

방적기계용 스피들 인서트의 설계

Design of Spindle Insert applied to Spinning machine

*심재준¹, #이동우², 이상석³, 김광영⁴, 김호덕⁵

*J. J. Shim(shimjj7@paran.com)¹, #D.W. Lee(woooow@donga.ac.kr)², S.S.Lee(lss234@bit.ac.kr)³, K.Y.Kim(kykim@kimm.re.kr)⁴, H.D. Kim(fine@spindle.co.kr)⁵

¹부산정보대학 자동차계열, ²동아대학교 기계공학과, ³부산정보대학 자동차계열, ⁴한국기계연구원, ⁵FINE SPINDLE

Key words : Spindle Insert, Design of Experiments, Kriging, Optimizaiton

1. 서론

섬유기계는 20세기의 세계적인 섬유수출국을 지지하는 기간 산업으로서의 중요성이 강조되고 있으며 스포츠 레저, 금속·화학 소재, 전기전자, 기계에너지, 섬유, 포장, 인쇄산업 등 타산업에 미치는 기술적 파급효과가 큰 산업이다.

실을 뽑는 경우에 발생하는 미세한 진동을 흡수가 완벽하게 이루어져야 고가의 제품을 생산할 수 있는 데, 그래서 필요한 것이 스피들내의 완충장치이다. 스피들내에 이러한 완충장치(나선커팅된 인서트)를 조립한 구성품을 볼스타라고 하고, 이미 일본과 독일에서 먼저 개발되어 세계적으로 활용하고 있지만 고급사중의 미세진동 흡수에는 부적합하여 스피들 회전속도를 낮추어 사용하고 있다. 하지만 생산성 향상을 위하여 고속을 사용하는 경우에는 진동 흡수 효과가 낮은 일반강을 사용한 인서트는 일정 수명이상에서는 잦은 파손이 발생하여 지속적으로 교환하는 문제점이 발생하고 있어 강한 재료에 나선 가공이 적용된 인서트의 개발이 필요한 실정이다

본 연구에서는 스피들 인서트의 파손을 방지하기 위하여 실험 계획법과 크리깅을 이용하여 최적설계를 수행하였다.

2. 스피들 인서트의 파손

Fig. 1은 스피들 인서트의 형상을 나타낸 것으로 열처리된 강재를 건드릴에 의해서 제작되고 있으며, 이후 나선커팅장치를 이용하여 제품을 생산하고 있다. 하지만 나선 스피들 인서트의 스파이럴 커팅 부위에서 잦은 파손이 발생되고 있다.

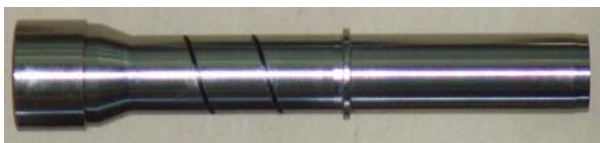


Fig. 1 shape of spindle insert

3. 스피들 인서트의 구조해석 및 안전성 평가

스피들 인서트의 최적설계를 위하여 기초적인 구조해석과 Goodman 선도에 의한 안전성을 평가하였다. 구조해석은 범용유한요소해석 프로그램인 ANSYS Workbench 11을 사용하였다. Table 1은 일반구조용 강재인 스피들 인서트의 물성치를 나타낸 것이다.

Table 1 Material properties for spindle insert

Ultimate strength, MPa	460
Yield strength, MPa	250
Young's modulus, GPa	200
Poisson's ratio	0.3
Fatigue Limit, MPa	86.2

3.1 하중 및 경계조건

Fig. 2는 스피들 인서트의 경계조건과 하중조건을 나타낸 것이다. 경계조건으로는 스피들 인서트와 스피들 블라스터가 접촉하는 부위의 자유도를 모두 구속하였다. 하중 조건으로는 스피들 인서트 끝단의 변위를 Z축 방향으로 강제 변위인 ±0.5mm를 부여하였으며, 또한 끝단에 100 N의 인장하중을 부과하였다.

Fig. 3은 구조해석 결과를 나타낸 것으로 최대응력 269.49 MPa, 최소응력 130.0 MPa이 발생하였으며, 최대변위 0.52931 mm가 발생하였다.

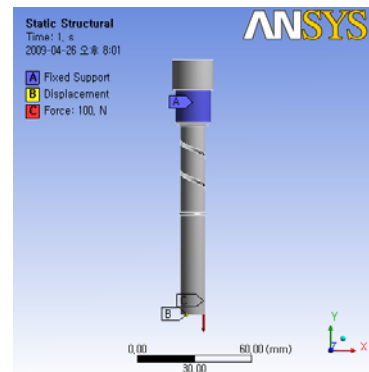


Fig. 2 Boundary and load conditions

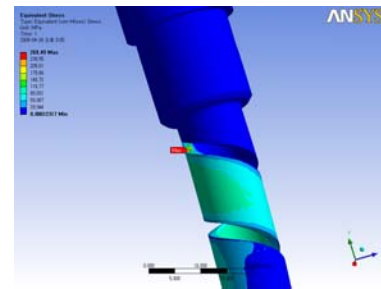


Fig. 3 Result of FEA for spindle insert

3.2 안전성 평가

Fig. 4는 스피들 인서트의 구조해석에서 구한 최대응력과 최소응력을 Goodman 선도에 나타낸 것이다. 스피들 인서트의 평균응력은 198.5 MPa, 응력진폭은 68.5 MPa로써 Goodman 선도의 안전영역의 외부에 위치해 있어, 피로강도의 관점에서 위험영역에 존재하는 것으로 생각된다. 따라서, 이에 대한 보완설계 및 최적설계가 요구된다.

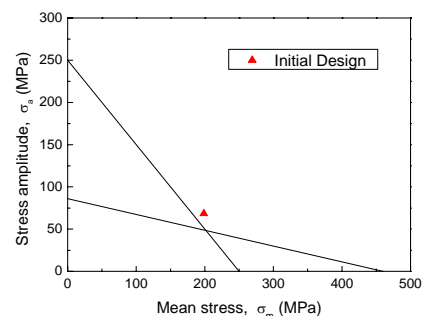


Fig. 4 Goodman diagram for spindle insert

4. 스피들 인서트의 최적설계

스핀들 인서트의 최적설계를 위하여 본 연구에서는 ANSYS Workbench에서 제공하는 최적화 프로그램 중에서 실험계획법과 크리깅을 이용하여 최적설계를 수행하였다. ANSYS Workbench에서 최적화 절차는 다음과 같다.

- 1) 설계변수에 대한 범위를 부여하면, 해석에 필요한 설계점을 중심합성법을 이용하여 자동적으로 설정
- 2) 설계점에서 유한요소해석이 모두 끝나게 되면 각각의 설계점을 연결하여 반응면을 구성
- 3) Ansys 프로그램에서 제공하는 Goal Driven Optimization을 이용하여 최적화를 수행

본 연구에서는 2단계의 반응면을 크리깅을 이용하여 구성하였다. 크리깅은 Danny Krige가 남아프리카의 금 광산을 찾기 위하여, 이미 알려진 광맥의 공간적 정보를 이용하여 새로운 광맥을 찾기 위해 사용하면서 그의 이름을 따라 불려지게 되었다. 크리깅은 관심 있는 지점에서 반응치를 알기 위해, 이미 알고 있는 주위의 값들의 가중 선형조합으로 그 값을 예측하는 지구통계적 기법이다.

Fig. 5는 스피들 인서트의 최적화하기 위한 설계변수를 나타낸 것이며, Table 2는 각 설계변수의 범위를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 설계변수 d는 스피들 인서트의 내경을, t는 스파이럴 커팅부의 두께를, p는 스파이럴 커팅부의 피치를 각각 나타낸다.

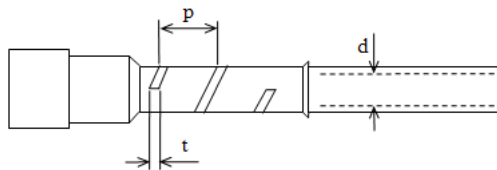


Fig. 5 Design variables

Table 2 Boundary of design variables

Design variables	Lower	Initial	Upper
t	1	2	3
p	10	16	20
d	9	10	11

4.1 최적설계의 정식화

스핀들 인서트의 파손을 방지하기 위하여, 스피들 인서트에 발생하는 최대응력을 목적함수로 설정하였다. 따라서, 스피들 인서트의 최적설계를 위한 정식화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize} && \text{Maximum stress} (\sigma_{\max}) \\
 &\text{Subject to} && 1 \leq t \leq 3 \\
 & && 10 \leq p \leq 16 \\
 & && 9 \leq d \leq 11
 \end{aligned}$$

4.2 최적화 결과

Table 3은 스피들 인서트의 최적화 결과를 나타낸 것이다. Fig. 6은 최적화 결과에 대한 유한요소해석을 재수행한 것이다. 반응식에서 구한 최대응력(172.99 MPa)과 유한요소해석에서 구한 최대응력(168.17 MPa)의 차이가 2.8% 오차를 보이고 있어 최적화 결과의 타당성을 확인할 수 있었다. 그리고 스피들 인서트에 발생하는 최대응력이 최적화 후 37.6% 감소한 것을 알 수 있다.

스핀들 인서트의 최적화 후, 발생한 최대응력과 최소응력은 각각 172.99 MPa과 40.69 MPa이었다.

Table 3 Optimization results of spindle insert

Design variables	t	p	d	σ_{\max} (MPa)
Initial design	2	16	10	269.49
Optimal design	1.2991	19.969	9.0256	172.99 (168.17)

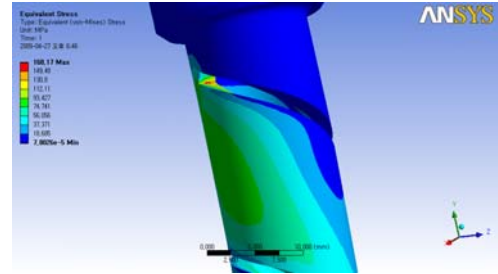


Fig. 6 Result of FEA for optimization

Fig. 7은 스피들 인서트의 최적화 결과에서 구한 최대응력과 최소응력을 Goodman 선도에 나타낸 것이다. 스피들 인서트의 평균응력은 104.4 MPa, 응력진폭은 63.7 MPa로써 Goodman 선도의 안전영역의 내부에 위치해 있어, 피로강도의 관점에서 안전영역에 존재하는 것으로 생각된다. 하지만 안전영역과 위험영역 경계부에 존재하므로 차후 보완 연구가 필요할 것으로 생각된다.

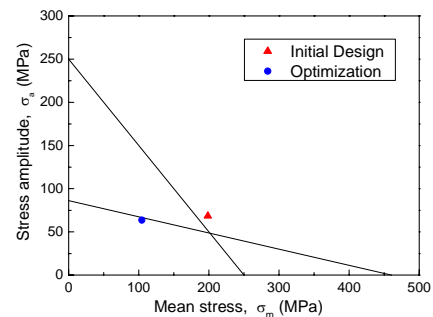


Fig. 7 Goodman diagram for spindle insert

5. 결론

스핀들 인서트의 파손을 방지하기 위하여, 실험계획법과 크리깅 기법을 적용하여 최적화를 수행하였다.

- 1) 스피들 인서트에 발생하는 최대응력을 37.6% 감소시킬 수 있었다.
- 2) 스피들 인서트에 발생하는 최대응력을 목적함수로 하여 최적화를 수행한 후, Goodman 선도에서 안전성을 평가한 결과, 최적화 후의 구조가 피로강도의 관점에서 안전영역에 존재하였으나, 그 값이 안전영역과 위험영역 경계부에 가까이 존재하므로 차후 보완 연구가 필요할 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 중소기업 기술혁신개발사업의 사업비로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. 최종근, 공간정보 모델링, 구미서관, 127-128, 2004
2. 태성에스엔이(주) FEA사업부, ANSYS Workbench 왕초보 탈출하기, 시그마프레스
3. 태성에스엔이(주) FEA사업부, ANSYS Workbench 최적화 Training Manual