

원심분리기용 스크류의 블레이드 및 원공형상변화에 따른 응력해석

이성욱*, 심재준, 한동섭 (동아대 대학원 기계공학과), 한근조, 안찬우 (동아대 기계공학과), 김태형 (경남정보대 컴퓨터응용기계과)

Stress Analysis with respect to the change of the Shape of Screw Blade and the Hole for Centrifuge

S. W. Lee*, J. J. Shim, D. S. Han (Dept. of Mech. Eng., Dong-A Univ.), G. J. Han, C. W. Ahn (Dept. of Mech. Eng., Dong-A Univ.), T. H. Kim (Mech. Eng. Subdivision, K.I.T.)

ABSTRACT

In this study, we carried out the finite element analysis about screw that is the weakest part of the centrifuge for sewage management. Structural analysis was done with respect to the change of outer radius and thickness of screw blade and screw with sewage discharge hole. If the area of circular hole is equal to that of extended holes, maximum equivalent stress was compared between hole and extended hole. Centrifugal force on account of rotation of 4000 rpm was applied the screw.

The results are as follows :

1. When the larger radius and thickness of screw blade was used, the higher maximum equivalent stress is occurred.
2. When the larger radius of sewage discharge hole was used, the higher maximum equivalent stress is occurred.
3. When the longer parallel part length of extended hole was used, the higher maximum equivalent stress is occurred.
4. If the extended hole with the same discharging area which circular hole uses, the maximum equivalent stress is lower.

Key Words : Centrifuge(원심분리기), Screw(스크류), Centrifugal force(원심력), F.E.M(유한요소법)

기호설명

- r_1 = Outer Radius of Screw Shaft
- r_2 = Outer Radius of Screw Blade
- t_b = Thickness of Screw Blade
- r_h = Radius of Sewage Discharge Hole
- L_h = Parallel Part Length of Extended Hole

1. 서론

산업기술이 발달하여 경제성장이 고도화됨에 따라 많은 화학 연료의 사용과 공장 집중, 인구 과밀화, 합성화학 기술의 진보 등으로 인한 환경 오염이

현대 기술발전의 부작용으로써 크게 부각되고 있다. 특히 산업제품의 생산시 발생하는 폐수나 인간의 생활에 의한 생활하수, 각종 축산하수 등으로 인한 수질오염은 인간의 생존을 위협할 정도로 심각한 사회 문제로 대두되고 있으며 여러 선진국에서는 하수처리에 많은 시간과 자본을 투자하고 있다. 이러한 하수처리를 위한 설비 중 가장 대표적인 것이 고속 회전으로 발생하는 원심력을 이용하여 폐수 속에 포함된 수분과 고형분을 분리 배출하는 장치인 원심분리다.

원심분리기는 크게 원심력을 받아 하수 속에 포함되어 있는 고형분과 수분의 밀도차를 이용하여 이들을 분리하는 실린더와 분리된 고형분을 이송시키

는 스크류, 회전력을 전달하는 동력전달장치 등으로 크게 구분할 수 있다.

이와같이 원심분리기를 분류하였을 때, 구조상 가장 취약한 부분은 스크류라고 할 수 있는데, 그 이유는 다음과 같다. 빈 원통형상의 스크류는 그 외부에 고히분을 배출구 쪽으로 이송시키기 위해 블레이드가 부착되어 있는데 이는 축을 중심으로 불균일하게 존재하고 있으므로 스크류를 강도측면에서나 진동측면에서 취약하다. 또한 스크류 내부로 유입되는 하수를 스크류 외부로 배출하기 위해 스크류 외부에 하수배출구가 존재하고 있으므로 이 곳에서의 응력집중으로 인한 균열이 발생할 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 원심분리기에 사용되는 스크류에서 블레이드와 원공의 형상변화가 스크류에 발생하는 응력에 미치는 영향을 유한요소법을 이용하여 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 스크류의 유한요소모델

본 연구에서 사용된 스크류는 두께가 12mm이고 외경(r_1)이 100mm인 스크류 샤프트의 바깥 면에 중심으로부터의 외반경 r_2 인 blade가 스크류 샤프트의 중심을 기준을 나선형으로 6번 꼬여 있는 형상이다. 그리고 스크류 샤프트의 중심에 하수를 밖으로 배출하기 위한 직경 D_h 의 배출구가 45° 간격으로 8개 배치되어 있다.

해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 5.7을 사용하였으며, 10절점 3자유도를 가지는 사면체 요소가 해석에 사용되었다.⁽¹⁾ Fig. 1은 스크류의 기본적인 치수와 단순화된 형상을 나타내고 있으며, Fig. 2는 원공형 하수배출구와 장공형 하수배출구의 기하학적 특징을 나타내고 있다. 그리고 Fig. 3(a)는 하수배출구가 없는 스크류의 메시된 형상을, Fig. 3(b), (c)는 원공형과 장공형 하수배출구가 있는 스크류의 메시된 형상을 나타내고 있다. Table 1에는 스크류 응력해석에 사용된 재료인 SUS304의 기계적인 물성치를 나타내었다.

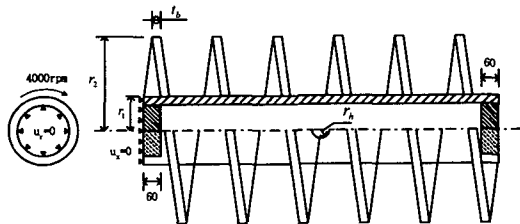


Fig. 1 Dimensions of screw shaft and boundary condition

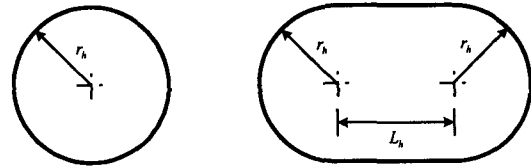
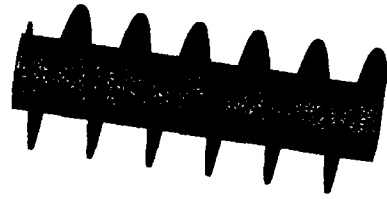
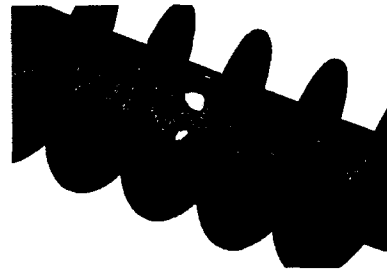


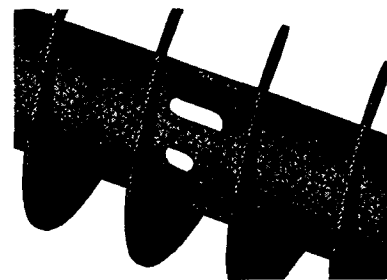
Fig. 2 Comparison between circular hole and extended hole



(a) meshed shape of screw without sewage discharge holes



(b) meshed shape of screw with circular holes



(c) meshed shape of screw with extended holes

Fig. 3 Meshed shape of screw

Table 1 Mechanical Properties of SUS304

Elastic Modulus (MPa)	Density (kg/mm ³)	Poisson's Ratio
2.0×10^5	7.9×10^{-6}	0.3

2.2 유한요소해석의 경계조건 및 하중조건

스크류 샤프트의 양단이 베어링에 의하여 지지되어 있으므로 스크류 샤프트 양단의 60mm까지를 반경 방향으로 고정하였다. 그리고 4000rpm(419rad/s)으로 스크류가 회전할 때 스크류의 각부에서 발생하는 응력분포를 확인하였다. Fig. 1에 부가된 경계조건과 하중조건을 간략하게 나타내었다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 블레이드 외반경에 따른 응력해석

하수배출구가 없는 스크류에서 블레이드의 외반경 r_2 를 160mm에서 240mm까지 20mm 간격으로 증가시키면서 해석을 수행한 결과 블레이드의 외반경이 증가함에 따라 스크류에서 발생하는 상당응력이 24.1, 30.6, 38.2, 47.7, 59.7MPa으로 점차 증가됨을 알 수 있었다. 최대 상당응력은 블레이드가 부착된 위치의 스크류 샤프트 내경부에서 59.704MPa이 발생하였다. Fig. 4는 블레이드의 외반경이 증가함에 따라 발생하는 최대상당응력을 나타내고 있다.

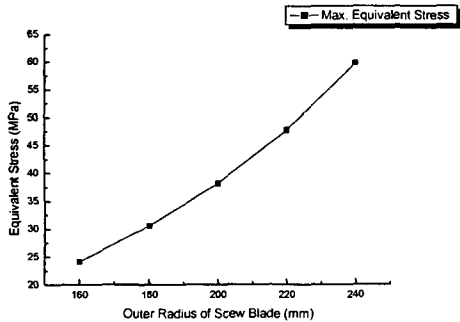


Fig. 4 Maximum equivalent stress with respect to the change of the outer radius of screw blade

3.2 블레이드 두께에 따른 응력해석

스크류 블레이드의 외반경 r_2 를 200mm로 고정시킨 후, 블레이드의 두께 t_b 를 4mm에서 12mm까지 2mm 간격으로 증가시키면서 유한요소해석을 수행한 결과 블레이드의 두께가 증가됨에 따라 발생하는 상당응력이 28.5, 34.1, 38.2, 42.6, 44.8MPa으로 점차 증가하였다. Fig. 5는 블레이드의 두께가 증가함에 대한 최대상당응력의 변화를 표현하고 있다.

3.3 원공의 반경에 따른 응력해석

Fig. 6은 외반경 r_2 가 200mm이고 두께가 8mm인 원형의 하수배출구가 뚫려 있는 스크류에서 원공의 반경이 증가함에 따라 변화되는 최대상당응력을 나타내고 있다. 원공이 없는 스크류의 경우 발생하는

최대상당응력은 38.167MPa이었으나, 원공이 있는 경우 발생하는 원공에서의 응력집중으로 인해 상당응력이 점차 증가됨을 알 수 있었다. 또한 하수 배출구의 반경이 25mm 이상이 되면 발생하는 최대상당응력이 급격하게 증가됨을 알 수 있었다.

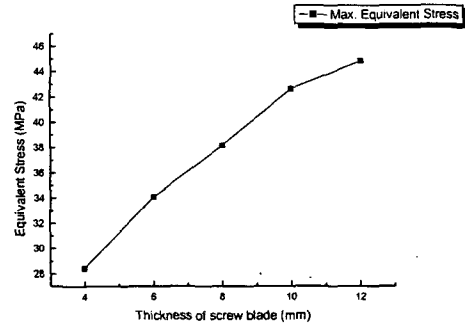


Fig. 5 Maximum equivalent stress with respect to the change of the thickness of screw blade

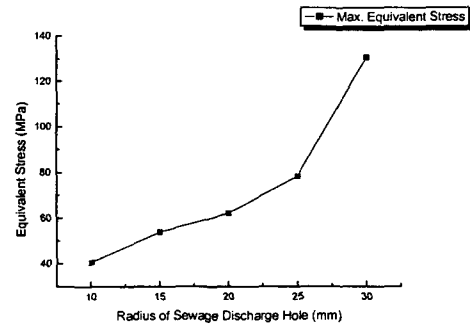


Fig. 6 Maximum equivalent stress with respect to the change of the circular hole radius for sewage discharge

3.4 장공 평행부 길이에 따른 응력해석

하수배출구의 형상이 원공이 아닌 장공일 때, 장공 평행부 길이의 증가에 따라 스크류에 발생하는 최대상당응력의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 스크류로 유입되는 하수를 중력에 의해 외부로 유출시키는 원심분리기의 경우에는 스크류 샤프트에 존재하는 하수배출구의 면적이 클수록 그 효율이 뛰어나므로 동일 반경의 원공에 비해 배출면적이 큰 장공형을 많이 사용하고 있다. 블레이드의 외반경 r_2 가 200mm이고 두께가 8mm인 스크류에서 장공의 반경이 20mm일 때, 평행부의 길이 L_h 를 0mm에서 80mm까지 20mm 간격으로 증가시킬 경우 스크류에서 발생하는 최대상당응력은 62.1, 87, 112.68, 144.3, 176MPa으로 증가되었다.

3.5 동일 배출면적시 원공과 장공의 응력비교

원공형 하수배출구에서 반경이 30mm일 때 총 배출면적은 22619.47mm²이다. 이를 기준으로 하여 유사한 배출면적을 가지는 장공형 하수배출구를 적용하면 장공의 반경이 작아지게 되어 발생하는 응력이 줄어들게 된다. Table 2는 반경 30mm의 원공형 하수배출구와 유사한 배출면적을 가지는 장공형 하수배출구의 반경을 26mm에서 18mm까지 2mm씩 줄일 때 평행부의 길이와 배출면적을 나타내고 있다. 장공형 하수배출구의 반경을 26mm에서 줄여나가면 발생하는 최대응력도 마찬가지로 낮아지게 된다. 하지만 장공의 반경이 22mm에서 최대상당응력이 가장 낮아진 후, 장공의 반경이 더욱 작아지면 다시 최대상당응력이 증가하게 되는데 이는 장공의 반경이 줄어들어 발생하는 응력이 감소하는 효과보다 장공의 평행부가 길어짐으로써 발생하는 응력이 증가하는 효과가 더욱 크기 때문일 것으로 판단된다. Fig. 8은 장공의 반경에 따른 최대상당응력의 분포를 나타내고 있다.

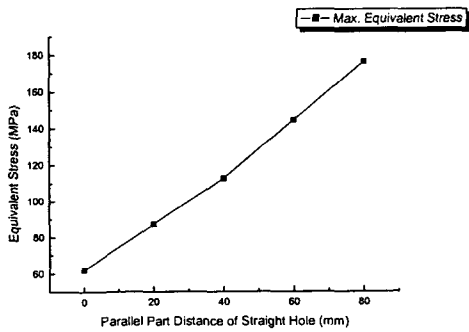


Fig. 7 Maximum equivalent stress with respect to the change of the parallel part of extended hole for sewage discharge

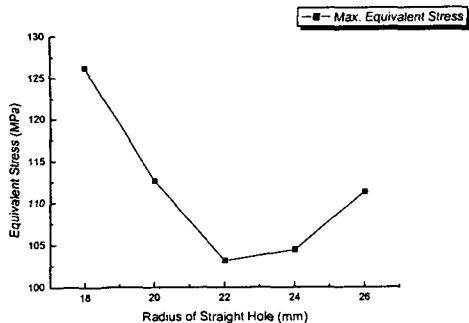


Fig. 8 Maximum equivalent stress with respect to the change of the extended hole radius with same discharge area

Table 2 Dimension of extended hole with the same area

Radius (mm)	Parallel Part Length (mm)	Area (mm ²)
18	50.27	22619.47
20	39.27	22619.50
22	29.70	22619.46
24	21.21	22619.45
26	13.53	22619.46

4. 결론

본 연구에서는 원심분리기용 스크류에서 블레이드의 두께 및 반경, 하수배출구 형상을 변화시키며 응력해석을 실시하여 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 스크류 블레이드의 반경과 두께를 변화시킬 경우 최대상당응력은 스크류 샤프트 내벽에서 발생하였으며, 그 값은 반경과 두께를 증가시킬수록 크게 나타났다.

(2) 하수배출을 위한 원공이 스크류에 뚫려있을 경우 최대상당응력은 원공에서 발생하였으며, 원공의 반경이 증가할수록 최대상당응력이 크게 발생하였다. 또한 특정 반경 이상일 때 원공간의 간섭으로 인하여 발생하는 응력이 급격하게 상승되는 것을 알 수 있었다.

(3) 장공형 하수배출구의 경우 평행부의 길이가 증가할수록 발생하는 최대응력이 상승하였다.

(4) 반경 30mm의 원공형 하수배출구와 동일배출면적을 가지는 장공형 하수배출구를 사용할 경우 원공형보다 발생하는 응력이 감소하였다. 특히 장공형 배출구의 반경이 22mm일 때는 원공형보다 20%가량 최대상당응력이 감소되는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. S. C. Chapra and R. P. Canale, "Numerical Methods for Engineers," McGraw Hill, pp. 438~472, 1998.
2. S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, "Theory of Elasticity," McGraw-Hill, pp. 80~83, 1982.
3. Yukawa S., Timo D. P. and Rubio A., "Fracture Design Practices for Rotating Equipment," Fracture, Vol. 5, Academic Press, 1969.
4. A. c. Ugral and S. K. Fenster, "Advanced Strength and Applied Elasticity," Elsevier, 2nd ed., 1981
5. J. R. Roark and W. C. Young, "Formulas for Stress and Strain," McGraw-Hill, 1975.