

# 등가 경사절삭 시스템에 의한 드릴링의 전단 및 마찰특성 해석( I ) Shear and friction analysis of drilling, using equivalent oblique cutting system( I )

\*이영문<sup>1</sup>, #김선일<sup>2</sup>, 정희철<sup>2</sup>, 장승규<sup>2</sup>, 장은숙<sup>2</sup>

\* Y. M. Lee(ymlee@knu.ac.kr)<sup>1</sup>, #S. I. Kim<sup>2</sup>, H. C. Jung<sup>2</sup>, S. K. Jang<sup>2</sup>, E. S. Jang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 경북대학교 기계공학부, <sup>2</sup> 경북대학교 대학원 기계공학과

Key words : drilling torque, thrust force, equivalent oblique cutting model, Fe-simulation

## 1. 서론

절삭과정은 그 본질에 있어 칩 생성과정이며, 대부분의 금속절삭 시 칩 생성은 전단역이라 불리는 극히 한정된 영역에서 매우 좁은 간격을 두고 잇달아 일어나는 집중된 전단소성변형에 의해 이루어지고 생성된 칩은 공구경사면과 심한 마찰을 일으키면서 외부로 배출된다. 금속절삭연구에 있어 가장 기초적인 문제는 상기한 전단소성변형 거동과 칩-공구 경사면의 마찰거동에 미치는 절삭조건, 피삭재와 공구의 재질 및 형상 등 절삭입력조건에 영향을 밝히는 것이다. 절삭공정은 연속절삭 방식과 단속절삭 방식으로 대별되며 절삭인선의 수에 따라 단인공구에 의한 절삭공정과 다인공구에 의한 절삭공정으로 분류된다. 단인공구에 의한 연속절삭 공정의 대표적인 예로 외경선삭을 들 수 있으며, 다인공구에 의한 단속절삭 공정은 밀링 가공을 예로 들 수 있다. 또한 다인공구에 의한 연속절삭 공정은 드릴링 가공이 대표적인 공정이다.

드릴링 가공은 원통 내면을 갖는 구멍을 가공하는 공정을 말하며 공구의 회전에 의해 칩을 발생시키며 소재를 제거하는 측면에서 다인공구에 의한 단속절삭 공정과 유사하며 인선에서 지속적인 전단, 마찰 과정이 이루어진다는 측면에서 단인공구의 연속절삭 공정과 유사하다. 드릴링 공정이 진행될수록 공구는 소재의 내부로 침투하여 칩의 배출과 절삭유제의 직접적인 침투가 어렵고 공구의 회전중심에서 회전 속도는 0이 되어 수직이송에 의해 야기되는 과도한 트러스트(thrust force)의 영향을 받게 된다. 이를 완화하고자 회전중심부는 웨브(web)의 지름을 초기의 크기로 해주는, 소위 시닝(thinning) 형상이 도입되었다. 또한 드릴링 가공 시 발생하는 진동 및 형상의 미소한 불균일(run-out)로 인한 각 인선의 절삭 저항의 차이는 공구와 가공부 내벽과의 높은 마찰의 원인이 된다. 절삭은 바디(body)부 선단에 나 있는 절삭날(lip)에 의해 이루어지며 생성된 칩은 나선형 홈(flute)을 따라 배출된다. 칩 배출 통로인 나선형 홈은 공구의 강성 및 칩 배출과 밀접한 관련성을 가진다. 나선형 홈이 드릴축과 이루는 각을 나선각(helix angle) 또는 비틀림각(twist angle)이라 하며 이 각이 크면 절삭날의 예리성이 커지며, 절삭저항도 감소하지만 날의 강도, 수명이 떨어지며, 칩의 배출도 어렵게 된다.

드릴링 가공 시의 특이성은 절삭가공의 고속화 무인화 등의 진행과정에서 걸림돌로 작용하며 이를 해결하고자 많은 연구자들의 노력이 이어지고 있다.

Galloway<sup>(1)</sup>는 여유각(relief angle), 선단각(point angle) 등 드릴 형상인자가 절삭성에 미치는 영향을 연구하였고 Kim<sup>(2)</sup> 등은 트위스트 드릴의 형상과 절삭조건에 대한 절삭력 예측 및 응력해석에 관한 연구를 수행하였으며 많은 연구자들에 의해 드릴링 가공 특성 해석과 절삭력 및 형상에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>(3-5)</sup>

상기와 같이 드릴링 공정의 해석을 위하여 많은 연구가 진행되고 있으나 전단 및 마찰특성의 관점에서 드릴링 가공의 해석에 대한 연구는 아직 미진한 실정이다.

다. 최근 Lee 등<sup>(6)</sup>은 단인공구에 의한 3 차원 절삭의 전단소성변형특성과 칩-공구경사면의 마찰거동특성 해석을 위하여, Shaw<sup>(7)</sup> 등의 경사절삭해석모델을 확장하여 대표적인 3 차원 절삭과정인 외경선삭과정에 상당하는 등가경사절삭모델을 제시한 바 있다. 본 논문에서는 상기의 등가경사절삭모델(equivalent oblique cutting model)을 이용하여 드릴의 형상인자와 절삭조건에 대한 드릴링 공정의 칩-공구 마찰 및 전단특성에 대한 해석을 수행하고 Fe-simulation 을 이용하여 드릴링 가공 시 드릴링 토크(drilling torque)와 트러스트(thrust force)를 예측하고 그 결과를 고찰하였다.

## 2. Analysis model

본 연구에서 드릴링 절삭공정의 전단 및 마찰과정 해석을 위해 공구의 기하학적인 형상의 이해와 등가경사절삭모델을 적용하기 위한 절삭속도 및 드릴링 토크(drilling torque)와 트러스트(thrust force)의 좌표변환이 필요하다. Fig. 1 은 드릴의 형상인자 및 공구 형상을 나타낸 그림이다. 드릴 선단의 인선을 립 인선(Lip edge)와 시닝 인선(thinning edge)으로 구분하여 전단 마찰과정의 해석을 수행한다.

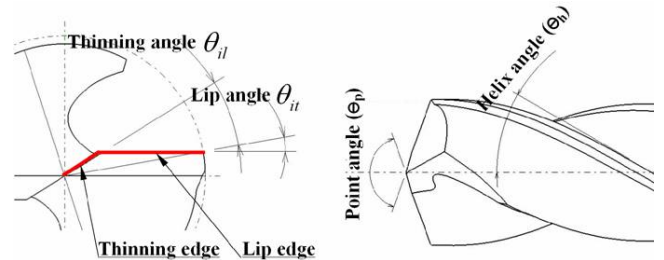


Fig. 1 Drill nomenclature

드릴의 나선각(helix angle,  $\Theta_h$ )는 등가 경사절삭 모델의 측면경사각(side rake angle,  $\alpha_s$ )에 대응하며 선단각(point angle,  $\Theta_p$ )은 측면절삭날각(side cutting edge angle,  $C_s$ ), 드릴 중심점과 인선 끝점을 연결한 가상선으로부터 도출된 립인선각(lip edge angle,  $\Theta_{li}$ ) 및 시닝인선각(thinning angle,  $\Theta_{it}$ )은 각각 후방경사각(back rake angle,  $\alpha_{bl}$ ,  $\alpha_{bt}$ )에 대응한다.

Fig.2 는 드릴 인선에서 속도 및 힘의 관계를 나타낸 그림이다.

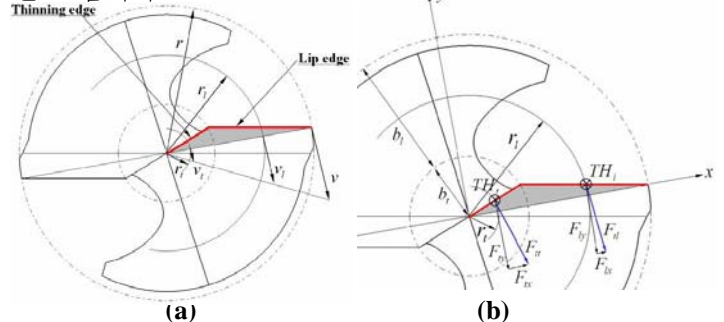


Fig. 2 Velocity (a) and force (b) relation on drill edge

립인선 중심 속도(lip edge center velocity,  $v_l$ ) 및 시닝인선 중심 속도(thinning edge center velocity,  $v_t$ ) 는 식(1), (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_l = \pi \times 2r_l \times N \quad (1) \quad v_t = \pi \times 2r_t \times N \quad (2)$$

드릴링 토크(drilling torque, TO)와 트러스트(thrust force, TH)와 드릴 인선의 기하학적인 관계에서 립인선 중심 접선력(lip edge tangential force,  $F_{tl}$ )과 시닝인선 중심 접선력(thinning edge tangential force,  $F_{tt}$ )은 식 (3), (4)로 나타낼 수 있으며  $e_l$  은 립인선 가공비율을,  $e_t$  시닝인선 가공비율을 타나낸다.

$$F_{tl} = \frac{(TO/N) \times e_l}{r_l} \quad (3) \quad F_{tt} = \frac{(TO/N) \times e_t}{r_t} \quad (4)$$

각 접선력과 트러스트(thrust force, TH)로부터 Fig.3 과 같이 등가 경사절삭모델의 절삭 3 분력을 도출한다.

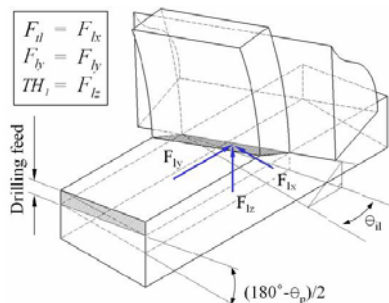


Fig. 3 Transformation drilling force to equivalent oblique cutting model

3. Drilling simulation

드릴링 시뮬레이션을 수행하기 위하여 CAD software 인 CATIA V5 를 이용하여 드릴 및 소재를 모델링하였으며 드릴링 시뮬레이션은 상용 Fe-software 인 DEFORMTM 3D 를 이용하여 수행하였다. 공작물은 완전강소성체로 설정하였으며 von-Mises yield criterion 을 적용하였다. 총 요소수는 60,000 개로 설정하였으며 대변형을 고려한 remeshing process 에 의하여 공작물은 변형 및 칩 형성이 이루어진다.

드릴 형상 및 시뮬레이션 조건을 Table 1 에 나타내었다.

Drill diameter, D: 10mm
Helix angle, $\theta_h$ : 10°, 20°, 30°
Point angle, $\theta_p$ : 140°
Cutting Velocity, v: 100m/min (3200RPM)
Feed rate, $f_r$ : 0.1, 0.2, 0.3mm/rev
Fluid: none
Work-piece: AISI 1045

본 연구에서는 가공 시뮬레이션을 수행하고 전단 및 마찰 측면에서 드릴링 가공 해석을 수행하였다. 시뮬레이션에 의한 드릴링 토크(drilling torque)와 트러스트(thrust force)를 Fig.4 에 나타내었으며 비전단 에너지와 비마찰에너지 및 비절삭에너지를 각 Fig.5, Fig.6 에 나타내었다.

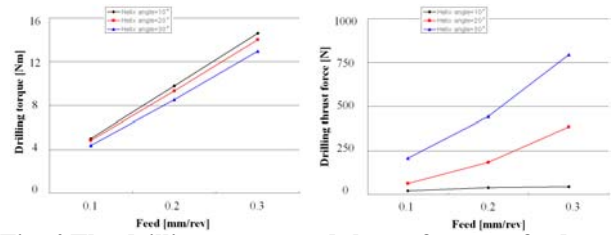


Fig. 4 The drilling torque and thrust force vs. feed rate

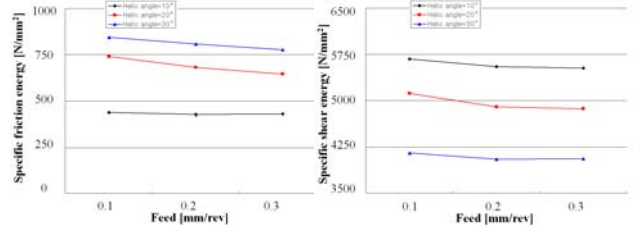


Fig. 5 The specific friction and shear energy vs. feed rate

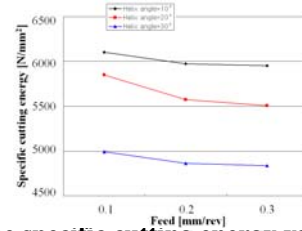


Fig. 6 The specific cutting energy vs. feed rate

4. Conclusion

해석 결과에 대한 고찰을 통하여 드릴링 토크(drilling torque)와 트러스트(thrust force)는 feed 에 대하여 증가하는 경향을 확인하였다. 나선각(helix angle)에 대하여 드릴링 토크 는 감소하는 경향을, 트러스트는 증가하는 경향을 확인하였다. 비절삭에너지는 feed 증가에 대하여 감소하는 경향을 나타내었다. 전단:마찰 에너지 비율은 90:10 으로 나타났으며 전단 에너지의 비율이 더 큰 것을 확인하였다. 또한 선단각의 증가에 대하여 마찰 에너지의 비율은 증가함을 확인하였다.

참고문헌

1. D. F. Galloway, "Some Experiment on the influence of Various Factors on Drill Performance" Trans, ASME, pp.191-231, 1957
2. K. W. Kim, T. K. Ahn, "Force Prediction and Stress Analysis of a Twist Drill from Tool Geometry and Cutting Condition" Int. J. Precision and Manufacturing, 6, 65-72, 2005
3. 전연찬, 이동주, 남궁석, "드릴가공시 절삭저항이 갖는 정보와 그 응용에 관한 연구" 한국정밀공학회지, 5, 39-47, 1988
4. 이영식, 정석주, "드릴의 선단각, 나선각 및 가공조건이 가공성에 미치는 영향", 한국공작기계학회지, 6, 138-146, 1997
5. 김희술, 고태조, 오명석, "환경친화적 건식 드릴링을 위한 드릴형상 및 절삭조건", 한국공작기계학회지, 9, 36-44, 2000
6. Lee, Y. M., Choi, W. S., and Song, T. S., "Analysis of 3-D Cutting Process with Single Point Tool", J. KSPE, 1, pp. 15-21, 2000
7. Shaw, M. C., Cook, N. H. and Smith, P. A., "The Mechanics of Three Dimensional Cutting Operation," TRANS. ASME, 74, pp. 1055-1064, 1952.