



와이어 소 머신용 중공롤러의 변위량과 응력해석에 관한 연구

†김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2014년 2월 13일 접수, 2014년 4월 3일 수정, 2014년 4월 3일 채택)

A Study on the Displacement and Stress Analysis of Hollow Rollers for a Wire Saw Machine

†Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology
Hongik University, Seoul 121-791, Korea

(Received February 13, 2014; Revised April 3, 2014; Accepted April 3, 2014)

요 약

본 연구에서는 원통형 중공롤러를 갖는 와이어 소 머신에 대한 변위와 응력강도 안전성 해석결과를 제시하고 있다. 유한요소법을 사용하여 세 개의 튜브 사이에 Y형상의 편위형 컬럼과 수직형 컬럼을 설치한 중공롤러에서 변형거동과 응력강도 안전성을 높인 중공롤러를 개발하고자 한다. 동일한 직경과 길이를 갖지만, 중량을 달리하는 중공롤러 모델에서 Y형상의 편위형 및 수직형 중공롤러에 작용하는 변위거동 안전성은 중공롤러의 전체길이에 의해 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났는데, 이것은 중공롤러의 굽힘 모멘트와 밀접한 관련이 있다. 그러나, 중공롤러의 응력강도는 중량 차이가 크지 않을 경우 절단면의 형상에 의해 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서, 중공롤러의 강도안전성을 높이고, 총중량을 낮추기 위해서는 Y형상을 갖는 중공롤러를 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Abstract - In this paper, the displacement and stress strength safeties have been presented for cylindrical hollow rollers of a wire saw machine. Using the finite element method, the hollow roller with Y-shaped shift and vertical columns between three tubes has been developed to analyze the displacement behavior and stress strength safeties. For the same diameter and length of hollow roller models with a different weight, the displacement behavior safety of Y-shaped shift column and vertical column models is heavily depending on the total length of a hollow roller, which is closely related to the bending moment of a hollow roller structure. But, the stress strength of a hollow roller is more influenced by the cross sectional area of a hollow roller for the similar weight. Thus, this paper recommends Y-shaped hollow roller for increasing the roller strength safety and decreasing a total roller weight.

Key words : hollow roller, Y-shaped column, displacement, stress, FEM

†Corresponding author: ckkim_hongik@naver.com

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

가스를 안전하게 저장하는데 필요한 각종 연료용기나 산업용 가스용기는 강판이나 스테인리스 강판, 알루미늄 판재 등을 절단하여 사용한다. 이들 판재를 안정되게 절단하기 위한 와이어 소 머신(wire saw machine)은 원통형의 중공롤러를 양쪽 끝단에 설치하고, 이들 중공롤러의 외측면에는 매끄러운 가공면 절단이 가능하도록 와이어를 아주 많이 감아서 한쪽의 중공롤러를 구동하면 다른 쪽의 중공롤러가 와이어에 적절한 긴장력을 유지하면서 판재를 절단하도록 구성되어 있다.

와이어 소 머신용 롤러는 중공롤러에 일체형으로 체결된 회전축의 양쪽 끝단에 설치된 베어링에 의해 하중을 지지한다. 중공롤러가 구동되면서 같이 회전하는 와이어에 의해 절단되는 제품의 표면 정밀도는 중공롤러의 강도안전성과 밀접한 관련이 있다. 따라서 중공롤러의 변위량과 응력 안전성은 동일한 강도를 갖는 소재를 사용할 경우는 무게가 많이 나가는 중공롤러가 유리하지만, 이럴 경우 중공롤러를 구동하기 위해서는 전기에너지를 많이 필요로 한다. 에너지 가격이 급등하면서 와이어 소 머신도 전력사용을 줄일 수 있도록 가능한 중공롤러의 무게를 줄여서 최적의 강도를 유지하는 설계기술에 관심을 갖고 있다.

특히 절단가공 생산성을 높이기 위해서는 대형의 중공롤러를 장착한 와이어 소 머신으로 동시에 많은 수량의 판재를 한꺼번에 절단하는 것이 유리하다. 이 경우는 가능한 중량을 줄여 베어링에 걸리는 부하를 낮추기 위한 경량의 중공롤러를 설계하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 와이어 소 머신의 중량을 낮추면서 동일한 강성도를 갖는 중공롤러를 설계하기 위해 여러 가지 형상을 갖는 원통형상의 중공롤러에 대한 변위량과 응력강도 안전성을 상대적으로 비교하면서 고찰하고자 한다.

II. 중공롤러

중공롤러는 동일한 수준의 강도안전성을 갖지만 무게를 줄여서 소재 및 전기에너지를 절약하고, 베어링과 같은 구동요소의 내구안정성을 확보하기 위해 개발된 구동제품이다.

와이어 소 머신용 중공롤러의 외측면은 절단되어 생산되는 판재제품에서 요구하는 진원도와 평원도를 안정적으로 유지할 수 있어야 하고, 중공롤러 구동에 소모되는 전력사용을 줄여서 생산원가를 낮추

는 것이 중공롤러 설계의 최종목표이다.

Fig. 1에서는 원자재를 일정한 두께로 절단하기 위해 사용하는 와이어 소 머신을 보여주고 있다. 여기서 와이어의 위쪽에 놓인 원자재를 제품규격에 적합하도록 절단하기 위해서는 양쪽 끝단에 설치된 중공롤러의 외주면을 감아서 돌아가는 와이어의 긴장력이 항상 일정하게 유지될 수 있도록 중공롤러의 변형거동 안전성을 제어하는 것이 절단제품의 표면 가공 정밀도[1]를 확보하는 지름길이다.

중공롤러의 변형량 및 응력강도 안전성은 중량을 하나의 설계요소로 고려하여 상대적으로 비교할 수 있도록 대표적인 중공롤러 해석모델 2가지 패턴을 Fig. 2에서 제시하고 있다. 또한, Fig. 2(b)에서는 Y형상을 갖는 컬럼을 매개로 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브가 일체형의 구조물로 형성된 것을 보여주고 있다.

Figs. 3~4의 중공롤러는 기본적으로 외측튜브와 중간튜브와 내측튜브, 이들 튜브와 튜브 사이를 Y-형상 컬럼으로 연결하여 하중을 지지·전달할 수 있도록 설계된 구조이다. 여기서 제시된 중공

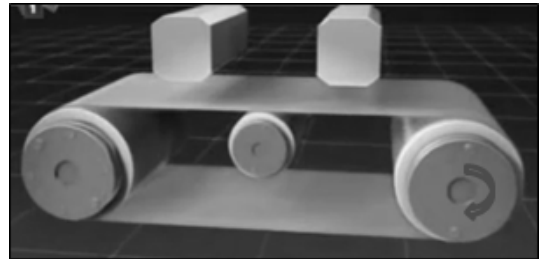


Fig. 1. Two cylindrical rollers for cutting a ingot structure.



(a) Typical hollow roller



(b) Hollow roller with Y-shaped column

Fig. 2. Hollow roller models.

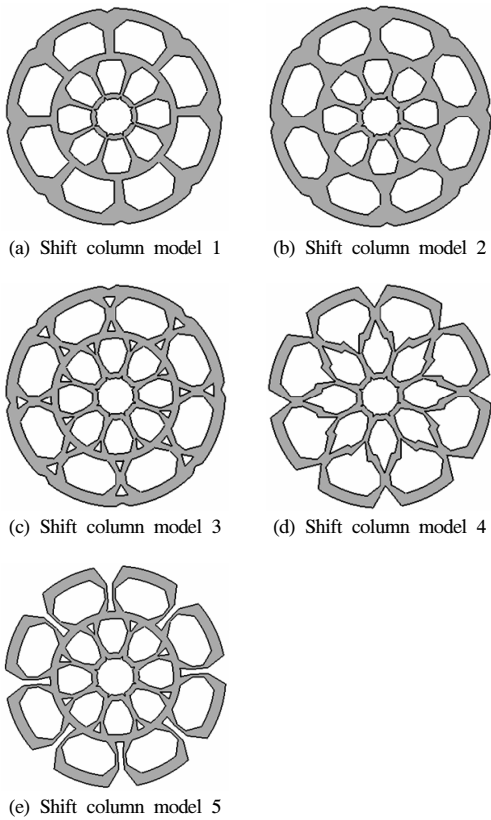


Fig. 3. Various modified hollow roller models with 22.5° Y-shaped shift column.

롤러 해석모델은 절단면의 형상을 서로 다르게 설계하였는데, 이것은 동일한 직경과 길이를 갖는다 해도 Y형상 컬럼과 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브를 어떻게 설계하느냐에 따라서 무게를 줄일 수 있는 여지가 많다. 본 연구에서는 Figs. 3~4에서 제시한 여러 가지 설계모델의 변형거동 안전성과 응력강도 안전성을 상대적으로 고찰하고자 한다.

Fig. 3에서는 Y형상 컬럼의 각도가 22.5°이고, Y형 컬럼을 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브 사이에 서로 엇갈리도록 약간 이동하여 배열한 구조이다. 반면에 Fig. 4에서는 Y형 컬럼을 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브 사이에 일직선으로 연결되도록 배열한 구조이다. 이들의 설계모델에서는 중공롤러에 Y형상을 갖는 컬럼을 튜브와 튜브 사이에 설치함으로써 중공롤러의 변형거동 및 응력강도 안전성을 높이고, 무게를 줄여 소재 및 전력사용을 감축하는 효과를 기대한 설계이다.

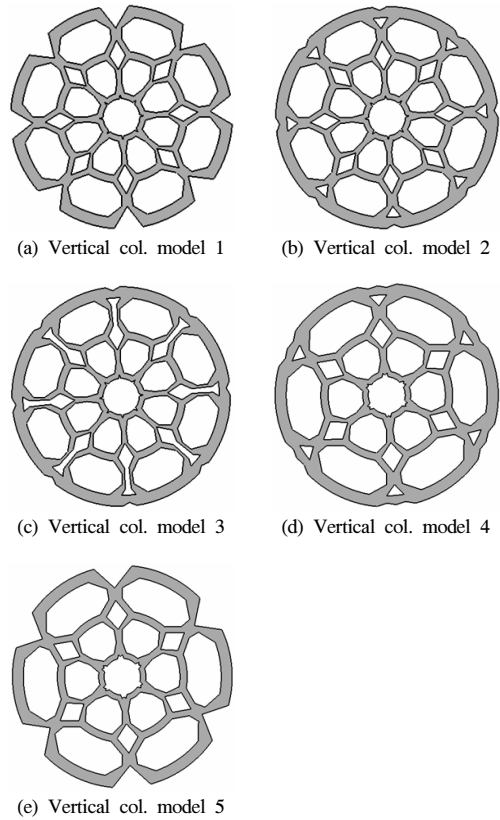


Fig. 4. Various modified hollow roller models with 22.5° Y-shaped vertical column.

III. 해석조건

3.1. 해석모델

Fig. 5는 22.5°의 경사각도를 갖도록 설계한 Y형상 컬럼을 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 엇갈리도록 설치하여 하중을 분산하고 지지하는 역할을 하도록 설계한 대표적인 중공롤러이다. 원통형의 중공롤러에서 강도와 변형거동 안전성을 확보하기 위해서는 무엇보다도 외측튜브의 원주면에 가해지는 하중을 원통롤러에 의해 고르게 분산될 수 있도록 설계하는 것이 핵심기술이다.

3.2. 하중조건

중공롤러에 작용하는 외부하중은 최종적으로 중공롤러의 중심축을 잡고 있는 베어링에 의해 지지되므로 내측튜브를 고정하고 해석하였다. 또한, 중공롤러에서 축방향을 따라서 외측튜브에 균일하게 작

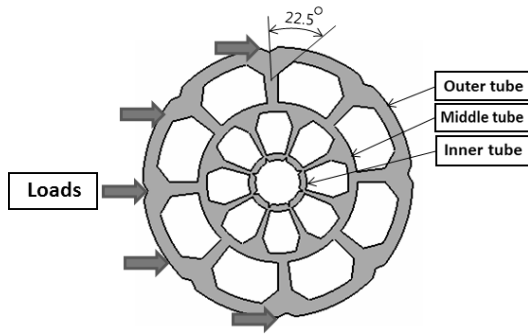


Fig. 5. Hollow roller model for analyzing 22.5° Y-shaped shift column structure.

용하는 하중은 Fig. 5에서 보여준 것처럼 균일분포 하중이 원주방향을 따라서 작용해도 중공롤러 구조물에 미치는 하중의 크기는 약간씩 달라진다.

본 연구에서 사용한 중공롤러의 소재는 구조물의 강도와 변형거동 안전성을 안정적으로 확보하기 위해 SM45C(ANSI 1045) 강재[2,3]를 사용하였다. Fig. 2에서 제시된 중공롤러의 외경은 275mm, 길이는 1,080mm로 각각 설계되었다. Fig. 2(a)에서 보여준 기존의 단순한 중공롤러와 Y형상 컬럼을 설치한 Fig. 2(b)처럼 복잡한 중공롤러에서는 강도 및 변위거동 안전성을 상대적으로 비교할 수 있도록 중공롤러의 외경과 길이는 같게 설계하였지만, 내부의 절단면 형상은 약간씩 달리하여 고찰하였다.

IV. 해석결과 및 고찰

Fig. 6은 중공롤러에서 발생한 변위량 분포도를 보여준 유효요소 해석결과이다. 여기서 Y형상 컬럼을 설치한 Fig. 2(b)와 같은 중공롤러의 축방향에 따라서 외측튜브의 표면에 고르게 작용할 수 있도록 가한 하중은 80,600N이다. FEM 해석결과에 의하면, 중공롤러를 지지하는 고정부가 중공롤러의 양측 끝단에 위치하기 때문에 최대 변위량 0.0483mm는 중간부에서 형성되는 것으로 나타났다. 여기서 제시한 최대 변위량은 설계조건에 의해 중공롤러의 외경부를 형성하는 직경 단면적보다는 축방향의 길이가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Figs. 7과 8은 Fig. 3에서 보여준 것처럼 여러 가지 절단면 형상을 갖는 편위형 중공롤러(shift hollow roller)의 외측튜브에 하중 50~100kN이 고르게 작용하도록 공급한 상태에서 중공롤러에 걸리는 최대 변위량과 최대응력을 해석한 결과이다.

Fig. 7의 해석결과에 의하면 중공롤러에 작용하는

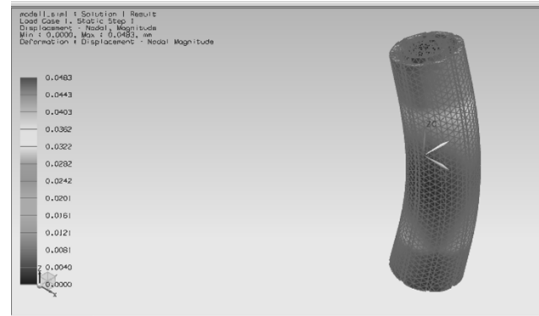


Fig. 6. Displacement distributions of a hollow roller with Y-shaped column.

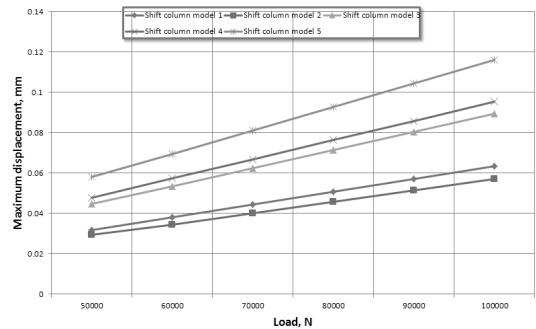


Fig. 7. Maximum displacement of various modified hollow roller models with 22.5° Y-shaped shift column.

하중이 높아질수록 최대 변위량도 함께 증가하고, 중공롤러 길이의 중간부에서 최대 변위가 발생함을 알 수 있다. Fig. 7에서 최대 변위량이 최저인 것으로 나타난 Shift column model 2의 중량은 284.3kg으로 가장 무겁지만, 가장 많이 변형된 Shift column model 5는 207.6kg으로 제일 가볍다. 따라서 중공롤러에 작용하는 변위거동 안전성은 절단면의 형상보다는 중량에 더 많이 의존하는 것으로 나타났다.

또한, Fig. 8에서 제시한 최대응력 해석결과에 의하면 중공롤러에 작용하는 하중이 높아질수록 최대 응력이 함께 증가하고, 중공롤러의 중간부에서 최대 응력이 발생함을 알 수 있다. Fig. 8에서 최대응력이 가장 낮게 걸리는 해석모델은 중량이 가장 많이 나가는 Shift column model 2이고, 가장 높은 응력이 작용하는 해석모델은 중량이 266.8kg인 Shift column model 1로 나타났다. Fig. 8의 최대응력 해석결과에 의하면, Fig. 7의 변위거동 안전성과는 다르게 중공롤러의 무게보다 중량차이가 크지 않을 경우

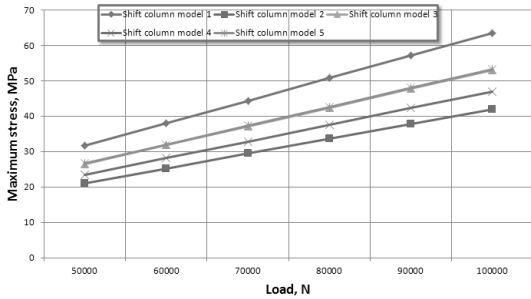


Fig. 8. Maximum stress of various modified hollow roller models with 22.5° Y-shaped shift column.

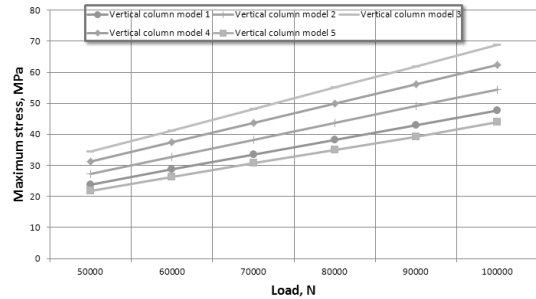


Fig. 10. Maximum stress of various modified hollow roller models with 22.5° Y-shaped vertical column.

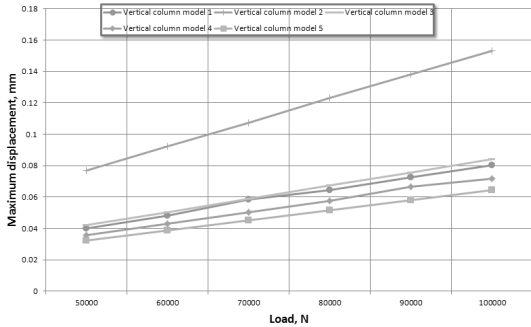


Fig. 9. Maximum displacements of various modified hollow roller models with 22.5° Y-shaped vertical column.

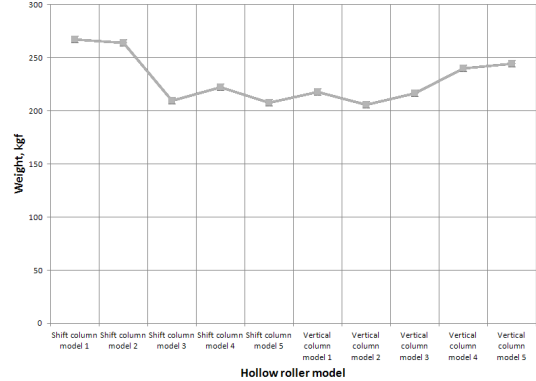


Fig. 11. Weight depending on the cross sectional areas of various hollow roller models.

절단면의 형상이 응력에 더 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Figs. 9와 10은 Fig. 4에서 보여준 것처럼 여러 가지 절단면 형상을 갖는 수직형 중공롤러(vertical hollow roller)의 외측튜브에 하중 50~100kN이 고르게 작용하도록 공급한 상태에서 중공롤러에 걸리는 최대 변위량과 최대응력을 해석한 결과이다.

Fig. 9의 해석결과에 의하면 중공롤러에 작용하는 하중이 높아질수록 최대 변위량도 함께 증가하고, 중공롤러 길이의 중간부에서 최대 변위가 발생함을 알 수 있다. Fig. 9에서 최대 변위량이 가장 작은 Vertical column model 5의 중량은 244kg으로 가장 무겁지만, 가장 많이 변형된 Shift column model 2는 205.6kg으로 가장 가벼운 것으로 나타났다. Fig. 9의 변형거동 해석결과에서도 Fig. 7의 결과처럼 중공롤러에 작용하는 변형거동 안전성은 절단면의 형상보다는 중량에 더 많이 의존하는 것으로 나타났다.

또한, Fig. 10에서 제시한 최대응력 해석결과에 의

하면 중공롤러에 작용하는 하중이 높아질수록 최대 응력이 함께 증가하고, 중공롤러의 중간부에서 최대 응력이 발생함을 알 수 있다. Fig. 10에서 최대응력이 가장 낮게 걸리는 해석모델은 중량이 가장 많이 나가는 Shift column model 5이고, 가장 높은 응력이 작용하는 해석모델은 중량이 216kg인 Shift column model 3로 나타났다. Fig. 10의 해석결과에서도 Fig. 8의 최대응력 해석결과처럼 응력강도 안전성은 변위 거동 안전성과는 다르게 중공롤러의 무게보다는 중량차이가 크지 않을 경우 절단면의 형상이 응력에 더 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 직경과 길이를 같게 설계한 중공롤러에서 절단면의 형상을 달리하였을 때 계측된 중량을 나타낸 것이다. Figs. 3과 4의 해석모델에서 205.6kg으로 가장 가벼운 것은 Fig. 4(b)에서 보여준 Vertical column model 2이고, 284.3kg으로 가장 무거운 것은 Fig. 3(b)에서 보여준 Shift column model 2이다. Fig.

11에서는 외형적 치수를 동일하게 제작해도 절단면의 형상을 어떻게 설계하느냐에 따라 최대 38.3%의 중량이 달라지고, 이것은 응력강도와 변형거동 안전성에 큰 영향을 미치고 있음을 제시한 결과이다.

V. 결 론

중공롤러에서 절단면의 형상을 여러 가지로 달리 할 때 응력강도와 변형거동 특성을 유한요소법으로 해석하여 비교하였다.

FEM 해석결과에 의하면, 중공롤러의 축방향을 따라서 균일분포하중을 가하였을 때 최대 변위량은 절단면의 형상보다는 중공롤러의 총중량에 많이 의존하는 것으로 나타났다. 또한, 중공롤러의 총중량

차이가 크지 않을 경우 최대응력은 무게보다 절단면의 형상이 응력강도에 더 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Jaewoo Lee, "Effect of the Bonding Condition of Both the Wire and Bead on the Cutting-off Performance of Wire Saw", J. of the KSPE, Vol. 7, 9~10, (2007)
- [2] <http://matweb.com>, (2013)
- [3] Robert E. Reed-Hill, "Physical Metallurgy Principles", Litton Edu. Publishing, Inc., (1973)