

디지털 복합기용 용지이송기구의 소음저감을 위한 실험적 연구

조문선*

An Experimental Study to Reduce the Noise Level of Sheet Feeding Apparatus for Digital MFP(Multi-Functional Product)

Mun-Son Cho*

Key Words : printer(프린터), MFP(복합기), sheet feeding apparatus(용지이송기구), gear train(기어열)

Abstract

Cause of noise/vibration for the sheet feeding apparatus of digital MFP is investigated by analyzing the measured sound pressure and the strategy for reducing the noise level is suggested. Factors related to the noise/vibration are found by loading test and the measurement of the noise by assembling the components. By checking the center distance between gears and the boss height, precision of assembly is identified as a main factor of noise. From the result of analysis, it can be concluded that the noise level of sheet feeding apparatus can be reduced by maintaining the distance between gears and the precision of assembly adequately.

1. 서론

디지털 복합기(MFP:Multi-Functional Product)란 기존의 프린터에 스캐너(Scanner), 팩스(FAX)등을 첨가하여 프린터, 스캐너, 복사기, 팩스 등의 복합 기능을 가지는 기기를 말한다. 디지털 복합기는 사무실내에서의 공간 절약면에서 뿐만 아니라, 기능대비 저렴한 가격으로 인하여 기존 사무기기의 자리를 점차로 대체해 가고 있는 추세이다.

디지털 복합기는 프린터에 스캐너, 팩스등을 추가하는 식으로 구성되며, 스캐닝 배율에 따라 구동 주파수가 광범위하게 변하고, 스캐너, 용지이송기구 등의 작동 소음 등이 더해지기 때문에 프린터에 비해 소음문제가 심각하게 나타날 수 있게 된다.

디지털 복합기 용으로 설계되는 스캐너 부는 커버의 장/탈착이 가능해서 책과 같은 두꺼운 문서의 스캐닝 및 복사가 가능한 형태(flatbed 형)와 단일 용지의 이송만이 가능한 형태(sheetfed 형)가 있다. 본 연구에서는 현재 개발단계에 있는 단일

용지 이송형의 용지 이송기구를 채용한 레이저 디지털 복합기를 대상으로 하였다.

단일 용지 이송형의 경우 CIS(Contact Image Sensor 이하)부는 고정되어 있고, 용지가 이송되면서 스캐닝이 일어나기 때문에, 용지 이송용 모터 및 기어부를 포함한 구동부가 주요 소음/진동 발생원이 된다.

본 연구의 대상인 용지이송기구의 소음문제는 주로 롤러에 부하가 가해질 때, 즉 용지가 이송될 때 주로 강하게 발생되며, 용지이송과 동시에 큰 이음도 함께 발생하는 특징을 가지고 있다. 이러한 소음의 원인을 찾아내기 위하여, 구동부를 구성하고 있는 축간거리, 조립 정밀도 등에 대한 비교분석 등을 통하여 소음의 원인을 추정하였으며, 이를 통하여 전체 시스템의 소음이 적절한 수준으로 저감됨을 확인할 수 있었다.

2. 용지 이송기구의 소음/진동 발생 모형

용지 이송기구는 Fig. 1 과 같이 스텝 모터를 이용하여 구동하며, 기어를 통하여 동력을 전달, 용지이송 롤러들을 구동시키도록 설계되어 있다. 따

* 삼성전자(주) 디지털프린팅사업부

라서, 이송기구의 주요 소음/진동 발생원은 모터를 포함한 구동부가 되며, 기어간의 축간거리, 가공정도, 치폭, 브라켓과 롤러축의 평행도 등이 소음/진동 발생의 주요 요인이 된다. 이렇게 발생한 진동은 주 프레임과의 결합부를 통하여 프레임 전체로 전파되게 된다.

이 이외의 소음/진동 발생원으로는 롤러간의 마찰로 인한 이음 등이 있을 수 있으나, 이로 인한 성분들은 롤러 재질을 바꾼다든지, 롤러압을 조절하는 등의 방법을 통해 비교적 쉽게 문제를 해결해 나갈 수 있기 때문에 여기에서는 구동부 진동으로 인한 부분만을 다루었다. Fig. 2에 용지이송기구의 소음/진동발생 모형 및 해당부위에 해당하는 요소들을 도식화하였다.

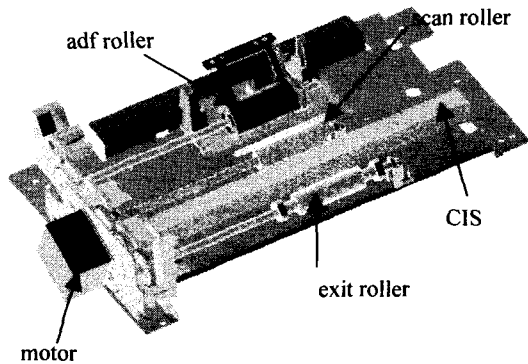


Fig. 1 Configuration of sheet feeding apparatus

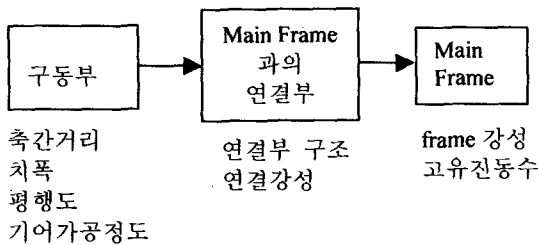


Fig. 2 Schematic diagram of noise/vibration generation mechanism

3. 음압신호의 측정 및 분석

3.1 구동부의 구성 및 주요 소음 발생주파수

본 연구의 대상인 구동부는 스텝 모터로 구동되며, Fig.3과 같이 기어를 통하여 세 개의 roller

를 구동하도록 설계되어 있다

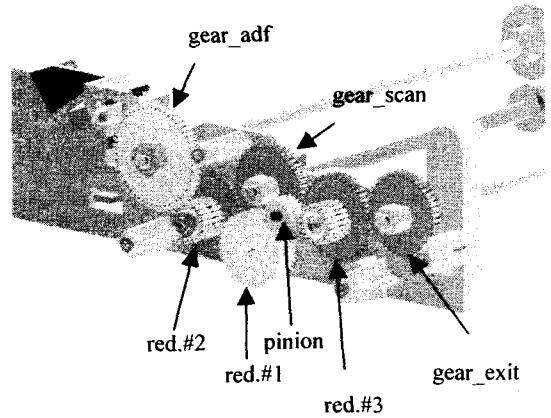


Fig. 3 Driving part of sheet feeding apparatus

Fig. 4는 동력전달의 계통도를 나타내며, 여기에서 모터 피니언과 감속기어 #1(red #1)사이에는 모듈 0.5의 헬리컬 기어로 동력이 전달되고, 나머지 기어 사이에는 모듈 0.6의 평기어로 구성되어 있다. 모터는 2400 pps로 구동되며, 각 기어의 잇수에 따라 주요 이 맞물림 주파수(tooth-meshing frequency)를 산출하여 Table 1에 정리하였다.

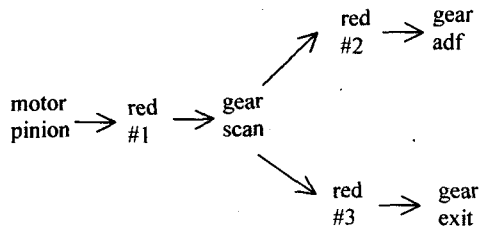


Fig. 4 Diagram of power transmission in the driving Part of sheet feeding apparatus

Table 1 Calculated tooth meshing frequency and motor pps

Motor (pps)	2408
Tooth-meshing frequency(Hz)	47, 75, 176, 477

3.2 음압신호의 측정 및 분석

Table 2는 셋트에 조립된 상태에서 측정한 용지이송기구의 음압레벨이다. 음압은 ISO 7779에서 규정한 바와 같이, 바닥면으로부터 수직으로 0.75 m, 배면으로부터 수평으로 1 m 위치에서 측정하였으며, 용지를 연속이송 시키면서 30 초간 측정하였다.

Table 2 Measured sound pressure level

Front(L_{p1})	55.2 dB(A)
Back(L_{p2})	54.7 dB(A)
Left(L_{p3})	55.4 dB(A)
Right(L_{p4})	54.3 dB(A)
L_p	55 dB(A)

위 Table에서 L_p 는 시간/공간 평균 음압레벨로 다음식과 같이 정의 된다.

$$L_p = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_{pi}} \right] \quad (1)$$

측정결과는 Table 2와 같이 평균 음압레벨이 55 dB(A)정도로 동급 복합기의 음압 평균 레벨인 52 dB(A)에 비해 3 dB(A) 큰 것으로 측정되었다. 또한, 음압레벨 자체가 클 뿐만 아니라, 용지 이송과 함께 음압이 커졌다 작아졌다하는 경향도 크게 나타났으며, 큰 이음도 동시에 발생하였다.

3.2.1 부하 작용 실험

부하시 소음이 발생하는 원인을 분석하고, 발생 위치를 검토하기 위하여, 운전중에 스캔 축과 exit 축을 손으로 잡아 부하를 가하면서 소음레벨을 측정하였다.

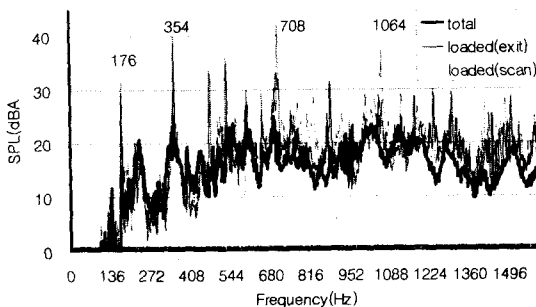


Fig. 5 Measured sound spectrum under unloaded/loaded condition

Fig. 5의 측정결과를 살펴보면, 부하를 가하게 되면, 이 맞물림 주파수 176 Hz와 그의 하모닉 주파수에서 피크들이 부각된다. 이 주파수는 구동계의 Fig. 4의 동력흐름도에서 스캔기어(gear scan), 감속기어 2(red #2), exit 기어(gear exit)로 연결되는 기어의 이 맞물림 주파수와 일치한다.

3.2.2 부품 결합 시험

소음의 발생위치를 파악하기 위하여 구동부를 분해한 후 피니언에서 가까운 쪽부터 기어를 하나씩 조립해 가면서 음압을 측정하였다. 측정위치는 기구 전방 수평거리 1m, 수직거리 0.75m의 위치에서 측정하였다. Fig. 6에서 측정결과를 살펴보면, 스캔 기어가 조립된 후부터 음압이 크게 증가하고, 이 맞물림 주파수 성분들이 나타나는 것을 볼 수 있다.

부하 시험과 부품 결합 시험 결과로부터 감속기어 1과 스캔기어간의 축간거리나 두 기어의 가동정도 및 조립 정밀도 등에 문제가 있는 것으로 판단하였으며, 실제로 이 스캔기어 조립후 감속기어 1과의 물림 운동시 원활하게 돌아가지 않는 사실이 관찰되었고, 이로부터 두 기어간의 축간거리가 정상상태보다 상당히 좁게 형성되어 있는 것으로 판단하였다.

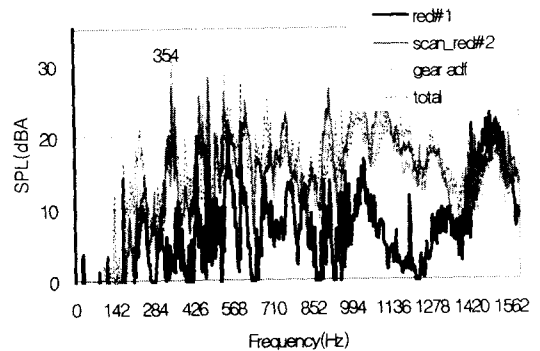


Fig. 6 Measured sound spectrum by assembling the components

3.3 조립 정밀도 및 축간거리에 대한 검증

부하 작용실험과 부품결합시험을 통하여 추정된 기어간의 축간거리 및 조립 정밀도에 대한 검증을 수행하였다. 현재 검토 대상인 기어들은 모두 플라스틱 사출 기어로서 작동온도 등의 영향으로 수축, 팽창이 일어나기 쉽기 때문에 두 기어의

피치원 직경(Pitch Circle Diameter, PCD)의 함 이상으로 축간거리가 유지되어야 한다.

현재 설계되어 있는 축간거리는 모두 PCD + 0.07 mm로 설계되어 있어, 작동 온도, 재질등을 고려했을 때 이론상으로는 별 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나, 실제 조립과정을 살펴보면, 모터 피니언과 감속기어 1, 2(red. #1, #2)는 브라켓에 체결되지만, 톨러들을 구동하는 기어(gear adf, scan, exit)들은 플라스틱 프레임에 고정되기 때문에 축간거리가 설계치대로 유지되기는 매우 어렵다. 즉, 톨러 구동기어 체결용 프레임의 공차를 ± 0.1로 주기 때문에, 실제 조립후 축간거리여유는 +0.07이 아니라, -0.03 ~ 0.17의 범위안에 있게 된다. 축간거리 여유가 음의 값을 가질 경우 언더컷이 발생할 가능성이 있기 때문에 조립공차를 감안하여 설계치를 적절한 수준으로 조정할 필요가 있다.

따라서, 톨러 구동기어의 조립공차를 감안하여 기어의 축간거리여유를 +0.15 ~ +0.25로 재 설계하고, 제작 공차를 양의 값을 가지도록 하였다. 이 경우 언더컷 발생 가능성은 현저하게 감소하나 축간거리가 적정수준보다 과도하게 될 가능성이 있다. 그러나, 기어에서 발생하는 소음/진동은 기어간의 축간거리 보다는 형상오차, 직각도 등에 더 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로^(2, 5), 축간거리를 조금 넓게 가져가도 무방한 것으로 판단하였다.

축간거리 오차와 더불어 검토해 보아야 할 것이 조립정밀도와 관련된 부분이다. 기존의 연구의 결과에서 볼 수 있듯이, 기어의 소음/진동에 큰 영향을 미치는 요인 중 하나는 축의 직각도이다. 현 시스템은 브라켓을 프레임에 연결된 네 개의 보스(boss)에 고정하고, 기어의 일부는 브라켓에 일부는 프레임에 고정되기 때문에 보스의 위치 및 높이가 다를 경우 기어축의 직각도가 틀어지게 된다. 현행 시스템은 사출금형 제작에 앞서 복업(Mockup)용으로 제작한 제품이라, 보스를 따로 가공하여 프레임에 접착, 제작하기 때문에 높이가 설계치대로 가공되어 있지 않을 가능성이 높다.

Table 3 Accuracy of the boss height(unit :mm)

Boss #	Designed Dimension	Measured Dimension	Deviation
1	18.5	18.56	0.06
2		18.01	0.49
3		18.33	0.17
4		18.22	0.28

Table 1은 현 대상물의 보스 높이에 대한 측정결과이다. 측정결과를 살펴보면, 네 개 보스의 오차는 0.06 ~ 0.49 mm로 상당히 큰 폭의 오차를 가지고 있는 것으로 판단되었다. 이와 같은 오차는 차후 사출물 제작시 엄정한 관리를 통해 상당부분 감소할 수 있는 부분으로 현재와 같은 접착식의 제작으로는 정밀도의 유지는 거의 불가능한 것으로 판단된다.

4. 용지 이송기구의 소음저감

음압 측정 및 이에 대한 분석실험을 통하여 조립정밀도 및 축간거리가 소음/진동의 발생에 주요한 요인이 될 수 있음을 알 수 있었다. 이번 장에서는 이러한 분석결과들을 바탕으로 용지 이송기구의 소음저감을 위한 실험을 수행하였다.

소음 저감을 위해서는 조립정밀도와 적절한 축간거리의 두 조건이 전부 만족되어야 하므로, 플라스틱 와셔를 이용하여 보스 높이를 보정하고, 축간거리를 재설계하여 브라켓을 재 제작하였다. 또, 최종적인 소음레벨을 파악하기 위하여, 윤활제를 도포하여 소음레벨을 측정하였다.

Table 4와 Fig. 5에 여러 조건하에서의 소음측정 결과가 나와 있다. 음압은 3.2 절에서와 마찬가지로 ISO7779의 규정에 의하여 측정하였다. 측정결과를 살펴보면, 보스의 높이만 보정한 경우의 음압레벨은 50.7 dBA로 최초 설계상태에 비하여 5 dBA 감소한 것을 볼 수 있다. 보스의 높이 보정과 함께 축간거리를 재설계한 경우에는 보스의 높이만 조절한 경우에 비해 1.7 dBA 감소했으며, 윤활제를 도포한 경우에는 2 dBA 가량 소음이 감소하였다. Fig.7에서 스펙트럼을 살펴보면, 축간거리 조정과 함께 이 맞물림 주파수 성분이 상당부분 감소한 것을 볼 수 있으며, 윤활제 도포를 통하여 전체적으로 레벨이 내려간 것을 볼 수 있다.

이 결과를 통하여 현 이송기구의 소음발생의 주요인은 보스 높이의 가공오차로 인하여 기어 축간의 직각도가 어긋나는 것으로 볼 수 있으며, 상대적으로 축간거리의 영향은 작은 것으로 나타났다. 따라서, 재설계한 축간거리의 채용과 더불어 보스 높이에 대한 가공오차 관리를 통하여 적절한 수준으로 소음레벨을 관리할 수 있을 것으로 결론을 내렸다.

Table 4 Measured sound pressure level(unit : dBA)

	Front	Back	Left	Right	Lp
A	55.2	54.7	55.4	54.3	55.0
B	49.9	50.6	51.2	50.8	50.7
C	48.0	49.9	49.7	48.3	49.0
D	45.2	48.5	46.9	46.2	46.9

- A : 최초 설계상태
- B : A + 보스 높이 보정
- C : 축간거리 재설계 + 보스높이 조정
- D : C + 윤활제 도포

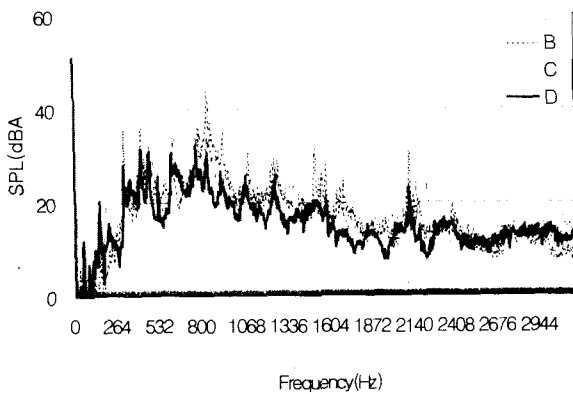


Fig. 7 Measured sound spectrum by changing the condition of sheet feeding apparatus

5. 결론

디지털 복합기용 용지이송기구의 소음/진동 발생 모형을 구성하고, 음압의 측정 및 분석을 통하여 그 원인을 추정하고 저감책을 제시하였다.

부하 작용 실험 및 부품 결합시험을 통하여 소음발생부위가 스캔기어와 감속기어 1인 것을 밝혀냈다. 또한, 축간거리와 조립정밀도에 대한 검증 및 실험을 통하여 소음의 주 원인이 가공오차로 인한 기어의 직각도가 어긋나는 데에 있는 것을 밝혀냈고, 적절한 축간거리 조정을 통해 충분한 정도로 소음이 저감됨을 확인하였다.

후 기

본 연구에 도움을 준 장경환, 이윤석, 이원석 책임연구원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 이희원, 손병진, 신용하, 1994, "호이스트 소음분량률 저감을 위한 실험적 연구," 대한기계학회 논문집 제 18 권 제 5 호, pp. 1347~1354
- [2] 한형석, 김태영, 박태원, 1997, "기어의 공차에 따른 스퍼 기어열의 전달오차 해석," 한국정밀공학회지 제 14 권 제 1 호, pp.90~100
- [3] 최연선, 신용호, 김기범, 1994, "기어구동에 의한 화인진동해석," 대한기계학회논문집 제 18 권 제 12 호, pp. 3246~3252,
- [4] 김병욱, 박창근, 김용철, 1999, "기어 커플링의 정렬불량을 가진 회전체의 동특성에 관한 연구," 대한기계학회논문집 제 23 권 제 8 호, pp.1399~1406
- [5] Darle W. Dudley, 1994, *Handbook of Practical Gear Design*, Technomic publication