
엔드밀의 구조적 안전과 피로 파단에 대한 연구

조재웅*

*공주대학교 기계자동차공학부

A Study on Structural Safety and Fatigue Failure of End Mill

Jae-Ung Cho*

*Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 기계 가공에서 사용되는 엔드밀의 사용 시, 공작물과 엔드밀 사이에 발생하는 응력과 밀링기계의 회전력과 공작물 가공에 사용되는 압력으로 인한 세 가지 엔드밀 모델들의 구조적 변형들을 시뮬레이션 해석에 의해서 연구한다. 이 결과들은 구조 및 피로해석으로 이루어진다. 해석 결과, Model 1이 Model 2나 Model 3보다 덜 변형되는 것을 알 수 있다. 그리고 최대 등가응력은 Model 1이 다른 형상의 모델에 비하여 가장 작은 것을 확인할 수 있으며, 3개의 모델 중 Model 1이 다른 모델에 비하여 더 큰 힘을 견딜 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 결과를 엔드밀의 설계에 응용한다면, 그 파손 방지 및 내구성을 검토하는데 유용하게 활용될 것으로 사료된다.

• **Key Words** : 엔드밀, 토크, 구조적안전, 피로분석, 최대 당량 응력

Abstract The stress between work piece and end mill at the use of end mill at machining and the structural deformation due to the and the pressure are investigated by simulation analysis of three end mill models in this study. These results are achieved with structural and fatigue analyses. Model 1 has the deformation less than model 2 or model 3. As the maximum equivalent stress of model 1 is shown to become the least among all models, model 1 can endure the highest load by comparing with other models. It is useful to estimate the damage prevention and the durability by applying this study result into the design of end mill.

• **Key Words** : End mill, Torque, Structural deformation, Fatigue analysis, Maximum equivalent stress

1. 서론

현재 거의 모든 산업부품을 생산할 때에 기초적으로 필요한 물품은 엔드밀 이다. 금형, 공작기계 부품, 각종 전자기기 부품 등 정밀가공이 필요한 부품을 가공할 때에 엔드밀 이라는 절삭공구가 필요하다. 하지만 이 엔드밀을 사용할 때에 소모품이기 때문에 날이 파손되기도 하고 닳을 수도 있고 수명이 다할 수도 있다. 또한 엔드밀에 관한 논문이 보통 경사면에 따른 절삭력 해석, 고속 가공시의 표면형상 해석, 공구의 마모측정 등이 있다. 그렇기 때

문에 본 연구에서는 이전 연구들을 참고하여 본 연구에서는 엔드밀을 날 수를 3가지의 2날, 4날, 6날들로 나누어서 구조적으로 하중이나 피로 파손에 대하여 같은 하중 조건에서 얼마나 내구성이 있는가를 시뮬레이션 해석하여 비교 검토하였다⁽¹⁻³⁾. 본 연구에서는 엔드밀의 종류에 따라 그 내구성을 구조 해석을 통하여 검토하고, 피로 파손해석을 하였다. 따라서 이 3가지의 엔드밀들을 CATIA를 통하여 3D 모델링하였으며, 이를 ANSYS를 이용하여 구조 및 피로해석을 수행하였다⁽⁴⁻⁶⁾. 이를 통하여 시제품 제작 이전에 신뢰할 만한 시험 결과를 예측할 수 있었고 궁

*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 : 2014년 4월 20일, 수정일 2014년 7월 14일, 게재확정일 : 2014년 8월 4일

극적으로 다양한 부품 설계방안에 대한 성능 비교평가가 가능하여 최종적으로 개발 제품의 품질 향상에 기여할 수 있다고 사료된다. 본 연구의 결과를 종합하여 엔드밀의 설계에 응용한다면, 그 파손 방지 및 내구성을 검토하여 그 설계에 유용하게 활용될 것으로 사료된다.

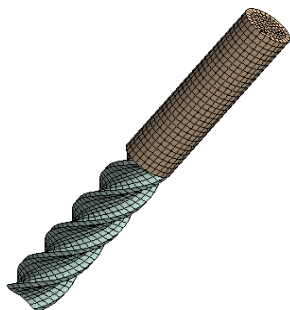
2. 본 론

2.1 연구 모델

본 연구에서는 여러 가지 엔드밀 종류 중에서 2날의 드릴과 4날의 엔드밀과 6날의 엔드밀을 모델로 삼고 종류별로 다른 엔드밀에 압력과 회전운동 주었을 때 엔드밀에 가해지는 힘에 의하여 나타나는 구조 변화를 나타낸다. 모델의 형상은 실제 엔드밀 형상을 참조하여 CATIA를 이용하여 모델링한 후 ANSYS를 이용하여 해석하였다⁽⁷⁾. Model 1, 2, 3에 대한 3가지 모델들에 대한 해석 대상의 형상과 Mesh들은 Fig. 1과 같다. 이 모델에 사용된 물성치는 Table 1에 나타나 있다. 그리고 각 형상별 모델들의 치수는 Table 2와 같다.



(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3

[Fig. 1] Meshes of models

[Table 1] Material property

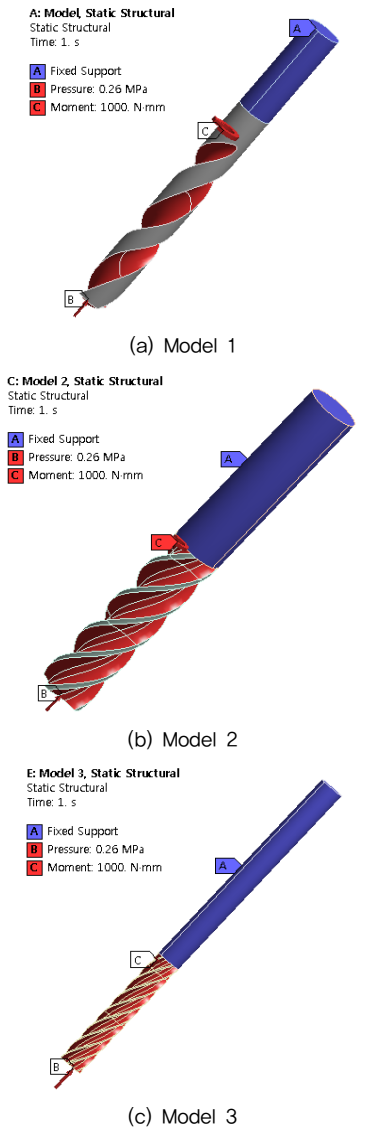
Density	14000 kg/m ³
Young's Modulus	5259 MPa
Poisson's Ratio	0.26
Tensile Yield Strength	280 MPa
Compressive Yield Strength	280 MPa
Tensile Ultimate Strength	310 MPa

[Table 2] Dimensions of models

	Model 1	Model 2	Model 3
Number of Flutes	2	4	6
Tool Diameter(mm)	16	16	16
Length of Cut(mm)	80	60	90
Overall Length(mm)	160	120	240

2.2 모델의 경계조건

3가지 모델들의 경계조건은 Fig. 2와 같이 밀링기계에 설치되는 부분을 고정시켰으며, 실제 작업할 때의 압력을 가정하여 0.26MPa를 엔드밀의 밀 부분에서 작용하였고, 나선선 부분에서 회전력을 1000N·mm를 작용하였다.

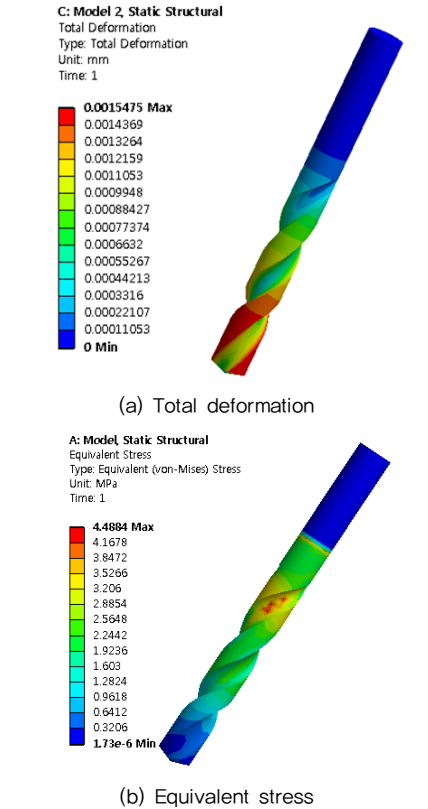


[Fig. 2] Boundary Conditions of Models

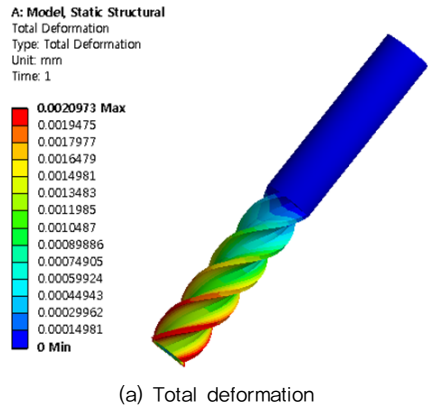
2.3 구조 해석

구조해석 결과 Fig. 3, 4 및 5는 Model 1, 2 및 3에 대한 각각의 세 가지 모델들에 대하여 등가응력과 전변형량의 등고선들을 보았다. 그림들에서 보면, Model 1은 4.488MPa의 최대의 등가응력과 0.0015mm의 최대변형량을 보이고 Model 2는 11.189MPa의 최대의 등가응력과 0.0021mm의 최대의 변형량을 보이고 있으며 Model 3은 14.997MPa의 최대의 등가응력과 0.0031mm의 최대변형량을 보이고 있음을 알 수 있다. 구조해석 결과, Model

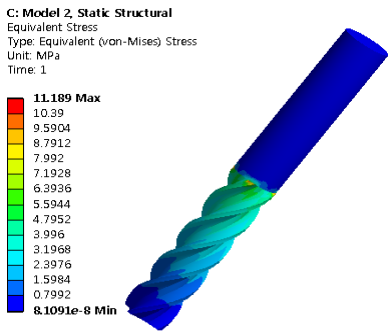
1이 Model 2나 Model 3보다 덜 변형되는 것을 알 수 있다. 그리고 최대 등가응력은 Model 1이 다른 형상의 모델에 비하여 가장 작은 것을 확인할 수 있으며, 3개의 모델 중 Model 1이 다른 모델에 비하여 더 큰 힘을 견딜 수 있을 것으로 사료된다.



[Fig. 3] Structural analysis of model 1

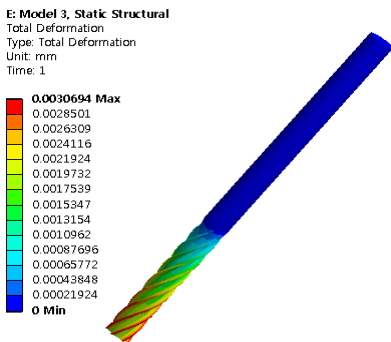


(a) Total deformation



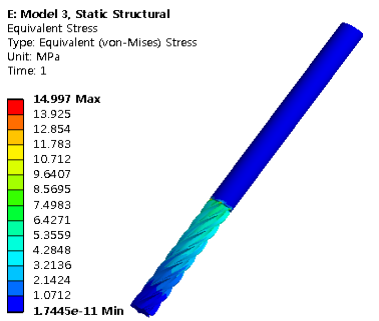
(b) Equivalent stress

[Fig. 4] Structural analysis of model 2



(a) Total deformation

[Fig. 5] Structural analysis of model 3



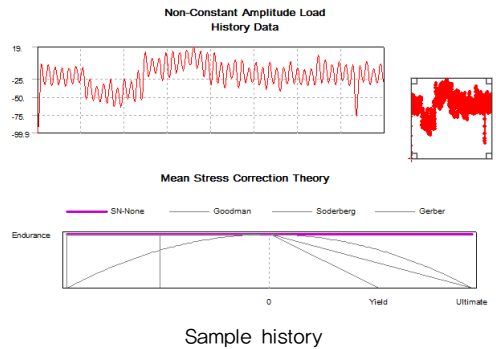
(b) Equivalent stress

[Fig. 5] Structural analysis of model 3

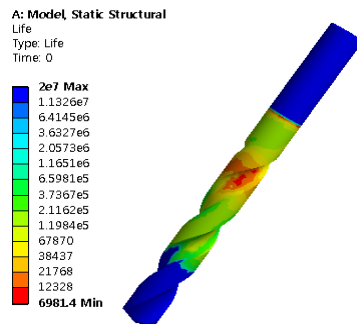
2.4 피로 해석

구조해석과 동일한 조건으로 엔드밀의 모양에 따른 변화를 보기위해 피로해석을 해보았다. 피로에 대한 해석 결과의 출력들은 피로 수명, 파손을 포함하고 있다. Fig. 6과 같이 경과되는 1 사이클에 대한 응력 진폭과 평균 응력인 Sample history의 피로 하중의 내역을 나타내는데, 이 Sample history 하중을 3가지 모델들에 대하여 적용하였다. Fig. 7와 Fig. 8은 세 가지 모델들에 대한

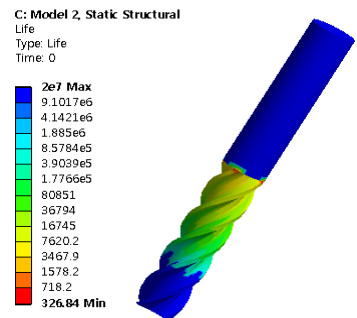
Sample history의 피로수명 및 파손의 등고선 결과들을 보인다. 피로수명의 등고선 결과를 보게 되면 Model 1, 2, 3의 최대수명은 2×10^7 Cycle임을 알 수 있다. Model 1, 2, 3의 최소수명은 Model 3의 경우가 135.9 Cycle로 가장 짧고 Model 1의 경우가 6981.4 Cycle로 가장 긴 것을 알 수 있다. 또한 피로파손의 등고선의 결과들을 보게 되면 Model 1, 2, 3의 최소파손은 50임을 알 수 있고, Model 1, 2, 3의 최대파손은 Model 3의 경우가 7.3583×10^7 로 손상이 가장 크고 Model 1의 경우가 1.4324×10^5 로 손상이 가장 작은 것을 알 수가 있다.



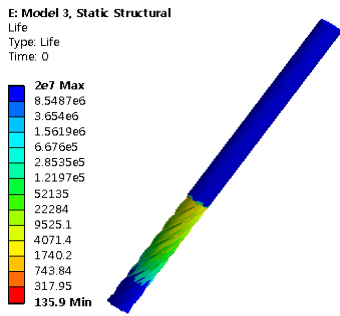
[Fig. 6] Load histories at nonuniform fatigue loads



(a) Model 1

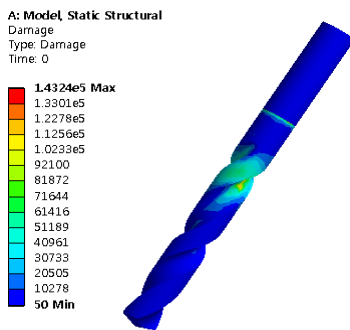


(b) Model 2

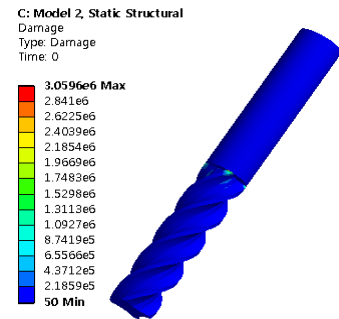


(c) Model 3

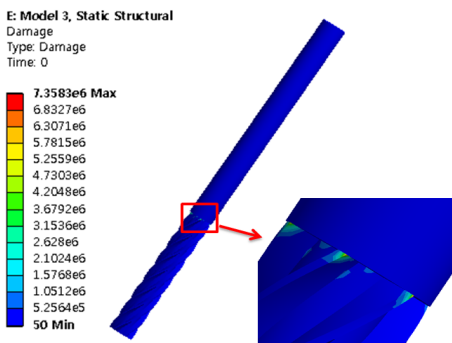
[Fig. 7] Contour plots of fatigue lives



(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3

[Fig. 8] Contour plots of fatigue damages

3. 결론

본 연구는 밀링작업 시 사용되는 부품인 엔드밀의 형상에 따른 구조 및 피로해석을 통하여 다음과 같은 해석 결과를 보았다.

- 1) 구조해석 결과, Model 1이 Model 2나 Model 3보다 덜 변형되는 것을 알 수 있다. 그리고 최대 등가응력은 Model 1이 다른 형상의 모델에 비하여 가장 작은 것을 확인할 수 있으며, 3개의 모델 중 Model 1이 다른 모델에 비하여 더 큰 힘을 견딜 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) 피로수명 결과, Model 1, 2, 3의 최대수명은 2×10^7 Cycle임을 알 수 있고, 최소 수명은 Model 3의 경우가 135.9 Cycle로 가장 짧고 Model 1의 경우가 6981.4 Cycle로 가장 긴 것을 알 수 있다.
- 3) 본 연구의 결과를 종합하여 엔드밀의 설계에 응용한다면, 그 파손 방지 및 내구성을 검토하여 그 설계에 유용하게 활용될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Seo, J. M., and Kim, S. K., 2008, "The Study on Measures for Reducing Safety Accidents of Excavator," The Korea Institute of Building Construction, Vol. 8, No. 3, pp. 3-144.
- [2] Lim, T. H., and Yang, S. Y., 2006, "Development and Application of Simulator for Hydraulic Excavator," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 9 pp. 142-148.
- [3] Kang, S. S., and Cho, S. K., 2010, "Structural Design and Analysis for the Reinforced Frame of Vehicle," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 19, No. 4, pp. 504-510.
- [4] Y. S. Joo, Y. K. Kim, B. W. Kim, J. O. Moon and K. S. Lee, "Structural Analysis of a Large Automobile Frames," Fall Conference Proceedings, KSAE, Vol.2, pp. 1417-1422, 2003.
- [5] H. Y. Kim, S. K. Lee, Y. J. Shin, "Analyses of Deployment Process and Sled Test for Designing Airbag Module", Transactions of KSAE, pp.

118-128, 1998.

- [6] A. K. Kim, Kazi Tunvir, S. J. Park, G. D. Jeong, Md Anwarul Hasan and S. S. Cheon, "Study on Compressive Behavior of Heterogeneous Al-alloy Foam by Cruciform-Hemisphere Model", Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, Vol. 14, Issue 6, pp. 933, 2006.
- [7] T, K, Lee, B, S, Kim, "The structure of an Automotive Woofer Speaker", Jou. of Korean Soc. of Mechanical Technology, Vol. 14, No. 2, pp. 19-24, 2012.

저자소개

조 재 응(Jae-Ung Cho)



- Feb. 1980: Inha University, B. S. in Mechanical Engineering
- Feb. 1982 : Inha University, M. S. in Mechanical Engineering
- Aug. 1986: Inha University, Ph. D in Mechanical Engineering

· 1988 ~ Present : Professor, Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University
<Field of Specialization> : Fracture Mechanics (Dynamic Impact), Impact Fracture of Composite Material), Fatigue and Strength Evaluation, Durability and Optimum Design, Design & Analysis of Machine & Automobile