

무어링 윈치 브레이크의 제동력 향상을 위한 연구

하정민* · 한동섭** · 한근조***

The Study for Improve the braking power of Mooring winch brake

JeongMin Ha, DongSeop Han, GeunJo Han

Key Words: Mooring winch(무어링 윈치), Windlass winch(윈드라스 윈치), Braking power (제동력), Optimum design(최적설계)

Abstract

The brake system is very important part of the machine working. If the machine can't be stopped, it would be serious accident. It is the same as the ship. The mooring winch brake hold the ship in harbor. But sometimes it appeared the excessive stress and brake lining would be broken. So it is necessary to change the shape of brake system with improve the braking power. This study carried out research on optimum design like as moved the position of link pin or modified the thickness of brake band and lining.

기호설명

T : 인장력, N
 Tt : 긴장축의 인장력, N
 Ts : 이완축의 인장력, N
 l : 회전 중심에서 작용점까지의 거리, mm
 a : 회전 중심에서 긴장축까지의 거리, mm
 u : 마찰계수
 f : 제동력, N/mm
 F : 외력, N
 N : 수직응력, N

1. 서론

거의 모든 기계장치에 있어 브레이크는 운동을 감속 또는 정지시키고, 그 정지상태를 유지하는 등 제어를 위하여 아주 중요한 역할을 담당하고 있다. 선박은 일단 건조되면, 항상 흔들리는 수면 위에 있어야한다. 이때 배가 항해중이라면 윈드라스 윈치로 닻을 내려서 멈추고, 계류 중이라면 무어링 윈치를 통하여 로프를 부두의 앵커에 걸어 정지 상태를 유지하고자 한다.

그 중 무어링 윈치의 브레이크 시스템은 선박의 계류 시 브레이크 밴드가 원주가압에 의해 무어링 윈치 드럼을 고정하여 무어링 윈치의 풀림을 막기 위한 장치이다. 하지만 계류시 제동력 부족으로 인해 계선로프의 루즈(loose)현상의 발생으로 무어링 윈치 드럼과 밴드사이 슬립(slip)현상이 발생하게 되어 선박의 계류가 불완전하게 되어 선박의 유동이 발생하고, 그로인해 선박에 손상을 발생시킬 수 있다. 이를 방지하기 위해서

* 동아대학교 기계공학과
 E-mail : seraphiel9@naver.com
 TEL : (051)200-6989 FAX : (051)200-6989
 ** 동아대학교 BK21 총괄사업단
 *** 동아대학교 기계공학과 교수

안정된 제동력을 가지며, 또한 순간적인 제동력 발휘를 할 수 있는 무어링 윈치의 개발이 필요하다. 또한, 기존의 무어링 윈치는 응력이 특정부위에 집중적으로 작용하여, 상대적으로 전단에 약한 브레이크 라이닝의 파손 가능성이 높다.

그리하여 본 논문에서는 무어링 윈치의 링크에서 핀의 위치와 브레이크 밴드의 두께 등을 변경하여 기존의 무어링 윈치와 비교하였다.

2. 무어링 윈치 브레이크의 형상

2.1 무어링 윈치에서 작용하는 하중 분석

무어링 윈치 브레이크의 형상은 Fig. 1과 같으며 상단의 유압실린더의 작동으로 인해 브레이크 밴드가 조여지게 된다.

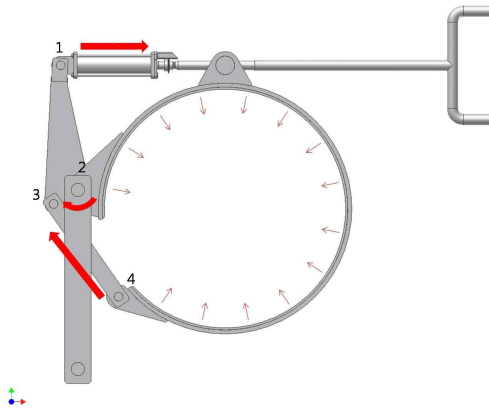


Fig. 1 Performance properties of Mooring winch

2.2 작동원리 분석

무어링 윈치 브레이크는 그 작동원리가 아래 Fig.2와 거의 유사하다. 따라서 우선 브레이크 밴드에 작용하는 하중에 대한 분석을 하였다.

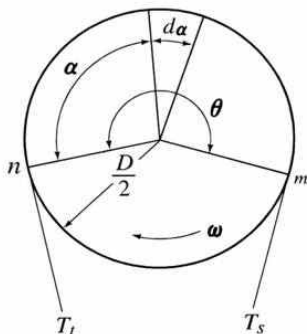


Fig. 2 Schema of Mooring winch

2.3 작동 토크 분석

Fig.3에서 길이 ds 인 요소의 자유물체도에서 축이 운동 직전이거나 운동한다고 가정한다면 마찰력의 크기는 $dF = \mu dN$ 이다. 이 힘은 축이 미끄러지는 힘을 저지하며 따라서 라이닝에 작용하는 인장력의 크기를 dT 만큼 증가시킨다.

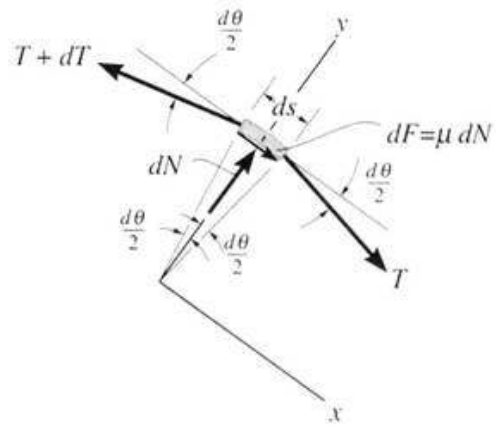


Fig. 3 Stress in infinitesimal area

두 개의 힘 평행방정식을 적용하면,

$$\rightarrow + \sum F_x = 0 ; T \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) + \mu dN - (T + dT) \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) = 0$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0 ; dN - (T + dT) \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) - T \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) = 0$$

$d\theta$ 는 미소한 크기이므로 $\sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)$ 와 $\cos\left(\frac{d\theta}{2}\right)$ 는

각각 $\frac{d\theta}{2}$ 와 1로 대체할 수 있다. 또한 두 개의

미소량 dT 와 $\frac{d\theta}{2}$ 의 적(product)은 1차 미소량에

비해 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 따라서 위의 두 식은 $\mu dN = dT$ 와 $dN = T d\theta$ 로 줄어든다. dN 을 소거하면,

$$\frac{dT}{T} = \mu d\theta$$

2.4 제동력 분석

축과 드럼이 만드는 모든 접촉면 사이에서 이 식을 적분하면, $\theta = 0$ 일 때 $T = T_1$, $\theta = \beta$ 일 때 $T = T_2$ 이므로

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \mu \int_0^\beta d\theta$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \mu\beta$$

T_2 에 대해 풀면 다음 식을 얻게 된다.

$$T_2 = T_1 e^{\mu\beta}$$

여기서 제동력 f 는 $T_2 - T_1$ 로 표현할 수 있다. 따라서,

$$T_2 = f \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1}, \quad T_1 = f \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1}$$

로 표현할 수 있다. 따라서, 브레이크 막대에 가하는 힘 F 는

$$F = T_t \frac{a}{l} = f \frac{a}{l} \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1}$$

과 같은 식을 세울 수 있다. 여기서 구하고자 하는 제동력은 f 이므로,

$$f = F \frac{l}{a} \frac{e^{\mu\theta} - 1}{e^{\mu\theta}}$$

로 정의 할 수 있다.

3. 무어링 윈치 브레이크의 형상변화

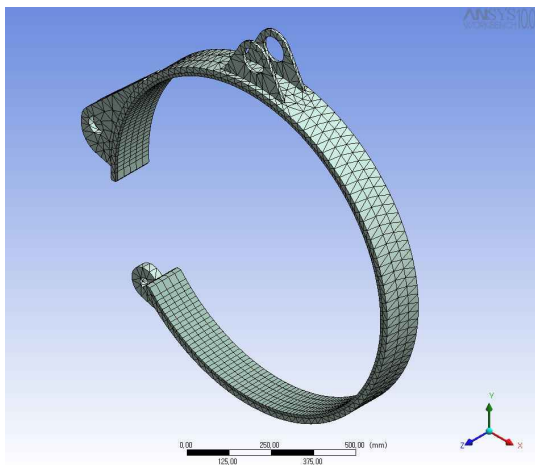


Fig. 4 Finite element shape of Mooring winch

3.1 기존 무어링 윈치의 해석

기존의 무어링 윈치를 단순인장 시켰을 경우, Fig. 5와 같이 무어링 윈치의 0° 를 중심으로 $\pm 10^\circ$ 에서 최대 응력이 발생하였다.

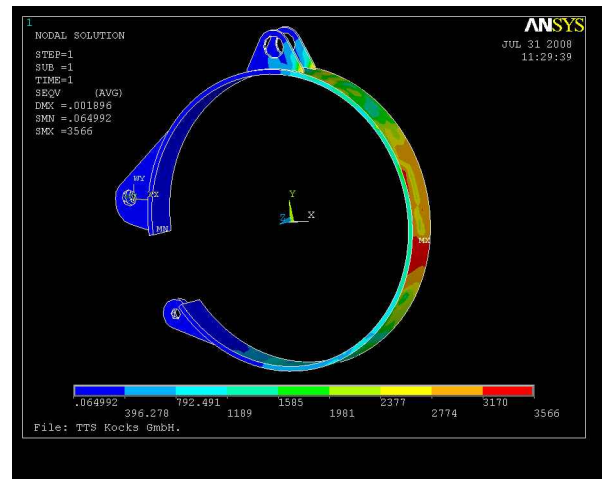


Fig. 5 Finite element shape of Mooring winch

3.2 무어링 윈치의 형상변화와 구조해석

위의 Fig. 5에서 최대응력이 나타난 지점을 중심으로 무어링 윈치를 Fig. 6과 같이 2개로 분리하였다. 또한 이렇게 분리한 무어링 윈치를 기존에 사용하던 무어링 윈치가 비교하여 인장으로 인한 응력집중부가 해소됨으로 나타나는 응력분포를 아래 Fig. 7에 나타내었다.

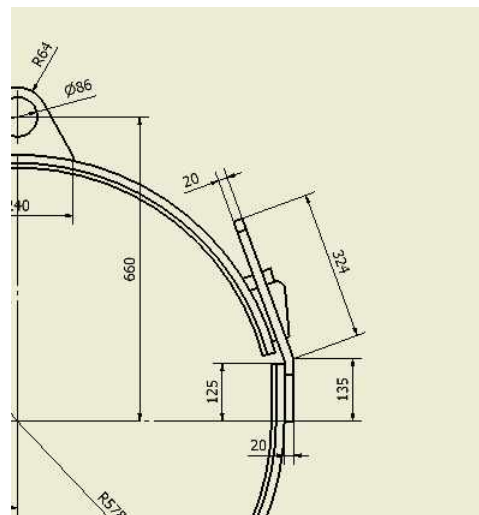
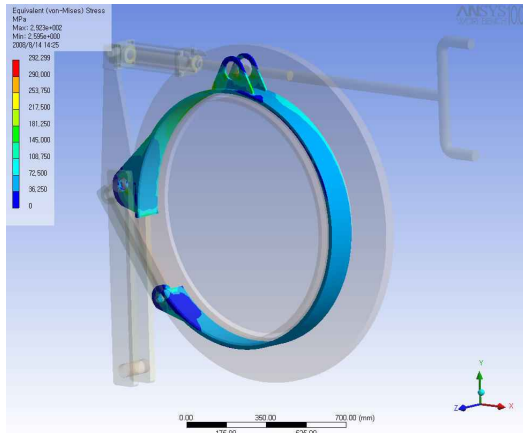
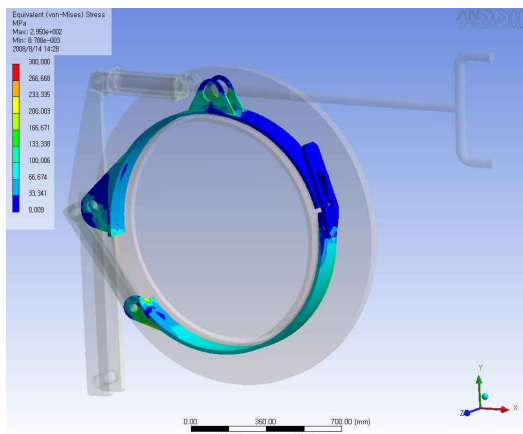


Fig. 6 The dividing position of Mooring winch



(a) before change



(b) after change

Fig. 7 Stress according to design modify

이러한 변경으로 브레이크 밴드와 같이 변경된 라이닝에서도 기존에 비해 평균적으로 좀 더 고른 분포를 보였으며, 축에서 또한 보다 더 넓은 범위에서 평균적으로 높은 응력이 발생하여 더 높은 제동력이 발생할 것으로 생각된다.

아래의 Table 1에는 각 부위에서 나타난 최대 응력을 나타낸 것으로 분리 후 발생하는 최대 응력이 줄어든 것을 알 수 있다.

Table 1 Maximum stresses in each part

	비교 부위에 작용하는 하중 (MPa)		
	브레이크 밴드	라이닝	축
Case I (기준)	112	123	120
Case II (분리)	58 (104)	62 (102)	103

() 안의 값은 하단부에서 발생하는 최대값

Table 2 Material data of Mooring winch

부분	Stress [MPa]		Material
	Yield	Ultimate	
브레이크 밴드	468	584	GL/D36
라이닝	-	250	HWK 2000
연결핀	650	850	SUS 431

그리고 이렇게 변경된 무어링 윈치에서 브레이킹을 하기 위한 다른 링크와의 길이도 또한 변경을 하였다.

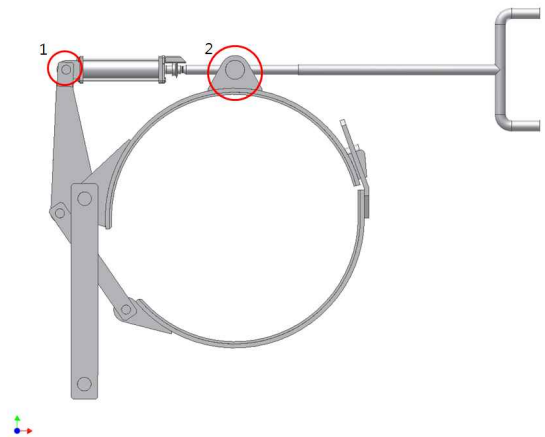


Fig. 8 Changed the position of link pin

Fig. 8에서 1번 핀의 위치를 아래로 변경한 것을 Case III, 위로 변경한 것을 Case IV로 하였다. 또한, 2번 핀의 위치를 피스톤 쪽으로 옮긴 것을 Case V, 핸들 쪽으로 옮긴 것을 Case VI라고 하였다. 하지만 아래 Table 3에서 나타난 것과 같이 연결 핀의 이동으로 나타나는 효과는 미비한 것으로 나타났다. 이때, 변경에 따른 각 핀의 이동 거리는 유압실린더로 인한 제한에 따라 90mm로 하였다.

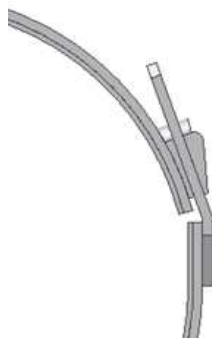
Table 3 Stresses of modified model

	비교 부위에 작용하는 하중 (MPa)	
	브레이크 밴드	축
Case III	77.4 (111.5)	156.2
Case IV	76.8 (149)	173.7
Case V	72.7 (107.2)	142.6
Case VI	80.7 (113.6)	138.7

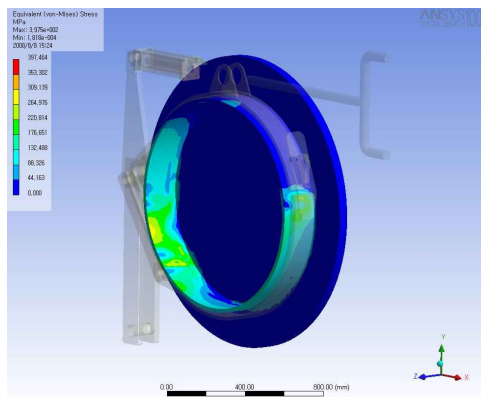
() 안의 값은 하단부에서 발생하는 최대값

3.3 무어링 원치의 두께변화와 구조해석

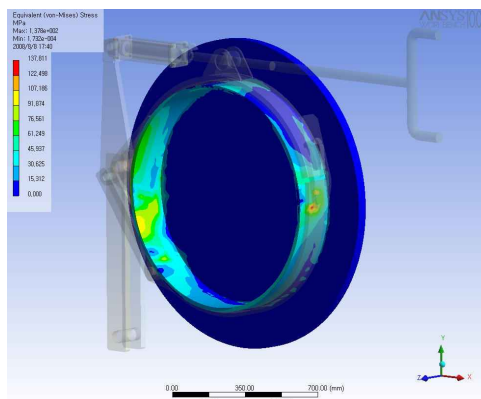
기존의 무어링 원치에서는 밴드가 하나로 이어져 있어서 두께가 일정했지만, Fig. 9와 같이 둘로 분리된 무어링 원치에서는 각각의 두께를 조절하는 게 가능하다. 따라서 각 부분의 두께를 5mm 증가시켜 작용하는 응력을 비교하였다.



(a) The modeling of Divided Mooring winch



(b) Increase the thickness of lower part (Case VII)



(c) Increase the thickness of upper part (Case VIII)

Fig. 9 Thickness adjustment of Mooring winch

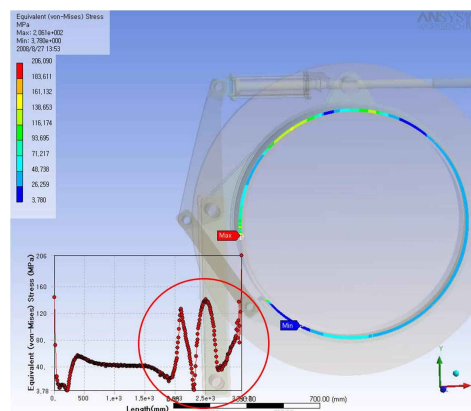
Table 4 Comparison between Case VII & Case VIII

	비교 부위에 작용하는 하중 (MPa)	
	브레이크 밴드	축
Case VII	69.9 (170.5)	164.2
Case VIII	50.8 (178.4)	158.3

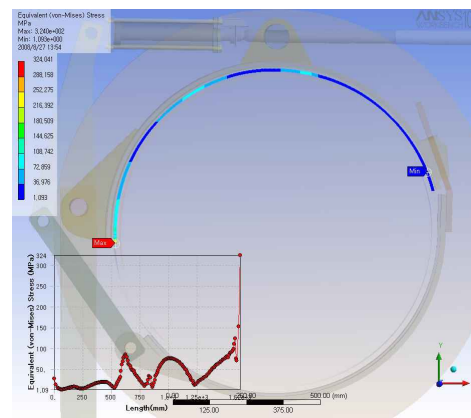
() 안의 값은 하단부에서 발생하는 최대값

3.4 변경에 따른 구조해석

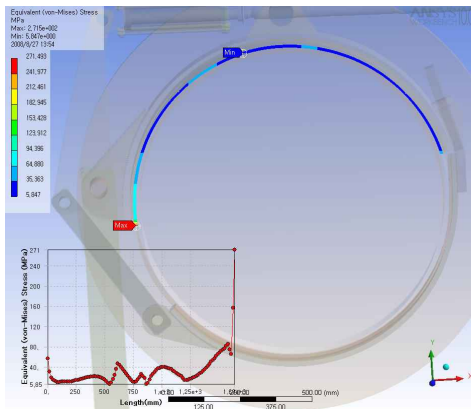
기존의 무어링 원치는 (a)와 같이 윗부분에서 응력의 변동이 심하고 최대응력이 높게 나타나는 부분이 존재하여, 파단의 위험이 존재하였다. 그러나, 상단부와 하단부로 분리하여 응력을 알아보면 (b)와 같이 응력이 응력 집중이 상당부분 줄어든 것을 알 수 있다. 또한 (c)와 같이 상단부의 두께를 증가시켰을 때, 나타나는 응력이 더욱 안정적으로 변한 것을 볼 수 있다.



(a) Normal Mooring winch



(b) Divided Mooring winch



(c) Divided and thickness changed Mooring winch

Fig. 10 Distribution of Mooring winch

4. 결 론

기존의 무어링 원치 브레이크에서 상단부와 하단부로 분리하여 해석을 했을 때가 기존의 하나의 밴드로 이루어져 있을 때보다 전체적으로 축에 가해지는 평균 응력도 높고, 그 분포도 넓은 것으로 나타났다. 또한 기존의 브레이크 밴드에 비해 응력의 변동도 적은 것으로 나타났다.

그러나 브레이크의 링크 장치의 변경은 큰 영향을 줬다고 생각하기 힘들며, 영향을 주었다하더라도 제작 과정에서 비용이 많이 들어감으로써 경제적으로 좋은 변경상황이라고 보기는 힘들다.

하지만 브레이크 밴드의 두께 변경은 축에 가해지는 응력의 변동 폭을 더욱 안정화시키는 것으로 나타났다. 이로 인해 응력의 집중으로 인한 파단을 막을 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지역산업공통기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

(1) Lee, M. H., 2006, "A Study on Mooring Tension in Main Engine Quay Trial," *Trans. of*

the KOSME, pp. 221~222.

(2) Woo, S. W., Park, R. S., Cho, S. H., Lee, J. K., 1997, "Design of the Winch Structure under the Dynamic Load using by Finite Element Analysis," *Trans. of the KSME*, pp. 685~690.

(3) Song, B. C., Kang, D. H., Kim, Y. H., Park, Y. C., Lee, K. H., 2007, "Structural of a circumferential friction disc-brake, considering thermoelectric instability," *Trans. of the KSAE*, Vol.3 pp. 1554~1561.

(4) ANSYS User Manual, ANSYS Inc., 2005

(5) ANSYS Workbench, TAE SUNG Software & Engineering, Inc., 2007