전체 외경을 증가시키는 것은 내압이 작용하지 않는 상태에서 최대응력의 크기를 증가시켜 금형의 안정도를 감소시키며, 금형세트의 외경은 프레스의 체원에 따라 이미 결정되어 있으므로 금형수정법으로는 적절하지 못하다.

금형수정의 두 번째 방법은 보강링의 개수를 변화시키는 방법이다. 금형세트의 외경을 고정하고 보강링의 개수를 1개에서 2개로 변화시킨 경우에 있어 금형전체에 발생하는 응력분포를 유한요소 해석하였다. 보강링이 두 개

인 경우에 있어 Table 5와 같은 입력조건에 대하여 본 연구에서 제시한 금형설계 시스템으로써 금형변수를 계산하면 Table 6과 같다. 계산된 설계변수를 이용하여 두 개의 보강링을 갖는 Fig. 6과 같은 금형을 설계하였다. 접촉면압과 최종상태의 단조압력을 경계조건으로 하여 금형에 단조 최종상태의 압력이 작용할 때와 작용하지 않을 때에 대하여 유한요소해석을 수행한 경우의 한 개의 치형에 대한 응력분포를 Fig. 7에 나타내었다. 내압이 작용하는 경우에 대하여 이뿌리부에 작용하는 응력의 크기가 보강링이 1개인 경우보다 상당히 감소함을 볼 수 있으나 이것 역시 내압이 작용하지 않는 상태에서는 이뿌리부에서 응력집중으로 인한 파손이 예측되어 금형개선의 의미가 없다고 생각된다. 또한, 보강링의 개수를 증가시키는 것



(a) without inner pressure



(b) with inner pressure

Fig. 5 Stress distribution on the modified die (Do=270.0mm)

Table 5 Design variables for two stress rings

Diameter	Die material			Height
	Insert	1st stress ring	2nd stress ring	
225.0 mm	STD11, HRC 62	STD61, HRC 50	SCM4, HRC 35	30.0 mm

Table 6 Calculated results of die variables for two stress rings

Variables	Value
Optimum division diameter	61.5908, 129.055 [ mm ]
Contact pressure	572.195, 169.14 [ N/mm <sup>2</sup> ]
Theoretical interference fit tolerance	0.42216, 0.3756 [ mm ]

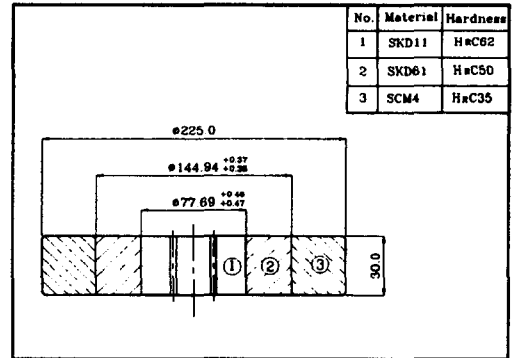
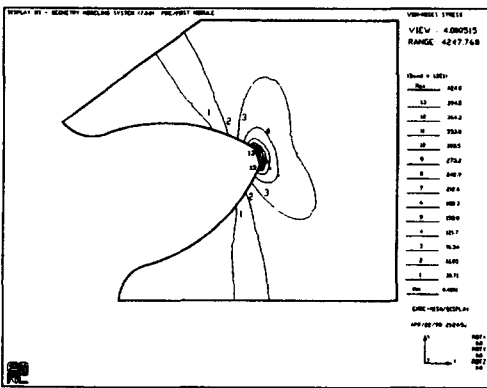
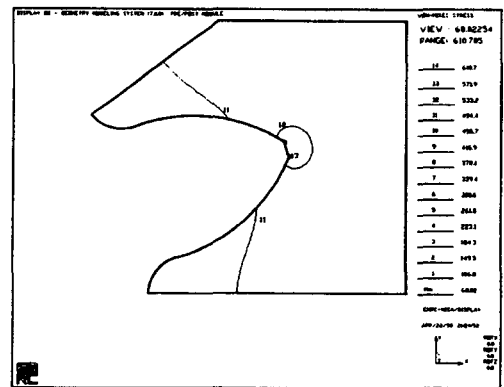


Fig. 6 Schematic drawing of two stress rings



(a) without inner pressure



(b) with inner pressure

Fig. 7 Stress distribution on the die with two stress rings

은 가공시간 및 비용의 증가로 제품원가 상승의 원인이 될 수 있어 바람직 하지 않다.

금형수정의 세 번째 방법은 고강도의 재질을 선택하는 방법이다. 인서트의 재질을 일반적인 공구강보다 압축강

도가 높은 고속도 공구강인 SKH9으로 하고 보강링의 재질을 각각 STD11과 SCM4로 하였을 경우 계산된 설계 변수는 각각 Table 7 및 Table 7과 같으며, 계산된 변수로써 Fig. 8 및 Fig. 9와 같은 금형을 설계하였다.

Table 7 Calculated results of die variables for stress ring material STD11

Variable	Value
Optimum division diameter	81.118 [ mm ]
Contact pressure	576.368 [ N/mm <sup>2</sup> ]
Theoretical interference fit tolerance	0.5438 [ mm ]

Table 8 Calculated results of die variables for stress ring material SCM4

Variable	Value
Optimum division diameter	94.3904 [ mm ]
Contact pressure	289.081 [ N/mm <sup>2</sup> ]
Theoretical interference fit tolerance	0.3321 [ mm ]

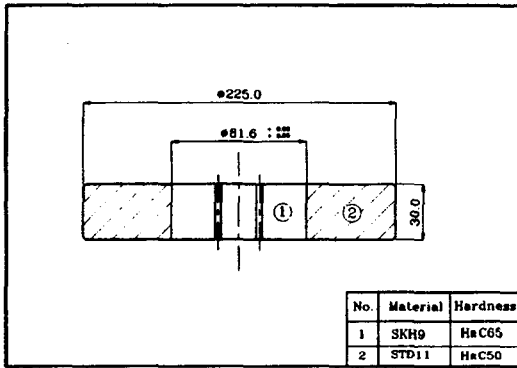


Fig. 8 Schematic drawing of designed die with modified die materials (insert : SKH9, stress ring : STD11)

인서트와 보강링의 재질이 같을 경우 두가지 보강링 재질에 대하여 내압이 작용할 때와 하지 않을 때에 대한 응력분포를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서와 같이 내압

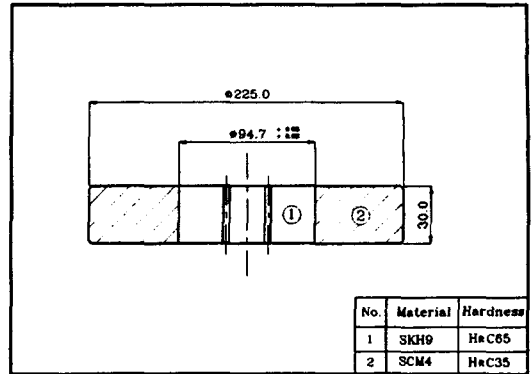
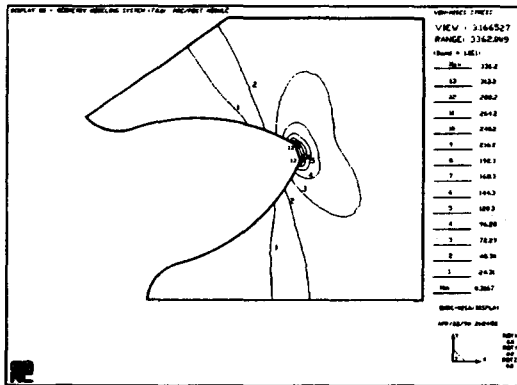


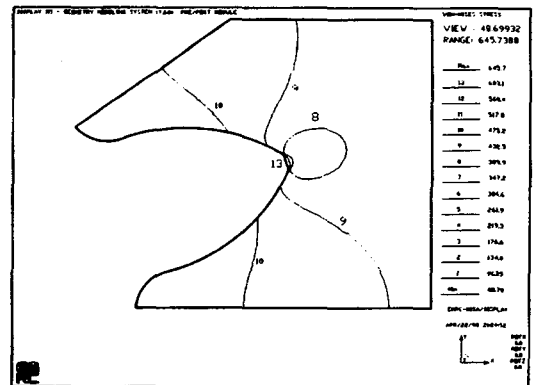
Fig. 9 Schematic drawing of designed die with modified die materials (insert : SKH9, stress ring : SCM4)

이 작용하지 않는 경우 보강링의 강도가 높을수록 금형에 작용하는 접촉면압의 크기가 증가하여 이뿌리부의 최대 응력의 크기가 증가함을 볼 수 있으며, 내압이 작용하는 경우에는 보강링의 강도가 높을수록 접촉면압이 증가하여 단조중 발생하는 인장응력을 더 많이 상쇄시키므로 금형의 안정도가 향상된다. 보강링 재질이 SCM4인 경우 내압의 유무에 관계없이 인서트의 항복강도 보다 작은 응력이 이뿌리부에 작용하므로 실제 단조에 사용가능한 금형이라 생각된다.

금형수의 네 번째 방법은 인서트와 보강링사이 또는 보강링과 보강링의 사이에 발생하는 접촉면압의 크기를 변화시키는 방법이다. 보강링의 강도가 커서 내압이 작용하지 않는 상태에서 금형파손이 예측될 경우 인서트와 보강링 사이의 끼워맞춤 공차를 작게하여 접촉면압의 크기를



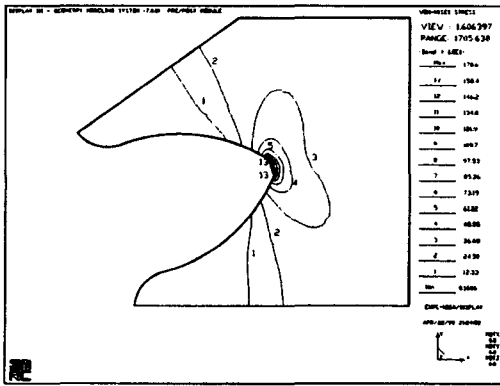
(a) without inner pressure



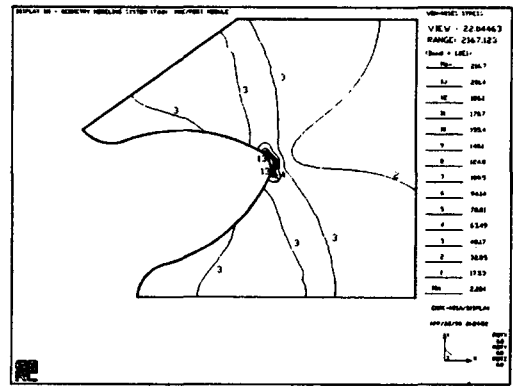
(b) with inner pressure

Fig. 10 Stress distribution on the die with modified die materials (insert : SKH9, stress ring : SCM11)



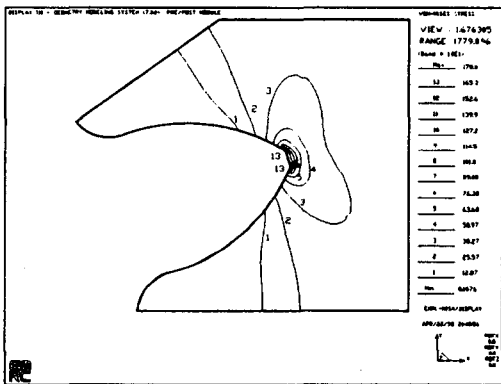


(a) without inner pressure

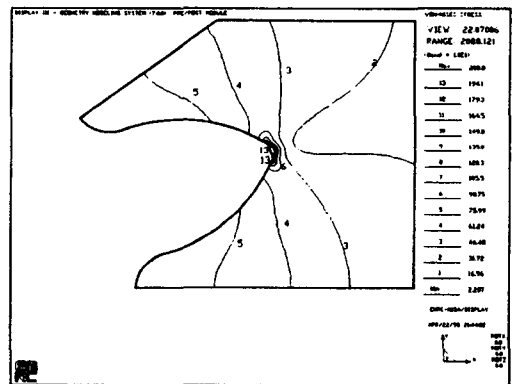


(b) with inner pressure

Fig. 11 Stress distribution on the die with modified die materials  
(insert : SKH9, stress ring : SCM4)



(a) without inner pressure



(b) with inner pressure

Fig. 12 Stress distribution on the die with modified fit tolerance( $z=0.3$ )

낮춤으로써 내압이 작용하지 않는 상태에서도 파손되지 않는 금형을 설계할 수 있다.

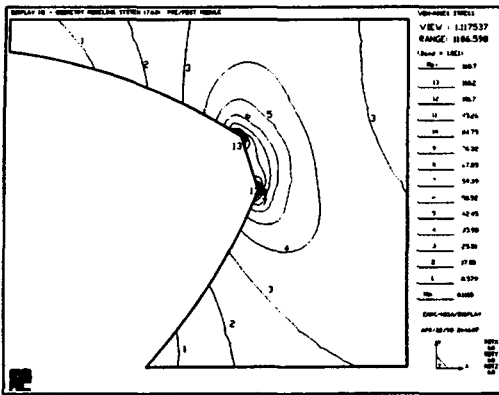
Fig. 12는 Table 4에 나타난 끼워맞춤공차량을 0.3, 0.2, 0.1로 하였을 경우에 대하여 금형에 작용하는 응력을 해석한 것이다. 그림에서와 같이 끼워맞춤 공차량의 감소로 인한 접촉면압이 감소할수록 내압이 작용하지 않는 상태에서 이뿌리부에 작용하는 최대응력이 감소함을 볼 수 있으며, 끼워맞춤 공차량이 0.3이하인 경우에서 내압이 작용하지 않을 때 최대응력이 인서트와 항복강도를 초과하지 않게 된다. 그러나, 끼워맞춤 공차량이 0.2이하가 되면 접촉면압이 너무 작아져서 내압이 작용할 때 발생하는 인장응력을 적절히 감소시키지 못하므로 단조 최종상태에서 인서트와 항복강도를 초과하는 응력이 이뿌리부에서 발생하는 것을 볼 수 있다. 결국, 접촉면압의 크

기를 적절히 조절함으로써 비축대칭 부품의 단조에 적용 가능한 금형을 설계할 수 있다.

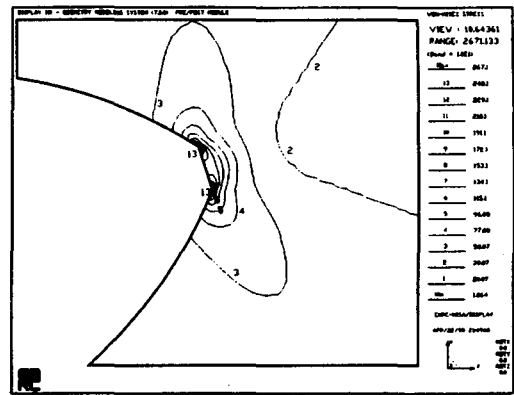
### 5. 결론

본 연구에서는 2차원 축대칭 금형설계 규칙을 이용하여 금형을 설계한 후 유한요소 프로그램으로써 응력집중을 예측하여 금형을 재설계함으로써 비축대칭 부품의 단조에 적용가능한 금형설계 자동화 시스템 개발하였다. 이를 인벌류트 스퍼어 기어의 단조 금형에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최적 분할직경, 최대 허용내압, 한계내압, 끼워맞춤 공차 및 응력분포 등의 금형변수를 자동으로 계산하는 금형설계 프로그램을 개발하였다.

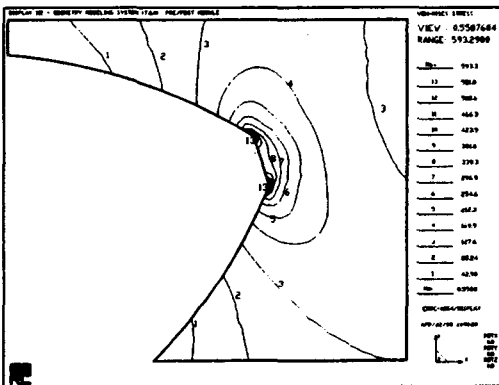


(a) without inner pressure

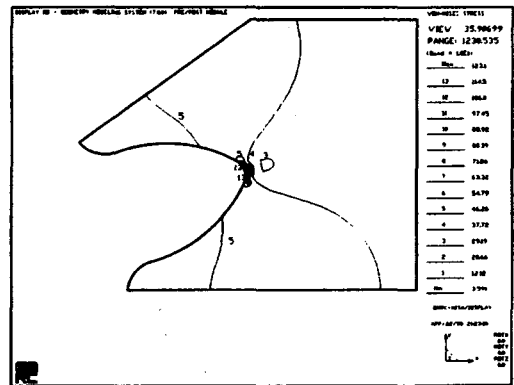


(b) with inner pressure

Fig. 13 Stress distribution on the die with modified fit tolerance(z=0.2)



(a) without inner pressure



(b) with inner pressure

Fig. 14 Stress distribution on the die with modified fit tolerance(z=0.1)

2. 인벌류우트 스퍼어기어의 단조의 경우 대칭면에 접하는 이뿌리원에서 응력집중이 발생한다.
3. 보강링의 재질이 SCM4인 경우 내압의 유무에 관계없이 인서트의 항복강도 보다 작은 응력이 이뿌리부에 작용하므로 실제 단조에 사용가능한 금형이라 생각된다.
4. 접촉면압의 크기를 적절히 조절함으로써 비축대칭 부품의 단조에 적용가능한 금형을 설계할 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

### 참 고 문 헌

1. T. Altan, S. I. Oh and H. L. Gegel, "Metal Forming : Fundamentals and Applications," American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.
2. K. Lange, "Handbook of Metal Forming," McGraw-Hill, New York, 1985.
3. ASM Handbook Committee, "Metals Handbook," 9th Edition, Vol. 14, Forming and Forging, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1988.
4. 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간 단조공정 및 금형설계의 자동화에 관한

- 연구(I),” 대한기계학회 논문집, 제 12 권, 제 4 호, pp. 712 ~ 720, 1988.
5. 이연호, “냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화 시스템에 관한 연구,” 부산대학교, 박사학위논문, 1995.
  6. 조해용, “헬리컬기어의 냉간압출에 관한 연구,” 부산대학교, 박사학위 논문, 1991.
  7. 최재찬, 조해용, 최종용, 민규식, “내부에 세레이션 홈이 존재하는 부품의 단조에 관한 연구,” 한국 정밀공학회지, 제 14 권, 제 6 호, pp. 142 ~ 148, 1997.
  8. American Society for Metals, “Engineering Properties of Steel,” ASM, Metals Park, Ohio, 1985.
  9. 민규식, 최종용, 조해용, 이현철, “기어류 부품의 단조에 관한 상세해석,” 한국정밀공학회지, 제 14 권, 제 2 호, pp. 102 ~ 112, 1997.