

고속가공용 엔드밀 형상설계 S/W 개발

한창규*, 고성림+, 서천석**, 김경배**

Development of Geometric Design S/W for High Speed End Mill

Chang-Kyu Han*, Sung-Lim Ko+, Cheon-Seok Seo**, Kyoung-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 and to develop a software for design of end mill geometry.

Key Words : Tool geometry (공구 형상), High speed machining (고속 가공), Cutting force (절삭력), Rake angle (공구 경사각), Clearance angle (공구 여유각), End mill or E/M (엔드밀), DB(데이터 베이스)

1. 서론

공작기계의 전반적인 성능 향상과 새로운 공구의 개발은 상호 보완적인 관계를 가지며 끊임없는 발전을 거듭해 왔다. 공작기계의 측면에서는 강성증가, 열변형의 억제와 동적 안정성의 개선 및 응답성 개선을 통하여 생산성을 증대시키고 있다. 공구의 측면에서는 새로운 재종 및 코팅기법의 개발에 의한 절삭속도의 고속화를 통하여 생산성의 향상을 달성하고 있고, 공구 형상의 최적화를 통하여 동적 안정성을 확보하고 가공 정밀도를 개선하고자 다양한 시도

가 이루어지고 있다.

고속의 주축회전수와 작은 절입량을 특징으로 하는 고속가공은 기존의 절삭 작업에 비하여 공구의 동특성이 공구 수명과 품질에 절대적인 영향을 미치기 때문에, 공구 형상 설계 기준도 새로운 관점에서 접근할 필요가 있다. 절삭 거동은 그 특성상 매우 복잡하며 각각의 설계 인자들은 절삭 거동에 대하여 다양한 영향을 미친다. 이 때문에, 공구를 설계하기 위해서는 실험을 통하여 각각의 설계인자들을 선정해 왔기 때문에 고비용과 긴 개발시간의 문제와 함께, 최적의 형상설계를 보장할 수 없다는 한계가 있다. 이에 대한 개선책으로서, 고속 가공용 엔드밀 형상 설계에 있어서 적절한 설계기준을 확립할 필요가 있다.

* 발표자, 건국대학교 대학원 기계설계학과 (launchan@empal.com)
주소: 서울시 광진구 화양동 건국대학교 공대 B동 165호 정밀가공연구실
+ 건국대학교 기계설계학과 (slko@konkuk.ac.kr)
++ (주)한국야금

엔드밀은 가늘고 긴 세장형 회전공구로서 머시닝 센터의 발달과 함께 외곽형상의 자유로운 가공과 부품내의 작은 공간의 가공을 위하여 매우 다양하게 사용되는 유용한 공구이며 또한 절삭공구 중에서 가장 형상이 복잡하여 형상을 정의하기도 어렵고 측정하기도 매우 어려운 공구이다. 이 때문에 엔드밀의 형상적인 특징에 따른 절삭성능의 차이를 파악하기가 매우 어렵다.

그러므로 엔드밀의 성능의 극대화를 위한 최적설계는 엔드밀의 형상정보로부터 출발하여 생산방법과 측정방법이 함께 논의되고 결정되어야 한다. 이러한 생산 및 측정에 대한 기준이 정의된 상태에서 최적설계가 이루어져야 한다. 특히 고경도재 가공을 위한 엔드밀에서는 열발생에 의한 문제보다 고경도재 가공 시 측면방향의 절삭력에 의한 엔드밀의 강성부족으로 인한 변형과 예리한 인선부의 파손이 더 중요한 문제가 된다.

그러므로 엔드밀의 강성과 인선부가 보강된 형상이 필요하게 되는데, 일반적으로 고경도 강 절삭 시 피삭재의 연성의 감소로 인하여 칩 형성 시 내부의 파단으로 인한 칩성 재료와 유사한 절삭성을 띄게 된다. 이 경우에는 예리한 인선의 보강을 위하여 경사각을 크게 줄여도 칩 형성 및 배출에 큰 문제가 생기지 않는다. 이와 같은 경향은 경도가 증가할수록 더욱 뚜렷이 나타난다. 따라서 고경도강에서 고속, 고이송 절삭가공을 위한 전용공구의 개발은 필수적이다.

본 연구에서는 고경도강의 경우에 있어서, 가능한 한 다양한 공구를 이용하여 많은 절삭실험을 통하여 얻은 절삭저항, 가공정밀도, 표면조도, 공구마모 결과 등을 바탕으로 엔드밀에 대한 공구 경사각, 여유각, 날부 길이, 헬릭스 각 등에 대한 최적형상을 획득한 후 정리한 모든 Data를 DB(데이터베이스)로 구축한 후, 이를 바탕으로 하여 공구 설계 단계에서 절삭실험에 들어가는 많은 비용을 절감하고 공구 생산 시간을 단축할 수 있도록 전문가나 숙련자의 도움 없이도 손쉽게 전산 정보화된 Tool DataBase를 이용하여 공구 설계 시 절삭실험을 하지 않고서도 공구 형상에 대한 예측을 통하여 절삭저항, 가공정밀도 및 치수효과 등을 실험값과 거의 일치하는 수준으로 예측, 적용 할 수 있는 고속가공용 엔드밀 형상설계 S/W를 개발하였다.

2. S/W 개발

고속가공용 엔드밀 형상설계 S/W는 Fig.1과 같이 4단



Fig.1 Schematic Diagram of Development Process

계를 거쳐서 개발 하였다.

[1단계]는 ‘고속가공용 엔드밀의 형상특성 분석 및 설계’를 하는 과정으로서 DB에 들어가게 될 기준이 되는 상용 엔드밀 시제품의 상대적 비교치를 기준으로 고속가공에 적용이 될 공구 형상 설계값을 제시하여 엔드밀의 모든 특성을 분석을 하는 단계이다.

[2단계]에서는 ‘엔드밀 샘플을 통한 절삭 성능 시험’을 하는 단계로서 [1단계]에서 분석 및 설계된 엔드밀을 이용하여 절삭실험을 하여 얻은 절삭력, 공구마모, 피삭재 표면조도 등 모든 요소를 고려하여 최적화된 엔드밀을 선택할 수 있는 기준을 정하는 단계이다.

[3단계]는 ‘최적화 알고리즘과 형상에 따른 절삭성능 DataBase 구축’을 수행하는 과정으로서 [2단계]에서 얻어진 고속 절삭과 공구 형상에 관계된 모든 Data를 DataBase로 구축하는 동시에 언제든지 유용하게 쓰일 수 있도록 최적화 알고리즘을 개발하는 단계이다.

[4단계]에서는 [3단계]에서 구축된 알고리즘과 DataBase를 밑바탕으로 해서 Visual Language를 이용하여 ‘고속가공용 엔드밀 형상설계 S/W’를 개발하였다.

2. S/W 개요

고속가공용 엔드밀 형상설계 S/W는 마이크로 소프트웨어의 Visual Basic 6.0을 이용하여 Coding후 Compile 하였으며 S/W 결과값인 최적화된 엔드밀의 형상 값들은 그동안 실험을 통하여 얻은 각 공구의 최적화된 결과들을 DB(DataBase)화 하였고 원하는 공구의 형상의 값을 얻기 위해 DB안에서 추출한 각 기준값들을 선형보간(Linear Interpolation)을 이용하여 구하였으며 데이터베이스의 구성 및 Connection은 Visual Basic 6.0의 DB 구성요소 중 하나이며, 대형 DataBase 인 MS-SQL Server나 Oracle과 손쉽게 연결이 가능한 ADO (ActiveX Data Object)를 사용하였다.

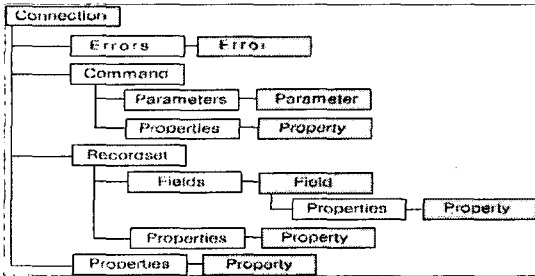


Fig.2 Diagram of ADO

3. S/W 구성

3.1 입력창 (Input Display)

입력조건은 크게 3가지로 나누어서 S/W를 개발하였다. 절삭실험을 분석한 결과 절삭조건, 피삭재, 공구직경이 고속절삭 시 가장 큰 영향을 준다고 판단하여 Input Display 에 절삭조건, 피삭재, 공구직경 3개만을 입력할 수 있게 하였다. 절삭 속도, 이송 속도, 주축 회전수등 여러 요소를 모두 고려하여 최적화를 하려고 하면 오히려 여러 요소가 많아짐에 따라 실험을 통해 얻은 값과의 차이가 많이 벌어져서 최대한 입력을 단순화하여 사용하고 싶은 피삭재와 공구직경 및 절삭속도만을 입력함으로써 이를 가장 효율적으로 수행할 수 있는 추천절삭조건과 공구형상을 도출할 수 있도록 S/W를 개발하였다.

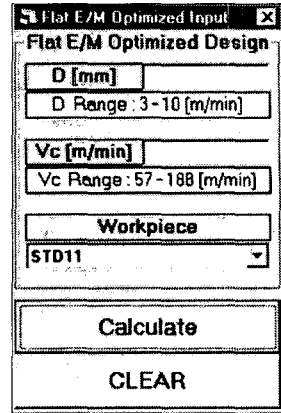


Fig.3 Window for Data Input

3.2 공구 DataBase 구축

현재까지 각각 직경과 형상을 달리해서 얻은 엔드밀 절삭 성능 결과를 기반으로 하여 DataBase를 구축하였으며 절삭 성능을 나타내기 위하여 절삭저항, 가공표면조도, 공구마모 특성 및 진동특성을 포함하고 있으며 또한 주어진 피삭재와 가공조건에 따른 특성을 나타내기 위하여 다양한 피삭재와 절삭 조건에서 수행된 지표를 포함하고 있다.

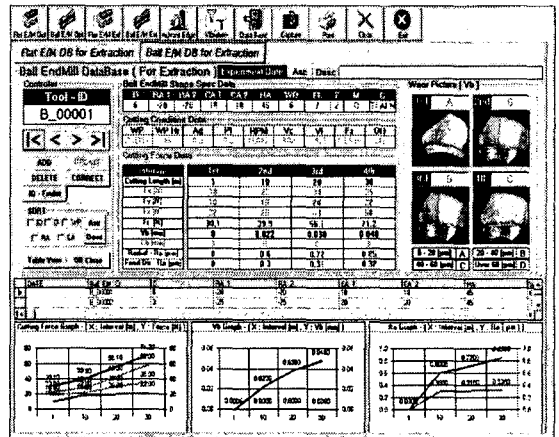


Fig.4 Window for Tool DataBase

3.2 S/W Algorithm

S/W의 내부 작동구조는 Fig.5 에서 보는 바와 같이 [1단계]에서는 원하는 공구의 정보를 얻기 위한 기준이 되는 공구직경, 피삭재 및 절삭속도를 입력하면 S/W내부에서는 공구형상 계산과 절삭속도에 따른 가공여부를 결정하기 위한 범위를 정한다.

[2단계]에서는 [1단계]에서 입력 받은 Data를 이용하여 범위를 결정 후 공구형상 계산과 절삭 속도에 따른 가공여부를 결정하기 위한 Reference Data를 DB에서 추출한다.

[3단계]에서는 [2단계]에서 추출한 Reference Data를 기준으로 하여 알고리즘(선형보간: Linear Interpolation)을 이용하여 공구형상과 절삭속도에 따른 가공여부를 계산을 한 후에 각 정보에 맞는 GUI (Graphic User Interface) Display에 도시하게 된다.

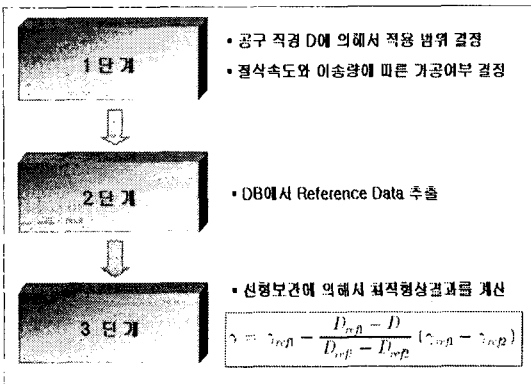


Fig.5 S/W Algorithm

3.2 출력창 (Result Display)

Result Display의 출력으로는 주어진 가공조건을 만족하는 최적의 엔드밀 형상을 나타내며 주어진 조건에 추천되는 절삭조건을 제시하고 그 결과로서 절삭력과 공구마모와 표면조도를 가공길이에 따라서 알고리즘에 의해 계산되어 Display에 출력된다. 또한 그래프를 도시 함으로서 시각효과를 높이고자 한다. 또한 본 프로그램은 적정형상의 엔드밀을 예측하고 제공하는 기능과 함께 이미 실시된 모든 실험결과를 DataBase화 함으로서 향후 엔드밀 고속가공 시 최적조건 예측 및 성능 해석 및 CAM S/W 내부 모듈로 사용 할 수

있도록 하기 위해서 다양한 용도로 사용될 것을 대비하고 있다.

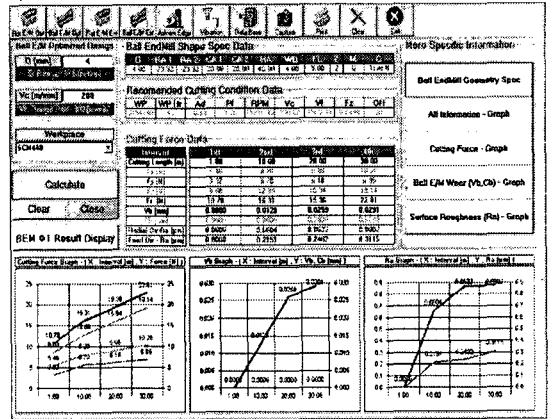
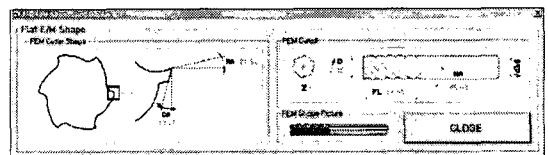
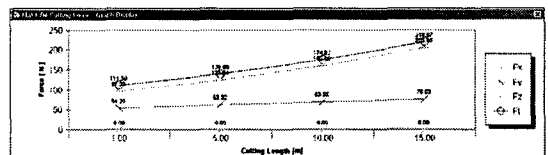


Fig.6 Window for Output

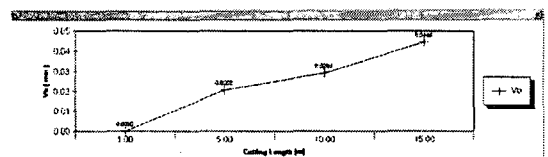
Result Display를 자세히 보게 되면 엔드밀에 대한 모든 정보가 약자로 표시 되어 창에 도시되며 절삭력, 공구마모, 표면조도는 작은 창에 각각의 그래프로 그려져 있는 것을 확인 할 수 있다. 모든 정보가 도시되기 때문에 한눈에 원하는 정보를 비교하기가 편하지만 글씨체가 너무 작거나 그래프가 너무 작아 보기가 너무 불편 할 수 있으므로 그런 문제를 해결하기 위해 형상정보와 절삭력, 공구마모, 표면조도 같은 정보들은 별도의 창을 따로 만들어 따로 원하는 정보를 더욱 자세히 볼 수 있도록 프로그램을 개발하였다.



(a) Tool Geometry

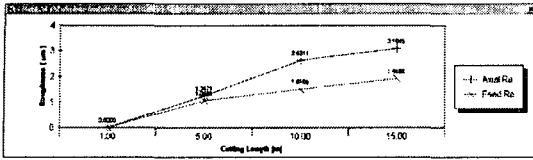


(b) Cutting Force



(c) Tool Wear

4. 결론



(d) Surface Roughness

Fig.7 Window for Detailed Output

공구형상설계를 할 때 수행했던 동특성 및 진동시험 결과와 FEM 절삭 해석 결과들도 참고 자료로 사용하기 위하여 모두 DataBase화 공구의 절삭조건 별로 정리를 하여 S/W 안에 포함시켰다.

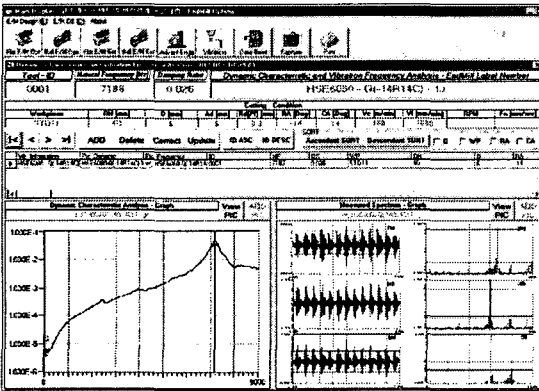


Fig.8 Window for Dynamic Characteristic of Tool

엔드밀 형상설계 S/W를 개발하는 목적은 직접적인 실험을 거치지 않고서도 다양한 직경의 엔드밀 최적 형상 정보를 예측이 가능하게 하기 위한 것이다. 그러나 현재 실험하여 얻은 값으로 구축한 DB의 양은 그리 많지 않아서 최적 조건을 다소 한정된 구간에서만 계산할 수 있지만 앞으로 다양한 피삭재와 공구를 이용하여 지금보다 더 많고 다양한 실험을 한 후 그 동안 수행한 고속가공조건에서의 실험결과를 포함한 Data를 다양하게 추가하여 DataBase를 더 크게 확장시켜 구축을 하면 추후에 평엔드밀링은 물론이고 볼엔드밀링을 포함한 가공을 위한 상당히 많은 종류의 피삭재와 공구의 최적 조건을 계산할 수 있을 것으로 기대 되므로 상당히 유용한 프로그램이 될 것임을 확신 한다. 또한 한정적인 실험능력을 보완하기 위하여 각 형상 별 가공특성을 분석하여 가공성능예측이 가능한 Algorithm과 FEM 해석 결과를 이용함으로써 더욱 효율적인 S/W가 될 것이다.

1. 절삭실험을 통하여 얻은 고속가공용 엔드밀의 최적 형상을 DataBase로 구축하였다.
2. DataBase를 바탕으로 하여 Visual Basic을 이용하여 고속가공용 엔드밀 형상설계 S/W를 개발하였다.

참고 문헌

1. Kador, S., Trendler, P. H. H., and Hodgen, T., "Investigation Into the Clearance Geometry of End 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 End Milling Surface Texture Model Including the

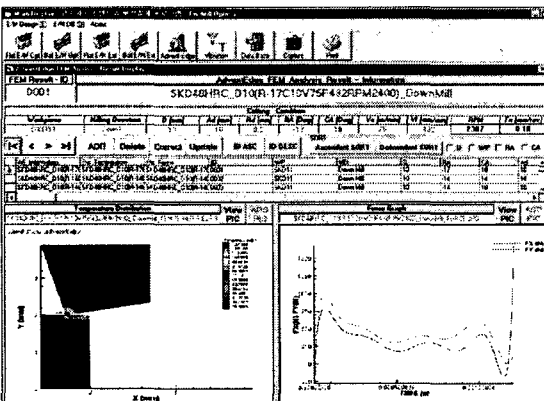


Fig.9 Window for FEM Analysis

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 형상설
계에 관한 연구", 한국정밀학회 2001년도 추계학술대회 논
문집 pp. 10~22

8. 강명창, 김정석, 2002. "고속가공용 엔드밀 형상변화
에 따른 가공성 평가," 한국정밀학회 2002 년도 5월 한국정
밀공학학회지 PP133~138

9. 박정남, 고성림, 서천석, 김정배, 2002. "고속용 엔드
밀 가공 시 여유각을 고려한 가공특성", 한국정밀공학회
2002년도 추계학술대회 논문집 pp. 22-25

10. 이석호, 2001, "데이터베이스 시스템과 SQL
Server", 정익사 pp. 460~518

11. 김기성, 1999, "Microsoft Visual Basic Database
Programing", 삼양출판사

12. Third Wave Systems, "AdvantEdge User's Manual
Version 4.2"