

# 무어링 윈치의 분할각도에 따른 강도해석

하정민\* · 한동섭\*\* · † 한근조

\* 동아대학교 대학원, \*\* 동아대학교 BK21 총괄사업단, † 동아대학교 기계공학부 교수

## The Strength Analysis of Mooring winch according to the division angle

Jeong-Min Ha\* · Dong-Seup-Han\*\* · † Geun-Jo Han

\* Graduate school of Dong-A University, Busan 604-714, Korea

\*\* Institute of BK21, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

† Division of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**요 약** : 기계장치에 있어서 브레이크 시스템은 기계의 안전상 동작만큼이나 중요한 부분이다. 기계를 급히 정지시켜야하는 비상시에 기계가 멈추지 않으면 큰 사고로 발전할 수 있기 때문이다. 이것은 모든 기계장치에서 공통된 사항이며, 선박에서 또한 마찬가지이다. 선박에는 2종류의 계류장치가 존재한다. 그 중 하나는 항해하는 선박을 근해에 정박시키기 위해서는 해저에 닻을 내리는 윈드라스 윈치이며, 또 다른 하나는 배를 항구에 계류시키기 위한 무어링 윈치이다. 그 중 기존에 사용하는 무어링 윈치의 경우, 브레이크 밴드가 하나의 철판으로 만들어져 있으며, 브레이크 밴드와 라이닝을 연결하는 볼트의 파손이 발생하게 된다. 본 연구에서는 이 파손을 방지하기 위해 유한요소해석 프로그램을 사용하여 응력이 집중되는 부위를 선정하였고, 이 부위를 분리하여 응력 집중을 해소하였다. 또한 이 분리지점의 각도에 따른 해석을 수행하여 최적의 위치를 선정하였다.

**핵심용어** : 무어링 윈치, 제동력, 분리점, 단단형, 이단형, 최적설계

**Abstract** : In the machinery, the brake system is as important part as machine's working. The situation of emergency stop, the machine doesn't stopped would be occur big accident. This is common things for all of machinery, also for the ships. There are two kind of mooring devices are existed on the ship. One of them, the windlass winch, is used to anchor. The other, the mooring winch is used to moor the ship in pier use the rope tied to bitt on dock. In case of previously been used mooring winch made of a steel plate, and the bolt which was connect brake band and lining broken. In this study, prevent an accident find the position of stress concentration by finite element analysis program. And removed stress concentration. And search the optimum position of the separation angle to be more efficient.

**Key words** : Mooring winch, Braking power, Division portion, mono-type, dual-type, Optimum design

## 1. 서 론

최근 국제 경기의 악화로 인해 제품 생산에 열을 올리던 많은 기업들이 신기술개발, 경량화와 같은 제품 성능향상에 많은 투자를 하고 있다. 이는 선박에서 또한 마찬가지이며, 생산 선박의 수를 늘리기보다는 시추선(Drill ship)이나 FPSO(Floating Production Storage Offloading)같은 고부가가치의 선박 건조나 AHC(Active Heave Compensator)와 같은 고부가가치에 더 많은 투자를 하고 있는 상황이다. 또한, 이와 더불어 화물선은 더 많은 화물을 선적하거나 연료절감을 위해 선박의 경량화를 고려하고 있다. 그 중에서 특히 브레이크는 운동을 감속 또는 정지시키고, 그 정지상태를 유지하는 등 선박의 제어에 아주 중요한 역할을 담당하고 있다(오, 1990).

선박은 일단 건조되면, 선박의 용도에 따라 평균 2~30년은 항상 흔들리는 수면 위에 있게된다. 이때, 배가 항해중이라면

윈드라스 윈치로 앵커를 내려서 해저의 바위에 걸어서 고정시키고, 부두에 계류 중이라면 무어링 윈치를 통하여 로프를 부두의 비트에 걸어 정지 상태를 유지하게 된다. 앵커를 정지시키기 위한 윈드라스 윈치와는 달리 무어링 윈치는 '정지상태의 유지'가 그 주된 역할이라고 할 수 있다(이, 2003).

무어링 윈치의 브레이크 시스템은 선박의 계류 시 브레이크 밴드가 원주압에 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 되면 선박의 유동이 발생하고, 그로인해 선박에 손상을 발생시킬 수 있다. 또한, 기존의 무어링 윈치는 응력이 특정부위에 집중적으로 작용하여, 상대적으로 전단에 약한 브레이크 라이닝의 파손 가능성이 높다.

따라서 본 논문에서는 기존의 무어링 윈치의 설계를 변경

\* 연회원, seraphiel9@naver.com 010)4579-3173

\*\* 연회원, dshan@dau.ac.kr 051)200-6989

† 교신저자 : 연회원, gjhan@dau.ac.kr 051)200-7650

하여, 보다 안정적이고 뛰어난 효율을 가지는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 무어링 윈치 브레이크의 제동력 분석

배가 항구에 입항하게 되면, 밧줄을 부두에 묶고 모터로 밧줄을 당겨서 정박시키게 된다. 무어링 윈치 브레이크는 모터가 빠져나간 후 자유 회전하는 드럼을 원주 방향에서 잡아, 드럼에 연결된 로프가 풀리지 않게 고정하는 역할을 한다.

### 2.1 무어링 윈치 브레이크의 작동원리 분석

무어링 윈치 브레이크는 Fig. 1과 같은 모양으로, 그 작동원리는 다음과 같이 4단계로 구분할 수 있다.

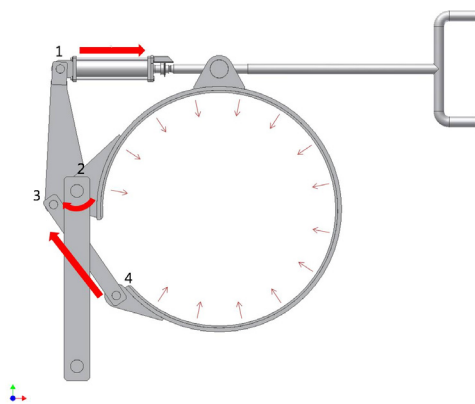


Fig. 1 Working mechanism of mooring winch

1. 유압이나 수동적인 방식으로 무어링 윈치에 외력을 가함
2. 무어링 윈치와 갑판을 연결하는 핀을 중심으로 레버가 회전
3. 레버에 연결된 풀링 바 (pulling bar)가 인장
4. 브레이크 밴드가 드럼을 가압하여 제동력이 발생

무어링 윈치 브레이크는 내부에 회전하는 드럼을 원주방향에서 가압하여 정지시키는 방식으로 그 작동원리가 아래 Fig. 2의 밴드 브레이크와 매우 유사하다.

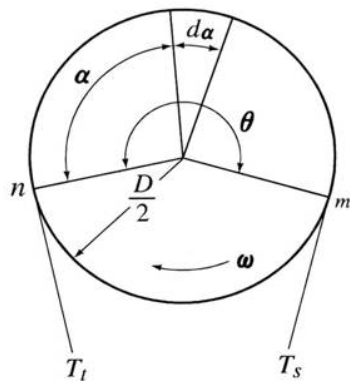


Fig. 2 Schema of braking power

- $D$  : 드럼의 직경
- $\alpha$  : 드럼과 브레이크 밴드의 접촉각도
- $d\alpha$  : 드럼과 브레이크 밴드의 미소 접촉각도
- $\theta$  : 드럼과 브레이크 밴드의 전체 접촉각도
- $\omega$  : 회전 각속도
- $n$  : 긴장축 접점
- $m$  : 이완축 접점
- $T_t$  : 긴장축 장력
- $T_s$  : 이완축 장력

### 2.2 작동토크 분석

브레이크의 제동력을 계산하기 위해 드럼과 접하는 라이닝을 미소요소로 분리하여, 미소요소의 제동력을 적분하여 전체의 브레이크 제동력을 계산한다(하, 2008).

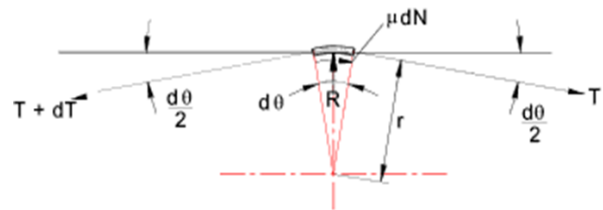


Fig. 3 Finite element model of mooring winch

- $T$  : 라이닝의 인장력
- $d\theta$  : 라이닝 미소요소의 각도
- $\mu dN$  : 라이닝 내부의 마찰력
- $R$  : 라이닝의 내경
- $r$  : 중심에서 라이닝 두께 중심까지의 거리

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

두 개의 힘 평행방정식을 적용하면,

$$\rightarrow + \sum F_x = 0 ; T \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) + \mu dN - (T + dT) \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) = 0 \quad (1)$$

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

여기서  $d\theta$ 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,  $\frac{dT}{T} = \mu d\theta$  라는 식으로 정리될 수 있다.

### 2.3 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

$$\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \mu \int_0^\beta d\theta \quad (3)$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \mu\beta \quad (4)$$

위의 식 (3), (4)를 지지점에서의 힘을  $T_1$ , 작용점에 가해지는 힘을  $T_2$  라고 할 때, 이를 정리하면 다음 식을 얻게 된다.

$$T_2 = T_1 e^{\mu\beta} \quad (5)$$

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

$$T_2 = f \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1}, \quad T_1 = f \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \quad (6)$$

로 표현할 수 있다.

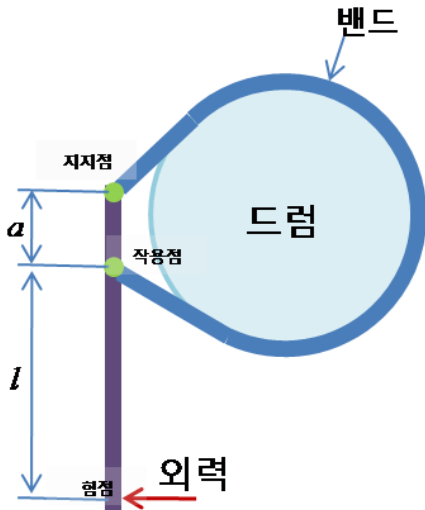


Fig. 4 Stress analyze of mooring winch

따라서 외력으로 브레이크 막대에 가해지는 힘  $F$ 는

$$F = T_2 \frac{a}{l} = f \frac{a}{l} \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} \quad (7)$$

와 같은 식을 세울 수 있다. 여기서 구하고자하는 제동력  $f$ 는

$$f = F \frac{l}{a} \frac{e^{\mu\theta} - 1}{e^{\mu\theta}} \quad (8)$$

로 정의 할 수 있다.

이를 각도에 따른 제동력으로 나타내면 Fig. 5와 같이 나타난다. 이 그림에서 드럼이 회전하면서 라이닝과 마찰을 시작하는 부분에서 가장 큰 제동력 분포를 보이며 점차 제동력 분포가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

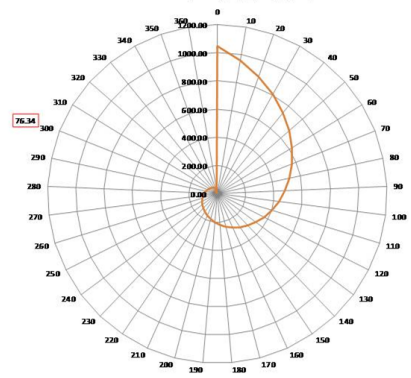


Fig. 5 Braking power of each angle

### 2.4 설계변수 설정

무어링 윈치 브레이크의 설계에 있어서 설계변수로 설정할 수 있는 것은 핸들에서 인장력이 전달되는 풀링바(pulling bar)의 길이와 드럼과 접하고 있는 라이닝의 마찰계수 그리고 드럼과 라이닝이 접하고 있는 위치를 들 수 있다. 하지만 풀링바의 길이는 제작업체에 따라 다양하며, 선주의 요청에 따라 변하게 된다. 마찰계수 또한 드럼과 접하고 있는 라이닝의 재질에 따른 것으로 제작업체에 따라 다양한 값을 가진다. 따라서 본 연구에서는 제작업체와는 관계없이 보편적인 값을 가지는 드럼과 라이닝이 접하는 위치를 변경을 통해 제동력 향상을 하고자 한다.

## 3. 무어링 윈치 브레이크의 해석

### 3.1 기존 무어링 윈치 브레이크의 해석

우선, 기존에 사용하는 무어링 윈치 브레이크의 응력분포의 해석에서 Fig. 5와 같이 선형적인 제동력 분포가 나타나야 하지만, 링크와의 연결로 인해 단면적이 다른 부분에 비해 크므로 최대응력은 Fig. 6과 같이 링크 사이에서 발생하였다.

이는 앞의 이론과 Fig.5와는 다소 차이가 있으나, 이 차이는 링크 구조를 연결하기 위한 브래킷에 의해 단면적이 커진 것에 영향을 받은 것으로 판단된다.

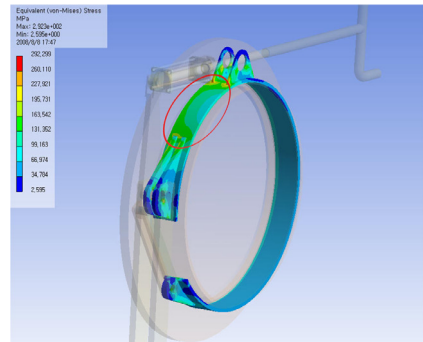


Fig. 6 Stress analyze of mooring winch

Table 1 Materials of mooring winch

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

또한, 무어링 윈치 브레이크가 작동하기 전에 브레이크의 내경은 드럼의 외경보다 크며, 작동에 의해 브레이크 밴드가 변형되어 드럼에 닿게 된다. 이 경우를 가정하고 인장시켰을 경우에는 Fig. 7와 같이 10° 부근에서 최대응력이 발생한 것을 알 수 있다.

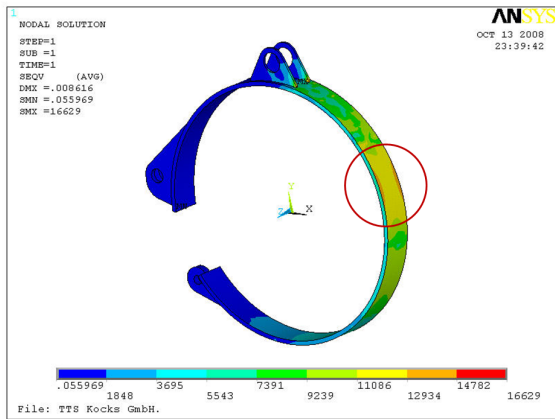


Fig. 7 Weak point of mono-type mooring winch

이로 인해 설계변경을 할 수 있는 부위를 Fig. 3의 이론에 근접하고 작동 시 나타나는 Fig. 6와 Fig. 7과 같이 브레이크 밴드의 변형에 의해 나타나는 부위로 선정할 수 있다. 하지만, 왼쪽은 링크 사이 간격이 좁고, 피스톤과 같은 구조물이 위치하므로 설계변경을 하기 힘든 경향이 있어 오른쪽 최대 응력이 발생한 부분을 설계변경부로 선정하였다.

이 부위의 응력을 감소시키기 위해 Fig. 7에서 최대 응력이 나타나는 부위를 제거하여 Fig. 8과 같이 분리하였다.

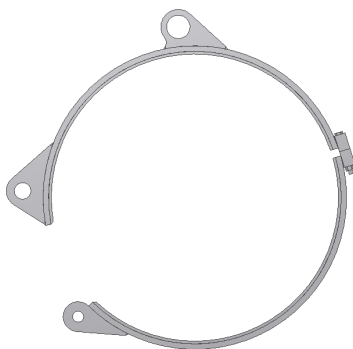
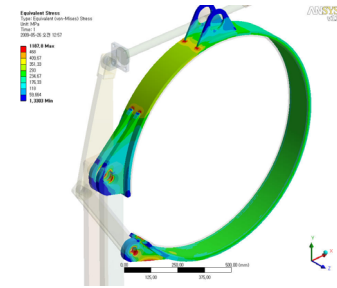


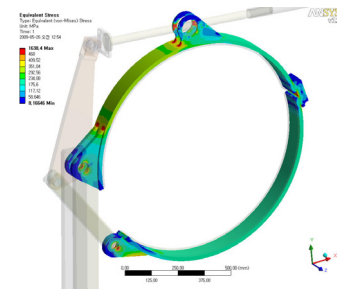
Fig. 8 Dividing model of mooring winch

### 3.2 분리된 무어링 윈치 브레이크의 해석

2개로 분리한 브레이크 밴드와 일체형 브레이크 밴드의 응력을 비교해본 결과, Fig. 9, Fig. 10에서와 같이 기존 무어링 윈치에서는 브레이크 밴드 부분에서 넓은 범위에 걸쳐 높은 응력이 나타난 반면, 2개로 분리된 모델에서는 기존의 모델에 비해 전체적으로 낮은 응력분포를 보인다. 라이닝에서는 기존의 모델은 끝부분에 힘이 집중된 반면 분리된 모델은 상대적으로 고른 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다(하, 2008).

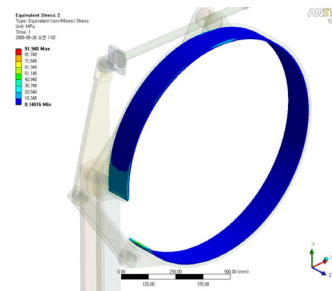


(a) Mono-type mooring winch

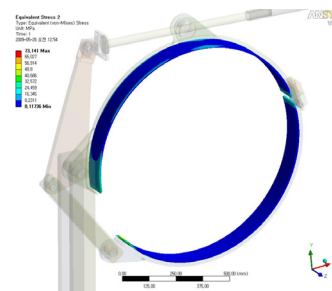


(b) Dual-type mooring winch

Fig. 9 Stress comparison of brake band



(a) Mono-type mooring winch



(b) Dual-type mooring winch

Fig. 10 Stress comparison of brake lining

무어링 윈치는 브레이크가 걸린 상태를 지속적으로 유지하여야 된다. 하지만 분리된 무어링 윈치는 상부와 하부가 볼트로 연결되어 제동 시 볼트에 굽힘 응력이 발생하게 되며, 브레이크가 걸린 상태에서도 파도의 영향에 따라 Fig. 11과 같이 반복적인 굽힘 응력을 받게 된다.

이로 인해 볼트의 피로수명에 영향을 미치게 되고, 나사산의 마모도 발생하게 되어 내구수명을 감소시키는 요인이 될 수 있다.

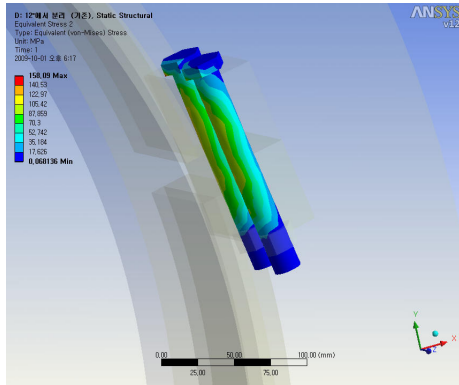


Fig. 11 Stress analyze of connecting bolt

따라서 상부와 하부의 연결부를 볼트를 사용하여 고정시키는 방법에서 Fig. 12와 같이 행거(Hanger)형으로 하부의 밴드를 상부에 걸어서 고정하여 굽힘으로 발생하는 모멘트를 제거하였으며, 설치 및 교체 등의 사항에서도 조립이 보다 용이하도록 변경하였다.

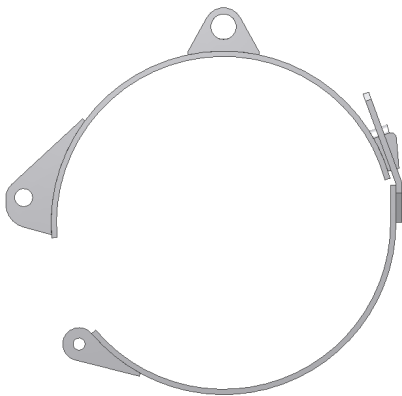


Fig. 12 Modified design of dual-mode mooring winch

행거형으로 변경된 무어링 윈치는 볼트로 연결된 무어링 윈치와 비슷하거나 더 낮은 응력분포를 나타냈으며, 상부와 하부를 연결하는 연결부에 유격이 있어 응력이 집중되는 것을 막아주었다. 또한, 유격이 있는 연결구조로 인해 동작에 있어서 응력이 제동력이 적게 발생하는 하부가 드럼에 먼저 밀착할 수 있게 되었다. 이로 인해 상부의 왼쪽에 집중되던 응력이 상당부분 하부로 옮겨져 Table 2와 같이 상부와 하부의 응력

의 차이가 상당히 줄어드는 결과를 보였다.

Table 2 Stress comparison of Brake band

(MPa)

	발생부위	발생응력	항복응력	Material	안전율
일체형	브레이크 밴드	186	468	D 36	2.52
	라이닝	162	250	HWK 2000	1.54
분리형	브레이크 밴드	216	468	D 36	2.17
	라이닝	145	250	HWK 2000	1.72

또한, Fig. 13과 같은 형태의 무어링 윈치에서 오른쪽을 0°으로 가정하였을 때, 분리 가능한 각도는 -115°~24°까지이다. 하지만 0°이하에서는 구조상 조립도 어려우며, Fig. 6에서 나타난 바와 같이 0°이상의 상부에서 높은 응력분포가 나타났다. 따라서 최적의 분리각을 선정하기 위해 Fig. 13과 같은 모델에서 분리각을 0°~24°까지를 범위로 설정하였고, 3° 간격으로 각을 증가시키며 최적의 위치는 찾아내는 연구를 수행하였다. 그 결과, 분리각에 따라 브레이크 밴드에 발생하는 응력분포는 Fig. 14와 같이 나타났으며, 분리각에 따라 Fig. 15와 같은 유형을 보였다.

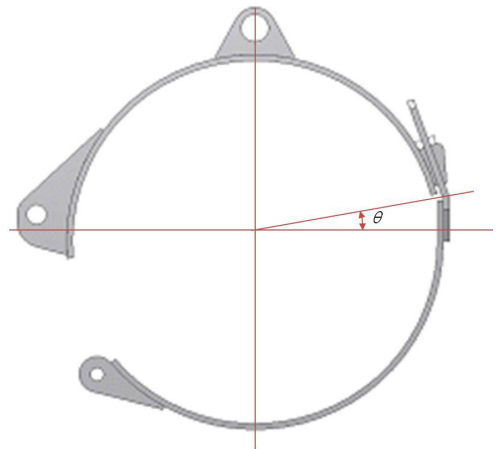


Fig. 13 Modified design of dual-mode mooring winch

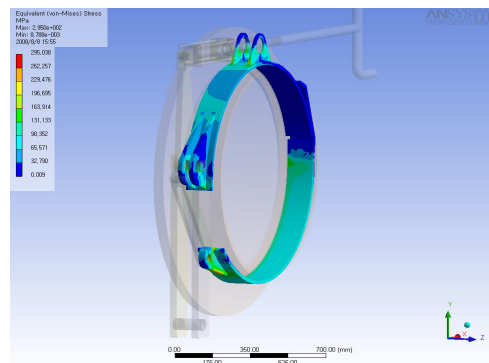


Fig. 14 Stress analyze of dual-mode mooring winch

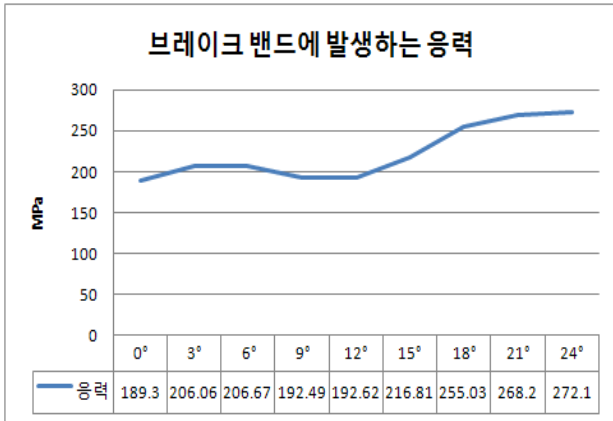


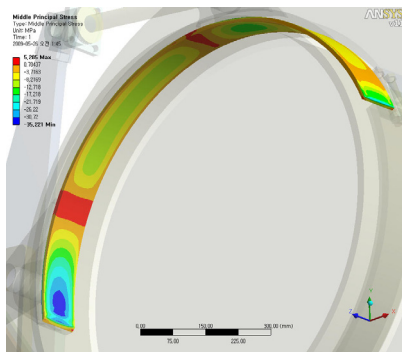
Fig. 15 Modified design of dual-mode mooring winch

#### 4. 해석결과 및 고찰

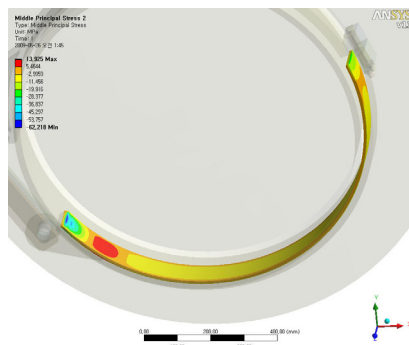
##### 4.1 해석결과

본 연구에서는 무어링 윈치의 해석의 편의성을 위해 해석에 영향을 적게 미치는 부위를 간략화 하였고, 해석 시간 감소를 위해 브레이크 라이닝과 드럼의 관계와 라이닝의 변형을 선형적으로 해석하였다.

일체형으로 이루어진 무어링 윈치를 분리하였을 때, 브레이크 밴드의 응력이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 응력분포의 편차도 줄어들어 피로수명도 증가됨을 알 수 있었다.



(a) Upper brake lining



(b) Lower brake lining

Fig. 16 Middle principal stress of brake lining

또한, 변형 후 최대응력은 줄어들었지만, 평균응력은 상승하여 드럼에 전체적으로 더 높은 평균응력이 작용하는 것을 알 수 있었다. 이는 브레이크 밴드와 드럼의 접촉력에 영향을 주어 더 나은 제동력을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

또한, 분리각에 따른 응력 비교에서 브레이크 밴드의 안전율이 2이상이어야 하므로, 적절한 분리각도는 발생응력이 234MPa이 넘지 않는 15°가 적절하다고 판단된다.

또한, 브레이크 밴드에 가해지는 압력이 점차 증가하면서 나타나는 변형을 살펴본 결과, Fig. 16에서와 같이 라이닝의 끝부분이 점차 위로 들리는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 일체형과 분리형에서 모두 나타났으며, 분리형의 링크가 분리된 곳에서도 그 값은 비록 작았지만 유사한 경향이 나타났다.

##### 4.2 고찰

본 연구에서는 선박을 항만에 정박시키기 위해 기존에 사용하던 일체형 무어링 윈치와 분리형으로 설계를 변경한 무어링 윈치의 응력을 비교하는 연구를 하였고, 분리형 무어링 윈치가 일체형에 비해 전반적으로 높은 성능을 가지는 것을 알 수 있었다.

### 5. 결 론

무어링 윈치 브레이크 시스템의 제동력 향상을 위해서는 일체형 라이닝보다는 분리형 라이닝의 사용이 효율적이며, 최적의 분리각은 15°인 것을 알 수 있었다. 또한, 분리된 무어링 윈치에서는 상부에서 다른 링크와 연결되는 구조로 변하게 되면서 단면적의 변화가 크게 되었으며, 이로 인해 하부에서 보다 응력의 변동이 크게 나타난 것을 알 수 있었다.

또한, 무어링 윈치가 가압될 때 상하부에서 링크 연결부에서의 가압으로 양쪽 끝부분이 가압되지 않고 뜨는 현상이 발생함을 알 수 있었다.

### 후 기

본 논문은 동아대학교 교내연구비로 수행되었음.

### 참 고 문 헌

[1] 오태명, 엄덕준(1990), “안벽계류해석”, 대한조선학회지, 제 27권 3호, pp. 49-55.  
 [2] 이호영, 임춘규, 유재문, 전인식(2003), “안벽에 계류된 선박의 비선형 운동응답”, 한국해양공학회지, pp. 8-15.  
 [3] 하정민, 한동섭, 한근조(2008), “듀얼모드 무어링 윈치의 브레이크 밴드의 두께 변화에 따른 제동력 영향”, 한국기계공학회지 춘추계학술대회 논문집, pp. 292-296.

원고접수일 : 2009년 12월 30일  
 심사완료일 : 2010년 12월 15일  
 원고채택일 : 2010년 12월 21일