

방사설비 시스템 중 “Godet Roller 부”에 대한 진동저감 방법

A method of vibration reduction for “Godet Roller ” in the spinning system

박영수[†] · 박세홍^{*} · 김진^{**}

Park Young-Su, Park Se-Hong and Kim Jin

Key Words : Spinning System(방사설비), Godet Roller, Modal Analysis(고유진동해석), Vibration Proof Pad(방진패드)

ABSTRACT

Research and development of the spinning system which become bigger, faster and more detailed has been making progress continuously due to the increasing use of yarn which is considered as raw material to make industrial goods such as tire cord, air bag, filter, seatbelt and fiber-optic cable along with a remarkable growth of industry.

In this paper, the desirable procedure and design requirements concerning a method of vibration reduction for “ Godet Roller” considered as the main source of high vibration in the spinning system were suggested, and then verified those by analysis and actual test.

1. 서 론

산업발전과 더불어 타이어코드, 에어백, 필터, 시트벨트, 광섬유 케이블 등에 사용되는 원사에 대한 사용량이 점점 증가함에 따라 방사설비의 대형화, 고속화, 정밀화에 대한 연구개발이 지속적으로 진행되고 있다. 일반적으로 방사설비의 구성은 중합용 Chip hopper, 용융용 Extruder, 연신과 열처리용 Godet roller, 권취용 Take-up wider 등으로 구성되어 있다.

최근에 원사에 대한 소요량 증가로 인하여 방사설비 구성품 중 Godet roller부의 대형화, 고속화, 정밀화를 통하여 품질확보 및 생산성 향상을 시도하려는 노력이 많이 이루어지고 있다. 원사생산업체에서는 생산성 향상을 위해 가장 손쉬운 방법으로 Godet roller부를 구성하는 전동기의 속도를 증가시키거나, 롤러의 길이를 증가하는 방법을 선택하고 있다. 이러한 과정에서 방사공정(온도, 유동분포, 노

즐형상, 필라멘트 수, 방사길이 등)뿐만 아니라 고진동에 의한 품질저하, 설비중단 등의 문제점이 현장에서 지속적으로 발생하고 있다.

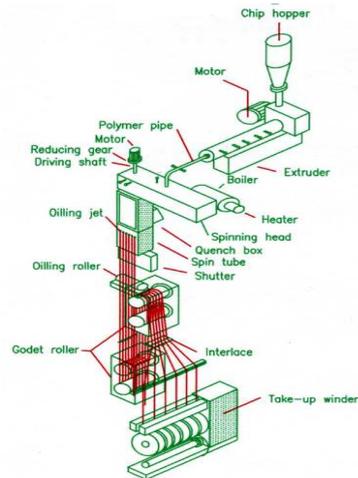


Fig.1 방사설비 구성도

따라서, 본고에서는 Godet roller부가 고속화, 대형화, 정밀화 됨에 따른 진동특성을 파악하여 진동저감을 위한 각 구성품(전동기, 롤러, 히터, 방진패드)의 설계 방법론을 제시하고 이를 시험으로 검증하였다.

[†] 교신저자; 박영수, ㈜효성 중공업

E-mail : parkyoungsu@hyosung.com

Tel : 055-279-7017, Fax : 055-279-7099

* ㈜효성 중공업

** ㈜효성 중공업

2. 진동저감 설계

Godet roller부의 진동저감 설계를 위하여 본고에서 제시하는 절차 및 설계 요구조건은 Fig.2와 같으며, 본 절차에 타당성을 검증하기 위하여 6종의 Godet roller부의 진동기 중에서 고진동을 유발하고 있는 #GR2 모델에 대하여 해석과 시험을 통하여 실시하였다.

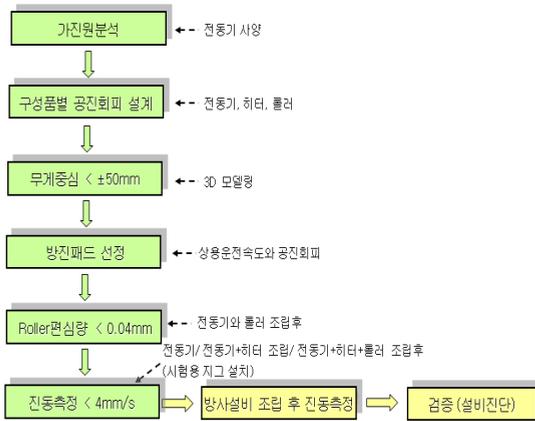


Fig.2 진동저감 설계 Flow Chart

2.1 가진원 분석

Godet roller부의 경우 연신과 열처리를 통한 원사의 물성 값을 결정하기 위하여 인버터를 활용하여 전동기 회전속도를 가변하여 때문에 가진 주파수 대역이 광범위하다. 가진주파수의 경우 전동기 사양과 회전속도에 밀접한 관계를 가지고 있으며, 그 특정 주파수를 요약하면 Table 2와 같다

Table 1 #GR2 전동기 사양

형식	상용운전속도 (rpm)	출력 (kW)	극수 (Pole)	슬롯수 (개)	팬날개 (개)
영구자석형	5,100 ~ 6,600	5.4	4	48	7

Table 2 #GR2 가진주파수(Hz)

회전속도 (rpm)	회전 주파수	전원 주파수	극통과 주파수	코깅토크 주파수	날개 깃 통과주파수
5,100	85	170	340	4,080	595
~	~	~	~	~	~
6,600	110	220	440	5,280	770

- 회전주파수 = 회전속도 / 60
- 전원주파수 = 회전속도 x 극수 / 120

- 극통과주파수 = 회전속도 x 극수 / 60
- 코깅토크주파수 = 극수와 슬롯수의 최소공배수 x 회전속도/60
- 날개 깃 통과주파수 = 날개 수 x 회전속도/60

2.2 구성품별 공진회피설계

선정된 #GR2모델을 기본설계단계에서부터 가진원에 대한 공진회피 설계를 위하여 상용해석프로그램인 Ansys Workbench 14.0을 활용하여 고유진동 해석을 실시하였으며, 유한요소 해석모델의 신뢰성을 높이기 위하여 Mesh Quality는 0.9이상 확보하도록 모델을 구축하였다.

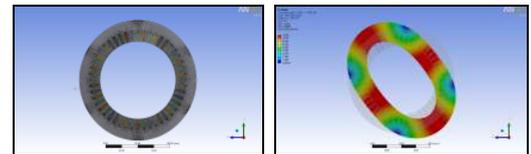
(1) 전동기

전동기는 롤러를 회전시키기 위한 회전력을 발생시키는 역할을 하며, 고정자, 회전자, 냉각용 팬, 프레임, 브라켓트 등의 구성품으로 이루어져 있다. 이들 구성품 중에서 특히, 회전자, 고정자, 냉각용 팬의 경우 공진회피설계는 필수적이다. #GR2 모델에 대한 전동기 내부 부품에 대한 고유진동해석 결과를 Table 3에 표시하였으며, 각 모드형상은 Fig.3~5에 나타내었다.

Table 3 전동기 내부 부품의 고유진동해석 결과

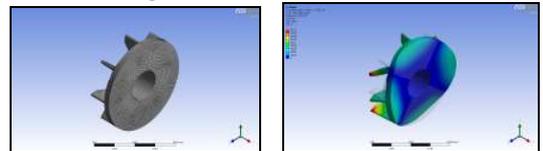
품명	재질	무게(kg)	회피 주파수(Hz)	1차 고유모드(Hz)
고정자	35PN210	27.0	340 ~ 440 4,080 ~ 5,280	1,594
회전자	SM45C외	65.0	85 ~ 110	73.2
냉각용팬	AL	0.25	595 ~ 770	9,397

*회전자의 경우 위험속도대비 20%회피설계 필요(API기준)



(a)유한요소모델 (b)해석결과

Fig.3 고정자 1차 고유모드



(a)유한요소모델 (b)해석결과

Fig.4 고정자 1차 고유모드

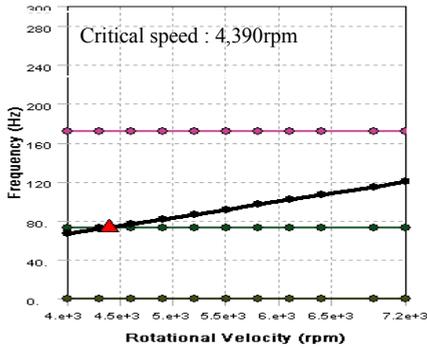


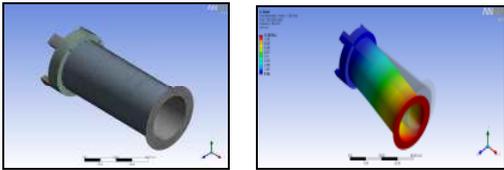
Fig.5 Campbell Diagram

(2) 히터

히터는 전동기 부하축 브라켓트에 장착되어 롤러 내부의 증류수를 최대 200℃ 이상 유지하여 원사의 품질향상 및 물성조건을 만족시키는 역할을 한다. 따라서, 히터의 경우 회전주파수에 대한 공진회피설계가 필요하다. #GR2 모델에 적용된 히터의 고유진동해석 결과 및 모드 형상을 Table 4와 Fig.6에 나타내었다

Table 4 히터 사양 및 고유진동해석 결과

재질	무게(kg)	회전주파수(Hz)	1차 고유모드(Hz)	비고
-	31	85 ~ 110	206.0	회피



(a) 유한요소모델 (b) 해석결과

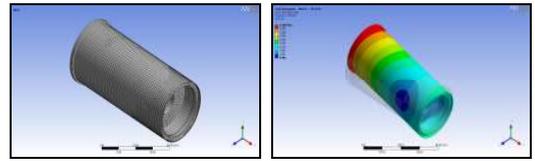
Fig.6 롤러 1차 고유모드

(3) 롤러

롤러의 경우 전동기 축 끝단에 조립되어 실제 부하를 주는 역할을 한다. 롤러의 경우 편심(0.04이하, 불평형 질량(2.5급 이상)이 발생할 경우 가진원을 더욱 증폭시키는 촉매역할을 하기 때문에 진동저감에 있어 가장 중요하다고 할 수 있다. 롤러의 경우 가진원 중에서 회전주파수에 대한 공진회피설계가 필요하다. #GR2 모델에 적용된 롤러의 고유진동해석 결과 및 모드 형상을 Table 5와 Fig.7에 나타내었다

Table 5 롤러 사양 및 고유진동해석 결과

재질	무게(kg)	회전주파수(Hz)	1차 고유모드(Hz)	비고
SUS420J2	49.0	85 ~ 110	176.0	회피



(a) 유한요소모델 (b) 해석결과

Fig.7 롤러의 1차 고유모드

2.3 무게중심 산출

Godet roller부의 #GR2는 Fig.8과 같이 전동기, 롤러, 히터, 방진패드로 구성되어 있으며, 방진패드를 중심으로 전동기와 롤러(히터포함)가 각각 외팔보 형태도 이루어져 있다. 따라서, 방진패드를 중심으로 무게 중심점 설계를 어떻게 진행하는가에 따라 진동에 큰 영향을 미칠 수 있다. 진동저감을 위한 가장 최적의 설계방법은 기준점과 무게중심을 일치시키는 방법이 가장 좋은 대안이나, 비용과 시간, 제작 등을 고려할 때, 현실적으로 기준점과 무게중심을 정확하게 일치시키는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서, 무게중심 변경에 따른 진동특성을 통하여 고객요구조건인 4mm/s(RMS)이하의 진동치를 만족할 수 있는 무게중심 범위를 도출하였다. Fig.9의 결과에서처럼 방진패드를 기준으로 ±50mm이하에 무게중심이 있을 때 진동특성 결과가 가장 양호함을 확인할 수 있었다.

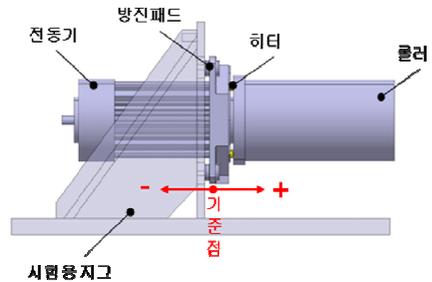
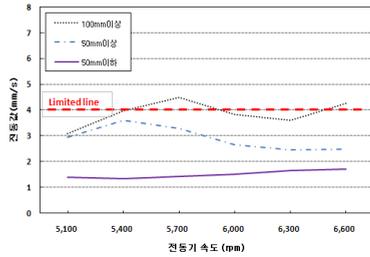
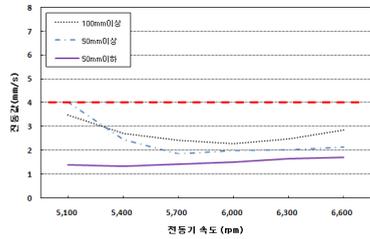


Fig.8 Godet Roller부 구성도



(a) 수직방향



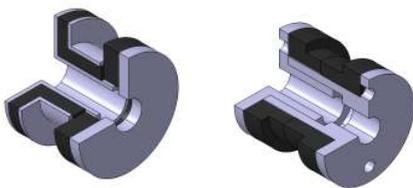
(b) 수평방향

Fig.9 무게중심 변화에 따른 진동크기

2.4 방진패드

(1) 방진패드 강성 값 도출

선진사의 적용사례를 기초로 하여 Fig.10과 같이 2가지 형상의 방진패드를 현재 적용하고 있으나, 국산화 과정에서 정확한 강성 값 도출과정이 부진하여 방진패드를 고려한 전체시스템 고유진동수를 산출하지 못하는 어려움을 겪게 되었다. 이를 해결하고자 고유진동수를 측정하여 방진패드의 강성 값을 산출하였다.



(a) Type_1 (b) Type_2

Fig.10 방진패드 종류

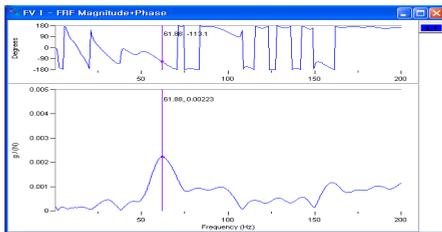


Fig.11 고유진동수 측정결과(Type 1 수직방향)

Table 6 방진패드 강성 값

구분	재질	수직강성 (kN/m)	수평강성 (kN/m)	축강성 (kN/m)
Type 1	NBR	29,674	25910	48518
Type 2	NBR	20,809	19,147	28,709

*NBR : Nitrile Butadien Rubber

(2) 방진패드 설계적용 방법

측정을 통해 도출된 방진패드 강성 값을 토대로 #GR2 모델의 무게변화에 따라 방진패드 선정을 식 (1)을 활용하여 선정하였다. 방진패드 선정 시 주요 고려사항은 회전주파수와 10%이상 공진회피 설계가 이루어져야 한다는 점이다. 방진패드 Type 1과 Type 2 모두 상용운전 영역(81~114Hz)을 10%이상 고유진동수를 회피하고 있으나, 좀더 안정적인 Type 2를 선정하였다.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ ----- (1)}$$

여기서, f : 고유진동수(Hz)

k : 방진패드 강성(N/m)

m : 질량(Kg)

Table 7 방진패드 영향에 의한 시스템 고유진동수

구분	수직방향 (Hz)	수평방향 (Hz)	축 (Hz)
Type 1	61	57	78
Type 2	60	49	60

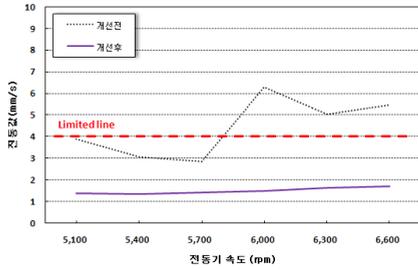
3. 시험검증

3.1 시험용 지그를 활용한 진동시험

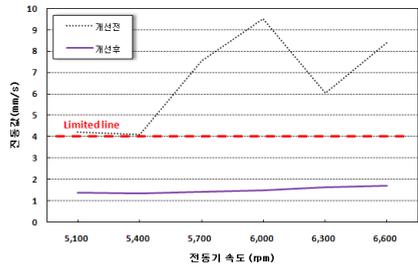
제시한 진동저감 절차에 따라 #GR2 모델에 대한 시험검증을 위하여 Fig.12와 같이 방사설비 설치 전에 시험용 지그를 제작하여 상용 운전영역에 대한 진동치를 측정하였다. Fig.13와 같이 수직 및 수평방향 모두 약 70%이상의 진동저감(개선 후)효과를 얻을 수가 있었으며, 특히, 회전주파수 대역에 대한 진동특성이 현저하게 감소된 것을 주파수분석을 통하여 알 수 있었다.



Fig.12 무게중심 변화에 따른 진동크기(수평)



(a) 수직방향

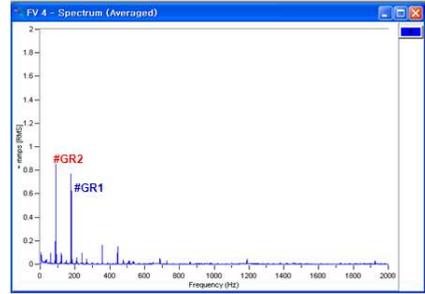


(b) 수평방향

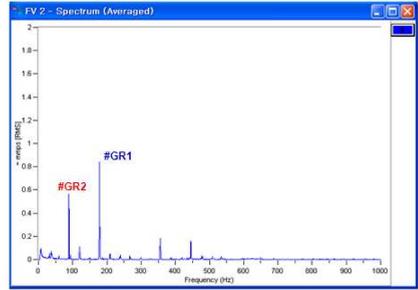
Fig.13 개선 전.후 진동크기

3.2 방사설비 설치 후 진동시험

시험용 지그를 활용하여 검증된 #GR2모델을 방사설비에 설치한 후 원사생산을 진행했을 때의 진동을 측정된 결과 2.0mm/s(5,340rpm)이하로 안정적인 운전을 하고 있음을 알 수 있었다. Fig.14 와 같이 주파수 분석한 결과 진동의 주된 주파수는 #GR2 모델의 회전주파수뿐만 아니라 근처에 설치되어 있는 #GR1 모델의 회전주파수가 함께 나타나는 복합적인 진동현상을 나타나고 있음을 알 수 있었다. 추가적인 진동저감을 위해서는 롤러의 편심량 및 불평형량을 더 감소시키는 방법이 있으나, 현재의 진동상태가 2mm/s(RMS)이하로 매우 양호하므로 시간과 비용을 투자하여 추가적인 진동저감을 실시할 필요는 없을 것으로 판단된다.



(a) 수직방향



(b) 수평방향

Fig.14 방사설비 설치 후 진동크기

4. 결론

방사용 설비 구성품 중 Godet Roller부에 대한 진동저감 방법 및 절차를 제시하고, 해석과 시험을 병행하여 그 타당성을 검증하였다.

Godet Roller부의 진동을 최소화하기 위해서는 아래의 설계조건들을 설계 초기단계에서부터 충분히 고려해야 함을 본 연구를 통하여 알 수 있었다.

- 가진원 분석을 통한 각 부품의 공진회피설계
- 무게중심 $\pm 50\text{mm}$ 이하
- 적절한 방진패드 선정
- 롤러의 편심량 0.04mm이하

본고에서 제시한 Godet Roller부에 대한 진동저감방법의 신뢰성을 더욱 확보하기 위해서 #GR1~#GR6모델에 대한 추가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) William R.F, Mark M.D. and Warren G.H.,0000, An Analytical Approach to Solving Motor Vibration Problem, IEE Pper No.PCIC-99-XX.
- (2) Lee, H. J., Kwon, J. H., Kim, K. S., Hwang. G. , Hwang, S. M., 2008, Analysis of Noise Characteristic Considering Magnetic Force of IPM Motor Design, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, Pape No, KSNVE08S-08-07
- (3) Hong D.K., Woo, B. C., Kwon, Y. S., Kang, H. C. and Ahn, C. W., 2006, Rotating Shaft Vibration Analysis of 200kW 15,000rpm 3 Phase Induction Motor, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 262~265
- (4) 박중포, 2000, 회전기계 공진회피 및 방진 설계, 한국소음진동공학회지, 제 10권, 제1호, pp.13~17
- (5) ANSYS Dynamic Analysis Guide, 2011, Release 14.0, ANSYS Inc.