

나선형 3엽 블로어의 임펠러 단면설계

이항수*

A study on the design of cross-section of impeller for 3-lobes blower

H. S. Lee

Key Words: Rotary blower(회전형 블로어), helical type 3-lobes impeller(나선형 3엽 임펠러), Clearance(간극)

Abstract

The 3-lobes blower has been conventionally made by constructing the impeller with the cross-section of simple arc, and has several problems such as noise, vibration and the oscillation of torque. These are caused by the variation of clearance between both impellers rotating in geared. In the present study, an approach for the design of cross-section of impeller has been proposed to prevent the above problems. The whole cross-section is divided into the concave and convex part. The concave zone is designed by simple arc and the convex zone is modified by the condition that some part of convex zone is always in contact with the other impeller during rotating. A sample design has been carried out and it can be seen that the clearance between both impellers is always uniform and the validity of present work has been verified.

기호설명

- O_1, O_2 : Center of each impeller, respectively
 R_{20} : Radius of basic curve of impeller
 α : Rotating angle of impeller
 R_1 : Radius of pitch circle of impeller

1. 서론

로타리 블로어(Rotary blower)란 분체 또는 기체를 토출시키는 일종의 산업용 펌프로써 분체수송, 진공시스템, 화학가스의 이송, 제철공장, 시멘트공장, 진공탈수, 폐수처리, 산업기계 등 여러 분야에서 광범위하게 사용되고 있으며 작용압력의 범위는 대체로 0.4~0.6기압 정도이다. 로타리

블로어에는 2엽 임펠러(2-lobes blower) 또는 3엽 임펠러(3-lobes blower)를 사용하고 있는데, 2엽 임펠러는 진동 및 소음의 문제 때문에 사용상의 애로가 많다. 3엽 블로어의 경우에는 2엽블로어에 비해서 진동, 소음의 측면에서 맥동이 작고 또한 충격력이 작으므로 베어링이나 기계의 수명 측면에서 훨씬 안정하다. 이 중 가장 주된 특징은 저진동, 저소음, 저맥동인데, 일반적으로는 평기어 형태의 직선형 임펠러를 많이 사용되고 있으며 이러한 직선형 임펠러에서는 완전한 저맥동화를 이루기에는 부족함이 많다. 동력전달용 기어의 경우 평기어(Spur gear)에서 발생하는 진동, 소음, 회전의 맥동을 줄이기 위하여 헬리컬기어(Helical gear)를 사용하는 경우가 많이 있는데, 로타리 블로어에 있어서도 마찬가지로 나선형 임펠러를 사용하면 기존의 직선형 블로어에 비해 소음 및 진동특성을 월등히 높일 수가 있을 뿐만 아니라 토출풍량의 맥동을 극히 적게 할 수 있다. 따라서 나선형 임펠러의 사용이 많이 요구되고 있다.

* 한라대학교 기계공학부

로타리 블로어의 부품 중 가장 핵심적인 것은 임펠러(Rotor)로서 이 임펠러의 단면형상, 나선각, 재질에 따라 블로어의 수명, 효율, 소음, 맥동의 차이가 발생한다. 3엽임펠러의 단면형상은 주로 원호의 단순곡선으로 이루어진다. 이 경우에 임펠러가 회전함에 따라 어느 각도에서는 맞물려 회전하는 임펠러 사이에 과다한 간극이 발생하게 되어 토출압력의 변화를 가져오게 되며, 토오크의 맥동이 발생하여 진동, 소음의 원인이 될 뿐 아니라, 베어링의 마모로 인한 기계의 수명단축의 원인이 되기도 한다.

따라서 3엽임펠러의 단면형상을 단순한 원호가 아닌 합리적인 형상으로 바꾸어 어느 회전각도에서도 임펠러 사이에서 밀폐가 이루어지도록 단면형상을 수정설계하여야 한다.

이에 본 논문에서는 임펠러가 맞물려 회전하는 동안 두 임펠러 사이에서 기체의 역류가 발생하지 않도록 밀폐화를 이루기 위한 조건으로 임펠러 단면곡선의 설계에 대하여 연구하고자 한다.

2. 임펠러 단면의 설계방법

2.1 원호형 임펠러의 작동 특성

로타리블로어는 흡입포트로부터 공기를 흡입하여 송풍구로 가압, 이동시킴으로써 일정압력의 공기를 공급하는 기능을 갖는다. 블로어 내에서는 2개의 임펠러가 서로 맞물려서 회전운동을 하게 되며, 이 회전운동에 의해 흡기구의 공기를 임펠러의 바깥쪽으로 회전시킴과 동시에 압축시켜 송풍구로 보내게 된다.

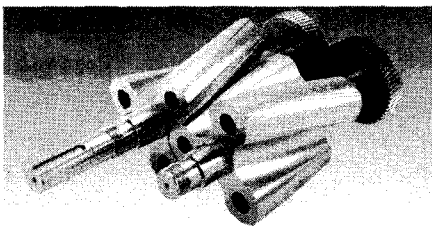


Fig. 1 Photograph of 3-lobes impeller in geared.

임펠러의 단면형상을 설계하기 위해서는 임펠러의 동작상태를 이해해야 한다. Fig. 1은 블로어 내부에서 3엽 임펠러의 조립된 상태를 나타내는

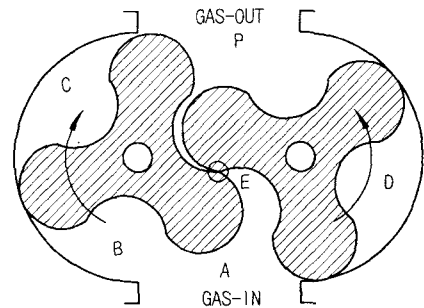


Fig. 2 Mechanism of giving pressure in 3-lobes blower

데, 여기서 보면 2개의 임펠러가 각각의 축에 연결된 기어에 의해 회전력이 전달되고 있다. 맞물린 기어의 잇수가 같으므로 여기에 연결된 임펠러는 회전방향은 반대이나 회전속도는 같다.

Fig. 2는 3엽 블로어의 작동원리를 보여주기 위한 그림으로 어느 한 위치의 단면을 보여주고 있다. 2개의 임펠러는 같은 각속도로 맞물리어 회전운동을 한다. 이때 송풍구(A)로 흡입된 공기는 임펠러가 회전함에 따라 A→B→C→P 또는 A→D→P의 경로로 이동하면서 가압된다. 이때 두 임펠러가 접촉하는 부분(E부)에서는 양쪽이 차단되어 공기흐름이 차단되어야 한다. 그래야만 공기압을 일정하게 유지시킬 수 있을 뿐만 아니라 압력손실과 에너지 손실을 막을 수 있다. 만일 두 임펠러 사이의 접촉부에서 밀폐가 이루어지지 않으면 송풍구의 고압공기가 저압쪽인 흡입포트로 역류하는 현상이 발생하여 정확한 압력발생이 곤란할 뿐만 아니라 에너지손실이 과다하게 되는 원인이 된다.

임펠러의 단면형상 설계시 또하나 주의해야 할 점은 임펠러 날개의 상호간섭에 관한 것이다. 압력매체가 공기이므로 두 임펠러 사이에서는 윤활이 이루어지지 않으며 따라서 임펠러 사이에서 서로 간섭이 발생할 수 있다. 그러므로 이러한 간섭을 배제하기 위해서는 Fig. 2의 E-부분에서 공기의 유출을 막을 수 있을 정도의 작은 틈새를 일정하게 유지시키는 것이 필요하다.

3엽 임펠러의 기본형상은 원호의 단순곡선으로 이루어진다. 임펠러가 회전할 때의 각 회전위치에서의 단면을 Fig. 3에 나타내었다. 이 그림에서 두 임펠러에서 가장 근접한 부분을 확대하여 살펴보면 회전위치에 따라 다르기는 하지만 두 임

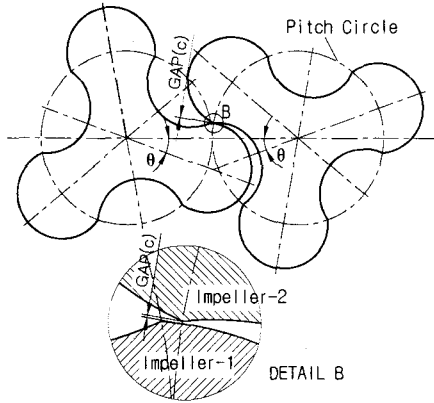


Fig. 3 The cross-section of impeller at the rotating angle θ

펠러 사이에 틈새(Gap)가 발생하게 된다. 이러한 간극의 변화를 각 회전위치에 대하여 Fig. 4에 나타내었다. 이 그림에서 보면 회전각도가 0° 이거나 30° 일 때는 간극이 0이 되나 나머지 위치에서는 주기적으로 변함을 알 수 있다. 이러한 간극은 임펠러의 피치원 및 이빨의 원호반경에 따라 달라지며 그 크기가 아주 크지는 않으나 압력매체가 공기인 점을 고려하면 결코 무시할 수 없다.

따라서 3엽임펠러의 단면형상은 기본적으로는 원호 형상을 선택하고 여기에 각 회전위치에서 밀폐를 유지할 수 있도록 단면형상을 수정 설계하여야 한다.

2.2 임펠러 단면 형상의 설계방법

Fig. 5는 두 임펠러의 날개의 중심이 일치한 상태를 보여주고 있다. 임펠러-1에 있어서 점선으로 나타낸 그림은 offset1을 '0'으로 했을 때 즉, 이상적인 경우의 단면을 나타내고 있으며 실선으로 나타낸 그림은 두 임펠러 사이 접촉부에서 서로 간의 간섭을 피하기 위해 약간의 offset을 준 경우를 나타내고 있다.

그림에서 O_1 및 O_2 는 각 임펠러의 회전중심을 나타내며 O_{1A} 는 임펠러-1의 볼록한 날개의 중심을, O_{2B} 임펠러-2의 오목한 부분의 중심을 나타낸다. R_{20} 는 오목한 부분(중심: O_{2B})과 볼록한 부분(중심: O_{1A})의 반경이 같다고 가정했을 때 즉, offset1이 0일때의 볼록부 반경을 나타낸다. 이때

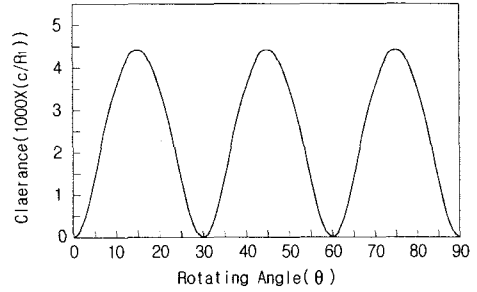


Fig. 4 The relationship between clearance and rotating angle in the case of simple arc cross-section.

두 임펠러의 접촉하는 끝부분(C)과 임펠러-2를 이은 선 $\overline{C_2O_2}$ 와 $\overline{O_1O_2}$ 와의 사이각(δ)은 30° 가 되며 그림에서 $\overline{O_{1A}A_1}$ 와 $\overline{O_{1A}C_1}$ 사이에서는 정확한 원호(반지름: R_2)로서 정의한다. 두 개의 임펠러가 회전하는 동안에 볼록한 부분은 $\overline{C_1B_1}$ 사이에서 계속 변하지만 오목한 부분에서는 고정된 점 C_2 에서만 접촉하게 된다. 따라서 $\overline{C_1B_1}$ 사이에서는 C_2 와 접촉이 유지되도록 θ_2 에 대한 $R_2(\theta_2)$ 의 값을 결정하여야 한다. 이를 위해 우선 θ_{21} , θ_{22} , α' 를 계산한다. 실제로 설계할 때는 간섭 문제를 고려하여야 하므로 일정한 작은 틈을 유지하기 위하여 R_{20} 에서 offset1만큼 빼어 R_2 의 반경을 나타낸다. 즉,

$$R_2 = R_{20} - \text{offset1} \quad (1)$$

그림에서 $\text{offset1} \approx R_1\delta$ 로 놓을 수 있으므로 $\delta = \text{offset1}/R_1$ 이 되며, $\beta = 30^\circ = \alpha' + \delta$ 의 조건으로부터

$$\alpha' = \beta - \delta = 30^\circ - \delta \quad (2)$$

가 된다. 또한, $\alpha' + 2\theta_{21} = \pi$ 의 관계로부터

$$\theta_{21} = \frac{1}{2}(\pi - \alpha') \quad (3.a)$$

$$\theta_{22} = \pi - \theta_{21} \quad (3.b)$$

의 관계를 얻을 수 있다.

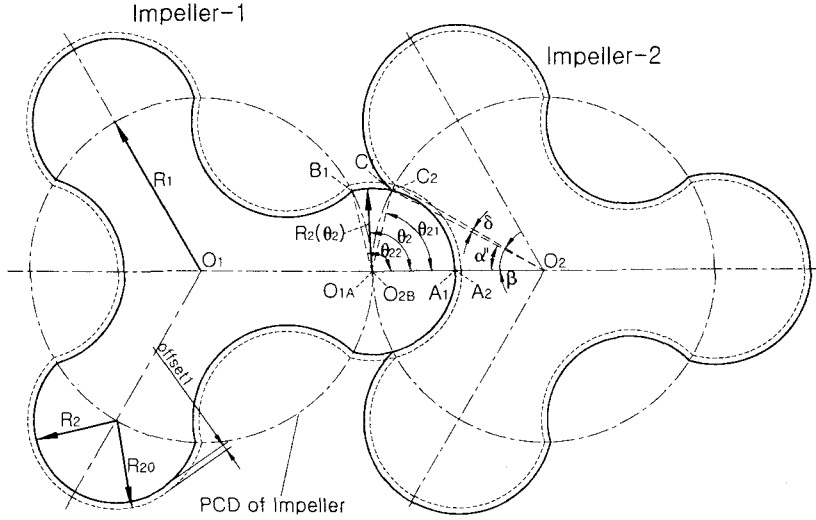


Fig. 5 Geometric description of impeller when the rotating angle is 0°

다음에 각 위치(θ_2)에서의 볼록부분 중심(C)에서 부터의 반경거리($R_2(\theta_2)$)를 구한다. Fig. 6에서 오목부의 반지름은 $R_{20} + \text{offset1}$ 로 일정하다. 따라서 임펠러가 맞물린 임펠러 사이에는 offset1 의 2배의 간극이 항상 유지되도록 한다.

본 절에서는 볼록부분의 반경치인 $R_2(\theta_2)$ 를 구하는 것이 목적이므로 오목부분의 끝부분(A)이 항상 볼록부분의 어느 점과 접촉하도록 조건을 설정한다. Fig. 6은 임펠러가 α 만큼 회전했을 때의 접촉상태를 나타내는 것으로 벡터방법으로 접근한다. 즉, $\overrightarrow{O_2A} = \vec{v}$ 로 표시했을 때,

$$\vec{v} = \vec{v}_3 + \vec{v}_4 + \vec{v}_5 \quad (4)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 $\vec{v}, \vec{v}_3, \vec{v}_4, \vec{v}_5$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\vec{v} = \overrightarrow{O_2A} = x_i + y_j \quad (5.a)$$

$$\vec{v}_3 = x_3 i + y_3 j \quad (5.b)$$

$$\vec{v}_4 = x_4 i + y_4 j \quad (5.c)$$

$$\vec{v}_5 = x_5 i + y_5 j \quad (5.d)$$

여기서,

$$x = R_1 \cos(\pi - \alpha' + \alpha) \quad (6.a)$$

$$y = R_1 \sin(\alpha' - \alpha) \quad (6.b)$$

$$x_3 = -2R_1 \quad (6.c)$$

$$y_3 = 0 \quad (6.d)$$

$$x_4 = R_1 \cos \alpha \quad (6.e)$$

$$y_4 = -R_1 \sin \alpha \quad (6.f)$$

가 된다.

여기서 우리가 구하고자 하는 것은 $R_2(\theta_2)$ 이므로 바로 임의의 회전각 α 에 대한 θ_2 와 이때의 \vec{v}_5 의 크기를 구하면 된다. 따라서,

$$x_5 = x - x_3 - x_4 \quad (7.a)$$

$$y_5 = y - y_3 - y_4 \quad (7.a)$$

가 되며, 이를 다시 표현하면

$$|\vec{v}_5| = \sqrt{x_5^2 + y_5^2} \quad (8.a)$$

$$\sin \theta_2' = \frac{x_5}{|\vec{v}_5|} \quad (8.b)$$

가 된다.

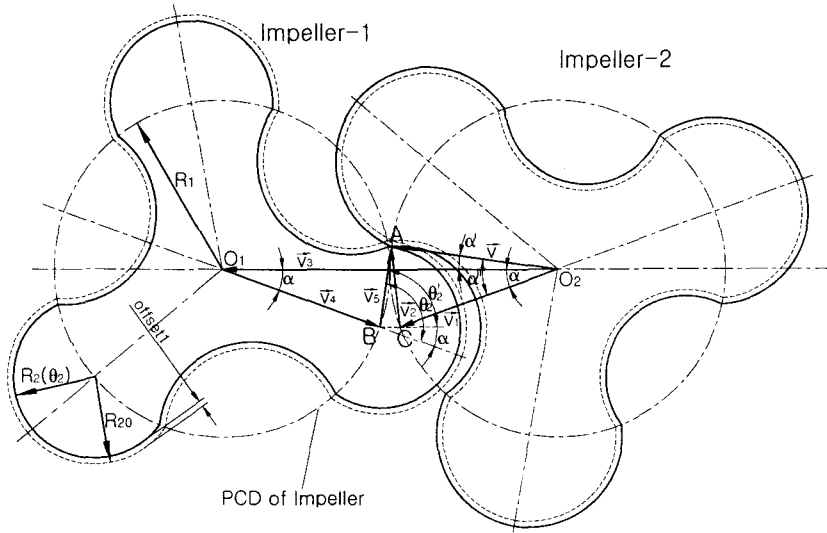


Fig. 6 Geometric description of impeller at the arbitrary rotating angle(α°)

Fig. 6에서 $\theta_2 = \theta_2' + \alpha$, $R_2(\theta_2) = |\vec{v}_5|$ 의 관계를 알 수 있으므로 이로부터 단면형상을 결정할 수 있다.

한편, Fig. 5에서 $0 \leq \theta_2 \leq \theta_{21}$ 사이에서는 R_2 의 일정한 값을 가지므로 최종적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

i) $0 \leq \theta_2 \leq \theta_{21}$ 일 때,

$$R_2(\theta_2) = R_2 = R_{20} - \text{offset1} \quad (14.a)$$

ii) $\theta_{21} \leq \theta_2 \leq \theta_{22}$ 일 때,

$$R_2(\theta_2) = |\vec{v}_5| \quad (14.b)$$

3. 결과 및 토론

임펠러 단면형상을 설계하기 입력데이터에는 피치원반경(R_1)과 offset1이다. 여기서 offset1은 임펠러 사이의 간극을 일정하도록 설정한 것으로 실제의 간극은 $2 \times \text{offset1}$ 의 크기를 항상 유지하게 된다.

Fig. 7은 본 연구를 통하여 설계된 제품의 단면형상을 보여준다. Fig. 7(a)는 전체 단면의 형상을 보여주고 있으며 Fig. 7(b)는 원호가 아닌 부분

즉, 원호형상을 수정한 부분에 대하여 위치각도에 따르는 반지름의 변화를 보여주고 있다. 이 두 그림에서 보면 A-부분은 원호보다 약간 더 볼록한 형상을 나타내고 있는데, 이는 임펠러가 회전할 때 맞물리는 임펠러의 사이 간극을 일정하게 유지하기 위해 수정된 것으로 앞장에서의 수식을 통해 얻어진 단면이다.

본 연구에서 설계된 단면이 목적한 대로 설계되었는지를 확인하기 위해 설계된 임펠러 사이의 간극비(간극/임펠러 반지름)를 Table 1에 나타내었다. 여기서 간극비란 입력으로 주어지는 offset1에 대한 수치를 배제한 상태에서 이를 Fig. 4에서와 같이 비교하기 위하여 $1000 \times (c/R_1)$ 로 나타내었다.

Table 1 The variation of clearance ratio for the rotating angle of impeller

Rotating angle($^\circ$)	Clearance ratio
0	0.0
10	0.071
20	0.023
30	0.048
45	0.048
60	0.0

이 표에서 보면 각 회전위치에 따라 간극비가 0에서 0.071로서 거의 일정함을 알 수 있다.

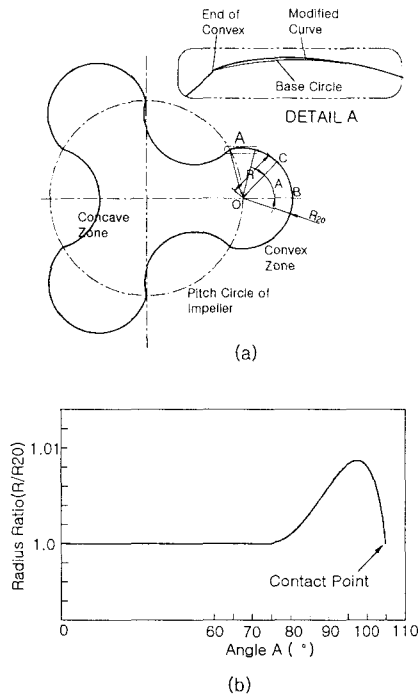


Fig. 7 The cross-section of impeller designed (a) Whole cross-section, (b) The variation of radius at modified zone

4. 결론

이상과 같은 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원호형상의 날개를 가진 3엽 블로어의 경우 블로어 내에서 맞물리는 두 임펠러 사이에서 주기적으로 간극이 발생하여 맥동 및 소음의 원인이 되는 것을 알았다.
2. 주기적인 간극의 발생을 방지하고 일정한 틈새를 유지하기 위한 단면설계 방법을 제안하였다.
3. 실제 제품에 대한 설계를 수행하였으며 그 결과로부터 임펠러 사이의 간극이 항상 일정하게 유지될 수 있으며 본 연구에서의 설계방법이 타당함을 보였다.

참고문헌

- (1) J. L. Kuester and J. H. Mize, 1973,

Optimization techniques with fortran, Mc.Graw-Hill

- (2) M. M. Lipschutz, 1969, Schaum's outline series -Theory and problems of differential geometry, Mc.Graw-Hill

- (3) 이철수, 1997, CAD/CAM - 형상모델링에서 NC가공 까지, 터보테크출판부