

원통형 중공롤러의 변형거동 안전성에 관한 연구

*김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2014년 1월 3일 접수, 2014년 2월 19일 수정, 2014년 2월 19일 채택)

A Study on the Displacement Behavior Safety of Cylindrical Hollow Rollers

†Chung Kyun Kim

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

(Received January 3, 2014; Revised February 19, 2014; Accepted February 19, 2014)

요약

본 연구에서는 원통형 중공롤러의 변위거동 안전성에 대한 해석적 연구를 수행하였다. 세 개의 튜브들 사이에 Y형상을 갖는 컬럼 구조물을 설치한 중공롤러를 개발하여 유한요소법으로 변형거동 안전성을 해석하였다. 동일한 크기와 중량을 갖는 두 개의 중공롤러 모델에 대한 해석결과에 의하면, 기존의 중공롤러는 세 개의 튜브 사이에 새로이 설계된 Y형상을 갖는 컬럼을 설치한 중공롤러에 비해 4~6.6% 낮은 변형거동 안전성을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서는 중공롤러의 강도 안전성을 높이고, 전체적인 중량을 낮춰 소비되는 전기에너지를 줄이기 위해서는 Y형상 컬럼을 설치한 새로운 중공롤러를 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Abstract - This paper presents an analytical study on the displacement behavior safety of cylindrical hollow rollers. Using the finite element method, the hollow roller with Y-shaped column structures between three tubes has been developed to analyze the displacement behavior safety. For the same dimension and weight of two hollow roller models, the displacement behavior safety of a typical hollow roller is lower 4~6.6% than that of the newly designed hollow roller with Y-shaped column structures between three tubes. Thus, this paper recommends Y-shaped hollow roller for increasing the roller strength safety and decreasing a total roller weight, which may save a consuming electrical energy.

Key words : cylindrical hollow roller, Y-shaped column, displacement behavior safety, FEM

1. 서론

가스용기나 가스제품의 원자재로 널리 사용하는 강판, 황동판재 등을 생산하기 위한 산업설비에서 원통형 롤러(cylindrical roller)는 압연이나 절단하는 과정에 형성되는 동적하중을 지지하기 위해 많이 사용되고 있다.

보통 원통형 롤러는 회전축의 양쪽에 설치된 베어링에 의해 하중은 지지되고, 롤러의 변형거동 안전성은 롤러의 직경과 축방향 길이에 의해 영향을 받는다. 원통형 롤러에 의해 생산되는 제품의 표면 정밀도를 높여주고, 품질 내구성을 보장하기 위해서는 원통형 롤러의 표면 강도안전성이 우수해야 가공 절단면의 두께와 평탄도가 균일한 제품을 생산할 수 있다.

특히 대형롤러의 경우는 중량이 많이 나가기 때문에 베어링에 걸리는 부하를 줄이고, 동일한 중량

†Corresponding author:ckkim_hongik@nate.com

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

에서 변형거동 안전성을 높이기 위해서는 중공롤러(hollow roller)를 사용하는 것이 일반적이다. 여기서 원통형 롤러의 경량화를 통한 부하경감으로 전기 모터에서 소비되는 전력을 줄이려는 기술개발은 지속적으로 추진되고 있다. 특히 에너지 가격이 급등하면서 산업현장에서 경량설계를 통한 에너지 절감 노력과 온실가스 발생량을 줄이기 위해 모든 역량을 집중하고 있다. 따라서 생산공정에서 에너지 소비량을 줄이기 위한 생산설비의 경량화 연구는 가장 큰 설계변수로 등장하였다.

본 연구에서도 현장에서 발생된 문제점이 해결될 수 있도록, 생산공정에서 많이 사용하는 원통형 중공롤러 구조물의 형상변화에 따라 달라지는 변형거동 안전성을 유한요소법으로 해석하고, 그 유용성에 대해 논하고자 한다.

II. 원통형 롤러구조

롤러는 변형거동 안전성과 경량성을 확보하기 위해 원통형의 중공 형상을 갖도록 설계한 롤러가 많이 사용되고 있다. 중공롤러의 외측 표면은 제품생산에서 요구하는 진원도와 평탄도를 안정적으로 유지할 수 있는 변형거동 안전성을 확보하고 있어야 생산제품의 표면 정밀도를 보증할 수 있다.

Fig. 1에서는 강재와 같은 원자재를 일정한 두께로 절단하기 위해 사용하는 와이어 절단기(wire saw machine)를 보여주고 있다. 여기서 위에서 내려오는 원자재를 생산제품 규격에 적합하도록 절단하기 위해서는 양쪽에 설치된 원통형 중공롤러의 외주면을 감아서 돌아가는 와이어의 긴장력이 항상 일정하게 유지될 수 있도록 중공롤러의 변형거동 안전성을 제어하는 것이 절단제품의 표면가공 정밀도[1]를 확보하는 지름길이다.

Fig. 1에서 사용되는 중공롤러의 변형거동 안전성을 상대적으로 비교평가하기 위해 Fig. 2에서 두 가지의 중공롤러 해석모델을 제시하고 있다. 즉, Fig. 2(a)는 원통형의 롤러에서 가장 단순한 중공 구조물을 보여준 사례로 보통은 주조, 압출, 판재용접 등에 의해 생산된다. 또한, Fig. 2(b)는 원통형 중공롤러의 절단면 형상을 보면, 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 Y형상을 갖는 얇고 짧은 컬럼을 세워서 외측튜브로부터 전달되는 하중을 분산하고 지지하는 역할을 하도록 설계한 사례이다. Fig. 2(b)에서 보여준 중공롤러 모델은 Y형상을 갖는 컬럼을 튜브와 튜브 사이에 설치함으로써 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이고, 동시에 경량화를 추구함으로써 전기에너지 절감을 추구한 설계사례이다.

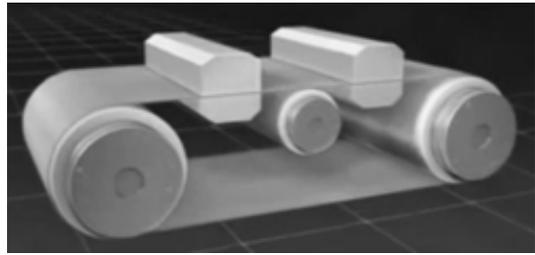
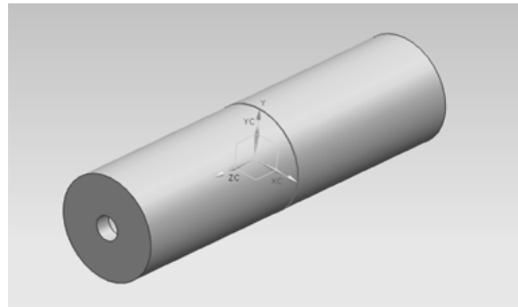
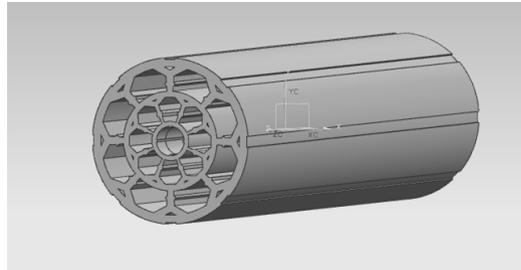


Fig. 1. Two cylindrical rollers for cutting a ingot structure.



(a) Typical hollow roller



(b) Hollow roller with Y-shaped column

Fig. 2. Cylindrical hollow roller models.

III. 해석조건

3.1. 해석모델

Fig. 3은 원통형의 중공롤러에서 Y형상을 갖는 컬럼이 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 하중분산 및 지지를 위해 설치된 사례를 보여주고 있다. 원통형 롤러에서 변형거동 안전성을 확보하기 위해서는 무엇보다도 외측튜브의 원주면에 가해지는 하중을 롤러 구조물에 의해 총체적으로 분산하여 감당될 수 있도록 설계하는 것이 변형거동

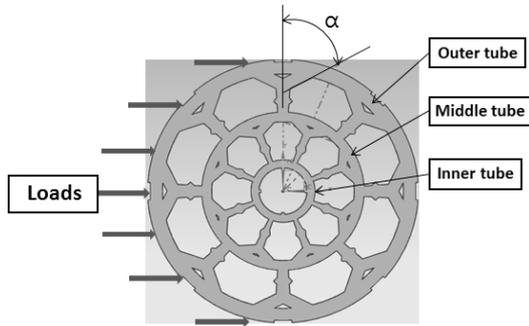


Fig. 3. Hollow roller model for analyzing Y-shaped column structure.

안전성을 확보하는 핵심 포인트이다. 따라서 본 연구에서는 Y형상을 갖는 컬럼 구조물의 경사각도 α 에 의한 영향이 중공롤러 구조물의 변형강도 안전성에 미치는 효과를 고찰하였다.

3.2. 하중조건

원통형 롤러에 작용하는 하중은 중공롤러의 중심 축을 잡고 있는 베어링에 의해 지지되므로 내측튜브를 고정하고 해석하였다. 또한, 원통형 중공롤러에서 축방향을 따라 외측튜브에 균일하게 작용하는 하중은 Fig. 3에서 보여준 것처럼 균일분포 하중이 원주방향을 따라서 작용해도 중공롤러 구조물에 미치는 하중 크기는 약간씩 달라진다.

본 연구에서 원통형 중공롤러의 소재는 구조물의 강도안전성을 확보하기 위해 널리 사용하는 SM45C (ANSI 1045) 강재[2,3]이다. Fig. 2와 같은 원통형 중공롤러의 외경은 275mm, 길이는 1080mm로 각각 설계되었다. Fig. 2(a)에서 보여준 기존의 중공롤러와 Y형상을 갖는 컬럼을 설치한 Fig. 2(b)의 새로운 중공롤러에서는 변위거동 안전성을 상대적으로 비교할 수 있도록 중공롤러의 외경과 길이, 롤러 구조물의 총중량 212kg을 같게 설계하였다.

IV. 해석결과 및 고찰

Fig. 4는 원통형의 중공롤러 구조물에서 발생한 변위량 분포도를 보여준 유한요소 해석결과이다. 여기서 Y형상을 갖는 짧은 컬럼을 설치한 Fig. 2(b)와 같은 중공롤러 구조물에서 중공롤러의 축방향을 따라서 긴 외측튜브 표면에 가한 하중은 80,600N이고, 이 하중은 중공롤러의 축방향을 따라서 고르게 작용할 수 있도록 균일하게 가하였다.

Fig. 4에서 보여준 해석결과에 의하면, 중공롤러를

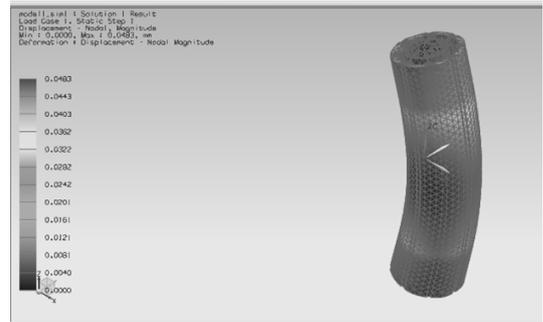


Fig. 4. Displacement distributions of a hollow roller with Y-shaped column.

지지하는 고정부가 중공롤러의 양측에 위치하기 때문에 최대 변위량 0.0483mm는 중간부에서 형성되는 것으로 나타났다. 여기서 제시한 최대 변위량은 설계조건에 의해 중공롤러의 외경부를 형성하는 직경 단면적보다 축방향의 길이가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그렇다고 중공롤러의 길이를 줄이면 생산되는 제품의 생산성에 영향을 미치기 때문에 중공롤러의 단면적 형상을 고려한 변형거동 안전성을 높이는 설계기술, 즉 Y형상과 같은 컬럼을 적절히 설치하는 기술이 함께 개발되어야 한다.

Fig. 5의 해석 데이터는 Fig. 2(a)에서 보여준 원통형 중공롤러의 외측튜브에 하중 50~100kN을 고르게 분포하도록 공급한 상태에서 중공롤러에 걸리는 최대 변위량을 해석한 결과이다. 해석결과에 의하면 중공롤러에 작용하는 하중이 높아질수록 최대 변위량도 함께 증가하고, 중공롤러 길이의 중간부에서 최대 변위가 발생함을 알 수 있다.

또한, 중공롤러에 작용하는 변위거동 안전성을 고찰하기 위해 외측튜브의 두께를 20~115mm까지 변화시킨 해석결과에 의하면 외측튜브의 두께를 두껍게 설계해도 최대 변위량이 수렴되는 현상이 관찰되었다. 일례로 외측튜브의 외경이 275mm이고, 전체 길이가 1080mm로 설계된 중공롤러에서 두께를 증가시켜도 변위거동 안전성은 수렴되는 것으로 나타났다. 따라서 중공롤러 구조물의 총중량을 줄이면서 변형거동 안전성을 높이는 최적설계로 모터구동에 필요한 전기에너지를 절약하는 모델개발이 중요함을 알 수 있다.

Fig. 5에서 제시한 변형거동 안전성 해석사례를 보면, 원통롤러의 외측튜브에 전체하중 70kN을 가한 상태에서 생산제품의 품질을 보장하기 위해서는 변위 거동량을 0.1mm 이하로 유지할 수 있도록 중공롤러의 외측튜브 두께를 40mm 이상으로 설계하는

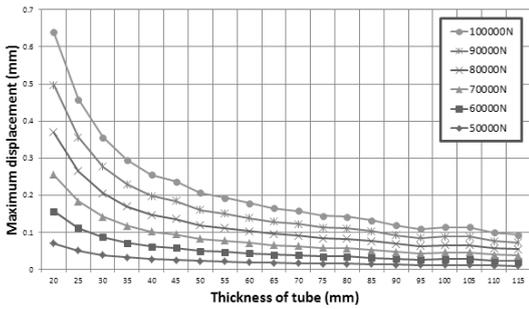


Fig. 5. Maximum displacements of hollow rollers for various applied loads on the outer tube structure.

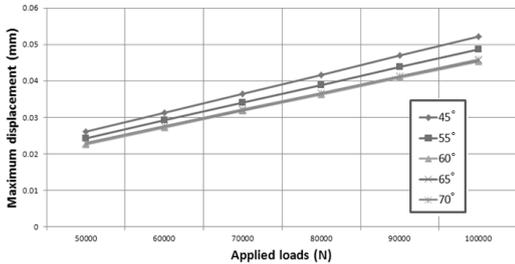


Fig. 6. Maximum displacements of hollow rollers with Y-shaped column structure between three cylindrical tubes.

것이 바람직함을 알 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 2(b)에서 보여준 것과 같은 원통형의 중공롤러에서 외측튜브와 중간튜브, 그리고 중간튜브와 내측튜브 사이에 Y형상을 갖는 컬럼을 설치하여 하중을 분산하고 지지하기 위한 구조물의 변형거동 안전성을 유한요소법으로 해석한 결과이다. 여기서 Fig. 6의 해석결과를 얻기 위해서는 Fig. 2(a)의 중공롤러와 동일한 총중량 212kg을 갖도록 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브, Y형상을 갖는 컬럼의 두께를 각각 조정하였다.

본 연구에서는 균일한 분포하중 50~100kN을 외측튜브에 가하였을 때 발생하는 변위 거동량을 해석한 것이다. 특히, 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 하중지지를 위해 설치한 Y형상의 컬럼에서 Y형상 구조물의 경사각도(45~70°) 변화에 따른 변위거동 안전성을 고찰하고, 그 결과를 기반으로 최적의 중공롤러를 설계하고자 하였다.

Fig. 3에서 고려한 Y형상의 경사각도 $\alpha = 45 \sim 70^\circ$ 이고, 이들 경사각도가 변함에 따라 달라지는 최대 변위량을 Fig. 6에서 제시하고 있다. 해석결과에 의

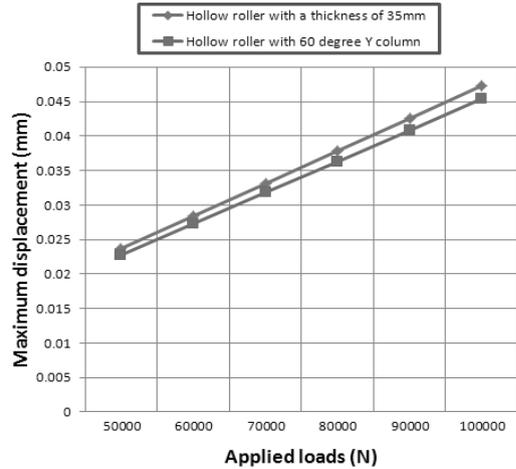


Fig. 7. Compared maximum displacements of hollow rollers with a thickness of 35mm and 60° Y-shaped column structure.

하면, 외측튜브에 가해진 균일분포 하중이 증가할수록 중공롤러에서 발생하는 최대 변위량은 균일하게 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 6의 해석결과에 의하면, 하중을 전달하고 분산하는 역할을 하는 Y형상의 컬럼에서 Y형상으로 갈라지는 경사각도를 45°로 설정하면 가장 큰 변위량이 발생하는 것으로 나타났고, 60° 이상으로 설정하면 변위 거동량이 상대적으로 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, Y형상 컬럼의 경사각도를 60°이상으로 높여도 변위 거동량에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이것은 원통형의 튜브와 튜브 사이에 설치한 Y형상을 갖는 컬럼의 두께와 높이, 튜브의 직경 등도 변위량 형성에 영향을 미치기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서 고려한 Fig. 2(b)와 같은 중공롤러를 설계하기 위해서는 Y형상의 경사각도를 60°로 설정하는 것이 동일하게 주어진 총중량을 갖는 중공롤러 구조물에서 변위거동 안전성을 높이는 최적설계라 할 수 있다.

Fig. 7은 기존에 널리 사용하는 원통형의 중공롤러(Fig. 2(a))에서 외측튜브의 두께가 35mm인 경우와 Y형상을 갖는 컬럼을 원통형의 튜브와 튜브 사이에 설치한 Fig. 2(b)와 같은 중공롤러에 대한 변위거동 안전성을 상대적으로 비교한 데이터이다. 여기서 Y형상을 갖는 컬럼이 설치된 중공롤러에서 Y형상의 경사각도는 60°로 설정하고, 이들 두 가지 중공롤러 모델의 총중량은 같으며, 외부에서 가해지는 균일분포 하중 또한 동일하게 적용하고 해석한 사례이다.

FEM 해석결과에 의하면, 35mm의 균일한 두께를 갖도록 설계된 중공롤러(Fig. 2(a))의 최대 변위량은 Y형상 킬럼을 갖는 중공롤러(Fig. 2(b))에 비해 4~6.6% 더 크게 형성되는 것으로 나타났다. 따라서 기존의 중공튜브를 사용하기보다는 60°로 경사진 Y형상 킬럼을 튜브와 튜브 사이에 설치한 중공롤러로 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

결국 원통형의 중공롤러에서 변위 거동량을 줄여 생산제품의 정밀도를 높이기 위해서는 단순한 튜브형의 중공롤러보다는 Y형상을 갖는 킬럼을 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 연결되도록 설치하는 것이 바람직함을 보여주고 있다.

V. 결론

중공롤러 구조물의 변형거동 안전성을 기존의 단순한 중공롤러와 Y형상을 갖는 킬럼을 원통형의 튜브와 튜브 사이에 연결되도록 설치한 새로운 중공롤러 구조물에 대해 유한요소 해석법으로 비교하였다.

FEM 해석결과에 의하면, 중공롤러에서 구조물의 총중량과 외측튜브의 직경 및 길이를 동일하게 설계하였을 경우 더 큰 강도효과를 확보할 수 있었다. 즉, 기존의 단순한 중공롤러보다는 외측튜브와 중간튜브, 그리고 중간튜브와 내측튜브 사이에 60°의 경사각도를 갖는 Y형상 킬럼을 설치한 중공튜브를 사용하는 것이 변형거동 안전성 측면에서 4~6.6% 더 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

- [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)