

# Crowning 롤러를 이용한 벨트 이송 시스템의 시뮬레이션

Simulation for Belt Transport System using Crowning Roller

유 상 현\*·인 용 석\*·구 자 춘†·최 연 선\*\*

Sang-Heon Lyu, Yong-Seok Ihn, J. C. Koo, Yeon-Sun Choi

**Key Words** : Media transport(유연매체 이송), Multi-body dynamics(다물체 동역학), Crowning roller(크라운 롤러), Tension(장력)

## ABSTRACT

The media transport in automatic office machines such as printers, ATMs, copying machines is achieved by a complicated belt system. The system generally uses a crowning roller and belt which has been well-known for its intrinsic belt centering advantage during its operation. Since the modern office machines require precise high operating speed, stabilization of media transporting system has been one of the important issues of the machine design. Even a minor defect of the belt or the roller in the transport system directly affects its operating stability. This paper delivers a simulation technique that combines a multi-body dynamics analysis routine and a FEM based flexible continuum modeling for the efficient simulation of the flexible media transport problems.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

사무 자동화 기기들, 예를 들어 ATMs, 복사기, 프린터 등에서 종이를 비롯한 유연매체의 이송은 벨트 이송시스템에 의해 구현 되고 있으며, 사무 자동화 기기들이 정밀화 고속화 되어 감에 따라 유연매체의 안정된 이송은 필수 요소가 되었다.

예전부터 잘 알려진 평벨트가 Crowning 롤러의 중앙부의 잡혀있는 Belt Centering 효과로 인해 유연 매체 이송 시스템에서 평벨트와 Crowning 롤러의 조합이 많이 사용되고 있다.

Crowning 롤러 국내의 관련연구로는 Yanabe등은 Crowning 롤러에서 벨트의 초기위치, 롤러의 편각, Crowning의 반경 등이 Belt Centering 효과에 주는 영향과 스쿠 발생 메커니즘에 대해 유한요소 해석을 통해 고찰하였다.[1]

† 책임저자, 정희원, 성균관대학교 기계공학부  
E-mail : jckoo@skku.edu  
Tel : (031) 290-7454, Fax : (031) 290-5849

\* 성균관대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정희원, 성균관대학교 기계공학부

Gerbert는 콘(corn)형 롤러에서 주행하는 벨트의 거동을 실험과 이론해석을 통해 롤러의 형상과 벨트의 강성과 장력 등의 의해 스쿠의 변화 폭이 결정된다고 기술하고 있다.[2]

따라서 본 연구에서는 평벨트와 Crowning 롤러를 이용한 유연매체 벨트 이송 시스템의 안정적인 동작을 위해 벨트에 문제가 발생 했을 때의 진동신호와 정상적으로 작동할 때의 진동신호를 비교하여 이송 시스템의 결함을 탐지 할 수 있는 진단 방법을 다물체 동역학 해석을 통해 시뮬레이션 하고자 한다.

## 2. 벨트의 다물체 동역학 해석

### 2.1 결함 원인

유연매체 벨트 이송 시스템에서 벨트와 롤러의 결함으로 발생할 수 있는 스쿠나 슬립은 유연매체의 안정적인 이송에 문제를 유발하게 되며 이로 인해 시스템의 고속화나 신뢰성에 큰 영향을 주게 된다.

이러한 현상은 마찰계수의 변화나 벨트의 강성 또는 초기 장력의 변화 등에 의해 발생하며, 롤러 축의 정렬 불량에 의해서도 발생된다.

본 논문에서는 Crowning 롤러 두 개와 평벨트 한 개로 구성된 벨트 장치의 조합으로 Fig.1과 같은 모델에서의 유연 매체가 이송 될 때의 거동을 다물체 동역학 해석 프로그램

램인 RecurDyn을 통해 시뮬레이션 해 보려 한다.

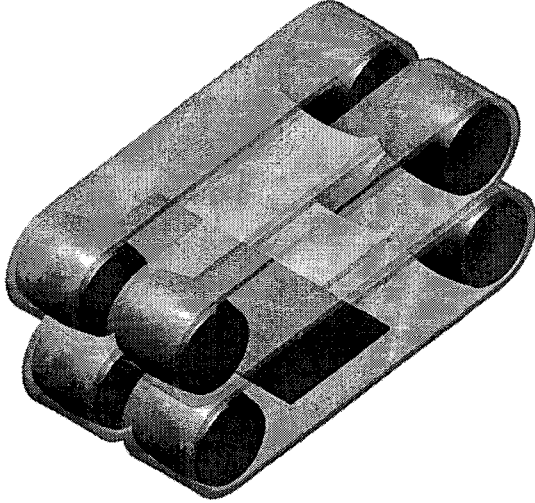


Fig.1 Belt model (4 set)

## 2.2 시뮬레이션 개요

### (1) 벨트모델

RecurDyn에서는 Crowning 롤러의 시뮬레이션을 위해서 Fig.2와 같은 노드(node)를 이용한 셸(Shell) 벨트 모델을 사용하고 있다.[3]

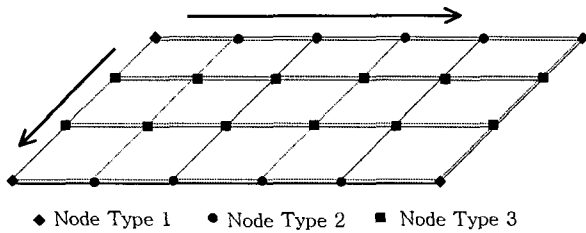


Fig.2 Nodal Masses and Moments of Inertia

노드를 이용한 셸 벨트의 모델에서 관성모멘트  $I$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = \begin{bmatrix} \frac{m}{12} \left[ \left( \frac{L_2}{n_2-1} \right)^2 + h^2 \right] & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{12} \left[ \left( \frac{L_2}{n_2-1} \right)^2 + \left( \frac{L_1}{n_1-1} \right)^2 \right] & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m}{12} \left[ \left( \frac{L_1}{n_1-1} \right)^2 + h^2 \right] \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $n_1$ 는 길이방향의 노드의 수이며,  $n_2$ 는 폭 방향의 노드의 수이다.  $L_1$ 은 길이방향의 요소(Element)의 길이이며,  $L_2$ 는 폭 방향의 요소(Element)의 길이이다. 질량계수  $m$ 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$m = \frac{M}{1 + n_1 n_2 - n_1 - n_2} \quad (2)$$

각 노드의 질량은 식 (3)과 관성모멘트는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Type I} &= \frac{m}{4} && \text{for nodes at four corners} \\ \text{Type II} &= \frac{m}{2} && \text{for nodes on four edges} \\ \text{Type III} &= m && \text{for internal nodes} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Type I} &= \frac{I}{4} && \text{for nodes at four corners} \\ \text{Type II} &= \frac{I}{2} && \text{for nodes on four edges} \\ \text{Type III} &= I && \text{for internal nodes} \end{aligned} \quad (4)$$

### (2) 시뮬레이션 모델

본 논문에서 사용한 모델은 Fig.3 과 같은 두 개의 Crowning 롤러와 하나의 평벨트로 구성된 모델을 사용하여 모델과 모델 사이에서의 유연매체를 이송하는 시스템이다.

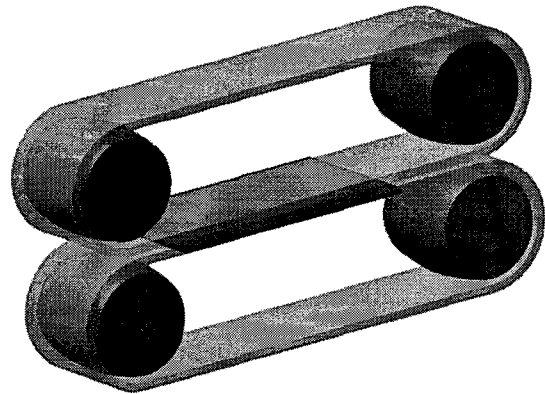


Fig.3 Belt model (2 set)

유연 매체 이송 시스템을 시뮬레이션 하기 위해 가정된 조건은 다음과 같다.

- 롤러의 회전축은 벨트의 가진에 의해서만 진동하게 된다.
- 롤러 회전축의 베어링에 의한 진동은 무시한다.
- 롤러의 회전 속도는 두 쌍의 벨트 모델 모두 6rad/sec이다.
- 두 쌍의 벨트 모델은 정확히 같은 형상이며 비교 모델의 경우 아래 벨트 모델에 대해서만 변형을 가하였다.[4]

### (3) 시뮬레이션 방법

유연 매체 이송 시스템의 문제가 발생 하였을 때의 거동 특성을 알아보기 위해서 본 논문에서는 기본 모델(reference model)과 벨트의 초기장력이 변화 되었을 때 모델을 시뮬레이션 하여 두 모델의 시뮬레이션 결과를 비교하여 신호의 차이를 알아보려한다

## 3. 시뮬레이션 해석 결과

### 3.1 기본 모델

RecurDyn에서 쉘 벨트 모델은 벨트의 초기 장력이 안정화 되는 시간이 필요하다. 그래서 유연 매체를 제거하여 Fig.4와 같이 모델링을 한 후 먼저 정해석(static analysis)을 하였다. 그 결과를 이용하여 벨트와 벨트 사이에 유연매체를 모델링하여 Fig.5와 같은 모델을 사용하여 시뮬레이션 하였다.

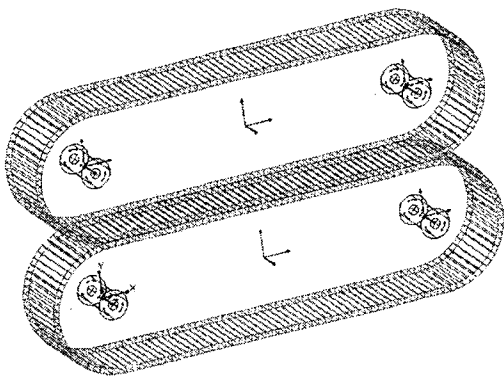


Fig.4 Simulation model for static analysis (Recurdyn)

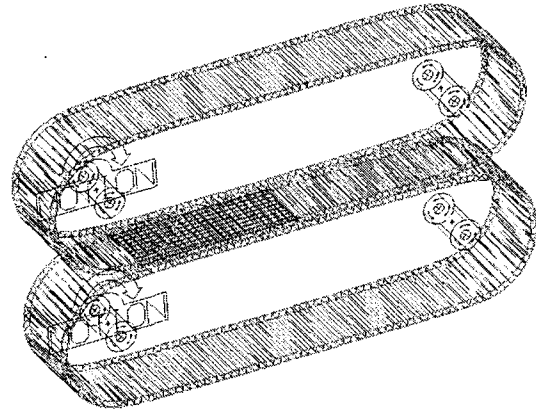


Fig.5 Simulation model (Recurdyn)

기본 모델의 구동 특성을 알아보기 위해 종동축(從動軸)의 조인트(revolute joint) 부분에 반력에 대하여 살펴보았다.

Fig.6은 아래 종동축의 반력에 대한 성분을 FFT 한 결과이다. 그래프 상에서 보면 한곳에 피크가 나타나고 다른 주파수에는 별다른 특징이 없다 이것은 벨트의 가진 주파수의 영향이 커서 나타나는 결과이다.

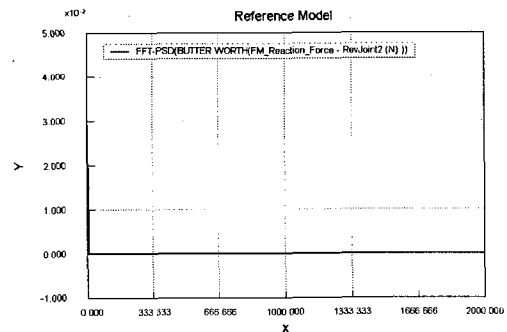


Fig.6 Reaction force on a follow shaft (FFT)

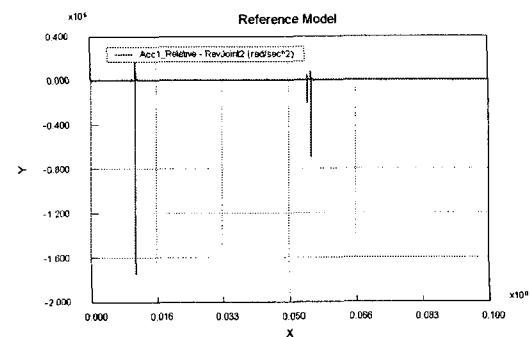


Fig.7 Acceleration of a follow shaft

민감한 센싱을 위해 가속도 성분을 살펴보았다. Fig.7은 가속도에 대한 정보를 나타내고 있으며, Fig.8은 가속도 성분에 대한 정보를 FFT한 결과이다.

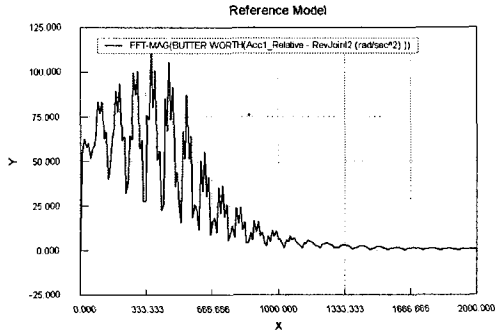


Fig.8 Acceleration of a follow shaft (FFT)

### 3.2 초기장력의 변화

초기 장력이 변화 되었을 때 시스템 거동의 특성을 알아보기 위해서 아래 벨트의 초기 장력의 변화를 주어 시뮬레이션 하였다.

Fig.9는 아래 중동축의 가속도 성분을 나타내며, Fig.10은 가속도 성분을 FFT 한 결과이다.

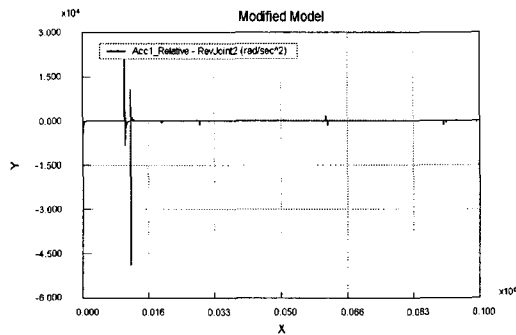


Fig.9 Acceleration of a follow shaft

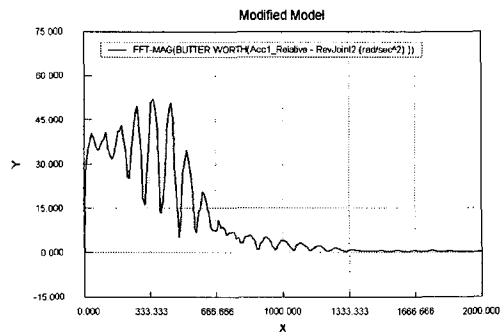


Fig.10 Acceleration of a follow shaft (FFT)

기본 모델의 결과와 초기장력의 결과를 비교하여 볼 때 피크의 주파수가 차이가 있음을 발견할 수 있다.

## 4. 결론

Crowning 롤러의 거동에 대한 해석은 실험이나 유한해석과 같은 여러 방법들을 통해 시도되어 왔다. 그러나 Crowning 롤러와 벨트를 모델링하여 유연 매체를 이송하는 다물체 동역학 해석은 아직은 많은 부분 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 다물체 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn을 사용하여 Crowning 롤러의 벨트 시스템을 노드의 개념으로 모델링하여 유연 매체를 이송할 때의 거동 특성을 알아보았다.

벨트 초기 장력의 변화라는 문제가 발생 하였을 때 벨트의 거동이 어떻게 달라지는지 시뮬레이션 하였으며 중동축의 가속도 성분을 통하여 고장의 원인과 진단의 가능성을 제시하였다

유연매체 이송 시스템의 고장의 원인은 벨트의 초기장력과 더불어 여러 가지가 있으며 이 부분에서도 계속 시뮬레이션을 통해 유연 매체의 거동 특성에 대한 해석들이 이루어질 예정이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 성장 동력 중기거점/차세대 신기술 개발 사업으로 지원, 수행 되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) H. Cheng, S. Yanabe, Y. Iwata, H. Sato, T. Komatsuzaki, K. Sato, 2002, "Belt Centering Effect of Crowning Roller", 日本機械學會論文漢, pp.71 ~ 77
- (2) Gerbert, G., 1996, "Flat belt axial motion" Trans. ASME, Power Transmission Gearing Conf., DE-Vol. 88, pp.443~452
- (3) "Recurdyn manual 6.1", Functionbay
- (4) N .H. Lee, S. H. Lyu, J. C. Koo, and Y. S. Choi, 2005, "Simulation for Defect Diagnosis in Belt Transport System," , 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp.564~568.