

로프 브레이크의 최적형상에 관한 연구

이종선*

(논문접수일 2004. 12. 1, 심사완료일 2004. 1. 26)

A Study on the Optimum Shape of Rope Brake

Jong-Sun Lee*

Abstract

The objective of this study is structural analysis and optimum shape of rope brake. The finite element model was implemented to compute the stress, strain and friction force for rope brake. The ANSYS code was used for this analysis. Structural analysis are effected by position and height of reinforcement figure. The structural safety was examined by an establishment angle of the rope brakes which made apply to housing of the most suitable shape. The optimum shape of the rope brake was decided after stress and strain results were compared and examined.

Key Words : Rope Brake(로프 브레이크), Optimum Shape(최적형상), Structural Analysis(구조해석), Redesign Model(재해석 모델)

1. 서론

최근 엘리베이터 관련 안전사고로 인해 엘리베이터 안전에 대한 여론이 높아지고 있는 실정이다. 이에 따라 검사 기준을 강화하는 엘리베이터 안전검사 기준이 채택되었다. 즉, 엘리베이터가 상승방향으로 과속하는 것을 방지하고, 엘리베이터가 착상구간에 정지한 경우 제어회로 또는 브레이크에 이상이 발생하여 승강장 문이 열린 채 제어할 수 없는 동작을 일으키는 것을 방지하는 장치에 대한 검사를 시행토록 한 것이다^(1~3).

로프 브레이크의 형태는 여러 가지 형태가 있으며 본 논문에서 고려한 형태는 기존에 형태와는 구조상으로 많은

차이점을 두어 로프식 엘리베이터의 제작·안전 기준에 따른 하중조건에 의하여 기능성과 안정성을 더욱 향상시켰으며 로프 브레이크 장치의 안전한 설계를 위하여 기본 설계한 하우징 영역에 대하여 하중이 집중될 것으로 예상되는 상부 영역에 보강 형상을 추가하여 높이와 위치 변화에 따른 구조해석을 수행한다.

하우징의 최적형상을 기초로 하여 로프 브레이크 전체 형상을 설계하고, 최적 설계된 하우징이 결합된 로프 브레이크 형상에 대하여 같은 구속조건과 하중조건을 부여하여 설치 각도에 따른 구조해석을 실시 한 후 로프 브레이크 전체 형상에 대한 최대응력과 최대변형률 등을 비교하여 구조적 타당성을 검토한다^(4,5).

* 대전대학교 기계설계공학과 (jongsun@daejin.ac.kr)
주소 : 487-711 경기도 포천시 선단동 산11-1

2. 로프 브레이크의 기본설계

Fig. 1은 로프 브레이크의 안전성을 고려하여 반력의 영향이 최대로 나타날 것으로 예상되어지는 하우징 상부 부분에 보강 형상을 추가한 형상을 나타낸다.

Fig. 2는 라이닝과 메인 로프간의 해석을 위한 개략도로서 엘리베이터의 하중조건을 나타낸다.

T_r 는 균형추측의 장력, T_c 는 카측의 장력이다. P_n 은 로프를 제동시키기 위한 제동력, P_s 는 엘리베이터 속도를 줄이기 위하여 로프에 작용하는 마찰력이다.

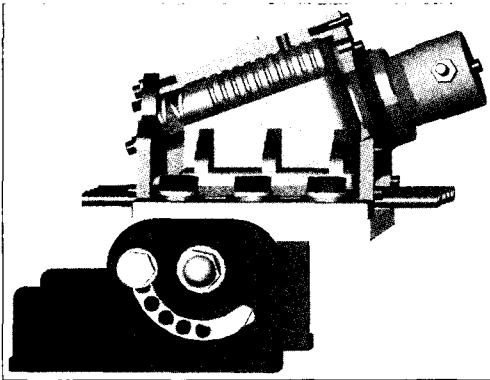


Fig. 1 Redesign model of rope brake

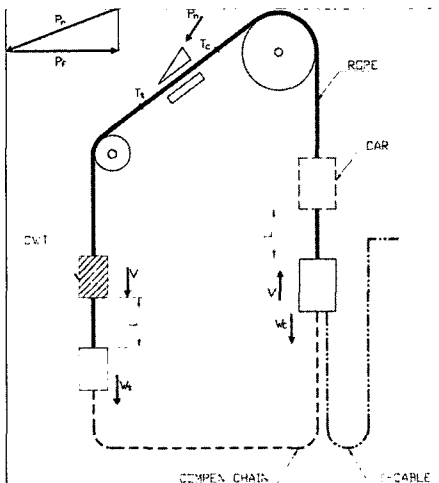


Fig. 2 Apparatus of elevator system

3. 구조해석

본 해석에 사용된 조건은 Table 1과 같은 엘리베이터일 경우를 선택하여 해석하였다. 마찰계수 0.28을 고려하여 제동력, 즉 마찰력을 구하는 식 (1)을 이용하여 산정하였다. 또한 계산된 마찰력을 활용하여 구조해석을 수행하였다^(6,7).

$$P_f = \{ (CWT\text{자중} + Car\text{자중} + Rope\text{중량} + Compensation\text{ chain}\text{중량} + Travelling\text{ cable}\text{중량}) \times [(V/60)^2 / (2gL/1000)] \} + (OB \times \text{적재하중}) \quad (1)$$

본 해석에 사용된 로프 브레이크의 재질은 GCD 500(구 상흑연주철)이며 물성치는 Table 2와 같다.

Table 1 Conditions of elevator

Conditions	Value
Classify, Loading weight(kg)	P24, 1600
Car weight(kg)	1900
Transfer distance(m)	70
Rope(Φ)	12×7
Compensation chain(Φ)	9×2

Table 2 Material property of GCD 500

Property	Value
Tensile Strength(kgf/mm ²)	50/55
Brinell Hardness	170~241
Yield Point(kgf/mm ²)	35
Elongation(%)	7
Modulus of Elasticity(Gpa)	168
Poisson's Ratio	0.29

3.1 하우징 영역의 구조해석

Fig. 3에서 371,090개의 절점과 248,968개의 요소로 유한요소 모델을 생성한다.

해석옵션으로는 정상상태(steady state)를 적용하고, 접촉조건(contact condition)은 하우징과 슬라이더가 접하는 부분에 마찰조건을 부여하였으며, 마찰은 완전 미끄럼마찰을 적용하였다.

하우징 영역에 대한 구조해석은 보강형상의 높이 5mm,

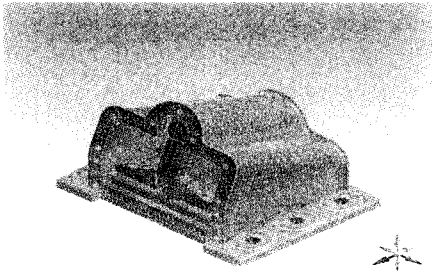


Fig. 3 Finte element model for housing

7.5mm, 10mm, 12.5mm, 15mm에 대해 보강형상의 위치를 하우징 증앙을 기준으로 전·후 5mm, 10mm 간격의 변화를 주어 수행한다.

Fig. 4, Fig. 5는 보강형상이 없이 기초 설계된 하우징의 응력과 변형률 분포를 나타내며, Fig. 6~Fig. 11은 보강형상의 높이를 변경하면서 위치 변화를 적용한 응력과 변형률 분포이다.

보강형상의 높이와 위치변화에 있어 최대응력이 나타나는 부분은 기본 모델과 유사한 위치이며 최대응력 발생 위치는 하우징의 전면커버 결합부에서 발생하였으며 이 부분

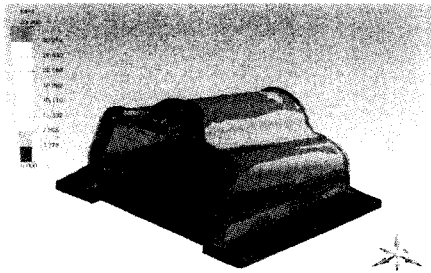


Fig. 4 Stress distribution of basic housing

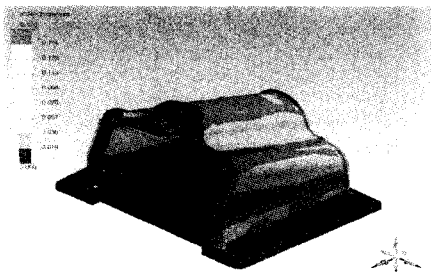


Fig. 5 Strain distribution of basic housing

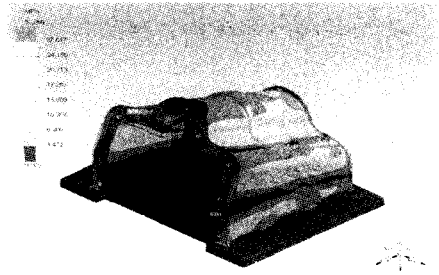


Fig. 6 Stress distribution of the 5mm height of reinforcement shape

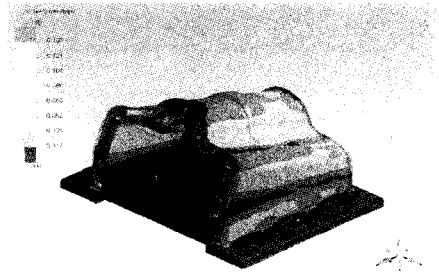


Fig. 7 Strain distribution of the 5mm height of reinforcement shape

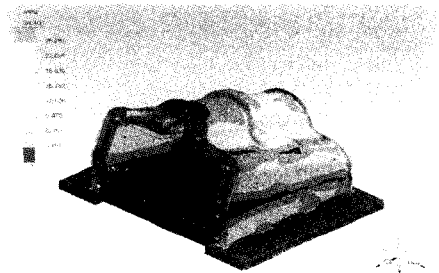


Fig. 8 Stress distribution of the 10mm height of reinforcement shape

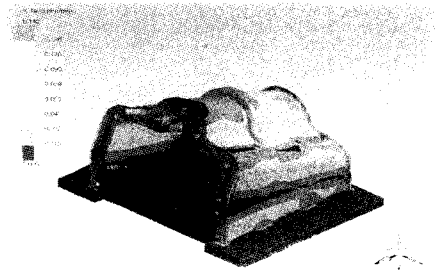


Fig. 9 Strain distribution of the 10mm height of reinforcement shape

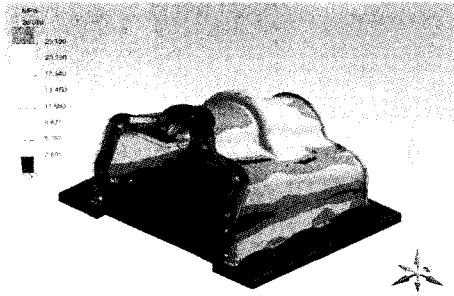


Fig. 10 Stress distribution of the 15mm height of reinforcement shape

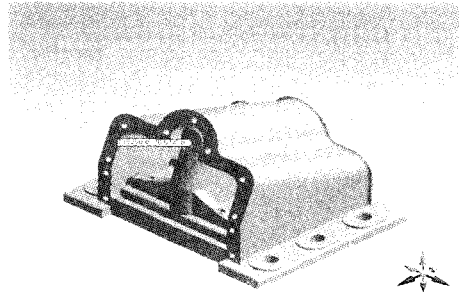


Fig. 12 Change position for analysis

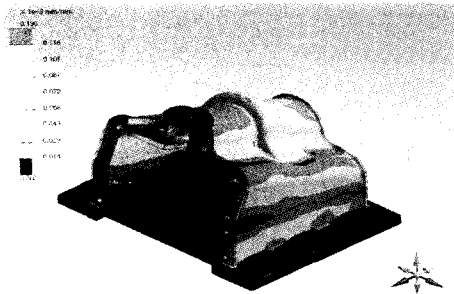


Fig. 11 Strain distribution of the 15mm height of reinforcement shape

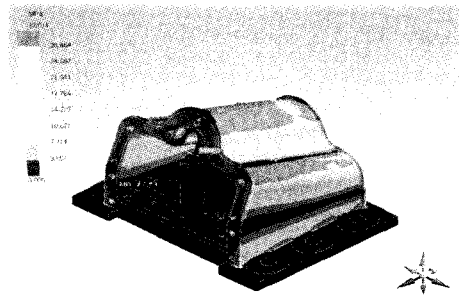


Fig. 13 Stress distribution of the 3mm reinforcement

은 밖으로 2mm 돌출 되는 얇은 모서리부분을 형성하기 때문이다. 엘리베이터 제작·안전기준에 따른 허용응력을 기준으로 하여 허용응력에 만족하는 보강형상의 높이 12.5mm, 위치는 하우징의 중간평면을 기준으로 5mm 앞에 위치시킨다.

3.2 2차 하우징 영역의 구조해석

로프 브레이크 제품개발 단계에서 1차 모델을 적용한 해석을 적용하여 하우징의 최적형상을 결정하였고, 제품의 양산에 이용하였다. 2차 하우징의 모델은 1차 하우징의 보강을 전제로 한 모델과는 달리하여 초기 설계모델의 상부 필렛에 변화를 주어 해석을 수행하였다.

해석에 사용되는 재료와 압력조건, 구속조건 그리고 경계조건은 1차 하우징과 동일하며 344,043개의 절점과 228,393개의 요소로 유한요소 모델을 생성한다.

Fig. 12는 2차 하우징의 보강을 위해 필렛 반지름을 변화시킨 부분을 나타낸다. 2차 하우징 영역에 대한 구조해석은 기초 설계된 하우징의 가이드 홈 부분의 필렛 형상에 있어서 필렛의 반지름을 3mm, 6mm, 9mm, 12mm, 15mm의 변화를 주어 수행한다. Fig. 13~Fig. 16은 필렛의 반지름

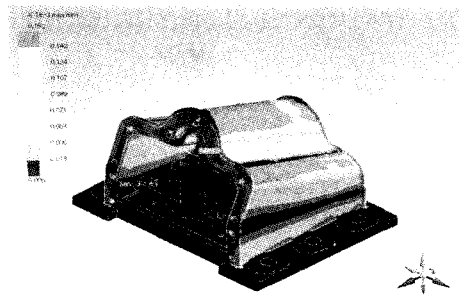


Fig. 14 Strain distribution of the 3mm reinforcement

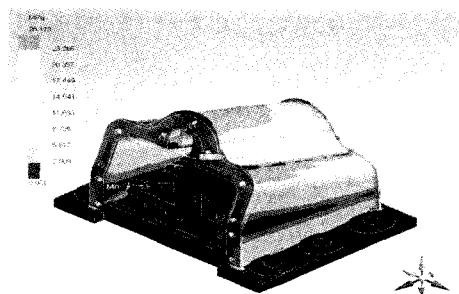


Fig. 15 Stress distribution of the 9mm reinforcement

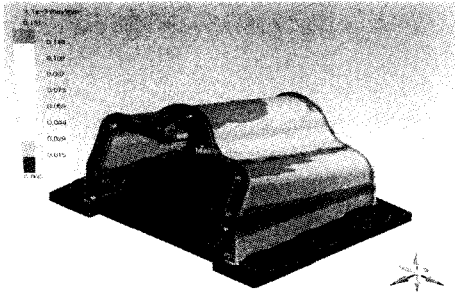


Fig. 16 Strain distribution of the 9mm reinforcement

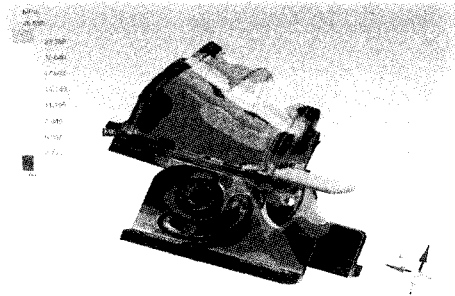


Fig. 17 Distribution of stress for rope brake of 0°

을 변경하면서 얻은 응력과 변형률의 결과를 나타낸다.

2차 하우징의 해석결과를 살펴보면 1차 하우징과 마찬가지로 가이드 양쪽 필렛 영역에서 응력과 변형률의 분포가 두드러짐을 확인할 수 있었으며 필렛의 크기가 커짐에 따라 최대응력과 최대변형률, 최대전단응력이 감소함을 나타낸다.

필렛의 크기변화에 따라서 최대응력과 최대변형률이 발생하는 부분은 1차 하우징 모델과 동일 위치인 전면커버 결합부에서 발생하였으며 발생원인은 동일하다. 필렛의 크기가 3mm~9mm까지 커질수록 최대응력과 최대변형률의 감소폭이 큼을 알 수 있었으며, 9mm~15mm의 변화에 있어서는 최대응력과 최대변형률의 감소폭이 작아짐을 확인할 수 있었다. 해석 결과를 비교 검토하여 최적 형상을 결정하였는데, 최대응력과 최대변형률의 감소폭이 작아지기 시작하고 엘리베이터 제작·안전기준에 따른 허용응력을 기준으로 하여 허용응력에 만족하는 필렛 9mm의 보강된 하우징으로 결정하였다.

3.3 로프 브레이크 영역의 구조해석

브래킷 바닥면에 구속조건을 부여하였고 로프 브레이크가 작동되어 라이닝이 로프를 제동시킴으로서 로프가 본 장치를 당기는 힘인 1426kgf를 7개의 로프에 적용하였고 설치 각도에 따라 0°~90°의 각도변화를 적용하였다. contact 조건으로 하우징과 슬라이더가 접하는 부분은 마찰을 무시하기 위하여 미끄럼마찰을 적용하였으며, 라이닝과 로프가 접하는 부분은 슬라이더와 결합되어지는 상부라이닝과 로프는 고정되어 있다고 가정하였으며, 제동 시 라이닝과 로프의 마찰을 고려하기 위하여 로프와 접하는 하부라이닝 면에 마찰계수 0.28을 적용하였다.

Fig. 17~Fig. 20은 설치 각 0°, 45°의 변화에 대한 구조 해석을 수행하여 얻은 최대응력과 최대변형률을 나타낸다.

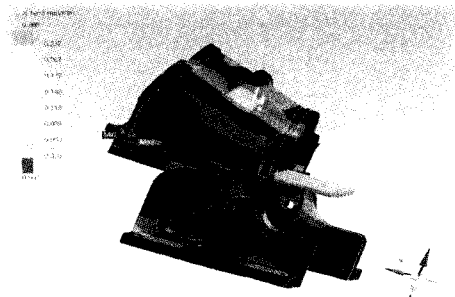


Fig. 18 Distribution of strain for rope brake of 0°

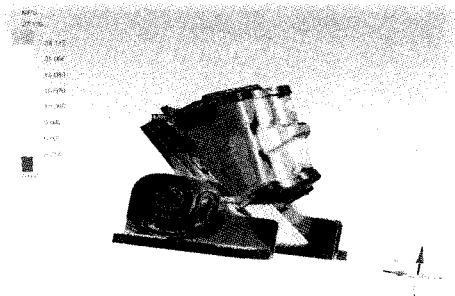


Fig. 19 Distribution of stress for rope brake of 45°

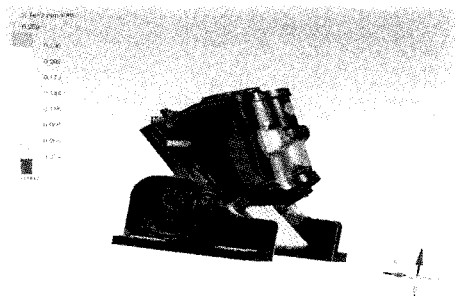


Fig. 20 Distribution of strain for rope brake of 45°

로프 브레이크 영역에서 응력의 분포는 제동 시 슬라이더의 이동으로 인한 반력의 영향으로 주로 하우징 부분에 나타나며, 제동 시 로프가 로프 브레이크 장치를 당기는 힘에 의해 브래킷과 라이닝 고정홀더 결합부분에도 응력이 집중됨을 알 수 있다. 응력의 분포는 설치 각도에 따라 약간의 차이를 보이고 있으며, 최대응력은 back cover의 볼트 연결부에서 나타났다. 이는 볼트 연결부의 안쪽살의 두께가 얇기 때문인 것으로 보이며 이 부분에 설치 각도 15°, 30°, 45°에서 허용안전율이 7.33~7.44로 나타났다. 이는 허용안전율 7.5에 약간 못 미치는 수치지만 볼트 체결 시 긴밀한 결속으로 안전율은 높아질 것이다.

1차 하우징 영역에 대한 보강형상의 위치와 높이에 따른 구조해석 결과를 Table 3, 2차 하우징 영역에 대한 필렛형상

의 크기변화에 따른 최대응력, 최대변형률, 최대전단응력의 결과를 Table 4에 나타내었다. 로프 브레이크 영역에 대한 구조해석 결과를 Table 5에 나타내었다.

무게에 따라 Table 3과 Table 4를 비교해보면 2차 하우징의 가장 높은 변화인 R15의 필렛의 무게가 1차 하우징의 최소 보강형상인 5mm보다도 작음을 알 수 있는데 여기서 무게 비에 따른 응력과 변형률의 결과는 2차 하우징이 우수함을 알 수 있다. 하지만 1차 하우징의 해석결과 응력과 변형률 분포는 보강형상 부분에 집중됨을 보여주며 높은 값의 응력 분포는 작은 부분에 국한되어 나타나며 2차 하우징의 경우 보강을 적용한 필렛 영역에서 전반적으로 높은 값의 응력 분포를 보이며 안쪽 부분에서 높은 값의 응력과 변형률을 나타낸다.

Table 3 Strss and strain results by height and position of reinforcement

height (mm)	position (mm)	stress (N/mm ²)	strain	shear stress (N/mm ²)	weight (kg)
5	basic	33.996	1.70×1e-4	17.71	9.204
	center	31.069	1.55×1e-4	16.24	9.389
	back 5	31.134	1.56×1e-4	16.28	
	front 5	31.228	1.56×1e-4	16.35	
	back 10	31.391	1.57×1e-4	16.30	
front 10	30.873	1.54×1e-4	16.15		
7.5	center	29.575	1.48×1e-4	15.41	9.477
	back 5	30.002	1.50×1e-4	15.68	
	front 5	29.403	1.47×1e-4	15.37	
	back 10	30.232	1.51×1e-4	15.81	
	front 10	29.087	1.45×1e-4	15.21	
10	center	28.408	1.42×1e-4	14.85	9.561
	back 5	28.765	1.44×1e-4	14.97	
	front 5	28.570	1.45×1e-4	15.36	
	back 10	28.909	1.43×1e-4	15.12	
	front 10	28.082	1.40×1e-4	15.09	
12.5	center	27.147	1.36×1e-4	14.20	9.647
	back 5	27.466	1.37×1e-4	14.29	
	front 5	26.933	1.35×1e-4	14.05	
	back 10	27.801	1.39×1e-4	14.46	
	front 10	26.179	1.31×1e-4	13.69	
15	center	26.010	1.30×1e-4	13.56	9.727
	back 5	26.551	1.33×1e-4	13.89	
	front 5	25.553	1.28×1e-4	13.38	
	back 10	27.090	1.35×1e-4	14.16	
	front 10	25.063	1.25×1e-4	13.12	

Table 4 Strss and strain results by fillet of reinforcement

fillet size	stress (N/mm ²)	strain	shear stress (N/mm ²)	weight (kg)
R 3	32.01	1.60×1e-4	16.47	9.231
R 6	29.23	1.46×1e-4	14.90	9.261
R 9	26.17	1.31×1e-4	14.12	9.292
R 12	25.25	1.26×1e-4	13.49	9.324
R 15	24.05	1.20×1e-4	13.22	9.355

Table 5 Stress, strain and shear stress results by angle change

angle (°)	stress (N/mm ²)	strain	shear stress (N/mm ²)
0	26.538	2.66×1e-4	13.813
15	27.522	2.58×1e-4	14.810
30	27.480	2.59×1e-4	14.781
45	27.126	2.59×1e-4	14.595
60	26.637	2.59×1e-4	14.343
75	26.295	2.58×1e-4	14.168
90	26.131	2.58×1e-4	14.084

4. 결 론

본 논문에서는 하우징의 최적형상을 기초로 로프 브레이크 전체 형상을 설계하고, 그 최적형상에 대하여 구조해석을 실시 한 후 응력과 변형률, 전단응력 등을 비교 검토하여

다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 1차, 2차 하우징의 구조해석에 대해 보강형상의 높이를 5~15mm, 위치를 5~10mm로 변화시켰으며, 필렛의 크기를 3~15mm로 변화시키면서 구조해석을 수행하여 각 형상에 대한 응력과 변형률 분포를 얻을 수 있었으며, 엘리베이터 제작·안전기준에 준하며 구조적으로 알맞은 최적형상을 결정하였다.
- (2) 1차 하우징의 구조해석 결과 위치변화에 따른 최대응력과 최대변형률의 변화가 작게 나타남을 알 수 있었고, 2차 하우징의 해석 결과 3~9mm의 필렛의 크기변화에 있어 최대응력과 최대변형률, 최대전단응력이 크게 나타나며 9mm 이상에서는 작은 감소폭이 나타남을 알 수 있었다.
- (3) 응력 분포는 응력 집중이 예상되는 부분에 발생하는 것을 확인하였으며, 최대응력의 발생 부분은 하우징과 결합되어지는 back cover로서 이는 볼트 홈의 지지부가 얇기 때문이다.
- (4) 로프 브레이크의 구조적 형상에 있어 장각각도 15°, 30°, 45°에서 허용안전률이 7.33~7.44로 약간 벗어남을 나타내지만 이는 볼트 체결시 각 부품들의 긴밀한 결속을 유도함으로써 구조적으로 안정적임을 확인 할 수 있었으며, 허용전단응력도 안정적임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Korea Machinery Meter and Petrochemical Testing and Research Institute, 1999, *A Study on the Technical Safety Rules of Rope Brake use for Elevator*, pp. 1~67.
- (2) Vlahovic, C. E., 1989, *Rationale for New Rules in CSA-B44 Safety Code for Elevators*, Elevator World.
- (3) Nederbragt, J. A., 1989, *Rope Brake*, Elevator World.
- (4) Chandrupatla, T. R., and Belegundu, A. D., 1991, *Introduction to Finite Elements in Engineering*, Prentice Hall.
- (5) Weaver, Jr. W., and Johnston, R., 1993, *Finite Elements for Structural Analysis*, Prentice Hall.
- (6) ANSYS User's Manual Revision 7.0, 2000, Swanson Analysis System, Inc.
- (7) Lee, J. S., Kim, J. H., and Bag, I. J., 2003, "Structural Analysis of Rope Brake for Elevator," *Proceedings of the KSMTE fall conf. 2003*, pp. 9~13.
- (8) Kim, H. G., Yang, S. M., Noh, H. G., Nah, S. C., You, K. H., and Cho, N. I., 2003, "A Study on the Optimal Shape Design of 2-D structures," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 12, No. 2, pp. 9~16.