

## 급지 장치에서의 미끄러짐 현상에 대한 연구

유재관\*, 이순걸, 임성수, 김시은 (경희대학교 기계공학과)

### A Study on Slipping Phenomenon in a Media Transport System

J. K. Ryu, S. G. Lee, S. S. Rhim, S. E. Kim (Dept. of Mech. Eng., Kyung Hee University)

#### ABSTRACT

A media-feeding (or media-transport) system is a key component in daily consumer systems such as printers, copiers and ATM's. The role of the media-transport system is to feed a medium, which is usually in the form of a thin film, to the main process in a uniform and repeatable manner. Even small slippage between the media and the feeding rollers could significantly degrade the performance of the entire system. The slippage between the medium and the feeding rollers is determined by many parameters which include the friction coefficient between the feeding rollers and the medium material, the angular velocity of the feeding rollers, and the normal force applied by feeding rollers on the medium. This paper investigates the effect of the normal force and the angular velocity of feeding rollers on the slippage of the medium. Authors have constructed a test bed for experiments, which consists of a feeding module and various measuring devices. Using regular paper as media being fed, the authors experimentally measured the slippage of the medium under various normal forces and angular velocities of driving feeding roller. Also the authors developed a novel two-dimensional simulation model for the media-transport system. The paper medium is modeled as a set of multiple rigid bodies interconnected by revolute joints and rotational springs and dampers. Simulations were executed using a multi-body dynamic analysis tool called RecurDyn<sup>®</sup>. The slippage obtained by the simulation is compared to experimental results.

**Key Words:** Media Transport System(매체이송장치), Slipping(미끄러짐), Normal Force(수직항력), Friction Coefficients(마찰계수)

#### 1. 서론

매체이송시스템(media transport system)은 프린터나 복사기, ATM 기기, 자동 개표기, 필름현상장치 등에서 매우 핵심적인 부분으로, 종이나 필름 등의 매체를 마찰계수가 높은 물질로 코팅된 한 쌍 또는 (연속적으로 배열된) 여러 쌍의 롤러들을 이용하여 각 장비의 주 처리 부분에 공급한다. 각 장비의 종합적 성능은 매체이송부가 얼마나 균일한 이송속도로, 얼마나 빠르고 반복적으로 각 장비의 주 처리 과정에 매체를 공급해줄 수 있는가에 큰 영향을 받는다. 그런데, 매체와 롤러 사이에 발생하는 미끄러짐(slippage)은 주 처리 과정에서 매체의 불 균일한 이송을 일으켜 장비의 전체 성능을 저하시킨다. 따라서 앞서 언급한 여러 장비들의 성능을 향상시키기 위해서는 매체의 미끄러짐 현상에 대한 연구는

필수적이다. 매체와 롤러와의 미끄러짐 특성은 롤러와 매체사이의 마찰계수, 구동롤러의 선속도 특성, 구동롤러와 종동롤러로 부터 매체가 받는 수직항력 등등의 많은 인자에 의해 영향을 받게 된다. 지금까지 몇몇 연구자들은 여러 인자들이 매체의 미끄러짐에 미치는 영향에 대해 소수의 연구를 수행하였고, 또 현재 몇 가지 연구가 진행 중에 있으나, 아직 수직항력과 구동롤러의 선속도에 따른 용지의 거동에 대한 연구결과는 보고되지 않았다. 한편 최근까지의 매체 이송시스템의 메커니즘에 대한 주된 연구 및 설계는, 실험적인 시행착오에 의해 수행되어 왔다. 그러나 이 시행착오 방법은 개발 시간과 비용이 많이 드는 방법으로 매우 비효율적이라 할 수 있다. 더욱이 준-정적이고 동적인 변형을 야기시키는 복잡한 프로세스를 거치는 동안 매체가 갖는 동역학적 상태를 상세하고 정밀하게 분

석할 수 없었다.

Cho 와 Choi[2], Ashida[1]는 매체 이송시스템에 대하여 2 차원 다 물체 기법을 이용한 컴퓨터 모델링 방법과 접촉력 계산방법을 제안하였고, Diehl[3]은 유한 요소 법(finite element method)과 실험적 측정으로 비선형의 납 메커니즘을 연구하였다. 그리고 Stolte 와 Benson[4,5]는 용지를 빔 요소(beam element)로 모델링하고 용지의 동적 처짐과 용지가 가이드와의 접촉을 했을 때 발생하는 접촉력과 마찰력을 수치해석기법으로 연구하였다. Yanabe 는 상용 FEM 프로그램을 이용하여 롤러와 용지를 유한 요소 법으로 분석, 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교하였다.

본 연구에서는 용지와 롤러 사이의 수직항력과 구동롤러의 선속도에 따른 용지와 롤러간의 미끄러짐 특성 변화를 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 분석, 연구하고, 그 결과를 토대로 매체이송시스템 설계 시 활용될 수 있는 기본적인 가이드라인을 제공하고자 한다. 이를 위해 급지 시스템을 직접 제작하고 수직항력과 구동롤러의 선속도를 변경하며 급지실험을 진행한다. 그리고 Cho 와 Choi[2]가 제안한 용지의 2 차원 다물체 모델링을 응용하여 급지 시스템의 시뮬레이션 모델을 만든다. 이 모델을 이용하여 실험과 같은 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 후, 시뮬레이션에서 구한 용지의 거동결과가 실험을 통해 측정된 결과와 일치하는지 확인한다. 그리고 비교된 결과를 토대로 다물체 시뮬레이션 모델을 통한 매체이송장치 설계방법의 유용성을 확인한다.

## 2. 실험 장비 구성

### 2.1 실험 장비

본 연구에서 제작한 급지 시스템은 마찰계수가 높은 물질로 코팅된 세 쌍의 롤러의 마찰력을 이용하여 종이를 이송시키는 시스템 구조이다. 그림 1(a)는 자체 제작한 매체이송장치이다.

실험 장치에서의 주요 부분은 구동 롤러와 중동롤러로 구성되어 있는 한 쌍의 회전축이다. 두개의 회전축은 세 쌍의 롤러들로 구성되어 있고 롤러는 회전축에 고정되어 있고 우레탄으로 1mm 로 코팅되어 있고 지름이 20mm 이다. 그림 1(b)에서처럼 상단 축은 구동롤러 축이고 하단 축은 중동 롤러 축이다. 하단의 중동 롤러 회전축의 양끝에는 위치 조절기를 만들어 양쪽에 동일한 힘을 가할 수 있도록 조절기를 만들었다. 이 부분은 중동 롤러의 높이를 조절하므로 세 쌍의 롤러에 걸리는 수직항력을 변화시키는 장치이다.

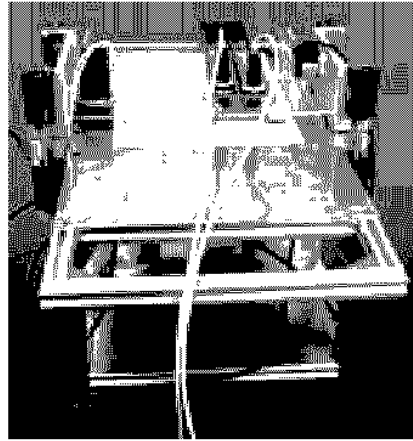


Fig. 1(a) Picture of MTS Test-bed

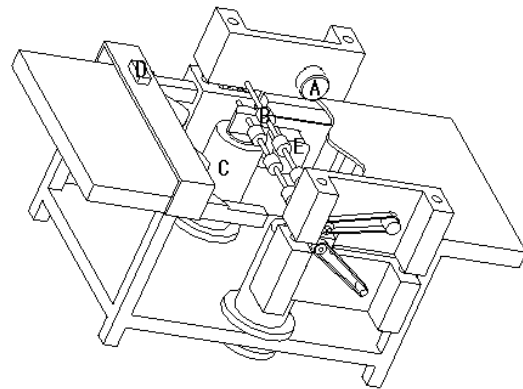


Fig. 1(b) 3D view of CAD drawing of test-bed

그림 1(b)에서 A 로 마크되어 있는 실린더부분이다. 그리고 수직 항력은 중동 롤러 회전축의 양 끝에 연결하여 실린더 안에 있는 두개의 로드 셀(SBL-50L, CAS)로 측정하도록 하였다. 그리고 용지 급지 장치에서 중요한 인자인 롤러의 각속도는 그림에서 B 로 마크되어 있는 로터리 엔코더(2000 pulse/rotation, s40 series, AUTONICS)에 의해 측정된다. 그리고 종이의 이송 속도를 측정하기 위해 레이저 on/off 센서(S40-PH-5-C03, DATASENSOR)를 이용하여 측정하였다. 종이 이송속도의 측정 레이저 센서는 그림에서 D 로 표시되어 있다. 그리고 구동롤러를 돌리기 위해서 스텝 각이 1.8° 인 스텝모터(KH56-951, JAPAN SERVO)를 사용하였다. 모터 드라이버는 모터의 진동을 줄이기 위해서 마이크로 스텝드라이버(LB340, CONVEX)를 사용하였다. 그리고 실험 장치를 수평계를 이용하여 수평을 조

절할 수 있도록 실험장치 네 다리의 높이를 조절할 수 있도록 하였다. 그리고 실험 장비의 프레임은 롤러의 위치 등을 조절이 가능하도록 알루미늄 프로파일을 사용하였다. 그리고 구동롤러와 정동롤러가 서로 수직으로 접점이 가능하도록 리니어 부싱을 사용하였다. 그리고 리니어 부싱 4 개를 연결하여 롤러가 서로 뒤틀리거나 흔들리는 것을 방지하였다.

## 2.2 마찰계수 측정

급지 장치에서 용지는 종이와 롤러간의 마찰력에 의해 이송된다. 그래서 급지 메커니즘을 연구하기 위해서는 롤러와 종이간의 마찰계수를 정확하게 측정하는 것이 매우 중요하다. 따라서 실험장비의 롤러와 종이간의 정지마찰계수와 운동마찰계수를 측정하기 위해 마찰각 측정장비를 제작하였다. 마찰각과 마찰계수간의 관계는 식(1)으로 표현된다. 마찰력  $F$  는 마찰계수  $\mu$  와 수직항력  $N$  곱으로 표현되는데 빗면에서 미끄러지는 용지와 빗면(마찰각,  $\theta$ )과의 관계는 아래와 같이 전개된다.

$$mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$$

$$\mu = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta}$$

$$\mu = \tan \theta \quad (1)$$

### 2.2.1 최대정지 마찰계수

롤러가 미끄러지기 시작할 때의 각도를 기준면과 측정장치의 판과의 기울기를 측정하였다. 정밀도를 높이기 위해 결과 그림 3 과 같이 측정을 50 회 정도 반복 측정 하였다. 측정된 값의 평균 마찰각은  $44.61563^\circ$  이다. 이 평균 마찰각으로 종이와 롤러 사이의 최대 정지 마찰계수로 계산하면 0.987 이다.

### 2.2.2 운동 마찰계수

운동 마찰력은 최대 정지마찰력보다 작기 때문에 초기에 최대 정지 마찰력을 넘어 설 수 있도록 일정한 힘으로 충격을 가하고 롤러가 움직이기 시작하면 경사를 낮추어 롤러가 등속운동을 할 때의 기울기를 측정했다. 같은 측정을 100 회 반복하였다. 롤러가 등속 운동할 때 마찰각은  $23.94^\circ$  이고 마찰계수로 계산하면 0.444 이다.

## 2.3 용지 특성

본 논문에서 실험의 신뢰성을 보장하기 위해서

질이 균일한 용지(Double A 지)를 선택하였다. 일반적으로 종이의 특성을 평량으로 말하는데 논문에서 사용한 용지의 평량은  $80 g/m^2$  이다. 용지의 가로와 세로 크기는  $210 mm \times 294 mm$  이고 용지의 두께는  $0.1 mm$  이다.

용지 이송속도의 측정하기 위해서 용지에 레이저 프린터(1200dpi, ML-6085, SAMSUNG) 이용하여 두께  $0.3 mm$  선(폭  $70 mm$ )을 설계 프로그램인 Auto CAD 로  $0.3 mm$  간격으로 460 개 인쇄하였다. 하지만 인쇄된 용지의 선을 이송속도 측정 기준으로 잡기에는 선, 공백의 길이가 신뢰성이 부족하기 때문에 최대 정밀도가  $1 \mu m$  인 비 접촉 형상 측정 장비(Video-Check-L400, Werth Messtechnik GmbH)를 사용하여 측정하였다. 예상했던 것처럼 선과 공백의 길이가 일정하지 않다. 따라서 각각 선과 공백의 길이 측정 결과를 MATLAB Simulink 의 특업(Look-up) 테이블의 출력벡터에 입력하여 실험에서 용지의 이동거리에 대한 보정 자료로 사용하였다.

## 3. 시뮬레이션

### 3.1 시스템 모델

본 논문에서 매체 이송 장치의 급지 과정을 동역학적 해석을 하기 위해 용지를 댐퍼와 회전 스프링, 조인트로 서로 연결된 2 차원 다 물체로 모델링 하였고, 구동롤러와 정동 롤러 한 쌍과 선형가이드와 외력으로 전체 시스템을 구성하였다. 용지는 서류 출력용으로 많이 사용되는  $210mm \times 297mm$ 의 A4 을 모델로 전체 99 개 강체 바다로 나누어 다 물체 모델링을 하였다. 구동롤러는 고정된 롤러로 표현하였고 정동 롤러는 상하로 움직일 수 있게 하여 수직항력을 변화 시킬 수 있게 하였다. 그림 4 은 동역학 분석 프로그램인 RecurDyn®에서 실험 메커니즘을 표현한 2 차원 시뮬레이션 모델이다.

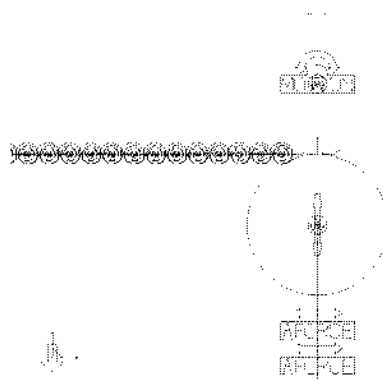


Fig. 2 2D simulation model of Media Transport System

표 1 는 급지 시스템의 동역학 데이터를 정리한

것이다.

Table 1 Dynamic property data of Media Transport System in RecurDyn®

Number of bodies	103
Number of joints	101
Number of applied force	2
Number of rotational spring damper	99
Total degree of freedom	103

### 3.2 시뮬레이션 결과

동역학 해석 프로그램인 RecurDyn®으로 매체 이송시스템을 수직항력과 구동플러의 선속도에 따른 용지의 미끄러짐 현상을 시뮬레이션 하였다.

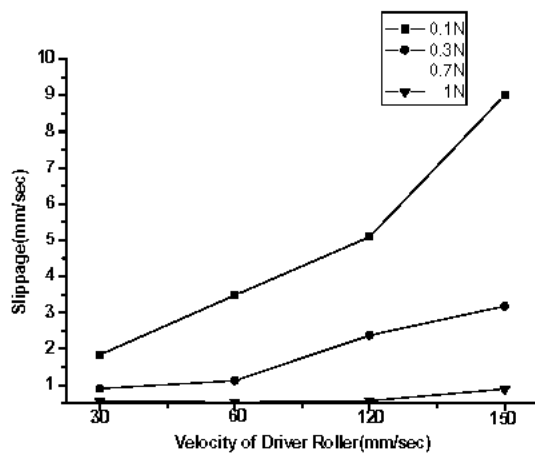


Fig. 3 Calculated slippage between driving roller and paper medium from simulation

수직항력은 0.1N, 0.3N, 0.7N, 1N으로 변화시켰고 30mm/sec, 60mm/sec, 120mm/sec, 150mm/sec으로 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션 결과는 시스템 모델에서 수직항력과 구동플러의 선속도에 따른 구동플러와 용지, 용지와 중동 플러의 미끄러짐 현상을 보여주고 있다. 플러간의 수직항력이 커질수록 용지의 미끄러짐 현상이 줄어드는 것을 확인할 수 있는 반면에 구동플러의 선속도가 빨라질수록 용지의 속도가 빨라지나 용지의 미끄러짐 현상이 커지는 것을 볼 수 있다.

## 4. 실험

### 4.1 실험 구성

그림은 MATLAB Simulink와 xPC Target toolbox를 이용하여 구성된 시스템 블록도이다. 각각의 센서 값을 실시간으로 계측 저장하기 위해 host PC와 target PC로 구성하였다. Multi-function DAQ board(MF614, HUMUSOFT)를 이용하여 구동, 중동 플러의 선속도와 레이저 on/off 센서를 통해 들어오는 용지의 이송속도를 실시간으로 계측하도록 하였다. 아울러 플러의 선속도를 설정하는데 사용하였다.

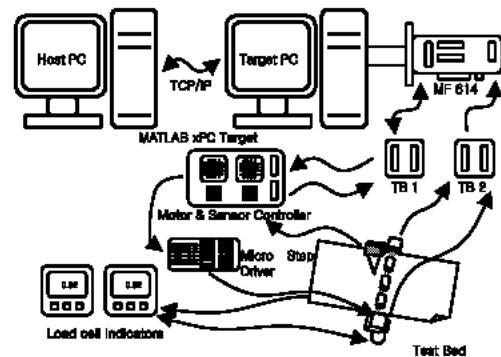


Fig. 4 Diagram of entire experimental setup

레이저 on/off 센서와 스텝모터의 인터페이스를 위해 ATmega 128을 이용하여 모터, 센서 제어를 만들어 MF614의 디지털 IO 단자에 연결하였다. 그리고 앞에서 설명한 수직항력은 load-cell indicator로 측정하고 조절기를 통해 조절하게 된다.

### 4.2 실험 결과

실험 결과는 2장에서 소개한 매체 이송시스템을 이용하여 수직항력과 구동플러의 선속도에 따른 용지의 미끄러짐 현상을 실험하였다. 수직항력은 0.1N, 0.3N, 0.7N, 1N으로 변화시켰고 30mm/sec, 60mm/sec, 120mm/sec, 150mm/sec으로 실험을 진행하였다. 그리고 매트랩의 Real-Time Workshop과 xPC Target을 이용하여 구동플러, 중동 플러의 속도와 용지의 이송속도를 동시에 온라인으로 수집하였다.

실험 결과에서도 정도의 차이가 있지만 수직항력과 구동플러의 선속도에 따른 구동플러와 용지, 용지와 중동 플러의 미끄러짐 현상을 보여주고 있다. 플러간의 수직항력이 커질수록 용지의 미끄러짐 현상이 줄어드는 것을 확인할 수 있는 반면에 구동플러의 선속도가 빨라질수록 용지의 속도가 빨라지나 용지의 미끄러짐 현상이 커지고 크게 흔들리는 것을 볼 수 있다. 그리고 결과그래프에서 유의해서 볼 것은 용지와 중동 플러가 일정한 주기로

진동하는 것을 볼 수 있는데 이것은 플러 축인 열처리 붕이 휘어짐에 따른 현상과 플러의 가공정밀도가 떨어져서 생기는 현상이다. 열처리 붕의 휘어짐과 플러의 불 균일한 가공상태는 결국 수직항력에 영향을 주기 때문에 시뮬레이션에서 볼 수 있는 일정한 미끄러짐 현상과는 다르게 나타났다. 그리고 일정한 크기의 A4 용지를 사용하여 측정하였기 때문에 측정할 수 있는 카운트 개수는 한정되어 있고 레이저 센서에서 계측할 수 있는 해상도가 낮기 때문에 용지의 속도를 세밀하게 표현하기 어렵다. 그래서 각각의 실험에서 샘플링 시간을 다르게 적용하는 방법을 사용하였다.

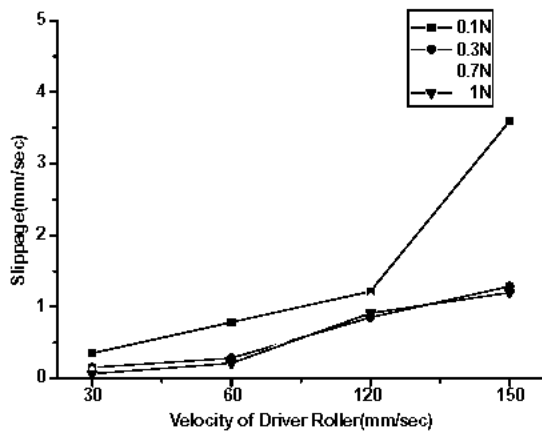


Fig. 5 Measured slippage between driving roller and paper medium from experiments

## 5. 결론

본 연구에서는 프린터나 복사기, ATM 기, 자동 개표기, 필름현상장치등과 같은 매체 이송장치에서의 수직항력과 속도에 따른 미끄러짐 현상을 시뮬레이션과 실험을 통해 비교, 확인하였다.

매체 이송시스템에서 매체의 미끄러짐의 현상은 전체 시스템의 주된 성능 저하요인으로 시스템을 설계 시 충분히 고려해야 할 부분이다. 이 미끄러짐 현상은 본 연구에서 시뮬레이션과 실험을 통해 확인된 것처럼 플러간 수직항력이 작아질수록 크게 커지고 구동플러의 선속도가 빠를수록 커짐을 정량적으로 확인할 수 있었다. 특히, 플러와 용지간의 미끄러짐 현상이 수직항력이 커질수록 급격히 없어지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 미끄러짐 현상을 제거하기 위해서 수직항력을 크게 유지하는 것은 고무 등의 탄성물질로 되어 있는 플러간에 접

촉면을 크게 하고 플러의 수명을 크게 단축하는 결과를 야기시킨다. 따라서 매체 이송시스템에 대해 적절한 수직항력과 이송속도의 관계를 결정해 주어야 한다.

실험 결과에서 종동 플러의 축이 휘어짐과 플러의 우레탄 가공상태가 정밀하지 않아서 생기는 주기적인 진동현상이 나타났다. 차후에는 시스템의 3차원 모델링을 통해 축의 힘 등의 여러 외란 요소를 정확하게 분석할 예정이다.

## 후 기

경희대학교 로봇 및 메카트로닉스 연구실 차호영씨 도움에 감사의 말 전합니다.

## 참고문헌

1. Ashida, T., "Technical Meeting", Miyanodai Technology Development Center, Fuji Film Inc. Japan, 2002.
2. Cho, H., Choi, J., "2DMTT development specification", Technical report, FunctionBay Inc. 2001.
3. Diehl, T., "Two dimensional and three dimensional analysis of nonlinear nip mechanics with hyperelastic material formulation", Ph. D. Thesis, University of Rochester, Fuji Film Inc. Japan, 1995.
4. Nishigaito, T., Okuna, K., Ishii, H., "A Method for Analyzing Paper Behavior to Prevent Slippage of Transferred Image in Laser Printers", JSME, Vol. 60, NO. 557, pp. 272-278, 1994.
5. Okuna, K., Nishigaito, T., Shina, Y., "Analysis of Paper Deformation Considering Guide Friction", JSME, Vol. 60, NO. 575, pp. 75-80, 1994
6. RecurDyn® 2D MTT Toolkit Manual, FUNCTIONBAY Inc.
7. MATLAB xPC Target Toolbox Manual, MATHWORKS Inc.