

# 선박 블록의 반전 및 이동시 변형예측을 위한 구조해석 시스템의 개발

한정삼\* · 이원재\* · 추연석\*\* · 유용균\*\* · 곽병만\*\*\*

## Development of Structural Analysis System for a Ship Block under Lifting and Turnover Operation

Jeong Sam Han, Won Jae Lee, Yeon Seok Choo, Young Kyoon You and Byung Man Kwak

**Key Words :** Ship block (선박 블록), FEM (유한요소법), Structural deformation (구조 변형), Lifting and turnover (이동 및 반전), Pro/ENGINEER (프로엔지니어)

### Abstract

This paper introduces DS/Block-Structure – a structural analysis module of DS/Block, which is a Design System to simulate the behavior of a ship block in various crane operations and to evaluate its structural deformation using the finite element method. It runs based on a CAD program, Pro/ENGINEER, and structural analyses are performed by a developed FE code. Boundary conditions for the FE analysis of a ship block under lifting and turnover operation are also considered.

### 기호설명

DS/Block : Design System for a ship Block

### 1. 서론

선체 제작 과정에서 중간 단계의 조립과 의장재 탑재를 부분적으로 마친 블록을 운반하거나 반전시키는 동안 블록은 자중으로 인해 변형하게 된다. 이때, 블록의 구조해석을 통하여 블록 구조의 변형 및 응력을 예측하여 보강재 사용 여부를 판별할 수 있도록 하여 지나친 구조 변형을 방지하는 것이 공수절감 및 안전사고 예방 차원에서 필요하다. 또한 이러한 구조해석이 와이어 장력 및 러그 반력 해석과 함께 하나의 통합된 환경 하에서 일관되게 실행될 수 있으면 사용자의 편의성을 높이고, 기존의 경험에 의존하던 작업으로 인한 단점을 보완할 수 있을 것이다<sup>(1)</sup>.

DS/Block 은 장력 및 반력 해석과 블록의 구조

해석이 Pro/ENGINEER 상에서 이루어지도록 개발된 프로그램이다. 본 논문에서는 DS/Block 의 구조해석 부분인 DS/Block-Structure 의 구성과 블록의 이동 및 반전의 구조해석에 적합한 경계조건에 대하여 설명하고자 한다.

### 2. DS/Block

#### 2.1 DS/Block 의 구성

Fig.1 과 같이 DS/Block 은 DS/Block-Motion<sup>(2)</sup>과 DS/Block-Structure 로 구성된다.

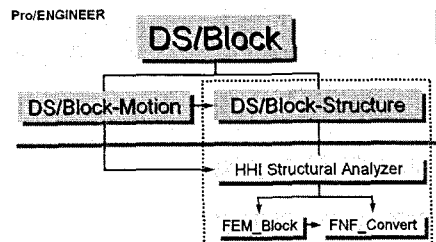


Fig. 1 DS/Block

DS/Block-Motion 에서는 블록의 이동 및 반전의 경우에 대하여 와이어 장력, 러그 반력, 블록 위치,

\* 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

\*\* 한국과학기술원 기계공학과 석사과정

\*\*\* 한국과학기술원 기계공학과 교수

각 러그점에서의 와이어 방향 및 블록에 대한 상대적인 중력성분 등을 계산한다. 이 결과를 이용하여 DS/Block-Structure 에서는 작업 시나리오에 해당하는 블록의 구조해석을 수행한다.

## 2.2 DS/Block 의 기본 가정

DS/Block 을 통한 해석시 다음과 같은 기본 가정을 한다.

- 블록에 연결된 와이어는 늘어나지 않는다.
- Motion 에서 해석시에는 블록을 강체로 가정하고, Structure 에서는 블록이 탄성적으로 변형한다고 가정한다.

## 2.3 구조해석 모델링

### 2.3.1 하중조건

블록이 이동 및 반전되는 동안 블록에서 발생하는 변형은 블록의 자중에 기인한다. 블록이 이동 및 반전할 때, 모델링은 블록을 움직이는 것이 아니라 블록은 절대좌표계에서 일정한 위치에 고정되어 있다고 가정하고, 블록의 움직임에 상응하도록 중력의 방향을 변환한다. 이때, 중력성분은 Fig.2 와 같이 DS/Block-Motion 의 결과로 출력된다.

```

|-----|
| PART II - STEP INFORMATION |
|-----|
step 1
|rotation angle (deg)  xr= 1.14  yr= -0.00  zr= -0.00
|translation (mm)    xt= 0.30  yt= -4975.41  zt= 656.07
|gravity(mm/s^2)
|x,y,z components (inf format)
|magnitude and direction cosine (nas format)
|-----|
-0.649 9808.068 -194.697
9810.0 0.00007 -0.99980 0.01985

```

Fig. 2 Gravity information from DS/Block-Motion

### 2.3.2 경계조건

블록의 이동 및 반전의 구조해석시 다음과 같은 경계조건을 고려할 수 있다.

#### (1) 트러스 요소 이용

와이어를 트러스 요소로 모델링하는 방법으로 리프팅의 경우는 실제 상황과 유사하지만, 블록이 지면과 평행하지 않은 경우는 강제운동이 발생한다.

#### (2) 와이어 장력 이용

와이어를 트러스 요소로 모델링하지 않고 러그 위치에 와이어 장력을 하중으로 입력하여 모델링하는 방법이다. 또한 중력을 입력함으로써 블록의 자중 효과도 함께 고려한다. 물리적으로는 이 두 힘이 같게 되면 평형을 이루지만 FEM 에서는 이 경우에 강제운동이 발생할 수 있다. 따라서, 강제운동을 제거하기 위해 적절한 절점을 구속해야 하는데, 구속할 절점을 결정하기가 어렵다.

#### (3) 러그점 병진자유도 구속

모든 러그 위치의 절점에서 병진자유도를 모두

구속시킨다. 블록은 대부분 쉘 요소로 모델링되므로, 병진자유도만 구속하고 회전방향 변위는 허용한다. 러그 위치에서 모든 병진자유도가 구속될 경우, 러그 사이의 상대 변형이 구속되어 실제와 변형 양상이 차이가 날 수 있으나 위의 방법 (1), (2)에서 발생할 수 있는 수치적 오류는 방지할 수 있다.

#### (4) 와이어 방향의 병진자유도 구속

메인 러그 위치에서는 절점의 병진자유도를 모두 구속하고, 이외의 러그 위치에서는 와이어 방향으로만 병진자유도를 구속한다. Fig.3 처럼 메인 러그 이외에서는 와이어 방향을 한 축으로 하는 국부좌표계를 정의하여 그 방향으로의 변위를 구속한다. 이것은 블록에 연결된 와이어는 늘어나지 않는다는 가정을 이용한 것이다. 아래 그림의 와이어 방향으로 러그 절점은 구속된다.

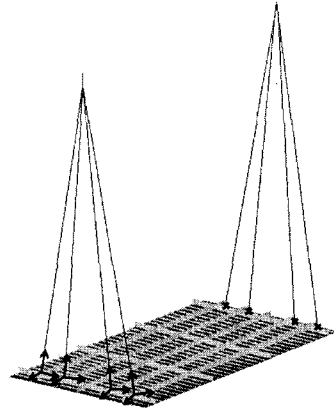


Fig. 3 Modeling of boundary condition

### 2.3.3 격자 생성

FE 격자는 Pro/ENGINEER 에서 제공하는 FEM 모듈을 이용한다 (Fig.4 참조).

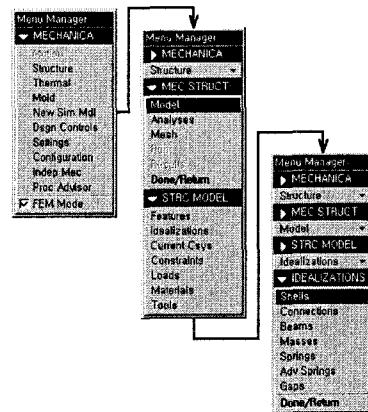


Fig. 4 FE mesh menu

선체 블록의 모델은 여러 파트(part) 모델이 조립(assembly)된 상태이며, 각 파트 모델에 셀 요소를 위한 상호면(pairing)을 지정하며 자동적으로 조립 모델의 격자를 생성할 수 있다.

### 3. DS/Block-Structure

#### 3.1 DS/Block-Structure 의 구성

DS/Block-Structure 는 Pro/ENGINEER 의 FEM 부분을 기본으로 한다. 따라서 Pro/ENGINEER 상에서 구조해석에 필요한 하중조건 및 경계조건을 모델링하고 격자를 생성한다. FEM\_Block 이 구조해석을 수행하고, 그 해석 결과는 FNF\_Convert 를 통해 변환되어 Pro/ENGINEER 상에서 구조해석 결과를 확인한다. Pro/ENGINEER 상에서 작업 환경은 Fig.5 와 같다.

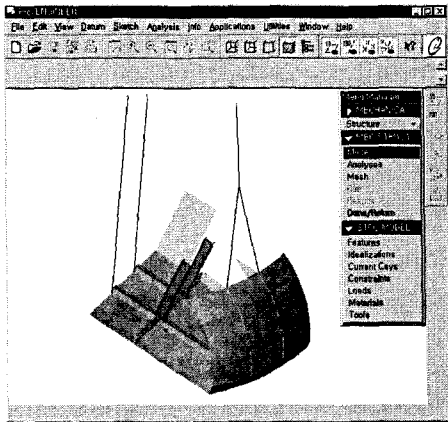


Fig. 5 DS/Block-Structure

#### 3.1.1 HHI Structural Analyzer

기본적으로 DS/Block 에서는 블록 반전의 과정을 여러 단계로 나누어서 해석하기 때문에 각각의 단계에 대하여 구조해석을 수행할 경우, 비슷한 FE 모델링을 반복해야 하는 불편함이 있다. 따라서, 구조해석시 사용자의 편의를 위하여 블록 반전의 초기 상태만을 모델링한 후, 입력 파일을 변경하는 방법을 통하여 다른 단계의 반전도 구조해석을 쉽게 할 수 있도록 HHI Structural Analyzer 라는 프로그램을 추가하였다.

Table 1 Modification part

NASTRAN	Coordinate	CORD2R
	Gravity	GRAV
FNF	Coordinate	%COORD_SYS #
	Constraint	%CON_CASE # DEF
	Gravity	%LOAD # VAL

HSA 에서는 DS/Block-Motion 의 결과를 읽은 후, 해석하고자 하는 반전 단계를 결정하면 이 단계에 맞게 FEM\_Block 의 입력을 자동적으로 수정한다. 또한 'Modify'에서는 사용자가 해석하고자 하는 상황에 맞게 정보를 수정할 수 있다.

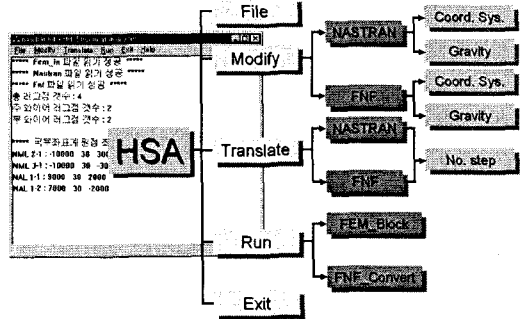


Fig. 6 HSA Structure

반전 단계에 따라 변경되는 정보는 Table 1 에 정리된 국부좌표계 부분과 중력성분에 해당된다.

#### 3.1.2 FEM\_Block

FEM\_Block 은 DS/Block 에 포함된 선체 구조해석을 위한 선형 유한요소해석 프로그램이며, 구체적인 내용은 다음과 같다.

- NASTRAN 입력문 형태의 입력
- 스카이라인(skyline) 행렬 저장 방식
- 대형 문제를 위한 아웃코어(out core) 해법
- 절점 번호 재 부여 알고리즘 구현
- ROD, BAR, TRIA3 and QUAD4 요소 탑재
- 선형 제한 조건 처리 가능
- 국부좌표계 정의 가능
- 집중, 분포 및 자중 하중 처리 가능
- NASTRAN 과 ANSYS 의 결과와 잘 일치

#### 3.1.3 FNF\_Convert

이 프로그램은 FEM\_Block 에서 해석한 결과를 Pro/ENGINEER 에서 확인할 수 있도록 FEM\_Block 의 구조해석 결과를 FNF(FEM Neutral Format) 형식으로 변환하는데 이용된다. 변위, 응력 및 변형률의 결과를 처리할 수 있다.

### 4. 적용 예제

#### 4.1 Simple deck problem

##### 4.1.1 개요

이 블록은 긴 주판에 가로 및 세로의 부재가 용접이 되어 있는 모델로 구체적인 사양은 다음과 같다.

- 크기 : 23.5×13.2 m<sup>2</sup>

- 두께 : 5.5 mm
- 무게 : 17.56 tons

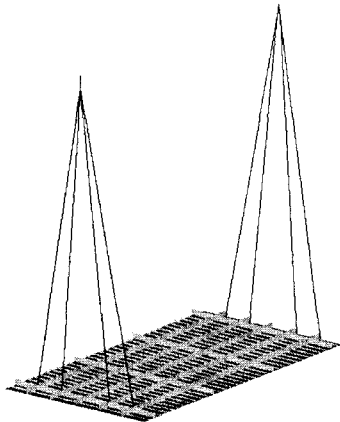


Fig. 7 Simple deck problem

#### 4.1.2 결과

아래 그림은 이동과 14° 반전에서에서의 변위 및 등가응력을 보여준다.

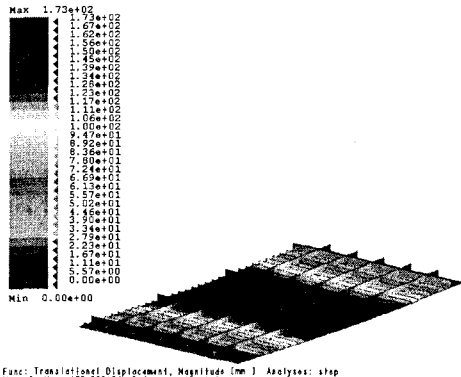


Fig. 8 Displacement (lifting)

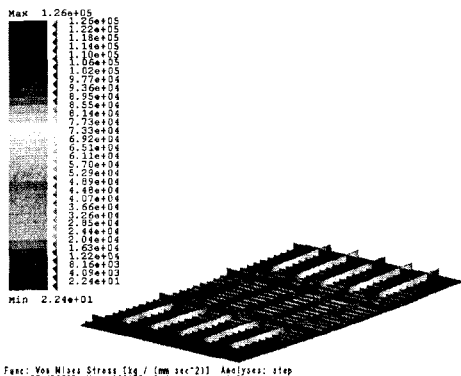


Fig. 9 von Mises stress (lifting)

블록의 왼쪽에 있는 크레인의 와이어를 늘리는

방법으로 반전이 수행되며, 블록은 길이가 길기 때문에 중앙 부위에서 변형 문제가 발생한다.

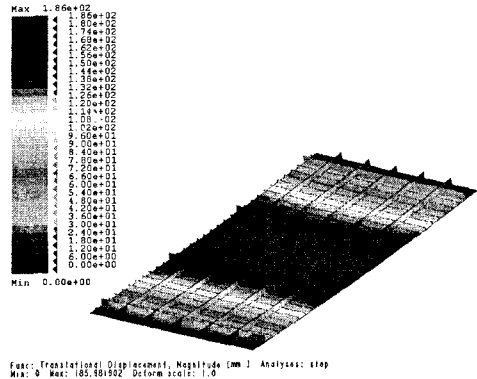


Fig. 10 Displacement (14° turnover)

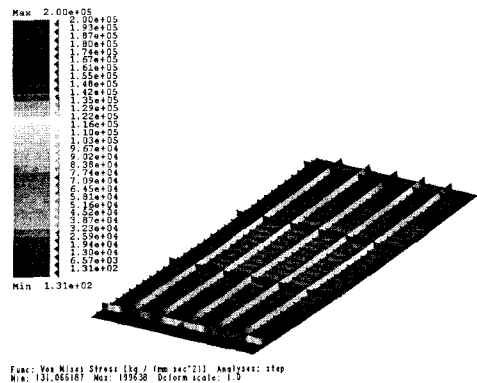


Fig. 11 von Mises stress (14° turnover)

블록의 단순 이동시 변위는 블록의 중앙 부위에서 173 mm 이고, 반전 상태에서는 186 mm 이다. 최대 등가응력은 이동시에는 126 MPa 이고, 14° 반전 상태에서는 200 MPa 이다. 블록이 반전하면서 아래로 내려간 러그 부근에서 큰 응력이 발생함을 알 수 있다.

## 4.2 Engine block problem

### 4.2.1 개요

이 블록은 엔진이 탑재되는 부분의 블록을 곡면이 조립되어 있다. Fig.10 은 초기 리프팅 상태이며 곡면 부분의 질량의 영향으로 인해 약 25° 기울어져 있음을 알 수 있다. 이 모델의 구체적인 사양은 다음과 같다.

- 크기 : 16×18×10 m<sup>2</sup>
- 무게 : 221.26 tons

### 4.2.2 결과

리프팅시 변위는 뒷 부분의 수직 평판 부위에서 563 mm 이고, 최대 등가응력은 수직 평판과 아랫 평판이 연결되는 부위로 그 값은 144 MPa 이다

(Fig.13 및 14 참조).

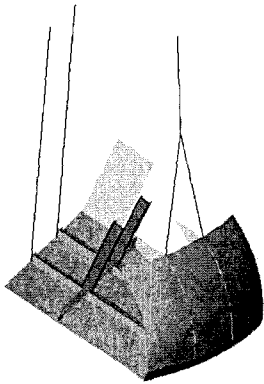


Fig. 12 Engine block problem

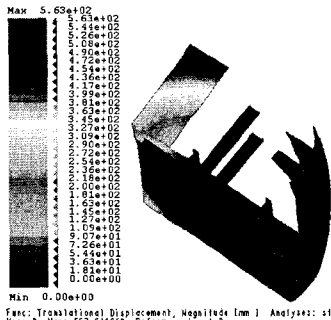


Fig. 13 Displacement (lifting : 25° tilt)

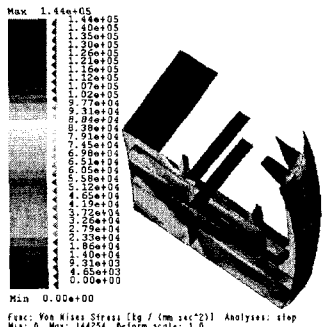


Fig. 14 von Mises stress (lifting : 25° tilt)

Fig.15 와 16 은 각각 블록이 40° 정도 반전되었을 때의 변위와 등가응력 분포이다. 최대 변위는 수직 평판에서 133 mm 이고, 최대 등가응력은 리프팅의 경우보다 수직 평판 부위로 넓게 분포되었으며 그 값은 110 MPa 이다.

## 5. 결론

DS/Block-Motion 의 결과 중, 중력성분과 와이어 방향의 정보를 이용하여 선박 블록의 이동 및 반전에 대하여 Pro/ENGINEER 에서 구조해석을 수행

할 수 있는 DS/Block-Structure 가 개발되었다. 상용 유한요소 프로그램을 대체할 수 있는 고성능 유한요소 프로그램을 개발하였으며, 또한 선박 블록의 구조해석시 와이어 방향으로 국부좌표계를 정의하여 적절히 러그 절점을 구속하는 경계조건을 제안하였다.

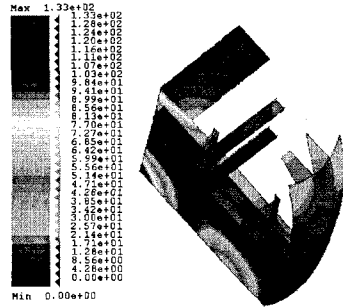


Fig. 15 Displacement (40° turnover)

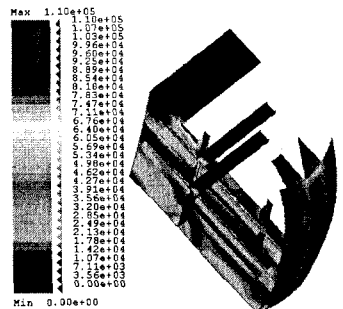


Fig. 16 von Mises stress (40° turnover)

## 후기

본 연구는 “블록의 반전 및 이동시 변형제어를 위한 최적설계 시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었으며, 현대중공업으로부터 지원을 받았음을 밝힙니다.

## 참고문헌

- (1) S.B.Lee, J.S.Han, B.M.Kwak and S.B.Shin, 2000, “Motion and structural analysis of a ship block under lifting and turnover operation,” Proceedings of the First International Conference on Mechanical Engineering, ICME 2000, Shanghai, China
- (2) 이수범, 신상범, 광병만, 2000, “선박 블록의 이동 및 반전 시뮬레이션 프로그램 개발,” 대한기계학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, pp. 714-719