Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 27:4 (2018) 371~375

https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.4.371

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

싱글 스크류 압축기의 게이터 로터 설계

김두형[a*], 박찬훈[a], 최태용[a], 김휘수[a], 김왕환[b]

Design of a Gate Rotor of a Single-Screw Compressor

Doo-Hyeong Kim[a*], Chan-Hoon Park[a], Tae-Yong Choi[a], Hwi-Su Kim[a], Yoang-Hwan Kim[b]

[a] *Robot and Mechatronics Research Lab., Korea Institute of Machinery & Materials, 156, Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Korea*
[b] *Hanguk AIRRO Co., Ltd., 281, Techno 2-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34102, Korea*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 8 May 2018
Accepted 12 June 2018

Keywords:
Compressor
Single screw
Gate rotor
Screw rotor
Coordinate transformation

ABSTRACT

In the fields of air/gas compression, refrigeration, and chemical fluid transportation systems, single-screw compressors are widely used. A screw rotor and two gate rotors located at both sides are the main components of a single-screw compressor. Because of this simple construction, it has merits of low rotational speed of the rotor, efficient compression with low noise, low vibration, and long bearing life. However, it is difficult to design single-screw compressors. To accelerate the design and manufacturing of single-screw compressors, a design method for a gate rotor using coordinate transformation and numerical estimation by iteration of edge points is presented in this paper. The lines connecting the edge points can be used for CAD/CAM data for design and machining.

Nomenclature

D: Distance of centers between screw rotor and gate rotor
H: D minus Radius of screw rotor
R: Radius of gate rotor
w: Tooth width of gate rotor
α: Rotational angle of gate rotor
θ: Rotational angle of screw rotor
C_α, S_α: Abbreviation of $\cos(\alpha)$ and $\sin(\alpha)$
$\{s\}$: Screw rotor coordinate system
$\{g\}$: Gate rotor coordinate system
${}^sP_i$: Position of point i w.r.t. coordinate system $\{s\}$
${}^sx_i, {}^sy_i, {}^sz_i$: Position of point i w.r.t. coordinate system $\{s\}$

* Corresponding author. Tel.: +82-42-868-7125
Fax: +82-42-868-7135
E-mail address: kdh649@kimm.re.kr (Doo-Hyeong Kim).

1. 서 론

압축기(compressor)는 공기를 비롯한 유체의 이송과 저장을 위해서 산업 현장에서 많이 사용되고 있다. 그 종류로는 압축 방식이나 압축 대상인 유체의 종류에 따라서 로터리 스크류형, 로터리 베인형, 로터리 기어형, 왕복동형, 다이아프렘형, 터보형 등이 있다. 로터리 스크류형 중에서 1960년대에 프랑스의 Zimmern에 의해 개발된 싱글 스크류 컴프레서(single screw compressor)가 타 구조에 비해 여러 장점을 가지고 있으나 설계의 어려움이 있어 본 논문에서는 스크류 로터(screw rotor)의 설계[1]에 이어 게이터 로터(gate rotor)의 설계에 대하여 검토해 보고자 한다.

2. 싱글 스크류 컴프레서의 구조 및 특징

싱글 스크류 컴프레서의 주요 구조는 Fig. 1과 같다. 중심에 하나의 스크류 로터가 있고 그 양측으로 게이터 로터가 배치되어 있다. 다른 동일 용량 컴프레서에 비해서 저속으로 스크류가 구동되어 소음과 발열이 적고, 내부압력이 밸런스를 이루어 압력변동이 작으며, 대체적으로 유지보수가 용이하다.

3. 게이터 로터 설계

3.1 스크류 로터 설계 요약[1]

Fig. 2에 있어서 스크류 로터와 게이터 로터의 상대적인 운동관계를 기구학적으로 해석하여 게이터 로터의 점 ①~④의 궤적을 구하면 스크류로터의 홈의 형상을 설계할 수 있다.

i) 모서리점 ①, ④의 궤적

스크류로터 의 회전각 θ에 따른 모서리점 ①, ④의 스크류 로터 좌표계에 의한 위치좌표는 다음식과 같다.

$$ {}^{s}P_1 = \begin{bmatrix} {}^{s}x_1 \\ {}^{s}y_1 \\ {}^{s}z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_\theta(D - rC_\alpha + \frac{w}{2}S_\alpha) \\ S_\theta(D - rC_\alpha + \frac{w}{2}S_\alpha) \\ rS_\alpha + \frac{w}{2}C_\alpha \end{bmatrix} \quad (1) $$

${}^{s}P_4$는 왼편의 $\frac{w}{2}$ 대신 $-\frac{w}{2}$를 넣은 것이다.

ii) 경계점 ②, ⑤의 궤적

경계점 ②, ⑤의 스크류 로터 좌표계에 의한 위치좌표는 다음식과 같다.

$$ {}^{s}P_2 = \begin{bmatrix} {}^{s}x_2 \\ {}^{s}y_2 \\ {}^{s}z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_\theta(D - H) \\ S_\theta(D - H) \\ HT_\alpha + \frac{w}{2}/C_\alpha \end{bmatrix} \quad (2) $$

${}^{s}P_5$는 왼편의 $\frac{w}{2}$ 대신 $-\frac{w}{2}$를 넣은 것이다.

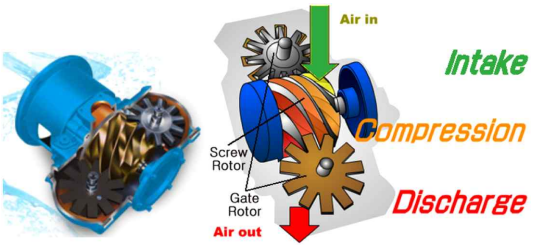
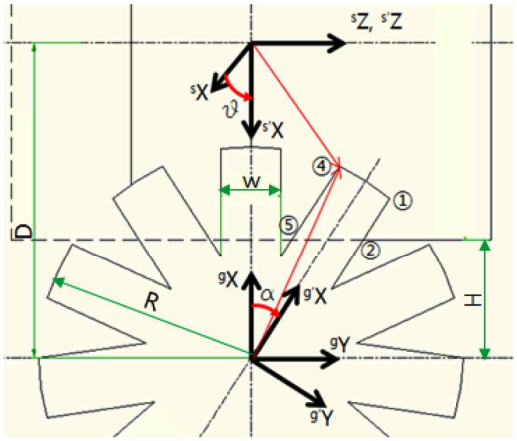


Fig. 1 Structure of single screw compressor[1]



$$ \alpha = \frac{6}{11}\theta $$

Fig. 2 Coordinate relation between screw and gate rotor

3.2 스크류 로터와 게이터 로터의 물림

다음 Fig. 3은 스크류 로터와 게이터 로터간의 조립 상태를 도시한 것이다.

이 그림에서 게이터 로터는 윗면이 스크류 로터의 중심선과 일치되게 조립되고 두께 t 만큼 옵셋되어 있음을 알 수 있다.

3.3 일반적인 게이터 로터 설계

다음 Fig. 5는 스크류 로터에서 게이터 로터가 물리는 부분을 게이터 로터의 두께 t 만큼 잘라낸 slice편이다. 이 slice편의 타원으로 표시한 빈 공간을 채우는 형상으로 설계를 한다면 이것이 게이터 로터가 된다.

일반적으로 설계현장에서는 Fig. 4의 slice편 단면부분을 CAD 상에서 확대한 Fig. 5의 상태에서 edge 부분을 잘게 나눈 각 점을 마우스로 pointing 하여 좌표값을 읽어, 이들 값으로서 게이터 로

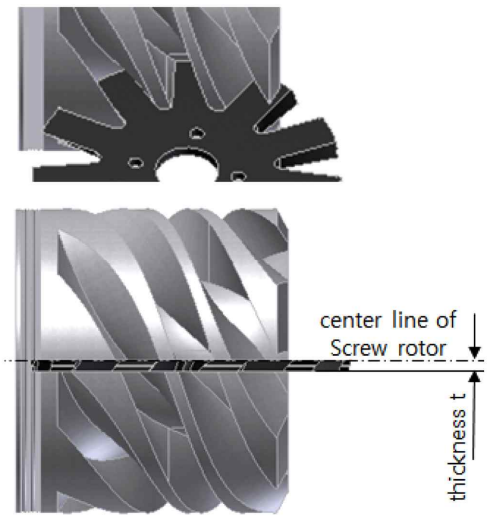


Fig. 3 Assembly of screw and gate rotor

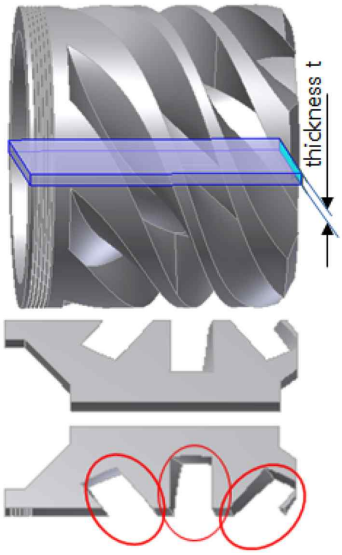


Fig. 4 Sectional view of screw rotor

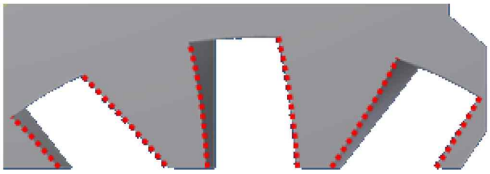


Fig. 5 Edge pointing to readout coordinates

터를 설계하고 있어 상당히 번거로우며 시간이 소모되고 정확도 또한 떨어지는 설계라고 하겠다.

3.4 게이터 로터 설계의 접근 방법

다음 Fig. 6은 스크류 로터의 slice편 부분과 게이터 로터의 치합(齒合; 이물림)을 설명한 것이다. 즉 좌측의 그림은 스크류 로터의 slice편과 게이터 로터가 완전 평면이 되기 얼마전의 상태이며, 이 상태에서 스크류 로터는 θ 만큼, 게이터 로터는 α만큼 회전하여 오른쪽 그림처럼 완전한 평면을 이룬다고 가정한다. 여기서 θ와 α의 관계는 Fig. 2에 표시한 것과 같다.

여기서 Fig. 6의 좌측의 아래 부분을 확대하면 다음 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 점 B가 있는 edge 선을 이으면 게이터 로터의 윗면 형상이 되고, 점 A가 있는 edge 선을 이으면 게이터 로터의 아랫면 형상이 된다. 여기서 점 B가 있는 edge 선은 직선으로서 게이터 로터의 치폭 w 만큼의 간격으로 떨어진 직선과 합쳐져서 게이터 로터의 윗면형상이 되는 것은 Fig. 2와 같이 주지의 사실이다.

본 논문에서 게이터 로터의 설계로서 논하고자 하는 부분은 점 A가 있는 게이터 로터 아랫면 edge 선에 있는 점들의 좌표 또는 이 점들을 잇는 선의 곡선식을 구하는 것이다.

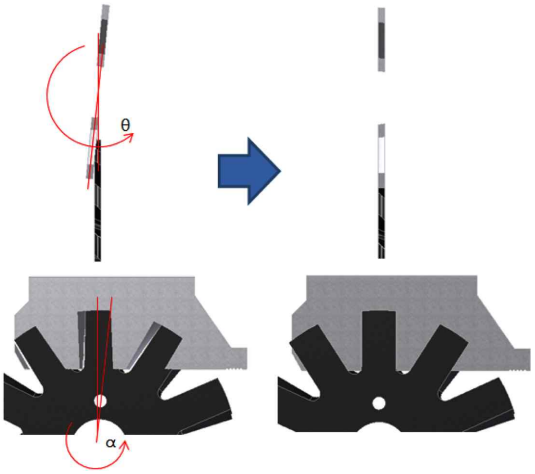


Fig. 6 Sectional view of screw rotor

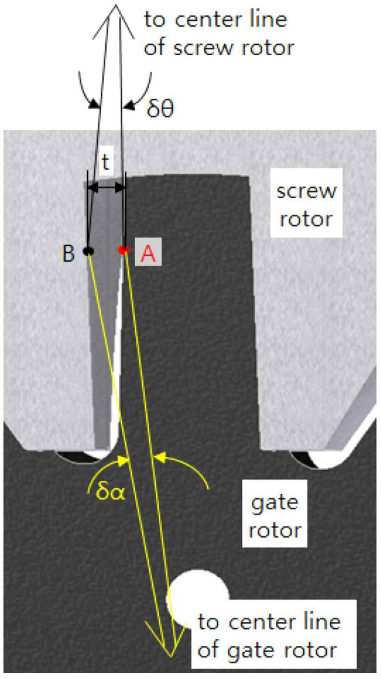


Fig. 7 Zooming of Fig. 6 low-left

3.5 게이터 로터 아랫면 edge 점의 수치해석

Fig. 7에서 global screw rotor 좌표계에서 본 점 B의 좌표는 식 (1)에 의해서

$$
\begin{aligned}
{}^{s}x_B &= C_\theta[D - {}^{g'}x * C_\alpha + {}^{g'}y * S_\alpha] \\
{}^{s}y_B &= S_\theta[D - {}^{g'}x * C_\alpha + {}^{g'}y * S_\alpha]
\end{aligned}
\tag{3}
$$

단 ${}^{g'}x, {}^{g'}y$는 local gate 좌표계에서 본 점 A의 위치 좌표이다.

여기서 구하고자 하는 것은 Fig. 6의 우측 그림상태, 즉 점 A와 점 B가 일치된 상태로서 게이터 로터와 스크류 로터의 slice편이 완전한 평면을 이룬 상태에서, Fig. 6의 좌측상태, 즉 게이트 로터의 두께 t 만큼 점 B로부터 떨어져서 생기는 점 A의 좌표를

구하는 것이다.

$$l_B = \sqrt{{}^s x_B^2 + {}^s y_B^2} \tag{4}$$

라 두면

$$\delta\theta \cong t / l_B \tag{5}$$

로 된다. 한편

$$\hat{\theta} = \theta + \delta\theta \tag{6}$$

라 두고 점 A 에서의 정확한 $\hat{\theta}$을 구하면 식 (3)에 의해서 점 A의 좌표가 계산된다.

$\hat{\theta}$으로서 식 (3)을 다시 쓰면

$$\begin{aligned} {}^s\widehat{x_A} &= C_{\hat{\theta}}[D - {}^{g'}x * C_{\hat{\alpha}} + {}^{g'}y * S_{\hat{\alpha}}] \\ {}^s\widehat{y_A} &= S_{\hat{\theta}}[D - {}^{g'}x * C_{\hat{\alpha}} + {}^{g'}y * S_{\hat{\alpha}}] \\ {}^s\widehat{z_A} &= {}^{g'}x * S_{\hat{\alpha}} + {}^{g'}y * C_{\hat{\alpha}} \end{aligned} \tag{7}$$

위 식 (7)의 좌표를 각도 θ일 때 local gate 좌표계로 표현하면

$$\begin{aligned} {}^{g'}x &= C_\alpha[D - {}^s\widehat{x_A} * C_\theta - {}^s\widehat{y_A} * S_\theta] + {}^s\widehat{z_A} * S_\alpha \\ {}^{g'}y &= -S_\alpha[D - {}^s\widehat{x_A} * C_\theta - {}^s\widehat{y_A} * S_\theta] + {}^s\widehat{z_A} * C_\alpha \\ {}^{g'}z &= -{}^s\widehat{x_A} * S_\theta + {}^s\widehat{y_A} * C_\theta \end{aligned} \tag{8}$$

결국 식 (8)에서의 ${}^{g'}z$가 게이터 로터의 두께 t 와 같아지도록 식(6)의 $\delta\theta$를 조정하여 식 (7)과 (8)을 반복 계산하여 아주 작은 오차이내의 정확한 $\hat{\theta}$을 찾으면 이때의 식 (7)로 계산한 좌표가 점 A의 실제 좌표가 된다. 이 점 A의 계산을 식 (1)과 (2)의 모서리점 한계내에서 계산하면 된다.

3.6 게이터 로터 설계 프로그램 구현

Fig. 8은 위에서 서술한 방법으로 구현한 게이터 로터 설계 data 생성을 위한 프로그램이다. Fig. 9는 게이터 로터 이빨 하나에 대해서 계산된 edge 선에 있는 점들의 좌표 결과를 보여준다. 여기서 l_{x0}, l_{y0}, l_{z0} 는 좌측 윗면의 edge 점 좌표, l_{xt}, l_{yt}, l_{zt}는 좌측 아랫면의 edge 점 좌표, r_{x0}, r_{y0}, r_{z0}와 r_{xt}, r_{yt}, r_{zt}는 각각 우측 윗면과 아랫면의 점 좌표이다. 한편 Fig. 10은 이 점들의 좌표로서 3차원 모델링한 게이터 로터의 이빨(tooth) 부분이다.

4. 결 론

압축기는 유체의 압축과 냉동, 공조시스템 및 유체 수송 등에

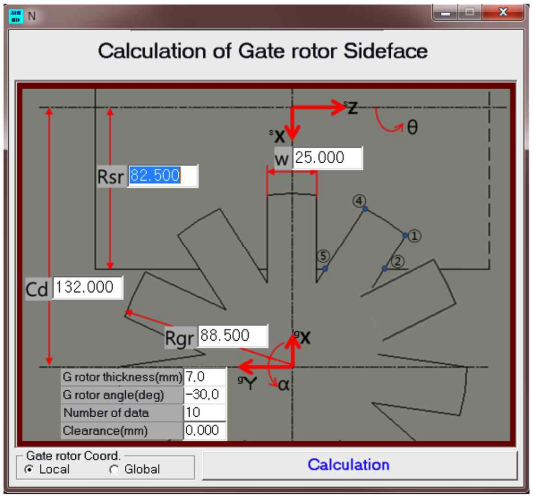


Fig. 8 Program for design of rotor gate

Alpha =	-30.000000 deg					
lx0	ly0	lz0	lxt	lyt	lzt	
87.613	12.5	0	88.697	6.316	-7	
83.109	12.5	0	84.148	7.019	-7	
78.604	12.5	0	79.601	7.641	-7	
74.100	12.5	0	75.056	8.195	-7	
69.596	12.5	0	70.514	8.689	-7	
65.092	12.5	0	65.974	9.133	-7	
60.588	12.5	0	61.436	9.534	-7	
56.084	12.5	0	56.900	9.897	-7	
51.579	12.5	0	52.367	10.228	-7	
47.075	12.5	0	47.835	10.529	-7	
rx0	ry0	rz0	rxt	ryt	rzt	
87.613	-12.5	0	87.060	-17.392	-7	
83.109	-12.5	0	82.599	-16.890	-7	
78.604	-12.5	0	78.133	-16.436	-7	
74.100	-12.5	0	73.661	-16.024	-7	
69.596	-12.5	0	69.187	-15.649	-7	
65.092	-12.5	0	64.708	-15.305	-7	
60.588	-12.5	0	60.228	-14.990	-7	
56.084	-12.5	0	55.744	-14.701	-7	
51.579	-12.5	0	51.259	-14.433	-7	
47.075	-12.5	0	46.772	-14.186	-7	
y(Lt)=	-1.16E-09	2.68E-07	-3.13E-05	1.48E-03	-7.73E-02	13.157
y(Rt)=	-5.54E-10	1.19E-07	-1.42E-05	5.54E-04	-4.71E-02	-12.187

Fig. 9 Design data of gate rotor

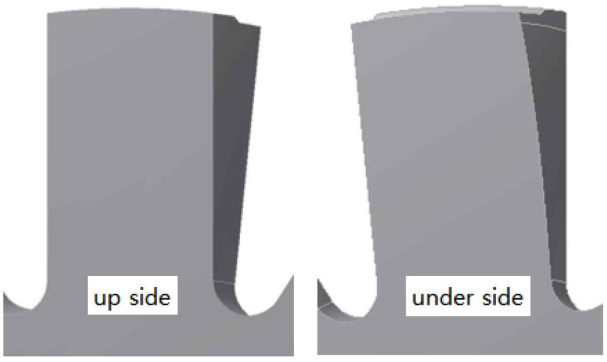


Fig. 10 Design result of a tooth of gate rotor

널리 사용되어지며 이 중 싱글 스크류 컴프레서가 성능과 수명 및 효율에서 특징이 우수하나, 설계와 가공방법이 잘 알려져 있지 않아 관련 중소기업에서 시제품 단계를 거처 제품화가 어렵다고 하고 있다. 본 연구에서는 싱글 스크류 컴프레서의 주요 부품인 스크류 로터의 설계와 가공방법의 논문[1]에 이어서 게이터 로터의 설계에 대하여 수치해석을 이용한 이론적 방법을 서술하였다.

References

[1] Kim, D. H., Kyung, J. H., Kim, Y. H., 2016, Design and Machining of a Screw Rotor of a Single-Screw Compressor, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 25:6 452-457.

[2] MITSUI SEIKI, viewed 30 Aug 2016, Features of Z-screw, <http://www.mitsuiseiki.co.jp/comp%20ressor/tabid/203/Default.aspx>.

[3] Zimmern, B., Patel, G., 1972, Design and Operating Characteristics of the Zimmern Single Screw Compressor, International Compressor Engineering Conference, Paper 16.