

# 물리적으로 적합한 공구 반경 Physically Compatible Tool Edge Radius

\*김익현<sup>1</sup>, 안일혁<sup>2</sup>, 황지홍<sup>3</sup>

\*I.H. Kim<sup>1</sup>, I. H. Ahn<sup>2</sup>, #J.H. Hwang<sup>3</sup>(hwangjh@snut.ac.kr)

<sup>1</sup> 서울산업대학교 NID 융합기술대학원, <sup>2</sup> 고려대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 서울산업대학교 제품설계금형공학과

Key words : Tool edge radius, Cutting forces

## 1. 서론

마이크로 가공에 있어서의 절삭력 예측은 전단각(shear angle)을 얼마나 정확하게 예측할 수 있느냐에 달려 있다. Mechant[1]는 수직 절삭(orthogonal cutting)에 있어서 shear plane을 얇은 판으로 가정하여 전단각을 계산하고, 이를 바탕으로 절삭력을 해석적으로 예측하였는데, 이때 공구 끝 반경은 매우 날카롭다고 가정하였다. 그 이후의 많은 연구자들이 Mechant가 제안한 모델을 기반으로 다양한 모델들을 개발하였다[2]. 그러나, 실제 공구의 경우 공구 끝 반경은 Mechant가 가정한 것과는 달리 매우 날카로운 경우에도 수  $\mu\text{m}$ 의 반경을 가지게 된다. 유한한 공구 끝 반경은 칩 두께가 작아짐에 따라 절삭력 예측에 있어서 중요한 인자로 간주되게 되는데, 이는 공구 반경에 비해서 칩 두께가 상대적으로 작아짐에 따라서 전단각이 작아지게 되고, 이는 절삭력의 비선형적인 증가를 가져오기 때문이다. 이러한 효과를 공구 끝 반경에 대한 치수효과(size effect)라고 하면, 마이크로 가공에 있어서 이러한 치수효과는 중요한 연구 주제라고 할 수 있다. 기존의 공구 끝 반경에 대한 치수효과 연구에 있어서 대부분의 연구자들[3,4]은 공구 끝의 형상을 원이라고 가정하고 연구를 수행하였다. 그러나, 실제로 경우 공구의 마모와 같은 현상으로 인한 공구 형상의 변화, 공구 제작 과정에서 다양한 원인에 의해서 원이 아닌 비 대칭적인 형상을 가지게 되기도 한다. S. Asai 등[5]은 다이아몬드 공구의 공구 끝 형상을 비대칭을 포함할 수 있도록 타원 형태로 가정하기도 하였다.

본 연구에서는 공구 끝 형상을 나타낼 수 있는 모델들을 제안하고, 제안된 모델들이 나타내는 공구 반경과 절삭력과의 상관관계를 파악하여, 기하학적인 공구 반경이 아닌 물리적으로 적합한 공구 반경 모델을 제안하고자 한다.

## 2. 제안 모델

### 2.1 유효 영역

공구 끝 형상을 나타내는 공구 반경을 구하기 위해서는 공구 끝 형상을 나타내는 영역을 먼저 선택해야 한다. Fig. 1은 공구 끝 형상을 나타내는 유효 영역을 나타내고 있다.

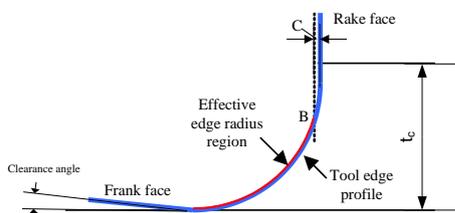


Fig. 1 Effective tool edge radius region

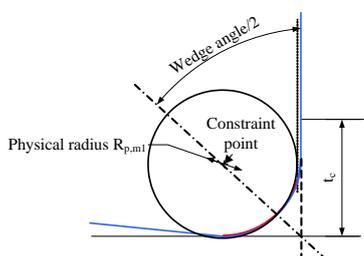


Fig. 2 Proposed model 1

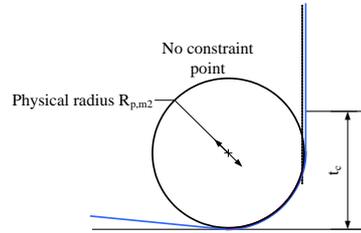


Fig. 3 Proposed model 2

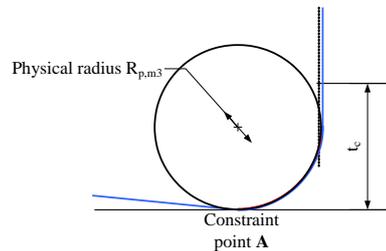


Fig. 4 Proposed model 3

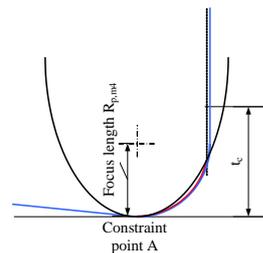


Fig. 5 Proposed model 4

### 2.2 공구 끝 형상 모델

동일한 유효 영역에 대하여 각각의 모델들은 최소자승법을 이용하여 모델들의 파라미터를 구하였다.

#### 2.2.1 모델 1

Fig. 2는 모델 1을 나타낸 그림이다. 모델 1은 공구의 쐐기각(wedge angle)을 이등분 하는 직선상에 원의 중심이 위치하는 모델이다.

#### 2.2.2 모델 2

Fig. 3은 모델 2를 나타낸 그림이다. 모델 2는 공구 반경을 구함에 있어서 어떠한 제한도 없이, 유효영역을 지나서 최적의 원을 구한 모델이다. 일반적인 기하학적 모델을 나타낸다.

#### 2.2.3 모델 3

Fig. 4는 모델 3을 나타낸 그림이다. 모델 3은 구하여진 원이 새로이 생성된 면에 접하도록 한 모델이다.

#### 2.2.4 모델 4

Fig. 5는 모델 4를 나타낸 그림이다. 모델 4는 공구 끝 형상을 포물선으로 선정하였으며, 포물선의 꼭지점이 새로이 생성된 면에 접하도록 한 모델이다.

## 3. 실험

실험은 Fig. 6에 보이는 장치를 이용하여 수행하였으면, 실험 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Cutting conditions

|   | Values                |
|---|-----------------------|
| Cutting speed(mm/sec)                           | 100                   |
| Rake angle(deg)                                 | 0                     |
| Uncut chip thickness( $\mu$ m)                  | 10, 50, 100, 150, 200 |
| Work material                                   | Zinc (99.9%)          |
| Edge radius<br>(manufacturer measured, $\mu$ m) | 20~180                |



Fig. 5 Experiment setup

4. 결과 및 토의

실험을 통하여 얻어진 각 방향(수직, 수평) 절삭력과 각 모델로부터 계산된 공구 반경과의 관계를 Fig. 6~7 에 나타내었다.

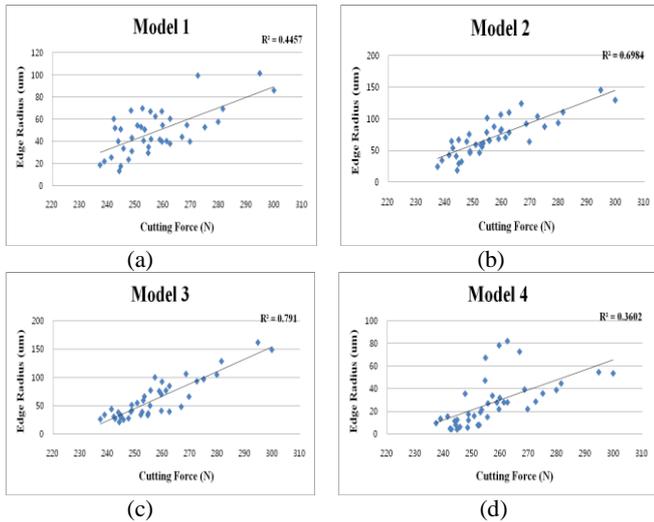


Fig. 6 Correlations between cutting forces and calculated tool edge radius for proposed model, respectively, at chip thickness= 150  $\mu$  m.

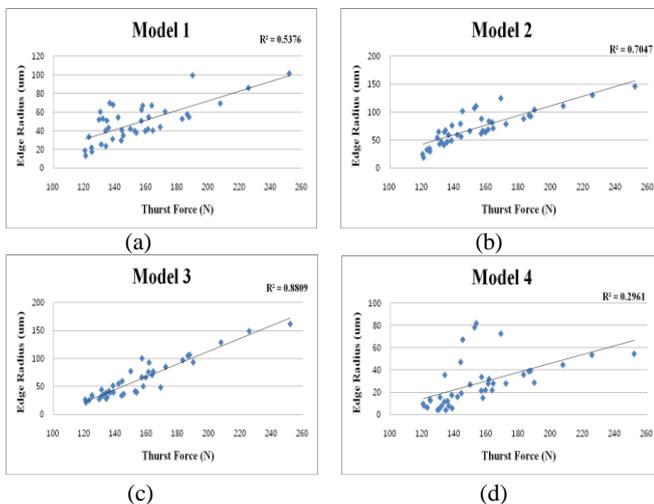


Fig. 7 Correlations between thrust forces and calculated tool edge radius for proposed model, respectively, at chip thickness= 150  $\mu$  m.

여기에서, x 축 값은 절삭력이고, y 축은 각 모델로부터 계산된 반경을 나타낸다. 동일 칩 두께일 경우, 일반적으로 절삭력은 공구 반경에 대하여 지수함수 관계를 가지는 것

으로 알려져 있는데, 실험으로 얻어진 결과와 계산된 반경을 지수 함수를 이용하여 커브피팅(curve fitting)을 하여서, 그 오차의 정도를 결정계수로 나타내었다.

그 결과를 보면, 수평력(cutting force)에서는 모델 2 와 모델 3 이 유사한 정도의 오차를 보이던 좋은 관계를 보여주고 있으나, 수직력(thrust force)에 있어서 모델 3 이 모델 2 에 비해서 월등히 좋은 결과를 보여주고 있다. 여기에서, 칩 두께가 150  $\mu$  m 인 경우만 보여주고 있으나, 다른 칩 두께에서도 모델 3 이 더 훌륭한 결과를 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

일반적인 절삭력 예측에 있어서, 수평력보다는 수직력이 절삭 조건이나 공구 반경들에 더욱 민감하기 때문에, 절삭계수의 캘리브레이션을 통하여 예측된 절삭력에서 수평 방향 절삭력에 비해서 수직방향 절삭력에서 더 큰 예측 오차가 발생을 한다[6]. 모델 3 의 경우는 오히려 수평력에 비해서 수직력에서 더 좋은 적합성을 보여 주고 있다. 이는 모델 3 을 이용하여 구한 공구 반경이 절삭력과 관계 나타냄에 있어서 기하학적인 모델(모델 2)보다 물리적으로 적합한 공구 반경임을 나타낸다.

5. 결과

본 논문에서는 공구 끝 형상을 나타낼 수 있는 4 가지 모델들을 제시하고, 절삭 실험을 통하여 얻은 결과와 제시된 모델들로부터 공구 반경과의 상관관계를 알아 보았다. 그 결과 모델 3 이 가장 훌륭한 상관관계를 보여주고 있음을 알 수 있었다. 이는 모델 3 이 물리적으로 가장 적합한 공구 반경을 제시하고 있음을 의미하며, 역학적 절삭 모델에 이용되는 공구 반경에 있어서 기하학적인 공구 반경보다 더 의미 있는 공구 반경을 제시할 수 있을 것으로 생각된다. 본 논문에서 사용된 실험 조건은 레이크각이 0 도인 경우를 사용하였다. 차후에는 다양한 레이크각에 대하여 모델과 절삭력 사이의 상관관계를 밝혀낼 예정이다.

감사의 글

본 논문에 사용된 공구를 제공해 주신 (주)한국야금 정성찬 대리님 및 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. M.E. Merchant, Mechanics of the metal cutting process, I: orthogonal cutting, Journal of Applied Physics, 16, 267-75, 1946.
2. A. Molinari and A. Moufki, The Mechant's model of orthogonal cutting revised: A new insight into the modeling chip formation, International Journal of mechanical Sciences, 50, 124-131, 2008.
3. K.S. Woon, M. Rahman, K.S. Neo and K. Liu, The effect of tool edge radius on the contact phenomenon of tool based micromachining, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48, 1395-1407, 2008.
4. G. Bissacco, H.N. Hansen and J. Slusky, Modelling the cutting edge radius size effect for force prediction in micro milling, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 57, 113-116, 2008.
5. S. Asai, Y. Taguchi, K. Horio, T. Kasai and A. Kobayashi, Measuring the Very Small Cutting-Edge Radius for a Diamond Tool Using a New Kind of SEM having Two Detectors, Annals of the CIRP, 39, 85-88, 1990.
6. S. Ranganath, A. B. Campbel and D. W. Gorkiewicz, A model to calibrate and predict forces in machining with honed cutting tools or inserts, International Journal of Machine tools and Manufacture, 47, 820-840, 2007.