

엘리베이터용 사다리꼴 에어 스크류의 설계

박상신[†] · 김진호

영남대학교 기계공학부

Design of Trapezoidal Air Screw for Elevators

Sang-Shin Park[†] and Jinho Kim

School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

Abstract – In this paper, the characteristics of trapezoidal air screws is studied. These screws can be applied to the elevator having column driving shaft. The generalized coordinate transformation technique is used to solve incompressible Reynolds' equation because the air lubricated plane is twisted. The transformed equation is discretized by the base of Finite difference method. Using Visual C++ language, a GUI program which can calculate the load carrying capacity for this kind of air screw is developed, then the design variables for these air screws is studied.

Key words – trapezoidal air screw, elevator, generalized reynolds' equation, load carrying capacity

1. 서 론

최근 장애인을 고려하여 4층 이상의 모든 건물에 법
률적으로 엘리베이터의 설치가 의무화되고 있다. 이런
엘리베이터의 증가와 수요의 증가에 발맞추어 엘리베이
터 사고 또한 증가하고 있어, 엘리베이터 사업에서 안
전문제는 간과해서는 안 되는 문제로 떠오르고 있으며,
보다 편안하고 경제적이며, 안전한 엘리베이터가 요구
받고 있다.

이러한 요구에 부응할 수 있는 차세대 엘리베이터로
서 “컬럼 드라이빙 방식(Column Driving Screw -
CDS)”의 수직형 리프트를 한 예로 들 수 있다. 이러한
수직형 리프트의 경우 기존 와이어 구동 방식 엘리베
이터가 가지고 있는 문제점을 보완 할 수 있을 뿐만
아니라, 보다 안전한, 보다 안락한 그리고 보다 경제적
인 엘리베이터라는 요구조건을 만족 할 수 있는 하나
의 예이다. 기존 와이어 구동 방식의 엘리베이터의 경
우, 설치 시 1/2층 높이의 기계실이 필요하며, 수직 방
향으로만 동작할 수 있고, 리프트의 추락으로 인한 사
망 사고가 발생하고 있으며, 설치 기간이 길고 설치 형

상이 제한된다. 반면에 컬럼 드라이빙 방식의 수직형
리프트는 기계실이 필요 없어, 설치 공간을 최소화 할
수 있고, 건물형태에 구속됨 없이 설치 가능하고, 형상
의 다양한 디자인 가능하며, 소음과 진동이 없는 안정
된 운영을 보장한다. 그러나 이러한 컬럼 드라이빙 방
식의 수직형 리프트도 해결해야 할 몇 가지 문제점을
가지고 있는데, 그 중 가장 대표적인 것이 ball screw
를 이용한 구동방식의 경우, 마모에 의한 짧은 수명과
작동 중 발생하는 소음이 문제점으로 제시되고 있다.

이를 위한 해결책이 ball screw 대신에 스크류와 너
트 사이에 공기 윤활막을 생성시켜 베어링 역할을 하
게 하는 공기베어링 방식의 구동 방식을 채택하는 것
이며 이를 위해 공기베어링의 이론적인 해석과 프로그
램 개발이 선행되고 이러한 데이터를 바탕으로 스크류
및 너트 설계를 할 필요성이 있다. 이런 컬럼 설계에
관해서는 박[1]이 연구를 수행한 바 있으나, 원형나사
에 대한 연구로 하중을 더 많이 받아야 하는 곳에는
부적합하기 때문에 사다리꼴 에어 스크류의 설계 연구
가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 설계자가
편하게 입출력 할 수 있도록 Graphic User Interface
(GUI) 환경하에서 수직 리프트용 공기 베어링의 해석

[†]주저자 · 책임저자 : pss@yu.ac.kr

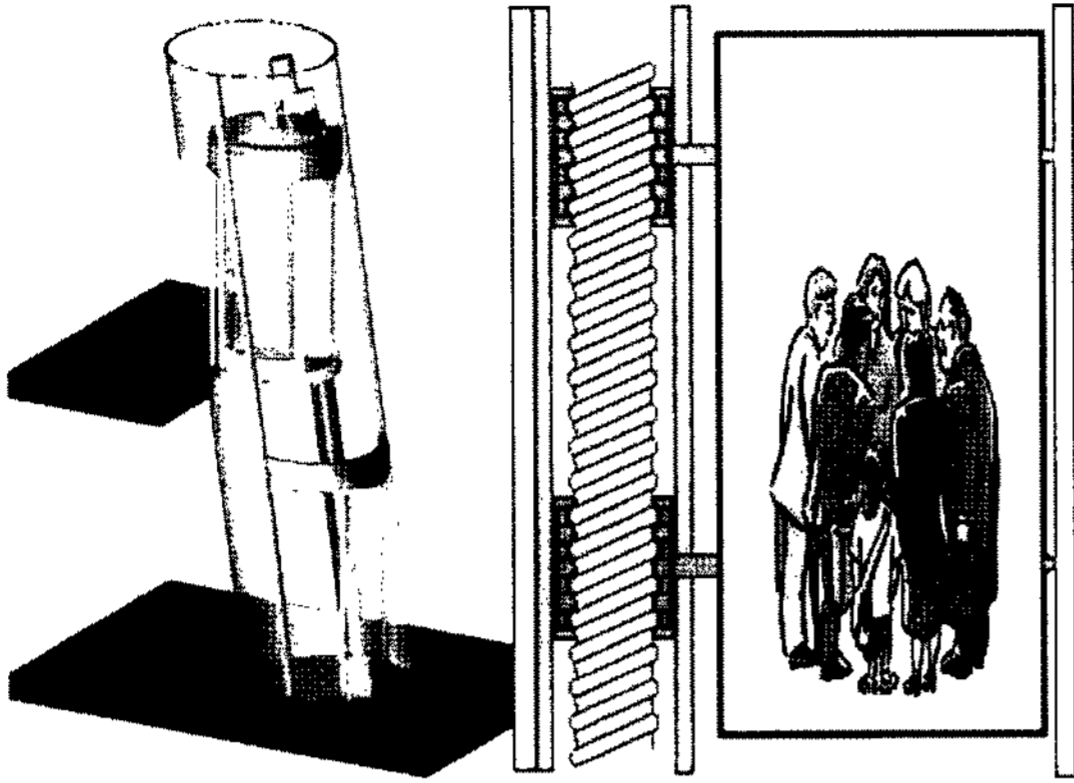


Fig. 1. Elevator for column driving air screw.

프로그램을 개발하고, 설계 데이터를 확보하고자 한다.

2. 베어링 해석

2-1. 해석 대상

Fig. 1에는 본 연구에서 개발 대상으로 한 칼럼 드라이빙 방식의 엘리베이터의 한 예를 나타내었다. 이러한 방식의 경우 반드시 수직 운동만 하는 것이 아니라 약간 경사진 경로를 따라가게 설계할 경우 기울어진 형태의 엘리베이터도 제작이 가능하다는 가상도를 보여주는 그림이다.

스크류가 회전하게 되면 너트가 상하운동을 하게 되고, 이 너트에 연결된 객차부가 따라서 움직이게 되는 구조이다. 여기서 Nut는 Nut를 지지하는 외벽이 있으며, 외벽과는 고체윤활에 의해서 윤활이 이루어진다. 사람이 타게 되는 객차부 또한 객차부를 둘러싸고 있는 외벽에 의해 지지 되고 있고 이들은 롤러 베어링에 의해 지지 되고 있다. 이러한 두 개의 외벽에 의해 스크류에 가해지는 모멘트가 지지되므로 스크류와 너트에는 수직 하중만이 가해진다. 따라서 본 연구에서는 너트에 걸리는 공기압력을 계산하고 수직하중만을 분석하여 설계를 진행할 수 있는 프로그램 제작을 목표로 한다.

2-2. 지배방정식

Fig. 2와 같이 나선선의 형태를 갖는 윤활면을 나선 방향을 따라 t , 반경방향을 따라 s 라는 좌표계를 설정한다. 이 s 와 t 는 나선면의 꼬임에 의하여 비직각 좌표계를 형성한다. 따라서 직교좌표계용 레이놀즈 방정식으로 해석할 수 없게 된다. 본 연구에서는 임의의

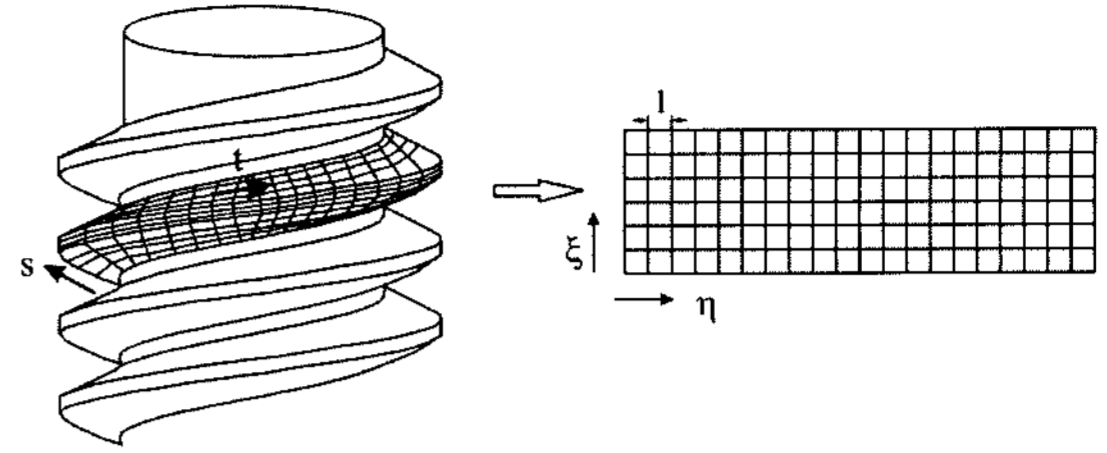


Fig. 2. Mapping of Air bearing domain.

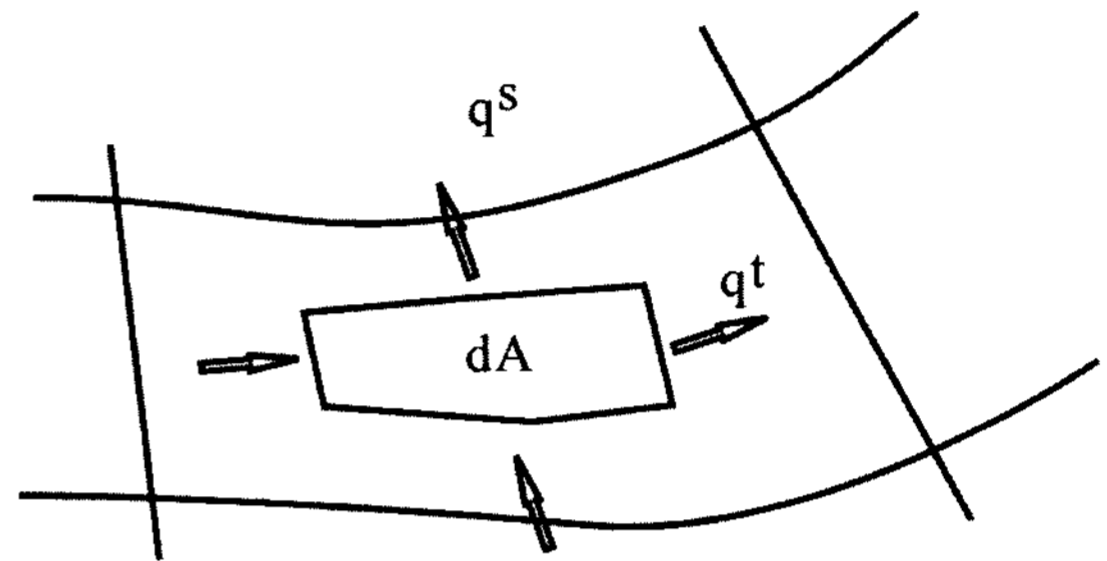


Fig. 3. Flow under the s-t coordinates.

좌표계에 대해서 좌표변환을 수행하고 해석할 수 있도록 지배방정식을 일반좌표계로 설정한다. Fig. 2에서 ξ, η 는 각각 크기가 1인 정사각형 절점형태를 일반좌표계이다.

Navier-Stokes 방정식에서 좁은 틈새를 갖는 유막에 대해서 윤활이론에 의거한 8가지 가정을 통하여 간략화 한 후 연속방정식에 대입하여 다음과 같이 비직교 좌표계(s,t) 내에서 레이놀즈 방정식을 얻은후, 벡터 미분 연산자를 도입하여 정리한 후, Fig. 3의 검사체적에서 적분하여 유량의 연속조건을 만족시키고, 가우스 발산정리를 적용하면, 직각이 아닌 같은 면의 s-t의 검사체적을 둘러싸는 각 면을 통과하는 유량으로 정리할 수 있고, 일반좌표계로의 변환식을[2] 사용하여 ξ 와 η 에 각각 수직인 질량 유속 q_n^ξ 과 q_n^η 는 아래와 같다 [2,3].

$$q_n^\xi = \frac{\rho(-Ap_\xi + Bp_\eta + D)}{\sqrt{\alpha}}, \quad q_n^\eta = \frac{\rho(Bp_\xi - Cp_\eta + E)}{\sqrt{\gamma}} \quad (1)$$

$$\alpha = s_\eta^2 + t_\eta^2, \quad \beta = s_\xi s_\eta + t_\xi t_\eta, \quad \gamma = s_\eta^2 + t_\eta^2$$

$$J = s_\xi t_\eta - t_\xi s_\eta, \quad A = \left(\frac{h^3}{12\mu}\right) \frac{\alpha}{J}, \quad B = \left(\frac{h^3}{12\mu}\right) \frac{B}{J}$$

$$C = \left(\frac{h^3}{12\mu}\right) \frac{\gamma}{J}, \quad D = \frac{h}{2}(t_\eta V_s - s_\eta V_\theta), \quad E = \frac{h}{2}(-t_\xi V_s - s_\xi V_\theta)$$

이렇게 구해진 일반좌표계상에서의 단위 길이당의 질량유량을 적분하여 수치 해석상의 검사체적을 통과 하는 질량유량을 구한다. Q^ξ 는 $\xi = \text{const.}$ 상에서의 $\eta = \eta_1$ 과 $\eta = \eta_2$ 사이를 통과하는 질량유량이라고, Q^η 는 $\eta = \text{const.}$ 상에서의 $\xi = \xi_1$ 과 $\xi = \xi_2$ 사이를 통과하는 질량유량이라 하여 정리하면 질량유량을 구할 수 있다[2].

$$Q^\xi = \int_{\eta_1}^{\eta_2} \rho(-Ap_\xi + Bp_\eta + D)d\eta$$

$$Q^\eta = \int_{\xi_1}^{\xi_2} \rho(Bp_\xi - Cp_\eta + E)d\xi \quad (2)$$

압축성 유체로서의 공기는 밀도가 압력에 따라 변하는 함수로서 이상 기체라는 가정에 의해 밀도 ρ 는 압력 p 의 함수로 치환한다[4].

$$\rho = R(p) \cdot p$$

$$R(p) = 1/(\text{Gas constant} \times \text{Temperature}) \quad (3)$$

공기 유향이 이루어지는 영역에서의 유체내의 유동은 압력차이에 의해서 유동이 일어나는 프와제 유동 (Poiseuille flow)과 두 면 사이의 상대 운동에 의해서 일어나는 쿠에트 유동(Couette flow)으로 구분되는데, 식(4)에서 압력의 미분항이 들어있는 두 항은 프와제 유동이고, 세 번째 항들은 쿠에트 유동이 된다. 식 (4)에 식(5)를 대입하여 밀도를 압력의 함수로 대치한 후, 프와제 유동과 쿠에트 유동으로 분리하면 다음과 같은 유량식을 얻을 수 있다.

$$Q^\xi = Q_p^\xi + Q_c^\xi, \quad Q^\eta = Q_p^\eta + Q_c^\eta \quad (4)$$

여기서, 첨자 p 는 프와제 유동에 의한 유량을 첨자 c 는 쿠에트 유동에 의한 유량을 나타내며, 각각의 유량을 정리하면,

$$Q_p^\xi = \int_{\eta_1}^{\eta_2} \rho(-Ap_\xi + Bp_\eta)d\eta \quad (5)$$

$$Q_c^\xi = \int_{\eta_1}^{\eta_2} RpDd\eta \quad (6)$$

$$Q_p^\eta = \int_{\xi_1}^{\xi_2} Rp(Bp_\xi - Cp_\eta)d\xi \quad (7)$$

$$Q_c^\eta = \int_{\xi_1}^{\xi_2} RpEd\xi \quad (8)$$

한편, 유향면상의 $\xi = \xi_1 \sim \xi_2$ 와 $\eta = \eta_1 \sim \eta_2$ 사이의 범위에 포함되어 있는 유향 기체의 질량 유량 Q^v 는 다음과 같다.

$$Q^v = \int_{\eta_1}^{\eta_2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} R \frac{\partial(ph)}{\partial t} |J| d\xi d\eta \quad (9)$$

또한 외부에서 급기공을 통해 들어오는 유량이 있는 경우, 유량의 연속 방정식에 이러한 외부 급기 질량 유량도 첨가 되어야 한다[4].

$$Q_{sij} = C_D \cdot \pi d_s h_{ij} \cdot \sqrt{Rp_s} \left[\frac{2\kappa}{\kappa+1} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{2}{\kappa+1} \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} \frac{p_{ij}}{p_s} \leq \left[\frac{2}{\kappa+1} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

$$= C_D \cdot \pi d_s h_{ij} \cdot \sqrt{Rp_s} \left[\frac{2\kappa}{\kappa+1} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\left(\frac{p_{ij}}{p_s} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{ij}}{p_s} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{p_{ij}}{p_s} > \left[\frac{2}{\kappa+1} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (10)$$

여기서 각 기호의 의미는 다음과 같다.

- d_s : 오리피스 급기공 지름
- p_s : 급기 압력
- h_{ij} : 오리피스에서의 틈새 크기
- p_{ij} : 오리피스에서의 베어링 내부 압력

이렇게 구한 정적인 질량유량과 섭동 유량을 각각의 유량 평형식에 대입하면 전체 유량 평형 방정식이 만들어진다.

$$Q_p + Q_c + Q_{sij} = Q^v \quad (11)$$

2.3. 지배방정식의 이산화

앞 절에서 유도된 지배 방정식을 이산화하기 위해서 Fig. 4와 같은 절점영역을 사용한다. 절점 셀(Grid Cell)은 한 절점에서 주변의 8개의 절점으로 둘러 쌓인 영역으로 정의 하고, DF 셀(Divergence formulation Cell)은 중심이 한 절점이고 크기가 1인 정사각형 영역으로 정의 한다.

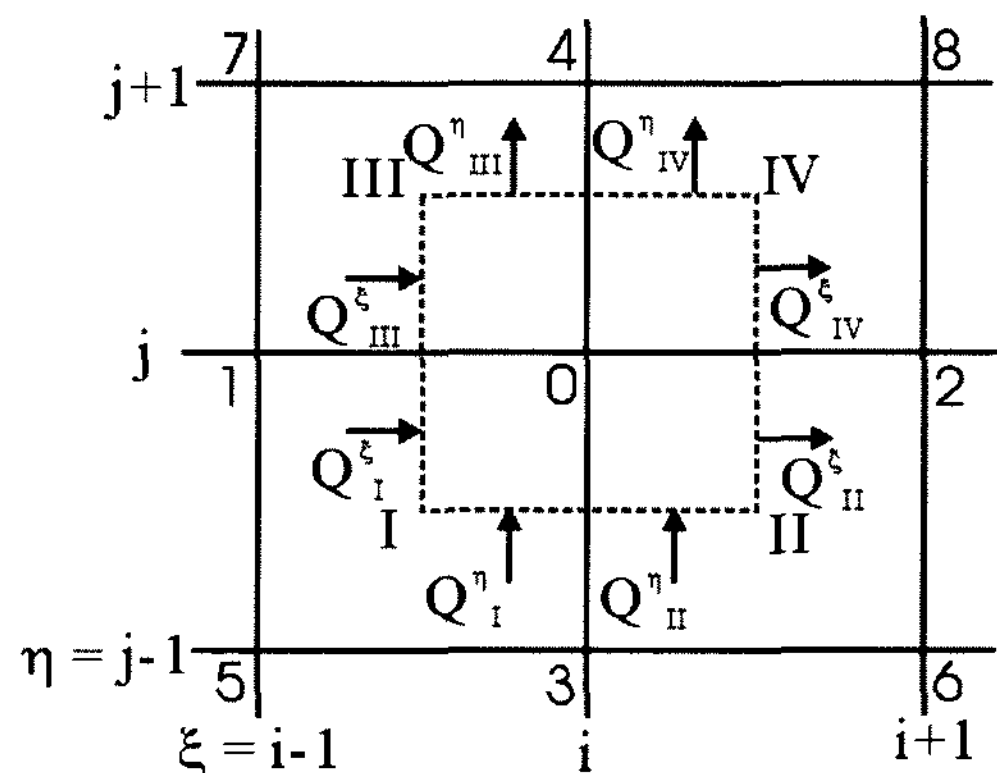


Fig. 4. Inflow and outflow on the DF Cell.

각각의 절점에서는 (s,t) 좌표계에서의 좌표값들이 주어지고, h 와 $\partial h/\partial t$ 값이 DF Cell의 경계선에 주어져 있다. 그러나 Grid의 크기가 작을 경우 h 값의 차가 크지 않으므로 위치에 있다고 평균값인 h_{ave} 가정한다. 또한 압력 p_{ij} 는 절점에서의 압력으로 정의한다. 여기서 첨자 i 는 ξ 방향의 절점 번호를 j 는 η 방향의 절점 번호를 나타낸다. 그리고 이산화 p_{ij} 식이 복잡해지므로 절점의 번호를 0~8로 치환하여 정리한다. 절점 셀이 작다고 가정하여, 주변 절점과의 압력 변화를 선형 압력분포라 가정한 수 그림 8에서와 같은 절점 주변의 각각의 4개의 영역에 대해서 선형 압력분포를 가정하고, 각 경계면에 대해서 프와제 유동(Q_p)을 정리하면 다음과 같은 9절점 사이의 관계식을 얻을 수 있다[2].

$$Q_p = \{a_{00}p_0^2 + p_0(a_{01}p_1 + a_{02}p_2 + \dots + a_{08}p_8) + p_1(a_{11}p_1 + a_{13}p_3 + a_{14}p_4 + a_{15}p_5 + a_{17}p_7) + p_2(a_{22}p_2 + a_{23}p_3 + a_{24}p_4 + a_{26}p_6 + a_{28}p_8) + p_3(a_{33}p_3 + a_{35}p_5 + a_{36}p_6) + p_4(a_{44}p_4 + a_{47}p_7 + a_{48}p_8) + a_{55}p_5^2 + a_{66}p_6^2 + a_{77}p_7^2 + a_{88}p_8^2\} / 48 \quad (12)$$

여기서 각각의 계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_{00} &= R_0 \{-7(A_I + A_{II} + A_{III} + A_{IV} + C_I + A_{II} + A_{III} + A_{IV}) \\ &\quad + 9(B_I - B_{II} - B_{III} + B_{IV})\} \\ a_{01} &= 7(A_I + A_{III})(R_0 - R_1) - 2(C_I + C_{III})(R_0 + R_1) \\ &\quad + 6(B_I - B_{III})R_1 \\ a_{02} &= 7(A_{II} + A_{IV})(R_0 - R_2) - 2(C_{II} + C_{IV})(R_0 + R_2) \\ &\quad - 6(B_{II} - B_{IV})R_2 \\ a_{03} &= -2(A_I + A_{II})(R_0 + R_3) + 7(C_I + C_{II})(R_0 - R_3) \\ &\quad + 6(B_I - B_{III})R_3 \\ a_{04} &= -2(A_{III} + A_{IV})(R_0 + R_4) + 7(C_{III} + C_{IV})(R_0 - R_4) \\ &\quad - 6(B_{III} - B_{IV})R_4 \\ a_{05} &= 2(A_I + C_I)(R_0 - R_5) - 3B_I(3R_0 - R_5) \\ a_{06} &= 2(A_{II} + C_{II})(R_0 - R_6) + 3B_{II}(3R_0 - R_6) \\ a_{07} &= 2(A_{III} + C_{III})(R_0 - R_7) + 3B_{III}(3R_0 - R_7) \\ a_{08} &= 2(A_{IV} + C_{IV})(R_0 - R_8) - 3B_{IV}(3R_0 - R_8) \\ a_{11} &= R_1 \{7(A_I + A_{III}) - C_I - C_{III} + 3(B_I - B_{III})\} \\ a_{13} &= 2(C_I - A_I)(R_1 - R_3) - 3B_I(3R_1 + R_3) \\ a_{14} &= 2(C_{III} - A_{III})(R_1 - R_4) + 3B_{III}(R_1 + R_4) \\ a_{15} &= 2A_I(R_1 + R_5) + C_I(R_1 - R_5) - 6B_I R_1 \\ a_{17} &= 2A_{III}(R_1 + R_7) + C_{III}(R_1 - R_7) - 6B_{III} R_1 \\ a_{22} &= R_1 \{7(A_{II} + A_{IV}) - C_{II} - C_{IV} - 3(B_{II} - B_{IV})\} \\ a_{23} &= 2(C_{II} - A_{II})(R_2 - R_3) + 3B_{II}(R_2 + R_3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{24} &= 2(C_{IV} - A_{IV})(R_2 - R_4) - 3B_{IV}(R_2 + R_4) \\ a_{26} &= 2A_{II}(R_2 + R_6) + C_{II}(R_2 - R_6) + 6B_{II} R_2 \\ a_{28} &= 2A_{IV}(R_2 + R_8) + C_{IV}(R_2 - R_8) - 6B_{IV} R_2 \\ a_{33} &= R_3 \{7(C_I + C_{III}) - A_I - A_{III} + 3(B_I - B_{III})\} \\ a_{35} &= A_I(R_3 - R_5) + 2C_I(R_3 + R_5) - 6B_I R_3 \\ a_{36} &= 2A_{II}(R_3 - R_6) + 2C_{II}(R_3 + R_6) + 6B_{II} R_3 \\ a_{44} &= R_4 \{7(C_{III} + C_{IV}) - A_{III} - A_{IV} + 3(B_{III} - B_{IV})\} \\ a_{47} &= A_{III}(R_4 - R_7) + 2C_{III}(R_4 + R_7) + 6B_{III} R_4 \\ a_{48} &= 2A_{IV}(R_4 - R_8) + 2C_{IV}(R_4 + R_8) - 6B_{IV} R_4 \\ a_{55} &= R_5(A_I + C_I - 3B_I), \quad a_{66} = R_6(A_{II} + C_{II} + 3B_{II}) \\ a_{77} &= R_7(A_{III} + C_{III} + 3B_{III}), \quad a_{88} = R_8(A_{IV} + C_{IV} + 3B_{IV}) \end{aligned} \quad (13)$$

한편, 쿠에트 유동에 의해 DF 영역으로 들어오는 질량유량 Q_c 는 상류층 유동 방법을 적용하여 유도한다. 여기서 상류층 유동이란 DF영역을 둘러싼 경계부근에서의 밀도는 유체가 DF영역으로 들어오는 쪽의 절점에서의 밀도로 대치 시키는 방법이다. 본 연구에서는 이러한 개념을 바탕으로 상류층의 영향을 나타내는 변수 λ 를 이용하여 유도한다. 이 변수는 0부터 1까지 값을 가지며, 다음과 같다[5].

$\lambda=1$: 완전한 상류층 유동

$\lambda=0$: 밀도 및 압력을 선형 분포로 가정한 것과 동일

그러면 각 영역에서 $D_{I+} = (D_I + \lambda D_{II})/2$ 와 $D_{I-} = (D_I - \lambda D_{II})/2$ 같이 상류층 유동을 의미하는 식으로 표현되며, 이를 이용하여 쿠에트 유동에 대해서도 이산화하면 다음과 같은 대수방정식을 얻을 수 있다.

$$Q_p = \left(\sum_{k=0}^8 a_{ck} p_{ck} \right) / 8$$

$$\begin{aligned} a_{c0} &= 3R_0(D_{I-} - D_{II+} + D_{III-} - D_{IV+} + E_{I-} + E_{II-} - E_{III+} \\ &\quad - E_{IV+}) \\ a_{c1} &= R_1(3D_{I+} + 3D_{III+} + E_{I-} - E_{III+}) \\ a_{c2} &= R_2(-3D_{II-} - 3D_{IV-} + E_{II-} - E_{IV+}) \\ a_{c3} &= R_3(D_{I-} - D_{II+} + 3E_{I+} + 3E_{II+}) \\ a_{c4} &= R_4(D_{III-} - D_{IV+} - 3E_{III-} - E_{IV-}) \\ a_{c5} &= R_5(D_{I+} + E_{I+}), \quad a_{c6} = R_6(-D_{II-} + E_{II+}) \\ a_{c7} &= R_7(D_{III+} - E_{III-}), \quad a_{c8} = R_8(-D_{IV-} - E_{IV-}) \end{aligned} \quad (14)$$

이렇게 얻어진 프와제 유동과 쿠에트 유동을 외부에서 유입되는 질량유량과 셀에 남아 있는 질량유량을 고려함으로써 전체 질량유량에 대한 연속 방정식을 다음과 같은 대수 방정식으로 얻을 수 있다.

$$Q_{op} + Q_{oc} + Q_{oSij} = Q_o^v \quad (15)$$

식(15)로 얻어진 대수방정식은 가우스 소거법에 의하여 반복 계산으로 해를 구하였다.

2.4. 스크류에서의 지지 하중 및 특성수

앞에서 유도한 정상상태의 압력을 구하고 각각의 좌표에 따라 윤회면상에서 적분하면 각각 베어링의 하중 지지 용량 및 소요유량을 구할 수 있게 된다. 하중 지지 용량 F_z 는 앞에서의 자코비안은 일반좌표의 면적이 되므로 다음과 같이 구할 수 있다

$$F_z = \iint_S p_o \cos \phi dt ds = \sum_{j=1}^{M_\xi} \sum_{i=1}^{M_\eta} \{ p_{i,j} \cos \phi | J_{i,j} | \} \quad (20)$$

여기서 ϕ 는 스크류의 연직선에서 스크류면에 수직인 벡터사이의 각으로, 스크류의 피치와 기준 직경등의 형상이 결정되면 적분상수가 되며, M_ξ 와 M_η 는 각각 ξ 와 η 방향의 분할 개수를 나타낸다. 그리고 소요 유량은 모든 급기공에서 베어링 내로 들어오는 유량식 (10)을 모두 더함으로써 구할 수 있다.

3. 해석 프로그램의 작성 및 설계

본 연구에서 설계 대상으로 한 리프트는 일반적으로 탑승인원 15명에 차체무게를 고려하여 총 1500 kg을 지지해야 하는 에어 스크류를 설계하기로 한다. 부하 용량이 1500 kg을 지지해야 하므로 너트가 지지해주어야 할 하중은 14,700 N이다. 본 연구에서 해석하지는 않았지만, 좌굴을 고려하여 스프링들의 안쪽 직경은 70 mm로 정하였기에 이에 맞추어 바깥 직경은 우선 100 mm로 정하여 놓고 이러한 하중을 견딜수 있는 스크류의 설계가 가능한가를 검토하여 보았다. 스크류는 형태상 한 개의 리이드의 하중지지용량을 계산하여 보면 이 리이드가 몇 개 있으면 가능한가를 검토하면 된다. 리이드 개수가 너무 많게 되면 가공이 불가능하기 때문에 리이드의 개수는 한 너트당 10개를 넘지 않는 범위에서 설계하고자 하였다.

Fig. 5는 본 연구에서 설계를 위하여 작성한 사다리꼴 에어 스크류의 해석 프로그램의 결과예를 나타내었다. 이 그림에서 보듯이 스크류의 크기, 틸새, 형상, 다중나사산수, 급기공 직경, 급기압력등을 대입하면, 공기 베어링 면의 압력을 계산하고, 한 리이드당 하중 지지 용량 및 소요 유량을 결과로 내어주는 프로그램을

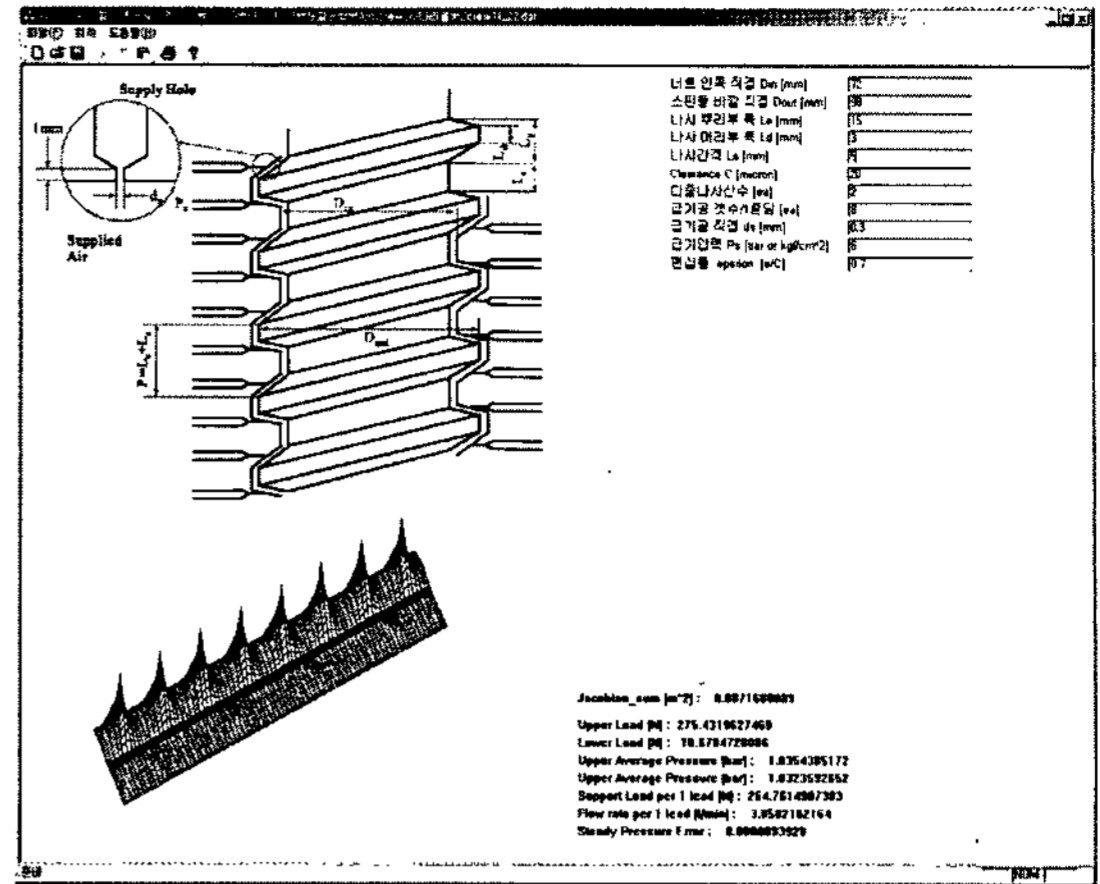


Fig. 5. An example of the developed program.

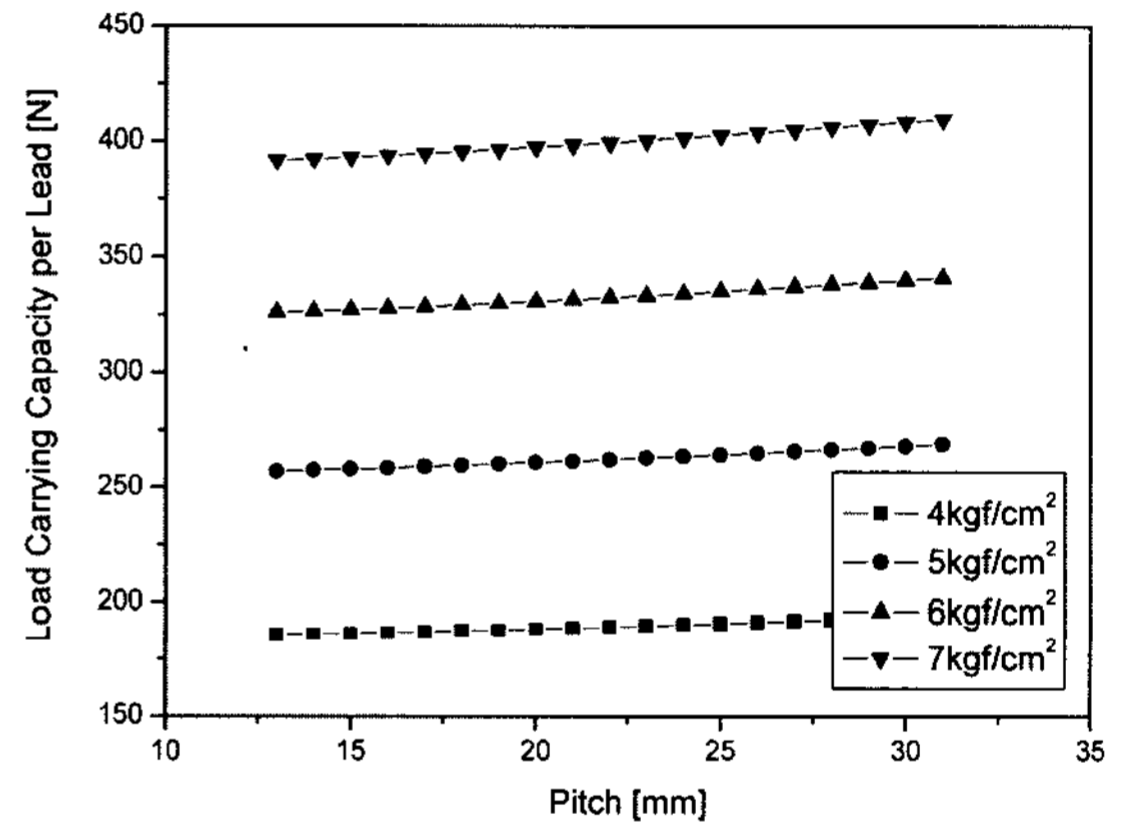


Fig. 6. Load carrying capacity according to pitch.

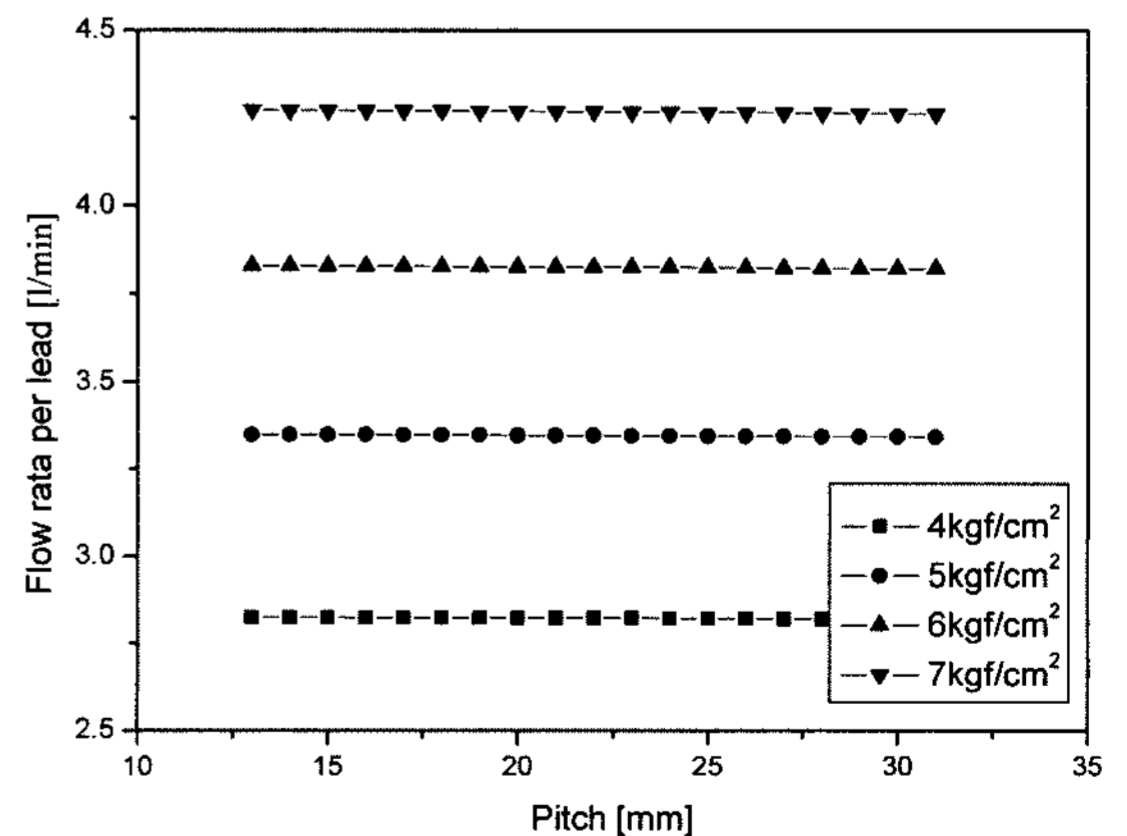


Fig. 7. Flow rate characteristics according to pitch.

작성하였다.

Fig. 6와 Fig. 7은 안쪽직경과 바깥직경은 70, 100으로 고정하고 피치를 바꾸어 가면서 하중지지용량과

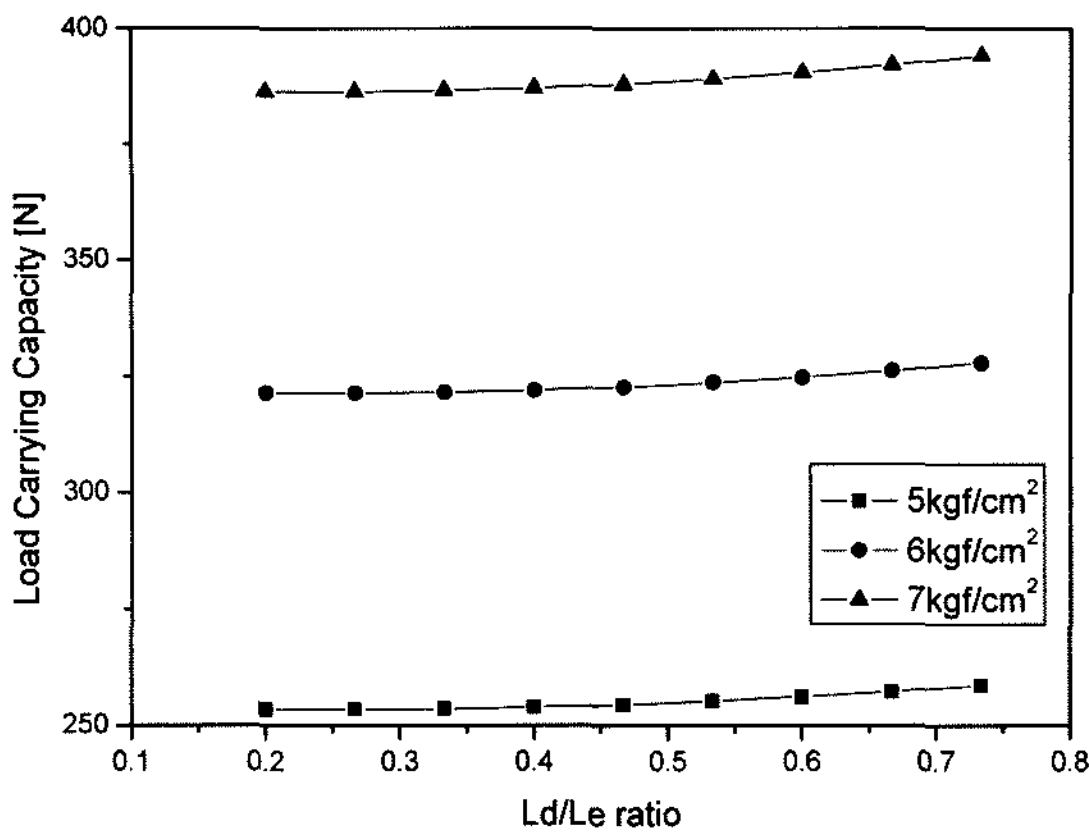


Fig. 8. Load carrying capacity according to angle of trapezoid.

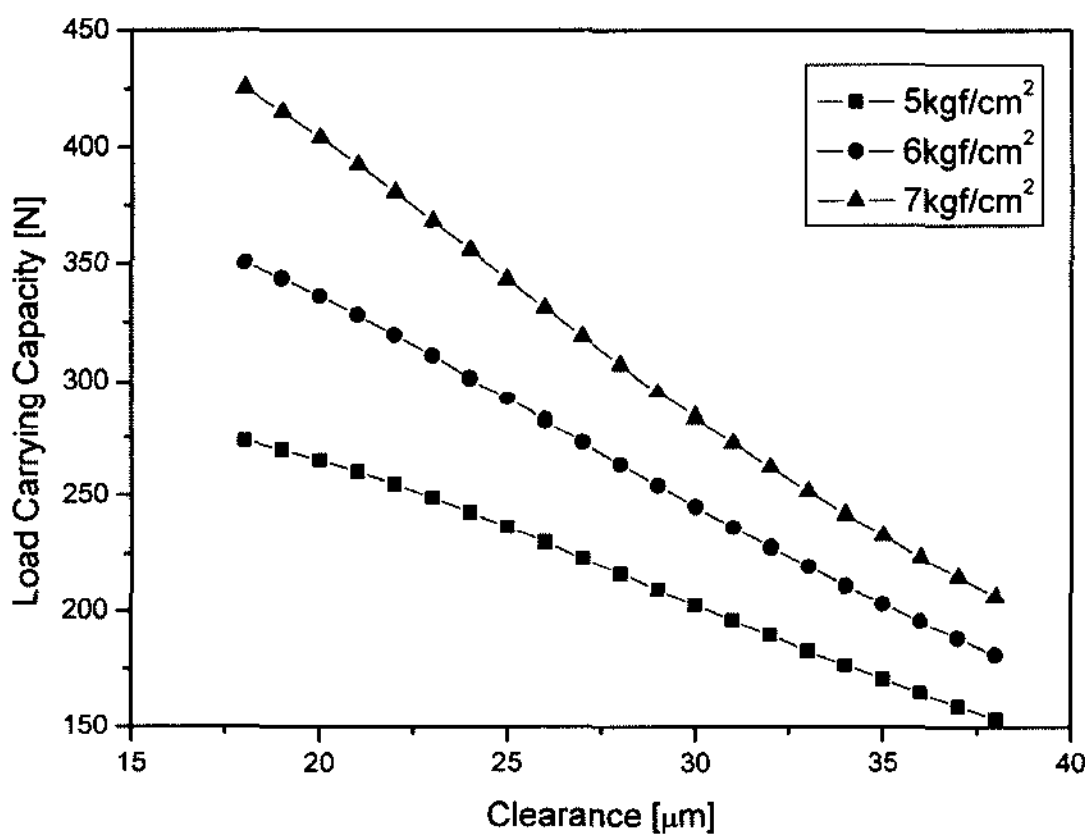


Fig. 9. Load carrying capacity according to clearance.

소요유량을 계산한 결과이다. 피치에 대해서는 크게 변하지 않으나 공급압력에 따라 많은 차이를 보임을 볼 수 있다. 보통 공급압력은 안전을 고려하여 6 kgf/cm²를 설계 압력으로 하겠다.

Fig. 8에는 사다리꼴의 각도에 해당하는 나선머리부 폭과 뿌리부 폭비 Ld/Le에 따른 하중지지용량의 변화를 나타낸 결과이다. 사다리꼴 나선의 Ld/Le의 비가 클수록 사각나사에 가까워져 하중지지 용량이 많이 증가할 것으로 생각하였으나, 전체적인 리이드 각에 의한 영향보다는 크지 않을 것으로 계산되었다. 따라서 앞으로의 설계에서는 Ld/Le=3/15로 고정하고 계산한다.

Fig. 9에는 틈새에 따른 하중지지 용량의 변화를 나타낸 것이다. 틈새에 따라서는 예상대로 상당한 하중 지지의 변화를 나타내고 있으며, 이는 설계 및 제작시에 공차관리에 상당히 많은 신경을 써야 한다는 것을

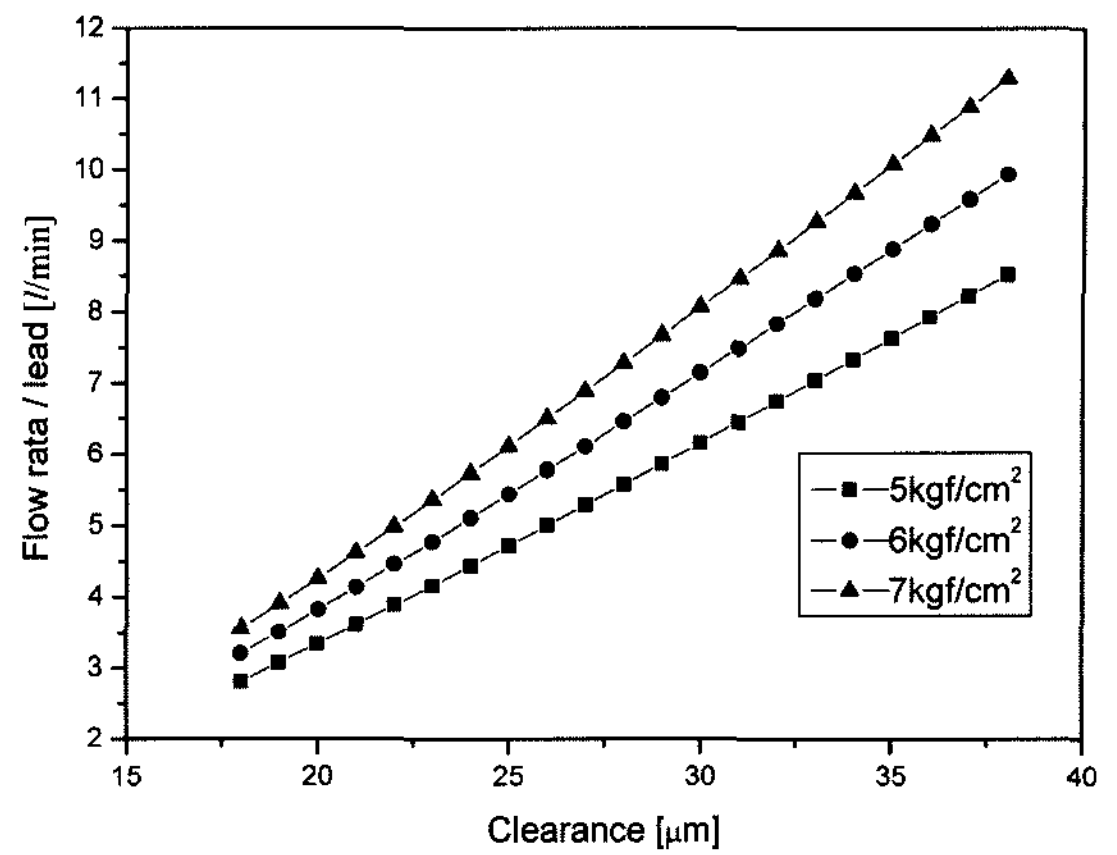


Fig. 10. Flow rate according to clearance.

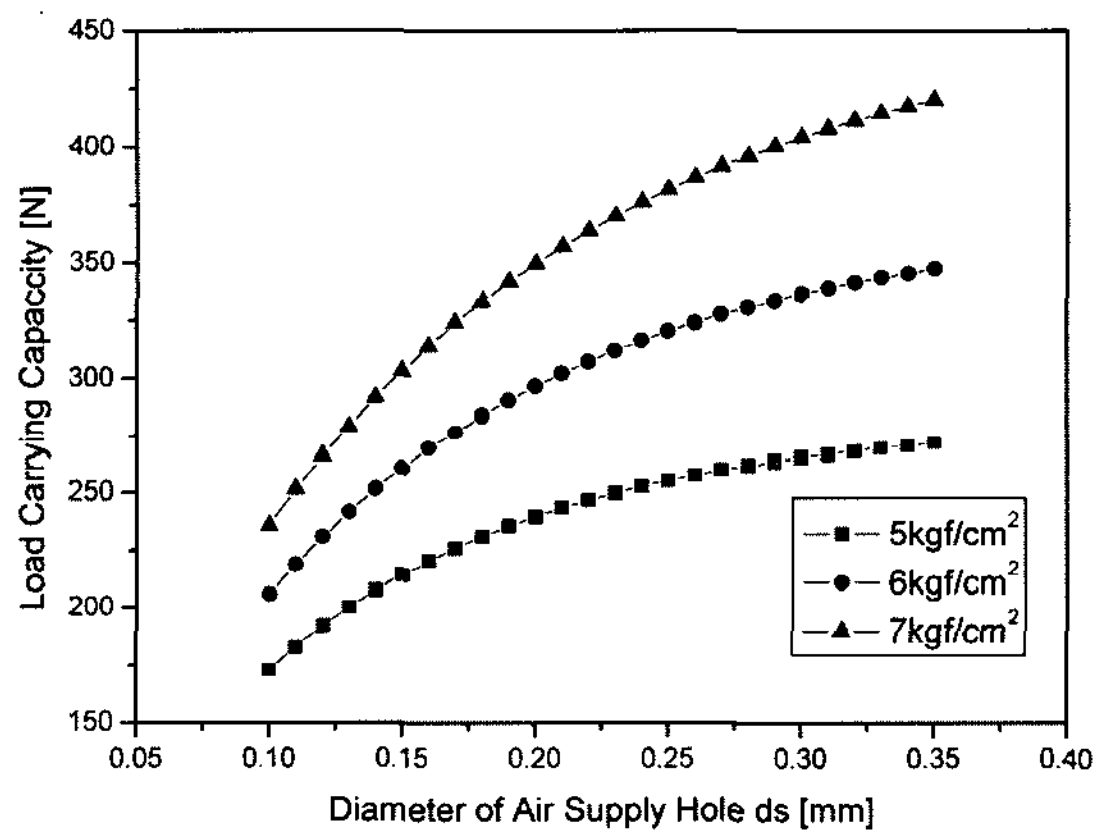


Fig. 11. Load carrying capacity according to diameter of air supply holes.

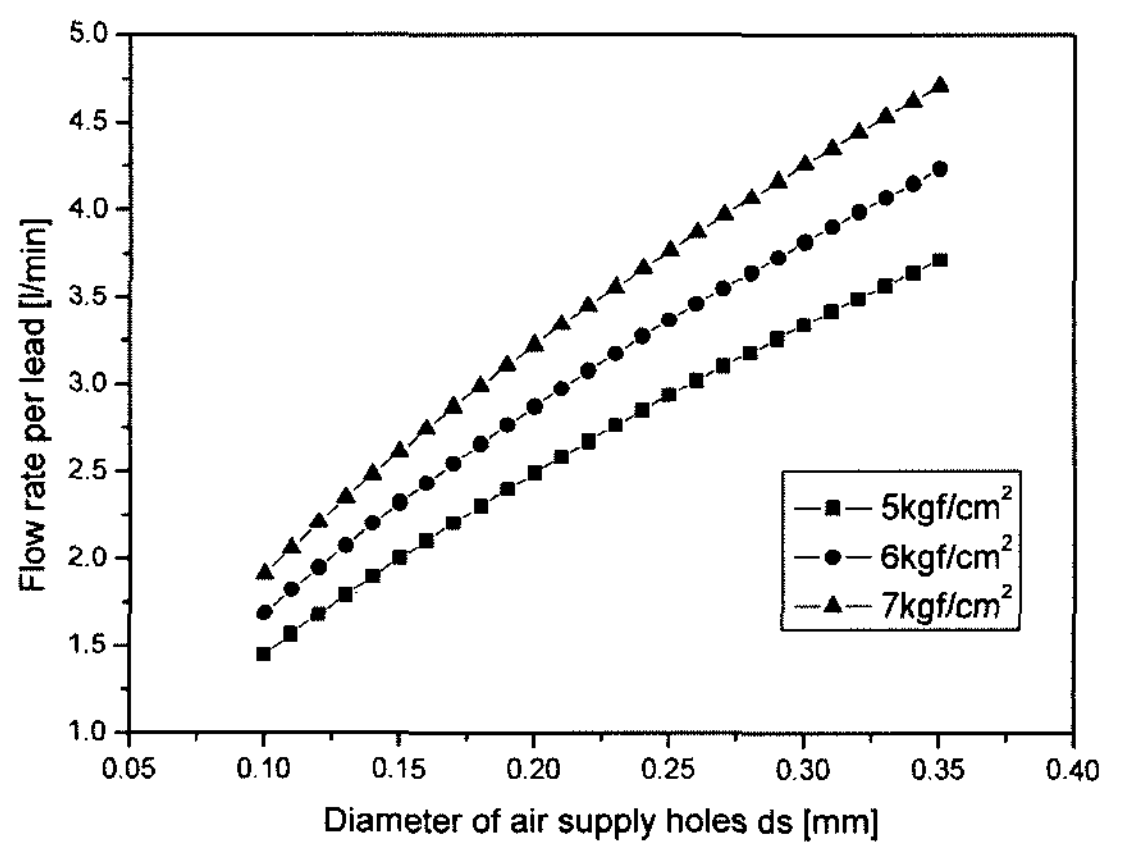


Fig. 12. Flow rate according to diameter of air supply holes.

의미한다.

Fig. 10에는 틈새에 따른 유량의 변화를 나타낸 것

이다. 유량은 틈새가 커짐에 따라 거의 비례적으로 많이 소모되므로 공차관리에 각별히 신경써야 한다.

Fig. 11과 Fig. 12에는 급기공의 직경에 따른 하중지지 용량과 소요 유량을 나타내었다. 급기공의 직경이 0.1 mm에서 증가함에 따라 하중지지 용량이 커지지만 0.25 mm 이상에서는 그 증가 비율이 현격히 떨어진다. 이는 공기베어링의 강성이 급기공의 직경이 너무 커지면 오히려 줄어드는 결과와 상당히 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되며, 유량은 계속 증가하기 때문에 급기공은 0.25 mm 이내를 유지해 주는 것이 바람직하다고 판단된다.

너트하나당 10개의 리이드로 고정하면, 본 연구의 결과를 토대로 한 개의 너트가 받는 최대 하중을 구할 수 있으며, 이것에 필요한 만큼의 개수를 만들어 엘리베이터에 장착시켜 활용하면 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 해석 영역이 직각이 아닌 나선 모양의 에어 스크류에 대해서 일반좌표계 변환을 이용하여 공기압을 계산하여, 하중지지용량 및 소요 유량을 계산하는 프로그램을 개발하여 설계하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 일반좌표계 변환을 이용하여 에어 스크류의 압

력분포를 효과적으로 계산할 수 있다.

(2) 이를 통하여 하중 지지 용량 및 소요 유량을 효과적으로 계산할 수 있다.

(3) 한 개의 리이드에서 발생하는 하중 및 소요 유량을 이용하여 가공할 수 있는 범위에서 한 개의 너트가 받을 수 있는 최대 하중을 계산할 수 있고, 필요한 개수만큼 너트를 늘림으로써 엘리베이터에 필요한 에어 스크류를 설계할 수 있다.

참고 문헌

1. 박영하, “엘리베이터 이송용 Air Spindle과 Air Nut에 관한 연구”, 영남대학교 석사학위논문, 2003.
2. 박상신, “초정밀 공작기계용 공기베어링의 해석 및 진동특성 측정에 관한 연구”, 서울대학교 박사학위논문, 1995.
3. Kawabata, N., “A study on the numerical analysis of fluid film lubrication by the boundary-fitted coordinates system (the case of steady gas-lubrication)”, *JSME Int. J.*, Series III, Vol. 32, No. 2, pp. 281-288, 1989.
4. A. H. Shapiro, *The dynamics and thermodynamics of Compressible Fluid Flow*, Vol. 1, The Ronald Press Company, New York, 1954.
5. Kawabata, N. “Numerical analysis of reynolds equation for gas lubrication in a high L region”, *JSME int. J.*, Vol. 30, Bo. 263, pp. 836-842, 1987.