

SPH를 이용한 취성재료의 절삭 모델

Cutting Model of Brittle Materials by using the SPH

*황의식¹, #조성욱¹, 황운봉², 박성진²

*U. S. Hwang¹, #S. W. Scho(Scho@cau.ac.kr)¹, W. B. Hwang², S. J. Park²
¹중앙대학교 기계공학부, ²포항공과대학교 기계공학과

Key words : Smooth Particle Hydrodynamics, Brittle Material, Orthogonal Cutting

1. 서론

절삭가공은 소재에 직접적으로 물리적인 힘을 가하여 소재를 제거하는 방식으로, 매우 다양한 요소들이 복합적으로 연계되는 복잡하고 난해한 가공방법이다. 최근 컴퓨터 성능의 비약적인 발전으로 인하여 많은 양의 데이터를 요구하는 유한요소법에 의한 절삭가공 모델링을 가능하게 하였고, 많은 수치해석 절삭 모델이 개발 되었다. 그러나 이전까지의 대부분의 절삭모델은 철, 구리, 알루미늄, 탄소강, 공구강과 같은 연성재료에 국한되어 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 유한요소 절삭 모델인 Lagrangian 방식의 절삭모델과 SPH(Smooth Particle Hydrodynamics)[1] 방식의 절삭 모델을 비교하여 두 가지 모델의 장단점을 파악하여 보다 효과적으로 취성 재료의 절삭 거동을 나타낼 수 있는 유한요소 절삭 모델에 관한 방법론을 제시하였다.

2. 취성 재료 모델

본 연구에서는 취성 재료의 절삭 거동을 묘사하기 위해 Johnson-Holmquist Material Model[2]을 사용하여 Float Glass를 모델링 하였다.

Johnson-Holmquist Material Model은 세라믹과 같은 취성 재료를 위한 구성방정식이며, Hugoniot Elastic Limit(HEL)과 전단계수(G)를 이용하여 유도 된다. Johnson-Holmquist의 구성방정식은 다음과 같다.

$$\sigma_i^* = A(P^* + T^*)^N (1 + C \ln |\dot{\epsilon}^*|) \quad (1)$$

$$\sigma_D^* = \sigma_i^* - D(\sigma_i^* - \sigma_F^*) \quad (2)$$

$$\sigma_F^* = B(P^*)^M (1 + C \ln |\dot{\epsilon}^*|) \quad (3)$$

여기서 A, B, C, D, M, N 은 재료 상수이다. 또한, 본 연구에서는 취성재료의 칩과 피삭재 사이의

분리를 위하여 물리적 칩 분리 조건으로 Johnson-Holmquist Fractured Model을 사용하였다. Damage Parameter D는 다음과 같이 정의된다.

$$D = \sum \frac{\Delta \epsilon^P}{\epsilon^{P_j}} \quad (4)$$

Where,

$$\epsilon^{P_j} = D_1 (P^* + T^*)^{D_2} \quad (5)$$

3. 수치해석 모델 및 결과

3.1 수치해석 모델

유한요소 해석은 Explicit code를 사용하고 SPH Solver와 Lagrange Solver를 지원하는 Autodyn을 이용하였으며 피삭재는 높이 1mm, 길이 2mm의 2차원 직교 절삭 모델[3]로 구성하였으며 재료는 Float Glass를 사용하였고, 공구는 경사각 30°, 여유각 6°의 강체로 모델링 하였다. 해석에 사용된 구속조건은 피삭재의 왼쪽과 아랫쪽을 각각 변위 구속 하였다. 또한 피삭재 파트는 직경 10 μm의 SPH Particle을 이용하였으며, 공구 파트는 해석시간을 줄이기 위하여, Lagrange mesh를 사용하였다.

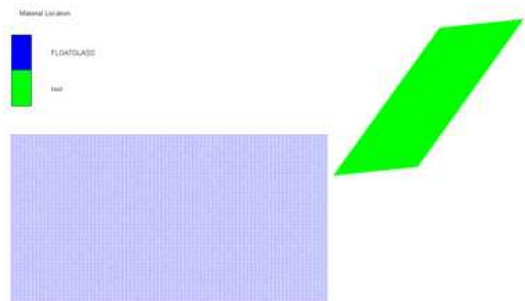


Fig. 1 F E M model by using SPH

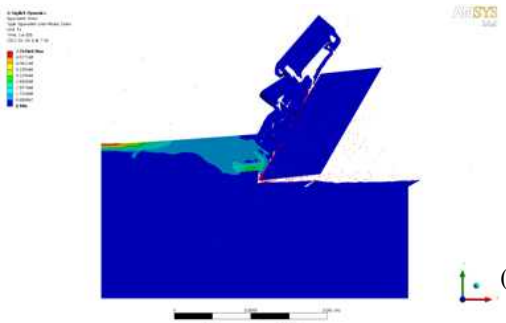
Table 1 Cutting Condition

Cutting Condition	
Depth (mm)	0.2
Cutting speed (m/s)	50
Rake angle	30°
Flank angle	6°

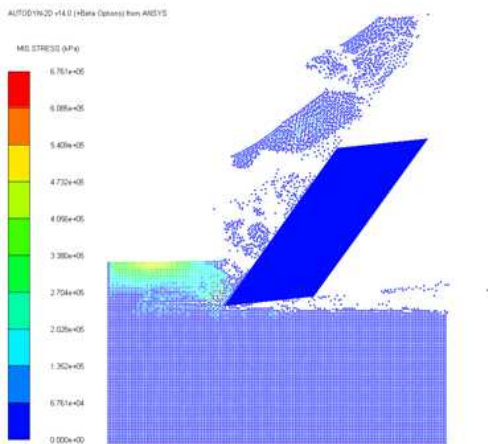
본 해석은 11,920개의 SPH Particle과 4,000개의 Lagrange mesh를 이용하여 모델링 하였다. 해석에 사용된 유한요소 모델과 절삭 조건은 그림 1과 표 1에 각각 나타내었다.

3.2 해석 결과

본 연구의 목적은 기존의 Lagrange Model과 SPH Model의 해석 결과를 비교하여 보다 효과적인 칩성 절삭 모델을 개발하는 것이다.



a) Lagrange Model



(b) SPH Model

Fig. 2 Von-Mises Stress of Glass

그림 2(a),(b)는 각각 Lagrange Model과 SPH Model의 증가응력을 나타낸 것이다. (a)에서와 같이 Lagrange Model의 경우 재료의 취성으로 인하여 칩이 연속적으로 생성되지 못하고 중간에 크랙이 발생하거나 끊어지는 불연속 칩의 특징을 확인할 수 있다. 하지만 해석 결과에서 나타나듯이 칩의 분리를 위해 사용되는 Erosion Option의 영향으로 가공면과 칩 부위에 과도한 요소 변형이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 실제 취성재료의 칩의 거동과는 많은 차이가 있다.

(b)의 SPH Model의 경우 공구가 이동한 후 크랙에 의한 1차 절삭과 공구 이동에 의한 2차 절삭의 과정을 보다 효과적으로 나타내는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 취성재료에 대하여 Lagrange Model과 SPH모형을 이용하여 각각 해석하였다. 해석 결과는 Lagrange Model의 경우 칩 분리를 위해 사용되는 Erosion Option 으로 인한 과도한 요소 제거로 인하여 취성재료의 절삭 거동을 효과적으로 표현하지 못하는 반면, SPH Model의 경우 현실적인 불연속 칩의 생성을 확인할 수 있었다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0001143).

참고문헌

1. J. Limido, C. Espinosa, M. Salaun, J. L. Lacombe, "SPH method applied to high speed cutting modeling," International Journal of Mechanical Sciences, pp. 898-908, 2007
2. D. S. Cronin, K. Bui, C. Kaufmann, G. McIntosh, T. Berstad, "Implementation and Validation of the Johnson-Holmquist Ceramic Material Model in LS-DYNA," 4th European LS-DYNA Conference, pp. 47-60, 2003
3. K. Komuopoulos, S. A. Erenbeck, "Finite Element Modeling of Orthogonal Metal Cutting," J. Eng. Ind, pp. 253-267, 1991