

CAD 를 이용한 선박 블록의 이동 및 반전 시뮬레이터 DS/Block 의 개발

이수범* · 신상범** · 김정수*** · 곽병만****

DS/Block – a CAD-based software system for simulation of lifting and turnover of ship block

Soo Bum Lee, Sang Bum Shin, Jung Soo Kim and Byung Man Kwak

Key Words : Simulation(시뮬레이션), CAD(캐드), turnover(반전), ship block(선박 블록), Euler parameter(오일러 파라미터), Gram-Schmidt orthogonalization(그람-슈미츠 직교화)

Abstract

A comprehensive extension of functions and efficiency of the software system, DS/Block, developed earlier for the purpose of simulation of the motion of a ship block during lifting and turnover operation. A viewpoint change used in 3D-CAD is utilized and saves the time for displays of a series of configurations for the motion. The Euler parameters are adopted to convert 3 rotational degrees of freedom about global coordinate system to those about local coordinate system defined in Pro/ENGINEER. DS/Block provides FEM input data for stress and strain analyses. Several functions are incorporated for user-friendliness. DS/Block is to be tested and installed in a shipyard.

기호설명

X, Y, Z : axes of a global coordinate system
 x, y, z : axes of a local coordinate system
 e_i : Euler parameters
 A : transformation matrix

1. 서론

조선소에서 블록을 조립 및 용접이 용이한 위치에 놓기 위해서 러그에 와이어를 걸고 크레인을 이용하여 블록을 운반 또는 반전시키는 일련의 작업을 수행할 수 있는 시뮬레이터를 상용 CAD 프로그램인 Pro/ENGINEER 를 기반으로 구현하고, 이를 DS/Block(Design System/Block)으로 명명하였다.

DS/Block 은 실제 조선소에서 블록에 연결된 와

이어의 연결 상태가 복잡하여 이동 및 회전에 따른 하중의 변화 양상을 설계자가 계산하기 어려운 경우 이를 대신 수치적으로 정확하게 계산해 준다. 또한 블록의 반전 양상을 직접 화면에서 애니메이션 방식으로 검토할 수 있도록 하여 러그 배치 설계가 적합한지를 사용자가 판단할 수 있게 해준다. 본 논문에서는 DS/Block 의 초기 버전⁽¹⁾에 덧붙여 추가된 이론 및 수정 보완된 기능을 중점적으로 설명하고자 한다.

2. 적용 이론

2.1 Viewpoint 변경을 통한 반전 과정 구현

종래에 DS/Block 의 반전 과정 구현 방식은 어셈블리 모델을 구성하고 있는 각 파트의 트리 구조를 파악하여 이들 파트를 하나씩 일일이 좌표 변환하는 방식이었다. 이 경우 실제 현장에서 쓰이는 블록 어셈블리 모델이 매우 많은 수의 파트로 구성되어 있기 때문에 실제로 적용시키기가 쉽지 않다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 기존의

* 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

** 현대중공업 산업기술연구소

*** 현대중공업 기술개발부

**** 한국과학기술원 기계공학과 교수

방법을 모델을 바라보는 관점(Viewpoint)을 변경시키는 방법으로 변경하였다. 이렇게 하여 아무리 많은 파트로 어셈블리 모델도 무리 없이 반전 과정 구현이 가능하게 되었다. 단 이 방법을 이용하여 계산된 블록의 회전각을 적용할 경우 기존에 블록의 자세를 정의하기 위해 사용한 광역 좌표계(Global coordinate system)와 Pro/ENGINEER 에서 정의한 지역 좌표계(Local coordinate system)간에 방향의 차이가 생겨 실제 원하는 회전 양상과 다른 결과를 야기할 수 있는데 이를 오일러 파라미터를 이용하여 해결하였다.

2.1.1 오일러 파라미터

당초 블록의 회전각을 공간에 고정된 광역 좌표계에 대한 회전각 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 로 정의하였고 Pro/ENGINEER 에서의 회전 변환은 모델에 고정된 지역 좌표계를 사용하기 때문에, 계산된 블록의 회전각을 그대로 입력하여 Pro/ENGINEER 상에서 모델을 회전하면 틀린 결과를 보여준다. 예를 들어 모델을 광역 좌표계 X, Y 축을 중심으로 θ_x, θ_y 만큼 차례로 회전하는 경우, X축을 중심으로 θ_x 만큼 회전하게 되면 Fig. 1 과 같이 광역 Y 축과 모델에 고정된 y 축의 방향이 서로 달라지는데, Pro/ENGINEER 의 회전 변환은 지역 좌표계를 기준으로 하므로 각 θ_y 를 다음 회전각으로 입력하면 지역 좌표계 y 축을 중심으로 회전하게 된다. 여기서 원하는 회전 변환은 광역 Y 축에 대하여 회전 변환이므로, 임의의 축을 중심으로 하는 회전 변환식이 필요하다.

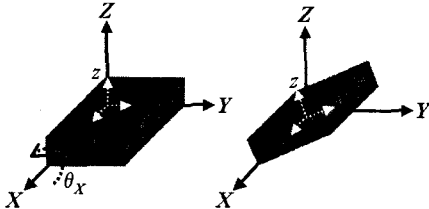


Fig. 1 Difference in direction of two coordinate system after the rotation about X-axis

오일러의 회전변환 이론(Euler parameter)을 이용하면 공간상의 임의의 축을 중심으로 임의의 벡터를 회전 변환할 수 있다⁽²⁾.

공간상의 임의의 단위벡터 u 를 중심으로 ϕ 만큼 회전하여 벡터 s' 를 s 로 변환하는 행렬 A , 즉 $s=As'$ 을 고려해 보자. 그러면 식 1 에 의해 정의되는 오일러 파라미터를 이용해 변환 행렬 A 를 식 2 와 같이 정의할 수 있다.

$$e_0 = \cos \frac{\phi}{2} \quad (1-1)$$

$$e = u \sin \frac{\phi}{2} = e_1 i + e_2 j + e_3 k \quad (1-2)$$

$$A = (2e_0^2 - 1)I + 2(ee^T + e_0 \tilde{e}) \quad (2)$$

$$\text{단, } \tilde{e} = \begin{bmatrix} 0 & -e_3 & e_2 \\ e_3 & 0 & -e_1 \\ -e_2 & e_1 & 0 \end{bmatrix}$$

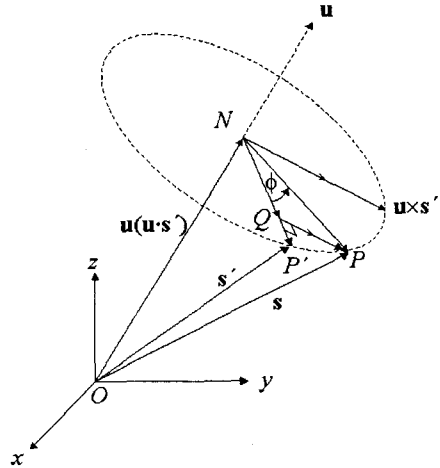


Fig. 2 Rotation of an arbitrary vector about an arbitrary axis

2.1.2 DS/Block 에의 적용

Fig. 1 을 참고하면 광역 X 축과 지역 x 축은 그 방향이 일치하므로 아무 처리 없이 광역 X 축에 대해 θ_x 만큼 회전한다. 이후 광역 Y 축에 대해 θ_y 만큼 회전해야 하는데 이때 광역 Y 축 방향은 지역 y 에 대해 θ_x 에 대한 함수로 표현이 가능하다. 즉 $Y=Y(\theta_x)$ 축을 Fig. 2 의 u 벡터로 취하고 다음 회전각 θ_y 을 ϕ 로 취하여 회전 변환한다. 마지막 광역 Z 축에 대한 θ_z 만큼의 회전 변환도 마찬가지로 방법으로 $Z=Z(\theta_x, \theta_y)$ 축을 Fig. 2 의 u 벡터로 취하고 θ_z 을 ϕ 로 취하여 회전 변환한다.

2.2 유한 요소 해석을 위한 입력 자료 산출

2.2.1 유한 요소 해석 방법

DS/Block 은 반전 시뮬레이션 이외에 유한 요소 해석을 위한 입력 자료를 산출한다. 반전 과정 중에 크레인 지지점 및 지지 와이어 길이의 변화가 없는 쪽에 연결된 러그를 주러그(Main lug), 변경되는 쪽에 연결된 러그를 변경 러그(Auxiliary lug)라고 하는데, DS/Block 은 변경 러그점에 연결된 와이어가 뻗은 방향의 병진 자유도만을 구속하고 주러그에는 세 방향의 병진 자유도를 구속하도록 경계조건을 출력하여 준다. 특히 변경 러그 측면에서 와이어 방향의 병진 자유도를 구속하기 위해서는 이 방향을 포함한 지역 좌표계를 설정해

야 한다. 여기서 와이어 방향 정보는 반전 시물레이션의 결과로 이미 알고 있기 때문에 나머지 두 축의 방향을 단위 벡터로서 산출할 필요가 있다. 이 좌표계를 구성하기 위해 그람-슈미츠 직교화 과정(Gram-Sshmidt Orthogonalization)⁽³⁾이 이용되었다.

2.2.2 그람-슈미츠 직교화 과정

입력의 서로 독립인 세 벡터 \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} 는 다음의 식 3 에 의해 서로 직교하는 세 개의 벡터 \mathbf{q}_1 , \mathbf{q}_2 , \mathbf{q}_3 로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{q}_1 = \frac{\mathbf{a}}{\|\mathbf{a}\|} \quad (3-1)$$

$$\mathbf{q}_2 = \frac{\mathbf{b}'}{\|\mathbf{b}'\|}, \quad \mathbf{b}' = \mathbf{b} - (\mathbf{q}_1^T \mathbf{b}) \mathbf{q}_1 \quad (3-2)$$

$$\mathbf{q}_3 = \frac{\mathbf{c}'}{\|\mathbf{c}'\|}, \quad \mathbf{c}' = \mathbf{c} - (\mathbf{q}_1^T \mathbf{c}) \mathbf{q}_1 - (\mathbf{q}_2^T \mathbf{c}) \mathbf{q}_2 \quad (3-3)$$

이렇게 하면 서로 직교하는 세 벡터를 얻을 수 있다. DS/Block 은 \mathbf{a} , \mathbf{b} , \mathbf{c} 를 각각 와이어의 방향 벡터 및 (1,0,0), (0,1,1)로 선택하였다. 이 정보는 경계 조건 모델링 시 \mathbf{q}_1 을 와이어 방향으로, \mathbf{q}_2 , \mathbf{q}_3 을 이에 직교하는 축으로서 유한 요소 해석 솔버에 입력되어 해석을 수행할 수 있다.

3. 프로그램 설명

3.1 추가 기능

이외에 사용자 편의성을 고려하여 추가된 기능들을 설명하면 다음과 같다.

3.1.1 3 단 반전 기능

3 단 반전이란 Fig. 3 과 같이 블록을 한번 반전시킨 후 러그 체결점을 변경하여 다시 한번 반전시키는 절차를 말한다. 실제 조선소에서는 블록이 원하는 각도만큼 회전하지 않았을 때 3 단 반전을 수행한다. 이 3 단 반전은 기본적으로 반전 시물레이션을 두 번 수행하여 구현하였다. 반전 시물레이션 후, 예상되는 블록의 최종 회전 각도 및 교체될 러그점과 크레인 점을 변경한 후 다시 한번 반전 시물레이션을 수행하면 된다. 한편, DS/Block 내부에선 사용자가 입력한 최종 각도로 모델이 이미 회전되었다고 가정하고(Fig. 3 의 점선 사각형) 반전 과정에 대한 블록의 자세를 계산한 후(점선 화살표) 애니메이션을 역순으로 하는 방법(실선 화살표)으로 3 단 반전을 구현한다.

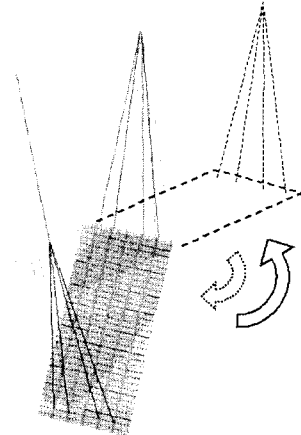


Fig. 3 Method for simulation of 3 stage T/O

3.1.2 코체결

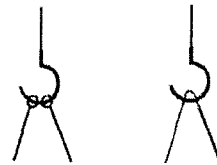


Fig. 4 Knot hook and simple hook

Fig. 4 는 코체결 및 중간 체결의 모식도이다. 중간 체결은 걸려 있는 와이어와 혹 간의 마찰이 전혀 없기 때문에 실제 무게 중심이 편중된 블록의 경우 반전 과정 중 블록이 한 방향으로 심하게 기울 수 있다. 코체결은 이러한 현상을 미연에 방지하게 위한 체결 방식이다. 코체결은 혹으로부터 각 러그까지 와이어의 길이가 정해져 있기 때문에 와이어간의 장력들이 달라지게 된다. DS/Block 에서는 중간 체결과는 달리 와이어 각각의 장력을 미지수로 추가하여 코체결을 구현하였다.

3.2 DS/Block 의 작동 구조

DS/Block 은 기본적으로 Pro/ENGINEER®를 기반으로 하며, PTC 에서 제공하는 API(Application Program Interface)인 Pro/TOOLKIT™을 이용하여 프로그래밍하였다. 구체적인 개발 환경은 다음과 같다.

- 작동환경 : UNIX 혹은 Windows NT
- 프로그래밍 언어 : C
- 상용 소프트웨어 : Pro/ENGINEER® Release 20, Pro/TOOLKIT™ Release 18

Fig. 5 는 프로그램의 개략적인 순서도이다.

DS/Block 의 실행 화면을 Fig. 6 에 나타내었다. 여기에 나타난 주메뉴의 기능을 설명하면 다음과 같다.

4. 적용 예제

4.1 Simple Deck

이 갑판 모델은 거더 및 트랜스, 론지 등이 모두 실제와 동일하게 모델링 되었으며 리그점의 개수는 8 개로 지정하였다. 모델의 제원을 Table 1 에 정리하였다.

Table 1 Information of the simple deck model

Model size (mm)	Mass (kg)
23500×13200×455	1.76×10 ⁴

4.1.1 두 크레인점을 일치한 2점 지지 구현

실제 작업장에서는 8 개의 리그점을 두 부분으로 나누어 각각 4 개씩을 중간 체결하는 방식이 사용되지만, DS/Block 에서는 반드시 세 개의 크레인점을 사용해야 한다. 따라서 반전 과정시 길이가 늘어나는 와이어에 지지된 리그점 4 개를 1 번 크레인에, 나머지 4 개는 두 개씩 나누어 2 번 및 3 번 크레인에 지지하여 구현하였다.

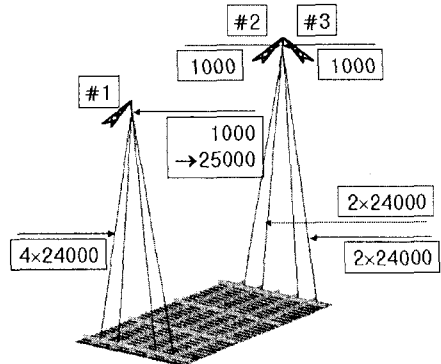


Fig. 7 T/O scenario and wire setting

Fig. 7 은 구체적인 반전 과정 및 와이어 길이 설정 방법을 설명하고 있는데, 1 번 크레인에 연결된 와이어의 길이를 24000mm 증가시켜 반전하는 과정을 표현하고 있다. 중간 체결 아래에 연결된 부와이어들은 길이의 변화가 없다.

4.1.2 180 도 3 단 반전

갑판 모델을 180 도로 3 단 반전시키려면 앞서 설명한 바와 같이 반전 시뮬레이션을 두 번 수행하면 구현된다.

장력과 반전 각도를 스텝에 따라 그래프로 나타내면 Fig. 9 와 같다. 장력 변화 추이가 대체적으로 대칭 형상을 보인다. 실제 현장에서는 메인 리그점들을 2 번과 3 번 크레인에 나누어 지지하지 않고 하나의 크레인만으로 지지하는 경우가 많기 때문에, 실제 이 크레인에 연결된 상부 와이어의 장력은 현재 계산결과와의 약 2 배가 될 것이다.

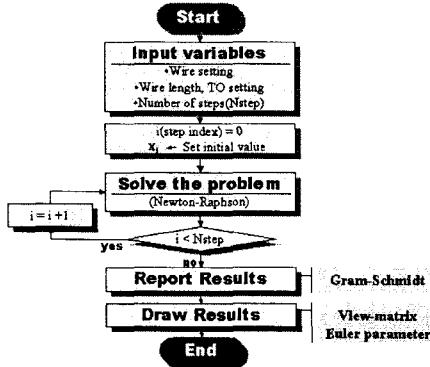


Fig. 5 Flow chart of DS/Block

Initialize : 모든 변수들의 값을 초기화한다. 이 버튼은 새로운 문제를 풀기 전에 한번만 실행한다.

Wire Setting : 블록을 처음으로 들어올릴 때 와이어의 연결상태를 지정한다.

WLength/TO : Wire Setting 메뉴를 통해 지정된 와이어들의 길이와 반전 방법을 입력한다

Solve : 뉴턴-랩슨 방법으로 비선형 연결방정식을 풀고 결과를 텍스트 파일 형태로 저장한다.

Draw Result : 결과를 화면에 보여주고 애니메이션한다.

3 stage TO : 3 단 반전 절차를 설정한다.

Save/Import : 시뮬레이션한 과정을 저장하거나 불러온다.

Cal Crm Coord : 공간에 크레인점을 모델링할 때에는 세개의 좌표값이 필요한데 이 좌표값을 계산해 준다.

Quit/Done : DS/Block 을 끝낸다.

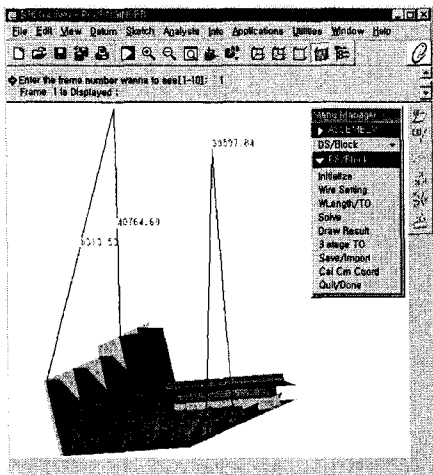


Fig. 6 DS/Block screen shot

Fig. 9의 점선으로 이 예상 장력을 표시하였다

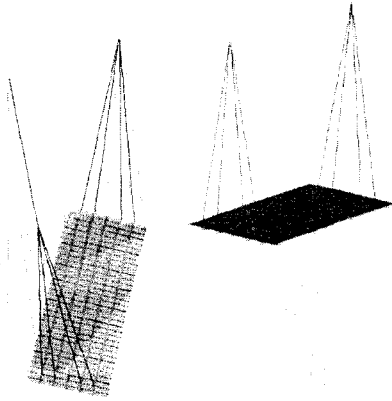


Fig. 8 Simulation of 3 stage T/O procedure

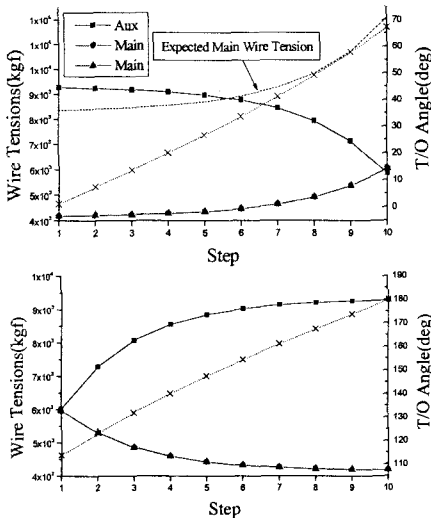


Fig. 9 History of wire tensions

4.2 엔진 블록 (E42)

이 모델은 엔진 블록으로 옆판은 굽은 셸 (Curved shell)로 모델링되었다. 이 예제에서는 기본적으로 메인 러그를 별개의 크레인 점에 연결시키고 메인 와이어도 지면에 수직하도록 설정한다. 변경 러그점 측면에서는 중간 체결과 코체결의 방법을 선택하여 반전을 수행하고 비교하였다. 모델의 제원은 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Information of an E42 model

Model size (mm)	Mass (kg)
20000×18000×9000	2.22×10 ⁵

4.2.1 중간 체결

굽은 셸로 모델링한 옆판의 영향으로 편중이 생겨 초기 리프팅 상태가 Fig. 10 처럼 24.7°로 다

소 기울어졌다. 장력의 변화 양상을 살펴보면, 또한 수직으로 부착된 사각형 형상의 부재의 영향으로 두 메인 와이어간의 장력 변화 양상은 비슷하나 그 힘의 차이가 뚜렷하게 나타난다. 첫번째 스텝에서는 변경 크레인에 연결된 상부 와이어에 블록 하중의 약 80%가 걸리기 때문에 실제 현장 적용시 이 점을 주의하여 작업할 필요가 있다.

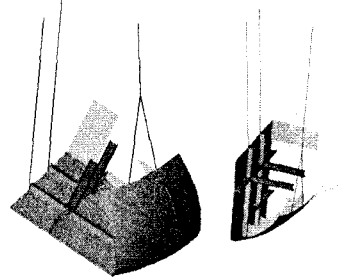


Fig. 10 T/O procedure when simple hook is applied

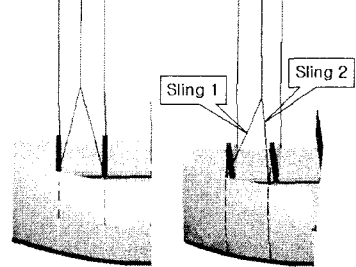


Fig. 11 Comparison between simple hook and knot hook

4.2.2 코체결

약 55도 기울어진 스텝에서 중간 체결 및 코체결 사용시 블록의 반전 모습을 Fig. 11에 실었다. 코체결의 경우 굽은 셸에 두 러그를 부착하였기 때문에 반전이 진행됨에 따라 지면으로부터 거리가 생기고 코체결 점으로부터 각각의 와이어의 길이는 변하지 않기 때문에, 중간 체결에 비해서 블록의 자세가 다소 옆으로 기울어지게 된다. 일반적으로 와이어 장력들은 스텝을 거듭함에 따라 단조 증가 혹은 단조 감소하는 경우가 대부분이지만, Fig. 12을 통해 그렇지 않은 경우도 발생할 수 있음을 확인할 수 있다.

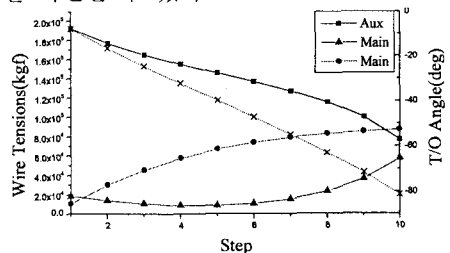


Fig. 12 History of tensions when knot hook is applied

4.3 사이드 셀 블록(S16)

이 예제는 180 도가 아닌 일반적인 각도에 대해 3 단 반전이 가능함을 보이기 위한 것이다. 블록 형상이 '1'자로서 무게중심 편중됐기 때문에 3 단 반전을 하여야만 90°반전을 할 수 있다. 모델의 제원을 Table 3 에 정리하였다.

Table 3 Information of a S16 block

Model size (mm)	Mass (kg)
15000×16000×8000	8.61×10^4

반전을 수행하여 보던 90° 완전히 반전하지 못하는데, 이는 완전히 90°를 반전시키려면 3 단 반전을 수행해야 함을 의미한다. Fig. 13 의 오른쪽은 러그점을 변경하고 3 단 반전을 한 모습이다.

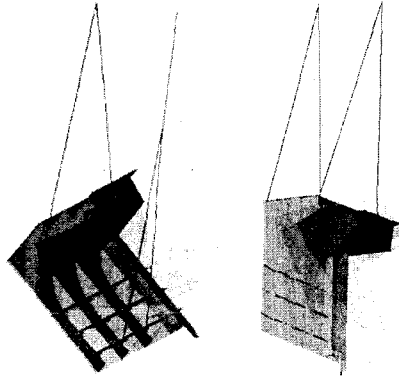


Fig. 13 3 stage T/O procedure of the S16 block

4.4 선미 블록(A22)

A22 블록은 블록 로더의 성능을 검증하기 위한 예제이다. 모델의 제원은 Table 4 와 같다.

Table 4 Data of an A22 block

Model size (mm)	Mass (kg)
15000×13800×2500	2.09×10^4

DS/Block 은 블록 로더를 강제로 가정하고 블록의 중량에 관계없이 와이어의 장력을 산출하므로 적정 수준의 블록 로더를 선택하기 위해서는 사용자가 적절히 판단해야 한다. 본 예제에서 CAD 모델의 중량은 약 90t 이지만 임의로 300t 용 블록 로더를 적용하여 보았다. 이 이외에 조선소에서 사용중인 규격화된 블록 로더를 선택하거나 사용자가 직접 블록 로더의 규격을 정의할 수도 있다.

Fig. 14 에서 알 수 있듯이 T/O 양상은 약 45 도 정도에서 멈추었는데 이는 메인 와이어들이 블록의 무게중심에 가까이 지정되었기 때문인 것으로 분석된다. Fig. 15 는 장력 변화 양상이다. 해석 결과 블록 로더가 연결된 와이어의 최대 장력은 30t 에 다소 못 미치는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 방법으로 사용자는 블록 로더의 적정 용량을 선택할 수 있다.

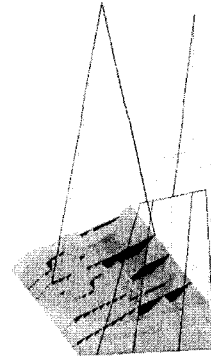


Fig. 14 3 stage T/O procedure of the A22 block

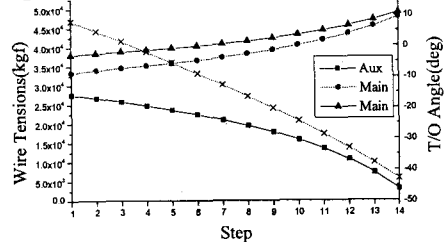


Fig. 15 History of wire tensions

5. 결론

DS/Block 은 블록의 이동 및 반전시 와이어 장력 및 러그 반력, 그리고 블록의 자세 변화 양상을 예측할 수 있도록 상용 CAD 프로그램인 Pro/ENGINEER 를 기반으로 구현되었다. 본 시스템은 반전 과정중의 관심 있는 각도에 대한 유한요소 해석이 가능하도록 입력 데이터를 제공, 블록의 변형 예측을 가능하도록 하였다. DS/Block 이 실제 현장에 투입되면 선박 제조 공정상의 생산성 향상 및 안전성 확보에 상당 부분 기여할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 “블록의 반전 및 이동시 변형 제어를 위한 최적 설계 시스템 개발” 과제의 일환으로 현대 중공업으로부터 지원 받았음을 밝힙니다.

참고문헌

- (1) 이수범, 신상범, 광병만, 2000, “선박 블록의 이동 및 반전 시뮬레이션 프로그램 개발”, 대한기계학회 2000 춘계학술대회논문집, pp.714-719.
- (2) Parviz E. Nikravesh, 1988, “Computer-aided analysis of mechanical systems”, Prentice-Hall.
- (3) Gilbert Strang, 1988, “Linear algebra and its applications”, 3rd edition, Harcourt Brace & Company.