

디지털 복합기 용지이송기구의 가진원 분석

Analysis on Vibration Source of Sheet Feeding Apparatus for Digital MFP (Multi-Functional Product)

김형래* · 서홍승** · 정진태†

Hyoungrae Kim, Hongseung Seo and Jintai Chung

Key Words : Printer(프린터) MFP(복합기) Sheet feeding apparatus(용지이송기구) Gear train(기어열) vibration Source (가진원)

ABSTRACT

In this paper, we investigate the vibration source of sheet feeding apparatus installed in scanner cover of the digital MFP through frequency analysis. Gearmesh frequency and motor generated frequency were calculated to analyse autospectrum. During driving state, we measure the vibration level. It was found from the signal analysis that gearmesh frequency and motor generated frequency are identified as vibration source

기 호 설 명

- f : 모터 회전 주파수(Hz)
- Y : 모터 가진 주파수(Hz)
- X : 기어 물림 주파수(Hz)
- N : 기어 잇수(개)

1. 서 론

디지털 복합기(MFP: Multi-Functional Product)는 가정이나 사무실에 쓰는 일반 프린터(Printer)에 스캐너(scanner), 팩스기(Fax)등의 복합적인 기능을 가지는 사무기기를 지칭한다. 따라서 여러 가지 기능을 하나의 기기에서 사용할 수 있기 때문에 공간절약, 기능대비 저렴한 가격으로 사무실은 물론 일반 가정의 사무기기를 대체 해 왔다.⁽¹⁾

디지털 복합기는 다양한 기능을 위해 복잡한 구조를 가지게 되어 소음 및 진동이 일반 사무용 기기

들에 비해 크다. 특히 복사기능의 수행 시 프린터의 작동과 함께 스캐너, 용지 이송기구 등의 작동 소음이 함께 나타나기 때문에 사용자가 불편함을 느끼게 된다. 또한 복사 속도의 향상을 위해서 용지 이송기구의 구동 속도 증가와 함께 소음 및 진동이 크게 증가 되었다. 따라서 용지 이송기구의 초기 설계 단계에서부터 진동 및 소음에 대한 고려가 이루어져야 하며 이를 위해서는 소음 및 진동의 원인을 파악해야 한다. 디지털 복합기에서 인쇄 시 나타나는 소음 및 진동은 몇 가지로 구분 할 수 있다. 용지 이송시 나타나는 마찰음, 모터 작동시 나타나는 소음/진동, 기어와 용지 이송 롤러의 구동시 발생하는 소음/진동과 프레임의 구조 진동으로 나눌 수 있다. 따라서 가진원 분석을 위해서는 구동 모터의 진동 뿐만 아니라 기어, 롤러 등의 모든 회전 부품에서 외력이 발생함으로 각 외력의 주요 주파수를 분석 하여야 한다.⁽²⁾

디지털 복합기 용지 이송기의 소음 및 진동 연구는 소음에 관련된 연구가 진행 되었다. Cho는⁽¹⁾ 디지털 복합기용 용지이송기구의 소음저감을 위한 실험적 연구에서 부하 작용, 부품 결합, 조립 정밀도 및 축간 거리를 주 소음원으로 하여 실험을 수행하

† 교신저자; 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031)400-4735, Fax : (031) 406-6964

* 한양대학교 일반대학원 기계공학과
** 한양대학교 일반대학원 기계공학과

고 분석결과를 바탕으로 용지 이송기구의 소음저감 위한 실험을 수행하였다. 이 연구에서 주요 소음원 인은 조립 정밀도이며, 축간 거리의 영향은 작다는 것을 밝혔다. 하지만 앞서 전술 했던 네 가지의 주 소음원 이외에 기어의 맞물림, 스텝 모터의 특성과 모터휨(Fan)에 의한 공력 등의 소음/진동도 존재 한다.

본 논문에서는 레이저 복합기의 스캐너 커버 상단에 장착되어 있는 용지이송기구 기어열의 가진원을 분석 하였다. 실험은 용지 이송기구의 모든 기어 열이 회전을 하는 시험용 작동 모드에서 실험을 수행 하였다. 주파수 분석을 통하여 용지 이송기구의 진동 특성을 기어 물림 주파수(GMF: Gearmesh frequency)와 모터 가진 주파수(Motor generated frequency)를 계산하여 파악 하였다.

2. 디지털 복합기 용지 이송기구의 구조

디지털 복합기는 대량의 복사나 스캔기능을 수행 할 시 스캐너의 스캔장치인 CIS(Contact Image Sensor)는 고정되어 있고 용지 이송기구가 원고 급지대(Sheet Stacker)에서 원고를 CIS로 이송한다. 그리고 원고가 원고 받침대(Sheet Rack)로 일정한 속도로 이송되면서 CIS가 원고의 내용을 스캔한다.

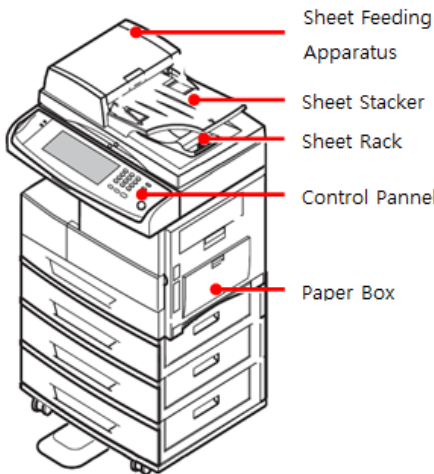


Fig. 1 Digital Multi-Functional Product

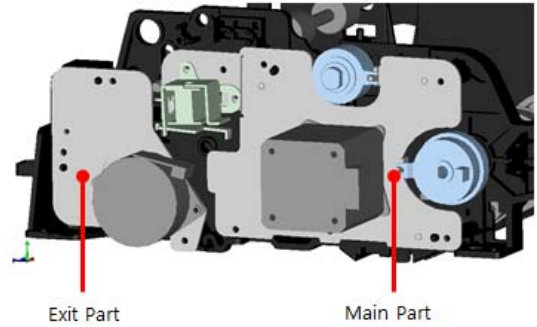


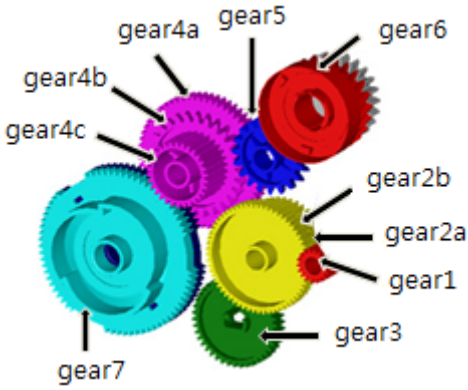
Fig. 2 Structure of sheet feeding apparatus

Fig. 2 에서처럼 용지 이송기구 시스템은 크게 두 부분으로 역할에 따라 나눌 수 있다. 오른쪽 기어열은 이송부(Main part)로 원고를 스캐너로 이송하는 역할을 하며, 왼쪽 기어열은 반송부(Exit part)로 원고를 스캔하는 동안 원고 받침대로 반송하는 역할을 한다.

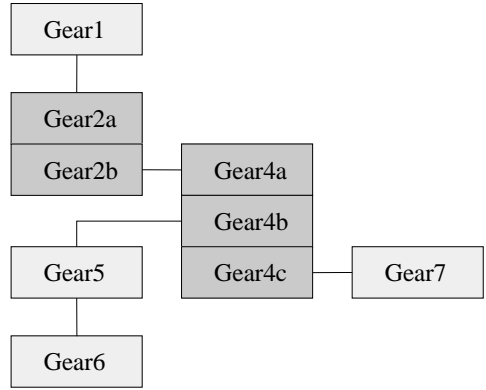
이송부 시스템은 한 개의 스텝핑 모터(step motor), 두 개의 클러치(Clutch) 그리고 13개의 기어로 구성되어 있다. 스텝핑 모터는 이송부 시스템을 구동시키는 동력원이다. 스텝핑 모터의 동력은 스텝핑 모터의 기어를 중심으로 두 부분으로 동력이 전달되기 때문에 다시 두 부분으로 나눈다. 두 개의 클러치는 일정한 간격을 두고 정지, 동작을 반복하여 적절한 타이밍에 원고를 CIS로 이송시키는 역할을 한다. 따라서 클러치의 불연속적인 동작은 진동 및 소음에 큰 영향을 주는 것이 자명하므로 본 연구 대상에서 제외한다. 반송부 시스템은 한 개의 스텝핑 모터와 6개의 기어로 구성되어 있다. 스텝핑 모터는 이송부 시스템의 기어와 마찬가지로 반송부 시스템을 구동시키는 동력원이다.

Fig. 3(a)는 이송부 기어열의 좌측 부분의 기어열을 나타낸다. 이송부 기어열의 구성은 6개의 기어로 구성되어 있으며, 우측부와 모터기어를 공유하고 있다. 한편 기어 4c는 기어 7과 맞물리는데, 기어 7번은 슬레노이드에 의해서 불연속적으로 회전하는 기어이므로 분석 대상에서 제외 한다.

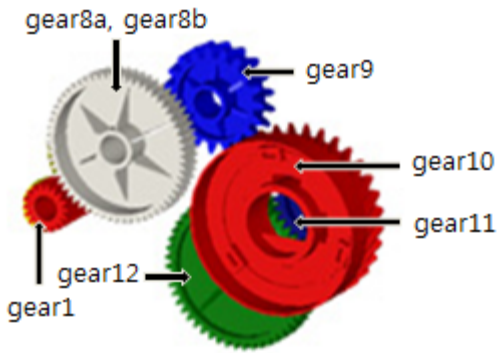
이송부 기어열의 우측부는 Fig. 3(b)에 나타나 있다. 이송부 기어열의 우측부의 구성은 5개의 기어와 한 개의 모터기어 그리고 한 개의 클러치 기어로 이루어져 있다. 한편, 기어 11과 기어 12는 클러치 기어와 연결되어 있어 분석 대상에서 제외 한다.



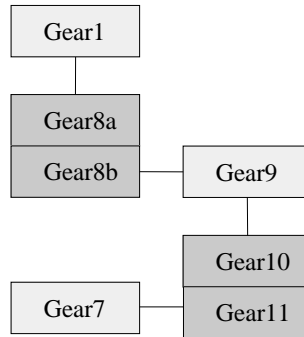
(a) Gear train of left main part



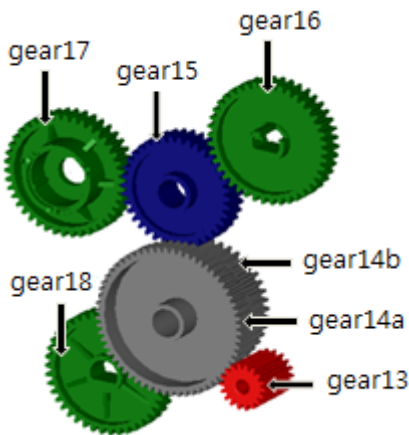
(a) Gear train of left main part



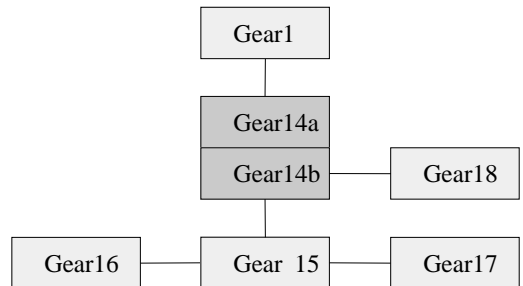
(b) Gear train of right main part



(b) Gear train of right main part



(c) Gear train of exit part



(c) Gear train of exit part

Fig. 3 Structure of gear train

Fig. 4 Schematic diagram for the gear train

반송부 기어열은 Fig. 3(c) 와 같이 6개의 기어로 구성된다. 기어 13은 스텝모터의 기어이다. 이송부와 반송부의 기어의 개략도는 Fig. 4 에 나타나 있다. 한편 이송부와 반송부의 기어 명칭과 기어의 재원은 Table 1 에 나타나 있고 스텝 모터의 재원은 Table 2 에 나타나 있다.

Table 1 Specifications of step motor

Part	Step Angle	Number of Step	Number of Phase	Number of Rotor teeth
이송부	1.8°	200	4	50
반송부	3.75°	96	2	48

Table 2 Number of gear teeth for each part

Gear Number	Gear Name	Number of Teeth
Gear1	이송 모터 기어	$N_1 = 18$
Gear2a	2단 아이들 기어(1)	$N_{2a} = 62$
Gear2b		$N_{2b} = 44$
Gear3	이송 가이드 기어(1)	$N_3 = 42$
Gear4a	3단 아이들 기어	$N_{41} = 62$
Gear4b		$N_{42} = 28$
Gear4c		$N_{43} = 30$
Gear5	헬리컬 기어(1)	$N_5 = 19$
Gear6	클러치 기어(1)	$N_6 = 24$
Gear7	실험 대상 제외	실험 대상 제외
Gear8a	2단 아이들 기어(2)	$N_{21} = 60$
Gear8b		$N_{21} = 21$
Gear9	헬리컬 기어(2)	$N_3 = 19$
Gear10	헬리컬 기어(2)	$N_4 = 32$
Gear11, 12	실험 대상 제외	실험 대상 제외
Gear13	반송 모터 기어	$N_{13} = 18$
Gear14a	2단 아이들 기어(3)	$N_{2a} = 64$
Gear14b		$N_{2b} = 44$
Gear15	아이들 기어	$N_3 = 42$
Gear16	가이드 기어(1)	$N_{16} = 42$
Gear17	가이드 기어(2)	$N_{17} = 42$
Gear18	가이드 기어(3)	$N_{18} = 42$

3. 가진 주파수 분석

기계의 작동에 의해서 나타나는 주파수를 가진 주파수(Generated frequency) 라고 하는데 이는 질량 불평형(Imbalance), 깃 통과 주파수(Vane Pass

Frequency), 기어물림 주파수, 베어링의 내륜, 결합과 외륜 결합, 볼 회전주파수(ball spin frequency)등에 의해서 나타난다. 가진 주파수는 밝혀내기가 비교적 쉬운데 기계의 구성요소의 형상과 회전 속도를 알면 계산 할 수 있기 때문이다.⁽³⁾

기어 물림 주파수는 기어의 잇수와 축의 회전속도를 곱하여 계산한다. 두 개의 기어가 맞물리고 있다면 두 기어의 기어 물림 주파수는 같은 값을 가지게 된다. 반면, 복합 기어의 경우에는 기어 잇수가 다른 두 개의 기어가 같은 회전 속도로 회전 하므로 기어 물림 주파수는 다르게 나타난다.

본 실험에서 사용된 복합기 용지 이송기구의 이송부와 반송부의 기어1의 속도는 21.6Hz로 동일하다. 이를 이용하여 기어 물림 주파수를 계산하면, Table 3, Table 4, Table 5와 같고 반송부의 기어 물림 주파수는 2개의 주파수 성분인 X_1, X_2 로 나타난다. 또한, 이송부의 기어 물림 주파수는 4개의 주파수 성분이 나타나며 X_2, X_3, X_4, X_5 로 나타난다.

Table 3 Gear mesh frequency of right main part

Gear Number	Rotor Speed	GMF[Hz]		
		fN_1	X_3	
Gear1	f	fN_1	X_3	388
Gear8a	$\frac{N_1}{N_{8a}}$			
Gear8b	$\frac{N_1}{N_{8a}}$			
Gear9	$f \frac{N_1 N_{2b}}{N_{2a} N_9}$	$f \frac{N_1 N_{8b}}{N_{8a}}$	X_4	136
Gear10	$f \frac{N_1 N_{8b}}{N_{8a} N_{10}}$			

Table 4 Gear mesh frequency of left main part

Gear Number	Rotor Speed	GMF[Hz]		
		fN_1	X_3	
Gear1	f	fN_1	X_3	388
Gear2a	$\frac{N_1}{N_{2a}}$			
Gear2b	$\frac{N_1}{N_{2b}}$			
Gear3	$f \frac{N_1 N_{2b}}{N_{2a} N_3}$	$f \frac{N_1 N_{2b}}{N_{2a}}$	X_2	277
Gear4a	$f \frac{N_1 N_{2b}}{N_{2a} N_{4a}}$			
Gear4b	$f \frac{N_1 N_{2b}}{N_{2a} N_{4a}}$	$f \frac{N_1 N_{2b} N_{4b}}{N_{2a} N_{4a}}$	X_5	133
Gear5	$f \frac{N_1 N_{2b} N_{4b}}{N_{2a} N_{4a} N_5}$			
Gear6	$f \frac{N_1 N_{2b} N_{4b}}{N_{2a} N_{4a} N_6}$			

Table 5 Gear mesh frequency of exit part

Gear Number	Rotor Speed	GMF[Hz]		
		fN_{13}	X_1	390
Gear13	f	$f \frac{N_1 N_{2b}}{N_{2a}}$	X_2	277
Gear14a	$\frac{N_1}{N_{14a}}$			
Gear14b	$\frac{N_{13} N_{14b}}{N_{14a} N_{15}}$			
Gear15	$f \frac{N_{13} N_{14b}}{N_{14a} N_{15}}$			
Gear16	$f \frac{N_{13} N_{14b}}{N_{14a} N_{16}}$			
Gear17	$f \frac{N_{13} N_{14b}}{N_{14a} N_{17}}$			
Gear18	$f \frac{N_1 N_{2b} N_{4b}}{N_{2a} N_{4a} N_{18}}$			

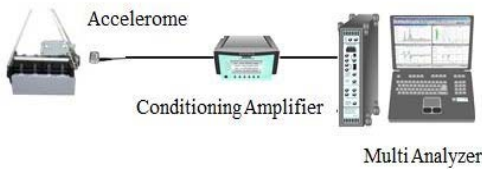


Fig. 4 Experimental setup for the vibration of the sheet feeding apparatus

또한, 스텝 모터의 가진 주파수는 회전자 이의 개수와 모터의 회전주파수를 곱하여 얻을 수 있다. 모터 회전 주파수는 이송부와 반송부가 21.6Hz로 동일하다. 반송부의 모터 가진 주파수는 1040Hz이고 이송부의 모터 가진 주파수는 1080Hz이다. 이 두 개의 모터 가진 주파수는 각각 Y_1, Y_2 로 나타낸다.

용지 이송기구에서 발생하는 진동의 크기와 가진 주파수를 분석하기 위하여, 용지 이송기구가 작동하는 동안 가속도계를 이용하여 진동신호를 채집하고 분석하였다. 용지 이송기구의 가진원을 규명하기 때문에 진동신호는 정상구간만을 고려하였다. 용지 이송기구의 작동 상태는 이송부와 반송부의 클러치, 슬레노이드와 관련된 기어를 제외한 나머지 기어들이 일정한 속도로 회전 한다. 실험의 경계조건은 자유단으로 하였다.

용지 이송기구의 진동신호를 측정하기 위한 실험 장치의 구성은 Fig. 4 와 같다. 가속도계는 베어링을 지지하는 판에 축 방향으로 부착하여 용지 이송기구의 진동신호를 채집하였다. 가속도계에서 채집된 진동신호가 미약한 전하신호이기 때문에 증폭된

전압신호로 바뀌어야 할 필요가 있어 상태증폭기(conditioning amplifier)를 사용 하였다. 증폭된 진동신호를 기록장치에 저장하고 난 후, 주파수 분석기를 이용하여 진동신호를 분석하였다. 가진 주파수의 성분을 명확히 나타내기 위해서 실험은 반송부 작동 시, 이송부 작동 시로 두 부분으로 나누어 수행 하였다. 반송부 측정시에는 이송부의 스텝 모터를 정지 시키고 이송부 측정시에는 반송부의 스텝모터를 정지 시켜가면서 실험을 수행 하였다. Fig. 5는 반송부의 오토스펙트럼(autospectrum)이고 Fig. 6는 이송부의 오토스펙트럼이다. 가로방향의 좌표축은 주파수로 단위는 헤르츠이고, 세로방향의 좌표축은 진동신호의 크기를 나타낸다.

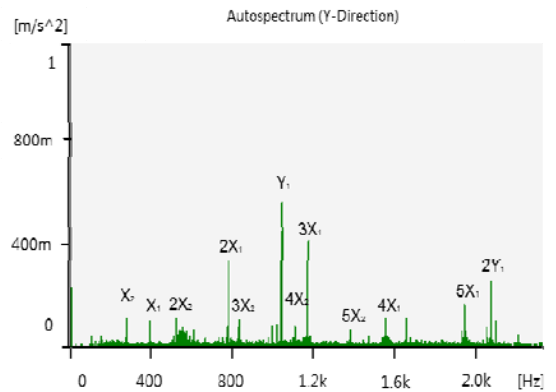


Fig. 5 Autospectrum of the exit part

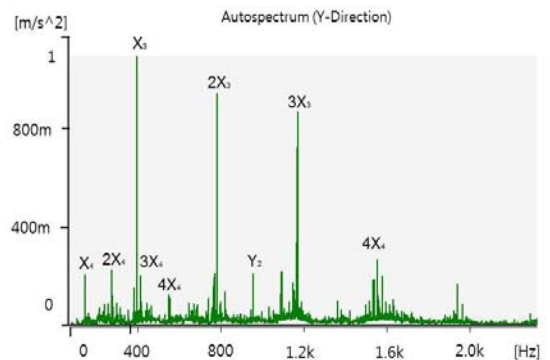


Fig. 6 Autospectrum of the main part

반송부의 오토스펙트럼 결과인 Fig.5를 살펴보면 총 세 가지 가진주파수가 나타났다. 앞서 계산했던 Table 4의 가진 주파수를 얻을 수 있었는데 그중에

서 반송부는 모터가진에 의한 진동의 영향이 가장 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 X_1 성분은 고차 성분이 커지는 것으로 보아 추가 분석을 통해 정렬 불량을 의심해 볼 수 있다.⁽⁴⁾ 이송부의 오토스펙트럼 결과인 Fig.6의 특징은 반송부보다 훨씬 두드러진다. X_3 성분의 배수성분들이 매우 큰 값을 가지는데, $1X_3$ 성분이 가장 크게 나타나며 이것이 축 방향 진동이라는 점으로 미루어 보다 반경 방향으로의 추가 실험을 통해서 축 이 가지는 질량 불평형에 의한 스펙트럼 패턴으로 예상 해 볼 수 있다.⁽⁵⁾

4. 결 론

본 논문은 디지털 복합기 용지 이송기구의 구조 진동을 일으키는 가진원을 규명하였다. 이를 위하여 용지 이송기구가 작동하는 동안 채집한 진동신호의 오토스펙트럼을 분석하였다. 용지 이송기구를 이루고 있는 기어의 기어 물림주파수는 Table 3, Table 4, Table 5에 나타내었고 총 다섯 개의 기어물림 주파수를 가지고 있다. 또한, 용지 이송기구의 동력 원인 스텝 모터 두 개의 가진 주파수를 계산하였다. 오토스펙트럼에서 피크 값을 분석하면 가진원으로 기어 물림 주파수와 모터 가진 주파수가 크게 기여하는 것을 알 수 있다. 향후 용지 이송기구의 모드 실험을 통해 공진 주파수를 취득하여 가진 주파수와 의 비교 연구로 확장할 계획이다.

참 고 문 헌

- (1) Mun-Sun Cho, 2001, An Experimental Study to Reduce the Noise Level of Sheet Feeding Apparatus for Digital MFP(Multi-Function Product), Proceedings of the KSME 2000 Fall Annual Meeting A. Vol. 2, No. 1, pp.579~583.
- (2) D. S. Cha, K. J. Park, K. H. Hwan and M. H. Choi, 2001, The Research field for Sound and Vibration about Laser Printer, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Bimonthly. Vol.17, No.2, pp.22~28.
- (3) James I. Taylor, 2000, The Vibration Analysis Handbook, Vibration Consultants, INC
- (4) Dong Sik Gu, Jeong Hwan Lee, Byeong Su Kim, Bo Suk Yang and Byeong Keun Choi, 2008, Vibration Characteristic Analysis Using Acoustic Emission Signal, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol.18, No.12, pp.1243~1249
- (5) Bo Suk Yang, 2006, Condition Monitoring and Diagnostics, Intervision