



크랭크샤프트 단조 금형의 마모예측

보고자 : 대리 서동현

2005. 06. 17

 소재생기 1팀



- 목 차 -

1. 배 경
2. 목 적
3. 마모해석 PROCESS
4. 진행 현황
5. 1次/2次 추진과제 종합
6. 결론

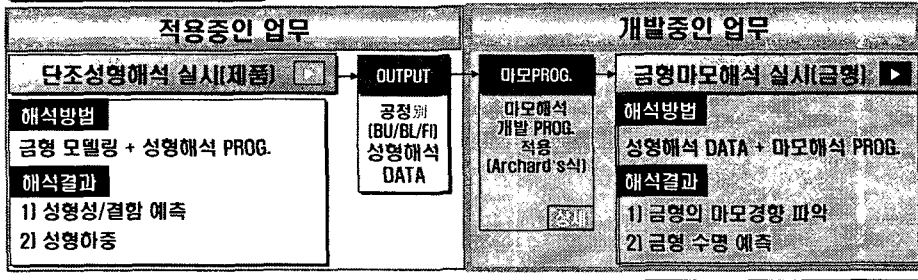
1. 배경

現 열간단조時 금형수명 결정요인中 마모에 대한 수명예측은 경험에 의한 마모정도를 파악하고 있는 실정임.

2. 목적

열간단조時 금형수명 저해요인中 마모에 대한 예측 PROG. 개발로 금형마모 경향분포 & 정량적 마모량 예측을 통한 금형교체 시기 예상 및 금형수명을 향상코져 함.

3. 마모해석 PROCESS

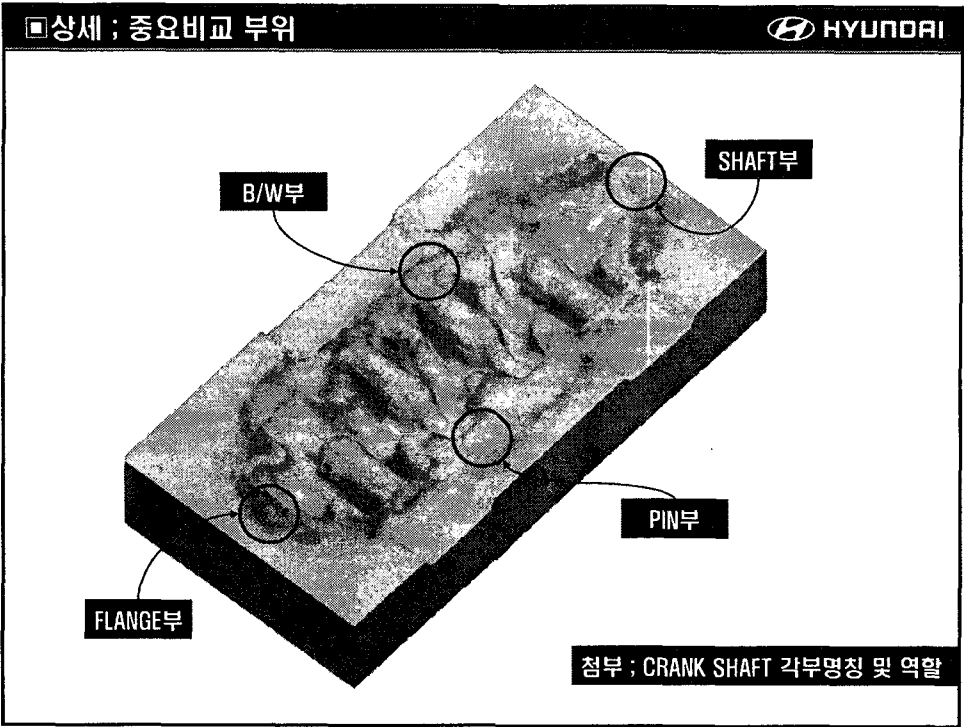


4. 결론

본 테마는 마모해석 PROG.을 개발하여, 크랭크 금형의 마모정도를 정상적/정량적 측면에서 실제 단조금형과 해석부문을 비교평가 결과,

1. 정상적 측면 ; FINISHER 금형은 마모경향이 비슷하나, BLOCKER 금형에서는 마모경향이 상이하여 지속적인 방안모색 (미국 본사와의 CO-WORK) 필요함.
2. 정량적 측면 ; 마모량 비교평가時 BLOCKER 및 FINISHER 금형은 현상대비 35~72% 차이나는 부분이 발생하였으나, 해석변수 조건 다변화 TEST를 통해 현상대비 (최대마모량 기준) 5% 미만의 해석변수 현실화 조건을 도출함.

▶ D-2.0 크랭크 금형에 1次 T/OUT을 실시하여, 해석결과와 비교평가 後 해석신뢰도를 향상시킨 과제이며, 지속적인 T/OUT을 통해 해석변수 조건 재검증 TEST 및 최적의 공정별 설계제적 분배를 통해 양산금형에 적용 할 예정입니다.



상세 ; 정성적 측면 (SHAFT부) HYUNDAI

현상	해석	비교
<p>BLOCKER</p>	<p>BLOCKER</p>	<p>□. 마모경향</p> <p>▶. 실제 : 전 체적으로 마모 차이 크지 않 음</p> <p>▶. 해석 : 경 계선을 기준으 로 마모 차이 큼</p>
<p>FINISH공정</p>	<p>FINISH공정</p>	<p>실제 = 해석</p>

상세 ; 정상적 측면 (B/W부)



현상	해석	비교
<p>A B BLOCKER</p>	<p>大 小 BLOCKER</p>	<p>☐. 실제 → A > B</p> <p>☐. 해석 → A > B</p>
<p>A B FINISH공정</p>	<p>大 小 FINISH공정</p>	<p>☐. 마모경향 실제 = 해석</p>

상세 ; 정상적 측면 (PIN부)



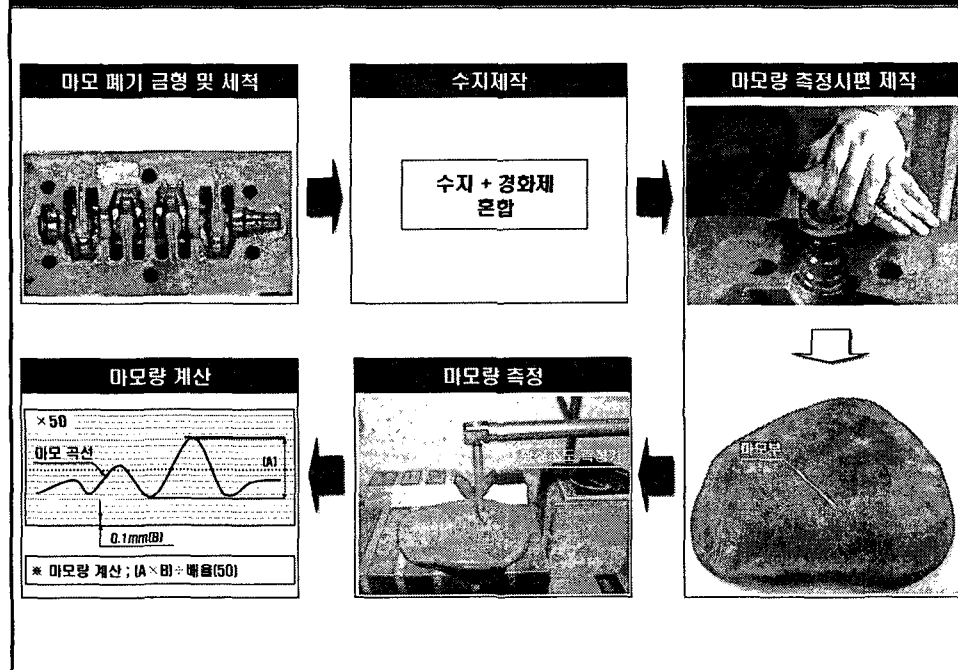
현상	해석	비교
<p>A B BLOCKER</p>	<p>大 小 BLOCKER</p>	<p>☐. 실제 → A < B</p> <p>☐. 해석 → A > B</p>
<p>A B FINISH공정</p>	<p>大 小 FINISH공정</p>	<p>실제 = 해석</p>

상세 ; 정성적 측면 (FLANGE부)

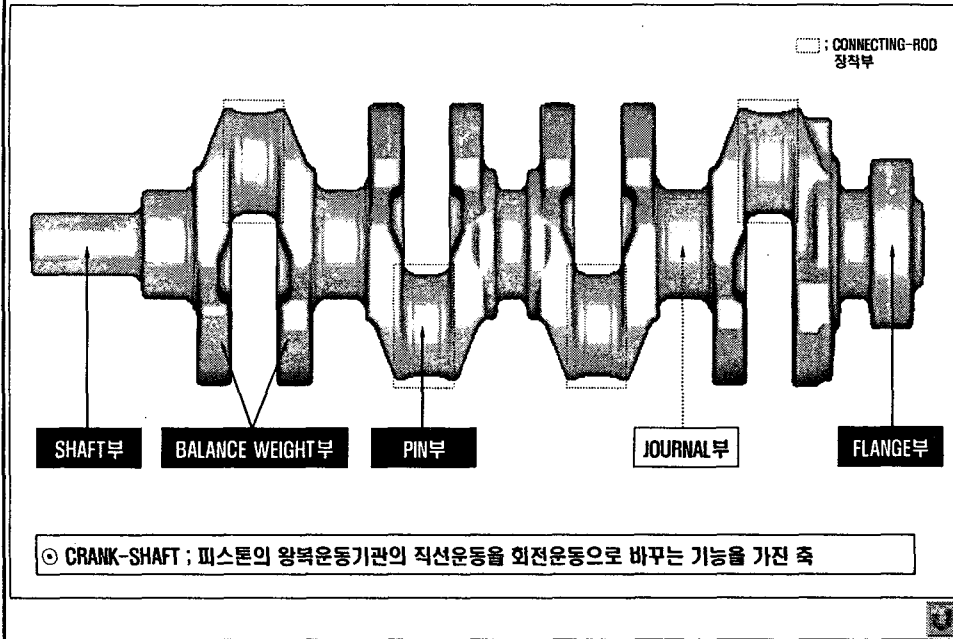


현상	해석	비교
<p>BLOCKER</p>	<p>BLOCKER</p>	<p>마모경향</p> <p>$A = A'$ $B \neq B'$</p>
<p>FINISH공정</p>	<p>FINISH공정</p>	<p>마모경향</p> <p>$A = B$</p>

첨부 ; 실제 금형마모 측정 FLOW



▣첨부 ; CRANK-SHAFT 각부 명칭 및 역할



▣첨부 ; 열피로 크랙

1. 열피로 크랙 정의

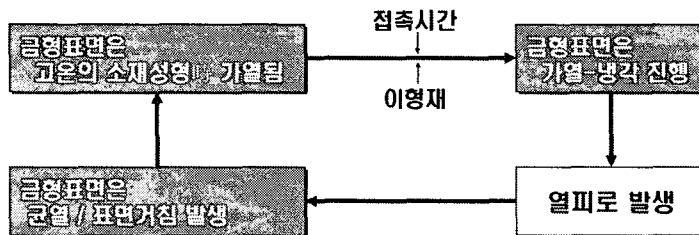
- 열간단조 성형時 반복되는 열응력에 의해서 금형이 파괴가 일어나는 경우

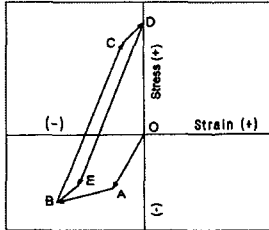
열피로에 의한 파괴경향식 : $\frac{\text{피로강도} \times \text{열전도도}}{\text{탄성계수} \times \text{열팽창계수}} (\sigma_f \kappa / E \alpha)$

열피로 $\propto \sigma_f, \kappa, \frac{1}{E}, \frac{1}{\alpha}$

※ 열응력 : 온도변화 및 불균일한 온도분포에 의해 물체 내에 생기는 변형력.

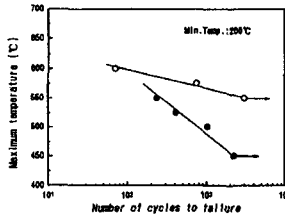
2. 메커니즘





OA ; 초기 금형의 표면은 급격히 가열되므로 압축응력이 생김.
 AB ; 소재가 항복강도를 넘어 소성변형을 함.
 BCD ; 접촉시간 및 윤활제등에 의해 금형표면이 가열,냉각됨.
 DEBCD ; 계속적인 성형시 금형표면은 열피로를 받음.

◀ Stress-strain Curve of die surface



금형의 최대온도가 높아짐에 가해지는 피로수명은 감소한다.
 [∴ 최대온도가 높아짐에 따라 열응력이 증가하기 때문]

◀ 금형재료에 대한 열피로 수명 그래프

3. 열피로 크랙 예측 난제(現 기술)

- ① 온도에 따른 열피로물성 데이터 확보가 어려움.
- ② 금형재료 및 표면처리등에 따라서 피로수명이 변화함.
- ③ 금형의 균열진전 속도 측정 어려움.
- ④ 열응력과 성형을 동시에 고려하는 해석이 어려움.

□ 상세 ; 해석 PROCESS

단조 성형 해석

1. 해석방법
 금형(上/下) 및 소재의 3D FILE.STU를 이용하여, 컴퓨터상에서 가상적으로 3차원 열간단조 공정을 진행함.

2. 해석결과
 1) 단조품의 생성성.
 2) 단조품의 결함(결속, 크랙, LAP등)
 3) 단조성형 하중.
 4) 단조품의 정량적 특성변화(온도, 응력, 변형률등)

3. 해석조건

ITEM	D-ENG 22L 크랭크		
해석공정(공정어동 TIME)	예열	BUSTER	BLOCKER
	5 SEC	15 SEC	15 SEC
소재	SIZE	□ 90 × 450mm	
	재질	SCM440H	
	온도	1230°C	
	수축률	15/1000mm 적용	
금형	예열온도	200°C	
프레스 조건	TOTAL STROKE	440mm	
	S.P.M	40	
기타	마찰계수	0.3	
	점속발전달계수	12(N/SEC.M.C)	
FLASH 두께	BUSTER	9.8mm	
	BLOCKER	7.7mm	
	FINISHER	5.1mm	

마모해석 PROCESS

단조성형 해석결과
 OUTPUT
 공정계 (BU/BL/FL) 성형완료 DATA

INPUT
 마모해석 프로그램 해석 (Archard's식 이용)

$$V = \frac{kPL}{3H}$$

$$h = \frac{k\sigma_n v_s \Delta t}{3H}$$

OUTPUT
 공정계 마모해석 결과도출

단조 마모 해석

1. 해석방법
 단조성형 해석결과를 토대로 마모해석 프로그램을 컴퓨터상에서 실행하여, 재해석 실시.

2. 해석결과
 1) 단조금형 마모경향 파악.
 2) 단조금형 마모량 정량적 예측.
 3) 1회 성형시 OUTPUT 마모량 도출.
 (실 작업결과와 비교해 성형타수 고려하여 계산.)
 ex) 1회 성형마모량 : 0.000025mm
 → 성형타수 및 정도열연화 현상 고려한 PROG.에 재입력후 해석.

3. 해석조건

DATA	단조성형 해석 -DB
	• 경도 ; HRC 45
	• 마모계수 ; 0.74e-8
	• 열연화 고려
금형 조건	INPUT Archard's 마모이론 INPUT
	온도와 시간에 따른경도 $h = \frac{k\sigma_n v_s \Delta t}{3H(T, t)}$ r : 온도, t : 시간
	경도깊이 방향고려 $h = \frac{k\sigma_n v_s \Delta t}{3H(M, depth)}$ M : 용매질 파관마터 death : 마모깊이

다음

▣ 상세 ; Archard 마모 모델



기본이론

1970年 부식마모에 의한 금형수명 예측 시도가 있었으며, '90年 마모이론인 Archard's 이론으로 금형의 마모량을 계산하기 시작.



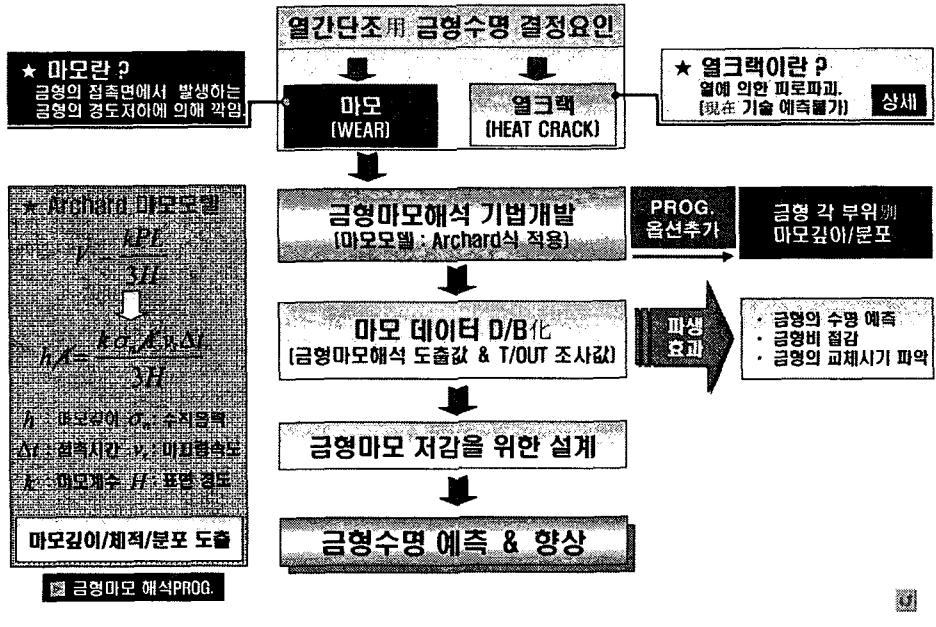
▣ 금형 마모해석 SYS.개요

$$V = \frac{kPL}{3H} : \text{Archard's model}$$

V : 마모체적 (Z·A (Z:마모깊이, A: 접촉면적)) k : 마모계수(실험계수 $10^{-2} \sim 10^{-7}$)
 P : 접촉하중(σ {수직응력}·A{접촉면적}) L : 미끄럼길이 H : 재료 표면경도

▶ DEFORM에서 P, L 값 도출할 수 있는 PROG. 개발하여 Archard's model의 식에 적용하여 계산

▣ 첨부 ; 금형 마모해석 SYS.개요



마모해석 PROCESS

- 1) 마모 해석 결과 확인
(실제와 비교) ⇒ NG時
- ↓
- 2) PROG FILE內에서 입력 데이터
보정 (K, H재입력)
- ↓
- 3) 금형 마모 해석
- ↓
- 4) 마모 해석 결과 확인
(실제와 비교) ⇒ OK時
- ↓
- 5) DATA BASE化

```

C:\Wfp\Wear#\Debug\wear wear_test.dat wear_test.key

-----
This program calculate the wear depth considering thermal softening
- Input the values for the prediction of die wear
-----
입력조건
Die Wear> Input the initial Hardness of Die : 45
Die Wear> Input the Steady State Temperature of Die : 700
Die Wear> Input SPM & Total Process number of Forging Press : 40 3
----- one Cycle Time is 4.5 sec
Die Wear> Input the Total Forging number to predict the Wear : 8000
----- Total Working Time is 10.0 hr

.
.
Computing the total wear depth...
.
.
Simple model) Max. Wear of Simple model
Simple model) 1.9925e-001
결과도출
Softening model > Tempering Parameter(M) / New Hardness / Max. Wear
Softening model > 20433.0 / 18.8 / 4.1487e-001

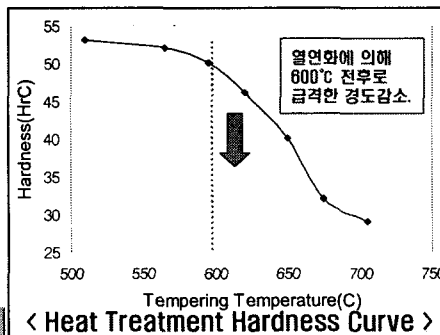
< Terminated Successfully : wear_test.dat to wear_test.key >
    
```

1. 열연화 : 고온의 열에 의해 금형의 경도가 감소하는 현상.

- 열간금형은 성형공정 동안 고온의 열을 반복하여 받게 되므로, 온도와 지속시간에 의해 경도가 감소하게 된다.
- 일반적으로 열간단조 금형의 소재는 아래의 그래프와 같이 600°C를 전후로 하여 급격한 경도의 감소를 나타낸다.

- 이러한 현상을 고려하기 위해 금형의 경도(H)를 열연화를 고려 할 수 있는 템퍼링 파라메타(M)를 함수로 적용 함으로써, 마모예측을 한다.

* 템퍼링 파라메타(M) : 온도와 지속 시간에 따른 경도를 고려할 수 있는 변수.



● 경도의 열연화 및 깊이방향의 변화 고려

$$h = \frac{k \sigma_n v_s \Delta t}{3H(M, depth)}$$

M: 템퍼링 파라미터, depth: 마모깊이

◎ Tempering Parameter(M)^[1]

$$M = T(20 + \log t)$$

T: 템퍼링 온도(K), t: 템퍼링 시간(hr)

$$H = A \cdot \exp(B \times (M \times 0.001)^C) + D$$

A, B, C, D: 열연화에 따른 상수

[1] 열연화를 고려한 금형마모모델에 관한 연구(III)
- 한국소성가공학회지 1998, 강종훈 외

금형의 열연화를 고려한 마모계산

작업타수 고려한 마모계산 PROG.

- 1) 1회 성형에 의한 마모결과
- 2) Steady State Temperature
- 3) Master Tempering Curve
- 4) Total Working Time(t_f)

$$t = t + dt$$

$$h_i = \sum^n h_{initial} \frac{H_{initial}}{H(T, t, depth)}$$

If t < t_f

Yes

No

Final Wear Depth

● Archard's wear model

$$V = \frac{kPL}{3H}$$

V: 마모체적, k: 마모계수, P: 접촉력,
L: 미끄럼길이, H: 경도

V=h×면적
P=σ_n×면적

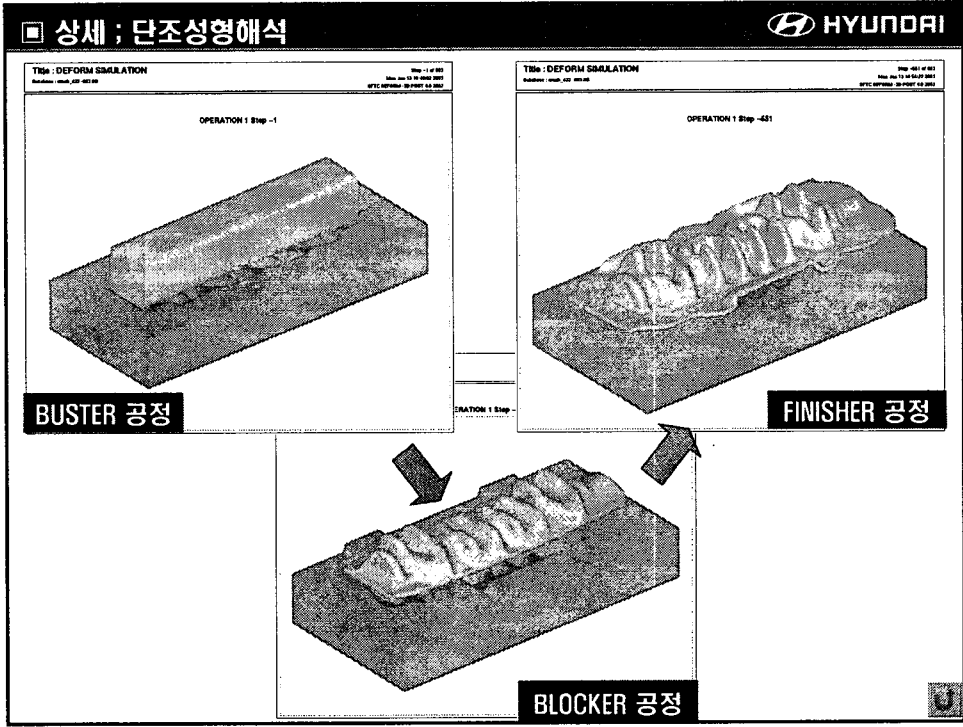
$$h = \frac{k \sigma_n v_s \Delta t}{3H}$$

h: 마모깊이, σ_n: 수직응력,
v_s: 미끄럼속도, Δt: 접촉시간

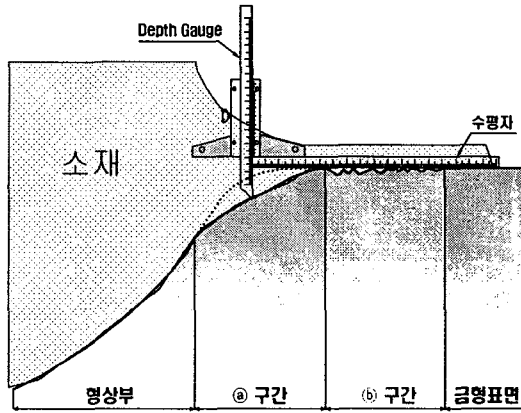
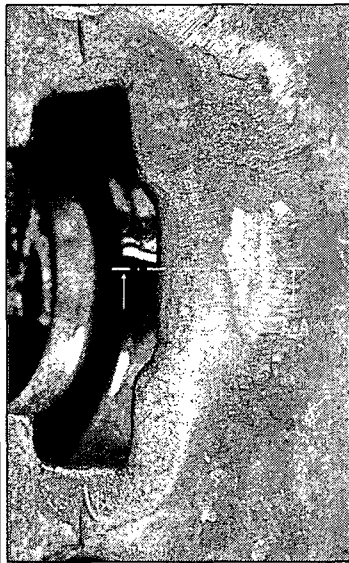
● 온도와 시간에 따른 경도의 열연화 고려

$$h = \frac{k \sigma_n v_s \Delta t}{3H(T, t)}$$

T: 온도, t: 시간

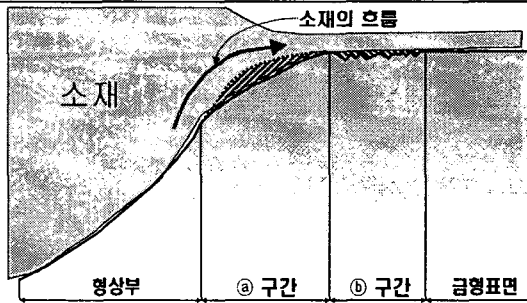
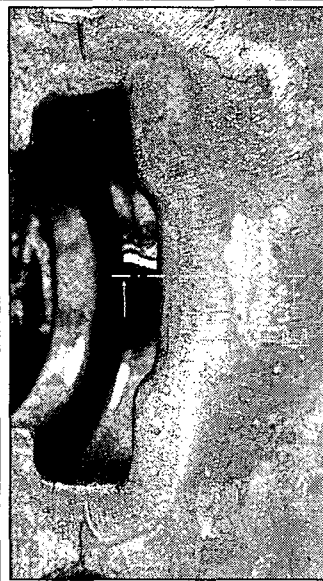


마모량 측정방법 상세내용



- ※ TOTAL 마모량(mm) = ㉠ 구간의 마모량(mm) + ㉡ 구간의 마모량(mm)
- ㉠ 구간 : 금형표면의 수평면을 기준으로 지를 수평하게 만후, Depth Gauge로 측정.
 - ㉡ 구간 : 미세한 마모부위는 수자를 이용하여, 시편제작 후 마모측정 장비로 분석.

마모량 구간별 (㉠, ㉡) 차이 이유



- ※ ㉠ 구간 : 금형이 압형되면서, 소재성형시 형상부를 채우고 난 여분의 삼은 금형표면쪽으로 빠져나가는 실제적 및 실흐름 속도가 커 형상부 주변부인 ㉠ 구간을 깎으면서 진행하므로 마모량이 큼.
- ※ ㉡ 구간 : ㉠구간 마모를 유발시킨 여분의 삼이 빠져나가는 부분이므로 미세한 마모량을 유발시킴.