고속회전 육각형 디스크의 유동기인 소음저감에 관한 연구

한지민†. 임윤철*

A Study on the Reduction of Flow induced Acoustic Noise for a High-Speed Rotating Hexagonal Disk

Ji-Min Han, Yoon-Chul Rhim

Key Words : Hexagonal Disk, Flow Induced Noise, Ffowcs-Williams and Hawkings(FWH), Polygon Mirror

ABSTRACT

The present study describes the prediction of the flow induced noise level of a high-speed rotating hexagonal disk and proposes the way how to reduce it. Since a hexagonal disk, which is used in the laser printer and named a polygon mirror, has six sharp corners, there are low and high pressure regions on each of six edges when it rotates. Therefore, the pressure difference generates three dimension flow field and causes aerodynamic noise. The Ffowcs-Williams and Hawkings (FWH) method is employed for the analysis. We have measured the sound pressure levels and compared them with the computational results. The calculated sound pressure levels agree well with the experimental results. We modified the shape of the edges of a hexagonal disk to reduce the noise level and confirm their effects through numerical computation.

1. 서 론

원형디스크와는 달리 각이 있는 Hexagonal Disk 와 같은 경우 고속으로 회전시 edge 로부터 난류 유동에 의해서 발생되는 공력소음이 다른 기계적 소음보다 큰 비중을 차지하게 된다. 본 연구에서는 각이 있는 디스크가 높은 rpm 에서 회전할 때의 유동에 의해 발생되는 소음에 대하여 해석과 실험을 통하여 연구하였다. 연구에 사용된 Hexagonal Disk 는 현재 상용되고 있는 레이저 프린터기의 부품인 LSU(Laser Scanning Unit)이다. LSU 는 레이저 빔을 출사하는 수단과 일정한 속도로 회전하여 레이저 빔을 결상면의 소정 위치로 편향시키기 위해 측면에 수직한 면을 가지고 있는 다각형 형상의 편향수단과, 이렇게 편향된 레이저 빔을 결상면에 결상시키는 결상 수단으로 구성되어있다. 본 연구는 편향 수단인 폴리건 미러에 관한 것으로 레이저 빔을 편향시키지 않는 일부분을 소정의 면적으로 절취하여 소음을 감소시키는 데에 초점을 맞추었다. 최근에는 더 빠른 인쇄환경을 위해서 폴리건 미러가 더욱 빠른 rpm 으로 회전하게 되었고 이에 따른 공력소음은 더욱 커지게 되었다. Polygon mirror 의 소음은 사용자가 Laser printer 의 근접위치에서 사용하게 된다는 것을 감안해야 하며 소음성분 역시 인간의 민감 가청대역인 주파수 성분들이 지배적이기 때문에 더욱 철저한 소음제어가 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 우선 Polygon mirror 의 설계 인자들(두께, rpm)의 변화에 따른 유동해석 결과를 보여주고 Ffowcs-Williams and Hawkings(FWH)방법에 따른 소음해석으로 소음원을 규명하고 저소음형 모델에 대한 제안을 주파수 스펙트럼을 통해서 확인하는

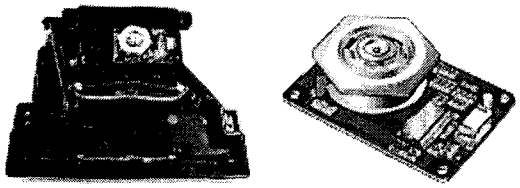
† 연세대학교 기계공학부 대학원
E-mail : jimin@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-3854 FAX : (02)312-2159
* 연세대학교 기계공학부

순서로 진행하였다.

2. 연구 대상

2.1 Polygon mirror

LSU(Laser Scanning Unit)의 편향수단인 Polygon mirror 는 소정의 높이를 갖는 다각면체로 각 측면은 레이저 빔이 반사될 수 있도록 매끈하게 처리된 경면(mirror surface)이다. 각 경면들은 다면체 회전중심을 기준으로 직경을 갖는 원에 외접하며, 동일한 길이를 갖는다.



(a) (b)

Fig. 1 (a) LSU(Laser Scanning Unit) (b)Polygon mirror

2.2 Polygon mirror 의 소음 발생

더욱 빠른 인쇄환경을 위해서 Laser printer 의 polygon mirror 회전속도는 점차적으로 증가하여 왔으며 약 36000rpm 의 속도까지 도달한다. 고속으로 회전하는 polygon mirror 는 회전하는 방향에 따라서 Fig. 2 에서 보여지듯이 다각면 중 두 면이 만나서 형성된 모서리를 경계로 하여 회전하는 방향인 A 부분에는 고압이 발생하고, 반대쪽인 B 부분에는 상대적인 저압영역이 발생된다. 이에 따라서 고압영역과 저압영역 사이의 압력차에 상응하여 저압영역으로는 대기의 유입 등에 의해 발생한 압력차를 균일하게 하기 위하여 저압 영역에서는 매우 불 균일한 유체의 유동인 와류가 형성되고 와류의 형성에 따른 소음이 발생된다는 문제점이 있다.

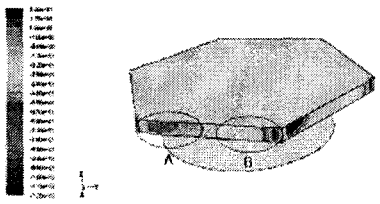


Fig. 2 Pressure Distribution

3. 수치해석

3.1 해석 방법

본 연구에서는 Polygon mirror 주변의 유동해석을 우선 수행하여 압력분포, 속도분포를 분석하였고 소음해석은 Ffowcs-Williams and Hawkings(FWH) 의 방법을 사용하여 그 결과를 얻었다. 유동해석과 소음해석을 위해 유한 체적법이 적용되는 상용코드를 사용하였으며 회전하는 폴리건 미러를 포함하여 베어링부분까지 시뮬레이션 하였다. 수치해석을 수행하기 위한 계산조건과 방법은 다음과 같다.

Table 1 Calculation Method

Item	Calculation method
Basic Equation	3-dimensional Navier-Stokes equation
Acoustic model	Ffowcs-Williams and Hawkings
Spatial discretization	2nd-order finite-volume method (FVM)
Time advancement	Unsteady
Node	About 180,000 Nodes for the flow field

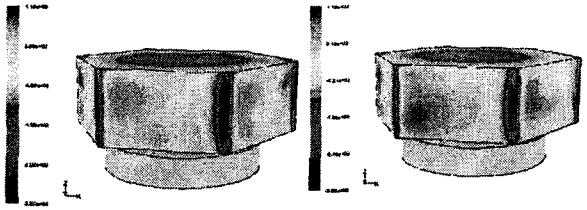
Table 2 Analysis Condition

Item	Value
Disk thickness(mm)	2 /12
Outside diameter of polygon mirror(mm)	20
Disk rotation speed, ω (rpm)	10,000/20,000/30,000/40,000
Time Step (s)	1e-05
Observer position(mm)	3 in x direction

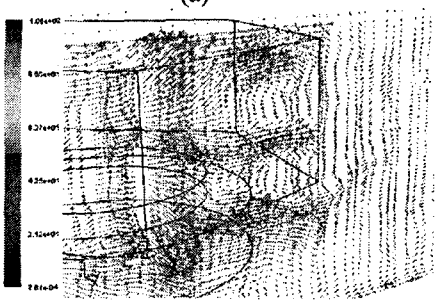
3.2 해석 결과

Polygon mirror 가 회전하면 각 경면에서 압력변동이 발생한다. Fig. 3 (a) 에서 두꺼운 polygon mirror 가 40,000rpm 으로 회전할 때의 압력변동을 보여준다. Mirror 의 경면에서 고압영역이 위, 아래로 이동하는데 이는 edge 에서 와류가 위아래로 생성되어 나가면서 고압의 위치가 바뀌어가는 것으로 예상할 수 있다. 또한 (b)에서 Polygon mirror 가 회전할 때 경면에서 mirror 의 위로 흘러가는 유동이 생기는데 이로 인해서 와류가 생기고 결과적으로 공력소음이 발생된다. 그림 4 는 polygon mirror 의 rpm 별로 소음을 측정한 스펙트럼이다. 토온소음(tonal noise) 즉, 기본주파수인 회전주파수와 polygon mirror 의 각수의 곱으로 이루어진 소음

이 발생하는 것을 확인할 수 있고 rpm 이 증가함에 따라서 전체적인 SPL 이 증가된다.



(a)



(b)

Fig. 3 (a) Pressure distribution, (b) Velocity vector

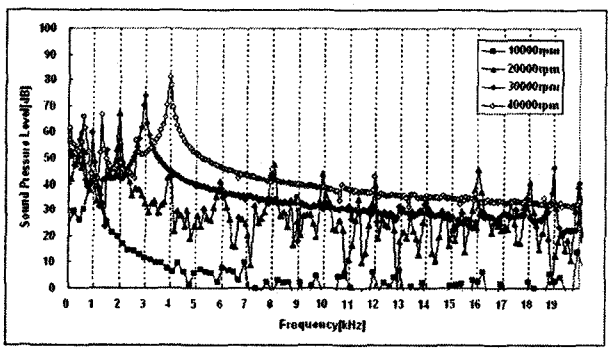


Fig. 4 Typical noise spectrum of the polygon mirror

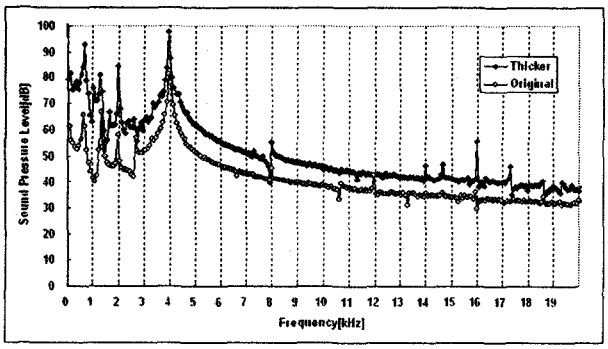


Fig. 5 Compare typical noise spectrum of the thicker polygon mirror with original polygon mirror

폴리건 미러의 두께를 12mm 로 변경해서 같은 rpm 에서 시뮬레이션 유동해석 결과 고압영역과 저압영역의 압력차가 original polygon mirror 에 비해서 더욱 크게 발생하고 이에 따라서 SPL 이 높게 나타난 것을 확인하였다. 이는 Polygon mirror 의 경면의 면적이 넓어지면서 압력차가 더욱 크게 발생되고 따라서 소음이 발생하는 면적이 큰 것을 의미한다.

4. 실 험

4.1 실험 장치 및 방법

실험에 사용된 장비는 Bruel&Kjaer 의 Pulse 로 실험에 쓰인 Pulse type 은 3560C 이며 Micro phone sensor type 은 4166 (sensitivity: 43.7mV/Pa)이다. 해석에서의 receiver 의 위치와 동일한 곳에서 function generator 에서의 신호로 각 rpm(10,000/20,000/30,000/40,000)에 따라서 실험을 수행하였으며 그 결과를 A-weighted 스펙트럼으로 나타내었다.

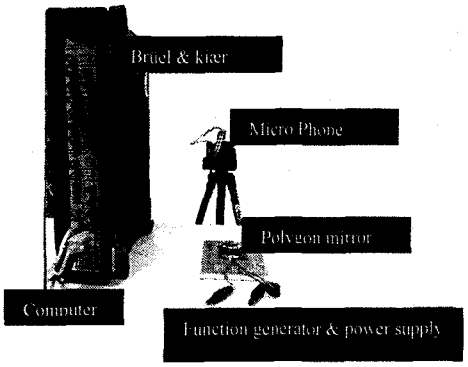


Fig. 5 Experimental setup

4.2 실험 결과

Fig 6 은 original polygon 의 실험 결과이다. 해석을 통해서 얻은 결과와 같이 토온소음의 peak 가 있는 것을 볼 수 있으며 polygon mirror 의 회전속도가 높아짐에 따라서 전체적인 SPL 이 증가한다.

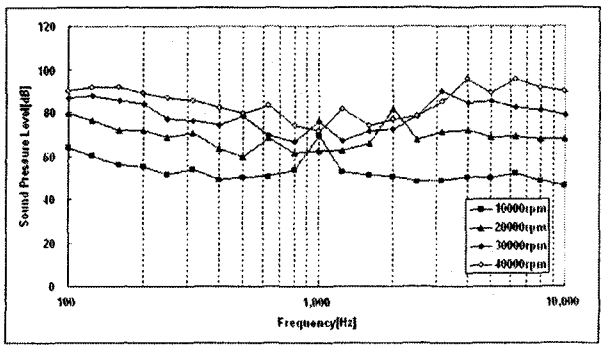


Fig. 6 Measured acoustic signal

5. Polygon mirror 의 저소음 제어

Polygon mirror 가 회전할 때 경면의 위로 흘러가는 유동의 와류가 생기는 것을 막기 위해서 두 경면이 만나는 모서리 부분의 면적을 줄이는 방법으로 모서리에 일정한 면적을 제거한 모델을 시뮬레이션하고 해석과 실험을 통해서 공력소음이 줄어듦을 보였다. modified 한 모델은 polygon mirror 의 모서리를 위, 아래로 번갈아 가면서 깎아내었을 때 유동해석의 결과 압력의 분포차이는 원래의 polygon mirror 에서보다 많이 줄어들게 되고 결과적으로 전체적인 소음 SPL 이 줄어들었다.

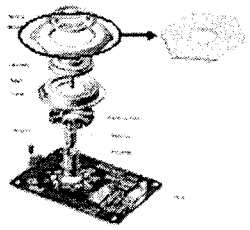
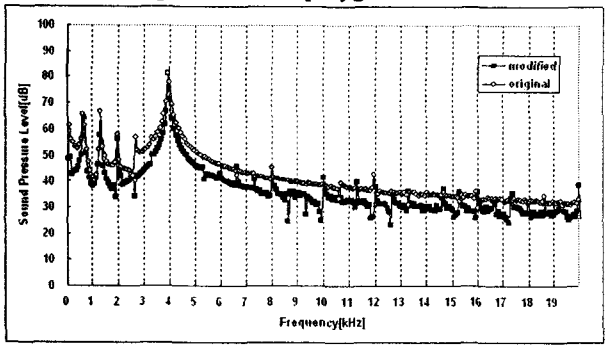
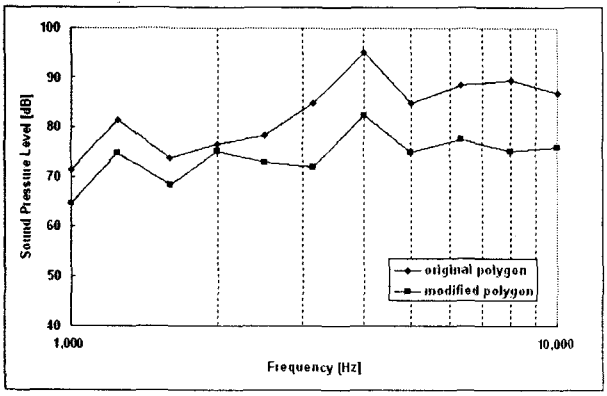


Fig. 6 Modified polygon mirror



(a)



(b)

Fig. 8 Compare of SPL between original polygon mirror and modified polygon mirror (a) calculated results (b) measured results

6. 결 론

각이 있는 Hexagonal disk 중에서 Polygon mirror 가 고속으로 회전함에 따라서 발생하는 공력소음의 원인을 규명하고 설계 인자들의 변화에 따른 유동, 소음해석의 결과를 토대로 하여서 소음을 억제하는 형상을 제안하고, 수치해석과 실험을 통해서 그 효과를 확인하였다.

참고문헌

(1) Goldstein, M.E, 1976, "Aeroacoustics", McGraw-Hill, pp67-112

(2) J.G Yu, 1999, "An analysis of the airflow and aerodynamic acoustic sources of a rectangular cross section", master thesis, Yonsei University

(3) Y.S.Kim, D.N.Heo and D.J.Lee, 2000, "Identifications and reductions of aerodynamic noise sources in high speed rotating CD-Rom Drive" AIAA

(3) H.Y Choi and U.J Yong, 1998, "Reduce flow induced noise for a polygon mirror", KR Patent, 0067438

(4) K.H Mun and H.Y Choi, 1998, "Laser Scanning Unit", KR Patent, 0054995