

고속회전 육각형 디스크의 유동기인 소음저감에 관한 연구

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

한지민* · 임윤철*

Ji-Min Han and Yoon-Chul Rhim

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

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. 서론

원형디스크와는 달리 각이 있는 Hexagonal Disk와 같은 경우 고속으로 회전시 난류 유동에 의해서 발생하는 소음이 진동소음보다 크게 작용하게 된다. 본 연구에서는 각이 있는 디스크가 높은 rpm에서 회전할 때의 유동에 의한 소음에 대하여 해석과 실험을 통하여 연구하였다. 연구에 사용된 Hexagonal Disk는 현재 상용되고 있는 레이저 프린터기에 포함된 부품인 LSU(Laser Scanning Unit)에 들어있는 폴리곤 미러(Polygon mirror)로써 더 빠른 인쇄환경을 위해서 폴리곤 미러는 더욱 빠른 rpm으로 회전하고 그에 따라서 공력 소음은 더욱 커지게 된다. Polygon mirror의 소음은 사용자가 laser printer의 근접위치에서 사용하게 된다는 것을 감안해야하며 소음성분 역시 인간의 민감가 청대역인 주파수 성분들이 지배적이기 때문에 더욱 철저한 소음제어가 필요하다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 Polygon disk의 설계 인자들(두께, rpm)의 변화에 따른 유동해석 결과로 소음원을 규명하고

저소음형 모델에 대한 제안을 주파수 스펙트럼을 통해서 확인하였다.

2. 연구 대상

2.1 Polygon mirror

(1) Polygon mirror의 구조

현재 사용되고 있는 레이저 프린터기 안에는 LSU(Laser Scanning Unit)라는 장치가 있다. LSU는 정전잠상이 형성되는 감광드럼의 결상면에 원하는 화상을 점상으로 형성하기 위해 결상면으로 레이저 빔을 주사하는 광학장치이다. 레이저 빔을 반사시키는 Polygon mirror는 소정의 높이를 갖는 다각면체로 각 측면은 레이저 빔이 반사될 수 있도록 매끈하게 처리된 경면(mirror surface)으로 각 경면들은 다면체 회전중심을 기준으로 직경을 갖는 원에 외접하며, 동일한 길이를 갖는다.

† 연세대학교 기계공학부 대학원

E-mail : jimin@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-3854, Fax : (02) 312-2159

* 연세대학교 기계공학부

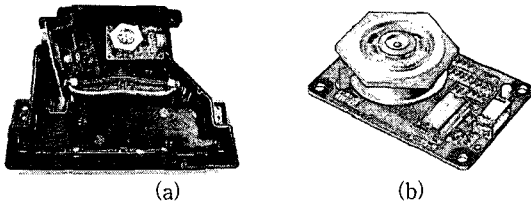


Fig 1. (a) LSU(Laser Scanning Unit) (b) Polygon mirror

(2) Polygon mirror의 소음 발생

Fig 2에서 보이듯이 폴리곤 미러는 회전하는 방향에 따라서 다각면 중 두 면이 만나서 형성된 모서리를 경계로 회전하는 방향인 A부분에는 고압이 발생하고, 반대쪽인 B부분에는 상대적인 저압 영역이 발생된다.

이에 따라 고압영역과 저압영역 사이의 압력차에 상응하여 저압영역으로는 대기의 유입 등에 의해 발생한 압력차를 균일하게 하기 위하여 저압 영역에서는 매우 불균일한 유체의 유동인 와류가 형성되고 와류의 형성에 따른 소음이 발생된다는 문제점이 있다.

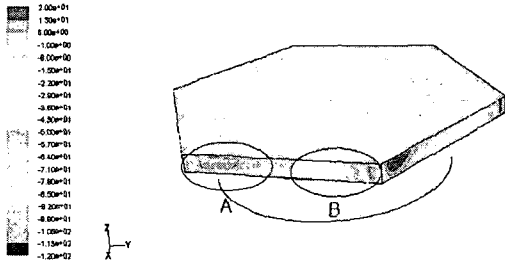


Fig 2. Pressure distribution

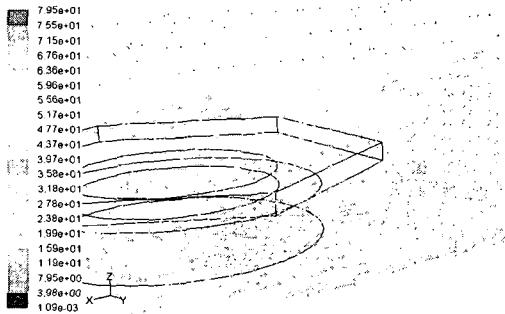


Fig 3. Velocity vector distribution

(2) 저소음형 Polygon mirror

polygon mirror가 회전할 때 경면의 위로 흘러가는 유동의 와류가 생기는 것을 막기 위해서 두 경면이 만나는 모서리 부분의 면적을 줄이는 방법으로 모서리에 일정한 면적

을 잘라낸 모델을 해석하고 실험을 통해서 공력소음이 줄어들음을 보였다.

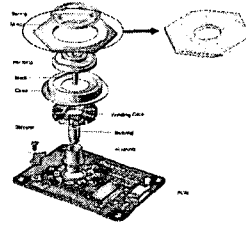


Fig 4. Modified Polygon mirror

3. 수치 해석

3.1 해석 방법

본 연구에서는 Polygon mirror 주변의 유동 해석을 우선 수행하고 이로부터 와류분포 및 압력분포를 해석하여 회전에 따른 공력소음을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

해석을 위해 유한 체적법이 적용되는 상용코드를 사용하였으며 회전하는 폴리곤 미러를 포함하여 베어링부분까지 시뮬레이션 하였고 수치해석을 수행하기위한 계산조건과 방법은 다음과 같다.

Table 1. Calculation methods

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

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

Table 2. Analysis condition

3.2 해석 결과

Polygon mirror가 회전하면 각 edge에서 압력변동이 발생한다. 따라서 receiver 위치에서 일어나는 압력변동은 아래의 식과 같다.

$$Receiver\text{에서의 압력변동 frequency}[Hz] = \frac{polygon\ mirror\ 회전수\ (rpm)}{60} \times 6(\text{edge}\text{갯수})$$

Fig 5는 각 rpm에 따른 주파수 성분들을 분석한 그래프로 위쪽에 따라서 peak가 발생함을 보여준다.

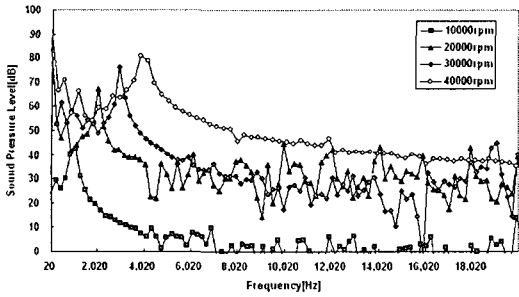
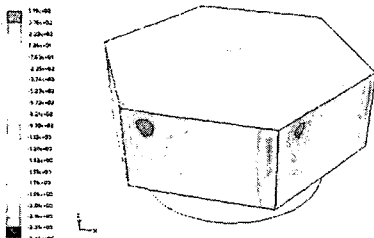
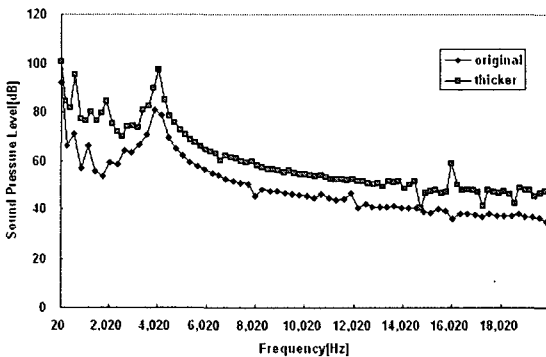


Fig 5. Sound Pressure Level of polygon mirror

폴리곤 미러의 두께를 12mm로 변경한 시뮬레이션 유동 해석 결과 고압영역과 저압영역의 압력차가 2mm polygon mirror일 경우보다 크게 발생하고 따라서 SPL이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 polygon mirror의 경면의 면적이 넓어지면 압력차가 더욱 크게 발생하게 되고 따라서 SPL이 높아짐을 의미한다.



(a) Pressure distribution

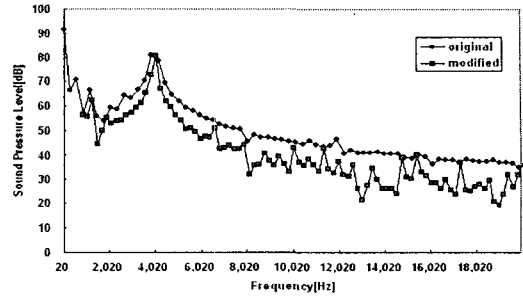


(b) Sound Pressure Level

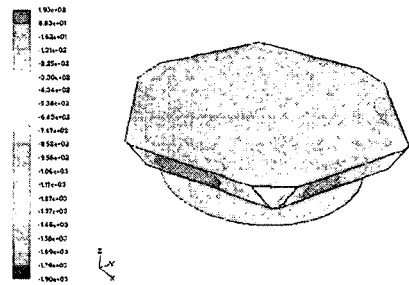
Fig 6. Thicker polygon mirror

앞서 제안된 모델인 modified된 polygon mirror로 같은 해석조건으로 시뮬레이션 하였을 때의 결과는 Fig 7과 같다. 폴리곤 미러의 소정의 면적을 잘라 내었을 때 전체적인 주파수 영역에서 SPL은 줄어들게 된다. 이는 폴리곤 미러가 회전할 때 위쪽을 타고선 지나가는 유동이 난류가 되면서

생기는 와류를 모서리 부분의 면적을 줄임으로써 감소시킬 수 있기 때문이다. 해석결과 경면에서의 압력차는 원래의 polygon mirror보다 줄어든 것을 확인할 수 있다.



(a) Pressure distribution



(b) Sound Pressure Level

Fig 7. Modified polygon mirror

4. 실험

4.1 실험장치 및 방법

Bruel & Kjaer의 Pulse 장비를 이용한 실험으로 Pulse type은 3560C이다. 사용된 micro phone sensor type은 4166으로 sensitivity는 43.7mV/Pa이다. 해석결과와 동일한 receiver의 위치에서 실험을 수행하였고 그 결과를 FFT의 결과로 얻었다.

Original polygon mirror, modified polygon mirror에 대해서 각 rpm(10,000/20,000/30,000/40,000)에 따라서 실험을 수행하였다.

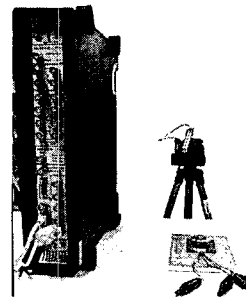


Fig 8. 실험장치

4.2 실험결과

Fig 9는 original polygon mirror의 실험 결과로써 해석을 통해서 얻은 결과와 같은 주파수 영역에서 peak가 발생하는 것을 확인하였다. 또한 polygon mirror의 회전수가 높아짐에 따라서 전체적인 SPL이 증가한다.

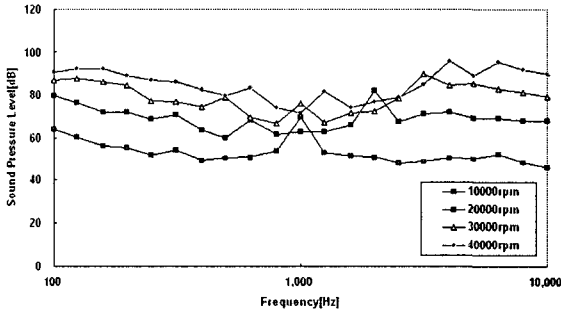


Fig 9. Polygon mirror의 SPL 실험결과

Fig 10은 modified polygon mirror가 30,000rpm일 때 비교한 그래프이다. 해석결과와 동일하게 전체적인 SPL이 줄어들음을 보여준다.

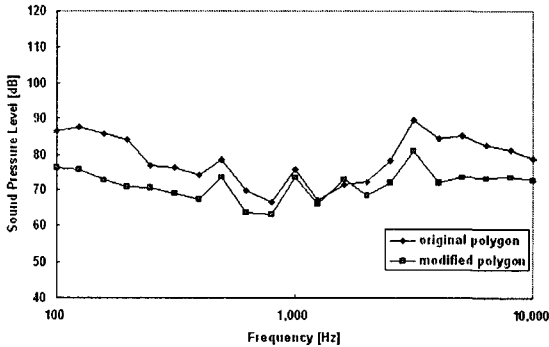


Fig 10. Modified 와 Original의 SPL 실험결과 비교

5. 결론

각이 있는 디스크는 고속으로 회전시에 경면에 고압 영역과 저압 영역의 압력차가 발생한다. 따라서 저압 영역으로는 대기의 유입 등으로 압력차를 균일하게 하기 위하여 매우 불균일한 유체의 유동인 와류가 형성되고 와류의 형성에 따른 소음이 발생된다는 문제점이 있다.

본 연구에서는 폴리진 미러가 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.

참고 문헌

- (1) Goldstein, M.E., 1976, Aeroacoustics, McGraw-Hill
- (2) 유정근, 1999, "사각다면 주위에서 난류에 의해 발생하는 유동소음의 예측",
- (3) 이덕주 등, 2000, "CD-ROM 드라이브의 소음원 해석 및 소음저감 방법 연구", 한국과학기술원