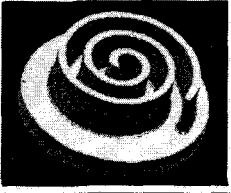
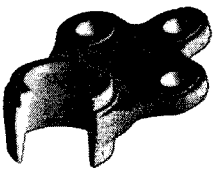



3차원 유한요소해석을 이용한 비대칭
단조품의 설계변수 선정

한국기계연구원*,
(주)센트랄 **

이영선*, 이정환*, 배명한**

3차원 유한요소해석을 이용한
비대칭 단조품의 설계 변수 선정

		
금형 파손 예측	폐쇄 압력 계산	예비성형제 설계
<input type="checkbox"/> 유동형태 <input type="checkbox"/> 온도분포 <input type="checkbox"/> 금형 강도 해석	<input type="checkbox"/> 유동형태 <input type="checkbox"/> 온도분포 <input type="checkbox"/> 폐쇄압 계산	<input type="checkbox"/> 유동형태 <input type="checkbox"/> 온도분포 <input type="checkbox"/> Preform 영향

한국기계연구원 이영선, 이정환
㈜센트랄 배명환

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

1. 고규소 Al Scroll Rotor 열간 정밀 단조

단조 금형의 파손 원인을 분석 & 예측 & 방지

; 금형에 국부적으로 과도한 응력이 작용되면 금형은 처짐, 굽힘 등과 같은 탄성 변형이 발생되며, 결국은 파손에 이르게 되는데 대칭 형상이 아닌 3차원 형상의 단조품에 대해서는 응력 집중 부위 및 응력의 크기를 예측하기가 곤란하므로 3D FEM 해석을 이용하여 이에 대한 정보를 확보 하므로서 금형 파손 및 개발 일정을 단축할 수 있음.



KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

다이 파괴 원인

다이 처짐

금형 강도의 부족으로 금형의 처짐(Deflection)이 발생되고 단조품의 치수가 균일하지 않게 제조됨.

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials 무절삭 정밀단조 연구실

다이 파괴 외관

다이 파손

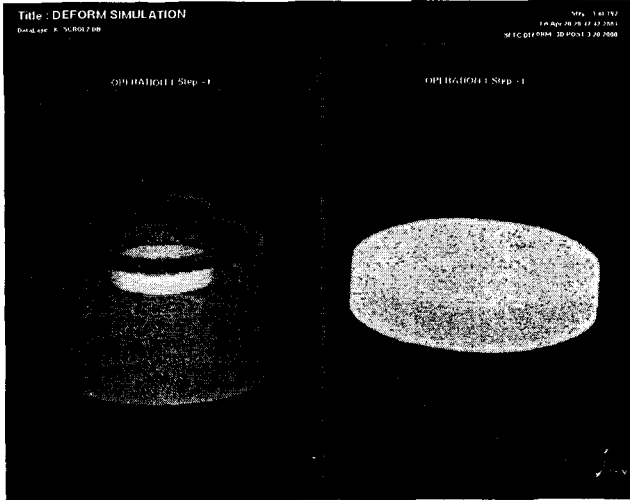
1차 금형 1차 금형 2차 금형

금형 강도의 부족으로 금형의 처짐(Deflection)이 발생되고, 결국 파손됨.

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials 무절삭 정밀단조 연구실

3차원 Modelling

□ 3-D Modelling



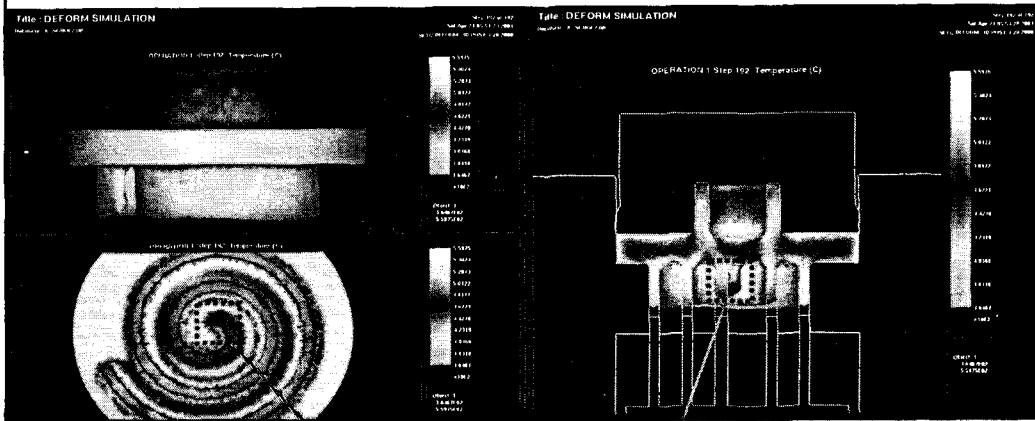
- Non-Isothermal
- Mesh No. : 104,009 ea
- 금형온도 : 250°C
- 소재온도 : 450°C
- Ram Speed : 250mm/sec.

- H/W : HP J5600
(2 CPU)
- DEFORM-3D V3.2
- CPU Time : 180 hr
 - 1 ~ 167 step : 55hr
 - 168 ~ 181 step : 95 hr
 - 181 ~ 192 step : 30 hr

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

부위별 길이 편차



[Wrap부 Involute의 원점]

Wrap부 원점과 최외곽 리브의 길이 편차 : 최대 9.6mm까지 발생

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

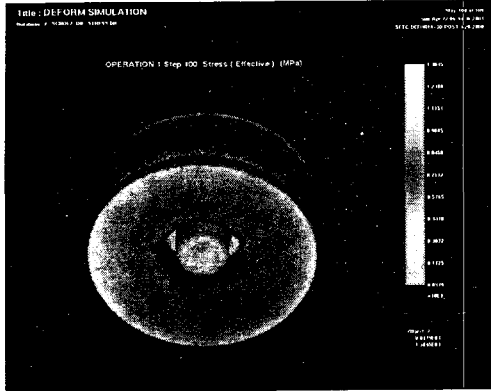
무절삭 정밀단조 연구실

금형 강도 해석 결과

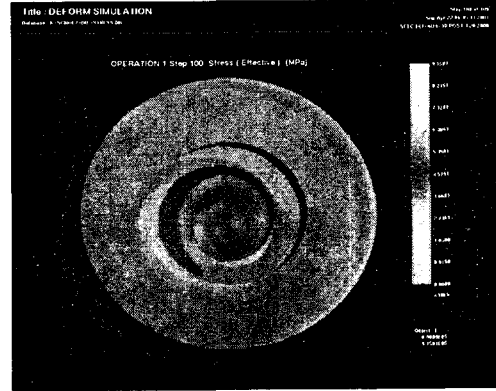
Effective Stress

Punch

Die



37.87 ~ 1,384.46 Mpa
Ave.: 290 ~ 440 Mpa



2,991 ~ 915012.312 Mpa
Ave.: 45,750 ~ 137,250 Mpa

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

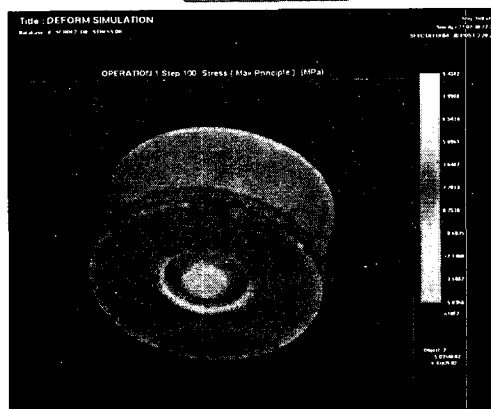
무절삭 정밀단조 연구실

금형 강도 해석 결과

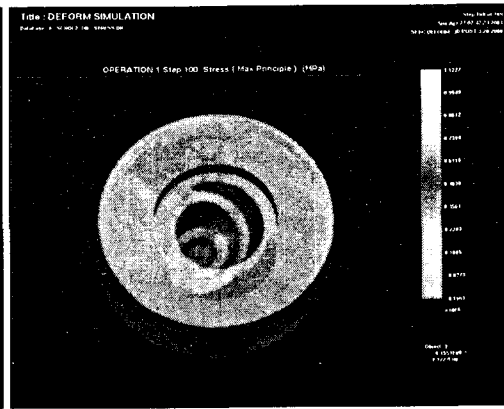
Max. Principal Stress

Punch

Die



-503.56 ~ 943.82 Mpa
Ave.: 29 ~ 44 Mpa



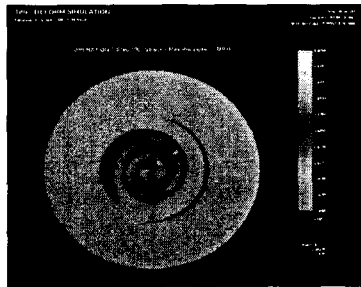
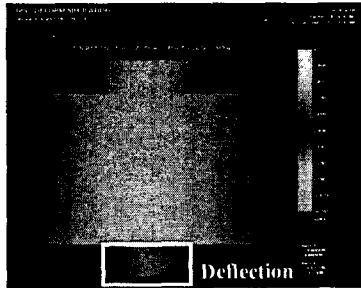
-155,051 ~ 1,122,715 Mpa
Ave.: 38,600 ~ 100,500 Mpa

다이에 가해지는 응력이 금형강의 인장응력(2,500Mpa)을 초과하여 파손의 원인이 됨.

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

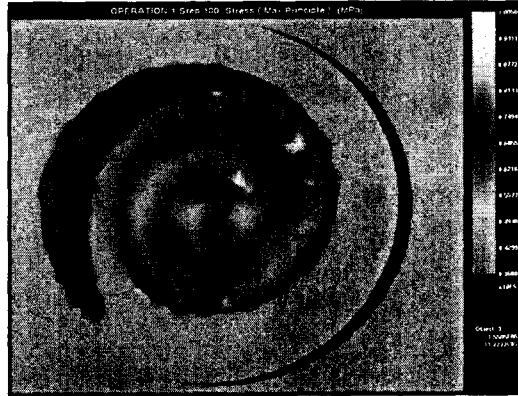
무절삭 정밀단조 연구실

AI Scroll 열간 단조 금형의 응력 해석 결과



Die Fracture

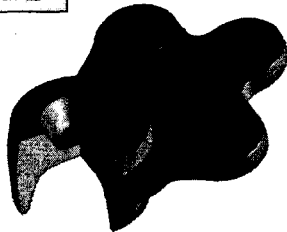
-155,051 ~ 1,122,715 Mpa
Ave. : 36,600 ~ 100,500 Mpa



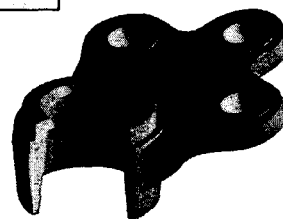
2. 조향 장치용 Socket 은간 폐쇄 단조

□ 폐쇄장치 설계를 위한 최소 폐쇄압력 계산
; 폐쇄단조를 위한 폐쇄장치 설계를 위해서는 폐쇄가 가능한 최소 압력을 알고 있어야 만 장치의 종류 및 크기를 결정할 수 있기 때문에 설계의 중요한 기준이 되며, 이를 3D FEM을 이용하여 계산할 수 있음.

기존 열간 단조품

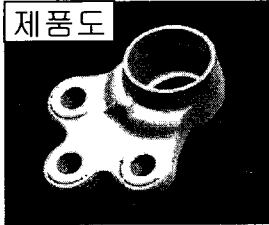


은간 폐쇄 단조품

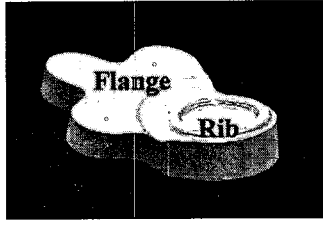


Socket 온간 폐쇄단조 -Process-

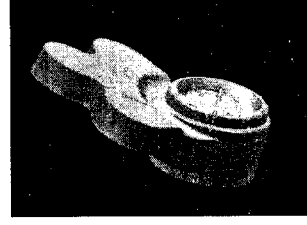
제품도



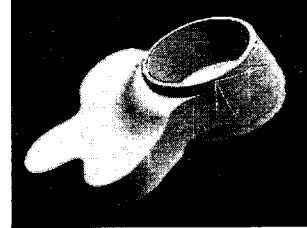
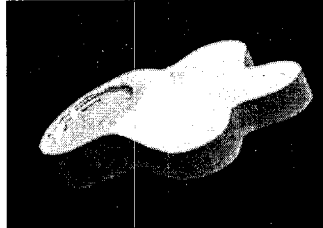
1공정 단조품 외관



2공정 단조품 외관



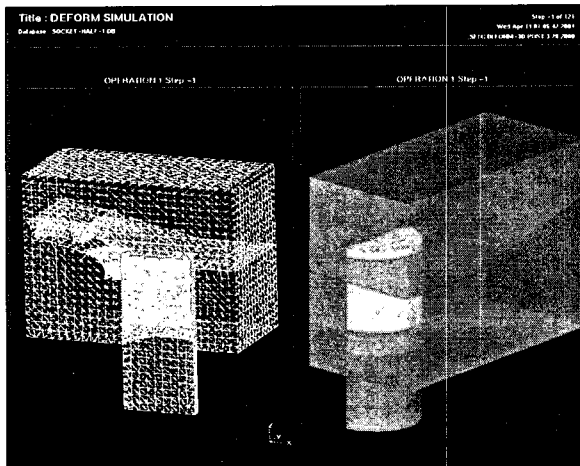
- #. 1 공정 : Upsetting
- 2 공정 : Back-Ext.
- 3 공정 : Sizing
- 4 공정 : Piercing



Socket 온간 폐쇄단조 -3D Model-

DEFORM-3D Model

1공정

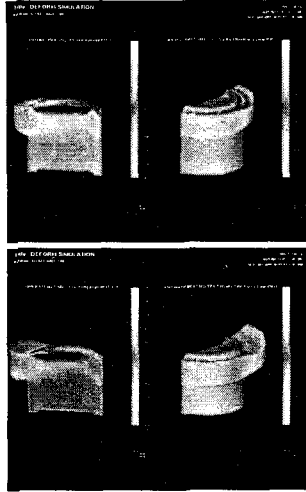
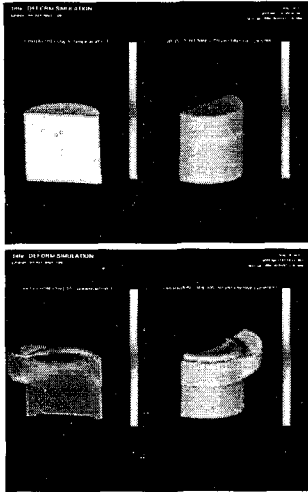


□ Modelling

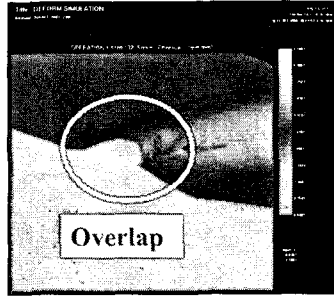
- 1) Non-Isothermal Condition
(금형에는 요소 분할을 하지 않고 동일한 온도로 유지되는 것으로 가정 ; 변형 발생열의 발생을 고려할 수 있고 금형과의 접촉 열전달을 고려할 수 있으므로, 단조 소재의 온도 변화를 해석할 수 있음.)
- 2) 요소 분할 수 : 132,714
- 3) 금형 소재 : AISI H-13
- 4) 단조 소재 : POSMA 40b

1공정 결함 발생 사례 공정 흐름도

1 공정

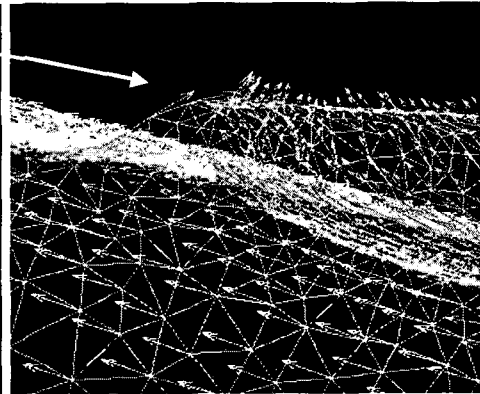
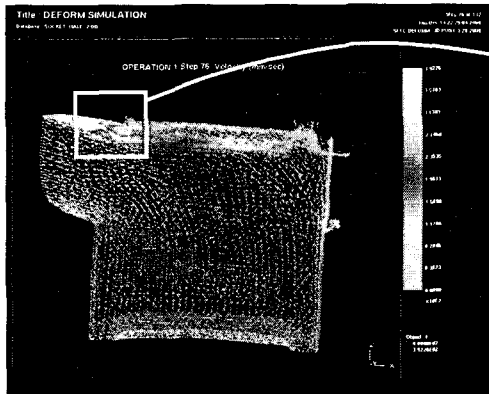


□ 공정(금형) 설계가 적절하지 못하여 **Overlap**이 발생됨.
=> 형상 설계 변경 필요



Overlap 발생 부위의 변형 속도 형태

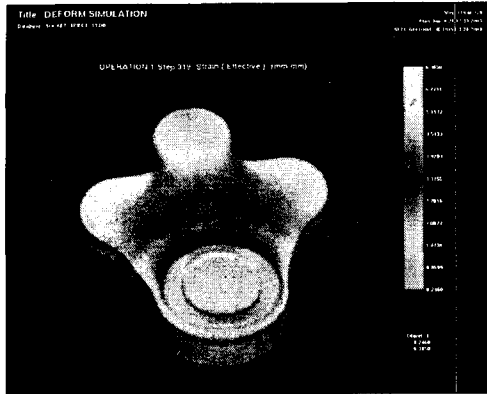
1공정



□ 변형 속도의 방향이 3 방향으로 분산되어 **Overlap**이 발생됨.
→ 유동 방향의 분산을 제거 하기 위한 형상 설계 변경 필요

단조품 특성 분석

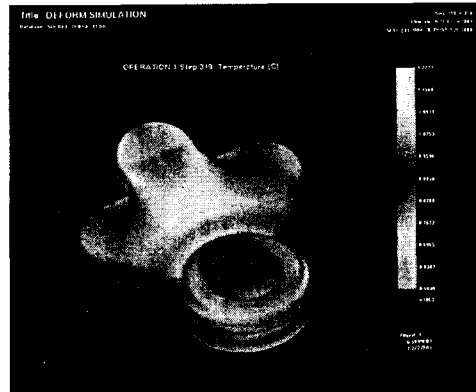
1공정 변형률 분포



소재가 한쪽 방향으로만 유동하기 때문에 부위별 변형률이 불균일 함.

□ 유효 변형률 : 0.63 ~ 6.3

1공정 온도 분포



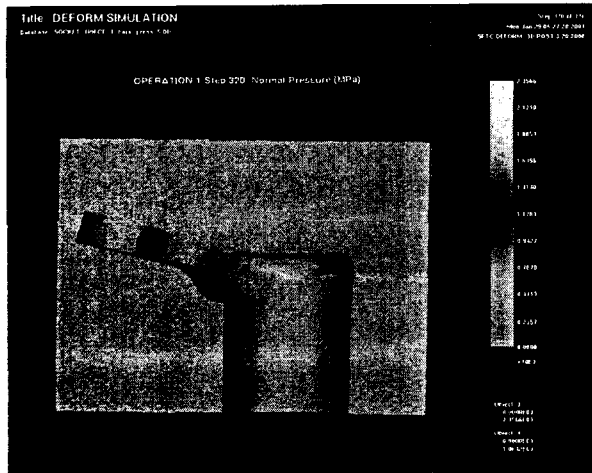
소재가 한쪽 방향으로만 유동하기 때문에 부위별 온도분포가 불균일 함.

□ 온도 분포 : 567 ~ 1,200°C

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

폐쇄 압력 설계



□ Flash 발생을 억제하기 위한 최소 폐쇄 압력의 계산을 위해 분할면에 가해지는 면압을 FEM 해석을 이용하여 계산

#. 최소 폐쇄력

- 1공정 : 110 kg/mm²
- 2공정 : 50 kg/mm²

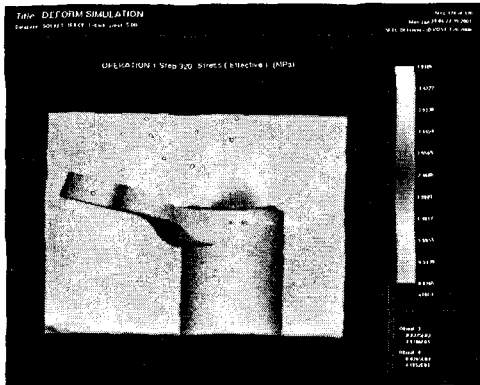
#. 성형 하중

- 1공정 : 350 톤
- 2공정 : 200 톤

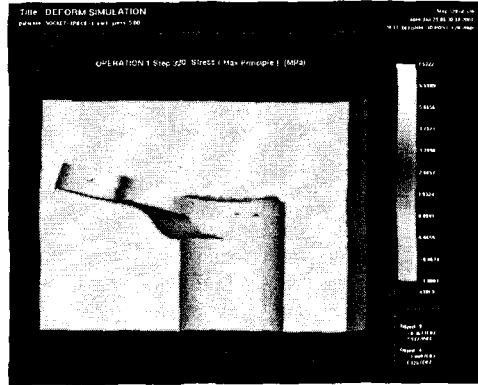
KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

금형 강도 해석



유효응력분포



최대 주응력 분포

인장응력 1,500 Mpa이하로 안전함.

다이에 가해지는 응력이 금형강의 인장응력(2,500Mpa)을 초과하지 않으므로 파손 가능성이 없음.

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

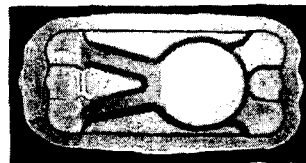
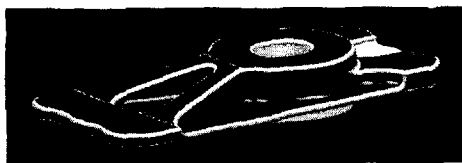
3. 항공기용 고강도 Si 단조품 열간 단조

□ 예비성형체 형상 설계에 이용

; 예비성형체의 적절한 설계는 단조 결함 발생을 방지하는 물론

- 1) 부위별 변형량 균일화
- 2) 부위별 온도 균일화
- 3) 단조 소요하중 감소의 효과를 얻을 수 있음.

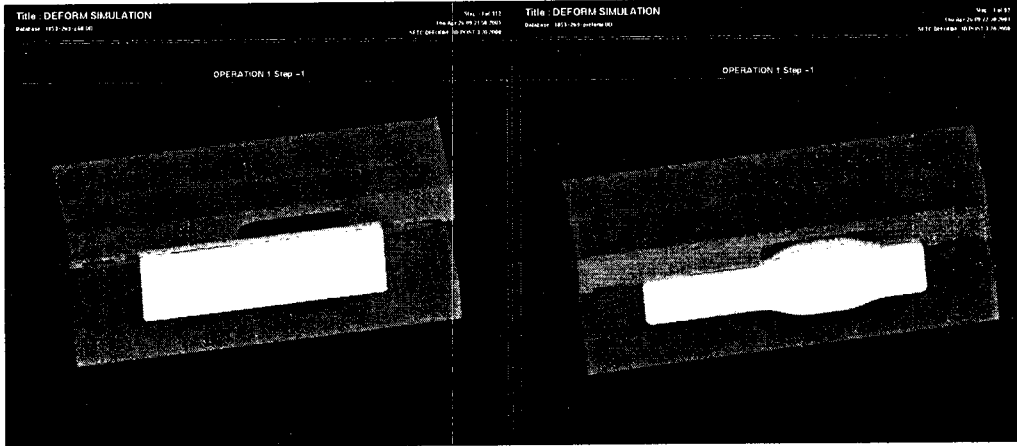
#. Si합금 단조품의 경우는 조직을 균일화 할 수 있는 장점이 있으므로 3D FEM을 이용하여 최적화 할 필요가 있음.



KIMM Korea Institute of Machinery and Materials

무절삭 정밀단조 연구실

3차원 Model



❖ $\phi 60\text{mm}$, Bar

Calculating Time : 240 hr

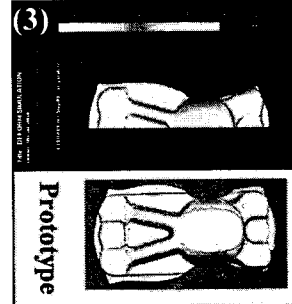
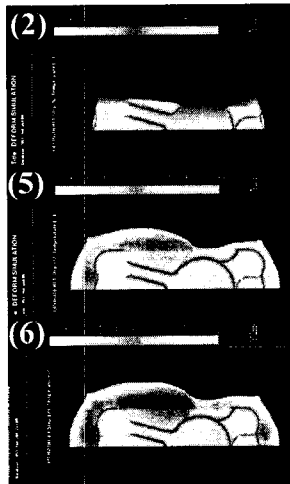
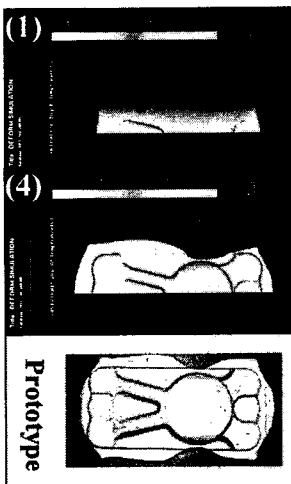
❖ Preform

Calculating Time : 30 hr

The difference of calculating time is due to friction and flash amounts.


유동 형태

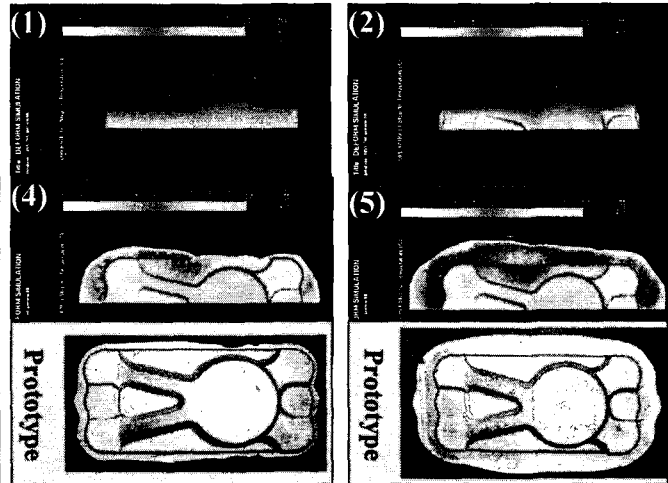
Using the Bar



The flow pattern of Al7050 forged part is well coincident with prototype.
Non-Isothermal Simulation Forging Load : 2,200 ton


유동 형태

 **Using the Preform**

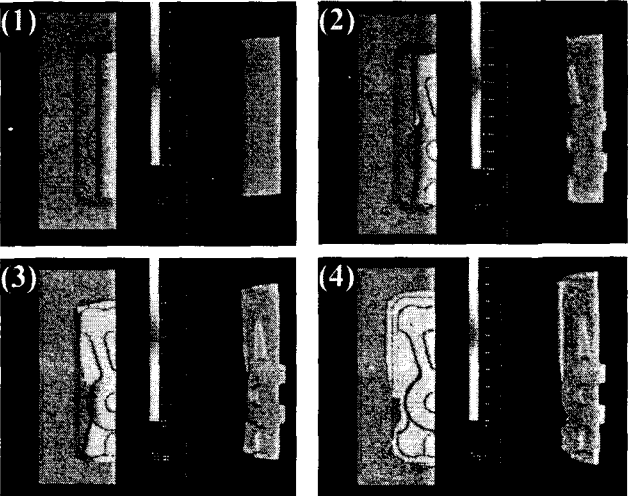


The flow pattern of A17050 forged part is well coincident with prototype.

Non-Isothermal Simulation
Forging Load : 1,900 ton


KIMM Korea Institute of Machinery and Materials  무절삭 정밀단조 연구실

온도 변화 고려하지 않을 경우

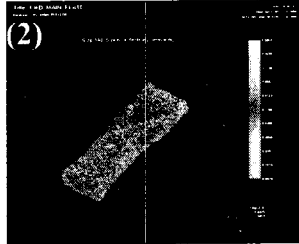
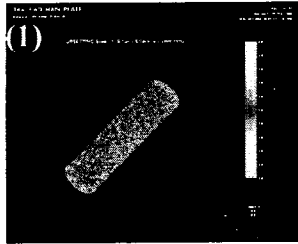


❖ φ65mm, Extruded Bar
❖ Isothermal Simulation
Forging Load : 1,200 ton

STRAIN

KIMM Korea Institute of Machinery and Materials  무절삭 정밀단조 연구실

온도 변화 고려할 경우



❖ $\phi 65\text{mm}$, Extruded Bar

❖ Non-Isothermal Simulation

Forging Load : 2,200 ton

STRAIN

