

사용자 개입 기능이 지원된 국부 요소망재구성 기법을 이용한 정밀 단조시물레이션

류찬호*, 전만수**

Precise Forging Simulation by a Local Remeshing Technique Assisted by User-Interface Capabilities

C. H. Ryu and M. S. Joun

Abstract

In this paper, a local remeshing technique assisted by user-interface capabilities is presented for precise forging simulation. The rigid-plastic finite element formulation is introduced and the basic approach to the new local remeshing technique is presented. A piercing process in cold forging is simulated by the presented technique and the results are compared in detail.

Key Words : Precise Forging Simulation, Cold Forging, Piercing Process

1. 서론

단조시물레이션의 자동화는 실공정 적용 측면에서 그 중요성이 강조되어 왔다. 그런데 단조공정 그 자체가 매우 창의적이기 때문에 모든 경우의 수를 고려한다는 것은 불가능하며, 자동시물레이션의 원칙에 따라 자동시물레이션 결과가 다소 차이가 날 수 있다. 경험적으로 볼 때 대부분의 경우는 일반적인 원칙에 의하여 양호한 답을 얻을 수 있으나, 피어싱 등과 같이 국부적인 변형에 의하여 요소망재구성이 빈번하게 실시되는 특별한 경우에는 일반적 기준에 의한 자동시물레이션은 부적절하다.

Liu 등[1]은 국부 요소망재구성 기법의 유용성을 강조하고 있다. 이석원 등[2]은 단조시물레이션 결과가 요소망재구성에 따른 유효변형률의

순화로 인하여 다소 영향을 받는다는 점을 피어싱 공정의 컴퓨터 시물레이션과 실험을 통하여 지적하였다. 요소망재구성은 변형률분포 등의 순화로 이어지므로 특히 성형하중 결과에 영향을 크게 준다.

최근 PC를 바탕으로 하는 사용자 개입 기술의 발전은 일정한 법칙에 의한 완전 자동 단조시물레이션의 결점을 보완하기에 충분할 정도로 발전하였다. 정밀 단조시물레이션을 위하여 사용자 개입 기술과 기존의 자동 단조시물레이션 기술과의 상호보완 필요성이 이석원 등[2]에 의하여 제기되었다.

본 논문에서는 강화된 사용자 개입 기능을 바탕으로 사용자 개입에 의한 국부 요소망재구성 기법을 소개하며, 적용예제를 통하여 국부 요소망재구성 기법의 필요성을 강조하고자 한다.

* 경상대 대학원

** 경상대 기계공학과, 항공기부품기술연구소

2. 유동해석 문제의 수식화

소성가공 공정에서 금형과 소재는 해석영역 Ω 와 경계 Γ 로 나누어지며, 경계 Γ 는 표면력(traction)이 $t_i = \bar{t}_i$ 로 주어진 Γ_t , 속도가 $v_i = \bar{v}_i$ 로 주어진 Γ_v , 금형과 소재의 접촉면을 표현하는 Γ_c 등으로 세분화될 수 있다. 금형-소재 접촉면에서 압축력이 작용하면, 금형과 소재의 법선속도는 동일하다. 즉, Γ_c 에서 $v_n = \bar{v}_n$ 이다. 소재는 비압축성, 강소성, 등방성 경화(isotropic hardening) 등의 성질을 가지고 있으며 von Mises 항복이론과 관련 유동법칙을 따른다고 가정한다. 그리고 가속도의 영향은 무시할 정도로 작다고 가정한다.

소성가공 공정의 유동해석 문제는 소재의 속도장 v_i 를 구하자는 것이며, 다음의 약형으로 수식화된다.

$$\int_{\Omega} \sigma'_{ij} \omega_{ij} d\Omega + \int_{\Omega} K \epsilon'_{ij} \omega_{ij} d\Omega - \int_{\Omega} f_i \omega_i d\Omega - \sum \int_{\Gamma_t} \bar{t}_i \omega_i d\Gamma - \int_{\Gamma_c} \sigma_t \omega_t d\Gamma = 0 \quad (1)$$

여기서 가중함수 ω_i 는 경계 Γ_v 에서 영의 값을 갖는 임의의 함수이고,

$$\omega_{ij} = \frac{(\omega_{i,j} + \omega_{j,i})}{2} \quad (2)$$

이며, ω_n 과 ω_t 는 각각 ω_i 의 법선성분과 접선성분을 나타낸다. 벌칙기법에서, 벌칙상수 K 는

$$K \epsilon'_{ij} = \sigma_{ij} / 3 = -p \quad (3)$$

의 의미를 갖는다. 따라서 벌칙기법을 사용할 경우, 압력분포는 속도장 해석결과로부터 자동적으로 구해진다.

따라서 전술한 경계치 문제를 푸는 것은 임의

의 가중함수 ω_i 에 대하여 약형을 항상 만족시키는 속도장 v_i 를 구하는 문제로 수식화된다. 물론, 속도장은 Γ_v 와 Γ_c 의 필수경계조건을 만족해야 한다.

약형에는 속도장 v_i 와 가중함수 ω_i 가 바탕을 형성하고 있다. 그 이외의 것은 이들로부터 파생된 것이다. 따라서 이 네 개의 함수를 보간하여 속도와 압력이 미지수인 비선형연립방정식을 얻을 수 있다. 유한요소방정식의 유도 및 해법에 관한 내용은 참고문헌으로 대신한다.

3. 국부 요소망재구성

Fig. 1과 Fig. 2는 전체 단조시물레이션의 흐름을 가시화한 그림이다. 요소망재구성이 요구될 때, 사용자가 화면상의 그림을 바탕으로 요소망재구성 방법을 선택한다. 수동 요소망재구성 방법이 선택되면, 사용자 개입에 의하여 요소망재구성을 실시하게 된다. 요소망 생성은 회로법[3]에 바탕을 두고 있다. 따라서 요소망의 밀도는 회로상의 절점밀도로 제어된다. Fig. 3은 국부 요소망재구성의 과정을 가시화하고 있다. 먼저 관심이 있는 영역을 선택한다. 선택된 영역은 경계 절점으로 이루어진 회로로 표현된다. 요소밀도 제어 목적으로 필요할 경우 회로를 수동으로 재분할하여 요소망 생성을 실시한다. 새로 생성된 요소와 절점에 해당 상태값을 부여하는 것으로 요소망재구성 작업이 종료된다.

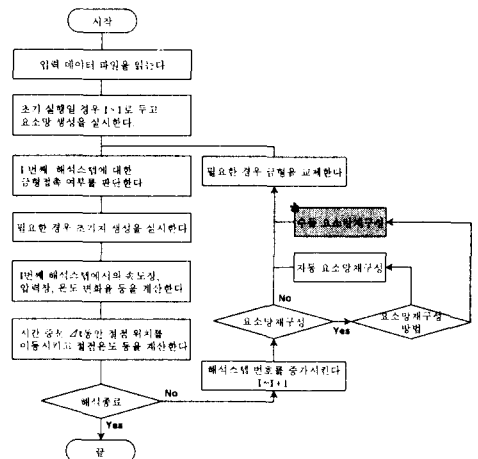


Fig. 1 Procedures of the forging simulation

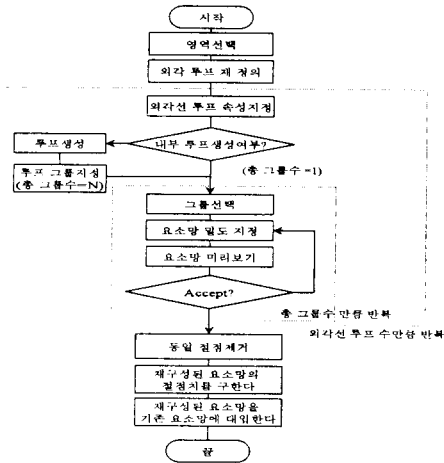


Fig.2 Detailed local remeshing procedures

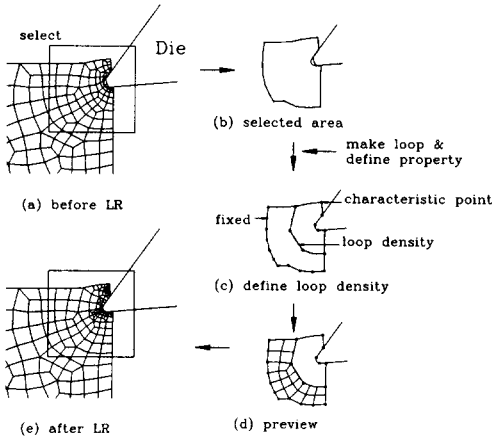


Fig.3 Conceptual diagram of the presented local remeshing technique

4. 적용예제

본 논문에서는 Fig. 4의 피어싱 공정을 적용 예제로 선정하였다. 이 예제는 이석원 등[2]에 의하여 실험결과와 기존의 자동 요소망재구성 기능을 이용한 단조시뮬레이션 결과와 비교되었다. Fig. 5는 해석과정 중 요소망의 변화과정을 보여주고 있다. 이 문제는 실제 일부의 전단영역만 소성변형이 발생하는 문제이며, 국부 요소망재구성이 필요한 대표적인 예이다. 해석결과를 얻는데 총 8번의 요소망재구성이 실시되었다. 그림상의 원은 요소망재구성된 영역을 나타내고 있다. Fig. 6은 성형하중, Fig.7은 유효변형률을 비교하고 있다. 완전 자동 요소망재구성 기능을 이용할

경우, 4번의 요소망재구성이 실시되었음에도 불구하고 상태변수의 순화로 인하여 실험결과와 상대적으로 큰 차이를 보이고 있다. 이 그림으로부터 하중과 피어싱되는 시점 모두 국부 요소망재구성을 실시하면 결과가 크게 개선되는 것으로 나타나고 있다.

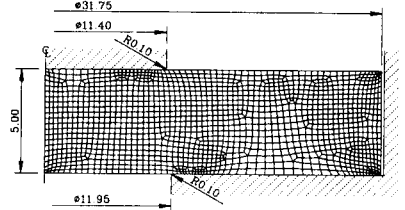


Fig. 4 Details of the test piercing process

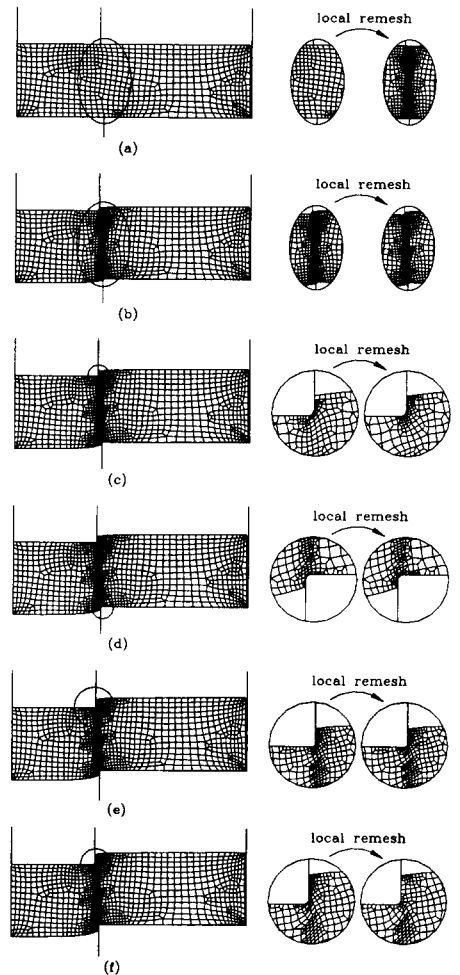


Fig. 5 Finite element meshes during simulation of the piercing process

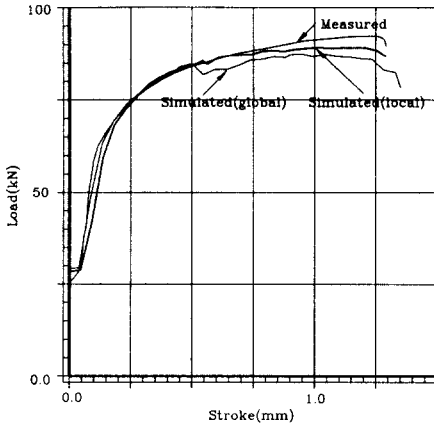


Fig. 6 Comparison of forming loads, measured and predicted.

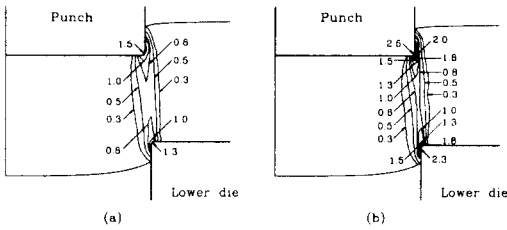


Fig. 7 Effective strain distributions: (a) with global remesh; and (b) with local remesh

5. 결론

본 논문에서는 국부 요소망재구성 기법에 의한 정밀 단조시물레이션 기법을 제시하였다. 이 방법을 이용함으로써 요소망재구성으로 인하여 발생하는 절점치 및 요소치 순화 문제를 해결하였다.

제안된 기법을 피어싱 공정 시물레이션에 적용한 결과, 기존의 전체 영역을 해석 대상으로 하는 자동요소망재구성 기법에 비하여 훨씬 정확한 결과를 얻었다.

참고문헌

[1] D. Liu, Z. J. Luo and M. X. Gu, "The Algorithm of Automatic Local Mesh Subdivision and its Application to Finite-Element Analysis of a Large Deformation Forming Process", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 83, pp.164-169, 1998.

[2] 이석원, 최대영, 전만수, "다단 단조공정의 자동 시물레이션 중 피어싱 공정의 강점소성 유한 요소해석", 한국소성가공학회, 제8권, pp. 216-221, 1999.

[3] M. S. Joun and M. C. Lee, "Quadrilateral Finite-Element Generation and Mesh Quality Control for Metal Forming Simulation", *Int. J. Num. Methods Eng.*, Vol. 40, pp.4059-4075.