

디지털 프린터에 적용되는 회전 다각형 디스크의 소음특성[#]

Qualitative Noise Characteristics of Rotating Polygonal Disk Applied to Digital Printer Systems

조 준 현* · 김 형 채*

Jun-Hyeon Jo and Hyeong-Chae Kim

(2007년 12월 12일 접수 ; 2008년 5월 19일 심사완료)

Key Words : Polygonal Disk(다각형 디스크), Laser Scanning Unit(광 주사 장치), Polygon Scanner Motor (폴리건 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. 폴리건 스캐너(polygon scanner) 등으로 알려져 왔으며, 갈바노미터, 마이크로미터, 압전미터 등과 같이 빔을 조종하는 기능을

갖는 주사 장치의 영역에 속한다⁽¹⁾. 폴리건 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, LBP에서 중요 부분 중의 하나로 고려되었고, 프린트의 고속/저소음화라는 시장 요구를 만족하기 위해, 광 주사 장치에서 폴리건 스캐너의 역할은 중요하다⁽²⁾. 광 주사 장치(laser scanning unit : LSU)는 빔을 주사하여 이미지를 생성하는 장치이다. Fig. 1에 LSU의 개략적인 구조가 나타나 있듯이, 레이저 다이오드에서 나온 빛은 다각형 디스크의 반사면에 조준하여 초점을 맞추게 된다.

고속으로 회전하는 다각형 디스크 면에 입사된 빛은 반사되어, 감광 드럼의 외부에 주사된다. 드럼은

† 교신저자 : 정회원, 삼성전자 디지털 프린팅 사업부
E-mail : jhbjjo@samsung.com

Tel : (031)200-8362, Fax : (031)200-6868

* 삼성전자 디지털 프린팅 사업부

이 논문은 2007 추계학술대회에서 우수논문으로 추천되었음.

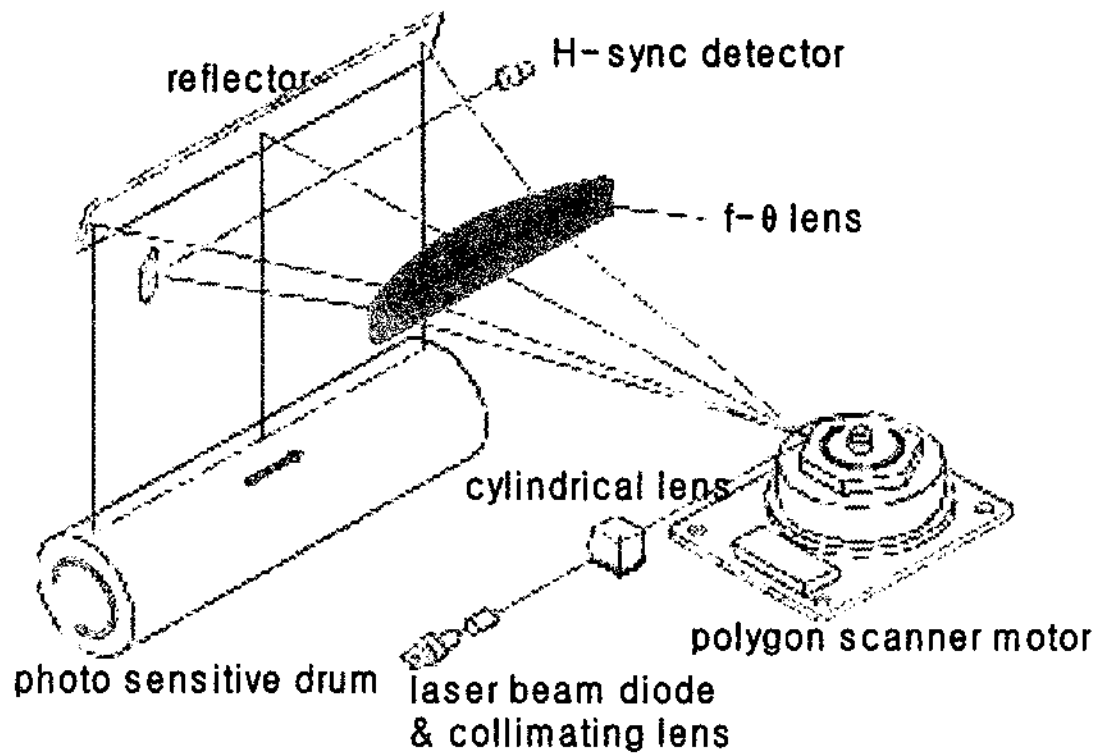


Fig. 1 Schematic of a laser scanning unit

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 증가시키는 것이다. 폴리곤 디스크가 회전하도록 하는 장치는 유체 동압 베어링 혹은 공기 베어링을 이용하여 구동되는 BLDC Type의 모터이며, 최근 사용 RPM 영역이 그 한계치 값에 근접하고 있다. LSU 내에서 고속으로 회전하는 다각형 디스크는 LBP 전체에서 발생하는 소음원 중 하나로 여겨지고 있으며, 여기에서 발생하는 소음을 줄이기 위한 연구가 진행 중이다.

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

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 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 위함

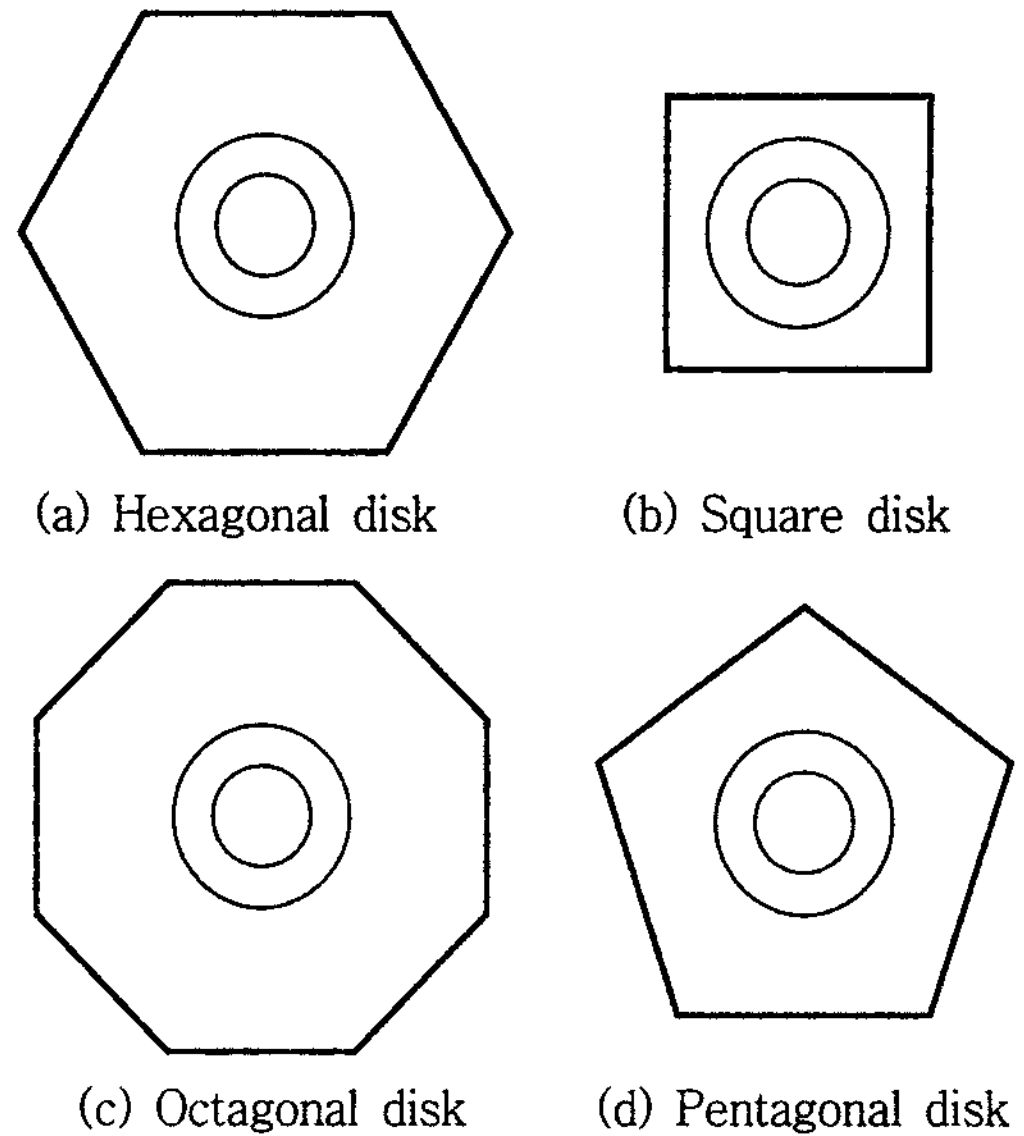
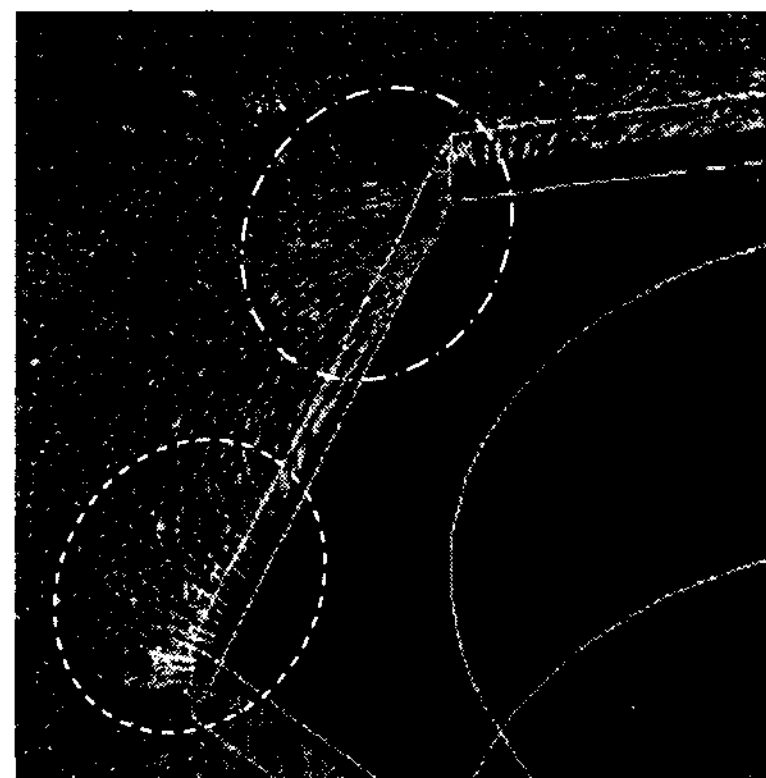
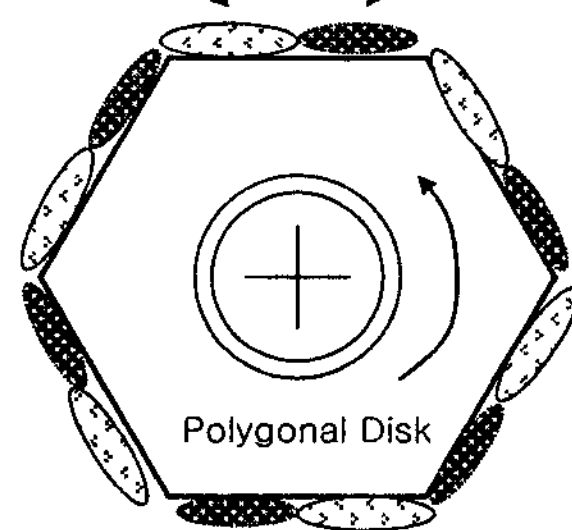


Fig. 2 Various polygonal disk shapes



(a) Relative velocity distribution

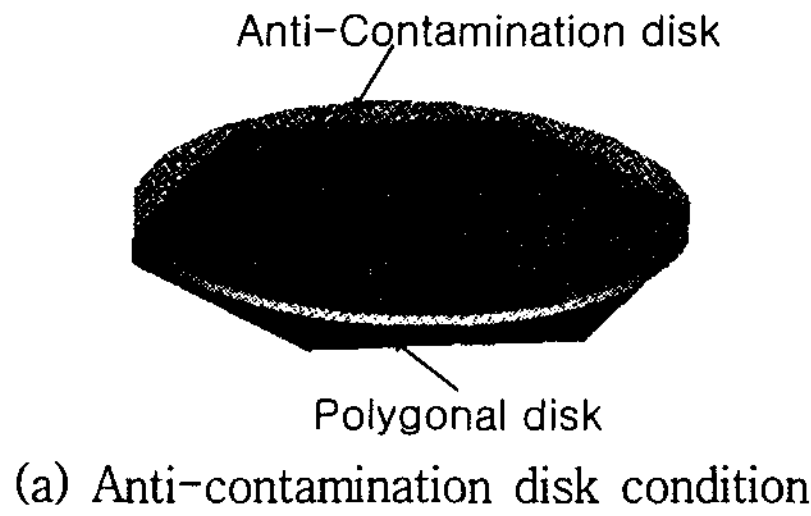
Low Pressure Area High Pressure Area



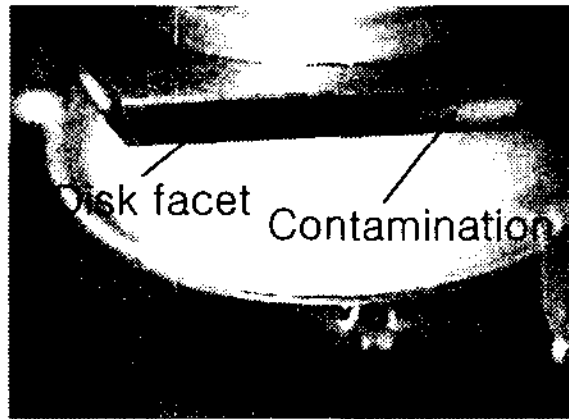
(b) Pressure region

Fig. 3 Air flow patterns of spinning hexagonal disk

이며, 각 면의 가공 정도는 디스크가 사용되는 시스템의 정도에 따라, 한계값이 정해진다.



(a) Anti-contamination disk condition



(b) Contamination

Fig. 4 Disk contamination phenomena

2.2 폴리곤 디스크에서 발생하는 유동 소음
 다각형 디스크 주변의 공기유동은 Fig. 3(a)에 나타낸 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 회전 주파수에 따라서 그 특성이 다르다.

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.

3. 실험

3.1 실험장치의 구성 및 방법

다각형 디스크의 소음특성을 실험으로 규명하기 위하여, Fig. 5와 같이 실험장치를 구성하였다. 실험은 반무향실에서 이루어졌으며, 압소음은 25.8 dBA 수준이다. 실험 장치는 4개의 micro phone(수평방향: 1m, 높이 방향: 0.75m)을 이용한 소음 측정부와

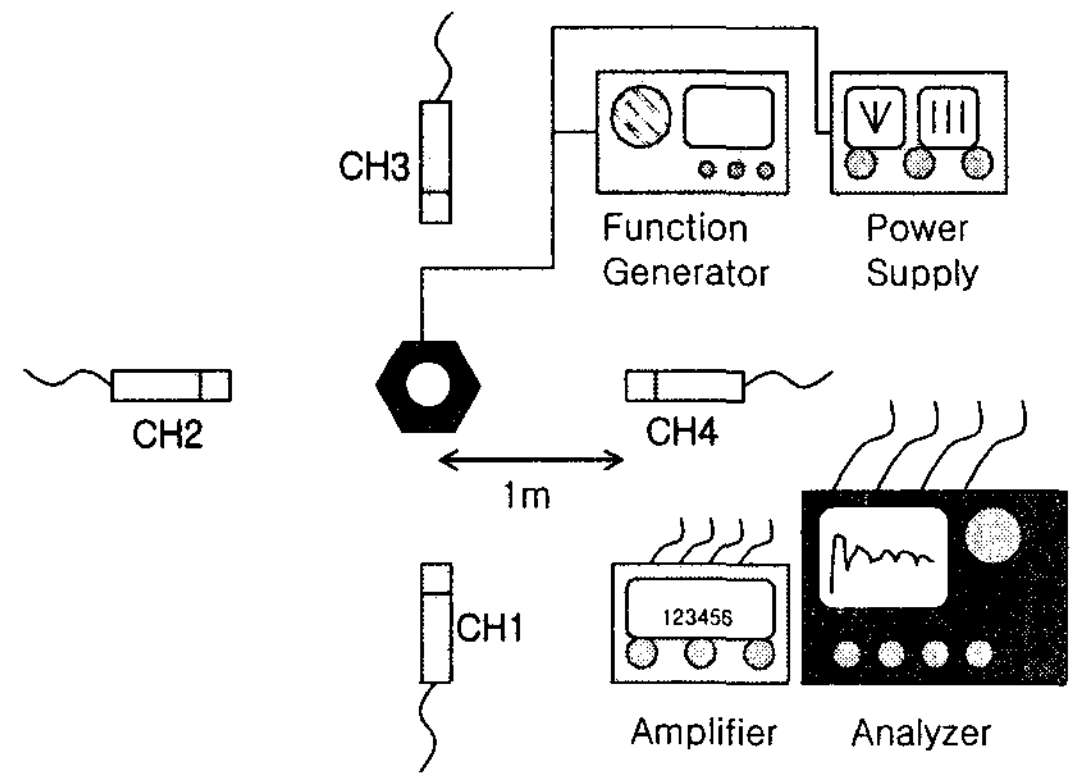


Fig. 5 Schematic of measurement setup

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	-

다각형 디스크의 회전을 위한 구동부로 이루어진다. 다각형 디스크를 회전하기 위하여 LSU에 사용되는 폴리곤 스캐너 모터에 결합하여 회전하였으며, 소음 값은 1/3 Octave Band dBA값으로 표현하였다.

10000 rpm에서 5000 rpm씩 증가하여 40000 rpm까지의 소음 특성을 측정하였다. 사용된 시료는 다각형 디스크의 형상이 4면, 6면인 경우와 오염방지 디스크의 장착 유무에 따라 나뉘었으며 Table 1과 같다. 5각형 혹은 8각형 등의 형상은 4각형/6각형 디스크에 비해 특수한 광학계 모델의 경우에 사용되는 형태이며, 디스크의 두께, 외경 가공 등에 있어서 경향성을 파악하기 어려움 점이 있다. 적용 예 또한 4, 6각형에 비해 많지 않다. 이 논문에서 실험하기 위해 사용된 4면, 6면 디스크는 시료확보에 어려움이 적었으며, 디스크 형상에 따른 소음의 경향을 확인하기에 충분하다.

3.2 실험 결과

Overall SPL(sound pressure level)을 측정한 결

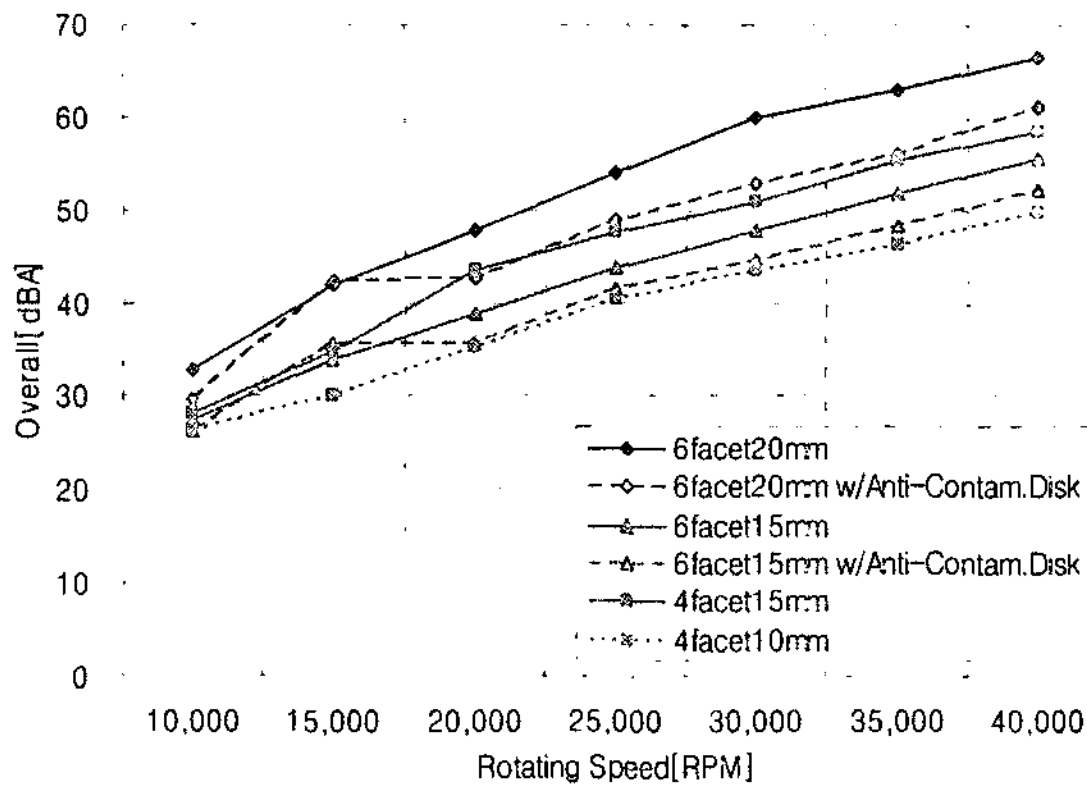


Fig. 6 Overall SPL of polygonal disks

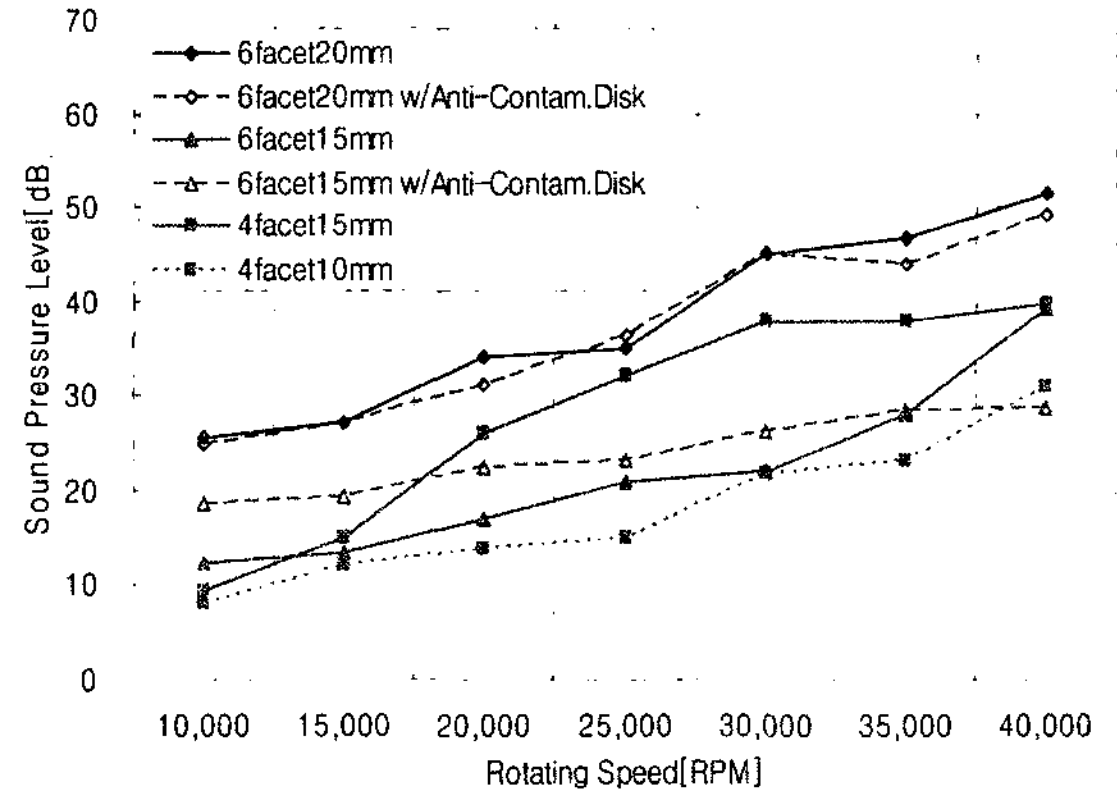


Fig. 7 Tonal SPL of polygonal disks

Table 2 Overall SPL at 40000 rpm

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

Table 3 Tonal SPL at 40000 rpm

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

과는 Fig. 6과 같다. 디스크의 회전 속도가 증가함에 따라, 소음값은 일정하게 증가하고 있다.

Table 2에 40000 rpm에서 각 디스크간의 overall 소음값을 비교하였다. 6면 디스크를 크기에 따라 살펴 보면, 디스크의 반경을 20 mm에서, 15 mm로 약 25% 줄어들면, 최고 속도에서 소음은 약 8.9 dBA 감소되었다. 4면 디스크의 경우, 반경이 15 mm에서, 10 mm로 약 33% 줄어들면, 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 경우, 소음수준은 3.3~5.4 dBA 정도 감소하는 경향을 보이는데, 이는 오염방지뿐 아니라, 소음감소에도 효과적인 것으로 나타났다. 디스크면 수에 따른 소음특성을 살펴보면, 반지름이 15 mm를 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.

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

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

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

Fig. 8과 같이, 6면 20 mm의 경우를 보면, 회전 주파수성분이 증가할수록, tonal 소음은 점차 증가하는데, Table 3에 40000 rpm에서 tonal 소음값을 비교하였다. Tonal 소음은 6면의 경우, 6X성분의 형태로,

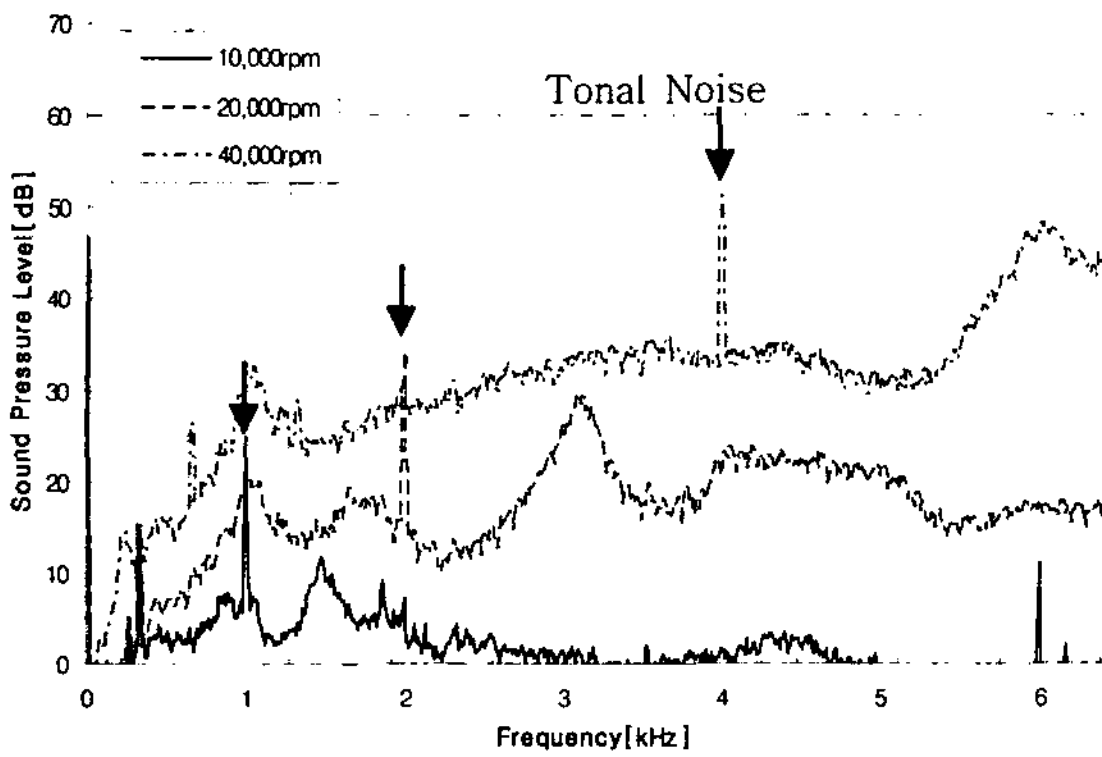


Fig. 8 Sound spectrum of 6 facet 20 mm polygonal disk

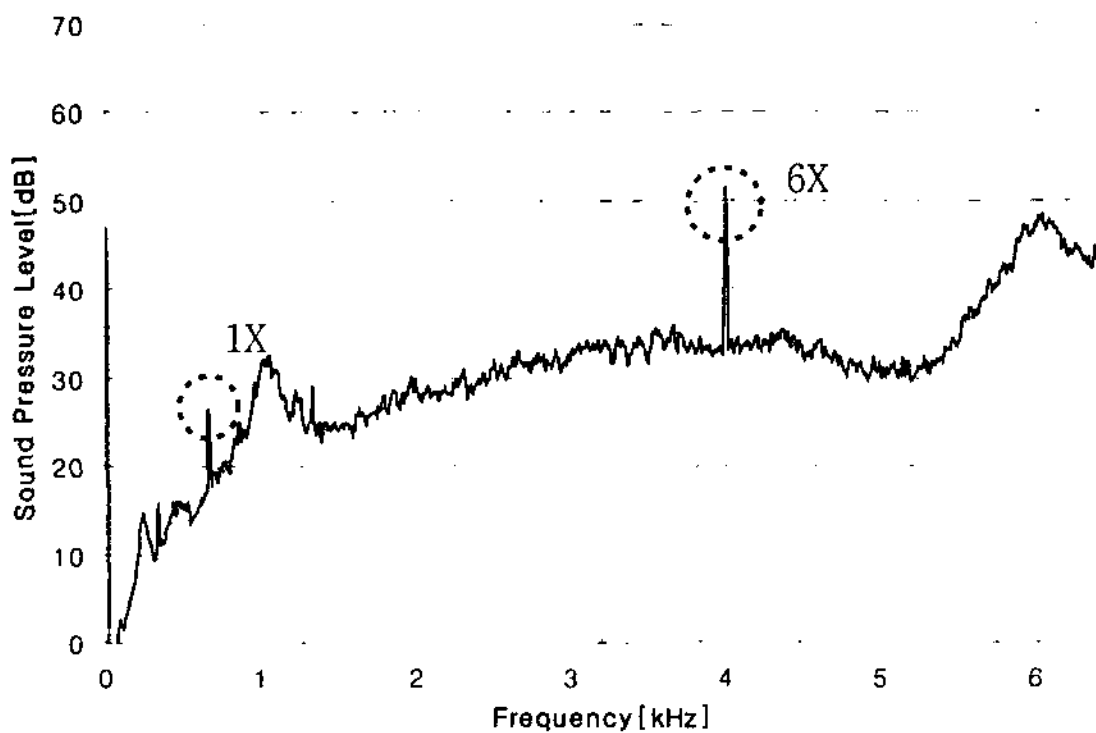


Fig. 9 6 facet 20 mm polygonal disk at 40000 rpm

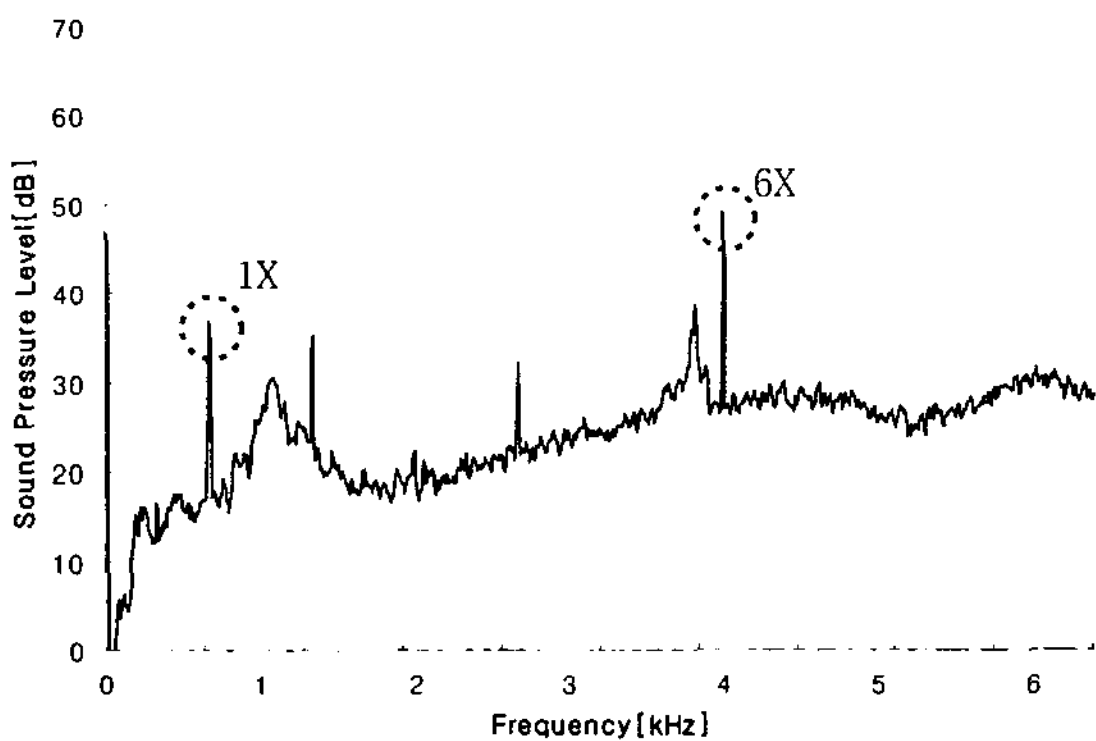


Fig. 10 6 facet 20 mm polygonal disk with anti-contamination disk at 40000 rpm

4면의 경우 4X의 형태로 나타났으며, 회전성분에 의한 1X 성분도 함께 고려되었다. 디스크의 크기에 따라 6면 20mm, 4면 15mm, 6면 15mm, 4면 10mm의 수준으로 나타났다. 디스크 반경이 15mm인 경우를 비교하면, 4면이 6면 보다 tonal 소음이 크

며, 이는 디스크 크기에 따른 영향보다, 다각형 면수에 더욱 민감한 것으로 해석된다.

오염방지 디스크의 장착 유무에 따른 결과를 보면 6면인 경우, 20mm는 비슷한 수준이나, 15mm의 경우 그 값의 차이가 있다. 오염 방지 디스크의 유무에 따른 tonal 소음 차이를 확인하기 위해, Fig. 9와, Fig. 10과 같이, 회전속도 40000 rpm에서 SPL 스펙트럼을 비교하였다. 오염 방지 디스크를 장착한 경우 2X, 4X성분이 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. 결 론

이 논문에서는 다각형 디스크가 고속으로 회전하면서 발생하는 소음특성을 실험을 통해 알아보았다. 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. 면수를 비교하면 4면인 경우가 소음 값이 크다.

일반적으로, 레이저 프린트에 사용되는 다각형디스크는 35000 rpm 이상의 속도로 회전하게 되는데, 이와 같이 고속으로 회전하는 정보저장기기는 대부분 생활공간에 가까운 곳에 위치하는 경우가 많아 소음 문제에 노출되기가 쉽다. 디스크의 고속 회전에 의해 발생하는 소음 원에 대한 분석과 소음을 줄이기 위한 연구가 진행 중이며, 앞으로 더 많은 실험을 통한 개선이 요구되는 분야이다.

참 고 문 헌

- (1) Marshall, G. F., 2004, "Handbook of Optical and Laser Scanning", Marcel Dekker, Inc., New York.
- (2) Marshall, G. F., 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”, Transactions of the ASME, Vol. 104, pp. 151~161.

(5) White, R. G. and Walker, J. G., 1982, “Noise and Vibration”, Ellis Horwood Ltd.

(6) Cengel & Cimbala, 2006, “Fluid Mechanics—fundamentals and Applications”, McGraw Hill.

(7) Kim, Y. S. and Lee, D. J., 2007, “Identifications and Reduction Methods of Aerodynamic Noise Sources in High Speed Rotating Optical Disk Drive”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 17, No. 6, pp. 477~483.