

FEM을 이용한 기어윤곽 가공 최적화에 관한 연구

A Study on Optimization of Gear Profile Machining using FEM

*#이우현¹, 김수용¹, 한민식¹, 김태호², 전언찬³

*#W. H. Lee(lwh4477@nate.com)¹, S. Y. Kim¹, M.S.Han¹, T.H.Kim², E.C.Jeon³

¹ 동아대학교 대학원 기계공학과, ²대진유압기계, ³동아대학교 기계공학과

Key words : FEM , Gear Profile , CAM , Production module , NC code Optimization

1. 서론

현재 제품의 형상이 다양해지고 곡면의 사용이 증가하면서, 제품 제작을 위한 가공 데이터의 획득에 CAM 소프트웨어의 의존도가 절대적으로 높아지고 있다. 일반적으로 CAM 소프트웨어에서는 초기 설정한 주축회전수나 이송속도를 가공 경로 전반에 적용하게 된다. 따라서 비교적 절삭력이 적게 발생하는 직선구간이나, 상대적으로 절삭력이 높게 발생하는 곡선구간에서도 동일한 조건으로 NC 코드를 생성하게 된다.

현장에서 생산성을 높이기 위해 많은 연구와 노력이 이루어지고 있으나, NC 코드의 최적화를 통한 생산성 향상은 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가공기와 절삭공구에 따라 NC 코드 작성 후 절삭력의 크기를 조절하여 생산성을 향상시키기 위한 방법을 찾아보고자 하였다.¹⁾

일반적으로 기어는 호브를 이용한 치형절삭에 의해 제작된다. 그러나 특수한 압력각을 사용하여야 되는 경우, 단조 및 압출과 같은 형틀을 제작하여야 하는 경우 등은 치형 절삭으로 기어를 제작할 수 없게 된다. 현재 와이어 컷 방전가공에 의한 가공방법이 활용되고 있지만 윤곽가공에 국한되어 사용되고 있는 실정이다.²⁾³⁾

본 연구에서는 기어에 관련된 형틀 제작시 필요한 기어 윤곽 가공을 실시하고 가공 조건을 최적화하여 생산성을 높일 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

2. 가공조건 최적화

기어의 설계값은 압력각 20°, 모듈 4, 잇수 14개이다. 이 이뿌리원의 반경이 약 1mm 정도로 측정되었으며, Fig. 1은 기어 윤곽가공을 하기 위해 설계된 기초 형상을 나타내고 있다.

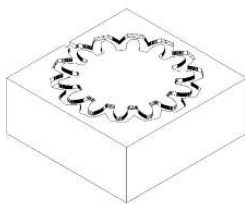


Fig.1 3D model for tool path generation

이를 바탕으로 정삭용 공구를 선택하고자 한다. 기어 치형의 정밀도를 높이기 위하여 기어 외곽으로 황삭 및 펜슬 가공 공정을 먼저 거친뒤 정삭을 수행하였다.

NC code는CAM 소프트웨어인 PowerMill을 이용하였다. 황삭에는 $\phi 3$ 2날 엔드밀을 사용하였고, 펜슬 및 정삭 가공에는 $\phi 1$ 2날 엔드밀을 사용하였다. 이를 기본조건으로 Fig. 2은 CAM 소프트웨어인 PowerMill을 이용한 Tool Path 생성 화면이다.

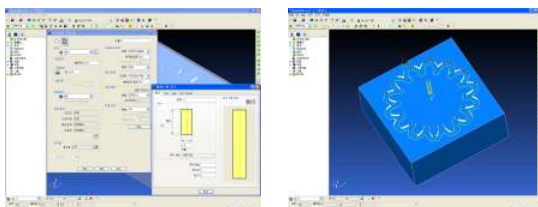
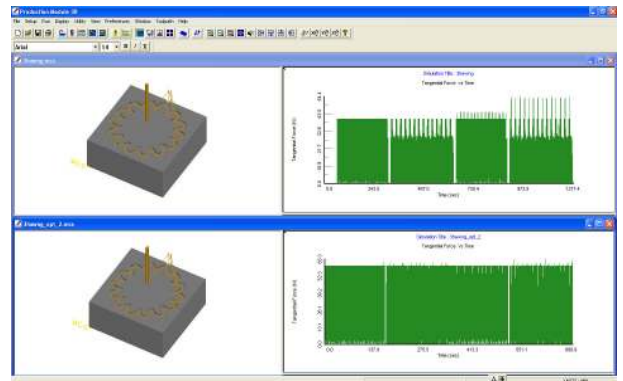


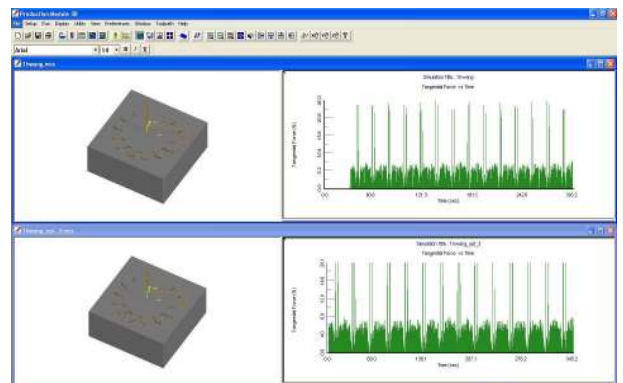
Fig. 2 Tool path generation using PowerMill-CAM software

가공 조건을 최적화하기 위해 연구에 사용된 절삭력 해석 프로그램은 AdvantEdge의 Production Module을 사용했다.

절삭력을 기준으로 하여 최적화한 결과, 전체적으로 절삭력은 안정화되어 균일한 힘이 작용하는 것을 알 수 있다. 그러나 펜슬 가공의 경우 양이 상대적으로 많은 기어 이뿌리원 쪽에서 절삭력이 높아지는 것을 볼 수 있다. 가공 시간은 황삭의 경우 큰 이득을 얻을 것으로 나타났으나 펜슬 및 정삭의 경우 시간적으로 손실이 발생함을 알 수 있었다. Fig. 3은 절삭력을 기준으로 하여 최적화한 결과이다.



(a) Result of rough cutting



(b) Result of pencil cutting

Fig. 3 Result of Optimization of cutting condition according to cutting force

NC 코드 변화를 살펴보면, 이송 속도가 각 지점에 적합하게 변화되어 있음을 알 수 있다. Fig. 4 황삭 가공시 조건 최적화 전후 결과 비교한 코드를 나타내고 있다.

N236 G0Z8.559V-1.639	N236 G0Z8.559V-1.639F159.57
N237 G0Z8.082V-2.535	N237 G0Z8.082V-2.535F176.22
N238 G0Z1.605V-3.71	N238 G0Z1.605V-3.71F181.55
N239 G0Z2.864V-4.95	N239 G0Z2.864V-4.95F178.96
N240 G0Z3.142V-5.712	N240 G0Z3.142V-5.712F258.19
N241 G0Z3.071V-6.473	N241 G0Z3.071V-6.473F280.47
N242 G0Z2.542V-8.758	N242 G0Z2.542V-8.758F177.45
N243 G0Z2.367V-9.187	N243 G0Z2.367V-9.187F356.99
N244 G0Z2.115V-9.52	N244 G0Z2.115V-9.52F316.32
N245 G0Z1.605V-9.88	N245 G0Z1.605V-9.88F239.23
N246 G0Z8.844V-10.147	N246 G0Z8.844V-10.147F187.97
N247 G0Z8.559V-18.711	N247 G0Z8.559V-18.711F188.88
N248 G0Z6.274V-18.916	N248 G0Z6.274V-18.916F158.88

(a) before optimization (b) After optimization

Fig. 4 Compare of NC code optimized about rough cutting

3. 실험 및 방법

3.1 기어 윤곽 가공

공작물의 재질은 SM45C이며, 가공에 사용된 머시닝 센터는 두산인프라코어의 8호기이다. 공구는 한국 OSG에서 생산된 $\phi 3$, $\phi 1$ mm의 2날 초경 엔드밀을 사용하였다. Fig. 5는 본 연구에 사용된 머시닝 센터 및 기어 윤곽 과정을 나타내고 있다.



Fig. 5 Generation of gear profile by machining

최적화 전·후의 조건에서의 가공시 예상 시간과 실제 가공 시간이 정확하게 일치하지는 않으나, 황삭 가공시 예상과 실제 시간이 공통적으로 확연하게 줄어든 것을 확인할 수 있었다. Table 1.은 최적화 전·후의 조건에서의 가공시 예상 시간과 실제 시간을 비교한 결과이다.

Table 1. Compare of real machining time and smulating machining time

	예측	실제
황삭(최적화 전)	20분 17초	20분
황삭(최적화 후)	11분 28초	11분
펜슬(최적화 전)	5분 3초	5분
펜슬(최적화 후)	5분 45초	6분
정삭(최적화 전)	12분 43초	12분
정삭(최적화 후)	12분 46초	14분

최적화 후의 조건으로 가공시 황삭 가공 중 공구의 파손이 발생하였다. 이것은 이송 속도가 급격하게 변동함에 따라 굽힘 응력과 더불어 절삭 저항 및 주축 회전에 의한 과도한 비틀림에 의해 파괴가 발생한 것으로 판단된다. Fig. 6은 머시닝 센터를 이용하여 최적화 가공중 파손된 결과를 나타내고 있다.



Fig.6 Result of broken tool of optimized machining

본 연구에서는 최적화 조건의 결과를 확인하기 위해 재료를 MC 나일론으로 바꾸어 실험을 수행하였다. 가공 조건 및 경로는 동일하다. Fig. 7은 가공 결과를 나타내고 있다.

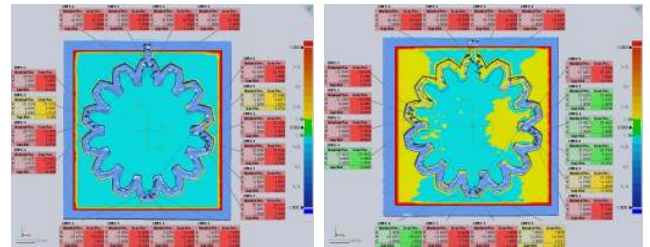


(a) before optimization (b) After optimization

Fig. 7 Result of machining using MC nylon

3.2 3D 스캐너를 이용한 검사

본 연구에서는 가공된 기어 윤곽 형상을 확인하게 위해 3D 스캐너를 이용하여 검사를 수행하였다. 기어 치형에 대한 가공 정밀도를 비교하였다. Fig. 8은 최적화 전과 후의 데이터를 CAD 데이터와 비교한 결과를 나타내고 있다.



(a) before optimization (b) After optimization

Fig. 8 Compare of machining data and CAD data

Table 2.은 주요 지점에서의 오차를 나타내고 있다. 총 18점에 대한 측정 결과를 비교하였으며, 치형에서의 오차는 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다.

Table 2. Gap distance between measured data and CAD date on measured points

Measured point	Befor optimization	After optimization
CMP1 : 1	-1.0415	-1.016
CMP1 : 2	-0.9008	-0.1535
CMP1 : 3	-0.8559	-0.9323
CMP1 : 4	-0.9307	-0.9951
CMP2 : 1	-0.2247	-0.1263
CMP2 : 2	-0.1145	-0.8097
CMP2 : 3	-0.0769	-0.2308
CMP2 : 4	-0.0437	-0.1347
CMP2 : 5	-0.1336	-0.6608

4. 결론

1. 주축 회전수와 이송 속도에 대한 가공 조건을 최적화 함으로써 절삭력을 안정화 시킬 수 있었다.
2. 가공조건 최적화를 위해서는 공구 강성이 우선 확보가 되어야 함을 알 수 있었다.
3. 기어윤곽 가공시 가공조건 최적화는 정삭가공 보다 황삭가공에 효과가 큼을 알수있었고, 황삭시 약 50%의 시간을 줄일 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03)지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 윤재우, 김홍석, 2009, 2차원 절삭에서 FEM 해석의 유효성에 관한연구, 한국공작기계학회지, 19권, 제1호, pp.42~49.
2. SungChul Lee, 2007, Design of Elliptical Gears for Wire Cutting, Journal of the KSTLE .Vol.23, No.4, pp.149~155
3. SungChul Lee, 2008, Design of Noncircular Gears for Wire EDM, Journal of the KSTLE .Vol.24, No.5, pp.221~227