

V-벨트 풀리 스피닝 성형공정의 유한요소 시뮬레이션

김성종* · 김홍래* · 이태경** · 김용성*** · 김형종*

A Finite Element Simulation of the V-Belt Pulley Spinning Process

S. J. Kim, H. R. Kim, T. K. Lee, Y. S. Kim and H. J. Kim

Abstract

Some trials to simulate the spinning process by which V-belt pulley is usually being manufactured are done in this study. 2D finite element analysis (FEA) for the whole process to produce a mono-typed pulley including preforming, 1st spinning, axial compression and 2nd spinning processes is carried out using the commercial code DEFORM2D™. The sectional shape after each process is compared with that of real product. The deformed shape obtained from the FEA, on the whole, coincides with the experimental result well, but the thickness around the bottom of the V-groove is somewhat different each other.

Key Words : V-Belt Pulley, Spinning, Finite Element Analysis

1. 서 론

V-벨트 풀리는 엔진 크랭크축의 동력을 V-벨트를 통하여 워터펌프, 에어컨 컴프레서, 발전기 등으로 전달하는 부품이다.⁽¹⁾ 그 제조 공정으로는 디프드로잉과 같은 프레스 가공을 통하여 예비형상(preform)을 만든 후 스피닝(spining) 가공으로 V-벨트 홈을 성형하는 것이 가장 일반적으로 사용되고 있는 방법이나, 이외에도 강 주물 또는 플라스틱 사출성형 제품도 있다. 전자의 방법도 용기 형상의 제품을 성형하는 전형적인 스피닝 가공과 그 성형 방식이 상당히 달라서 '스피닝' 대신 '플로포밍(flow forming)' 또는 '롤포밍(roll forming)' 등 여러 가지 이름으로 불리고 있다.

이 공정은 점진성형(progressive forming) 법의 일종으로, 생산기술로서의 역사가 오래되었음에도 불구하고 유한요소법과 같은 수치해법에 의한 공정 시뮬레이션 예는 극히 드물다. 그것은 점진성형의 특성상 금형과 소재간의 접촉길이가 보통의 소성가공 공정에 비하여 월등히 길어, 실제 성형조건과 같게 3차원 시뮬레이션을 수행한다는 것이 현실적으로 불가능하기 때문이다.

본 연구에서는 CAE를 통하여 V-벨트 풀리 스피닝 공정 설계를 구현하기 위한 시도로서 비교적 단순한 형상의 워터펌프 풀리 성형공정에 대한 2차원 유한요소해석을 수행하고 그 결과를 실제 제품과 비교·분석하였다. 해석에 사용된 코드는 DEFORM™-2D^(1,2)이다.

* 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학부

** 한국파워트레인(주)

*** ATES(주)

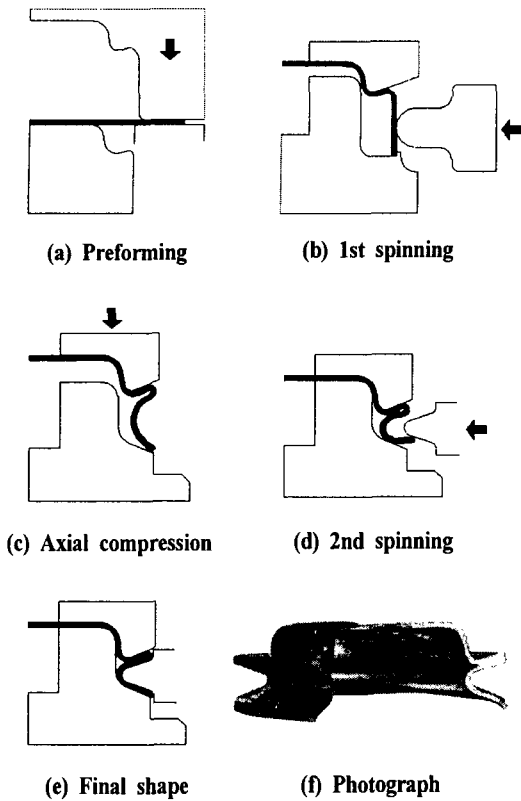


Fig. 1 Schematic diagram of the mono-pulley forming process

2. V-벨트 폴리 성형공정

폴리에 체결되는 V-벨트의 단면형상은 그 용도에 따라 여러 가지가 있으며, 폴리의 단면도 당연히 이에 알맞은 형상을 가지게 된다. 폴리의 종류는 단면형상과 제조 방법에 따라 크게 다음의 3가지로 분류할 수 있다.

- (1) mono & folded type : 1개 또는 2개의 V-벨트 체결, 소재 면 성형
- (2) poly-V type : 다중 치형을 가진 벨트 체결, 소재 두께방향 성형
- (3) split type : 소재 두께방향으로 분리하여 플랜지를 성형한 후 치형 가공

본 연구에서는 스피닝 공정 시뮬레이션의 첫 단계로서 가장 단순한 형상인 '모노 폴리'를 해석 대상으로 하였다. 모노 폴리는 Fig. 1과 같이 디프드로잉 공정으로 만들어진 예비형상으로부터 1차 스피닝 공정과, 축방향 압축 및 2차 스피닝 공정 등 크게 두 공정을 거쳐 성형되며, 마무리 선반가공을 거쳐 최종제품으로 생산된다.

3. 유한요소해석

3.1 모델링

예비성형 공정은 가운데 컵 형상의 돌출부와 플랜지부를 성형하기 위한 전가공이다. 돌출부 면은 볼트로써 축과 체결되는 부분으로 후속 공정에서 전혀 변형되지 않으나, 플랜지 부는 본 스피닝 공정에서 V-벨트 홈을 성형할 부분이므로 적절한 길이와 두께를 가져야 한다. 따라서 초기 소재의 직경이 주요 설계변수가 된다.

2차원 축대칭 문제로 스피닝 성형공정을 시뮬레이션하는 것은 근본적으로 무리한 가정을 내포하고 있으나, 현실적으로 스피닝 공정에 대한 3차원 해석을 하는데 드는 엄청난 시간과 노력, 그리고 믿을 만한 해를 구할 수 있는가하는 불확실성 등을 감안하면 시도의 의미가 없지는 않을 것으로 생각된다. 스피닝 공정을 2차원 축대칭 문제로 해석하기 위한 거의 유일한 수단은 마찰조건을 조절하는 것이다.

본 연구에서는 Coulomb 마찰법칙을 채택하였으며, 예

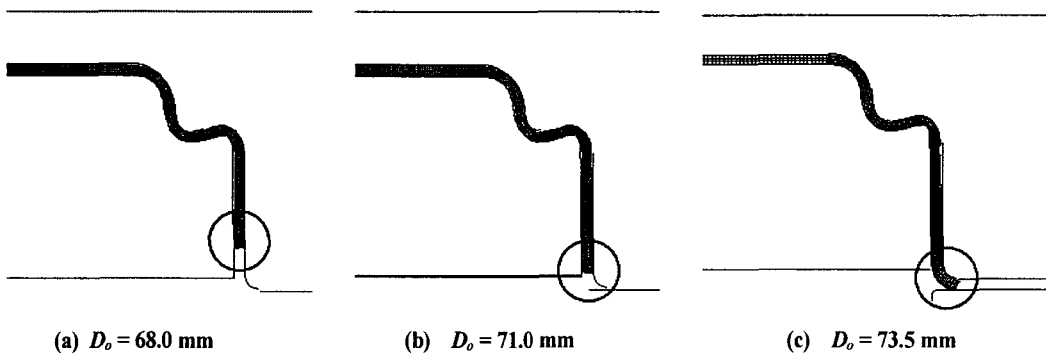


Fig. 2 Deep-drawn parts from the blanks with various initial diameters

비성형 공정에서는 $\mu = 0.2$, 그리고 스피닝 공정에서는 $\mu = 0.02$ 로 입력하였다. 요소 수는 전 공정에 걸쳐 약 1,500 개 정도로 유지하였다. 소재는 두께 2.0mm의 SPCC 강판이며, 인장시험으로부터 구한 가공경화곡선은 $\bar{\sigma} = 440.3 \bar{\epsilon}^{0.196}$ MPa, 항복응력은 $\sigma_y = 173.5$ MPa이다.

3.2 결과 및 토론

Fig. 2는 3가지 직경을 가진 소재로부터 예비성형 공정을 해석한 결과를 보여주고 있다. 이들 중 초기직경 $D_o = 71.0$ mm의 소재로부터 성형된 예비형상이 요구치수에 가장 가까운 플랜지 길이를 나타낸다. Fig. 3은 실제 제품의 단면을 스캐닝한 화상과 이 예비형상을 함께 비교한 그림으로, 형상이나 두께 분포 등이 거의 일치함을 알 수 있다.

Fig. 4는 1차 스피닝의 주요 공정변수들을 나타내는 그림이다. 롤러의 이송속도 V_R 은 냉간가공 해석 결과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상하고, 수직위치 Y_R 에 대해서만 여러 가지로 값을 바꾸어가면서 변수연구를 수행하였다. Fig. 5에 Y_R 의 변화에 따른 결과를 3가지 도시하였으며, 이 중 요구치수에 가장 근접한 것으로 판단되는 $Y_R = 3.75$ mm에 대한 해석결과와 실제 제품의 단면형상을 Fig. 6에 비교하였다. 실제 제품에 비하여 화살표 부분이 과도하게 접착있고 V-홈 부분이 전반적으로 약간 두껍게 해석된 것을 볼 수 있다. 두께분포의 차이는 실제 스피닝 공정에서는 롤러와의 접촉에 의하여 원주방향의 미세한 소재유동이 연속적으로 일어나 두께가 얇아지는데 반하여, 2차원 시뮬레이션에서는 이러한 유동을 구현할 수 없는데 원인이 있는 것으로 판단된다.

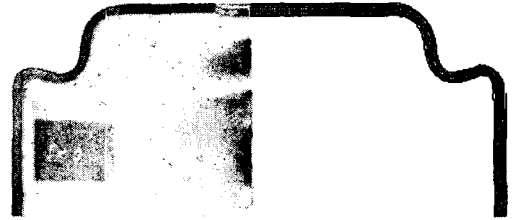


Fig. 3 Comparison of the section after preforming process between experiment and analysis

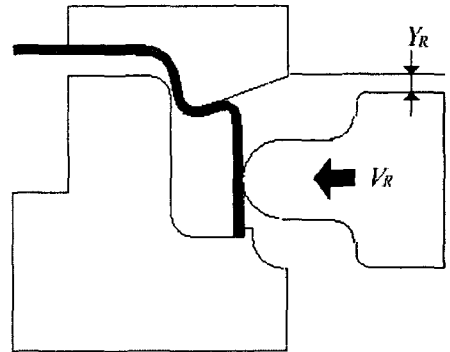


Fig. 4 Definition of the process parameter for the 1st spinning

Fig. 7은 축방향 압축 및 2차 스피닝 공정의 해석 결과이며, Fig. 8은 최종 성형해석 결과를 실제 제품의 단면과 비교한 것이다. 전체적인 형상은 비슷하나 실제 제품에서 롤러의 압력을 가장 많이 받는 V-홈 바닥 부분(화살표)의 두께가 상당히 얇아지는 현상을 2차원 해석으로서는 충분히 예측하지 못하는 것을 알 수 있다. 이 사실도 1차 스피닝에서와 마찬가지로 원주방향의 소

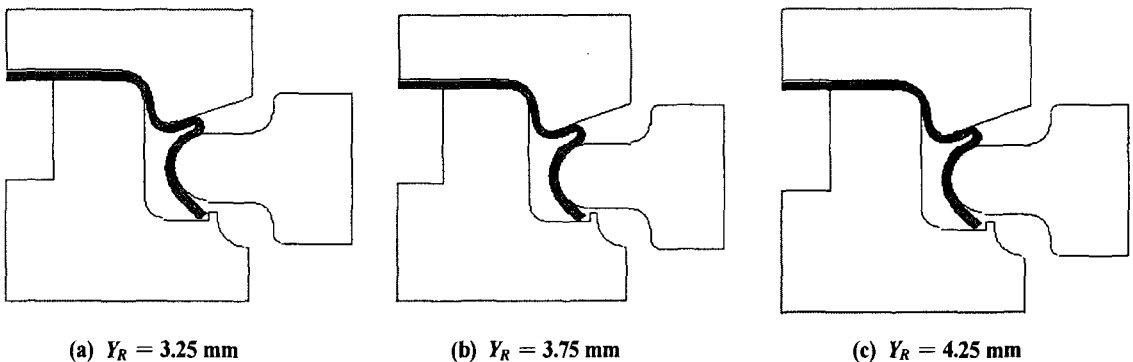


Fig. 5 Influence of the y-position of the roller in the 1st spinning process

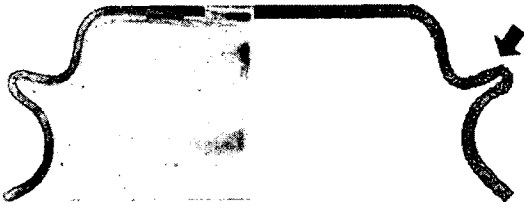


Fig. 6 Comparison of the section after the 1st spinning process between experiment and analysis

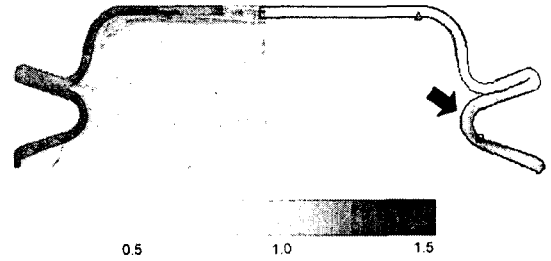
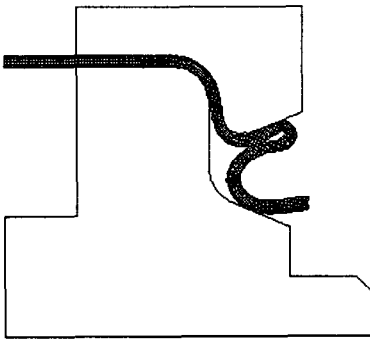
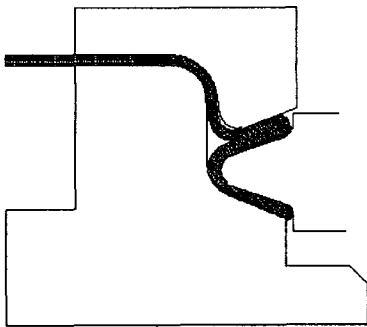


Fig. 8 Comparison of the section after the 2nd spinning process between experiment and analysis



(a) After the axial compression



(b) After the 2nd spinning process

Fig. 7 Deformed shape from FEA

재유동을 고려하지 못하기 때문인 것으로 보인다.

한편, 그림에 함께 표시된 유효변형률 분포는 V-홈 바닥 부분에서 최대값 2.0 정도를 나타내고 있다.

4. 결 론

자동차 워터펌프용 V-벨트 풀리의 성형공정 해석을

수행하고 그 결과를 실제 제품과 비교·분석하였다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 2차원 축대칭 해석으로 스피닝 공정을 시뮬레이션 하는 것은 근본적인 문제점을 포함하고 있으나, 금형과 소재간의 접촉 길이가 매우 큰 스피닝 공정에 대하여 3차원 해석을 하는 것이 현실적으로 불가능한 점을 고려하면 2차원 해석의 시도에 적지 않은 의의가 있을 것으로 생각된다.

(2) 예비성형 공정의 해석으로부터 예비형상의 요구치수를 만족하는 초기 소재 직경을 구할 수 있었다.

(3) 두께분포를 제외한 전체적인 형상변화에 대한 예측은 2차원 해석으로도 실제와 매우 가까운 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 롤러의 수직위치와 같은 공정변수들을 현장에서 시행착오로 결정해야 하는 문제를 2차원 해석을 통하여 어느 정도 해결할 수 있다.

(4) 2차원 해석 결과가 실제 공정과 차이를 나타내는 가장 중요한 이유는 실제 스피닝 공정에서 롤러의 압력과 회전에 의하여 소재 표면에 원주방향의 미세한 유동이 연속적으로 일어나 두께가 얇아지는 현상을 2차원 해석으로 구현할 수 없기 때문인 것으로 판단된다. 이 문제를 어느 정도 해결하기 위하여 적절한 크기의 전단력을 금형과 소재의 접촉면에 임의로 부가하는 방안을 생각할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Crouse, W. H. and Anglin, D. L., 1993, "Automotive Mechanics", 10th Ed., McGraw-Hill
- (2) SFTC, DEFORM™-2D Version 7.0