

## 핀을 가진 원통형 보강재로 보강된 구조물의 기계적 특성에 관한 연구

김형준\*, 박정호 (동아대 대학원 기계공학과)  
김현수 (동아대 기계공학과), 조우석 (디엔디이(주))

### A Study on the Mechanical Characteristics of a Structure Reinforced by Cylindrical Reinforcement with Fins

H. J. Kim, J. H. Park(Mech. Eng. Dept., DAU)  
H. S. Kim(Mech. Eng. Dept., DAU), W. S. Cho(D & DE)

#### ABSTRACT

In general, the reinforcement of a structure is performed with cylinders. In this study, it is attempted to analyze the circular reinforcement with fins. And the maximum stress and deflection is investigated for the circular reinforcement between two plates. The shape of models are : one which has only circular reinforcements of different diameters and one which has circular reinforcements with fins and one which has fin of same length and circular cylinders of different diameters. And in each model, there are two kinds; one is with upper and lower plates and the other with none.

The results shows that the maximum stress is less in the model of circular reinforcement with fins than that in the model without fins. And the maximum stress of a model without upper and lower plate is less than that of a model with plates.

**Key Words** : Reinforcement (보강재), Cylinder (원통형 보강재), Fin (사각판형 보강재)

#### 1. 서론

보강 원통셀은 비행체, 잠수함이나 해양 구조물 등<sup>(1)</sup>의 각종 구조물에 주요 부재로서 광범위하게 사용되어오고 있다. 특히 원통형 구조물은 보강의 역할뿐만 아니라 구조물의 무게를 줄이거나 연료선, 전기선 등이 통과할수 있도록 하기 위해서 널리 쓰이는 구조 요소이다.<sup>(2)</sup> 그러나 원통의 내부를 보강하는 연구는 활발히 진행되어 왔으나 원통의 외부에 보강재를 대는 경우에 대한 연구는 미비한 실정이다.<sup>(3), (4)</sup>

따라서, 본 연구에서는 평판사이에 Fin 을 가진 원통형 보강재가 존재할 때의 최대 응력, 최대 처짐에 대한 연구를 수행하였다.

구조물의 형상은 구조물의 전체크기를 일정(100

×100×5 mm)하게 하였으며, 일정한 비에 따라 원통의 지름을 달리하는 원통형 보강재만 있는 경우, 비에 따라 원통의 지름을 달리하는 원통형 보강재에 Fin(보강판)을 붙인 것과 원통에 붙은 Fin의 길이는 일정하게 하고 원통의 지름은 달리하여 구조물의 전체 크기가 변화하는 것으로 나누었다. 또한, 각각의 모든 경우에 대하여 원통의 아래위 판이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우의 총 6가지로 분류하여 해석을 수행하였다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 평형방정식

증분형 변위-변형률 관계, 증분형 응력-변형률 관계, 증분형 가상일의 방정식, 유한요소 정식화 과정

등을 통해 보강 원통에 대해 다음과 같은 증분형 평형방정식을 유도한 바 있다. <sup>(5), (6)</sup>

$$[K]\{\Delta d\} - \{\Delta F^e\} = \{R\}$$

여기서,  $[K]$ ,  $\{\Delta d\}$ ,  $\{R\}$ 는 각각 전체강성행렬, 전체변위 증분벡터, 잔류력 벡터이고,  $\{\Delta F^e\}$ 는 등가절점력 증분벡터로서 다음과 같다.

$$\{\Delta F^e\} = [\pi r^2 \Delta P]_L$$

여기서,  $r$ ,  $L$ 은 각각 원통요소의 반경과 길이를 나타내고  $P$ 는 축방향으로 작용하는 하중이다.

이와같이 구성된 증분형 평형방정식을 하중증분법과 반복법의 조합인 수정 Newton - Raphson 법으로 풀어 하중 - 변위 관계를 구하게 된다.

### 3. 유한요소 모델

#### 3.1 보강재 모델

보강재의 가장 기본적인 모델은 Fig. 1에서 보는 것처럼 원통형 보강재와 원통에 Fin이 붙은 보강재로 나눌 수 있다. 원통형 보강재의 경우는 원통의 아래위 판이 존재하는 경우(Hole)와 아래위 판이 존재하지 않는 경우(No hole)로 나누었다. 해석에 사용한 모델의 물성치를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Material Properties of model

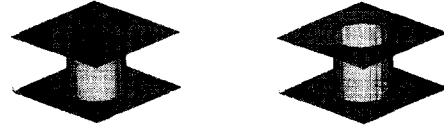
Material Properties	
E(Young's Modulus)	214000 MPa
v(Possion's Ratio)	0.29
$\rho$ (Density)	$8.03 \text{ N} \cdot \text{s}^2 / \text{mm}^4$



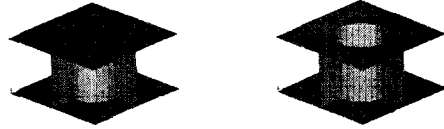
(a) cylinder (b) cylinder with fin  
Fig.1 Cylindrical reinforcement model

#### 3.2 단위 모델

단위모델의 크기는  $10 \times 10 \times 5 \text{ mm}$  이고, Fig. 2에 나타내었다. (a)는 원통형 보강재만 존재할 때이고, (b)는 원통형 보강재에 Fin이 붙은 경우이다.



(a) Unit model of cylinder



(b) Unit model of cylinder with fin

Fig. 2 Unit model

전체 구조물의 크기는  $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}$  이고, 여기에 원통이  $10 \times 10$  으로 배열되어 있는, 즉 100개의 원통이 존재하는 경우이다. 원통의 크기는 단위 모델의 평판의 한변의 길이를  $l$ , 원통의 지름을  $d$ 로 하였을 때  $d/l$ 의 비가 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8의 5가지 비율로 하였다. 비가 일정한 크기로 커지지 못한 것은 후에 0.5의 비 일 때의 Fin의 길이로 Fin의 길이를 고정하고, 원통의 지름만 변화시키는 경우와 비교하기 위해서이다. 여기서, Fin의 길이를 일정하게 하고 원통의 지름을 변화시키는 경우 전체 구조물의 크기는 달라진다. <sup>(6)</sup>

구조물의 위아래판의 두께는  $1 \text{ mm}$  이고, 원통과 Fin의 두께는  $0.5 \text{ mm}$  로 하였다.

경계조건은 4변 완전 고정으로 하였고, 하중조건은 윗판에 수직으로  $0.1 \text{ MPa}$ 의 일정한 면압을 가하는 것으로 하였다.

### 4. 해석 결과

#### 4.1 원통형 보강재

윗판에 수직으로 면압을 가하였을 때 최대응력은  $d/l$ 의 비에 따라 변하며 Table 2에 각각의 최대 처짐 값을 나타내고 있다.

Fig. 3에서는  $d/l$ 의 비가 0.2인 원통의 아래위 판이 있는 경우와 비가 0.8인 원통의 아래위판이 없는 경우를 나타내어 비에 따라 원통의 지름이 어떻게 커지는가를 보였다.

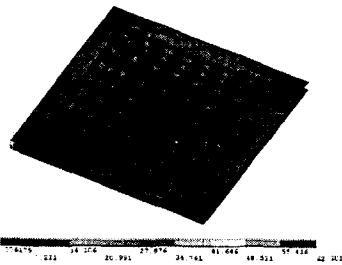
원통형 보강재만 있는 경우에 구멍이 있는 구조물의 경우 구멍이 없는 구조물보다 최대 응력과 최대 처짐이 작게 나타났다. 또한,  $d/l$ 의 비가 커짐에

Table 2 Maximum displacement of each model

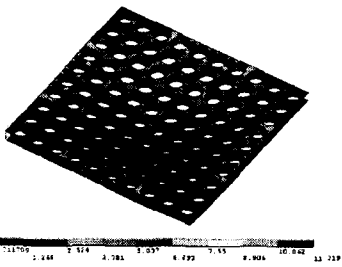
$\delta_{max}$	Cylinder with no fin		Cylinder with fin		Cylinder with const. fin	
	No hole	Hole	No hole	Hole	No hole	Hole
0.2	0.030608	0.022125	0.007841	0.008014	0.002124	0.002128
0.4	0.016251	0.012057	0.00748	0.007882	0.005055	0.005317
0.5	0.013138	0.009603	0.007315	0.007897	0.007315	0.007897
0.6	0.010909	0.008053	0.007167	0.007964	0.010265	0.011393
0.8	0.008065	0.0066920	0.006937	0.008214	0.018755	0.022008

따라서 즉, 원통형 보강재의 지름이 커질수록 최대 응력은 급격히 낮아지고, 최대 처짐 또한 급격히 작아진다. 이를 Fig. 5 의 그래프에 나타내었다.

Fig. 5 에 Fin 이 있는 경우와 없는 경우에 대해 비교하였다. Fin 이 있는 경우  $d/l$  의 비가 커짐에 따라 최대 응력이 대체로 작아지나 최대 응력값이 Fin 이 없는 경우에 비해 완만하게 감소하였다. Fin 으로 보강된 경우에는 원통의 아래·위판이 있는 경우가 없는 경우에 비해 최대 응력은 낮게 나오고, 최대 처짐은 높게 나타났으며, 최소값은  $d/l$  의 비가 0.6 일 때이다.



(a) 0.2 ratio with no fin

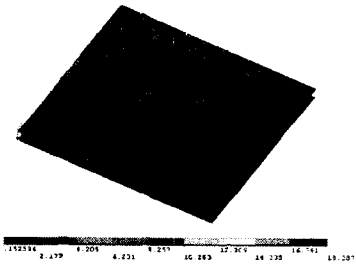


(b) 0.8 ratio with no fin

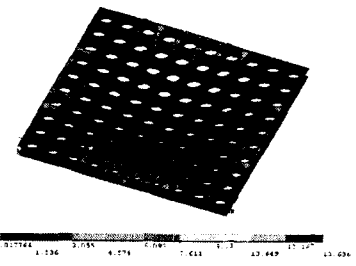
Fig. 3 Model of cylinder with no fin

#### 4.2 Fin 을 가지는 원통형 보강재

원통형 보강재에 Fin 보강을 덧붙였을 때 원통형 보강재만 있는 경우와 같은 조건으로 해석을 수행하였고, Fig. 4 에는  $d/l$  의 비가 0.2인 원통의 아래·위판이 없는 경우와 비가 0.8인 원통의 아래·위판이 없는 경우를 나타내었다.



(a) 0.2 ratio with fin



(b) 0.8 ratio with fin

Fig. 4 Model of cylinder with fin

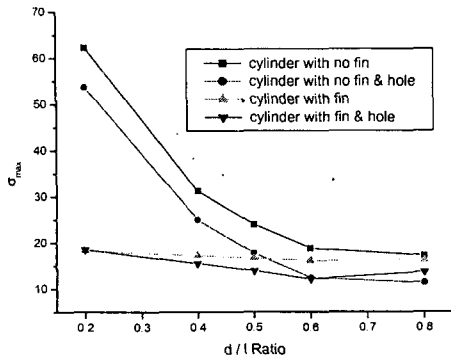


Fig. 5 Comparison of cylinder with fin & no fin

### 4.3 Fin 길이가 일정한 원통형 보강재

$d/l$ 의 비가 0.5 일 때의 Fin 길이를 기준으로 하여 Fin 길이를 일정하게 두고  $d/l$ 의 비를 변화시켜 앞과 같은 조건하에서 해석을 수행하였다. 그 결과  $d/l$ 의 비가 커질수록 최대응력은 높아지고, 최대처짐은 커졌다. 또한, Fig. 6에서 Fin 길이가 변할 때와 비교해 보았다. 그래프에서 Fin 길이가 변하는 경우는  $d/l$ 의 비가 증가함에 따라 최대 응력은 대체로 감소하나, Fin 길이가 일정한 경우에는 오히려 증가하였다.

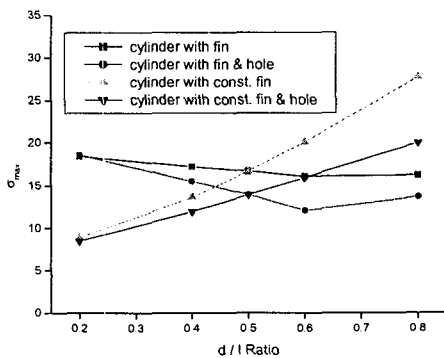


Fig. 6 Comparison of cylinder with fin & const. fin

## 5. 결론

1. 원통형 보강재만 존재하는 경우 원통의 아래 위 판에 있는 것과 없는 것 모두  $d/l$ 의 비가 커질수록 최대 응력은 감소하고 최대 처짐 또한 작아진다.

2. Fin을 가진 원통형 보강재의 경우에도 원통의 아래 위 판이 있는 것과 없는 것 모두  $d/l$ 의 비가 커질수록 최대 응력은 감소하나 일정한 크기(본 논문에서는  $d/l$ 의 비가 0.6 일때)를 넘어서면 오히려 최대 응력은 커진다. 이는 원통에 보강된 Fin의 영향 때문인 것으로 보인다.  $d/l$ 의 비가 커지면 원통의 지름이 커지므로  $l$ 의 길이가 일정하므로 Fin의 길이는 작아지게 된다. 따라서, Fin의 영향이 점점 작아지게 되므로 최대 응력은 일정비를 넘어서면 오히려 증가함을 보인다.

3. Fin 길이를  $d/l$ 의 비가 0.5일 때로 고정하고  $d/l$ 의 비를 변화시키면 이때는  $d/l$ 의 비가 커질수록 최대 응력은 증가하고 최대 처짐도 커졌다. 이는 Fin의 영향이라기보다는 Fin의 길이는 일정하나 원통의 지름이 커지면서 전체 구조물의 크기가 따라 커지므로 하중을 받는 면적이 넓어졌기 때문인 것으로 보인다.

4. 원통의 아래 위 판이 있는 경우와 없는 경우를 비교해보면 모든 경우에 아래 위 판이 없는 경우가 최대 응력이 낮게 나타났다. 따라서, 아래 위 판이 없는 구조물의 경우 공간 활용면에서 유용할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 백점기, 신병천, "해양구조물 원통부재의 최종강도에 대한 순상의 영향," 한국해양공학회지, 제 3권, 제 2호, pp. 577-586, 1989.
2. 김태훈, 공철원, 김조권, 김천곤, 홍창선, "구멍이 있는 복합적층 원통형 판넬의 좌굴 및 좌굴후 거동해석," 한국항공우주학회지, 제 24권, 제 6호, pp. 109-123, 1996.
3. 원종진, "보강원통셀의 최소중량화 설계연구," 대한기계학회지, 제 16권, 제 4호, pp. 630-648, 1992.
4. 박치모, "조합하중을 받는 해양구조물 원통부재의 최종강도 해석," 한국해양공학회지, 제 11권, 제 2호, pp. 11-17, 1997.
5. X. W. Xu, H. C. Man, T. M. Yue, "Strength prediction of composite laminates with multiple elliptical holes," International Journal of Solid and Structures, Vol.37, pp. 2887-2900, 2000.
6. O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, "The Finite Element Method," McGraw Hill International Editions, Fourth Edition vol.1, pp.89-102.