



중공롤러의 절단면 형상변화에 따른 변형거동 특성해석

†정준기 · 김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2015년 7월 14일 접수, 2015년 8월 25일 수정, 2015년 8월 26일 채택)

Characteristic Analysis of Displacement Behavior of Hollow Rollers with Cross Sectional Area Profiles

†Joon Ki Chung · Chung Kyun Kim

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

(Received July 14, 2015; Revised August 25, 2015; Accepted August 26, 2015)

요 약

본 연구에서는 여러 가지의 절단면 형상과 하중지지 용량을 높이기 위해 원판을 설치한 중공롤러의 변위거동 특성을 유한요소법으로 해석하였다. FEM 해석결과에 의하면, 중공롤러의 절단면 형상은 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브와 이들 튜브들 사이를 연결하기 위해 X형 또는 Y형 컬럼을 설치한 경우는 중공롤러의 중간부에서 발생하는 최대 변위량을 줄여주는 효과가 있다. 여기에 중공롤러의 중간부 두께를 30~40mm 갖는 원판을 설치할 경우는 중공롤러의 최대 변위량을 줄이는데 효과가 크다는 해석결과를 제시하였다.

본 연구에서는 원통롤러의 전체 중량에 연계된 최대 변위량 비율을 고찰한 최적설계 데이터를 제하였다. FEM 해석결과에 의하면, 중공롤러에서 발생하는 최대 변위량과 전체 중량의 비율을 줄인 설계모델로는 4, 5와 6번을 추천할 수 있다.

Abstract - In this paper, the displacement behavior characteristic of hollow rollers with various cross sectional area profiles and circular plate for load supporting capacity increment has been presented using a finite element method. The FEM results present that the hollow roller with X-shaped or Y-shaped columns between outer tube, middle tube and inner tube reduces a maximum displacement at the middle length of hollow rollers. And the circular plate, which is inserted at the middle of the hollow roller, is very useful to reduce the maximum displacement of hollow rollers with the plate thickness of 30~40mm.

This paper presents the weight vs the maximum displacement ratio in which is represented for the optimized design as a function of a hollow roller total weight. The FEM analyzed results recommend the design model 4, 5 and 6 of hollow rollers for decreasing the ratio of maximum displacement and total weight of hollow rollers.

Key words : Hollow Roller, Column, Maximum Displacement, Weight, FEM

†Corresponding author:jkchung@hongik.ac.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

가스용 터빈이나 압축기, 그리고 가스탱크의 원자재로 사용하는 강판 제조용 압연기는 대형원통 또는 중공원통을 설치하여 변형강도 안전성을 확보한다.

이들 생산기계는 원통롤러를 회전축의 양쪽에 설치한 베어링에 의해 축방향의 하중을 지지한다. 특히, 중공롤러의 변형거동 강도안전성은 생산 제품의 치수 정밀도와 표면 거칠기에 큰 영향을 미치기 때문에 엄격하게 관리해야 한다. 또한, 원통롤러를 사용한 기계의 작업 생산성을 높이기 위해서는 회전축의 길이를 늘려야하지만, 롤러의 중간부에서 발생하는 최대 변형량이 증가하는 문제는 생산제품의 치수 정밀도를 떨어뜨리는 원인으로 작용한다.

따라서 최대 변형량을 줄이면서 생산성을 높이기 위해서는 중공롤러의 직경을 더 늘리면서 축간거리를 최대한 길게 설계한다. 이 경우 중량 증가로 인한 전기 사용량의 증가는 에너지 절감시대에 바람직한 설계방법이 아니다. 따라서 대형롤러의 유용성을 높이기 위해 경량구조의 중공축 형상으로 설계하는 것이 바람직하다.

결국, 전기 에너지 사용량을 줄이기 위해 중공롤러는 가벼우면서 변형거동 강도안전성을 높일 수 있는 설계기술이 필요하다. 중공롤러의 직경과 축간거리의 비율을 최적화하는 설계기술의 적용은 원통롤러에 비해 유리하지만 직경이 증가하는 문제점이 있다. 따라서 중공원통의 절단면 형상을 다양하게 변형한 설계를 통해 변형거동 안전성에 연구가 진행되었다[1].

본 연구에서는 경량화의 장점을 갖는 중공롤러의 변형거동 안전성을 보장하기 위해 최대 변형량이 발생하는 중공롤러의 중간부에는 하중지지용 원판을 형성하고, 중공롤러의 절단면 형상을 다양하게 개발하여 중공롤러의 변형거동 특성을 고찰하고자 한다.

II. 원통형 중공롤러

변형거동 강도안전성과 경량화를 추구하면서 생산성을 높이기 위해 중공롤러의 직경과 길이를 늘리는 최적설계를 많이 수행한다. 실제의 중공롤러에서 강성도를 확보하기 위해서는 가능한 직경은 크게, 축간거리는 짧게 설정하면 변형거동 안전성은 향상되고, 생산 제품의 표면 정밀도와 평탄도[2]도 우수하게 확보될 수 있다.

Fig. 1은 강재나 잉고트와 같은 원자재를 대량으로 절단하기 위해 사용하는 와이어 절단기의 회전축용 중공롤러를 보여주고 있다. 웨이퍼와 같은 절단

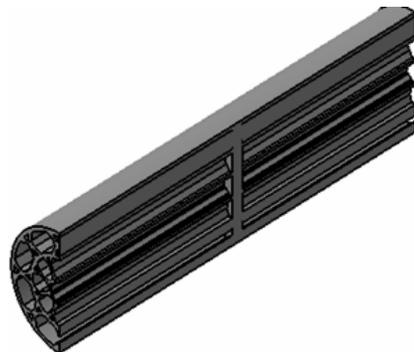
제품의 생산성을 높이기 위해서는 중공롤러의 축간거리를 가능한 길게 하면서 중간부의 최대 변형량을 줄이는 설계기술이 중요하다.

중공롤러의 회전강도 안전성을 높이기 위해 본 연구에서 제시한 중공롤러 사례를 Fig. 1에서 보여주고 있다. 중공롤러는 절단면의 형상이 단순한 중공롤러가 아니고, 서로 다른 직경을 갖는 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브라는 3개의 원통형 중간층을 다수개의 Y형상 또는 X형상과 같은 쉘림을 원주방향을 따라 등간격으로 세워서 중공롤러에 가해지는 하중을 분산하여 변위량 발생을 줄이고자 하는 설계모델을 보여주고 있다.

또한, 중공롤러의 중간부에 하중지지용으로 설치한 Fig. 1(b)와 같은 설계모델에서는 Fig. 1(a)의 중공롤러 대비 중간부에 일정한 두께를 갖는 원판을 설치하여 중공롤러의 중간부에서 발생하는 최대 변형량을 줄일 수 있도록 개발한 중공롤러 설계모델이다.



(a) Hollow roller with Y-shaped column



(b) Hollow roller with X-shaped column and circular plate at the middle length

Fig. 1. Hollow roller models.

III. 해석조건

3.1. 해석모델

Fig. 2(a)는 단순구조의 원통형 중공롤러를 보여 주고, Figs. 2(b)~2(f)는 다양한 절단면 형상의 컬럼을 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 설치하여 하중을 구조물 전체에 분산할 수 있는 구조로 설계함으로써 변형거동 안전성을 높여주기 위한 설계모델이다.

또한, 최적의 중공롤러는 원통형상과 컬럼의 두께를 조정하여 전체적인 무게를 줄이는 경량화 최적 설계를 수행하면 변형거동 강도안전성이 향상되는 효과를 고찰하기도 하였다[3].

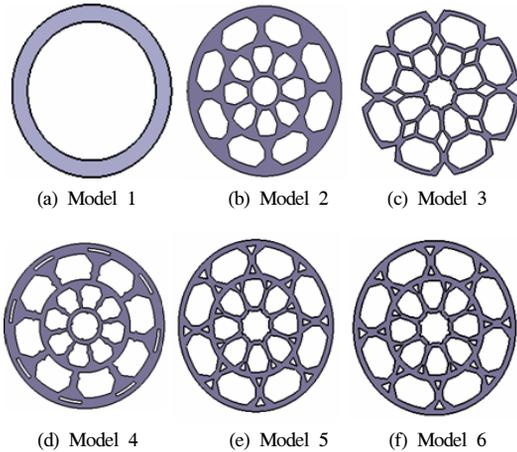


Fig. 2. Hollow roller models for FEM analysis.

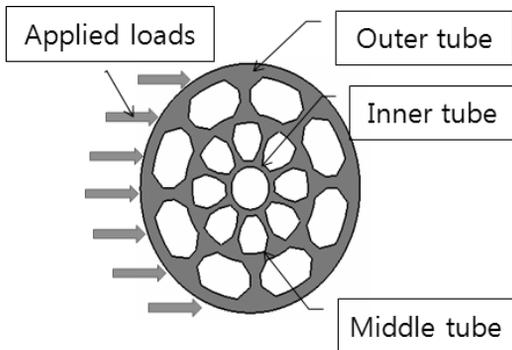


Fig. 3. Cross sectional area of hollow roller model with Y-shaped column.

3.2. 하중조건

중공롤러에 작용하는 하중은 롤러의 중심축을 양쪽에서 잡은 베어링에 의해 지지되므로 내측튜브를 고정하고 해석하였다. 또한, 중공롤러에서 축방향을 따라 균일하게 작용하는 하중은 Fig. 3에서 보여준 것처럼 균일분포 하중이 원주방향을 따라서 작용한다 해도 중공롤러에 미치는 하중의 크기는 약간씩 달라진다.

중공롤러에서 변형거동 안전성을 확보하기 위해서는 외측튜브의 원주면에 가해지는 하중을 중간튜브와 내측튜브를 통해 의해 중공롤러 구조물에 총체적으로 분산하도록 설계하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 원통롤러에 가해지는 축방향의 하중은 균일하다고 가정한다.

본 해석에 사용한 중공롤러의 소재는 구조물 강재로 많이 사용하는 SM45C(ANSI 1045) 강재[4,5]이다.

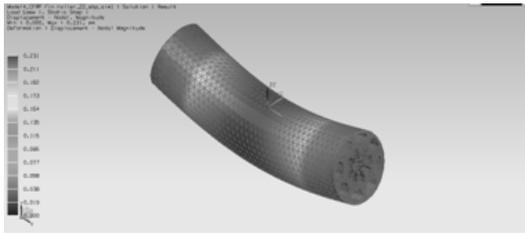
Fig. 1에서 보여준 중공롤러의 외경은 352mm이고, 길이는 1080mm이다. 본 연구에서는 Fig. 2에서 보여준 다양한 절단면 형상의 중공롤러에 대한 변형거동 특성을 비교할 수 있도록 중공롤러의 외경과 길이를 동일하게 설계하였다.

IV. 해석결과 및 고찰

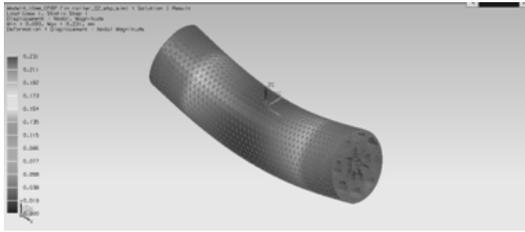
Fig. 4는 중공롤러의 축방향으로 균일하게 하중 165kN을 작용시켰을 때 발생한 변형량 분포도를 보여준 FEM 해석결과이다. 이때 사용한 설계모델 5는 Fig. 2(e)의 형상으로 중공롤러의 외측튜브와 중간튜브, 중간튜브와 내측튜브 사이에 X형상의 컬럼을 원주방향으로 설치하여 하중이 분산되도록 설계한 구조이다.

FEM 해석결과를 보여준 Fig. 4에 의하면, 설계모델 5에서 변형거동 분포도를 보여주고 있다. Fig. 4(a)는 중공롤러의 중간부에 하중지지용 원판을 설치하지 않은 경우로, 최대 변위량 0.231mm이 중간부에서 발생한다. 반면에 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위해 Fig. 1(b)에서 보여준 것처럼 중간부에 원판의 두께를 10~40mm로 늘려가면서 변형거동 특성을 해석한 결과를 Fig. 4(b)~4(e)에 보여준다.

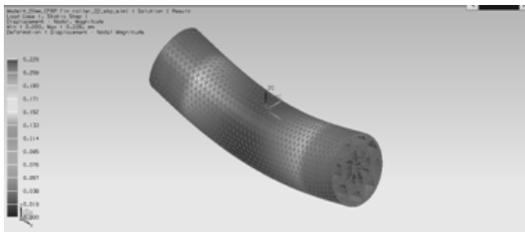
즉, Fig. 4(b)의 해석결과처럼 원판의 두께를 10mm로 얇게 설치한 경우는 최대 변위량이 0.231mm로 원판을 설치한 효과가 없지만, 40mm로 두께를 증가하여 설치할 경우는 2.6%나 최대 변위량이 줄어드는 효과가 있다. 이것은 원통롤러의 중간부에 설치한 원판이 변형거동 안전성에 미치는 영향을 알 수 있는 데이터이다.



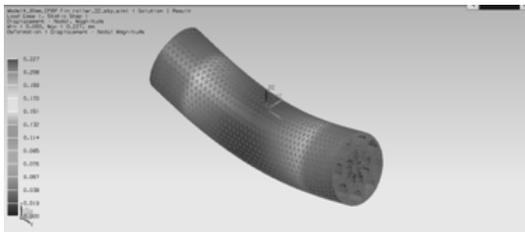
(a) Hollow roller with no circular plate



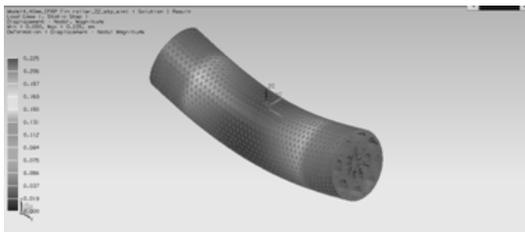
(b) With circular plate of 10mm thickness



(c) With circular plate of 20mm thickness



(d) With circular plate of 30mm thickness



(e) With circular plate of 40mm thickness

Fig. 4. Displacement distributions of a hollow roller model 5 with X-shaped column.

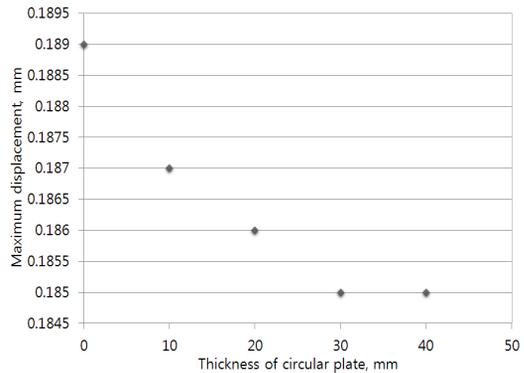


Fig. 5. Maximum displacements of hollow roller model 2 with Y-shaped column as a function of a circular plate thickness.

Fig. 5는 Fig. 2(b)에서 보여준 설계모델 2에 대한 최대 변위량을 원판 두께의 향으로 변형거동 특성을 해석한 결과이다.

Fig. 5의 해석결과에 의하면, 중공롤러의 중간부에 원판을 설치하지 않은 경우의 최대 변위량은 0.189mm로 나타났다. 반면에 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위한 원판의 두께를 10~40mm로 늘려가면서 변형거동 특성을 해석하면, 원판의 두께가 증가될수록 최대 변위량은 지속적으로 줄어들다가 30mm 이상이 되면 최대 변위량은 더 이상 줄어들지 않고 수렴하는 결과를 보여준다.

Fig. 5에서는 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위해 중간부에 원판을 설치할 경우는 원판을 설치하지 않은 경우에 비해 최대 변위량이 2.1%나 줄어드는 효과를 제시하고 있다.

Fig. 6은 Fig. 2(c)에서 보여준 설계모델 3에 대한 최대 변위량을 원판의 두께를 늘려가면서 해석할 때 나타난 변형거동 특성치이다. 이때 중공롤러의 중간부에 원판을 설치하지 않은 경우 0.391mm라는 높은 최대 변위량이 계산되었다. 반면에 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위해 하중지지용 원판의 두께를 10~40mm로 늘려가면서 변형거동 특성을 고찰한 FEM 해석결과에 의하면, 원판의 두께를 증가할수록 최대 변위량은 줄어들다가 원판의 두께가 30mm 이상이 되면 최대 변위량은 더 이상 줄어들지 않고 수렴하는 결과를 나타내고 있다.

Fig. 6에서는 설계모델 3과 같은 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위해 중간부에 원판을 설치할 경우는 원판을 설치하지 않은 경우에 비해 최대 변위량이 4.4%나 줄어드는 높은 효과를 제시하고 있다.

Fig. 7은 Fig. 2(d)에서 보여준 설계모델 4에 대한

중공롤러의 절단면 형상변화에 따른 변형거동 특성해석

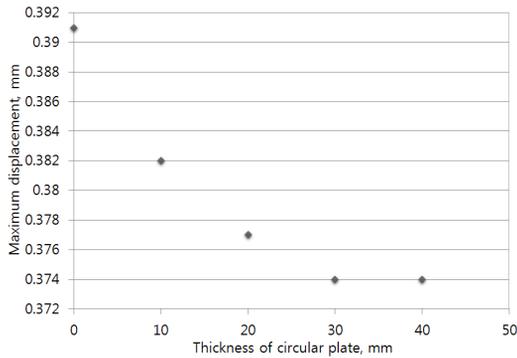


Fig. 6. Maximum displacements of hollow roller model 3 with X-shaped column as a function of a circular plate thickness.

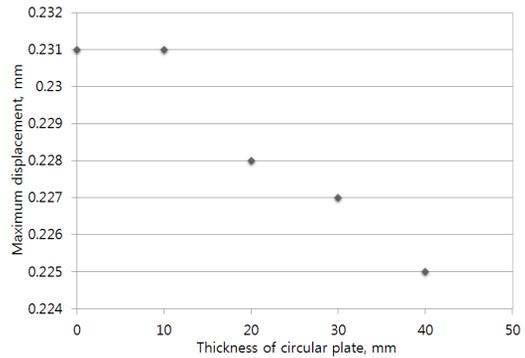


Fig. 8. Maximum displacements of hollow roller model 5 with X-shaped column as a function of a circular plate thickness.

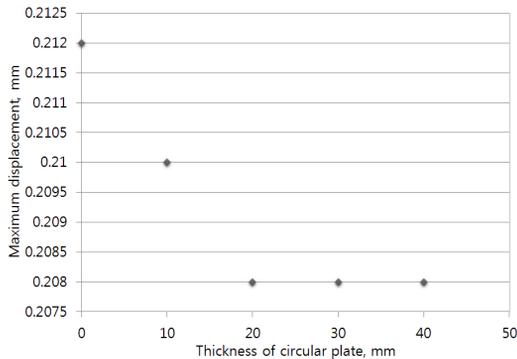


Fig. 7. Maximum displacements of hollow roller model 4 with Y-shaped column as a function of a circular plate thickness.

최대 변위량을 해석한 결과이다. 이때 중공롤러의 중간부에 원판을 설치하지 않은 경우 최대 변위량은 0.212mm가 발생하였다. 반면에 중공롤러의 중간부에 변형거동 강도안전성을 높이기 위해 설치한 하중 지지용 원판의 두께를 10~40mm까지 늘려가면서 변형거동 특성을 해석한 결과에 의하면, 원판의 두께를 늘려갈수록 최대 변위량은 줄어들다가 20mm 이상이 되면 최대 변위량은 더 이상 줄지 않고 수렴하는 결과를 보여준다.

Fig. 7에서는 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위해 중간부에 원판을 설치한 경우는 원판을 설치하지 않은 경우에 비해 최대 변위량이 1.9%로 차이가 없음을 알 수 있다. 이것은 원판의 두께보다는 Fig. 2(d)에서 제시한 설계모델 4의 절단면 형상이 하

중분산 효과가 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

Fig. 8은 Fig. 2(e)에서 보여준 설계모델 5에 대한 최대 변위량을 해석한 결과이다. 이때 중공롤러의 중간부에 원판을 설치하지 않은 경우 최대 변위량은 0.231mm가 발생하였다. 반면에 중공롤러의 중간부에 변형강도 안전성을 높이기 위해 설치한 원판의 두께를 10~40mm로 늘려가면서 변형거동 특성을 해석한 결과에 의하면, 원판의 두께를 10mm 이하로 설치한 경우는 최대 변위량이 0.231mm로 변형거동 안전성에 별다른 영향을 주지 못하지만, 40mm 이상으로 원판의 두께를 증가하여 설치할 경우는 0.225mm로 최대 변위량이 지속적으로 줄어드는 효과가 있다. 결국 하중지지용 원판의 두께가 10mm 정도로 얇을 경우는 Fig. 2(d)에서 제시한 설계모델 5의 절단면 형상이 하중분산에 더 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

Fig. 9는 Fig. 2(f)에서 보여준 설계모델 6에 대한 최대 변위량을 해석한 결과이다. 이때 중공롤러의 중간부에 원판을 설치하지 않은 경우의 최대 변위량은 0.233mm이다. 반면에 중공롤러의 중간부에 변형강도 안전성을 높이기 위해 설치한 원판의 두께를 10~40mm로 늘려가면서 변형거동 특성을 계산한 해석결과에 의하면, 원판의 두께를 늘려갈수록 최대 변위량이 지속적으로 줄어드는 경향을 보여준다.

Fig. 9에서는 중공롤러의 변형강도 안전성을 높이기 위해 중간부에 원판을 설치할 경우는 원판을 설치하지 않은 경우에 비해 최대 변위량이 3.4% 이상 줄어드는 효과가 있다. 이것은 Fig. 2(d)에서 제시한 설계모델 6의 절단면 형상에서는 원판의 두께를 설치하는 것이 최대 변위량을 줄이는데 큰 영향을 미치고 있음을 제시한 해석결과이다.

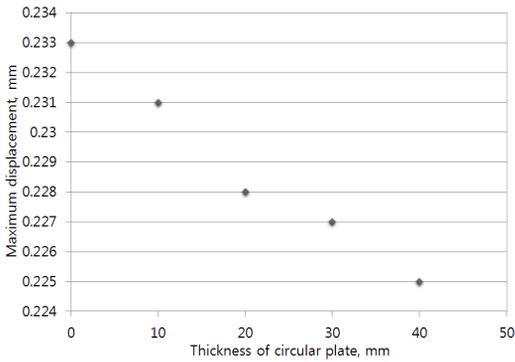


Fig. 9. Maximum displacements of hollow roller model 6 with X-shaped column as a function of a circular plate thickness.

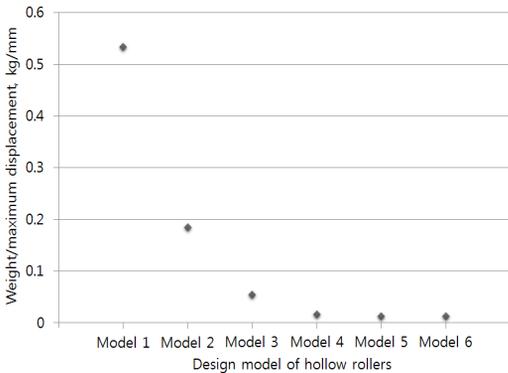


Fig. 10. Weight vs maximum displacement of hollow rollers for various hollow roller models.

Fig. 10은 Fig. 2에서 보여준 6가지의 설계모델에서 최대 변위량 1mm를 발생시키는데 필요한 중공롤러의 중량을 수치적으로 해석한 결과이다.

단순형상의 중공롤러를 보여준 Fig. 2(a)와 같은 설계모델 1에서는 최대 변위량 1mm를 발생시키는데 0.53kg의 높은 중량을 필요로 한다. 반면에 Fig. 2(b)~3(f)와 같은 절단면의 형상을 갖는 중공롤러에서는 롤러 구조물 전체에 하중을 분산시키는 효과가 높아 상대적으로 중량을 줄이는 장점이 있다. 즉, Fig. 10의 해석결과에 의하면, 설계모델 2에서는 0.184kg/mm, 설계모델 3에서는 0.055kg/mm, 설계모델 4에서는 0.016kg/mm, 설계모델 5에서는 0.012kg/mm, 설계모델 6에서는 0.013kg/mm로 크게 줄어드는 결과를 제시하고 있다.

따라서 동일한 직경과 길이를 갖는 중공롤러에서 하중지지를 위한 절단면의 형상과 중공롤러의 중간부에 설치한 원판의 두께를 최적의 조건으로 데이터를 찾는 것이 중요한 설계 포인트이다. 이것은 중공롤러의 중간부에서 발생하는 최대 변위량과 중량을 함께 줄이는 효과를 기대할 수 있다.

Fig. 2(a)에서 보여준 단순구조의 중공롤러보다는 절단면의 형상을 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브를 설치하고, 이들 튜브를 연결하여 하중을 분산하는 X형상 또는 Y형상의 컬럼을 설치한 Fig. 3(d)~3(f)와 같은 설계모델을 사용하는 것이 바람직하다는 것이다.

또한, 원통롤러의 중간부에는 하중지지용 원판의 두께를 30~40mm 설치하는 것이 변형거동 안전성 측면에서 효과적이라는 해석결과를 제시한다. 따라서 본 연구에서 제시한 원통롤러에서 설계모델 4, 5, 6이면 우수한 중공모델이라 할 수 있다.

V. 결론

원통롤러에 작용하는 하중을 분산하기 위해 절단면의 형상을 다양하게 설계하고, 하중지지용 원판을 중공롤러 중간부에 설치한 롤러모델의 변형거동 특성을 FEM으로 해석하였다.

해석결과에 의하면, 단순한 구조의 중공롤러보다는 절단면의 형상을 외측튜브, 중간튜브, 내측튜브와 이들 튜브사이를 연결하는 컬럼을 원주방향을 따라 설치하여 하중을 분산하는 설계모델이 유용함을 알 수 있다.

또한, 중공롤러의 중간부에서 발생하는 최대 변위량을 더 줄이기 위해 중공롤러의 중간부에는 하중지지용 원판을 설치하는 것이 바람직하다. 원판의 두께는 중공롤러의 절단면 형상에 따라 변위량이 달라지므로 중공롤러의 직경과 길이가 결정되면 최적치를 찾는 것이 중요하다.

또한, 중공롤러의 절단면 형상에 따라 최대 변위량과 중량은 연계되어 달라지므로, 최대 변위량 1mm를 발생하는데 필요한 전체 중량을 추정하면 절단면 형상에 대한 최적치를 예측할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 중공롤러의 설계모델을 4, 5, 6로 선정하면 우수한 중공모델이라 할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Chung Kyun Kim, "A Study on the Displacement Behavior Safety of Cylindrical Hollow Rollers", J. of the KIGAS, pp.41~45, (2014)
- [2] 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)
- [3] "NX NASTRAN 7.5", (2011)
- [4] <http://matweb.com>, (2013)
- [5] Robert E. Reed-Hill, "Physical Metallurgy Principles", Litton Edu. Publishing, Inc., (1973)