

## 회전원판에 존재하는 구멍의 형상변화가 강도에 미치는 영향

김병진\*, 심재준, 한동섭, 이성욱(동아대 대학원 기계공학과),  
한근조, 안찬우 (동아대 기계산업시스템 공학부), 안성찬(LG OTIS)

### The effect of shape change of holes in rotating disc on disc strength

B. J. Kim, J. J. Shim, D. S. Han, S. W. Lee(Mech. Eng. Dept., DAU),  
G. J. Han, C. W. Ahn(Mech. Eng. Dept., DAU), S. C. Ahn(LG OTIS)

#### ABSTRACT

The stress of the rotating disc with several types of hole was investigated in detail in this paper. Maximum circumferential stress of rotating disc by changing hole shape with same area, were studied using FEM.

The results obtained were as follows:

1. The disc which rotates at high speed is subjected to circumferential stress remarkably.
2. When the number of circular holes in rotating disc is four, stress reduction effect is maximum.
3. When shape of holes in rotating disc is cylindrical elongated hole, maximum circumferential stress of the rotating disc decreased most.

**Key Words** : rotating disc (회전원판), circular hole (원공), cylindrical elongated hole (원통형 장공), elongated hole (장공)

#### 기호설명

- $R_1$  = Inner radius of rotating disc
- $R_2$  = Distance between center and circular hole
- $R_3$  = Outer radius of rotating disc
- $r$  = Radius of circular hole
- $L$  = Distance between circular holes
- $t$  = Thickness of rotating disc
- $n$  = The number of hole

#### 1. 서론

터보기계나 원심분리기와 같은 회전기계류의 경우는 구동부의 고속화로 인해 기계의 각부에서는 회전으로 인한 원심력의 효과가 더욱 증대된다. 이러한 고속회전으로 인하여 회전부품에 작용되는 원심력이 재료의 항복강도를 초과하게 되어 가동중에 회전부품이 파손으로 인한 막대한 재산상의 피해와 인명손실이 초래될 수 있으며, 실제 이같은 파손사례가 다수 보고되고 있다<sup>(1)</sup>. 고속회전하는 회전기계류 부품의 파손은 주로 원판의 bore 및 bolt 구멍과 같은

회전원판에 존재하는 원공에서의 응력집중으로 인해 발생되고 있다.

본 연구는 수질오염을 방지하기 위해 사용되는 원심분리기에서 하수에 포함된 오염물질이 제거된 물을 외부로 배출시키는 여액배출구에 사용되는 원공이 있는 원판에 관한 연구이다. 고속회전하는 원심분리기에서 발생하는 원심력에 의해 회전원판에 발생하는 응력을 확인하였고, 구멍의 형상을 변화시켜 각각의 형상에 대해 발생하는 응력을 확인하였다.

#### 2. 연구방법

##### 2.1 이론적 배경

Timoshenko의 탄성학 이론으로부터 평면 응력조건하에서 Fig. 1과 같이 각속도  $\omega$  로 회전하는 원판에 작용하는 원주방향응력(circumferential stress)  $\sigma_\theta$  및 반경방향응력(radial stress)  $\sigma_r$ 은 다음과 같다.<sup>(3)</sup>

$$\sigma_\theta(r) = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \left\{ R_2^2 + R_1^2 + \frac{R_2^2 R_1^2}{r^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right\} \quad (1)$$

$$\sigma_r(r) = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \left\{ R_2^2 + R_1^2 - \frac{R_2^2 R_1^2}{r^2} - r^2 \right\} \quad (2)$$

여기서  $\rho, \nu$ 는 재료의 밀도와 프와송비이며,  $R_1$ 과  $R_2$ 는 원판의 내반경 및 외반경이다. 식(1)과 (2)로부터 회전체원판의 전영역에서 원주방향응력  $\sigma_\theta$ 가 반경방향응력  $\sigma_r$ 보다 크게 나타남을 알 수 있다.

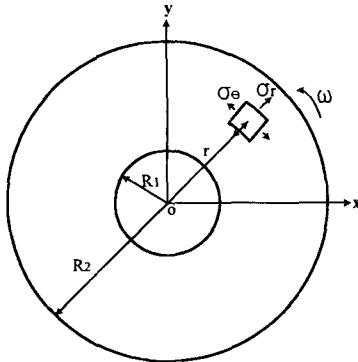


Fig. 1 Diagram of stress component of rotating disc

## 2.2 유한요소해석

### 2.2.1 회전체원판의 유한요소해석

본 연구에서는 회전체 원판의 외경( $R_3$ )이 300mm, 내경( $R_1$ )이 50mm, 원공 반경( $r$ ) 60mm, 두께( $t$ )가 10mm인 기본 모델을 선정하고, 원공의 개수를 3개에서 6개까지 변화시켜 회전원판에 발생하는 응력을 확인하였다. 그리고, 각각의 경우에 대해 동일한 면적을 갖지만 형상이 다른 구멍에 대해 해석을 수행하여 각각의 경우에 발생하는 응력을 확인하였다. Fig. 2는 해석을 수행한 회전체원판의 기본모델과 기본모델과 동일한 면적을 갖는 3가지 type의 구멍형상을 나타내고 있다. Type A는 원통형 장공, Type B는 장공, Type C는 사각홀의 형상을 나타내고, 사각홀의 경우 네 모서리의 노치부분을 없애기 위해 라운딩을 하였다. 각각의 type에 대해 원판을 300rad/s로 회전시킬 때 발생하는 응력을 확인하였다. 해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 5.7을 사용하였고 해석에 사용된 요소는 8절점 3자유도를 갖는 육면체 요소를 사용하였다.

Table 1은 해석에 사용된 STS 304의 물성치를 나타내고 있다.

Table 1. Material properties of STS 304

Elastic modulus (MPa)	Density (kg/mm <sup>3</sup> )	Poisson's ratio
$2.0 \times 10^5$	$7.9 \times 10^{-6}$	0.3

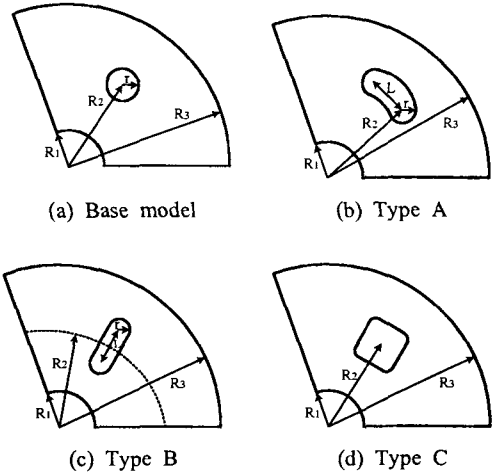


Fig. 2 Schematic diagram of rotating disc with a hole

### 2.2.2 경계조건 및 하중조건

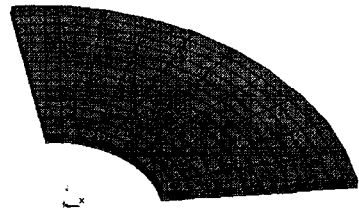


Fig. 3 Meshed shape of rotating disc without hole

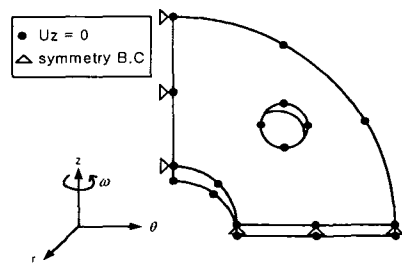


Fig. 4 Applied boundary conditions of rotating disc with holes

## 3. 해석결과 및 고찰

원판이 회전할 때 작용하는 응력은 반경방향응력보다는 원주방향응력이 더 크게 작용하는 것을 알 수 있었고, 원주방향응력이 최대등가응력에 더 큰 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 그래서 해석결과를 원공의 개수변화와 구멍의 형상변화에 의해 발생하는 최대원주방향응력에 대해서 나타내었고 그 값

들을 각각의 type에 대해 비교하였다.

### 3.1 기본모델의 응력분포

#### 3.1.1 Maximum circumferential stress

Fig. 5는 회전원판의 기본모델이 회전하면서 원심력에 의해 발생하는 최대원주방향응력의 분포를 나타내고 있다. Fig. 5를 살펴보면 원판에 존재하는 구멍의 개수가 3개일 때 최대응력이 발생하였고, 4개일 때는 3개일 때보다 37% 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 5개, 6개일 때도 3개일 때보다 각각 33%, 29% 감소된 최대원주방향응력이 발생하는 것을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 6의 응력분포도를 살펴보면 3개일 때 최대응력은 내반경에 발생하지만 원공의 개수가 증가하면서 최대응력발생은 원공부로 변화되면서 최대응력이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 원공이 4개일 때 응력완화 효과가 최대로 되었다.

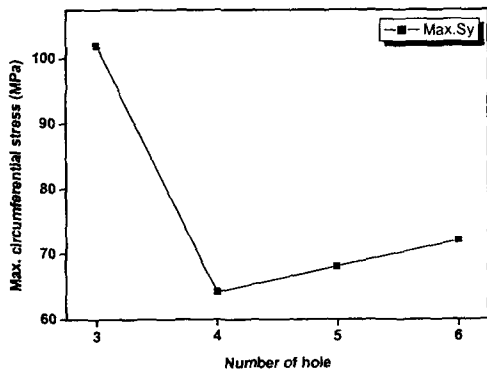


Fig. 5 Maximum circumferential stress distribution of base model with respect to the number of holes

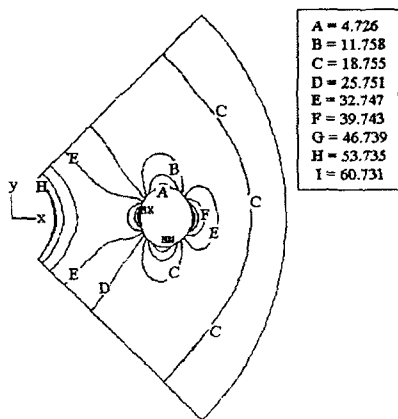


Fig. 6 Maximum circumferential stress distribution of base model

### 3.2 Hole의 형상변화에 따른 응력분포

#### 3.2.1 Maximum circumferential stress

Fig. 7은 각각의 형상에 따라 발생하는 최대원주방향응력의 분포를 나타내고 있다. Fig. 7을 살펴보면 type B는 구멍의 개수가 증가할수록 최대응력도 역시 증가하는 경향을 보여 회전체원판의 응력감소에는 전혀 효과가 없는 것을 알 수 있었다. 구멍의 개수가 3개일 때는 type A와 C는 회전판에 발생하는 최대원주방향응력을 줄일 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 구멍의 개수가 4개 이상에서는 type A가 원심력에 의해 발생하는 최대응력을 줄일 수 있는 구멍의 형상이라고 확인할 수 있었다. Type A의 경우 구멍의 개수가 3개, 4개, 5개, 6개일 때 각각 37%, 13%, 10%, 9% 감소하는 것을 알 수 있었다.

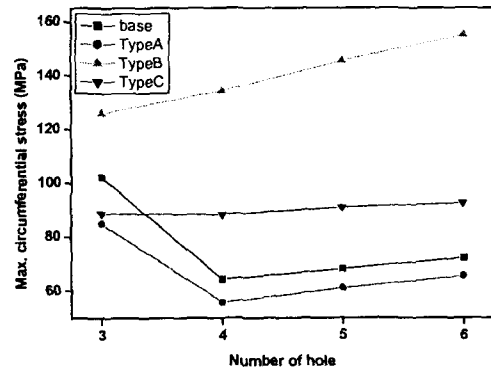


Fig. 7 Maximum circumferential stress distribution of each model with respect to the number of holes

Fig. 8은 각각의 구멍형상에 대해 발생하는 응력 분포도를 나타내고 있다. Type A의 경우 구멍이 3개일 때는 최대응력이 원판의 내반경에 발생하고, 고응력분포도 내반경 주위에 집중되어 있지만 구멍의 개수가 4개 이상에서는 고응력 분포가 구멍의 주위로 분산되어 발생하는 최대응력도 감소하는 것을 확인하였다. 구멍의 개수가 4개일 때 응력완화효과가 최대임을 확인하였다. Type B는 구멍이 3개일 때 역시 내반경에 최대응력이 발생하였고, 개수가 증가할수록 최대응력이 발생하는 부분이 점점 더 커졌다. 그리고 최대응력값도 구멍의 개수가 증가할수록 점점 더 증가하였다. Type C의 경우는 위 두 type과는 달리 구멍의 라운딩 부분에서 항상 최대응력이 발생하였고, 구멍의 개수가 변화해도 최대응력의 변화는 거의 없었다. 그리고 구멍의 개수가 증가할수록 원판의 내반경부에서 고응력부가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 회전체 원판에 존재하는 구멍의 형상이 회전원판의 응력분포에 미치는 영향을 살펴 보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 회전원판에 작용하는 응력은 반경방향응력보다 원주방향응력이 더 크게 작용하는 것을 알 수 있었다.

(2) 회전원판에 존재하는 원공의 개수를 변화시켰을 때 원공을 90°간격으로 배열했을 경우, 즉 원공이 4개일 때 응력감소효과가 최대 37%가량 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 회전원판에 존재하는 구멍의 면적이 동일한 경우 구멍의 형상이 원통형 장공일 때 응력감소효과가 최대 37%가량 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

(4) 원심분리기의 여액배출구의 구멍은 하수처리 효율에 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 앞으로의 연구에서는 회전원판에 발생하는 응력뿐만 아니라 처리효율을 고려한 구멍의 형상에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

#### 후기

본 연구는 2002년도 동아대학교 교내연구비 지원을 받아 수행하였습니다.

#### 참고문헌

1. Yukawa, S., Timo, D. P. and Rubio, A., "Fracture Design Practices for Rotating Equipment," Fracture, Vol. 5, Academic Press, 1969
2. S. C. Chapra and R. P. Canale, "Numerical Methods for Engineers," McGraw-Hill, pp. 438 ~472, 1998
3. S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, "Theory of Elasticity," McGraw-Hill, pp. 80~83, 1982
4. 한상배, 이진호, 김영진, "회전체 원판의 볼트구멍에 존재하는 모서리균열의 유한요소해석," 대한기계학회논문집, 제17권, 제12호, 1993
5. 오세욱, "재료역학", 동명사, pp. 416~420, 1998
6. 전형용, 성낙원, 한근조, "원공 위치와 형상변화에 따른 전동차 크로스 빔의 강도해석", 한국정밀공학회지, 제16권, 제9호, 1999
7. 이성욱, 심재준, 한동섭, 한근조, 안찬우, 김태형, "원심분리기용 스크류의 블레이드 및 원공형상 변화에 따른 응력해석", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 749~759, 2002

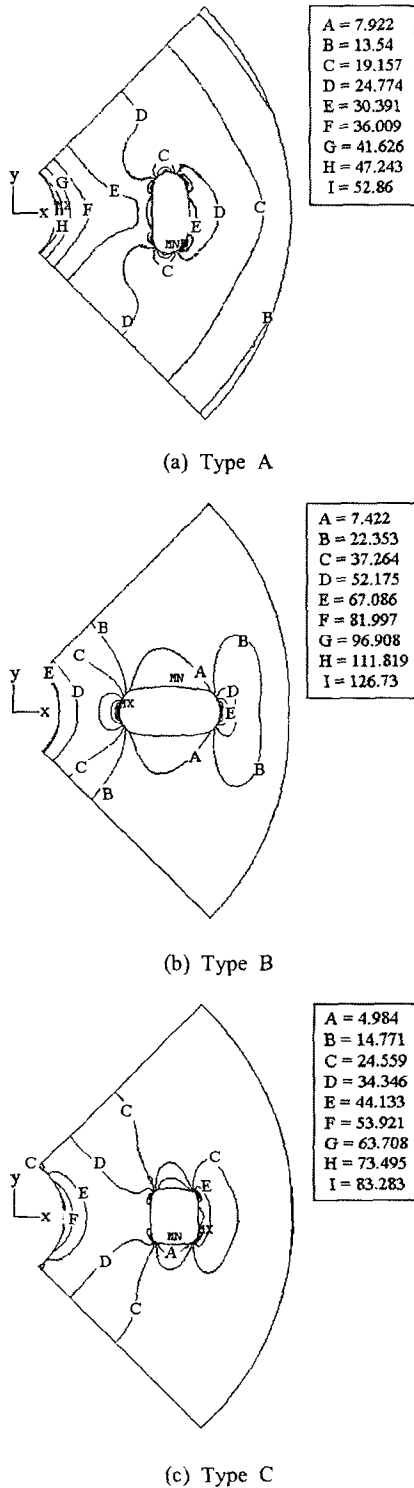


Fig. 8 Maximum circumferential stress distribution of each model