

디지털 프린터에 적용되는 회전 다각형 디스크의 소음특성 Qualitative Noise Characteristics of Rotating Polygonal Disk Applied to Digital Printer Systems

조준현[†]·김형채*

Jun-Hyeon Jo and Hyeong-Chae Kim

Key Words: Polygonal Disk(다각형 디스크), Laser Scanning Unit(광 주사 장치), Polygon Scanner Motor(폴리곤 모터)

ABSTRACT

Consumer's product selection measures are being shifted from the units' operational performance to overall performance. Low noise, low vibration, and low power consumption rate, etc. which used to be additional quality indices, now become vital performance factors. Especially, noise and vibration characteristics are being considered as equivalent to/or even more critical than operational performance in certain products such as office machines and home entertainment systems, which share the same space with human being's daily life. Therefore, noise reduction and sound quality improvement technology becomes an inevitable design issue for those applications. Qualitative noise characteristics of rotating polygonal disk applied to digital printer systems are presented. Overall sound pressure level change and tonal noise variation with respect to the geometrical properties of polygonal disk, operational speed, and others are briefly discussed based on experimental results.

1. 서 론

광학 시스템에 사용되는 다각형 디스크는 레이저와 같은 빛의 출력을 반복적으로 주사하기 위한 수단 중의 하나로 사용되어 왔으며, 두 개 혹은 세 개 이상의 반사면들을 갖는 회전하는 광학 요소(금속 재질의 거울)를 포함한다. 폴리곤 스캐너(Polygon scanner) 등으로 알려져 왔으며, 갈바노미터, 마이크로미터, 압전미터 등과 같이 빔을 조종하는 기능을 갖는 주사 장치의 영역에 속한다. [1] 폴리곤 스캐너 시스템을 사용하는 레이저 프린터(Laser Beam Printer: LBP)를 예로 들 수 있는데, 최근에는 레이저 프린트 시장은 그 규모 면에서 점차 상승 추세에 있다. 이런 흐름은 고속/고화질/저소음의 광 주사 시스템의 설계 및 개발이라는 키워드로, LBP 에서 중요 부분 중의 하나로 고려되었고, 프린트의 고속/저소음화라는 시장 요구를 만족하기 위해, 광 주사 장치에서 폴리곤 스캐너의 역할은 중요하다.[2] 광 주사 장치(Laser Scanning Unit: LSU)는 빔을 주사하여 이미지를 생성하는 장치이다. Fig. 1 에 LSU 의 개략적인 구조가 나타나 있듯이, 레이저 다이오드에서 나온 빛은 다각형 디스크의 반사 면에 조준하여 초점을 맞추게 된다.

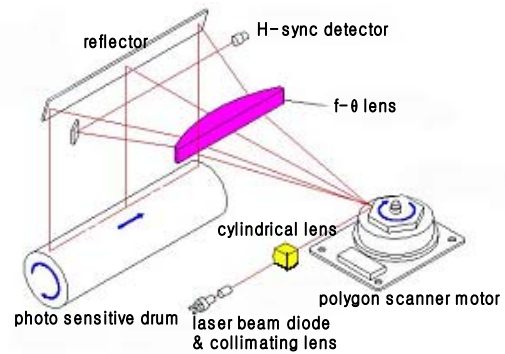


Figure 1 Schematic of a Laser Scanning Unit

고속으로 회전하는 다각형 디스크 면에 입사된 빛은 반사되어, 감광 드럼의 외부에 주사된다. 드럼은 레이저 포인트들에 의해 수평면의 이미지를 생성하게 되고, 이 포인트들이 전위차이를 발생시켜 잠상을 만든다.

최근의 시장 동향에 따라, 프린트의 속도를 증가시키는 방법 중의 하나가, 폴리곤 디스크의 회전 속도를 증가 시키는 것이다. 폴리곤 디스크가 회전하도록 하는 장치는 유체 동압 베어링 혹은 공기 베어링을 이용하여 구동되는 BLDC Type 의 모터이며, 최근 사용 RPM 영역이 그 한계치 값에 근접 하고 있다. LSU 내에서 고속으로 회전하는 다각형 디스크는 LBP 전체에서 발생하는 소음원 중 하나로 여겨지고 있으며, 여기에서 발생하는 소음을 줄이기 위한 연구가 진행 중이다.

본 논문에서는, 고속화 되고 있는 다각형 디스크의 소음 특성을 실험에 근거하여 기술하였다.

[†] 조준현; 삼성전자 디지털 프린팅 사업부
E-mail : jhbj.jo@samsung.com
Tel : (031) 200-8362, Fax : (031) 200-6868

* 삼성전자 디지털 프린팅 사업부

2. 다각형 디스크의 구조 및 소개

2.1 다각형 디스크

레이저 빔 프린터, 복사기, 스캐닝 장치 등에서 화상 신호를 연속적으로 전달하는 주요부품인 다각형 디스크는 회전부인 모터와 결합된 구조를 갖는다. 고속으로 회전하는 일반적인 다각형 디스크의 형상은 Fig. 2와 같이, 6각형 혹은 4, 5, 8각형 등의 형상을 갖는다. 7각형, 12각형 등의 디스크도 존재한다.

각 면에는 레이저 등의 빛이 반사 될 수 있도록 반사면이 위치하게 되는데, 일반적으로, 다각형 디스크는 초정밀 가공법을 이용한 고순도(99.90%이상)의 알루미늄으로 만들어진다. 이는 높은 반사율을 가져, 효율적으로 광 주사가 가능하도록 하기 위함이며, 각 면의 가공 정도는 디스크가 사용되는 시스템의 정도에 따라, 한계값이 정해진다.

2.2 폴리곤 디스크에서 발생하는 유동 소음

다각형 디스크 주변의 공기유동은 Fig. 3 (a)에 나타난 것과 같이 상대속도는 회전 방향과 반대 방향이며, 압력은 Fig. 3 (b)와 같이 저압/고압 영역이 원주 방향을 따라 반복적으로 나타나게 된다. 회전하는 다각형 디스크의 소음은 주변공기의 상대운동에 의한 소음과 주기적인 압력 변동 등에 의해 발생하는 것으로 판단되며, 다각형 디스크의 형상과 회전주파수에 따라서 그 특성이 다르다.

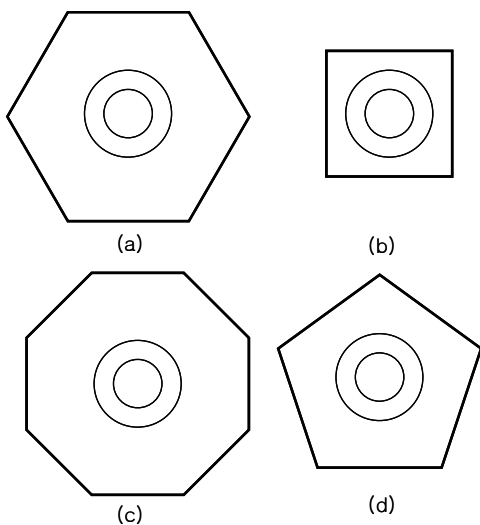


Figure 2 Various Polygonal Disk Shapes
(a) Hexagonal Disk (b) Square Disk
(c) Octagonal Disk (d) Pentagonal Disk

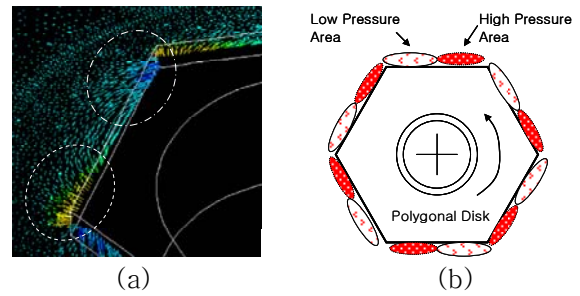


Figure 3 Air Flow Patterns of Spinning Hexagonal Disk

- (a) Relative Velocity Distribution
(b) Pressure Region

2.3 오염 방지 디스크

다각형 디스크가 고속으로 회전함에 따라, 디스크의 모서리 부분에 오염이 발생한다. Fig 4(a)와 같이, 디스크가 반시계 방향으로 회전할 때, 유동의 흐름을 마주하는 곳 반대쪽 모서리 근처에 오염현상이 발생한다. 특히, 고속에서 오염현상이 나타나는데, 이러한 현상을 줄여주기 위하여, 오염방지 디스크를 장치하며, Fig. 4 (b)와 같다.

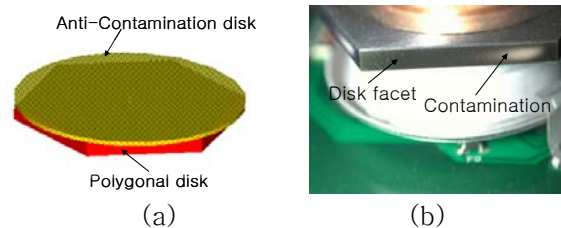


Figure 4 Disk Contamination Phenomena
(a) Anti-Contamination Disk Condition
(b) Contamination

3. 실험

3.1 실험장치의 구성 및 방법

다각형 디스크의 소음특성을 실험으로 규명하기 위하여, Fig. 5와 같이 실험장치를 구성하였다. 실험은 반무향실에서 이루어졌으며, 암소음은 25.8[dBA] 수준이다. 실험 장치는 4개의 Micro phone(수평방향: 1[m], 높이 방향: 0.75[m])을 이용한 소음 측정부와 다각형 디스크의 회전을 위한 구동부로 이루어진다. 다각형 디스크를 회전하기 위하여 LSU에 사용되는 폴리곤 스캐너 모터에 결합하여 회전하였으며, 소음값은 1/3 Octave Band[dBA]값으로 표현하였다.

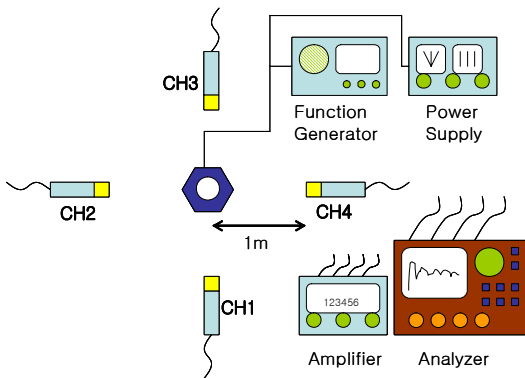


Figure 5 Schematic of Measurement Setup

10,000[rpm]에서 5,000[rpm]씩 증가하여 40,000[rpm]까지의 소음 특성을 측정하였다. 사용된 시료는 다각형 디스크의 형상이 4면, 6면인 경우와 오염방지 디스크의 장착 유무에 따라 나뉘었으며, Table 1 과 같다.

Table 1 Specification of Polygonal Disk

Polygonal Disk	Circumscribed Radius	Remarks
6	20	-
	20	Anti-Contamination Disk
	15	-
	15	Anti-Contamination Disk
4	15	-
	10	-

3.2 실험 결과

Overall SPL(Sound Pressure Level)을 측정 한 결과는 Fig. 6 과 같다. 디스크의 회전 속도가 증가함에 따라, 소음값은 일정하게 증가하고 있다.

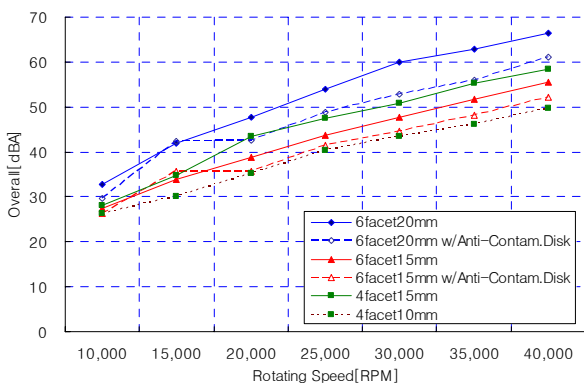


Figure 6 Overall SPL of Polygonal Disks

Table 2 에 40,000[rpm]에서 각 디스크간의 Overall 소음값을 비교하였다. 6면 디스크를 크기에 따라 살펴 보면, 디스크의 반경을 20[mm]에서, 15[mm]로 약 25%줄어들면, 최고 속도에서 소음은 약 8.9[dBA] 감소되었다. 4면 디스크의 경우, 반경이 15[mm]에서, 10[mm]로 약 33% 줄어들면, 최고 속도에서 소음은 약 8.6[dBA] 감소되었다. 디스크 크기가 줄어들면, 다각형 디스크의 모서리에서 발생하는 접선 방향의 유속은 상대적으로 감소하게 되고, 디스크의 모서리에서 발생하는 압력값 차이에 변화를 가져와, 상대적으로 소음수준은 달라진다. 오염방지 디스크를 부착한 경우와 부착하지 않은 경우를 비교하면, 오염방지 디스크를 부착한 경우, 소음수준은 3.3~5.4 [dBA] 정도 감소하는 경향을 보이는데, 이는 오염방지뿐 아니라, 소음감소에도 효과적인 것으로 나타났다. 디스크 면 수에 따른 소음특성을 살펴 보면, 반지름이 15[mm]를 기준으로, 4면의 경우가 6면에 비해 소음 수준이 크게 나타났으며, 그 차이는 약 5.9[dBA]수준이다. 회전 디스크의 형상이 원형으로 근접할수록 유동저항이 줄어들기 때문으로 해석된다.

Table 2 Overall SPL at 40,000[rpm]

Polygonal Disk	SPL[dBA]	Remarks
6 facet 20mm	66.5	-
6 facet 20mm	61.1	Anti-Contamination Disk
6 facet 15mm	55.5	-
6 facet 15mm	52.2	Anti-Contamination Disk
4 facet 15mm	58.3	-
4 facet 10mm	49.7	-

Tonal 소음(회전주파수의 4X-4면 or 6X-6면 성분)을 측정 한 결과, Fig. 7 과 같다.

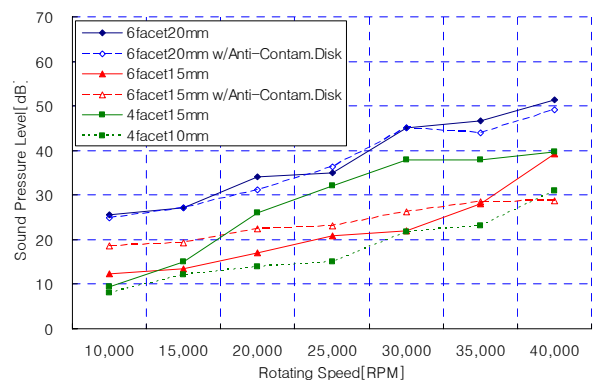


Figure 7 Tonal SPL of Polygonal Disks

Table 3 Tonal SPL at 40,000[rpm]

Polygonal Disk	1X (SPL)	4X/6X (SPL)	Remarks
6 facet 20mm	26.6	51.3	-
6 facet 20mm	36.8	49.1	Anti-Contamination Disk
6 facet 15mm	28.9	39.3	-
6 facet 15mm	39.4	28.7	Anti-Contamination Disk
4 facet 15mm	32.1	39.7	-
4 facet 10mm	32.0	31.0	-

모서리를 갖는 회전체에서는 Tonal 소음 혹은 Discrete 소음이 발생하며, 이 소음의 고유한 주파수(f)는 식(1)과 같이 회전속도(rpm)와 모서리 수(N)의 곱으로 이루어진다.

$$f = \frac{rpm \times N}{60} \quad (1)$$

Fig. 8 과 같이, 6 면 20[mm]의 경우를 보면, 회전 주파수성분이 증가할수록, Tonal 소음은 점차 증가하는데, Table 3 에 40,000[rpm]에서 Tonal 소음값을 비교하였다. Tonal 소음은 6 면의 경우, 6X 성분의 형태로, 4 면의 경우 4X의 형태로 나타났으며, 회전성분에 의한 1X 성분도 함께 고려 되었다. 디스크의 크기에 따라 6 면 20[mm], 4 면 15[mm], 6 면 15[mm], 4 면 10[mm]의 수준으로 나타났다. 디스크 반경이 15[mm]인 경우를 비교하면, 4 면이 6 면 보다 Tonal 소음이 크며, 이는 디스크 크기에 따른 영향보다, 다각형 면 수에 더욱 민감한 것으로 해석된다.

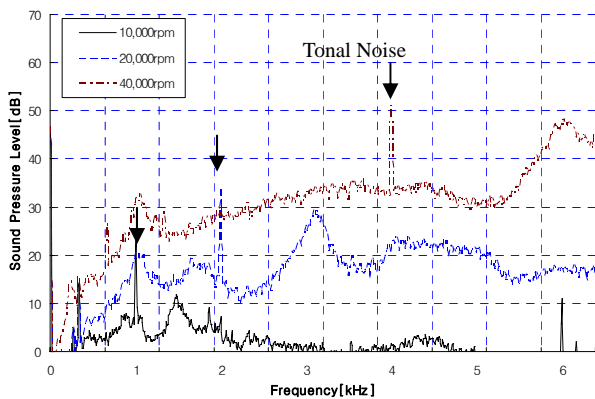


Figure 8 Sound Spectrum of 6 Facet 20mm Polygonal Disk

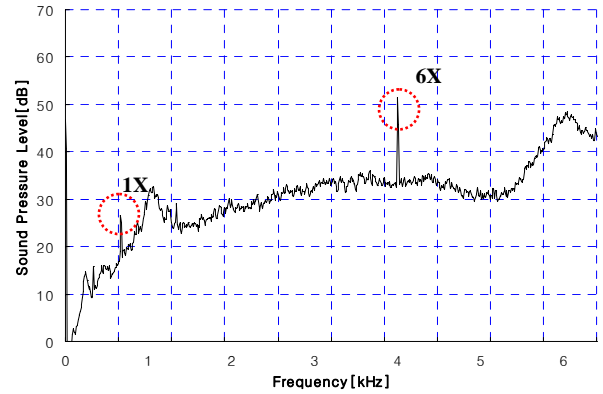


Figure 9 6 Facet 20mm Polygonal Disk at 40,000rpm

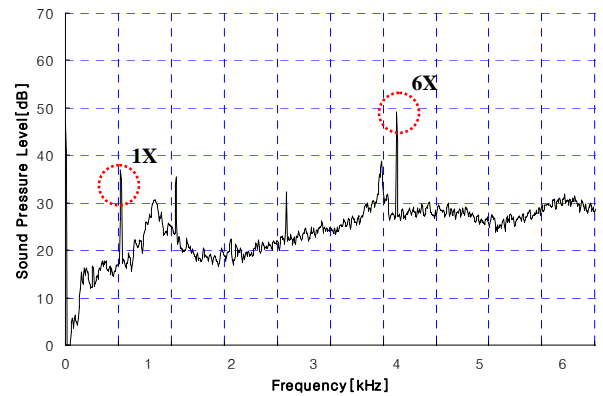


Figure 10 6 Facet 20mm Polygonal Disk with Anti-Contamination Disk at 40,000rpm

오염방지 디스크의 장착 유무에 따른 결과를 보면 6 면인 경우, 20[mm]는 비슷한 수준이나, 15[mm]의 경우 그 값의 차이가 있다. 오염 방지 디스크의 유무에 따른 Tonal 소음 차이를 확인하기 위해, Fig. 9 와, Fig. 10 과 같이, 회전속도 40,000[rpm]에서 SPL 스펙트럼을 비교하였다. 오염 방지 디스크를 장착한 경우 2X, 4X 성분이 나타나는 것을 관찰 할 수 있는데, 이는 회전 주파수(1X)성분이 조화성분으로 나타난 것이며, 전체 Overall 값은 낮아졌지만, 회전 주파수 성분이 가진 되어 Tonal 소음에 영향을 끼친 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 다각형 디스크가 고속으로 회전 하면서 발생하는 소음특성을 실험을 통해 알아 보았다. 디스크 회전에 따른 기초적인 소음 특성을

확인한 결과이며, 추가적인 연구가 진행 중에 있다.

오염방지 디스크를 부착한 경우, Overall 소음 수준은 감소하나, Tonal 소음은 비슷하거나, 약간 증가한다. 면 수를 비교하면 4 면 인 경우가 소음 값이 크다.

일반적으로, 레이저 프린트에 사용되는 다각형 디스크는 35,000rpm 이상의 속도로 회전하게 되는데, 이와 같이 고속으로 회전하는 정보 저장 기기는 대부분 생활공간에 가까운 곳에 위치하는 경우가 많아 소음 문제에 노출되기가 쉽다. 디스크의 고속 회전으로 발생하는 소음 원에 대한 분석과 소음을 줄이기 위한 연구가 진행 중이며, 앞으로 더 많은 실험을 통한 개선이 요구되는 분야이다.

참고문헌

- (1) Gerald F. Marshall, 2004, "Handbook of Optical and Laser scanning", MARCEL DEKKER, INC., New York.
- (2) Gerald F. Marshall, 1985, "LASER BEAM SCANNING", MARCEL DEKKER, INC., New York.
- (3) Ffowcs Williams, J. E., and Hawkins, D. L., 1969, "Sound Generated by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion", "Proc. Royal Society of London, Series A, pp. 264~321.
- (4) Neise, W., and Barsikow, B., 1982, "Acoustic Similarity Laws for Fans", "Transaction of the ASME, Vol. 104, pp.151~161.
- (5) R.G. WHITE, J.G.WALKER., 1982, "Noise and vibration", Ellis Horwood Ltd.
- (6) Cengel & Cimbala, 2006, "Fluid Mechanics – Fundamentals and Applications", McGraw Hill.