

# Whirling 공정에서 웜 기어의 절삭 특성 해석

## Analysis of worm gear cutting in whirling process

\*#이영문<sup>1</sup>, 손재환<sup>2</sup>, 정상호<sup>3</sup>, 김선일<sup>4</sup>, 박건우<sup>4</sup>, 정희철<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Y. M. Lee(ymlee@knu.ac.kr)<sup>1</sup>, J. H. Son<sup>2</sup>, S. H. Jung<sup>3</sup>, S. I. Kim<sup>4</sup>, G. W. Park<sup>4</sup>, H. C. Jung<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>경북대학교 기계공학부, <sup>2</sup>대구기계부품연구원, <sup>3</sup>DMC(주), <sup>4</sup>경북대학교 대학원 기계공학과

Key words : worm gear, whirling process, undeformed chip volume, DEFORM, cutting force superposition

### 1. 서론

자동차 부품산업에서 모터 구동용 웜 기어(worm gear)는 자동차용 윈도우 리프트 모터 등 동력전달 시스템이 필요로 하는 제품에 널리 사용되고 있는 부품이며, 국내에서 생산되고 있는 웜 기어의 대부분은 전조가공(form rolling)에 의해 제작되고 있다. 전조가공은 소재를 전조 다이스를 이용하여 소성 가공하는 가공법으로서 가공시간이 짧고 비교적 저렴한 가격으로 가공할 수 있기 때문에 대량생산에 적합한 가공법에 속한다. 그러나 부품의 정밀도가 금형에 의해 좌우되며, 전조 다이스의 마모 및 가공 후 잔류응력에 따른 후변형 등으로 부품의 정밀도가 떨어져 제품의 고속회전 및 내구성을 저하시키게 된다. 이에 반해 whirling 가공에 의해 제작된 웜 기어는 외부에서 작용하는 힘과 충격에 잘 견디면서, 조용하고 효율적으로 동력을 전달하기에 충분한 강도와 높은 정밀도를 나타내고 있다.

본 연구에서는 whirling 공정을 통해 제작되는 웜 기어의 절삭 특성을 해석하고자 FEM 소프트웨어인 DEFORM을 이용한 시뮬레이션과 그 해석 결과를 바탕으로 whirling 가공에 의한 웜 기어 절삭 특성을 해석하고자 한다.

### 2. Whirling 공정에서의 절삭 메커니즘

#### 2.1 Whirling 메커니즘

Whirling 가공은 소재로부터 원하는 형상을 얻기 위해 필요 없는 부분을 제거해 나가는 절삭가공의 한 방식이다. Fig. 1에서 보듯이, whirling 가공은 여러 개의 인서트(insert)들이 원형의 공구 홀더(tool holder) 내부 원주를 따라 일정하게 정렬되어 있고, 이때 인서트의 회전 중심축은 소재의 중심축과 평행하면서 편심을 이루어 고속으로 회전하면서 소재(workpiece)를 절삭가공하게 된다.

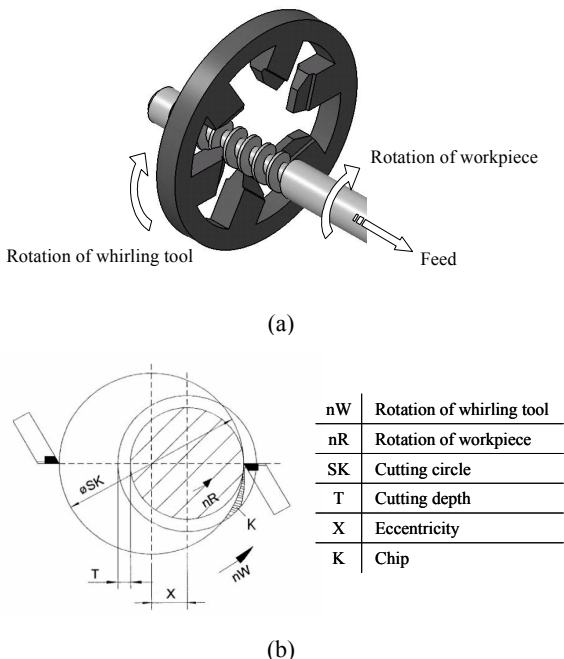


Fig. 1 Whirling process ; (a) 3D-view, (b) cross-section view

#### 2.2 미변형 칩 체적(undeformed chip volume)

whirling 가공 시 미변형 칩은 Fig. 2와 같이 공구의 측면부와 전면부에서 동시에 생성된다.

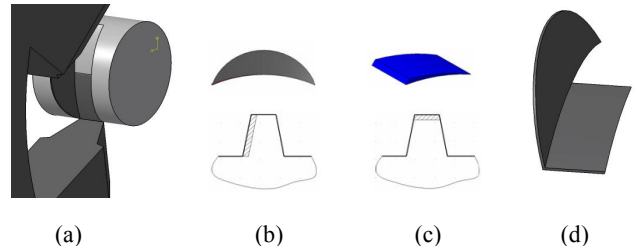


Fig. 2 Schematics of (a) whole cutting part (b) side cutting part (c) front cutting part (d) undeformed chip

### 3. DEFORM 시뮬레이션 및 결과

#### 3.1 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 웜 기어의 절삭 특성 해석을 위하여 FEM 해석 프로그램인 DEFORM을 사용하였다. 시뮬레이션에서 선택한 소재는 SCM4이며, Table 1에 그 화학조성을 나타내었다. 또한, 실제 whirling 가공에서와 동일한 조건으로 시뮬레이션 하였으며, DEFORM 시뮬레이션 조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition(wt%) of workpiece material

|      | C    | Si   | Mn   | P    | S    | Cr   | Mo   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SCM4 | 0.41 | 0.25 | 0.72 | 0.04 | 0.04 | 1.00 | 0.20 |

Table 2 Simulation conditions

| Workpiece                       | SCM4  |
|---------------------------------|-------|
| Rotation of whirling tool (rpm) | 6000  |
| Rotation of workpiece (rpm)     | 100   |
| Feed (mm/rev)                   | 3.927 |
| Cutting radius (mm)             | 9     |
| Maximum cutting depth (mm)      | 0.058 |
| Eccentricity (mm)               | 6.94  |
| Inclination angle (°)           | 7     |

#### 3.2 DEFORM 시뮬레이션

이번 시뮬레이션에서는 임의의 순간에 하나의 인서트로 한번의 절삭이 이루어질 때 생성되는 미변형 칩의 형상을 모델링하여 그 때의 절삭력을 예측하였다. 이때 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이, 미변형 칩의 형상은 공구 측면부에 의해 생성되는 미변형 칩의 단면은 반달모양으로, 공구 전면부에 의해 생성되는 미변형 칩의 단면은 삼각형으로 가정하였다.

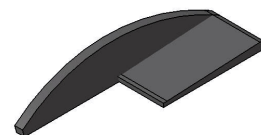


Fig. 3 Undeformed chip shape

Whirling 가공에서 절삭은 공구 측면부와 전면부에서 동시에 이루어지게 된다. 본 시뮬레이션에서는 Fig. 4에서 보듯이, 절삭 측면부와 전면부를 동시에 절삭했을 경우의 절삭력과 Fig. 5에서와 같이 절삭 측면부와 전면부를 각각 따로 절삭하고 난 후, 두 절삭력을 중첩했을 경우의 절삭력을 서로 비교해 보았다.

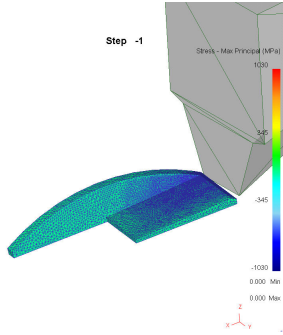


Fig. 4 1st DEFORM model

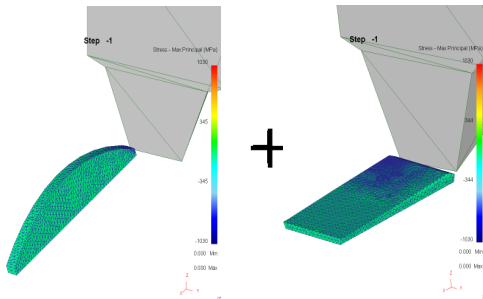


Fig. 5 2nd DEFORM models

3.3 시뮬레이션 결과

3.3.1 동시 절삭 모델의 경우

첫 번째 모델은 실제 가공에서 이루어지는 것과 같이 측면부와 전면부에서 동시에 절삭이 이루어지는 경우이다. 절삭력은 Fig. 6과 같이 나타났다.

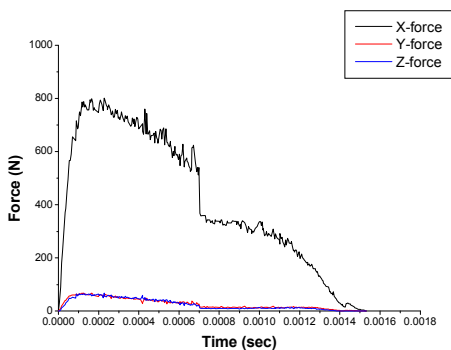


Fig. 6 Force prediction of 1st model

3.3.2 분리 절삭 모델의 경우

Fig. 7은 소재 측면부 가공 시 발생하는 절삭력을 나타낸 것이고, Fig. 8은 소재 전면부 가공에서 발생하는 절삭력을 나타낸 것이다. 각 부분의 절삭력을 중첩하면 Fig. 9와 같이 표현된다. Fig. 6과 Fig. 9에서 확인할 수 있는 바와 같이 측면부와 전면부 절삭이 동시에 일어나는 경우와 측면부와 전면부가 분리되어 절삭이 일어나는 경우의 절삭력 변화는 별 차이를 나타내지 않는다.

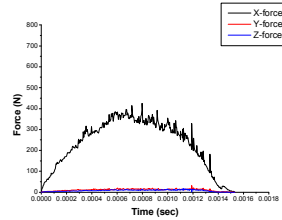


Fig. 7 Force prediction of side cutting part

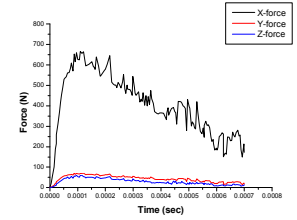


Fig. 8 Force prediction of front cutting part

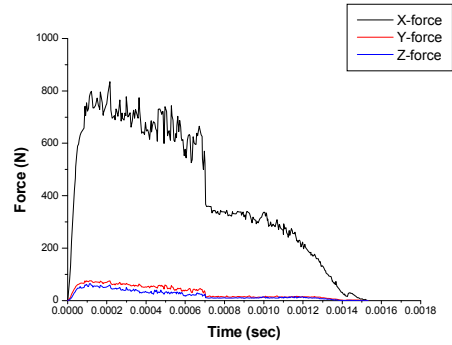


Fig. 9 Force prediction in case of superposition

4. 결론

본 연구에서는 whirling 공정에서의 웜 기어 절삭 특성 해석을 위하여 미변형 칩 모델을 설정하였다. 또한, 이를 통해 FEM 해석 프로그램인 DEFORM을 이용하여 웜 기어 가공 시 절삭력을 예측해 보았고, whirling 공정에서 웜 기어의 절삭 특성의 해석 및 평가를 위한 모델을 확립하였다.

(1) 웜 기어 가공 시 공구 형상과 가공 조건을 고려한 미변형 칩 형상 모델을 제시하였다.

(2) 웜 기어 가공에 대한 시뮬레이션 결과, 측면부와 전면부를 동시에 절삭하는 경우의 절삭력과 두 부분을 분리하여 각각의 절삭력을 구한 후, 두 절삭력을 중첩했을 경우의 절삭력은 거의 일치하였다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 공통핵심기술개발사업에 의해 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이민환, 강동배, 안중환, 김화영, 조승환, "자동차용 소형모터의 소음-진동 개선을 위한 WORM 가공기술 개발", 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 777-780, 2004
2. 이정기, 양우석, 손재석, 한희덕, 김한수, "Whirling machine의 성능 개선을 위한 연구", 대한기계학회 논문집, A권 제29권, 제 10호, 1416-1429, 2005
3. Ralph Wehmann, "The Whirling Process for Improved Worm Gears", GEAR Solutions magazine, October, 2003
4. 이영문, "3차원 절삭역학", 대가, 113-115, 2005