



원통형 중공롤러의 응력 및 변형거동에 관한 유한요소해석

†김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2015년 1월 2일 접수, 2015년 2월 9일 수정, 2015년 2월 10일 채택)

Finite Element Analysis of Stress and Deformation Behaviors in Cylindrical Hollow Rollers

†Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology
Hongik University, Seoul 121-791, Korea
(Received January 2, 2015; Revised February 9, 2015; Accepted February 10, 2015)

요약

본 연구에서는 원통형 중공롤러의 응력과 변형거동 안전성을 FEM으로 해석하고, 그 계산결과를 기초로 과도 설계 여부를 고찰하였다. 중공롤러의 강도에 관련된 응력해석 결과에 따르면, 중공롤러를 지지하는 베어링을 설치한 인근에서 발생한 최대응력 39.8MPa은 구조용 강재의 항복강도인 250MPa 대비 15.9% 수준으로 과도한 설계로 평가될 수 있다. 또한, 원통형 중공롤러의 전체 길이 대비 중간 스패너에서 발생한 최대 변위량 0.032mm는 중공롤러의 전체 길이와 두께에 견주어 볼 때 충분히 안전하다할 수 있다. 결국, 강도와 변형거동에 대한 FEM 해석결과에 의하면, 현재의 원통형 중공롤러 FEM 해석모델은 과도하게 설계되었다고 분석된다.

Abstract - The stress and deformation behavior safeties of cylindrical hollow rollers have been analyzed by the finite element method, and investigated for over design capability based on the computed results. According to the stress analysis result which is related to the strength of a hollow roller, the maximum stress of 39.8MPa in which is operated near the bearing for supporting a hollow roller structure is overestimated design as 15.9% level compared with a yield strength, 250MPa of a steel material. And the maximum deformation of 0.032mm in which is operated at the middle span of a total length of cylindrical hollow rollers is very small and sufficiently safe compared with a total length and a thickness of a hollow roller. Thus, the FEM computed results for a stress and deformation indicate that a current FEM analysis model of cylindrical hollow rollers is over designed.

Key words : cylindrical hollow roller, stress, deformation behavior, safety, FEM

1. 서 론

고압가스 압력용기를 제조하는데 많이 사용하는 강관이나 황동판재, 환봉 등을 생산하기 위한 설비, 이들 제품을 절단하기 위한 설비 등에서 핵심부품으로

사용되는 원통형 중공롤러(cylindrical hollow roller)가 있다.

원통형의 중공롤러는 최종제품을 일정한 규격으로 압연하거나 절단하는데 중요한 역할을 하기 때문에 높은 강도와 낮은 변형률을 유지해야 안전하다.

원통형 중공롤러는 중심을 가로지르는 회전축의 양쪽으로 베어링을 설치하여 외부의 하중을 완벽하게 지지하고, 원통형 중공롤러에 작용하는 응력은

†Corresponding author:ckkim_hongik@naver.com
Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

롤러 구조물의 강도 내구성에 영향을 미치고, 발생된 변위는 원통형 중공롤러에 의해 생산되는 강재나 판재와 같은 압연제품 또는 절단제품의 치수 정밀도와 품질 내구성에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

결국, 원통형 중공롤러의 강도와 변형거동 안전성은 롤러의 직경과 길이, 소재특성에 의해 영향을 받는다. 원통형 중공롤러에 의해 생산되는 제품의 표면 정밀도를 높여주고, 품질 내구성을 보장하기 위해서는 롤러의 표면 강도안전성[1]이 우수해야 가공 절단면의 두께와 평탄도가 균일한 제품을 생산할 수 있다.

특히, 생산성을 높이기 위해 원통형 중공롤러의 직경이 크고, 길이를 길게 설계하면 중량이 많이 나간다. 따라서 베어링에 걸리는 부하를 줄이고, 동일한 중량에서 변형거동 안전성을 높이기 위해서는 롤러를 중공형상으로 제작하는 것이 좋다. 결국 원통형 중공롤러의 경량화 설계를 통해 무게를 가볍게 하여 전력소모를 줄이고, 원가절감을 추구하는 최적화 설계는 제품의 성능향상 측면에서 우선적으로 고려되는 사항이다.

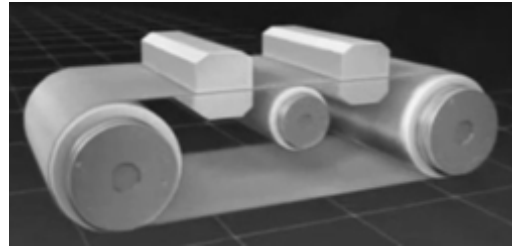
본 연구에서는 기존에 사용하는 원통형 중공롤러 구조물에 작용하는 응력과 변형거동 안전성을 유한요소법으로 해석하여 안전성을 논하고, 과도설계 여부를 고찰하고자 한다.

II. 원통형 중공롤러

원통형 중공롤러의 외주면 경도는 생산되는 가공 제품의 평탄면을 고르게 하고, 치수를 안정적으로 확보할 수 있어 판재의 균질성을 보장할 수 있다. 또한, 중공롤러 구조물의 강성도는 원자재를 절단하여 생산한 제품의 두께 정밀도에 직접적으로 영향을 미치므로 설계자에게는 주요한 요소이다.

Fig. 1은 원통형 중공롤러를 사용하여 잉곳(ingot)과 같은 웨이퍼 소재를 일정한 두께로 절단하기 위한 와이어 절단기(wire saw machine)를 보여주고 있다. 이 기계는 탄성 인장력을 갖는 절단용 와이어를 원통형 중공롤러의 외주면을 따라 감아서 와이어의 위쪽으로 놓여진 잉곳소재를 동시에 두 곳에서 절단할 수 있는 장치이다.

절단제품의 가공 정밀도를 확보하기 위해서는 원통형 중공롤러의 처짐 발생을 최대한 억제할 수 있도록 롤러 구조물의 굽힘 강도와 비틀림 강성도를 함께 확보하는 것이 중요하다. 그러기 위해서는 강도가 우수한 소재를 사용하여 원통형 롤러의 직경은 크게, 길이는 짧게 제작하면 되지만, 무거워진 중량 때문에 중공롤러를 구동하는데 동력소모가 많아지고, 원가가 상승하는 부작용이 있다.



(a) wire saw machine for cutting a ingot



(b) Proposed cylindrical roller model

Fig. 1. Wire saw cutting machine and cylindrical hollow roller.

Fig. 1(b)는 원통형 롤러에서 가장 단순한 중공 구조물 형상으로 주조, 압출, 단조 등의 방법으로 생산한다. 중공롤러 구조물의 내경부에는 회전을 위한 일체형 중심축과 하나의 몸체처럼 연결하기 위해 디스크 형상의 원판을 회전축 방향으로 일정간격이 되도록 배열함으로써 원통형 중공롤러의 강도와 변형거동 안전성을 확보할 수 있다.

III. 해석조건

3.1. 해석모델

Fig. 2는 FEM 해석을 위해 사용한 원통형 중공롤러의 메쉬 형상을 보여주고 있다. 원통형 롤러가 외부로부터 인장하중을 받게 되면 중심축 부근에서는 최대변형, 그리고 중심축의 베어링에 의해 지지되는 양측단부에서는 최대응력 발생을 각각 예측할 수 있다.

Fig. 2은 외부하중을 지지하는 원통형 중공롤러의 베어링에 높은 응력이 발생하면 중공롤러를 구동하는 전기모터의 에너지 소모량은 증가하고, 베어링의 정밀도가 떨어지는 원인으로 작용한다. Fig. 1에서 제시한 원통형의 중공롤러를 사용하여 제작한 기계 장치의 절단 생산성을 높이기 위해 롤러 구조물의

회전축 길이를 길게 하면, 원통형 롤러의 중간부에서 발생하는 최대 처짐량이 증가되고, 또한 중공롤러에 의해 생산된 절단판재의 두께가 고르지 못하여 수율이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 원통형 중공롤러의 길이와 두께는 절단제품의 생산성과 품질에 큰 영향을 미치므로 중공롤러가 들어간 기계장치를 설계할 때는 최적의 설계조건을 찾아야 한다.

본 연구에서 FEM 해석에 사용한 원통형 중공롤러의 외경은 280mm, 길이는 1,080mm로 설계하여 중공롤러 구조물에 형성되는 강도와 변형거동 안전성을 고찰하였다.

3.2. 경계조건

원통형 중공롤러에 작용하는 외부하중은 모두 롤러의 중심축을 고정하는 베어링에 의해 지지되는 것으로 가정하고 해석하였다. 즉, Fig. 1(a)에서 보여준 것처럼 두 개의 원통형 중공롤러가 하나의 세트로 조립되고, 이들 원통형 중공롤러의 외주면에는 3,300 개의 와이어가 하나의 선으로 쪽 연결되어 와이어가

접촉하는 중공롤러의 외주면에는 긴장력이 균일하게 가해지기 때문에 베어링은 축방향을 따라서 균일 분포하중을 받게 된다.

Fig. 3에서 보여준 경계조건처럼, 양측에 설치된 원통형 중공롤러를 감싸는 3,300개의 와이어에 의해 원통형 롤러의 한쪽에 가해지는 균일한 하중은 165kN이고, 중심축에 설치된 베어링에 의해 구동되는 지지하중에는 마찰손실이 없는 것으로 가정한다.

본 연구에서 사용한 원통형 중공롤러 구조물의 강도 안전성을 확보하는데 필요한 소재는 SM45C (ANSI 1045) 강재[2,3]이다. 본 연구에서 사용한 강재의 탄성계수는 200GPa, 프와송비는 0.3, 항복강도는 250MPa이다.

IV. 해석결과 및 고찰

본 연구에서는 현재 와이어 절단기에 장착되어 많이 사용하는 원통형의 중공롤러 구조물에 대한 응력과 변형거동 안전성을 FEM으로 해석하여 과도설계 여부를 고찰하고자 한다.



Fig. 2. FEM mesh for analyzing stress and deformation of a cylindrical roller.

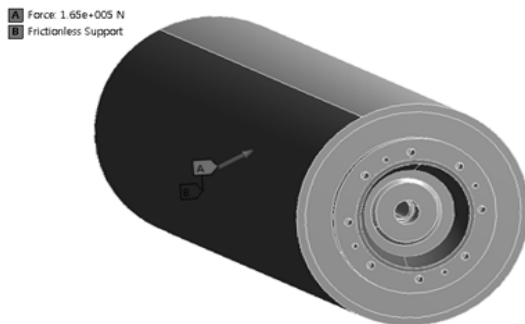
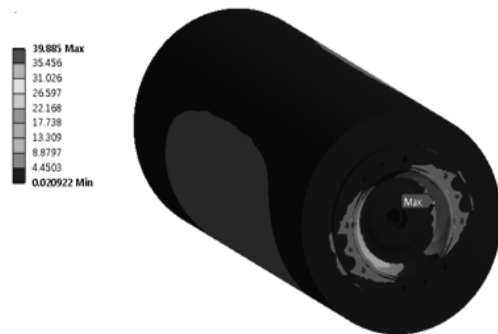
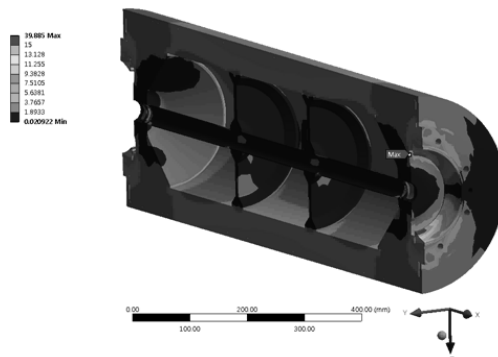


Fig. 3. Boundary conditions for analyzing stress and deformation of cylindrical roller.



(a) Cylindrical roller



(b) Cross sectional area of a cylindrical roller

Fig. 4. Equivalent von Mises stress distributions of a cylindrical roller.

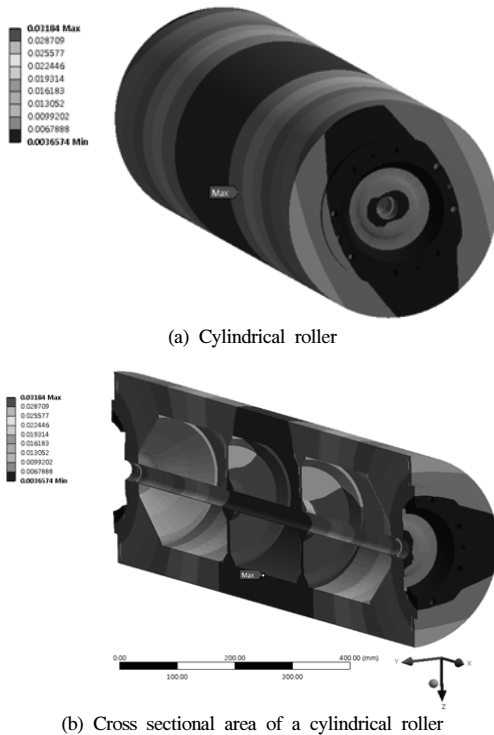


Fig. 5. Total deformation distributions of a cylindrical roller.

Fig. 4는 원통형 중공롤러 구조물에서 발생한 von Mises 등가응력 분포도를 보여준 유한요소 해석결과이다. Fig. 3에서 보여준 것처럼 원통형 중공롤러를 감은 와이어에 의해 축방향으로 따라서 균일하게 형성되는 분포하중 165kN이 작용한다고 가정한다. Fig. 4에서 보여준 FEM 해석결과에 의하면, 원통형 중공롤러의 중심축을 지지하는 베어링이 설치된 인근에서 von Mises 최대등가응력 39.8MPa이 작용하는 것으로 나타났다. 여기서 계산된 최대응력은 원통형 중공롤러의 제작에 사용한 구조용 강재의 항복강도 250MPa의 15.9%, 즉 안전계수가 6.28로 대단히 높은 수준으로 응력강도 안전성 측면에서 충분한 값이다. 따라서 원통형 중공롤러의 강도 안전성 측면에서 보면, 중공롤러의 형상은 과도한 설계로 판단된다. 따라서 원통형 중공롤러의 경량화를 위해 직경과 길이, 중공롤러의 두께를 재조정할 필요가 있다.

Fig. 5는 원통형 중공롤러의 축방향으로 165kN의 분포하중이 균일하게 가해졌을 때 발생한 변위량 분포도를 보여준 FEM 해석결과이다. 중공

롤러의 변위량 해석결과를 제시한 Fig. 5에 의하면, 중공롤러 구조물의 중간부에서 최대 변위량 0.032mm이 차지하는 것으로 나타났다. 이것은 원통형 중공롤러의 양단에서 베어링으로 지지하는 경우는 중간부에서 최대 처짐량이 발생하는 양단 지지보의 전형적인 변형거동 패턴과 같다. 여기서 발생한 최대 변위량은 원통형 중공롤러 구조물의 직경과 전체 길이에 비해 대단히 적은 수치로 변위 거동량 또한 과도한 설계에 해당된다.

따라서 절단하고자 하는 웨이퍼 제품의 치수 정밀도를 손상하지 않으면서 절단 생산성을 높이기 위해서는 원통형 중공롤러의 축간 길이를 더 증가시키는 설계수정이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 원통형 중공롤러를 경량구조로 설계하기 위해서는 현재 처럼 단순구조의 중공롤러로 설계하기보다는 여러 개의 중공롤러가 하나의 축으로 연결된 다층형의 중공롤러로 설계하는 것이 굽힘 강도와 비틀림 강성도를 동시에 확보할 수 있는 중공롤러 제품으로 개발 [4,5]하는 것이 필요하다.

V. 결론

본 연구에서는 원통형 중공롤러의 응력과 변형거동 안전성에 대해 FEM으로 해석하고, 그 결과를 기초로 과도설계 여부를 고찰하였다.

원통형 중공롤러의 강도에 관련된 응력해석 결과에 의하면, 중공롤러 구조물을 지지하는 베어링을 설치한 양끝단 부근에서 발생한 최대응력은 구조용 강재의 항복강도인 250MPa 대비 15.9% 수준으로 강도 안전성 측면에서 볼 때 과도한 설계로 평가될 수 있다.

또한, 원통형 중공롤러 길이의 중간부에서 발생한 최대 변위량 0.032mm는 중공롤러 구조물의 직경과 길이에 비해 대단히 작은 값으로 충분히 안전한 설계에 해당된다.

결국, 본 연구에서 제시한 원통형 중공롤러 구조물의 강도와 변형거동 안전성은 충분히 확보된 과도설계이므로, 중량감소를 통한 모터구동 전력소비의 절감과 원가절감이라는 관점에서 볼 때 현재의 원통형 중공롤러는 재설계하는 것이 바람직하다.

REFERENCES

- [1] J.W. 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)
- [4] C.K. Kim, "A Study on the Displacement Behavior Safety of Cylindrical Hollow Rollers", J. of the KIGAS, Vo1. 18, No. 1, pp.41-45, (2014)
- [5] C.K. Kim, "A Study on the Displacement and Stress Analysis of Hollow Rollers for a Wire Saw Machine", J. of the KIGAS, Vo1. 18, No. 2, pp.10-15, (2014)