

유한요소 해석을 이용한 마이크로 스프링의 전단공정 개선에 관한 연구

홍석관* · 전병희** · 김민건***

A Study on the Cutting Processes improvement of Micro-Spring by Finite Element Analysis

S. K. Hong, B. H. Jeon and M. K. Kim

Abstract

Micro-spring that used on micro mechanism should be equal to distance between pitch and correct of shape. Therefore, micro spring must make by super-precision working. But, current step of super-precision processing depends on special quality of work piece and is ineffective the aspect of cost and productivity yet. Also, to use as demandable length shearing process perform but even if make precision spring, in the aspect of quality of coil spring make difficult that produce product of good quality. Therefore, purpose of this study presented proposed process that extract the point of processing factor after perform finite element analysis applying existing sheet shearing process to spring shearing process consider cost and productivity after evaluate.

Key Words : Micro spring, cutting line, shearing, coil spring

1. 서론

초소형 기계장치는 동력 장치, 동력전달 장치, 부가장치, 서스펜션 그리고 필요한 기능을 수행하는 기능장치로 구성된다. 이중 마이크로 서스펜션은 마이크로 액츄에이터, HDD 나 DVD 등과 같은 기록장치, inkjet printer, 휴대폰 진동자 등에 적용되는 핵심부품이다.

이러한 스프링은 마이크로 서스펜션의 가장 핵심적인 구성요소를 외부의 충격으로부터 에너지를 흡수하는 역

할을 한다.

초소형 캡슐형 내시경과 같이 다양한 형태의 운동기능을 가진 마이크로 시스템의 서스펜션에는 소형/경박단소, 효과적인 진동 절연, 높은 자유도, 광대역 선형 거동 등의 요구조건이 충족되는 스프링이 적용되어야 한다. 이러한 요건을 고려할 때, 미세 코일 스프링의 피치의 정확한 간격과 형상정밀도는 시스템전반에 영향을 미치며, 정교한 가공기술을 요구된다.

현대의 가공기술은 반도체, 광학 산업을 중심으로 정밀

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 대학원
** 인덕대학교 컴퓨터응용기계계열
*** 강원대학교 기계메카트로닉스공학과

화, 고속화, 지능화 되어 가고 있다⁽¹⁾. 이러한 가공기술의 발달을 향상시키기 위하여 각종 초정밀 가공기의 개발이 진행되고 있으며, 국내 가공기계 관련 연구는 고강성화, 고속화, 복합화, 초정밀화, 지능화 등의 방향으로 활발히 이루어지고 있다.

그러나 초정밀 가공기술은 피가공물의 특성에 의존하는 경향이 있으며 아직까지 연구결과가 현 공정에 적용하기에는 비효율적이며 비용 또한 많이 드는 것이 현실이다. 또한, 정밀한 스프링을 제조하더라도 원하는 길이만큼 사용하기 위해 전단가공을 수행하는데 이때 스프링의 특성상 일반적인 전단가공으로는 양질의 제품을 생산하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 초소형 기계장치에 사용하는 피치 400 μm , 선경과 내경은 각각 400, 450 μm 인 미세 코일 스프링을 대상으로 정밀전단공정에 국한하여 유한요소해석을 이용하여 기존의 공정변수가 피가공물에 미치는 영향을 평가하였으며, 이를 바탕으로 가공품의 불량률을 최소화하는 새로운 공정을 제시하고자 한다.

2. 기존의 전단 공정의 해석

2.1 기존의 공정

전단가공은 일반적으로 펀치, 다이, 및 누름판으로 구성되어있으며 펀치와 다이사이의 간극(clearance)으로 전단된다. 따라서 먼저 상기와 같이 본 전단공정 시스템을 설정하고 유한요소해석을 통하여 공정변수를 평가한 후 제품의 품질에 영향을 미치는 인자를 바탕으로 새로운 공정을 제시하였다. 또한 실험 결과와 비교하여 해석의 타당성을 입증하였다.

2.2 해석 조건 및 방법

다이와 펀치를 이용하여 소재를 절단하는 전단가공의 공정 변수는 다이와 펀치사이의 간극(clearance), 누름판(holder)의 압력, 누름판과 펀치사이의 거리, 펀치와 다이

의 전단날각 등 여러 가지가 있다. 이러한 일반적으로 판재의 전단가공 공정변수에 관해서는 많은 연구가 진행되어왔다. 따라서 본 연구에서는 기본적인 공정변수를 Table 1과 같이 앞서 연구한 자료를 바탕으로 설정하였다.

Table 1 Parameters of shearing

Clearance (μm)	Punch radius	Plastic strain
10	30	2.0

그러나 본 시스템에서의 소재는 판재가 아닌 스프링이므로 누름판의 압력과 누름판과 펀치사이의 거리는 스프링에 다음과 같이 적합하게 설정하였다.

즉, 전체적인 전단가공 시스템은 Fig. 1에서 보이듯이 하부 펀치는 고정하고 상부펀치가 하강하여 스프링을 절단하며 가운데 가이드부가 있어 스프링의 처짐을 방지하였다. 또한 스프링의 끝부분에 위치한 한 절점은 모든 자유도를 구속시켜 누름판(holder)역할을 할 수 있도록 하였다. 그리고 누름판을 상부펀치로부터 멀리 위치시킨 이유는 펀치의 전단날이 스프링 강선에 도달하기까지 스프링형상이 심하게 변형을 하여 피치가 불균일하게 되며, 이때 누름판이 전단날과 가까이 있게 되면 소재의 모멘트를 구속하게 되어 전단 후에 전단선상 부위의 강선이 소성변형을 일으켜 불량품이 된다. 따라서 누름판을 멀리 위치시킴으로써 자유롭게 모멘트가 일어나게 하여 피치가 최소한으로 변형하여 전단 후에 탄성 복원할 수 있게 하기 위함이다.

Fig. 1에서 보이는 단면(section)-A 부위를 확대하면 Fig. 2와 같이 빔요소와 솔리드요소를 분리하여 모델링한 것은 전단시 스프링 피치간 접촉 여부를 기준으로 접촉하지 않는 부분은 빔으로 처리하여 해석 시간을 단축하기 위하여 선정한 유한요소 모델이다.

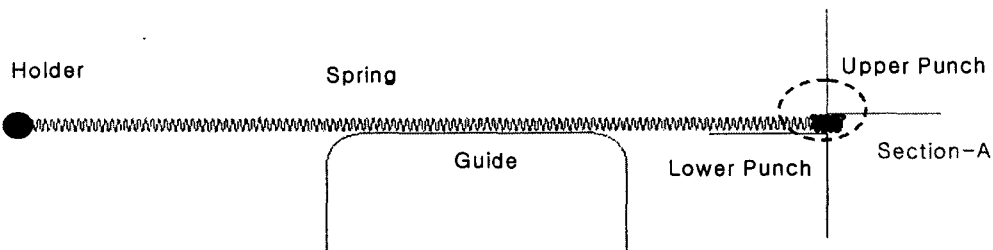


Fig. 1 FE Model of shearing for the existing process

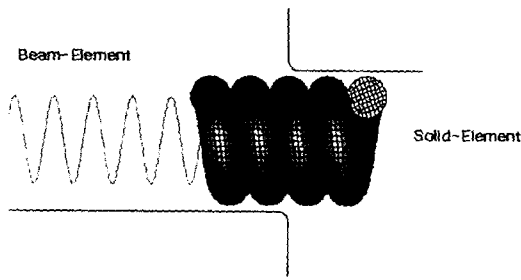


Fig. 2 at the section-A

유한요소해석에 사용한 물성치는 단축 인장시험을 통해 구하였으며 Table 2에 나타내었다. 응력-변형률 관계는 식 1과 같다.

$$\sigma = K(\epsilon)^n \quad (1)$$

여기서 σ 는 항복응력, K 는 강도계수, ϵ 소성변형률, n 은 가공경화지수이다.

또한 전단시 발생하는 크랙전파와 파단현상을 묘사하기 위해 소성변형률(plastic strain)이 2.0에 도달하면 요소를 계산에서 지우는 방식⁽²⁾으로 파단기준을 결정하였다. 즉 파단기준은 다음 식 2와 같다.

$$\epsilon_{\max} \leq \epsilon_p \quad (2)$$

여기서 ϵ_{\max} 는 파단시 소성변형률, ϵ_p 는 최대소성변형률이다.

Table 2 Parameters of shearing

Young's modulus (Gpa)	190
Poisson's ratio	0.29
Yield stress (Mpa)	206
K (Mpa)	1451.3
n	0.6
Plastic strain to failure	2.0

2.3 해석 결과 및 고찰

해석은 상용 프로그램인 LS-DYNA 3D를 사용하였다. 소성변형률이 2.0에 도달하였을 때 스프링의 변형양상을 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 전단되는 부근의 피치가 불균일한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 이유는 상부 및 하부 펀치의 형상이 직각으로 이루어져 상부펀치가 강선에 닿기까지 스프링의 형상을 왜곡시키는 것으로 볼 수 있다.

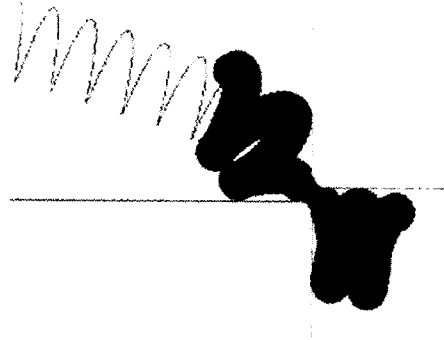


Fig. 3 Shape of the element deleting step for a initial process

따라서 상부 및 하부의 펀치 모델을 수정하였으며, 그 형상은 Fig. 5에서와 같이 삼각형 모양으로 변경하였다.

이때 상부와 하부펀치 사이의 간극을 중심으로 경계선을 그었을 때 그 선상을 절단선(cutting line)으로 보고 그 위치가 스프링의 피치를 기준으로 Fig. 4와 같이 A, B위치로 나누었을 때 B선상에서 전단이 이루어지면 Fig. 5에서 보이듯이 강선이 심하게 꼬이는 문제가 있을 수 있다.

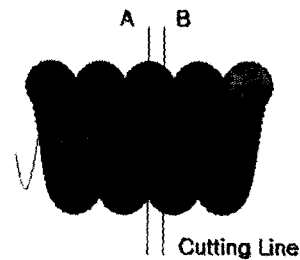


Fig. 4 Position of cutting line

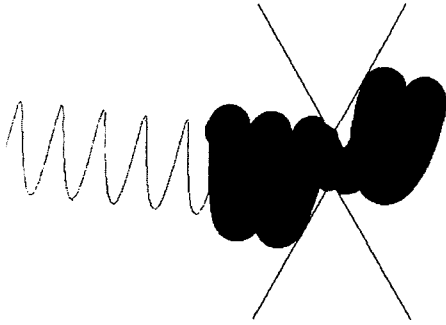


Fig. 5 Shape of the second process for cutting line-A

이것은 스프링의 전단공정이 끝나고 다음 공정을 위해서 스프링을 이동(feeding)하는 과정에서 생긴 오차로 인해 정확하게 A선상과 일치하지 못해서 생긴 문제이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 정밀한 센서로 작동하는 이송기구를 사용하여 정확한 소재를 이송시켜야 하고, 이를 위하여 외부의 충격을 최소화 하는 복잡한 구조물이 요구되므로 대량 생산을 위해서는 적용하기 어려운 방법이라고 판단된다.

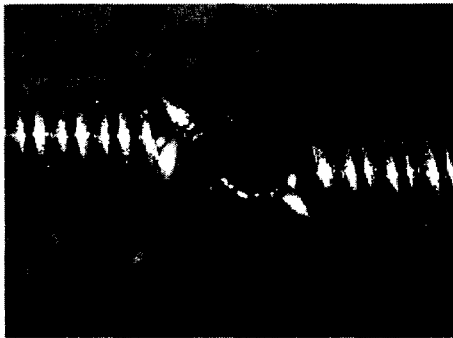


Fig. 6 Photographs of experimental shape of the second process for cutting line-A

Fig. 6은 B절단선상에서 전단공정을 실험으로 수행한 후의 스프링형상을 나타낸것으로서 유한요소해석으로 얻

어진 형상과 유사한 것을 볼 수 있다.

3. 새로운 공정 설계

3.1 설계기준 및 공정 변수

기존의 공정을 개선시키기 위하여 새로운 공정을 시도할 때 기존의 공정에 비하여 제작공정이 간단하여야 하고 비용과 제품의 양산 시스템면으로 볼 때 효율적이어야 한다.

본 논문에서는 정밀한 소재이송기구를 추가하는 대신 하부펀치에 유격스프링을 설치하여 하부펀치가 일정간격 상하이동이 자유롭게 하였다. 그 결과 B절단선상에 스프링이 이송되었다 하더라도 상부펀치가 아래로 이동하면서 스프링을 사이에 두고 하부펀치를 밀고 내려가 스프링의 끝부분에 삼각형 모양의 하부펀치가 걸리게 되어 절단선상이 A위치를 유지 된다.

3.2 새로운 공정 해석

Fig. 7에 나타내었듯이 기존의 공정시스템에서 하부펀치에 유격스프링을 추가하였으며 직각모양의 펀치에서 삼각형 형상의 펀치를 그대로 사용하였다.

유격스프링의 강성은 하부펀치의 자중에 의한 처짐이 없을 정도의 강성을 부여하였다. 그 밖의 공정변수는 기존의 공정과 동일하게 유지하여 해석하였다. 해석은 두가지 경우 즉, Fig. 4의 단면A, B 절단선상에서 수행하였다.

3.2 해석 결과

먼저 Fig. 8은 Fig. 4에서 보이듯이 단면A절단선상에서 전단공정이 이루어진 후 소재의 소성변형률(plastic strain)이 2.0에 도달하였을 때의 스프링 변형형상을 도시한 것이다. 약 50%의 피치가 벌어졌을 뿐 심한 왜곡은 발생하지 않았다. 또한, 벌어진 피치는 탄성복원에 의해 원래의 형상을 유지한다. 이에 해당하는 실험을 수행한 후의 형상을 Fig. 9에 나타내었다. 피치가 변함이 없

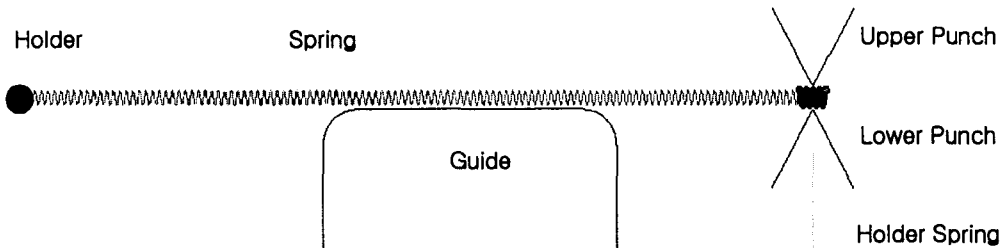


Fig. 7 FE Model of shearing for the proposed process

으며 전단면도 비교적 깨끗함을 볼 수 있다.

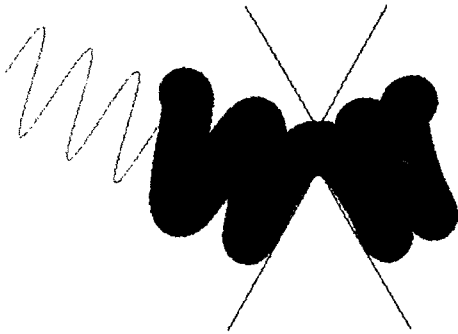


Fig. 8 Shape of the proposed for cutting line-A



Fig. 9 Photographs of experimental shape of the proposed process for cutting line-A

다음은 B절단선상에 소재가 이송되었다고 가정하여 수행한 해석결과로 Fig. 10에 그 변형형상을 나타내었다. 약간의 절단선상이 이동되었을 뿐 이전의 해석과 차이가 없으며, 퍼치가 벌어지는 정도는 오히려 이전 해석결과보다 적음을 알 수 있었다.

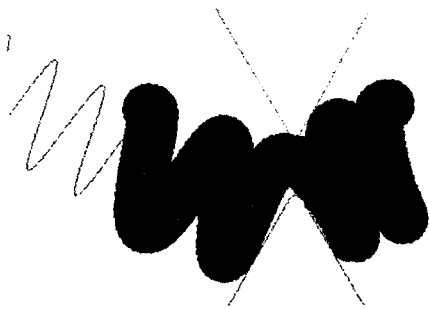


Fig. 10 Shape of the proposed for cutting line-B

새로운 공정의 제시가 타당한지 알아보기 위해서 기존의 공정과 새로운 공정으로 스프링 전단을 100회 실시하여 불량품과 양품을 선별한 후 Fig. 11과 같이 그래프로 비교해 보았다. 그래프에서 볼 수 있듯이 하부편치에 유격 스프링을 달았을 때 가 그렇지 않았을 때 보다 불량률이 40%나 적게 발생하였다.

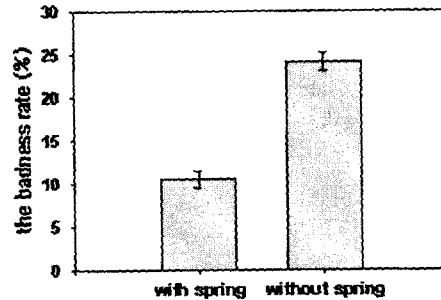


Fig. 11 Comparison of the badness rate whether lower punch with spring or not

4. 결론

본 논문은 미세 스프링의 전단공정에 있어 기존의 전단 공정과 제안된 공정에 대하여 유한요소해석을 수행하였으며 제안된 공정의 적합성을 판단하였다. 따라서 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 기존의 전단공정을 해석하여 핵심 공정변수를 도출함으로써 문제점을 파악하고 이를 바탕으로 새로운 공정을 제시하였다.
- (2) 스프링 전단공정에 있어 중요한 인자는 편치의 형상과 스프링의 이송위치임을 알 수 있었다.
- (3) 하부 편치에 유격스프링을 설치함으로써 스프링의 이송오차를 보완할 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) 이찬홍, 박천홍, "차세대 공작기계를 위한 핵심기술 연구동향 (한국기계연구원 공작기계설의 연구동향을 중심으로)", 한국공작기계학회지, 제8권, 제2호, pp. 17-26, 1999.
- (2) LIVERMORE SOFTWARE, "Material Models," LS-DYNA USER'S MANUAL, VOLUME II, pp. 96-99, 1999.
- (3) Belytschko, Liu, Moran, "Nonlinear Finite

Elements for Conitnua and Structures", Wiley, pp.
262-264, 2001.
(4) T.C. Lee, L.C. Chan and P.F. Zheng, 1997,

"Application of the Finite-Element Deformation
Method in the Fine Blanking Process", J. of
Mater. Process. Tech, Vol. 63, pp.744-749