

최적형상의 고속용 엔드밀 설계를 위한 프로그램 개발

고성림*, 한창규+, 서천석**, 김경배**

Development of the program for Optimal Design of High Speed Endmill

Sung-Lim Ko*, Chang-Kyu Han+, Cheon-Seok Seo**, Kyung-Bae Kim**,

Abstract

The tool geometry parameters and cutting process have complex relationships. Until now, various cutting test were needed to acquire optimal design of end mill for the purpose of high speed machining, due to the insufficient knowledge about cutting process in high speed machining. Using various tools with different geometry, relationships between tool geometry parameter (rake angle, clearance angle, length of cutter) and cutting process (cutting force, surface accuracy, surface roughness) have been studied. Acquired data can be used to design optimal tool for high speed machining

Key Words : Tool geometry (공구 형상), High speed machining (고속 가공), Cutting force (절삭력), Rake angle (공구 경사각), Clearance angle (공구 여유각), End mill (엔드밀)

1. 서론

엔드밀은 산업현장에서 정밀금형이나 다이 제조 시 넓게 용되는 절삭 공구이며 공작기계의 향상에 따라 발전을 함 거듭해 왔다. 공작기계의 고속화에 따라 공작기계의 측면서는 강성 증가, 열변형의 억제와 동적 안정성의 개선 및 답성 개선을 통해 정밀도를 개선시키고 이송속도와 절삭속의 증가를 통하여 생산성을 증대 시키고 있다. 공구의 측면서는 새로운 재종 및 코팅기법의 개발을 통해 공구수명의

상을 달성하고 있다. 또한 공구형상의 최적화를 통해 동적 정성을 확보하고 가공 정밀도를 개선하고자 하는 다양한 시도가 이루어지고 있다.

기존의 연구에서는 엔드밀의 여유각과 경사각 형상의 변화가 절삭 성능에 중요한 영향을 미치는 것에 대해 연구하였다. Kaldor는 여유각의 차이가 공구의 수명에 영향을 미치 절삭조건에 따라 최적 형상이 존재함을 실험을 통해 확인하였다[1,2,3]. Melkote는 엔드밀 가공 시 여유각과 경사각에 따라 표면 조도에 미치는 영향과 런아웃에 대한 error를 보하여 가공면 형성을 모델링 하였다[4]. 선삭가공시 피삭재

* 건국대학교 기계설계학과 (slko@konkuk.ac.kr)
주소: 서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교 공과대학 기계설계학과
+ 건국대학교 대학원 기계설계학과
++ 한국야금(주)

직경에 따라서 적정 여유각이 결정됨을 알 수 있었다[6]. 국에서는 다양한 설계변수에서의 절삭성능의 관계를 연구하다[7,8].

본 연구에서는 다양한 피삭재에서 밀링가공 시 고속 가공 엔드밀의 여유각과 경사각의 변화에 따른 절삭 성능의 화와 고속 가공 시 미치는 영향을 연구하였다. 이 결과를 이용하여 최적 설계용 프로그램을 개발하였다.

2.엔드밀 가공에서의 여유각과 경사각의 영향

2.1 절삭조건 및 장비

Table 1. Cutting Condition for End milling

D	AD	Rd	f	RPM	V	F	OverHang
10	10	0.2	0.03	2400	75	432	3D
6	6	0.12	0.018	4000	75	432	4D

본 연구에서는 공구 형상과 절삭 공정과의 관계에 대한 석을 위하여 현대 정공의 SPT-V18S 머시닝 센터에서 Table 1 과 같은 조건하에서 측면 하향 절삭 가공을 수행한 후, Kistler사의 9257B 와 전용 앰프를 사용하여 절삭력을 측 하였다. 사용된 피삭재는 STD11(Hrc 50)과SCM 440이다 표면 정밀도의 측정을 위해 Keyence의 laser sensor를 이 하였다. 실험에 사용된 고속가공용 엔드밀은 6날을 보유하고 있으며 Fig.1에 나타난 바와 같이 공구 경사각이 매우 큰 사각을 보유하고 있다.

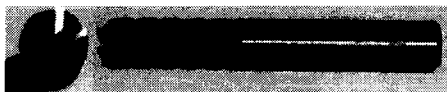


Fig. 1 Figure of endmill

2.2 여유각에 따른 절삭 성능의 변화

Fig.2 에서는 직경이 10mm, 6 mm일 때 경사각을 -10 로 일정하게 하고 여유각을 변화시켜 측정된 평균 절삭력 나타낸 그림이다. 직경의 변화에 관계없이 여유각이 증가 수록 절삭력이 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 직경 변화에 관계없이 절삭력을 감소하기 위해서는 여유각이 커야 한다는 것을 알 수 있다. 이는 경사각이 일정한 경우 여유 이 커질수록 날 끝의 강도는 작아지지만 피삭재의 탄성복원 영향을 적게 받아 좋은 절삭성능을 나타낸다. 이것은 앞의 선삭가공 결과와 동일함을 의미한다

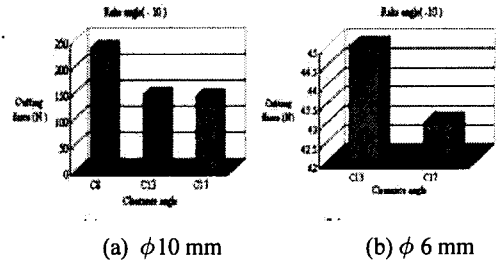


Fig. 2 Comparison of cutting force in end mills with various clearance angle and diameter

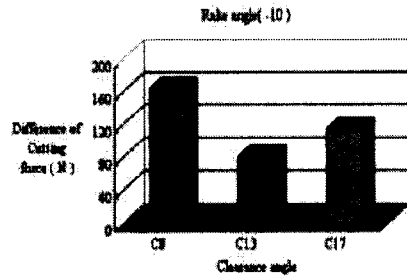


Fig. 3 Variation of cutting force in end mills with various clearance angle with 10 mm diameter

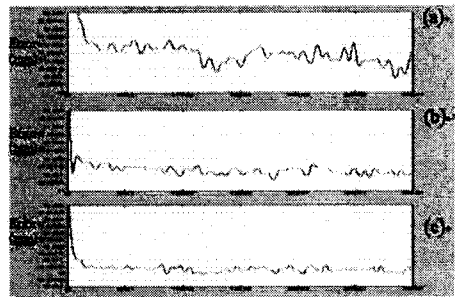


Fig. 4 Comparison of surface accuracy in end mills end millswith various clearance angle and diameter 10mm
(Tooth = 6, (a) C.A=8, R.A=-10, (b) C.A= 13, R.A=-10, (c) C.A=17, R.A=-10)

Fig. 3은 직경 10mm에서의 여유각의 영향에 의한 절삭 진폭의 변화를 보여주고 있다. 일반적으로 여유각이 감소 면 피삭재와 닿는 면적이 증가하여 진동이 발생하나 여유 이 적정수준보다 더 클 경우 날부의 강성이 떨어져 또한 진

이 적정수준보다 더 클 경우 날부의 강성이 떨어져 또한 진동이 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 진폭의 크기는 마찰에 한 진동, 런아웃 등에 의해 결정되며 공구의 치핑이나 파손 표면 조도의 불량 등을 초래한다. 여유각 13인 경우에 가장 작은 절삭 진폭을 나타내고 있다.

Fig. 4는 피삭재 STD11에서 엔드밀의 가공성능중에 중요한 요소 중 하나인 가공정밀도를 측정된 결과이다. Fig. (a)에서 사용한 동일한 직경 10mm 엔드밀을 사용하여 경각이 -10°로써 일정할 때 여유각을 증가시켜 실험을 하였다. 여유각이 증가할수록 가공정밀도가 좋아짐을 알 수 있다. 여유각이 작아질수록 피삭면에 닿는 여유면의 증가로 인하여 여유면 접촉면적의 증가로 인하여 가공정밀도가 나빠질 수 있다.

Table 2. Cutting Condition for High Speed End milling

D	AD	Rd	Fz	V	RPM	F
10	10	0.5	0.03	188	6000	1080
6	6	0.3	0.01	188	10000	600

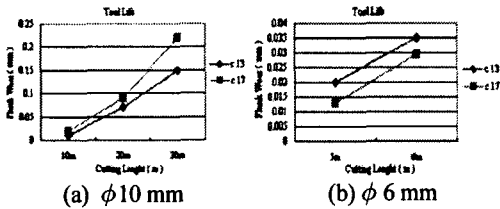


Fig. 5 Comparison of tool wear in end mills with various clearance angles in high speed machining (fixed rake angle -10)

Table 2는 고속가공의 절삭조건이며 Fig. 5는 그 실험 조건 하에서의 공구 수명의 결과값을 보여주고 있다. 경사각 -10°로 고정하여 고속가공시 직경 10mm에서는 여유각 13°에서 가장 우수한 반면 직경 6mm에서는 17°에서 우수한 결과값을 보여주고 있다. 이 결과는 머시닝센터에의 가공 조건에서의 결과와 동일한 결과를 얻을 수 있음을 타낸다.

2.3 경사각에 따른 절삭성능의 변화

Fig. 6은 피삭재 STD11과 직경 6mm, 3mm의 고속 엔드밀을 이용하여 Table. 3에 주어진 가공조건에서 공구형상 변화에 따른 공구마모의 진행상태를 나타내고 있다. 직경 6mm 엔드밀에서는 공구여유각이 14°로 고정된 상태에

Table 3. Cutting Condition for High Speed End milling

D	AD	Rd	Fz	V	RPM	F
6	6	0.3	0.03	188	10000	1800
3	3	0.15	0.015	188	20000	1800

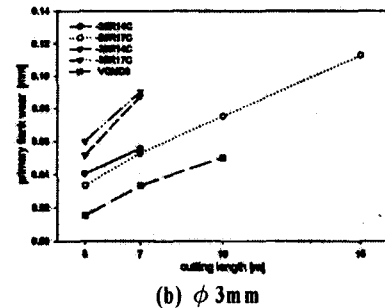
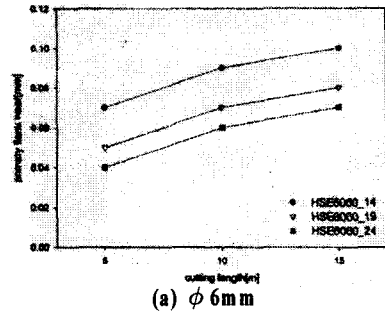


Fig. 6 Comparison of tool wear in end mills with various rake angles in high speed machining

서 공구경사각이 -24°로 음의 경사각이 가장 큰 경우에 가장 우수한 마모특성을 나타내고 있으며 (Fig. 6(a)), 직경 3mm 엔드밀에서는 공구여유각이 14°와 17°인 경우에 경사각이 각각 -20°와 30°인 경우의 마모특성을 나타내고 있다. 이 경우에는 여유각 17°/경사각 -20°인 경우에 가장 우수한 성능을 나타내고 있음을 발견할 수 있다. (Fig. 6(b))

이를 통하여 주어진 직경에서 얻어진 최적의 공구여유각에 가장 우수한 성능을 나타내는 공구경사각이 존재함을 알 수 있다.

3. 엔드밀 설계용 프로그램의 개발

이상의 다양한 형상의 엔드밀 절삭성능 결과를 이용하여 database를 구축하였다. 절삭성능을 나타내기 위하여 절삭 저항, 가공표면조도, 공구마모특성 및 진동특성을 포함하고 있다. 또한 주어진 피삭재와 가공조건에 따른 특성을 나타내

기 위하여 다양한 피삭재와 절삭조건에서 수행된 지표표를 포함하고 있다. Fig. 7에서 가장 단순화된 입력조건으로서 사용 피삭재와 공구직경 및 적용 및 절삭속도만을 입력함으로써 이를 가장 효율적으로 수행할 수 있는 절삭조건과 공구형상이 Fig. 7에 주어져 있다. 절삭성능 DB를 효율적으로 구축함으로써 향후 엔드밀의 형상설계뿐만 아니라 최적절삭조건 선정등 여러분야에 다양하게 적용될 것으로 기대된다.

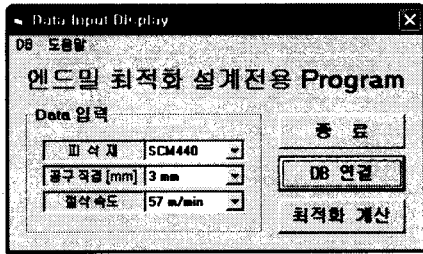


Fig. 7 Data Input Display

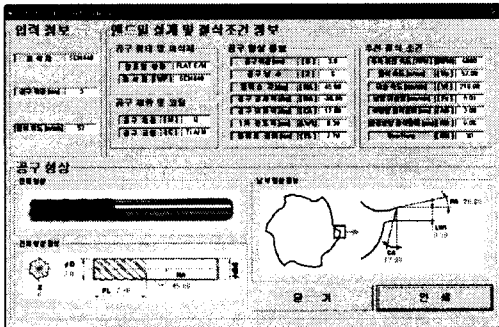


Fig. 8 Optimized Result Display

4. 결 론

본 연구에서는 여유각과 경사각의 영향을 알기 위해 삭에서의 실험과 다양한 여유각과 경사각의 엔드밀의 실을 통해 실제 절삭 성능의 영향을 관찰 분석 하였다.

1. Hrc50인 STD11 피삭재로 절삭 실험을 하여 직 10mm인 엔드밀과 직경 6mm 엔드밀에서 공구수명과 정밀가 가장 우수한 최적 여유각이 존재함을 실험을 통하여 확 하였다.

2. 여유각의 감소는 절삭시 여유면의 참여가 많아져 절 력이 증가하는 경향이 나타나며 표면조도와 정밀도가 불량 진다. 여유각의 증가는 여유면의 마찰면적을 감소시켜 절삭

저항을 감소시키지만, 인선부의 땀땀효과를 떨어뜨려 동적 안정성이 악화된다.

3. 최적의 엔드밀 여유각과 경사각을 실험적으로 구하였으며 이 결과를 이용하여 최적형상 설계를 위한 프로그램을 개발하였다.

참 고 문 헌

- 1 Kador, S., Trendler, P. H. H., and Hodgen, T., "Investigation Into the Clearance Geometry of En Mills," Annals CIRP, Vol. 33/1, p. 33, 1984.
- 2 Kador, S., Trendler, P. H. H., and Hodgen, T., "Investigation and optimization of the Clearance Geometry of End Mills," Annals CIRP, Vol. 34, p 149, 1985.
- 3 Kador, S., "A Common Denominator for Optimum Cutting Tool Geometry," Annals CIRP, Vol. 35, No. 1, p. 41, 1986.
- 4 S. N. Melkote, A. R. Thangaraj, "An Enhanced En Milling Surface Texture Model Including the Effects of Radial Rake and Primary Relief Angles", Transaction of the ASME, Vol. 116, May. 1994
- 5 S.Kobayasi, E.G.Thomsen "The Role of Friction in Metal Cutting", Transaction of the ASME, pp324-332, 1960.
- 6 IM. A. El Baradie, "The effect of varying the workpiece diameter on the cutting tool clearance angle in tool life testing" Wear 195, pp. 210~105, 1996
- 7 배승민, 고성림, 2001, "고속가공용 엔드밀의 형상 계에 관한 연구," 한국정밀학회 2001년도 추계학술 대회 논문집 pp. 10~22
- 8 강명창, 김정석, 2002, "고속가공용 엔드밀 형상변 에 따른 가공성 평가," 한국정밀학회 2002년도 5 한국정밀공학학회지 pp. 133~138