

절삭가공시 칩형성의 유한요소 해석에 관한 연구

김남용*, 박종권**, 이동주***

A Study on the Finite Element Analysis of Chip Formation in Machining

Nam-Yong Kim*, Jong-Kweon Park** and Dong-Ju Lee***

ABSTRACT

Process behavior in metal cutting results from the chip formation process which is not easily observable and measurable during machining. By means of the finite element method chip formation in orthogonal metal cutting is modeled. The reciprocal interaction between mechanical and thermal loads is taken into consideration by involving the thermo-viscoplastic flow behavior of workpiece material. Local and temporal distributions of stress and temperature in the cutting zone are calculated depending on the cutting parameters. The calculated cutting forces and temperatures are compared with the experimental results obtained from orthogonal cutting of steel AISI 4140. The model can be applied in process design for selection of appropriate tool-workpiece combination and optimum cutting conditions in term of mechanical and thermal loads.

Key Words : Cutting Characteristics(절삭특성), Chip Flow(칩유동), Chip Formation(칩형태), Finite Element Method(유한요소법), Machining(기계가공)

1. 서론

절삭가공은 원하는 치수와 정밀도를 갖는 제품을 생산하기 가장 대표적인 가공공정이다. 금속 절삭이 다른 가공공정과 다른 특징은 매우 작은 변형영역에서 높은 변형율을 부과하고 가공과정이 구속받지 않는 특징이 있다. 공정의 복잡성은 변형영역에서 커다란 응력의 변화와 열원에 의해서 더욱 증가한다. 현재에 이르러 금속절삭에 대한 유한요소법과 같은 수치해석기법을 적용하는 등의 관목함만한 발전이 있었다. 응력, 변형율과 온도의 함수로서 재료의 특성을 나타냈다. 칩과 공구 사이의 상호작용을 어느 정도 모델링 할 수 있었다.

효과적인 절삭과정 모델을 개선하도록 대개는 광범위한 실험을 통하여 절삭변수를 최적화한다. 유한요소 시뮬레이션은 새로운 공구를 설계할 때 공정의 최적화와 절삭실험시의 비용을 줄일 수 있다 그러나 금속절삭에 대한 유한요소법의 적용은 고 변형율과 고온일 때 재료의 데이터가 부족하기 때문에 매우 제한적이다. 따라서 예측절삭력, 예측응력, 예측온도, 칩형성은 실험값과 일치하지 않는다 금속절삭과정의 실제적이고 독립적인 시뮬레이션은 각각의 가공조건에 대해서 재료의 거동이 고려되어야 한다. 고변형율과 온도에 크게 의존하고, 변형영역에서 변형율과 온도의 평균값은 평균유동 응력을 계산하기 위하여 신출되어야 한다. 변형이

* 충남대학교 대학원 기계공학과
 ** 한국기계연구원
 *** 충남대학교 기계공학과

순수하게 전단에 의해서 일어난다는 가정과 전단 응력이 전단영역에서 일정하다는 가정은 부정확하다. Thomsen 과 Oxley 에 의해서 제안된 방법은 각각의 절삭조건에 대해서 피삭재의 유동응력 또는 전단응력을 결정하는데 매우 유용하다. 본 연구는 이들의 연구에 의하여 제안된 기본 개념을 사용하였다. FEM 은 금속절삭에서 칩유동을 포함한 금속 변형과정에서 금속유동을 예측하는데 사용할 수 있다.

무인화를 이루기 위한 기계가공의 자동화는 효과적인 칩제어를 필연적으로 요구한다. 칩절단과 칩배출은 칩제어의 대표적인 두 가지 기능적인 요소이다. 만일, 칩이 작고 규칙적이며 다루기 쉬운 크기와 모양으로 절단된다면, 칩을 더욱 효과적으로 배출할 수 있다. 칩형상과 칩절단은 공구의 기하학적 형상, 절삭조건, 피삭재와 공구의 재료특성과 같은 많은 변수들에 의해서 변한다. 본 연구에서는 공구의 기하학적 형상과 절삭조건이 칩유동에 미치는 영향에 대해서 유한요소법을 사용하여 연구하였다.

2. 절삭실험과 유한요소해석

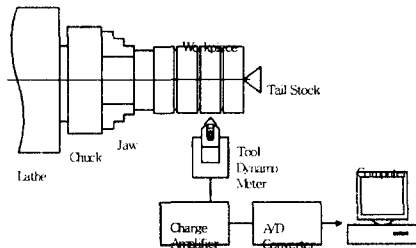


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup for cutting test

본 실험에 사용된 실험장치로는 독일산 GEMA 선반을 사용하였고 채터발생을 억제하기 위하여 가공물을 심압대로 지지하고, 선삭가공을 행하였다. 절삭력을 측정하기 위해서 선반의 공구대에 공구동력계를 장착하였다. 이때 charge Amplifier 를 DAQ Board 를 연결하여 IBM PC 로 테이터를 분석하였다. 절삭공구는 Taegu Tec.의 SNMA 120408 로 일반적으로 널리 쓰이는 것을 선택했다. 또한 공구의 플랭크 마모를 측정하기 위하여 Hnara Micro

Measure 측정시스템을 사용하였다. Fig.1 은 실험장치 개략도이다. Table 1 은 본 실험에 사용된 실험기기 및 사양을 나타낸 것이며, 실험의 절삭조건은 Table 2 와 같다.

Table 1 Specifications of experimental apparatus

Apparatus Name	Manufacturer	Model
Lathe	GEMA (Germany)	GC-200
DC Charge Amplifier	Kistler	type 9257A
Oscilloscope	Iwatsu	SS-5702
Tool Dynamometer	Kistler	type 5011
A/D Converter	National Instrument	DAQ 1200
Tool Holder	Taegu Tec	CSDNN2525M
Insert Type	Taegu Tec	SNMA 120408(K10)

Table 2 Cutting conditions of experiment

Cutting Condition	
Cutting Speed (m/min)	50 ~ 120
Feed (mm/rev)	0.1 ~ 0.3
Depth of cut (mm)	0.5 ~ 1.5

유한요소 시뮬레이션은 lagrangian explicit code 를 사용하고 adaptive remeshing 기능을 가지고 있는 Third Wave System 사의 AdvantEdge 를 사용하였다. 공구는 강체모델을 사용하고 피삭재는 소성모델을 사용하여 모델링하였다. 각 절삭조건에 따라 시뮬레이션을 행하였으며 시간스텝은 다음에 주어지는 수렴 및 안정조건식으로부터 Δt 를 정의하였다.

$$\Delta t \leq \frac{2}{\omega_{\max}^e}$$

여기서 ω_{\max}^e 는 $\omega^2 = \lambda$ 로 주어지는 고유치 (eigen value)에 관계한다.

Fig.2 는 절삭실험에서 얻어진 절삭력을 절삭속

도와 이송의 변화에 대해서 나타낸 것이다. Fig. 3은 공구가 진행함에 따라 칩의 생성과정을 보여주는 시뮬레이션이다.

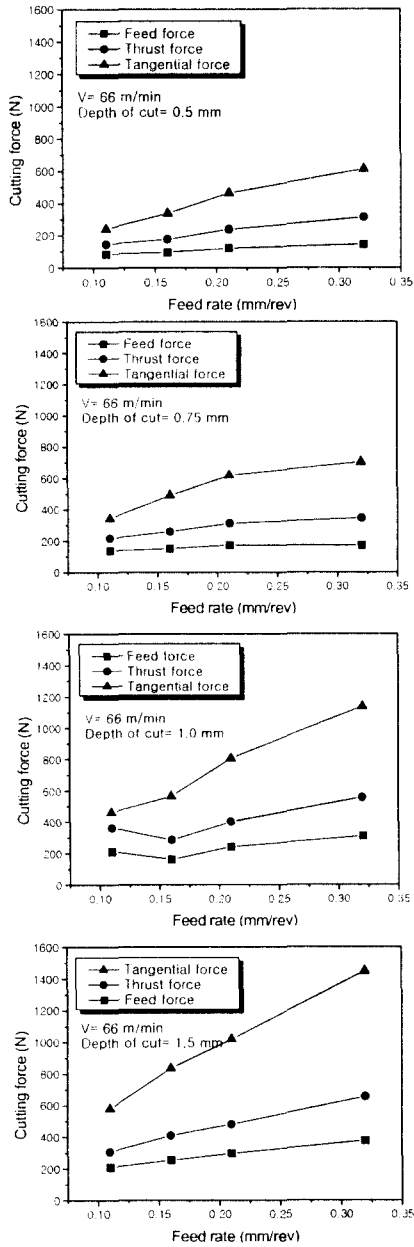


Fig. 2 Cutting forces according to depth of cut

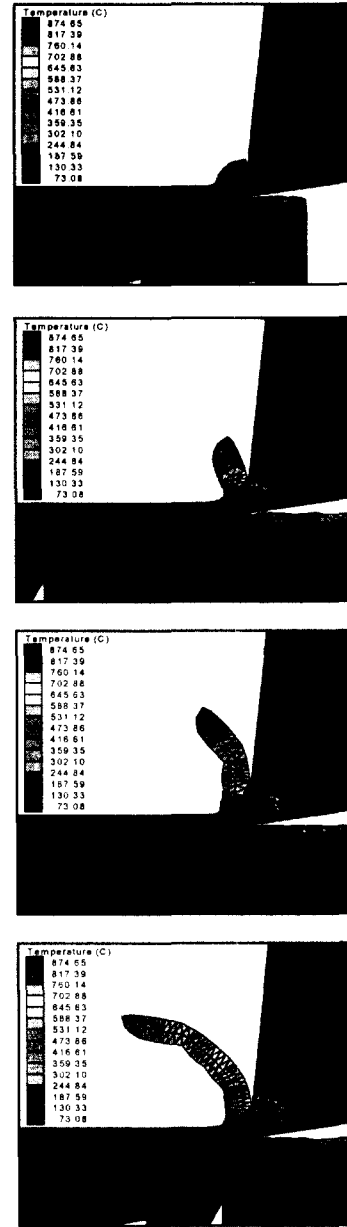


Fig. 3 Finite element simulation of chip formation of Ti-6Al-4V

3. 결과 및 고찰

공구의 기하학적 형상과 공구응력과 공구온도 사이의 관계를 설정하는 것이 공구설계에 도움이

된다. 본 연구의 목적 중 하나는 절삭공구설계에 있어서 FEM 시뮬레이션을 이용하는 방법을 정성적으로 설명하는 것이다. 따라서, 공구의 기하학적 형상이 칩유동에 미치는 영향을 연구하였다. 이송을 0.3 (mm/rev)로 하였을 경우에 절삭속도의 변화에 대한 절삭력을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 값이 실험값과 약 5~10% 범위 내에 있음을 알 수 있다. 절삭력은 모든 절삭조건에서 주분력, 배분력, 이송분력의 크기 순으로 나타나며, 주분력은 절삭시간의 경과에 따라 크기가 줄어드는 현상을 발견할 수 있었으며, 그 원인은 절삭진행과 더불어 크레이터 마멸이 주 절삭날에 매우 인접하여 시작되기 때문에 절삭중 유효공구상면 경사각의 증가효과를 초래하기 때문인 것으로 판단된다. 주분력 및 배분력은 절삭깊이의 증가에 따라 절삭력의 크기가 증대하는 경향이 뚜렷하나 이송분력은 절삭깊이의 영향을 비교적 적게 받는 것으로 나타났다. 또한 주분력의 경우 이송에 대해서 선형적인 변화를 나타내는 것을 확인하였다.

4. 결론

절삭실험의 결과와 유한요소 시뮬레이션을 통해서 칩형성에 미치는 영향에 대해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭특성 실험결과 가공시간의 경과에 따라 주분력의 크기가 줄어드는 현상이 나타났으며, 그 원인은 절삭의 진행과 더불어 크레이터 마모가 주절삭날에 매우 인접하여 시작되기 때문에 절삭중 유효공구상면 경사각의 증가효과를 초래하기 때문인 것으로 판단된다.
- (2) 주분력 및 배분력은 절삭깊이의 증가에 따라 절삭력의 크기가 증대하는 경향이 뚜렷하나 이송분력은 절삭깊이의 영향을 비교적 적게 받는 것으로 나타났으며, 표면거칠기에 있어서는 매우 크게 나타났었다. 평균거칠기는 이론값과 매우 일치하였고 이론값에 비하여 양호한 값을 나타냈다.
- (3) 절삭속도의 증가에 따라 절삭온도가 상승하는 것을 확인할 수 있었으며, 절삭온도 60 m/min 이하의 저속가공에서는 수분 내에 열평형에 도달하여 정상 상태에 도달하는 반면에 90m/min 이상의 고속에서는 수분 내에 열평형에 도달하지 못하고 계속하여 온도 상승

이 일어났다.

참고문헌

1. Thomsen E. G., Lira F., "Metal cutting as a property test", journal of engineering for industry, pp. 489-494, 1967.
2. Oxley P. L. B., "An analytical approach to assessing machinability", mechanics of machining, pp. 74-95, 1989.
3. Strenkowski J. S., Lira F., "A Finite Element Model of Orthogonal Metal Cutting", journal of engineering for industry, vol. 107, pp. 349-354, 1985.
4. Jain V. K., Joshi V. S., Dixit P. M., "Viscoplastic Analysis of Metal Cutting by Finite Element Method", International Journal of Machine Tools Manufacturing, vol. 34, pp. 553-570, 1993.
5. Eiji Usui, Toshiyuki Obikawa, Takahiro Shirakashi, Study on Machining Process of Difficult-to-Machine Materials(2nd)-Analysis of Stress and Temperature Distributions by Visio-Plasticity Technique and Finite Difference Method", J. of JSPE, Vol.52, No.9, pp.1623~1630.
6. 김남용, 홍우표, 이동주, "초경공구를 사용한 Ti-6Al-4V 합금의 절삭가공시 공구마멸과 절삭특성에 관한 연구", 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp.2000.
7. 이영문, 최원식, 송태영, 박태준, 장은실, "3 차원 절삭시 칩-공구 마찰 및 전단 측정 해석", 한국정밀공학회지 제 16 권 제 6 호, pp.190~196,
8. Third Wave AdvantEdge Theoretical Manual Version 3.6