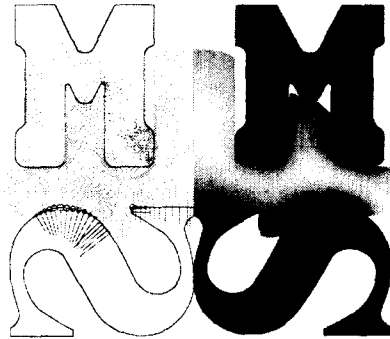




단조 시뮬레이션 기술



전만수*, 이민철**, 유관호***

- * 경상대 기계공학과, 항공기부품기술연구소
- ** 항공기부품기술연구소
- *** 경상대 대학원



Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



단조 시뮬레이션 기술의 현황

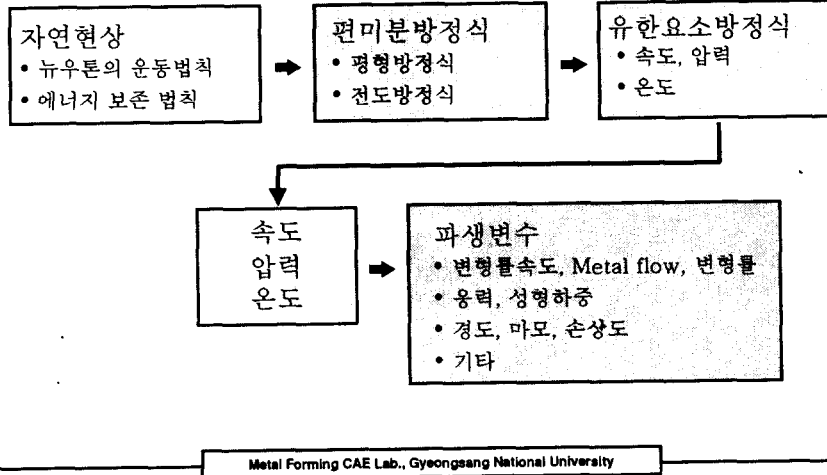


- ❖ 2차원 및 축대칭 단조 시뮬레이션
 - 활용이 보편화되었음
 - PC 활용이 기본
- ❖ 3차원 단조 시뮬레이션
 - 컴퓨터 성능 및 요소망 생성 기술 발전 필요
 - 현재 활용 준비단계
 - 1-2년 후면 3차원 단조 시뮬레이션기술 활용 가능
 - PC 활용 방향으로 발전

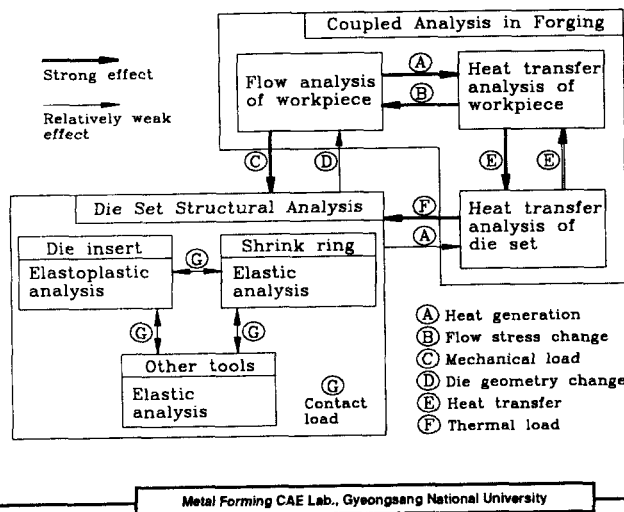
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



단조 시뮬레이션이란?

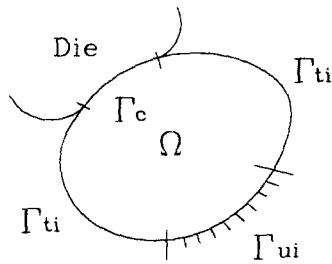


단조 시뮬레이션의 흐름도





유동해석 문제의 강소성 수식화



유동해석 문제의 정의

- ▶ 평형방정식

$$\sigma_{ij,j} + f_i = 0$$

- ▶ 응력-변형률속도 관계식(구성방정식)

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \frac{2\bar{\sigma}}{3\bar{\epsilon}}\dot{\epsilon}_{ij}, \quad \bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon}, \bar{\epsilon}, T)$$

- ▶ 속도-변형률속도 관계식

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i})$$

- ▶ 비압축성조건

$$v_{i,i} = 0$$

- ▶ 경계조건

$$\sigma_{ij}n_j = \bar{t}_i$$

on Γ_{t_i}

$$v_i = \bar{v}_i$$

on Γ_{v_i}

$$v_n = \bar{v}_n$$

on Γ_c

$$\sigma_{ij}n_j = -\mu\sigma_n g(v_i)$$

on Γ_c

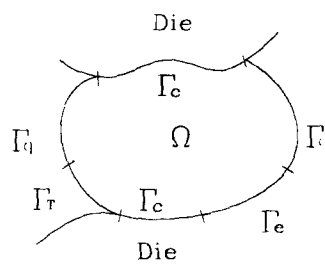
$$\sigma_{ij}n_j = mkg(v_i)$$

on Γ_c

Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



온도해석 문제의 수식화



온도해석 문제의 정의

- ▶ 에너지보존방정식

$$(kT_{,i})_{,i} + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

- ▶ 발열율

$$Q = C_r \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}$$

- ▶ 경계조건

$$T = \bar{T} \quad \text{on } \Gamma_T$$

$$kT_{,i}n_i = q_f - h_c(T - T_c) \quad \text{on } \Gamma_c$$

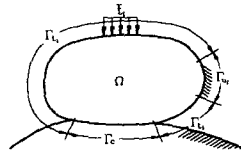
$$kT_{,i}n_i = -h_q(T - T_n) \quad \text{on } \Gamma_q$$

$$kT_{,i}n_i = -\sigma\epsilon(T^4 - T_c^4) - h_e(T - T_c) \quad \text{on } \Gamma_e$$

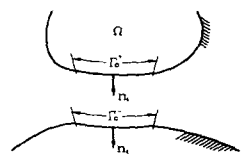
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



금형의 탄성구조해석 문제의 수식화



(a) Problem description



(b) Contact surface

접촉분계의 정의

- ▶ 접촉분계의 법선방향으로의 경계조건

$$u_n^{+c} = u_n^{-c} \text{ if } \sigma_n^{+c} < 0$$

$$\sigma_n^{+c} = 0 \text{ if } u_n^{+c} - u_n^{-c} < 0$$

- ▶ 접촉분계의 접선방향으로의 경계조건

$$\sigma_t^{+c} = -\sigma_t^{-c} = \mu |\sigma_n| \frac{(u_t^{-c} - u_t^{+c})}{|u_t^{-c} - u_t^{+c}|} \text{ if } u_t^{-c} \neq u_t^{+c}$$

$$u_t^{-c} = u_t^{+c} \text{ if } |\sigma_t| < \mu |\sigma_n|$$

- ▶ 가상일의 원리

$$\int_{\Omega} \sigma_{ij} \delta \epsilon_{ij} d\Omega - \int_{\Omega} f_i \delta u_i d\Omega + \int_{\Gamma_c} \beta (u_n^{+c} - u_n^{-c}) (\delta u_n^{+c} - \delta u_n^{-c}) d\Gamma$$

$$- \sum_{I_n} \int_{\Gamma_n} \bar{t}_i \delta u_i d\Gamma - \int_{\Gamma_n} \sigma_i \delta u_i d\Gamma \approx 0$$

- ▶ 응력 - 변형률 관계

$$\sigma_{ij} = 2\mu u_{ij} + \lambda \epsilon_{kk} \delta_{ij} - (3\lambda + 2\mu) \alpha \Delta T_{ij}$$

Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University

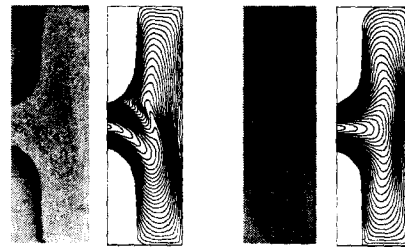
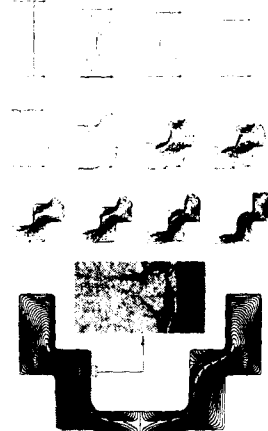


단조 시뮬레이션 결과의 검증



공정도 및 내부결함의 예측과 검증

금속유동선도 비교



실물사진

예측결과

실물사진

예측결과

Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University

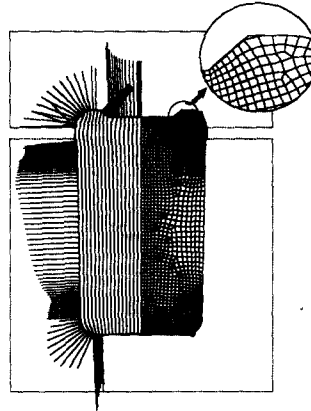
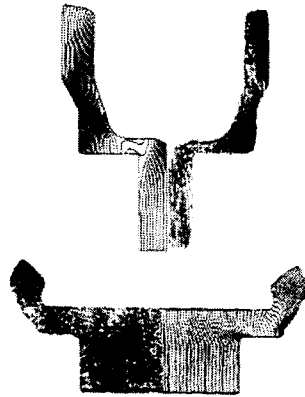


단조 시뮬레이션 결과의 검증



파이핑 및 절육 결합의 예측과 검증

절육 결합의 예측



Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University

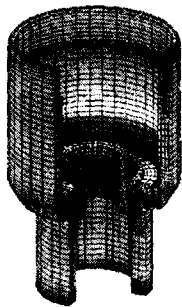


냉간포머단조 공정 적용사례



냉간 포머 단조 공정 해석

볼스타드공정의 컴퓨터 시뮬레이션




Metal Flow lines Effective strain




Velocity Metal Flow Lines Effective Strain Hydrostatic Pressure Damage

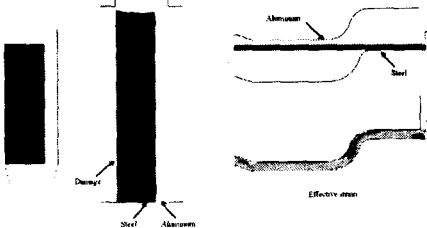
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



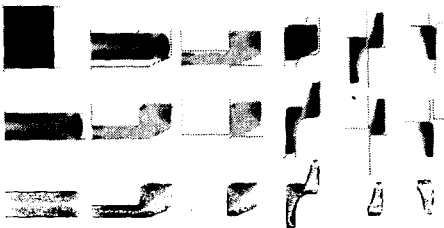
복합재료성형 및 복합단조 공정 적용사례




복합재료의 성형




복합단조공정 해석결과



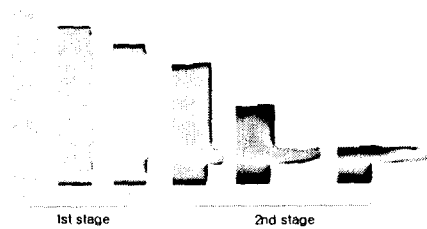
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



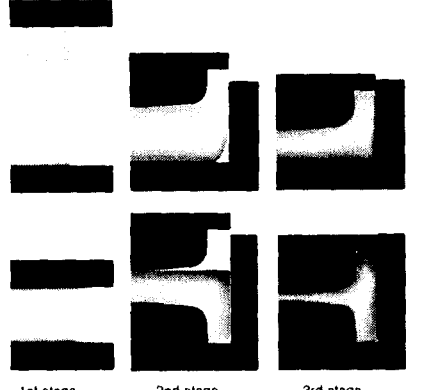
열간단조 공정 적용사례




2단 열간단조 공정해석(온도분포)




3단 열간단조 공정해석(온도분포)



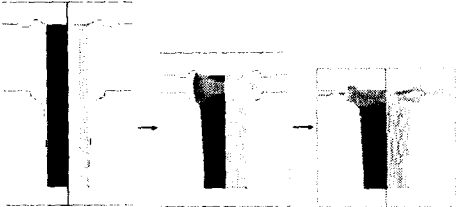
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



신 단조 공법 개발 사례

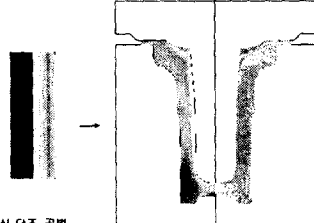


기존 단조공법




기존 단조 공법

신 단조공법




신 단조 공법


Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University




공정 개선 사례




기존 M/S 2nd GEAR의 소성유동선도




개선된 M/S 2nd GEAR의 소성유동선도





결정 발생



Sound metal flow

Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University

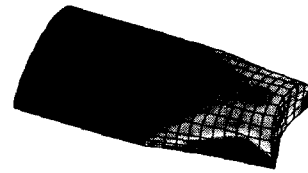
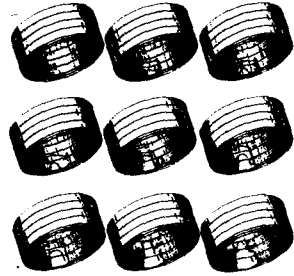


압연 시뮬레이션 적용사례

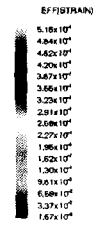


전조공정의 삼차원 해석

형상 압연 공정의 시뮬레이션



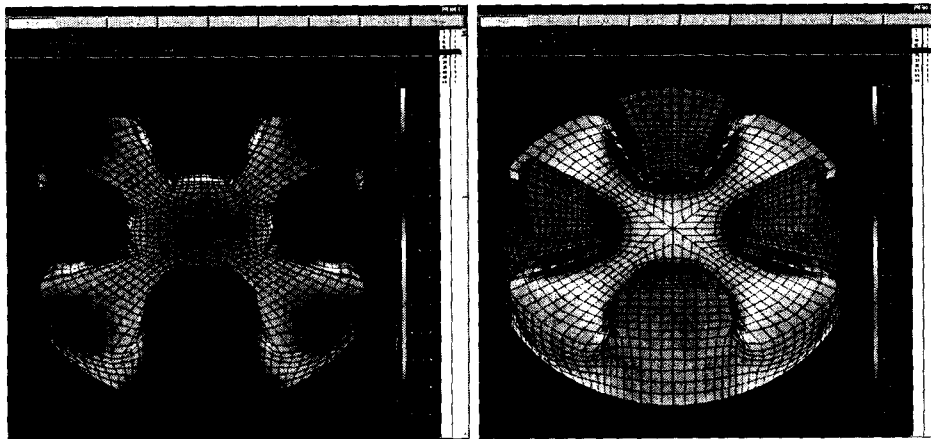
oval-round



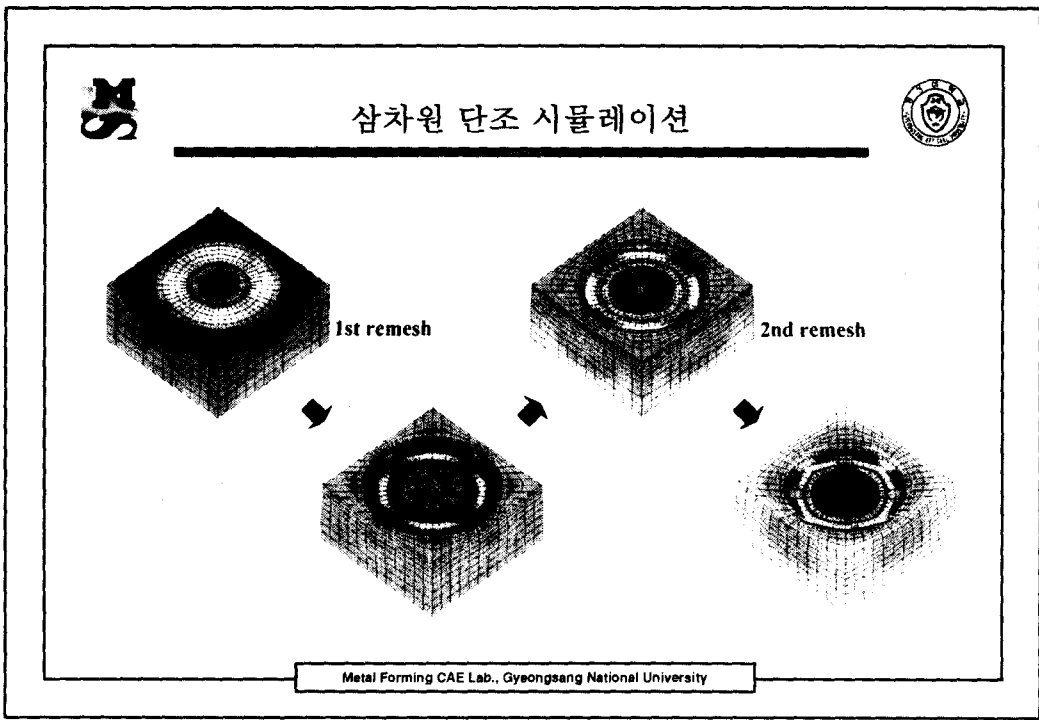
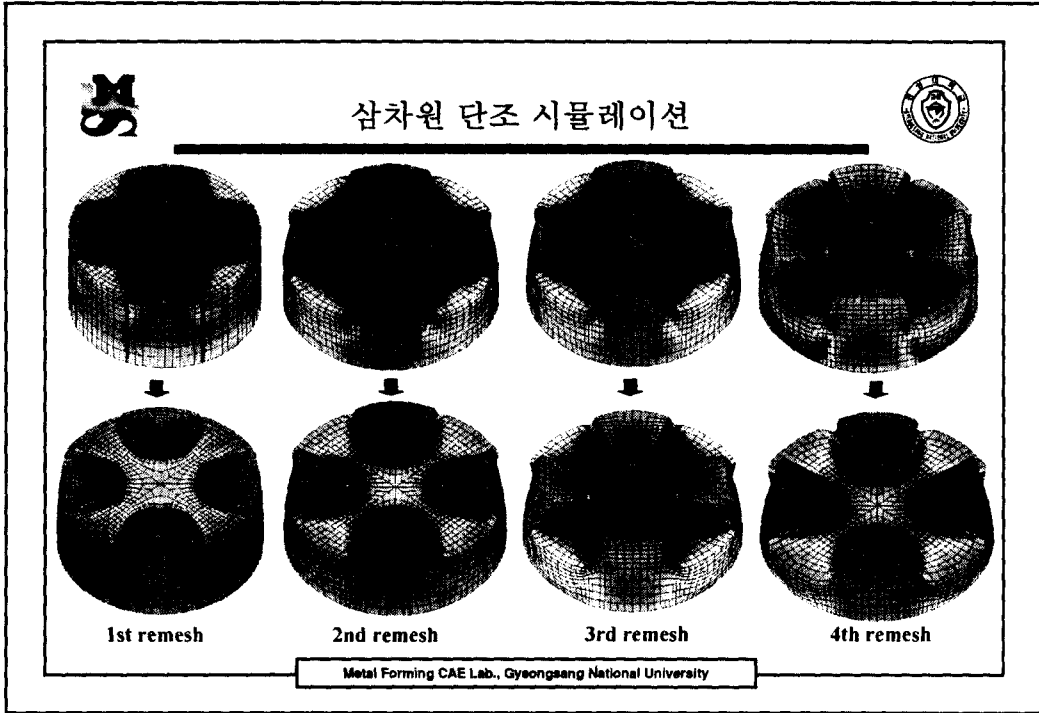
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



삼차원 단조 시뮬레이션

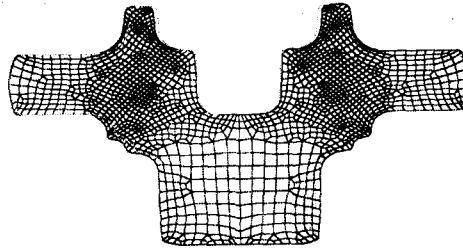
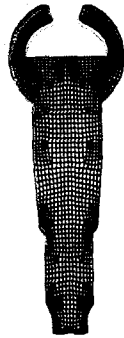


Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University





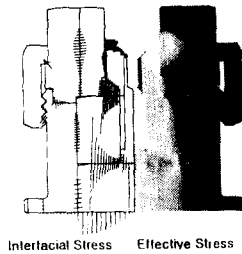
소재의 스프링백 해석



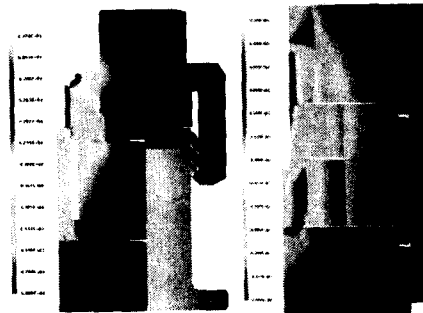
Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



금형의 구조해석



Interfacial Stress Effective Stress



Effective stress distributions Effective stress distributions

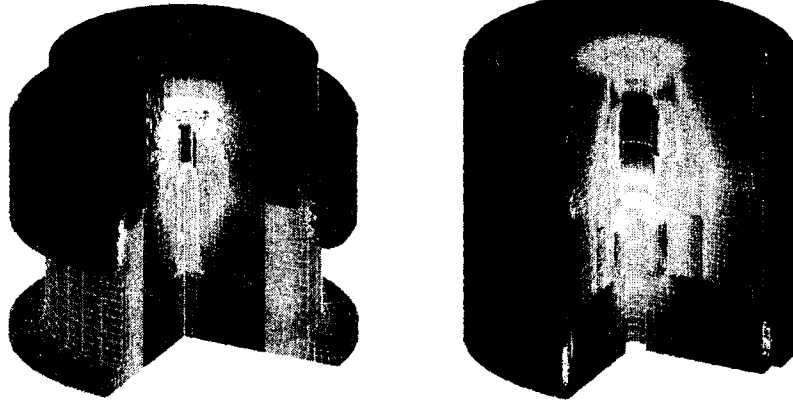


Deformed Shape Hydrostatic Pressure

Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



금형의 구조해석



Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University



결론



- ▶ 단조 시뮬레이션 기술이 단조공정 개발 생산성과 단조공업 경쟁력을 좌우함
- ▶ 기술력을 인증받기 위하여 단조 시뮬레이션 기술의 활용이 필수적임
- ▶ 사용자 컨소시엄에 의한 활용기술의 고도화가 필요함
- ▶ 산·학·연의 공동노력에 의한 단조 시뮬레이션 관련 기술개발 환경조성이 시급함

Metal Forming CAE Lab., Gyeongsang National University