

# 접촉조건을 고려한 윈치의 구조해석 및 최적설계에 관한 연구

## A Study about Structural Analysis of Winchi Considering Contact

\*이승도<sup>1</sup>, 이상훈<sup>2</sup>, 정일중<sup>2</sup>, 황영진<sup>3</sup>, 최민용<sup>4</sup>, #이석순<sup>5</sup>

\*S. D. Lee<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>2</sup>, I. J. Jeong<sup>2</sup>, Y. J. Hwang<sup>3</sup>, M. Y. Choi<sup>4</sup>, #S. S. Lee(leess@gnu.ac.kr)<sup>5</sup>  
<sup>1,2</sup> 경상대학교 대학원 기계공학과, <sup>3</sup>경남 테크노파크, <sup>4,5</sup>경상대학교 기계항공공학부

Key words : Topology Optimization, Contact condition, Winchi

### 1. 서론

현재 국내의 조선산업이 제조업 내에서 차지하는 비중은 지대하며 그 비중도 점점 높아 지고 있다. 또한 국내 수출입 화물의 90%를 해상수송수단인 선박에 의존하고 있다. 따라서 해상수송수단으로써 점차 대형화 되어 가는 선박의 접안 및 이안에 사용되는 예인선의 윈치의 구조적 안전에 관한 관심이 증가 하고 있다.

본 연구에서는 일반적으로 100 ~ 300 톤 급의 예인에 사용되는 윈치에 발생할 수 있는 두 가지 경우의 하중 상태를 고려하여, 구조물의 안정성을 검토하고 그 결과를 이용하여 최적 설계를 수행한다. 3 개의 베어링과 프레임 A, B 및 커버의 접촉 상태를 고려하여 해석을 수행하고, 해석 결과로부터 응력과 변형을 등을 파악하여 항만사고에 대비할 수 있다.

### 2. 유한요소법 및 최적설계 기본 개념

유한요소법은 미분방정식의 수치적 근사해법의 일종으로 공학해석 및 설계 생산성을 좌우하는 현대 공학의 핵심요소 기술이다. 현재 유한요소법 관련 기술은 구조설계, 열·유체 시스템 설계, 생산공정 설계, 전기자기장 해석 등 공학 전 분야에 걸쳐 광범위하게 활용되고 있다.

일반적으로 구조체에 하중이 가해지면 그 구조체에는 변형이 일어나게 되며 이 변형에 따라 구조체에 가해진 외력과 평형을 이루는 내부응력이 발생한다. 이와 같이 외력에 대한 구조체의 변형과 응력분포를 구하는 것을 구조 해석이라 한다. 물론 가해지는 외력은 정하중 또는 동하중일 수도 있고, 구조체에 일어나는 변형도 선형(Linear) 또는 비선형(Nonlinear)일 수도 있으며 정적 변형 뿐 만 아니라 시간에 따라 변하는 동적변형일 수도 있다. 구조설계는 이 구조해석에 따라 결정되는 구조체 내, 각부재(Member)의 요구되는 강도를 충족할 수 있는 부재의 크기, 형태, 재료 등을 결정하는 것을 뜻한다. 그러므로 구조설계를 하기 위해서는 정확한 구조해석이 선행되어야 하며 최적설계(Optimum design)를 하기 위해서는 구조해석과 설계가 반복적으로 이루어져야 한다. 즉, 구조해석의 궁극적인 목적은 이 최적 설계를 하기 위한 것이라 할 수 있다.

구조물의 최적설계 문제는 크게 나눠서 설계변수에 따라 치수(Size), 형상(Shape), 위상(Topology)의 세 가지 문제로 구분 할 수 있다. 본 연구에서는 위상최적화 방법을 이용하여 최적 설계를 수행 할 것이다. 최적화 과정에서 구조부재의 단면적이 0 에 이르면 그 부재는 구조로부터 제거된다. 이산구조는 일반적으로 최적화 과정에서 구조의 유한요소모델의 수정이 필요 는 특징이 있다. 그러나 위상문제에서는 설계과정에서 구조부재가 제거 혹은 추가 되므로 유한요소모델과 설계변수가 변한다. 균질화법은 위상최적화의 대표적인 기법으로 일정주기의 미시구조를 지니는 재료의 등가 재료 상수를 예측하여 재료의 분포설계를 이용한 최적의 위상을 찾아내는 방법이 균질화법이다.

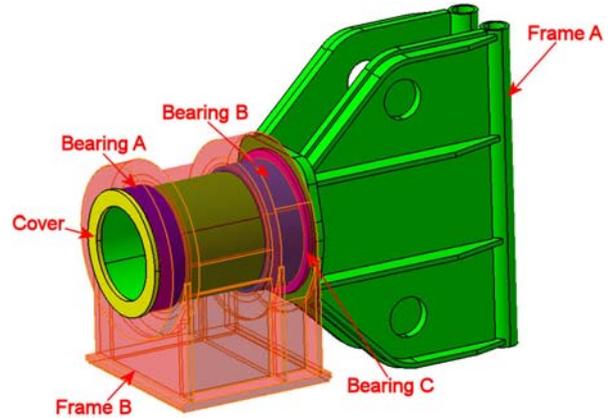


Fig. 1 Whole 3D model of Winchi

### 3. 3D 형상 모델링

윈치의 전체 형상 및 세부 부품에 대한 3D 형상 모델링을 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 에 각각 나타내었다. 전체 형상은 3 개의 베어링과 2 개의 프레임 및 커버로 이루어져 있으며, Main Frame 이 되는 Frame A 의 둘레로 Bearing A, B, C 가 각각 접촉해 있고 다시 3 개의 베어링 위에 Frame B 가 접촉하면서 결합되어져 있다. 또한 Bearing C 와 Bearing B 및 Frame B 의 옆면에서도 접촉이 있으며, Bearing C 와 Frame A 또한 옆면이 접촉상태에 있다.

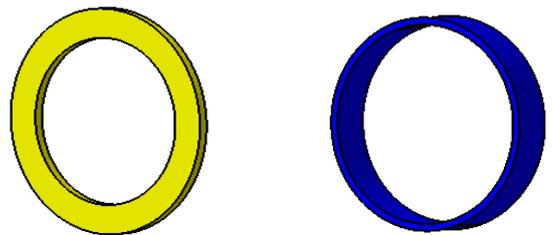


Fig. 2 3D Model for Cover(left) and Bearing A(right)

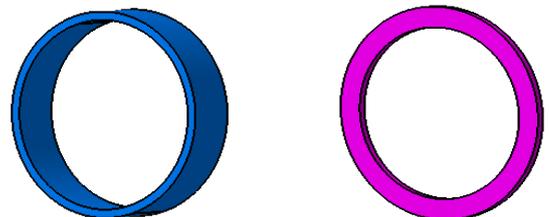


Fig. 3 3D Model for Bearing B(left) and Bearing C(right)

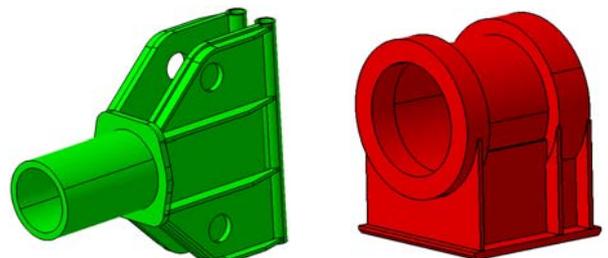


Fig. 4 3D Model for Frame A(left) and Frame B(right)

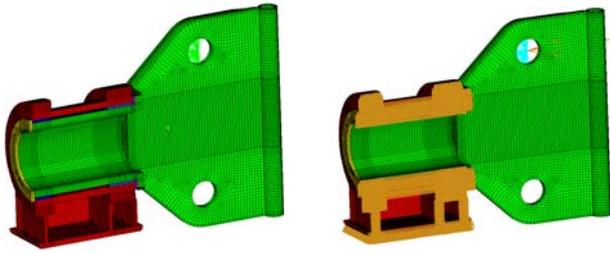


Fig. 5 FE mesh generation and Application of boundary condition

Table 1. Material properties of Winchi

Material	Young's Modulus (MPa)	Poisson's ratio	Yield Strength (MPa)	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Part
SM490A	206,000	0.29	490	7800	FrameA,B
SS400	205,000	0.25	290	7800	Cover
TXM	3,200	0.25	280(Nomal) 90(Parallel)	1300	Bearing A, B, C

4. 유한요소 모델링 및 경계조건 적용

Fig. 5 는 윈치의 유한요소 모델과 경계조건이 적용된 것을 나타낸다.

유한요소는 모든 Part 에 동일하게 Solid Element 를 사용하였으며, 사용된 종류는 Contact 해석에 적합한 3 차원 8 절점, First order 인 C3D8 을 사용하였다.

모델이 좌우 대칭이기 때문에 1/2 만 사용하여 해석을 수행하였으며, 이에 따라 Frame B 의 아래 부분은 모든 변위를 구속하였으나 1/2 로 나누어진 부분에는 대칭조건을 적용하였다. 윈치가 실제 운영되는 동안 로프를 통해 가장 큰 하중인 220ton 이 작용 할 때를 가정하여 해석을 수행하였으며, 위치는 Frame A 의 구멍(Hole) 부분으로 도르래의 원리에 의해 작용 하중의 2 배를 적용하였다. 하중 적용 부위에는 다수의 Node 를 하나의 Control point 에 연결하여 모든 Node 에 동일한 하중이 적용되도록 하였다.

모든 접촉 부위에 Contact 조건을 적용하여 해석을 수행 할 경우, 긴 해석 시간과 많은 접촉 부위로 인한 해석 수렴의 어려움으로 인하여 결합 부위에는 Tie 조건을 적용하여 해석을 수행하였다.

해석에 사용 된 재료는 세 가지로 Table 1 에 관련 정보를 나타내었다.

5. 유한요소 해석 결과

유한요소 해석 결과 및 각 부품에 대한 최대응력을 Fig. 6 과 Table 2 에 나타내었다. 모든 경우에 있어 최대 응력은 재료의 항복응력을 초과하지 않으므로 안전한 것으로 판단된다. 특히 강성이 크지 않는 베어링의 경우 Contact 응력을 살펴 보면, Bearing A, B, C 가 각각 8.0MPa, 4.1MPa, 160MPa 로써 재료가 적층에 수직 방향 즉 압축 응력에 충분히 견딜 수 있는 것으로 보인다.

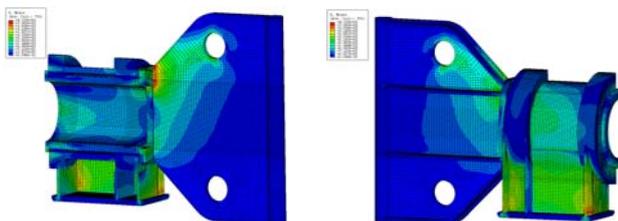


Fig. 6 The result of analysis

Table 2. The max stress for each part(Von-Mises)

Cover (MPa)	Bearing A(MPa)	Bearing B(MPa)	Bearing C(MPa)	Frame A(MPa)	Frame B(MPa)
209	28	13	127	433	405

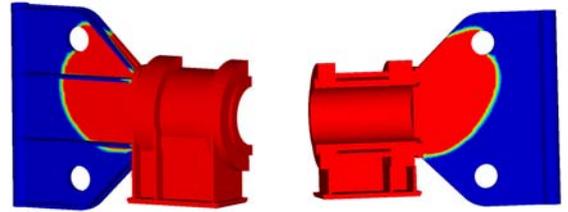


Fig. 7 The result of optimal design

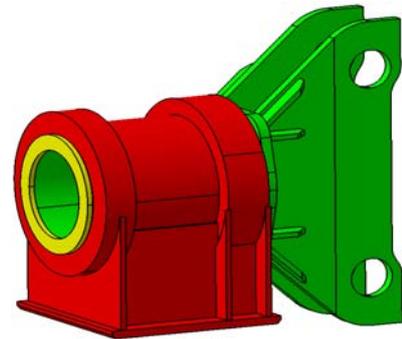


Fig. 8 Optimum shape of Winchi remodeled

6. 위상 최적설계 수행

Fig. 7 은 위상최적설계의 결과를 나타낸다. 빨간색으로 표시된 부분이 비설계영역으로 지정되어 형상 변화가 불가능한 부분이고, 파란색으로 표시된 부분이 설계영역으로 지정되어 형상 변화가 가능 한 부분이다. 이를 바탕으로 하여 리모델링 한 것을 Fig.8 에 나타내었다. 최적형상의 구조해석 결과 최대응력이 항복응력에 가깝게 나타나 지속적인 사용 시 국부적인 항복의 우려가 있다. 따라서 보강을 하여 다시 해석을 수행 한 결과 400MPa 로 재료의 항복응력이 490MPa 보다 낮은 값을 가져 구조적으로 안전한 것으로 판단된다.

7. 결론

위치의 초기형상에 대한 구조해석 결과 구조적으로 안전한 것으로 판단된다. 위상최적화를 통한 최적설계를 수행하고 그 결과를 바탕으로 리모델링 최적형상에 대한 구조해석 결과 국부적으로 높은 응력이 값이 발생하는 부위에 약간의 보강을 할 경우 구조적으로 안전한 것으로 나타났다. 이렇게 수행된 최적설계로 인해 도출 된 최적형상은 약 20%의 무게 절감 효과를 볼 수 있다.

후기

본 연구는 2 단계 지역대학 육성사업(BK21)과, 첨단기계사업단(NURI)의 지원에 의해서 연구되었다.

참고문헌

1. Choi C. G., 2002, "Finite Element Method", pp 1-3, pp 4-8
2. Chon M. S., Lee H. I., 2002, "From Continuum Mechanics to Finite Element Method", pp. 282-378.
3. Kikuchi, 1999, "Finite Element Method and Optimum Structural Design CAE", pp. 299-317
4. ABAQUS Korea, Inc., 2005, "Getting Started with ABAQUS", pp. 8.1 - 8.8