

# 트윈 리프트용 신축 스프레다 유니트의 구조해석에 관한 연구

이상훈<sup>†</sup> · 정일중\* · 김동은\* · 이석순\*\* · 신상운\*\*\* · 한국남\*\*\*\* · 김민규\*\*\*\*

## A study on Structure Analysis about Twin Lift Telescopic Spreader

Sang-Hoon Lee, Il-Jung Jeong, Dong-Eun Kim, Seok-Soon Lee, Shang-Woon Shin,  
Goog-Nam Han and Min-gyu Kim

**Key Words:** Structural Analysis(강도해석), Spreader(스프레다), Finite Element Method(유한요소법), Small Deformation(작은 변형), Contact State(접촉상태)

### Abstract

This Study is a structure analysis about twin lift telescopic Spreader that usually loading and unloading a container in harbor. Applied load is assumed by lifting 65tons that is the maximum weight of real container. The finite element analysis for 3D model is performed by ABAQUS/Standard. We made an estimate of safety by evaluating the results of the finite element analysis.

### 1. 서 론

우리나라는 국내 수출입화물의 90%를 해상수송수단인 선박에 의존하고 있다. 따라서 항만 수송의 효율성을 추구하고 동시에 신속한 컨테이너의 수송과 하역에 대한 자동화 요구는 끊임없이 증가하고 있다. 보다 효율적인 운송작업을 위하여 고안된 트윈 스프레다는 20ft, 40ft 및 Double 20ft 컨테이너를 모두 수송 및 하역할 수 있도록 개발 되었다.

일반적으로 컨테이너의 최대중량은 65Ton, 트윈 스프레다의 자중은 13.2Ton이다. 스프레다와 관련한 각종 운영 설비는 염분과 습기 등 열악한 해양 환경에 항시 노출 되어 있다. 이에 트윈 스프레다의 수송 및 하역 작업 시 안전이 우려됨에

따라 향후 지속적인 화물의 증가 추세에 대비한 구조적 안전에 관한 관심이 증가 하고 있다.

본 연구에서는 트윈 스프레다의 운행 시 운반되는 20ft, 40ft, 및 Double 20ft 크기의 컨테이너에 의해 구조물이 받을 수 있는 하중을 고려한 안전성을 검토한다. 이 중에서 가장 큰 하중이 가해 질 것으로 생각되는 40ft 컨테이너 운반 시에 록(Lock), 빔(Beam), 고정 판(Fixed frame)에 대하여 해석을 수행하였으며 해석 결과로부터 응력과 변형 등을 파악하여 추후 항만 사고에 대비, 피로수명 및 최적설계에 대한 연구의 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

### 2. 기본 이론

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.

---

† 경상대학교 대학원 기계공학과  
E-mail : manbal-1501@nate.com  
TEL : (055)758-4719 FAX : (02)123-1234  
\* 경상대학교 기계공학과 대학원  
\*\* 경상대학교 공과대학 기계항공공학부  
\*\*\* 양산대학 전기전자기계과  
\*\*\*\* OPTYSIS

---

유한요소법의 장점으로는 불규칙적으로 생긴 물체도 쉽게 모델링 할 수 있고 여러 가지 종류의 하중조건을 쉽게 다룰 수 있을 뿐 만 아니라 경계조건의 종류, 개수에 제한이 없다. 또한 각각의 요소에 대하여 서로 다른 방정식으로 문제를 풀기 때문에 다른 물질로 구성된 물체를 모델링하기 편하다. 그리고 선형 및 대 변형을 수반하는 비선형 물체의 비선형 거동도 다룰 수가 있고, 동역학적 효과도 포함 할 수 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 뿐만 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.

### 3. 전처리 과정(Pre-Processing)

#### 3.1 3D 형상 모델링

트윈 스프레다 전체 형상 및 해석을 수행 할 부품의 3차원 형상을 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4에 각각 나타내었으며, 상용 소프트웨어인 CATIA V5에서 Modeling을 하였다.

Fig. 2의 Lock은 트윈 스프레다의 중앙 및 양 모서리에 위치하고 있으며 컨테이너의 모서리 Hole에 삽입된 직후 회전하여 컨테이너를 들어 올리는 역할을 한다. 그림의 평평한 면이 축방향으로 하중을 지지한다. ISO에 맞게 설계, 제작된 40ft 컨테이너의 경우 모두 4개의 Lock이 있으며 트윈 스프레다의 하중을 가장 많이 받는 부위 중 하나이다.

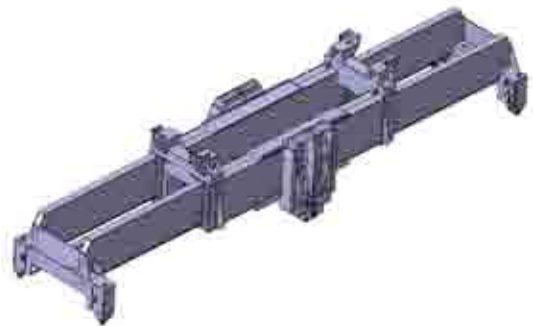


Fig. 1 3D modeling of twin spreader

Fig. 3의 Beam은 40ft 컨테이너 수송 시 체인 동력에 의하여 중심에서 좌우로 늘어나는 부위이며, 전체 길이의 2/3만큼 Main frame에서 좌우로 빠져나오게 된다. Lock에 컨테이너가 체결되어 들어 올려지게 되면 Beam은 굽힘(Bending)으로 인해 전단력 및 굽힘모멘트를 받게 된다. 이러한 하중에 대한 안전을 고려하여 Beam의 길이 방향으로 보강재가 용접되어 있으며 트윈 스프레다의 크랙(Crack) 발생이 가장 잦은 부위이다.

트윈 스프레다는 하역 크레인에 의하여 컨테이너를 운반하고 이 크레인의 와이어는 Fig. 4의 Fixed Frame의 중심 슬롯(slot)에 체결된다. 트윈 스프레다에는 모두 4곳의 Fixed frame이 있으며 스프레다의 자중 및 컨테이너 전체 하중을 받는 곳으로 컨테이너 운반 시에 Main frame과 Fixed frame이 연결 된 부위에서 가장 많은 하중이 전달 될 것으로 보인다.

유한요소 생성 과정에서 요소들의 Quality를 높이기 위해 해석 결과에 큰 영향을 주지 않을 것으로 보이는 작은 Fillet, Chamfer등은 제거하였다.

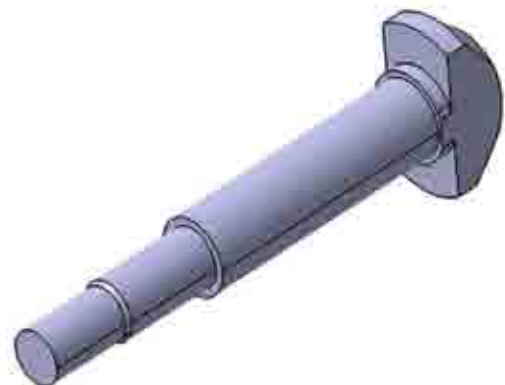


Fig. 2 3D modeling of lock

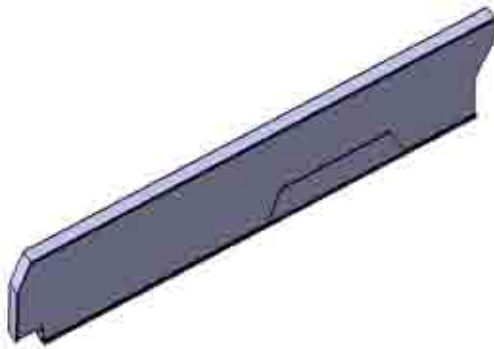


Fig. 3 3D modeling of beam



Fig. 5 FE modeling of lock

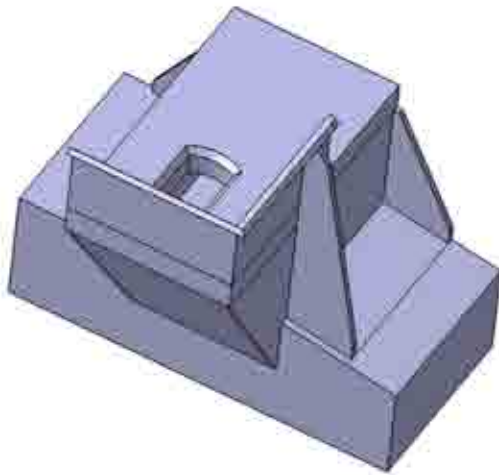


Fig. 4 3D modeling of fixed frame

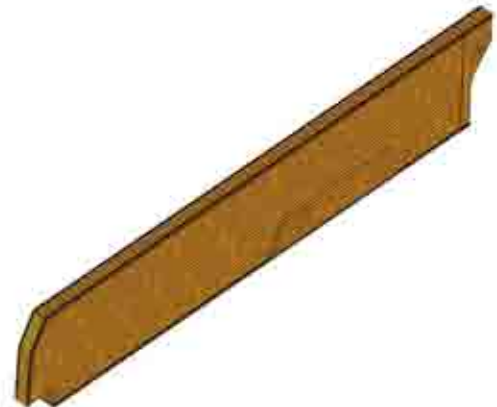


Fig. 6 FE modeling of beam

### 3.2 유한요소 형상 모델링

상용 소프트웨어인 Altair사의 HyperMesh에서 생성한 유한요소 형상을 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7에 각각 나타내었다.

유한요소 형상은 Solid Element를 사용하였으며, 요소 생성에 사용된 종류는 3차원 8결점의 C3D8I를 사용하였다. C3D8I는 ABAQUS에서 사용하는 Displacement/Stress의 해석에 사용하는 요소 종류이다. 각 부품에 생성한 요소와 결점의 개수를 Table 1에 나타내었다.

컨테이너 운반 시 하중이 많이 전달 될 것으로 예상되는 부분에는 보다 정확한 해석 수행을 위하여 면을 작게 나누어서 요소를 생성하여 Quality를 높였다. 각 부품에 사용된 재질은 모두 고장력 강관인 POSTEN80으로 동일하며 이에 대한 재료 물성치는 Table 2에 나타내었다.

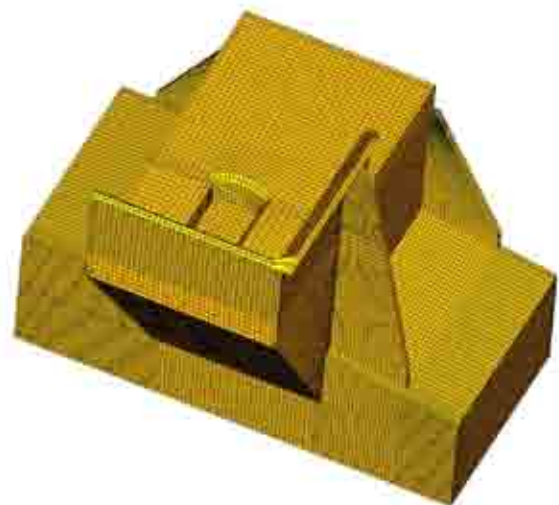


Fig. 7 FE modeling of fixed frame

**Table 1** The number of element and node to lock, beam, fixed frame

	Element	Node
Lock	40,848	43,693
Beam	31,851	46,883
Fixed frame	67,493	98,910

**Table 2** Material properties

Divisions	Young's modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Poisson's ratio
POSTEN80	213	686	0.3

### 3.3 하중조건 및 구속조건

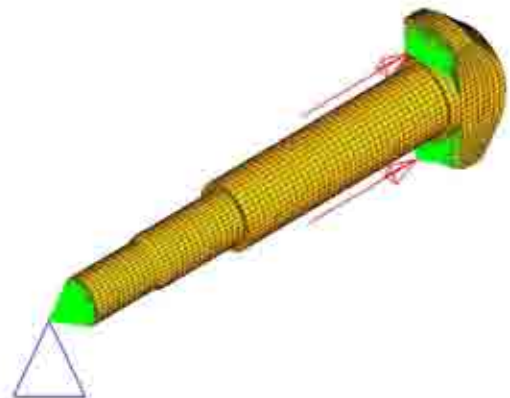
Lock, Beam, Fixed frame에 각각 적용된 하중은 Table 3에 나타내었고, 구조해석을 위해 적용된 하중 조건 및 구속조건은 Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10에 각각 나타내었다. 하중은 각 부품이 체결되는 부위에 적용 되었으며, 40ft 컨테이너의 질량이 65ton이므로 전체 하중의 1/4을 적용하여 해석을 수행하였다. Lock의 경우는 전체 받는 하중이 65ton의 1/4이므로 하중을 받는 면 각각에 1/8을 적용하였다. 하중이 가해지는 면의 모든 절점을 하나의 절점에 Rigid로 연결하여 하중이 고르게 전달되도록 하였다. 트윈 스프레다의 크기에 비해 작은 부분을 해석하기 때문에 전체 자중에 비해 극히 작은 각 단품의 자중은 고려하지 않았다.

구속조건이 적용되는 부위에는 극한의 조건을 가정하기 위하여 X, Y, Z 방향으로의 변위 및 회전을 고정, 움직임이 없게 하였으며 원래 형상에서 해석을 위해 단순화 시킨 단면에 적용하였다.

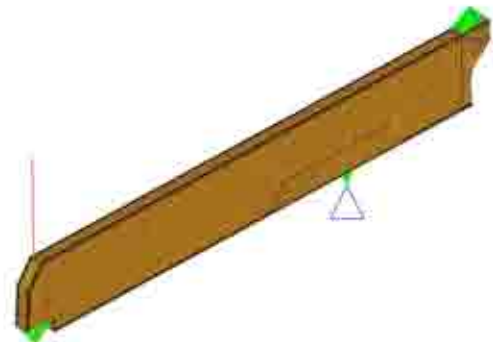
Beam은 컨테이너 장착전의 경우 Beam의 하단과 가이드 사이에 간격이 존재하여 하중에는 구속조건이 없는 상태이다. 하역을 위하여 40ft 컨테이너를 장착하는 순간 Beam 상측 끝단에 설치된 볼러 및 하측 보강부위가 가이드와 직접 접촉하게 된다. 이와 같은 접촉 상태에서 응력 분포를 알아보기자 접촉 부위의 X, Y, Z 방향의 변위 및 회전을 고정시켜 움직임이 없게 하였다.

**Table 3** The value of force applied to lock, beam, fixed frame

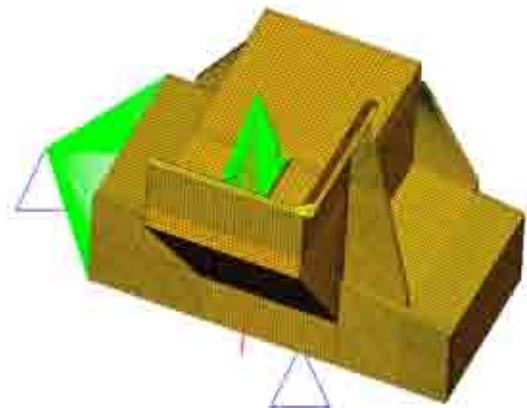
	Lock	Beam	Fixed frame
Force (N)	159,412.5	159,412.5	159,412.5



**Fig. 8** FE modeling of beam



**Fig. 9** FE modeling of beam



**Fig. 10** FE modeling of fixed frame

#### 4. 유한요소 해석 결과

각 부품에 대한 해석 결과, 최대응력은 각 부품이 다른 부품과 체결되어 하중을 직접 전달 받거나 구조적으로 취약한 부분의 강도를 높이기 위해 보강한 부위에서 발생 하였다.

Lock의 경우 컨테이너에 체결되는 목부위에서 발생 하였고, Beam은 컨테이너 하역 시 Beam의 이동을 안내하고 큰 처짐을 막는 Center body와 접촉하는 부위에서 발생하였다. 다수의 보강재가 용접되어 있는 Fixed frame의 경우는 Main frame과 결합되는 부분에서 최대응력이 발생하였다.

해석결과를 살펴보면 각 부품의 최대응력은 재료의 항복 강도를 넘지 않는 탄성한도 영역 내에서 응력 분포를 가졌다.

Fig. 11과 Fig. 12는 각각 Lock, Beam의 응력 분포를 나타낸다. 각각의 최대응력 값은 433MPa, 344MPa로 나타났고 이 값들은 재료의 항복강도인 686MPa보다 낮은 값이다.

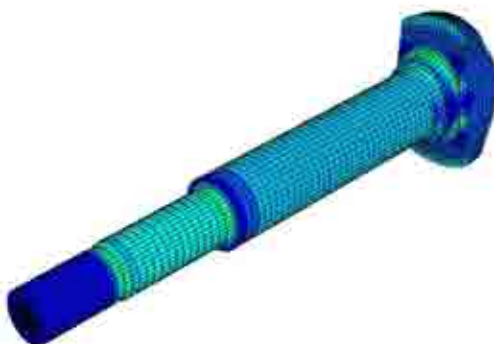
Fig. 13은 Fixed frame의 응력 분포를 나타낸다. 최대응력은 385MPa로 나타났으며, 이 값 또한 재료의 항복 강도인 686MPa 보다 낮은 값이었다.

각각의 변위는 0.17mm, 14.72mm, 0.37mm로 전체 크기에 비해 큰 변위를 가지지는 않는다.

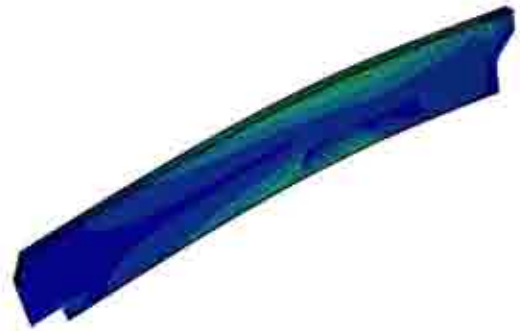
Table 4에 각 부품에 대한 최대응력 값을 나타내었다.

**Table 4** The value of max stress to lock, beam, fixed frame

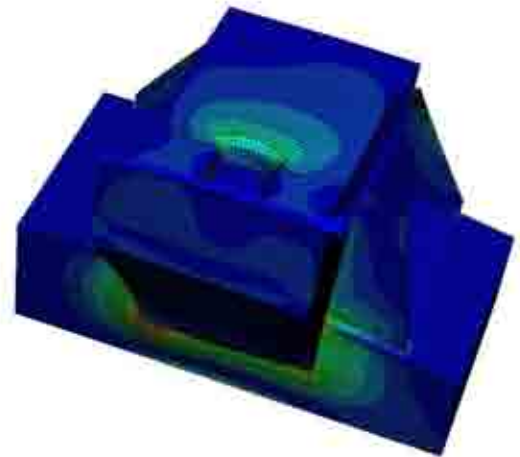
Lock	Beam	Fixed frame
Max stress(MPa)	Max stress(MPa)	Max stress(MPa)
433	344	385



**Fig. 11** Result of analysis to lock



**Fig. 12** Result of analysis to beam



**Fig. 13** Result of analysis to fixed frame

#### 5. 결론

트윈 스프레다의 Lock, Beam, Fixed frame의 해석 결과를 검토해 보면 각 부품 모두 재료의 항복강도를 넘지 않아 구조적으로 안전하다고 판단된다. 하지만 Lock의 경우가 비교적 높은 응력이 발생하였는데 이는 컨테이너 체결 시 Lock의 평평한 면에서 모든 하중을 지지하게 되어 다수의 보강재 또는 부품이 하중을 분산 하는 다른 것에 비해 높게 나타난 것으로 보인다. 따라서 반복적인 작업에서 오는 피로하중까지 고려한다면 다소의 위험이 있을 것으로 보이기 때문에 정기적인 점검을 통하여 부품의 교체가 필요 할 것이다.

Beam과 Center body의 가이드 사이와의 거리는 25mm이다. 접촉 상태를 고려하지 않은 해석 수행 시 변위가 25mm 이상이었다. 이 때의 처짐을 Center body가 지지 함으로 하중을 분산 시켜 전체적으로 처짐을 줄일 수 있었다. 여기에 더하여

Beam의 내면 구조물의 최적설계를 통하여 구조 강도를 개선 할 수 있을 것이다.

실제 Fixed frame은 다른 부품에 비해 용접 부위가 많아 재료의 국부적인 열변형도 고려해야 할 것으로 보인다. 즉 전체적인 안정성이 검토되었다면 가장 큰 응력이 발생 한 부위에 적용된 용접에 관한 데이터를 이용하여 열전달 및 열변형을 고려한 해석이 병행 된다면 안전성의 측면에서 보다 확실한 해석 결과를 알 수 있을 것이다.

해석을 수행 한 각 부품들은 트윈 리프트가 특별히 순간적인 큰 외력을 받지 않는다면 정상적으로 운행이 가능 할 만큼 충분한 안전성을 가진다고 판단된다. 피로해석을 통해 트윈 스프레다의 운전 수명을 예측하면 보다 안전한 운행이 가능 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 2단계 지역대학육성사업(BK21)과, 첨단기계사업단(NURI)의 지원에 의해서 연구되었다. 아낌없이 지원해주신 것에 대해서 감사드린다.

## 참고문헌

- (1) Choi C. G., 2002, "Finite Element Method", pp 1~3, pp 4~8
- (2) Daryl L. Logan, 1998, "The first step of Finite Element Method", pp. 21 ~ 24.
- (3) Chon M. S., Lee H. I., 2002, "From Continuum Mechanics to Finite Element Method", pp. 282~378.
- (4) Altair Engineering, 2005, "HyperMesh 7.0 Tutorials", pp. 29 ~ 73., pp. 91 ~ 309., pp. 419 ~ 467.
- (5) Altair Engineering, 2005, "Morphing Advanced", pp. 3 ~ 35
- (6) ABAQUS Korea, Inc., 2005, "Getting Started with ABAQUS", pp. 8-1 ~ 8-8.