

GPE 블록의 연안운송시 안전성 평가를 위한 영향인자

김성찬^{†*}, 홍기섭^{*}, 신대균^{**}, 유병석^{**}, 김관홍^{***}, 서용석^{***}, 백세진^{***}

인하공업전문대학 선박해양시스템과^{*},
한진중공업 기술연구소^{**}, 한진중공업 생산기술팀^{***}

Influence Factors for the Safety Assessment on the GPE Blocks during On-shore Transportation

Sung Chang Kim^{†*}, Ki Sup Hong^{*}, Dae Kyun Shin^{**}, Byeong Seok Yu^{**}, Kwan
Hong Kim^{***}, Yong Seok Suh^{***} and Se Jin Paek^{**}

Dept. of Ship Structure and Ocean System, Inha Technical College^{*},
R&D Institute, Hanjin Heavy Industry Corporation Ltd.^{**},
Dept. of Production Technology, Hanjin Heavy Industry Corporation Ltd.^{***}

Abstract

Great number of ships has been built by Korean Shipyards since early of 2,000 due to the expanding worldwide trade. Most of shipyards have enlarged the weight of erection block and many blocks have been assembled in block fabrication factories outside the shipyards to reduce the shipbuilding period. Especially, Giga blocks that exceed 2,000 tons are often assembled by the block fabrication factories outside the shipyard. Generally, the blocks are transported to building dock in shipyard by towing barges. Accident can be occurred during the sea transportation and it may bring about not only the delay of delivery but also a disaster on the ocean environments. Transportation condition of GPE (Grand Pre-Erection) block differs from the ocean going conditions of marine vessels. Special consideration should be included before transportation work in order to guarantee the safety of GPE blocks and barge carriers. In this paper, several examples, which have been investigated to set up the safety standard of transportation of the GPE blocks on coastal routes, are introduced. For the barge transportation on coastal sea route, the design criteria are discussed, considering the design wave, the acceleration induced by wave, structural strength, and the fixture condition of blocks.

※Keywords: Mega blocks(메가블록), Giga blocks(기가블록), Towing barges(메인선), Transportation(운송), GPE block(GPE블록), Safety assessment(안전성평가)

접수일자: 2009년 6월 10일, 승인일: 2009년 9월 15일

†교신저자: schankim@inhac.ac.kr, 032-870-2171

1. 서론

세계 조선시황에서의 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 국내 조선산업이 급성장을 하고 있다. 경제호황뿐 아니라 1970년대 많이 건조된 선박의 교체와 이중선각으로의 선박규칙 개정으로 인해 노후선박이 교체되었다. 한국 조선소는 최소한 2년에서 3년 이상의 물량을 일찍이 확보해본 상태이다. 최근 선박건조능력의 확대는 혁신적인 생산공법의 채용과 새로운 협력체계 구축을 바탕으로 이루어져 왔다(Hong 2008, Dan 2007).

용접자동화 및 생산성 향상을 위한 새로운 공법 개발 등의 다양한 기술들이 개발되었으며, 메가블록공법 및 기가블록공법 또는 GPE(Grand Pre-erection) 블록공법 등의 혁신적인 공법이 채용되어 적용되었다. 이는 500톤에서 12,000톤에 이르는 대규모 블록을 도크 또는 플로팅 도크에서 조립하는 방법이며, 탑재시간을 혁신적으로 줄였고, 별도 시설증대 없이 생산량을 획기적으로 증가시킬 수 있었다. 신공법이 탑재 효율을 획기적으로 증가시켰지만, 블록의 조립공정은 조선소 내부 시설로는 한계에 부딪혀 국내외의 블록조립시설을 확보하고 있는 협력회사와의 연계를 통해 극복할 수 있었다. 국내외적으로 구축한 네트워크는 많은 선체블록 조립공장으로 구성되어 있는데, 선박 탑재시간을 단축시켰고 안정적인 선박건조량을 유연하게 증가시킬 수 있었다.

선박 블록 공급회사에서 건조된 선체블록은 통상 바지선에 의해 운송되어 조선소의 탑재장으로 운반된다. 바지선에 의한 운송은 해상상태와 바지선의 강도 등을 포함한 종합적인 위험성을 파악하여 합리적인 안전성을 확보하는 것이 필수적이다. 예기치 못한 사고는 적기의 선박건조 및 인도에 영향을 줄 뿐 아니라 환경파괴로 인한 사회적 재앙이며, 막대한 비용이 필요하다. 따라서 블록 운송시 안전성을 파악하는 것은 필수요건이다 (Im et al. 2005). 그러나 합리적인 바지운송에 대한 기준이 정립되어 있지 않아 안전성 평가가 제대로 이루어지지 않았다. 바지선의 크기와 바지선과 블록사이의 고정지지구조와 같은 수송요소 등이 경험적인 데이터에 기반을 두고 결정되어져 왔다.

바지선 구조 강도 평가는 설계하중이 우선 결정되어야 하며, 설계하중을 구조해석에 적용하여 합리적인 평가가 우선 이루어져야 한다. 설계하중은 운항 항로의 해상상태에 따라 고려되어야 하며, 선체블록의 강도 및 운항조건 등과 연계하여 고려해야 한다.

일반 상선의 설계하중에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히 설계하중을 위한 설계해상상태를 평가하기 위한 연구가 많이 이루어져 왔다. Song and Lee(1997)은 선체강도해석을 위한 직접하중 계산방법 등을 적용하였고, Zhu and Shigemi (2007)는 10^{-8} 확률에서 장기응력에 상당하는 값을 주는 단기해상상태를 고려하여 주부재의 강도를 평가하였다. 그들은 설계 해상상태와 일련의 계산결과를 사용하여 설계해상상태를 구하는 실제적인 방법을 제시하였다. Chun et al.(2008)은 상용구조해석 프로그램으로 이러한 과정을 적용하였고, 특히 Chung et al.(2005)은 컨테이너선에 비선형 하중을 적용하였다. 본 논문에서는 직접계산법에 의해 계산된 하중을 사용하여 안전한 연안수송 지침을 마련하였다.

본 논문에서는 GPE 블록운송에 투입되는 바지선에 대한 설계 해상상태의 추정과정을 기술하였고, 운항경로에서의 설계 해상상태에 대한 설계파와 설계하중에 대한 추정 예를 제시하였다. 이렇게 구한 설계파와 설계하중을 적용하여 GPE 블록을 선적한 바지선의 강도를 평가하였다.

2. 설계 해상상태의 결정

선체블록을 인천에서 선적하여 부산까지 서남해안의 운송경로를 택할 경우, 바지선에 작용하는 파랑하중과 바지선에서의 종급힘 모멘트 및 가속도를 구하고, 이런 특정치를 구하기 위한 연안수송시의 해상상태에 관한 검토를 수행하였다.

GPE 블록 운송에서 바지선의 적재상태 및 운항조건은 블록중량과 밸러스트 중량을 고려하여 결정하였다. GPE 블록은 1,000톤에서 3,000톤 규모의 컨테이너선 블록을 대상으로 택하였으며, 3,100TEU 및 5,100 TEU 컨테이너선의 선미에서 선수까지의 총 12개 블록을 대상으로 하였다. 운

송 바지선은 총 두 척에 대하여 검토하였고, Fig. 1에서 전형적인 GPE 블록 운송 적재상태 예를 보여주고 있다.



Fig. 1 An example of Fore body block transportation

2.1 연안 운송시의 해상상태

GPE 블록 적재한 바지선은 인천 근방의 서해안을 따라 출발하여 전남 서해안과 전남 남해안을 경유하여 남해안의 거제해안을 거쳐 부산에 이르는 해상통로를 운항한다(Fig. 2). 인천 근방 서해안의 해상상태와 전남 서해안의 해상상태는 비슷하며, 전남 남해안과 거제 인근 해역 데이터를 비교하였다. Fig. 3은 서남해안의 파랑빈도자료(wave scatter diagram)이며, 거제 인근 해역상태에서의 파고가 다른 운항 항로에서의 해역상태에 비해 다소 크다.

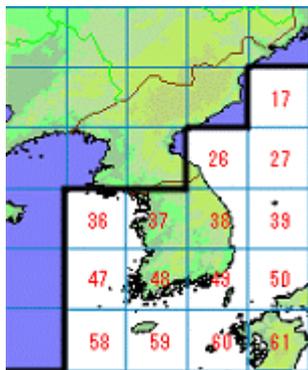


Fig. 2 Transportation route of ship block (National Maritime Research Institute 2008)

방향	방향별파고빈도														방향	
파고	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	방향
14.5도																14.5도
13.5도																13.5도
12.5도																12.5도
11.5도																11.5도
10.5도																10.5도
9.5도																9.5도
8.5도																8.5도
7.5도																7.5도
6.5도																6.5도
5.5도																5.5도
4.5도																4.5도
3.5도																3.5도
2.5도																2.5도
1.5도																1.5도
0.5도																0.5도
0도																0도
TOTAL	0.00177	0.00018	0.00024	0.00042	0.00084	0.00168	0.00336	0.00672	0.01344	0.02688	0.05376	0.10752	0.21504	0.43008	0.86016	TOTAL

Fig. 3 Wave scatters data for the south coast of Chunnam(No.48) (National Maritime Research Institute 2008)

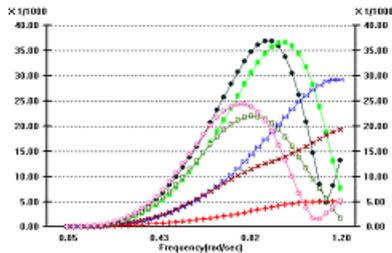
2.2 연안수송에서의 운동해석

블록 적재의 바지선에 대한 운동해석을 위해 화물 및 밸러스트 적재조건을 트림 및 복원성(Trim & stability) 계산을 통해 정하였고, 흘수, 트림조건, 밸러스트 위치와 용량을 구하였다. 본 GPE 블록에서의 흘수는 1.5~2.0m 정도이며, 선미트림은 0.02m 정도이다. 바지선의 예인속도는 5노트를 사용하였고, 운동해석은 한국선급에서 2차원 strip 이론에 근거하여 개발한 LOMOS 프로그램을 사용하여 구하였다. RAO, 장기예측치 및 설계파고 등을 다음과 같은 DLP(Dominant Load Parameters)에 대해 구하였다.

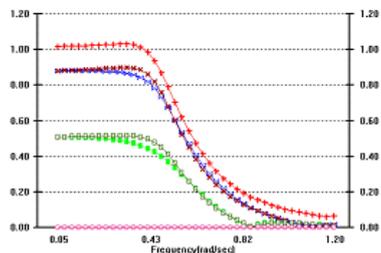
- 선체중양에서의 종굽힘모멘트 (VBM)
- 선체중양에서의 횡굽힘모멘트 (LBM)
- 선체중양에서의 Roll 거동 (ROLL)
- 선수 중앙부에서의 종방향 가속도(VACC)
- 선수 선측에서의 횡방향 가속도 (TACC)

Fig. 4(a)-(c)는 2,300톤 블록을 운반하는 바지선에서의 운동해석 결과를 예로서 보여주고 있다. 최대 종굽힘 모멘트의 RAO가 나타나는 무차원 파주파수 영역이 일반상선에서의 값보다 높은 주파수 영역에서 나타남을 알 수 있다.

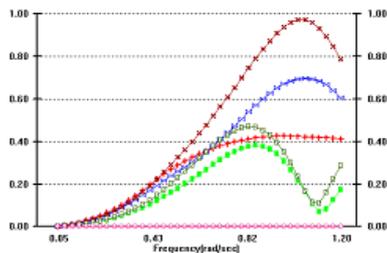
주로 최대 종굽힘 모멘트에서의 RAO는 조우각이 0도이며, 무차원 파주파수는 0.88~1.0 근방에서 최대값이 나타난다. 또한 횡굽힘 모멘트는 조우각이 60도 또는 120도이며, 무차원 파주파수는 1.0~1.2 근방에서 최대값이 나타난다. Roll은



(a) V. Bending moment RAO



(b) Roll amplitude RAO



(c) Horizontal acceleration RAO

Fig. 4 2,300TEU 컨테이너선 블록 운반선의 운동특성

조우각이 90도이며, 무차원 파주파수는 0.4~0.6 근방에서 최대값이 나타난다. 수직 가속도는 조우각이 60도 또는 120도이며, 무차원 파주파수는 1.0 근방에서 최대값이 나타난다. 횡가속도는 조우각이 120도이며, 무차원 파주파수는 1.1 근방에서 최대값이 나타난다.

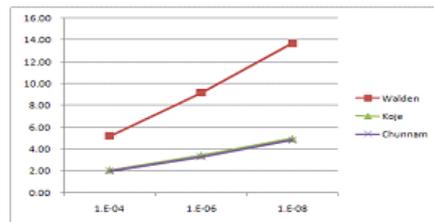
블록을 선적한 바지선의 운항해역에 따른 설계파고 및 장기예측치 등을 비교하기 위하여 해역별 데이터 차이에 대한 장기해석 결과를 비교하였다. 대상해역은 다음과 같다.

- 북대서양 해역
- 한반도 전남 남부 해안
- 한반도 경남 거제 해안

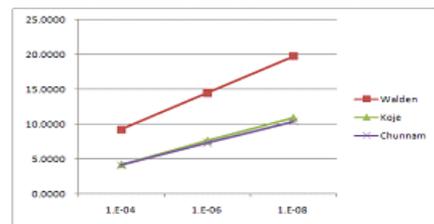
세 가지 해역과 최고파고가 발현할 확률이 10^{-4} , 10^{-6} , 10^{-8} 일 때 설계파고와 장기예측치를 비교하였다. 한 예로서 3,100 TEU 컨테이너 블록 적재 바지선에 대한 결과 예를 Fig. 5(a)-(c)에서 나타내었다. 장기해석 결과를 통해 설계파고는 다음과 같이 구해진다.

$$\text{설계파의 진폭(Amplitude)} = (\text{Long Term Value}) \times (\text{배길이}) / (\text{최대 RAO 값})$$

해역별로는 한반도 인근 해역을 사용한 경우에는 거의 차이가 없으며, 북대서양과 한반도 해역과의 차이는 매우 크며, 설계파고 또는 장기예측치(Long Term Value)에서 거의 2배 이상 차이가 남을 알 수 있다. 또한 발현 확률에 따른 결과를 보면 한반도 부근에서는 10^{-8} 에서의 값이 10^{-4} 에서의 값보다 2배 이상 큼을 알 수 있다. 항해기간을 기준으로 본다면 10^{-5} 확률을 가지는 경우가 합당하다고 판단되지만, 안전한 운송을 기준으로 판단하건데 10^{-6} 의 확률을 사용하는 것이 타당하다고 판단된다.



(a) Design wave height(VBM)



(b) Long term value (ROLL)

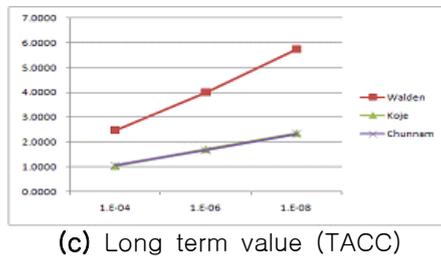


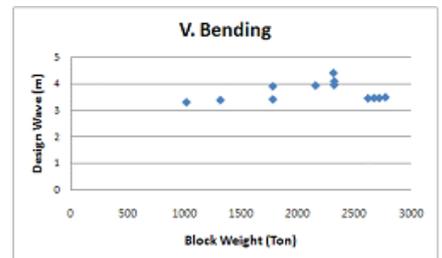
Fig. 5 3,100TEU 컨테이너선 블록 운반선의 장기해석 결과

해역별, 운항조건별 경우의 연구를 통해서 안전한 운항조건을 구하였다. 인천에서 부산까지의 블록선적 바지선의 운항시 운동해석결과를 바탕으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

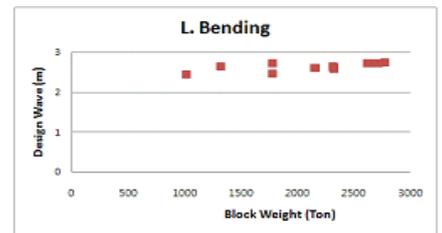
- 운항해역으로는 관련 한국 연안해역중 경남 남해안 거제지역 해역 데이터를 쓰면 보수적인 관점에서 타당하다.
- 운항일수 관점에서는 10^{-5} 발현확률이 근접하나 운항 상 돌발변수 등의 불확실한 요인 등을 감안하면 10^{-6} 발현확률을 사용한 경우가 보수적인 관점에서 타당하다. 이는 운항 경험 및 구조 해석 결과를 근거로 분석한 결과 타당함을 알 수 있었다.

수직 굽힘 모멘트와 수평 굽힘 모멘트에 대해서는 10^{-6} 확률에서의 설계파고의 값으로 나타내었고, 횡동요와 수직가속도 및 수평 가속도에서는 10^{-6} 확률에서의 장기예측치로 나타내었다. 모든 블록에 대한 결과를 블록중량에 대해 정리한 것을 Fig. 6(a)-(e)에 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

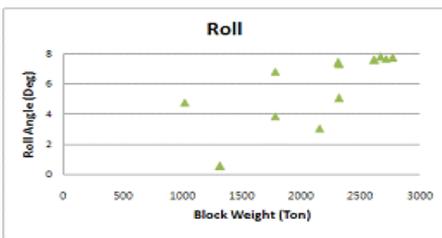
- 수직 굽힘 모멘트에 대한 설계파고는 3.3~4.4m 정도이다.
- 수평 굽힘 모멘트에 대한 설계파고는 2.4~2.7m 정도이다.
- 횡동요 진폭은 4~7.7 도 정도이다.
- 수직 가속도는 $2.6\sim 3.3 \text{ m/sec}^2$ 이다.
- 수평 가속도는 $1.45\sim 1.83 \text{ m/sec}^2$ 이다.



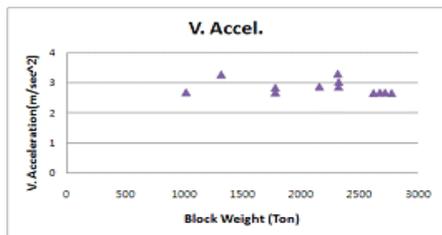
(a) Design wave amplitude(VBM)



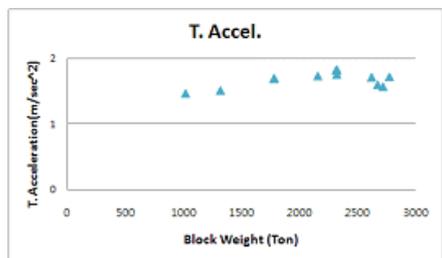
(b) Design wave amplitude(HBM)



(c) Roll amplitude



(d) Vertical acceleration



(e) Transverse acceleration

Fig. 6 블록 중량별 설계파 및 장기예측치

3. 구조강도 평가

3,100 TEU 및 5,100 TEU 컨테이너선 블록 12개를 선적한 바지선에 대한 구조강도해석을 수행하였다. 구조강도해석을 위한 하중은 운동해석을 통하여 나온 정수압과 파랑동압 및 구조물과 밸러스트 등의 관성력 등이 적용되었다. 구조해석은 블록을 선적한 상태에 국한하여 수행하였고, 기타 적재상태에 대해서는 본 과제 목적상 불필요하여 생략하였다.

구조해석은 반쪽 모델을 사용하였고, 대표적인 블록 선적의 모델형상을 Fig. 7에 나타내었다. 반쪽 배치는 가능한 도면에 충실히 따랐으나 일부 해석 모델의 제한으로 변경된 부분이 있다. 바지선과 블록간의 Support에서 대차는 형태를 판 요소로 모델링하였으며, 기둥은 보요소로 이상화하였다. 선박 블록은 전선해석 모델용으로 개발된 것을 변형하여 사용하였고, 바지선은 longitudinal 간격으로 모델을 구성하였다.

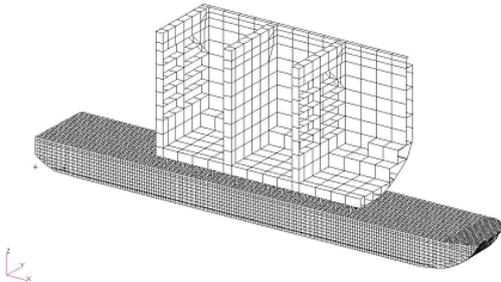


Fig. 7 One Example of structural analysis model

경계조건은 모델의 중앙에서 대칭조건 및 역대칭 조건을 사용하여 조합하여 구현하였다.

구조물의 수직방향 구속은 MSC/NASTRAN의 관성력 이완(Inertia Relief) 기능을 사용하여 해결하였다. 하중은 내부 제작 프로그램인 Loading을 사용하여 운동해석 결과를 구조해석 데이터로 변환하여 생성하였다. 구조모델 및 집중하중은 관성력으로 치환되었고, 파랑 변동압과 정수압은 압력

GPE 블록의 연안운송시 안전성 평가를 위한 영향인자

으로 치환되어 구조해석시 반영되도록 하였다. 본 과제에 사용된 바지선의 경우 밸러스트 양이 매우 작아, 탱크 내 집중하중으로 치환하여 관성력으로 고려하였다. 본 구조해석에 사용된 하중조합 조건은 다음과 같고, 안전한 운영을 위해서는 각 모델에서 총 19가지 하중 조합조건을 만족할 수 있어야 한다.

- Still Water
- Vertical Bending Moment - Hogging & Sagging
- Vertical Acceleration at FP CL - Bow Up, Starboard & Port
- Vertical Acceleration at FP CL - Bow Down, Starboard & Port
- Max. Horizontal Bending Moment - Port & Starboard
- Min. Horizontal Bending Moment - Port & Starboard
- Transverse Acceleration at FP CL - Port Up, Port & Starboard
- Transverse Acceleration at FP CL - Port Down, Port & Starboard
- Roll - Starboard Down, Port & Starboard
- Roll - Starboard Up, Port & Starboard

전술한 것과 같이 12개의 블록운반의 경우에서 응력 및 변형을 평가하였다. 최대 새깅 종굽힘모멘트가 발생할 경우에 대한 변형과 von-Mises stress에 대해 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

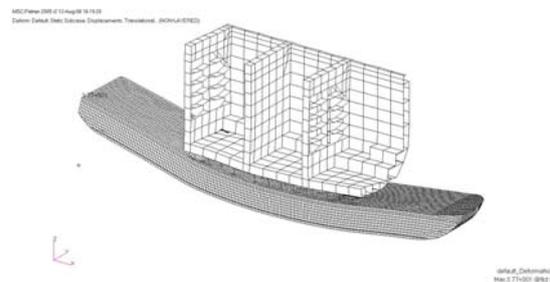


Fig. 8 Example of deformation shape

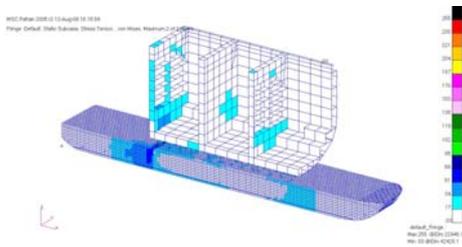


Fig. 9 Example of Von-Mises stress

4. 결론

본 연구에서는 한진중공업의 인천 울도 공장에서 제작된 대형 선박블록(GPE block, Grand Pre-erection block)을 부산 영도까지 운반하는 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 파악하여 사전에 대비하고자 하였다. 본 과제에서는 우선 한진중공업의 대형 컨테이너선 블록을 운반할 대상 바지선을 선정하고, 수송 대상 블록에 대한 운반시의 운동성능 평가를 통하여 바지 적재 및 운항조건을 결정하고, 선박블록을 탑재한 바지선의 강도 해석을 통하여 선박블록의 고정조건 등에 대한 안전성 평가를 수행하였다. 총 12개 대형 선박블록에 대한 검토를 통하여 운송 및 적재조건에 대한 운송지침을 작성하고, 바지선으로 운송하는 경우의 안전성을 확보하기 위한 선박블록의 고정조건 등에 대한 안전성 평가를 수행하였다. 안전한 운송을 위한 운동해석 조건은 다음과 같다

- 운항해역으로는 관련 한국 연안해역중 경남 남해안 거제지역 해역 데이터를 쓰면 보수적인 관점에서 타당하다.
- 10^{-6} 발현확률을 사용한 경우가 보수적인 관점에서 타당하다.

상기 결론을 사용하여 각 블록별 계산 결과를 종합해 보면 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- 수직 굽힘 모멘트에 대한 설계파고는 3.3~4.4m 정도이다.
- 수평 굽힘 모멘트에 대한 설계파고는 2.4~2.7m 정도이다.

- 횡동요 진폭은 4~7.7 도 정도이다.
- 수직 가속도는 2.6~3.3 m/sec²이다.
- 수평 가속도는 1.45~ 1.83m/sec²이다.

상기 운동해석을 바탕으로 구조강도해석을 수행한 결과 많은 블록에서 항복응력 이상의 응력이 발생함을 알 수 있다. 이는 상기 운동해석 기준을 적용하였을 때 보강 또는 적재조건을 변경해야 함을 알 수 있다.

후 기

본 논문의 내용은 2006년 인하공업전문대학 교내연구비 지원 및 한진중공업(주)과의 산학연구 과제로 수행된 것을 함께 정리한 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다. 또한 본 논문 중 운동해석 관련하여 한국선급의 많은 도움에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Chun, M.J., Jang, C.H., Park, S.K. and Park, J.H., 2008, "Verification of DSME Global Analysis and Spectral Fatigue Analysis Systems," Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 1468-1473.
- Chung, B.H., Yoo, H.R. and Choi, B.K., 2005, "Generation & Application of Nonlinear Wave Loads for Structural Design of Very Large Containerships," Special Issue of the Society of Naval Architect of Korea, pp. 15-21.
- Dan, Y.J., 2007, EMGT 835 Field Project: Global Shipbuilding, Who will be the leader? South Korea or China?, MSc. Thesis, University of Kansas.
- Hong, S.I., 2008, "Current Investment and the Prospect of the Shipbuilding Industry," FORCA Journal, pp. 31-32.
- Im, N.K., Park, S.H., Park, G.K. and Seo,

K.Y., 2005, "A Study on the Present Status of Safety in Tug-Barge Transportation," Conference of Ocean Environment Safety, pp. 41-46

- National Maritime Research Institute, www.nmri.go.jp, (2008)
- Song, J.Y. and Lee, J.Y., 1997, "Ship Structural Analysis Technology using Finite Element Method," Journal of Computational Structure, Vol. 10, No. 3, pp. 46-51.
- Zhu, T. and Shigemi, T., 2007, "Design Loads Used for Direct Strength Assessment of Merchant Ship Structures," Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 129, No. 2, pp. 120-130.



< 김 성 찬 >



< 홍 기 섭 >



< 신 대 균 >



< 유 병 석 >



< 김 관 홍 >



< 서 용 석 >



< 백 세 진 >