

## 대형 컨테이너선의 직접해석법에 관한 비교 연구

류홍렬<sup>†\*</sup>, 이주성<sup>\*</sup>

현대중공업(주) 조선사업본부 구조설계부<sup>\*</sup>, 울산대학교 조선해양공학부<sup>\*\*</sup>

### Comparative Study on the Application of Direct Analysis Method to Large Container Carriers

Hong-Ryeul Ryu<sup>†\*</sup> and Joo-Sung Lee<sup>\*\*</sup>

Hyundai Heavy Industries, Shipbuilding Div., Hull Initial Design Dept.<sup>\*</sup>  
School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Ulsan National Univ.<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

Recently, direct load analysis using ship motion program is required to confirm structural safety for the Post-Panamax class large container carrier. However, there is no exact comparative study data for structural response between 2D and 3D wave load. So, in this paper, to compare the hull girder stress response between 2D versus 3D wave load calculation method, direct load analysis and global F.E analysis have been performed for three kinds of large container vessels using each 2D and 3D wave load calculation program. The results of 2D wave load RAO(Response Amplitude Operator) of each dominant load parameter(vertical, torsional and horizontal moment) are generally bigger than that of 3D results, especially in vertical wave bending moment. And the results of structural analysis based on the equivalent design wave method shows that there is a big difference in view of stress, but the stress distribution is very similar for each wave load case.

※Keywords: Large container carrier(대형 컨테이너선), Torsional moment(비틀 모멘트), Direct analysis(직접해석), Design wave(설계파)

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

최근 수주, 건조되고 있는 컨테이너선의 경우, 새로운 선체구조의 개발 및 선박의 대형화로 인해 선급규칙만으로는 선체구조의 안전성을 증명하기 힘들어서 파랑하중해석 프로그램을 이용하여 선박의 운항수명 동안 겪게 될 최대하중을 계산하여 전선직접구조해석을 수행하는 경우가 빈번히 있다. 이와 관련하여 현재 선급들은 각자의 방법에 따른 운동해석 및 구조해석을 요구하고 있으며, 운동해석의 도구로써 특별히 어떠한 프로그램을 사용하여야 한다는 명시조항은 없다. 운동해석 프로그램은 2D(2 차원 Strip 방법) 프로그램이 사용의 편의성 때문에 많이 이용되어 오고 있는 실정이나, 최근에는 3D(3 차원 Panel 방법) 프로그램도 컴퓨터 하드웨어의 성능 향상으로 많이 사용되고 있다. 그러나 설계자의 입장에서는 2D나 3D 파랑하중해석 프로그램의 차이에 대한 경험이 없기 때문에 어떤 프로그램을 사용하여야 하는지에 대한 정보가 명확하지 않아 실선 설계시 설계자가 혼란스럽다. 이와 관련 본 연구에서는 세 척의 대형 컨테이너선(Post-Panamax급)에 대해 2D Strip법과 3D Panel법을 사용해서 운동해석 및 그 결과를 이용한 전선구조해석을 수행하였을 때 어떠한 차이가 있는가에 대해서 검토하여 보았고, 이를 통해서 실제 설계시 2D 프로그램의 사용 적정성에 대해서 판단하여 보았다.

### 1.2 선급별 직접해석 동향

컨테이너선의 경우 최근 대형화가 급격히 진행됨에 따라, 직접하중해석에 대한 요구가 많아지고 있으며, DNV(노르웨이), ABS(미국), KR(한국)선급의 경우에는 각기 컨테이너선의 직접하중해석에 대한 지침을 공식적으로 제공하고 있다.

참고로, LR(영국)선급의 경우에는 전선구조해석을 수행하되, 그 하중은 선급규칙에 명시된 수직굽힘, 수평굽힘 및 비틀 모멘트값을 사용하고 이를 각각 전선모델에 정적하중으로 작용시킨 다음 구조해석을 수행한 후 응력의 합성을 통해 구조

평가를 하고 있으므로, 직접하중해석법이라고 말하기 어렵다. 또한, GL(독일)선급의 경우에는 전선해석을 위해서 하중을 2D 프로그램으로 직접 생성한 값을 사용하고 있으나, 이 값은 수직굽힘, 수평굽힘, 비틀 모멘트 등에 대한 최대 하중값을 선급규칙의 최대치에 맞춘 다음, 구조해석용 파랑하중 조건을 생성하였기 때문에, 엄밀하게 말하면 직접구조해석이라기 보다는 준직접구조해석에 가깝다. 그리고, GL선급 전선해석의 특징은 비틀 모멘트값을 선수부에서 추가하기 위해서 정적 경사(Heeling)라는 개념을 도입하였다. 이는 선수부의 비틀 모멘트를 과도하게 증가시키려는 목적으로 만들어진 인위적인 개념으로, 직접하중해석의 결과와는 차이가 있으며, 본 논문에서 이 방법은 고려하지 않았다(정병훈 등 2005).

### 1.3 연구 동향

일본 NK선급의 Ryuji Miyake(2004)는 2D Strip과 3D Panel(Rankine Source Method) 방법을 사용한 비틀 모멘트의 RAO(Response Amplitude Operator)계산 결과, 2D가 특히 선체중앙부에서의 값이 잘 맞지 않으며, 3D의 해석결과는 실험 결과와 잘 일치하고 있다고 한다. 또한 비틀 모멘트의 최대값은 L/4 에서 나타나고 있으며, 비틀 모멘트를 고려한 설계에서는 3D 프로그램이 상당히 유효함을 실험을 통해 증명하고 있다. 그리고, 컨테이너선에 있어서 비틀 모멘트의 설계파는 대체적으로 거의 동일한 조우각(120도)과 파장(0.35L)에서 선정될 수 있다고 하며, 이 설계파에 대해서 Warping Stress에 대한 응답값이 제일 크게 나타나고 있다고 한다. 또한, 실험결과를 보면 선수부에서 비틀 모멘트의 비선형성이 크게 나타난다고 한다.

KR(한국선급)의 하태범 등(2001)은 2D와 3D 방법 각각에 대해서 파랑압력을 계산하여 비교하여 보았다. 선속을 각각 0 Knots와 10 Knots로 하여 계산한 결과, 선체의 중앙부 위치에서 2D가 3D에 비해서는 약 10% 이상 압력이 크게 계산됨을 알 수 있었다. 이는 특히 선체 외압이 직접

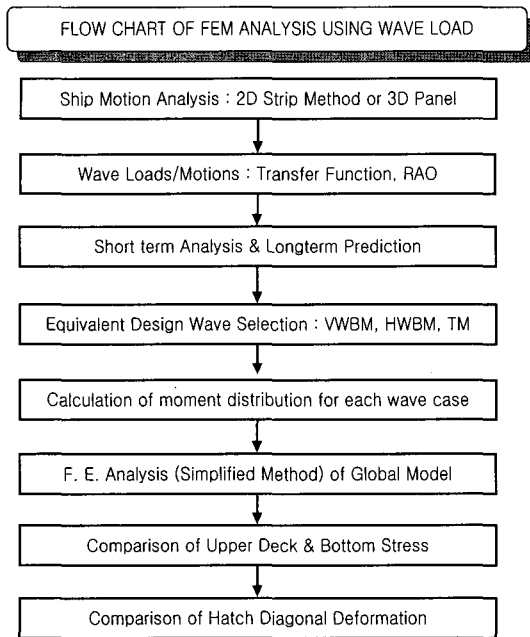


Fig. 2. 1 Procedures for comparative study

작용하는 부재의 피로강도 등을 계산할 때는 많은 차이를 보일 것으로 예측된다고 한다. 선수미부에서는 선급규칙에 의한 값이 직접하중해석에 의한 값보다 크게 나타나고 있는데 이는 슬래밍과 같은 충격압을 선급 규칙에서 고려하였기 때문이라고 한다. 전체적인 경향은 파랑압력 및 장기해석 결과에 있어서 2D가 3D에 비해서 크게 나타나고 있으며, 이는 2D에서 2 차원 단면의 가정으로 인해 선체 각 단면사이에 간섭효과가 무시되어 나타나는 것으로 판단하고 있다.

## 2. 해석과정

2D와 3D 하중해석법에 따른 각각의 구조해석을 수행하였을 경우 어떠한 차이를 보이는가에 대한 비교 검토를 위해서 세 척의 대형 컨테이너선에 대해서 Fig. 2.1의 순서에 따라 해석 및 비교 검토 작업을 수행하였다.

## 3. 운동 및 하중해석

### 3.1 대상 선박

컨테이너선의 경우 탱커나 벌커선과 달리 그 대형화가 빨리 진행되고 있으며, 선속이 일반상선 중에서 상대적으로 빨라서 선형이 날렵하고, 화물창의 개구가 커서 비틀 모멘트에 대해 상당히 취약한 구조이므로, 선주 및 선급에서 새로운 선형이 설계될 경우에 구조 안전성 검토를 위해서 직접하중해석을 통한 전선구조해석을 많이 요구하고 있는 추세이다. 이에, 본 연구에서는 직접하중해석을 주로 수행하는 Post-Panamax급 이상의 대형 컨테이너선인 5,500, 8,000 및 9,600TEU급 컨테이너선을 직접하중해석 대상선으로 선정하였다.

### 3.2 파랑하중해석 프로그램

세척의 대형 컨테이너선에 대해서 운동해석 및 장단기 해석을 2D 및 3D 프로그램 각각을 사용하여 수행하였다. 2D 프로그램은 KR에서 개발한 LOMOS를 사용하였으며, 이 프로그램은 주파수영역(Frequency Domain)에서 Strip방법으로 파랑하중 계산을 수행한다. 또한, 3D 프로그램은 DNV에서 개발한 WASIM을 이용하였으며, 이 프로그램은 3D Panel Method를 사용하고 시간영역(Time Domain)에서 파랑하중 계산을 수행한다.

### 3.3 주요 하중에 대한 설계파 선정방법

2D 및 3D 직접하중해석으로 계산된 장기해석 값을 기준으로 하여 운항기간 동안 선박이 겪을 수 있는 최대하중을 계산하였으며, 이를 이용하여 이 값이 발생하는 등가의 설계파를 선정하였다. 여기에서 설계파고는 장기해석값을 각각의 주요하중에 대한 최대 RAO로 나눈 값을 사용하였다.

### 3.4 해석 조건

해석조건은 ABS, DNV, KR선급의 직접하중해석법에 대한 지침을 참고하여 다음과 같이 정하였다(DNV 2003, ABS 2005, KR 2005)

1) 적재조건은 컨테이너선에서 일반적으로 가장 높은 응력을 보이는 Max. Hogging at Scantling Draft에 대해서 계산을 수행하였다.

- 2) 속도는 Service Speed의 2/3 을 사용하였다.
- 3) 장기해석시 확률수준은  $10^{-8}$  에서 계산하였다.
- 4) Wave Spectrum은 Pierson Moschowitz를 사용하고,  $\text{Cos}^2$  Spreading을 사용하였다.
- 5) 조우각은 0 도에서 180 도 까지 30 도 간격으로 하였다.
- 6) 파주기(Wave Period)는 0.2rad/s ~ 1.6rad/s가 포함되게 하고, 간격은 최대 0.05rad/s로 하였다.
- 7) 각각의 조우각에 대한 발현 확률을 동일하게 가정하였다.
- 8) 장기해석에서 사용한 파랑산포도(Wave Scatter Diagram)는 IACS Rec. 34의 North Atlantic Wave Data를 이용하였다.
- 9) 2D 및 3D 각각에 대해서 비선형성은 고려하지 않았다.
- 10) 설계파 선정을 위한 주요 하중인자는 아래 5 가지를 사용하였다.

- 선체중앙부에서 최대 수직굽힘 모멘트(VWBM)
- L/4 위치에서 최대 비틀 모멘트(TM-L/4)
- 2L/4 위치에서 최대 비틀 모멘트(TM-2L/4)
- 3L/4 위치에서 최대 비틀 모멘트(TM-3L/4)
- 선체중앙부에서 최대 수평굽힘 모멘트(HWBM)

### 3.5 운동해석 결과

설계파를 선정하기 위해서는 주요 하중인자에 대한 최대 RAO 를 계산하고 그 때의 조우각 및 주파수에 대해서 설계파를 선정하여야 한다. 해석 결과, 수직굽힘 모멘트의 경우에는 180 도에서 최대 RAO 가 발생하고, 비틀 및 수평굽힘 모멘트의 경우에는 주로 60 도와 120 도에서 최대 RAO 가 발생하므로 60 도, 120 도 및 180 도에 대해서 각 주요 하중인자에 대한 RAO 를 8,000TEU 급에 대해 Fig. 3.1 ~ Fig. 3.5 에 나타내었다.

계산 결과 각 주요 하중에 대해서 최대 RAO 값을 유발하는 주파수 및 조우각을 하중프로그램 및 선박별로 정리하면 Table 3.1 와 같다. 여기서, 비틀모멘트는 선박 중앙부의 전단중심을 기준으로 계산되었다. Table 3.1 를 보면 VWBM 조건의 경우 2D 나 3D 프로그램 모두 동일한 조우각(180 도)에서 최대 RAO 가 발생하며 주파수는 0.45rad/s ~

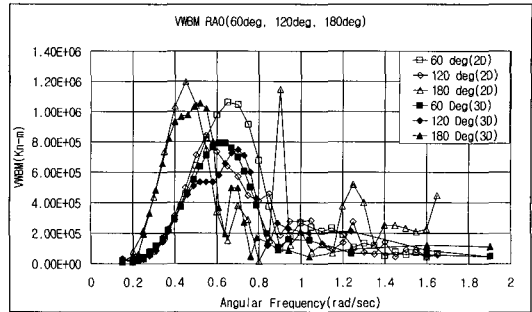


Fig. 3.1 8,000TEU VWBM RAO at Midship

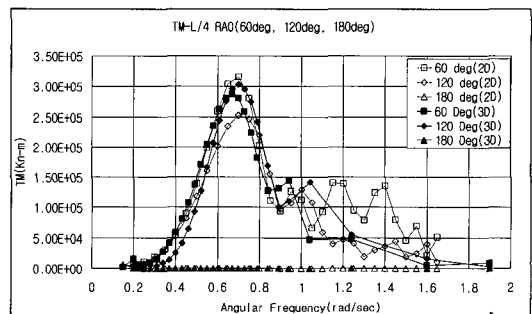


Fig. 3.2 8,000TEU TM-L/4 RAO

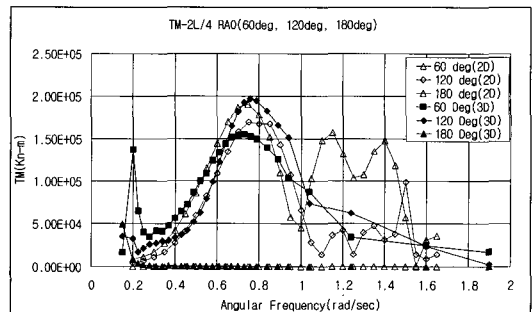


Fig. 3.3 8,000TEU TM-2L/4 RAO

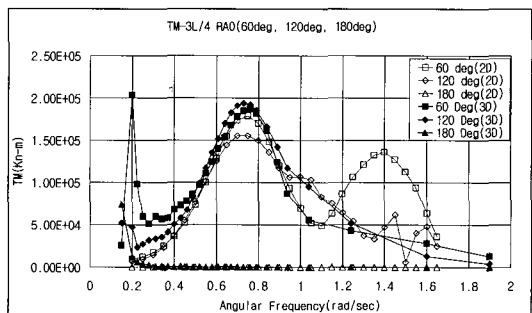


Fig. 3.4 8,000TEU TM-3L/4 RAO

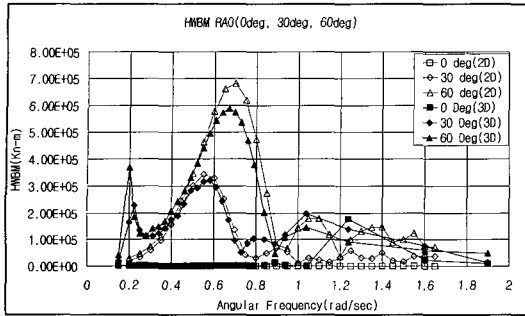


Fig. 3. 5 8,000TEU HWBM RAO at Midship

0.52rad/s 근처에서 최대 RAO 가 발생함을 알 수 있으며, 비틀 모멘트나 수평급침 모멘트의 경우에는 선박별로 다르나 조우각은 60 도와 120 도에서, 주파수는 0.59~0.8rad/s 에서 주로 최대 RAO 가 나타남을 알 수 있다. 참고로 NK 선급의 Ryuji Miyake(2004)등이 계산한 결과에 따르면 비틀 모멘트가 최대가 되는 조우각은 주로 120 도며, 파장은 0.35L 정도라고 하였는데 최대 비틀 모멘트가 L/4 에서 발생하므로 TM-L/4 조건과 비교해 보

Table 3. 1 Heading angle and angular frequency for each Max. RAO value

Vessel	Item	VWBM	TM-L/4	TM-2L/4	TM-3L/4	HWBM
5,500 TEU	2D(freq.)	0.500	0.750	0.800	0.800	0.750
	2D(heading)	180 deg	60 deg	60 deg	60 deg	60 deg
	3D(freq.)	0.482	0.759	0.814	0.759	0.704
	3D(heading)	180 deg	120 deg	120 deg	120 deg	120 deg
8,000 TEU	2D(freq.)	0.45	0.700	0.750	0.750	0.700
	2D(heading)	180 deg	60 deg	60 deg	60 deg	60 deg
	3D(freq.)	0.520	0.700	0.760	0.730	0.700
	3D(heading)	180 deg	120 deg	120 deg	60 deg	60 deg
9,600 TEU	2D(freq.)	0.450	0.650	0.700	0.700	0.650
	2D(heading)	180 deg	60 deg	60 deg	60 deg	60 deg
	3D(freq.)	0.427	0.648	0.759	0.704	0.593
	3D(heading)	180 deg	120 deg	120 deg	60 deg	60 deg

Table 3. 2 Comparison for longterm & Rule value with 2D and 3D results

Vessel	VWBM		TM-L/4		TM-2L/4		TM-3L/4		HWBM	
	2D/3D	2D/Rule	2D/3D	2D/Rule	2D/3D	2D/Rule	2D/3D	2D/Rule	2D/3D	2D/Rule
	2D/3D*	3D/Rule		3D/Rule		3D/Rule		3D/Rule		3D/Rule
5,500 TEU	1.28	2.06	1.2	1.45	0.84	1.55	0.9	0.85	1.01	1.18
	0.96	1.6		1.21		1.85		0.94		1.17
8,000 TEU	1.23	1.93	1.08	1.35	1.08	1.37	1	0.9	1.13	1.09
	0.91	1.57		1.25		1.27		0.9		0.96
9,600 TEU	1.29	1.89	1.16	1.44	1.08	1.41	0.97	0.95	1.06	1.19
	0.96	1.46		1.24		1.31		0.98		1.12

\* : 2D 의 10<sup>-6</sup> 과 3D 의 10<sup>-8</sup> 값을 비교 했을 경우(2D/3D)

면 본 계산에서는 최대 RAO값이 3D를 기준으로 하였을 때 조우각은 동일하게 120 도에서 나타나고, 파장은 약 0.39L ~ 0.42L로 나타났으며, 이는 NK선급의 Ryuji Miyake(2004) 등이 주장한 경향과 잘 맞는다고 할 수 있다.

### 3.6 주요 하중의 장기해석값 비교

세 척의 선박에 대해서 단기해석 및 장기해석을 수행하였으며, 각각의 주요 하중인자에 대한  $10^{-6}$  및  $10^{-8}$  확률수준에 대한 장기해석값(Longterm analysis value)을 계산하여 선급요구치(GL)와 비교하여 Table 3.2 에 나타내었다(GL 2004).

장기해석값에 대한 비교 결과 다음과 같은 경향을 보이고 있다.

- 1) VWBM의 장기해석값은 2D의 경우  $10^{-6}$  이 3D의 경우에는  $10^{-8}$  에서의 값과 유사한 것으로 나타났다.
- 2) 수평굽힘 및 비틀림 모멘트의 경우에는 2D, 3D 모두  $10^{-8}$  에서 유사한 값을 주는 것으로 나타났다.
- 3) 비틀림 모멘트는 기본적으로 L/4 에서 최대이고, 3L/4 의 경우에는 TM의 계산치가 선급요구치에 미치지 못하는 것으로 나타났다.
- 4) 각각의 장기해석값을 3D의  $10^{-8}$  확률수준의 장기해석값을 기준으로 2D의  $10^{-8}$  에서의 값과 비교하였을 때 Table 3.2 와 같으며, 그 차이는 수직굽힘 모멘트의 경우 약 29%, 다른 비틀림 모멘트, 수평굽힘 모멘트의 경우에는 최대 20%의 차이가 난다. 참고로 수직굽힘 모멘트의 경우 2D의  $10^{-6}$  확률수준과 3D의  $10^{-8}$  수준에서의 장기해석값을 비교하면 최대 9% 정도 2D가 작게 나타난다.

## 4. 전선구조해석

세 선박의 하중선정 및 구조해석 등의 전체 과정이 동일하며, 그 해석결과도 유사하게 나타나 설계파 및 구조해석의 응력 결과 등은 주로 8,000TEU 에 대해서만 나타내었다.

### 4.1 구조해석을 위한 하중 산출 방법

2D 및 3D 직접하중해석으로 선정된 설계파에 대해서 비교의 목적으로 전선 구조해석을 수행하기 위해서 선체 외판에 계산된 선체 종강도 모멘트를 절점하중으로 적용하여 전선구조의 종강도에 대한 응답을 비교하여 보았다. 이는 컨테이너선 전선구조의 초기 검토를 위해서 자주 사용되는 방법이다(최병기 등 2005).

### 4.2 하중조건

#### 가. 설계파

5,500TEU, 8,000TEU 및 9,600TEU 각각의 선박에 설계파 선정시 모두 확률수준을 각각의  $10^{-8}$  에서의 장기해석값을 이용하였으며, 2D 설계파 선정시는 조우각이 3D와 다를 경우 3D에 준하여 설계파를 선정하였다. 이는 구조해석결과로서 응력값을 일관성 있게 비교하기 위함이다. 또한 파랑 수직굽힘 모멘트(VWBM)의 경우에는 Hogging 모멘트가 최대가 되는 설계파를 선정하여 구조해석에 사용하였다. 이는 컨테이너선의 정하중상태가 대부분 Hogging이므로 최대 응력이 유발되는 파랑은 중앙부에 파정이 위치하는 경우라는 것을 감안하였다.

#### 나. 하중분포

선정된 설계파에 대하여 주요 하중의 값이 최대가 되는 특정 단계에서 길이방향의 선체 모멘트 분포를 계산하였다. Fig. 4.1~ Fig. 4.5 에 8,000TEU급의 선박에 대해서 2D 및 3D 결과에 따른 설계파의 파랑 수평굽힘 모멘트(HWBM), 파랑 수직굽힘 모멘트(VWBM) 및 비틀림 모멘트(TM)의 분포를 비교할 수 있도록 표시하였다.

2D 및 3D 각각의 장기해석값과 조우각을 기준으로 설계파를 선정하였을 때 하중의 길이방향 분포를 비교한 결과, VWBM조건인 경우에는 기본적으로 2D가 3D에 비해 장기해석값이 크기 때문에 설계하중도 크게 나타나고 있다. 또한, VWBM조건을 제외하고는 비틀림 모멘트가 상대적으로 수직굽힘, 수평굽힘 모멘트에 비해 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다. 특히, TM-2L/4 의 경우에는 비틀림 모멘트의 길이방향 분포가 상대적으로 더 큰 차이를

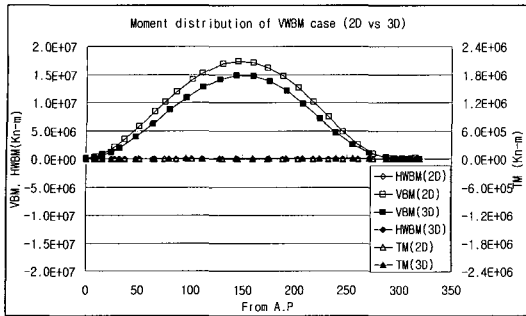


Fig. 4. 1 Moment distribution of Max. VWBM case(8,000TEU)

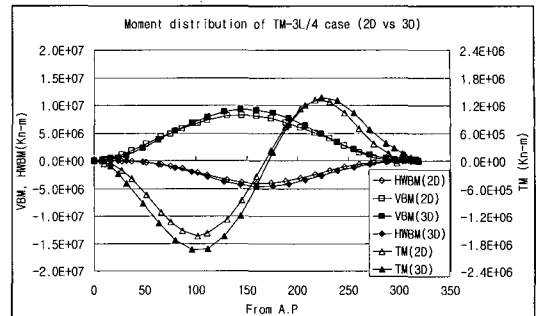


Fig. 4. 4 Moment distribution of Max. TM=3L/4 case(8,000TEU)

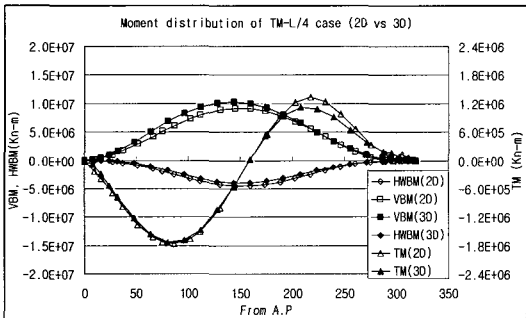


Fig. 4. 2 Moment distribution of Max. TM=L/4 case(8,000TEU)

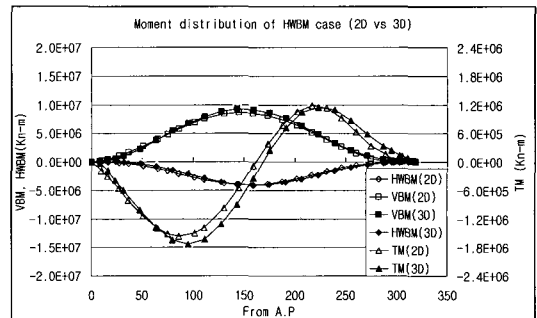


Fig. 4. 5 Moment distribution of Max. HWBM case(8,000TEU)

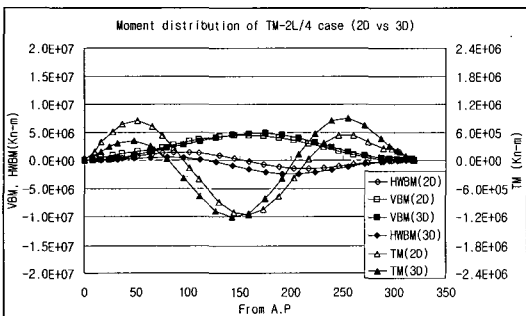


Fig. 4. 3 Moment distribution of Max. TM=2L/4 case(8,000TEU)

보이고 있다

### 4.3 구조해석결과

#### 가. 응력 비교

선정된 설계파에 대한 각각의 선체 종강도 하중

분포를 앞서 4.1 장에서 소개한 방법에 따라 선체에 전체적으로 분포시킨 모멘트를 절점하중으로 치환하고 전선 모델에 적용하여 구조해석을 수행하였으며, 각 하중조건에 대해서 상갑판부(Upper Deck)와 선저부(Bottom Shell)의 종방향 응력을 비교하였다. 응력비교는 동일한 하중조건에 대해 2D 와 3D 의 하중해석 결과를 이용하여 상갑판부와 선저 중앙부에서의 종방향 응력을 기관실 격벽에서 선수부까지 길이방향으로의 분포를 비교하여 8,000TEU 급에 대해서 Fig 4.6 에서 Fig. 4.10 까지 나타내었다. 비교결과 VWBM 조건의 경우에는 응력분포는 2D 와 3D 의 결과가 유사하나 그 값에서는 장기해석값의 차이로 인해 상당히 큰 차이가 나타났다. 또한 비틀 모멘트의 경우에 TM=L/4 의 경우에는 세척의 선박 모두 상당히 유사한 해석결과를 보이고 있으며, 그 이외 다른 하중조건에서는 종방

항응력의 길이방향으로의 분포는 유사하게 나타나고 있으나, 전체적으로 값의 크기는 많은 차이를 보이고 있다. 참고로, 선박별 3D 구조 해석 결과 중 TM 조건에 대해 전선 모델의 변형양상을 Fig. 4.11~Fig. 4.13에 나타내었다.

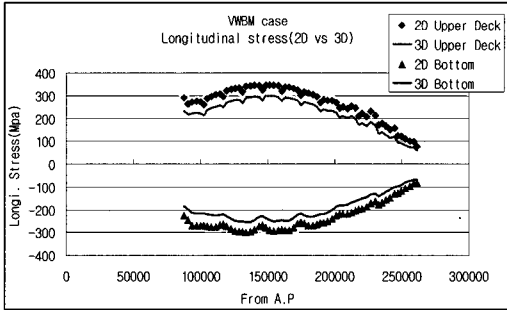


Fig. 4. 6 Longitudinal stress of Max. VWBM case(8,000TEU)

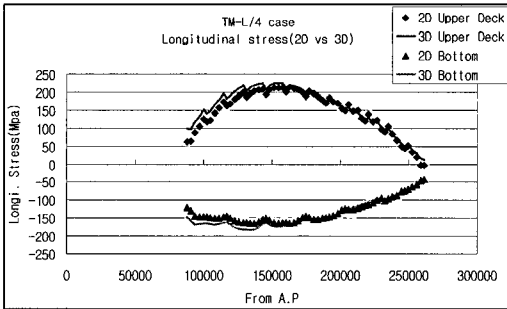


Fig. 4. 7 Longitudinal stress of Max. TM-L/4 case(8,000TEU)

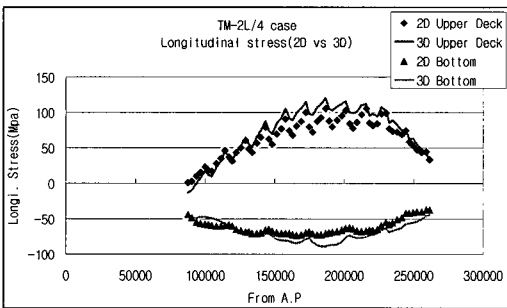


Fig. 4. 8 Longitudinal stress of Max. TM-2L/4 case(8,000TEU)

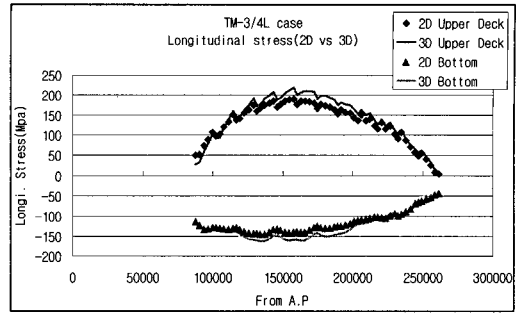


Fig. 4. 9 Longitudinal stress of Max. TM-3L/4 case(8,000TEU)

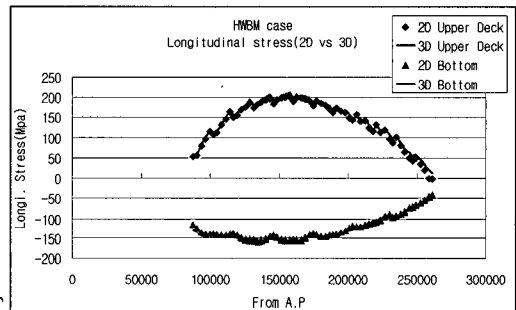


Fig. 4. 10 Longitudinal stress of Max. HWBM case(8,000TEU)

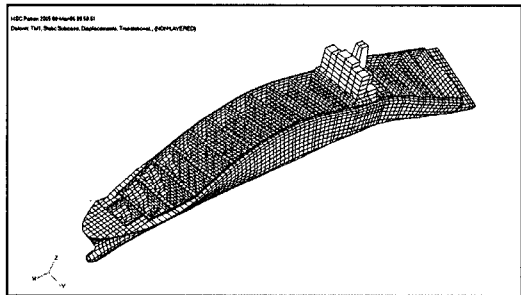


Fig. 4. 11 5,500TEU Max. TM-L/4 case(3D)

나. Hatch Opening 대각선 변형량 비교

Hatch Cover 설계시 주요한 설계기준인 Hatch Opening의 대각선 변형량을 계산하였으며, 최대값을 기관실 격벽에서 선수부 격벽사이의 각 화물창에 대해서 비교하여 보았다. 2D 및 3D 각 해석 결과 별 최대값은 Fig. 4.14에 수치로 각각 나타



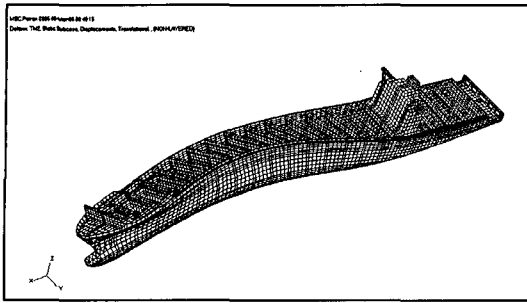


Fig. 4. 12 8,000TEU Max. TM-2L/4 case(3D)

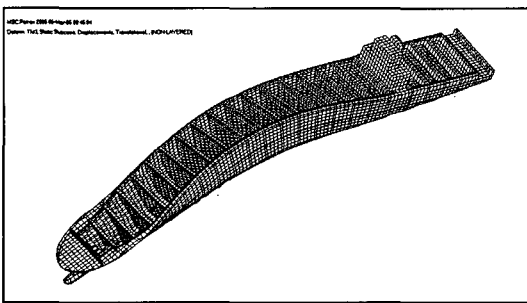


Fig. 4. 13 9,600TEU Max. TM-3L/4 case(3D)

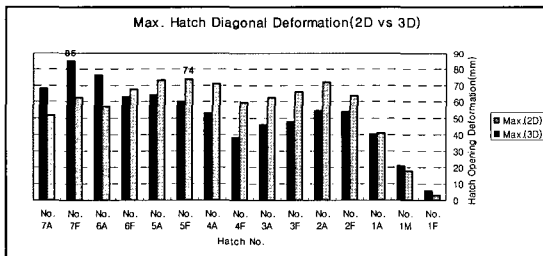


Fig. 4. 14 Max. Hatch Diagonal Deformation for 8,000TEU

내었다. 변형량은 각 하중 조건별로 계산하지 않고 각 선박의 Hatch 별로 최대값만을 비교하였다. 이는 일반적으로 Hatch Cover 설계시 길이방향으로 각각의 Hatch 의 최대 변형량을 계산하여 그 최대값을 기준으로 설계하기 때문이다. 최대값 계산결과, 2D 및 3D 의 변형량 차이가 약 15%~36% 정도가 나며, 이는 Hatch Opening 의 대각선 변형이 비틀 모멘트의 길이 방향 분포에 많은 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 컨테이너선과 같이 방형계수(Block coefficient)가 작은 선박에 대해서 2D 및 3D 각각의 방법에 의한 파랑하중 해석 프로그램을 사용하여 운동 및 하중해석을 수행하고, 그 하중 분포를 전선구조 모델에 적용하여 구조해석을 수행하여 보았다. 이 결과를 통해서 설계자가 3D 프로그램 대신 2D 프로그램을 사용하였을 경우 구조설계시 유의해야 할 점들에 대해서 검토하여 보았다.

검토 결과, 2D 프로그램을 사용하여 운동계산을 수행하였을 때 컨테이너선의 주요 하중인 비틀 모멘트나 수직굽힘 모멘트 등에 대해서 최대 RAO가 발생하는 조우각이 3D 프로그램의 해석결과와 다르고, 최대값은 전반적으로 2D가 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한 설계파 선정을 통한 하중분포는 유사하게 나타났으나, 전선구조해석 결과 응력의 절대치 및 Hatch Opening의 대각선 변형량이 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이를 고려하면 2D 프로그램은 초기설계 단계에서 신속한 검토를 위해서 사용될 수 있으나, 실선 설계를 위해서는 3D 프로그램을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 참고로 새로운 선형의 초기설계시 2D 프로그램을 사용할 수 있으며, 이 경우 유의 하여 할 점은 다음과 같다.

첫째, 수직굽힘 모멘트의 경우 RAO는 2D가 3D에 비해서 크게 나타난다. 이는 장기해석의 결과에도 그대로 반영되고 있으며, 장기해석값의 경우 2D의  $10^{-6}$  과 3D의  $10^{-8}$  이 상당히 유사한 결과를 보이고 있으므로 수직굽힘 모멘트를 주요 하중인자로 할 경우 2D 설계파 선정시 확률 수준을  $10^{-6}$  을 사용하여야 3D와 유사한 결과를 보일 것으로 판단된다.

둘째, 비틀 모멘트에 대해서 장기해석을 수행해 본 결과 2D와 3D가 각각의 확률 수준이  $10^{-8}$  에서 유사한 해석 결과를 보이고 있으므로, 2D를 이용한 해석시 수직굽힘 모멘트의 경우를 제외하고, 다른 주요 하중인자의 경우 장기해석결과와는 3D와

동일한 확률 수준을 사용하여야 유사한 결과를 보일 것으로 판단된다.

셋째, 2D의 경우 설계파 선정시 주의하여야 할 점은 각각의 비틀 및 수평급힘 모멘트 조건에 대해서 60 도와 120 도 모두에 대해서 설계파를 선정해보고 최대 응력을 유발하는 조건을 사용하여야 3D와 유사한 결과를 보일 것으로 판단된다. 이는 운동해석을 통한 검토 결과 비틀 모멘트 및 수평급힘 모멘트의 경우 최대 RAO가 나타나는 조우각이 3D와 다르게 나타나기 때문이다.

본 연구에서는 설계파 선정 후 하중해석시 수선면 상부의 기하학적 비선형성이 고려되지 않았으며, 향후 추가적인 연구를 통해 기하학적 비선형성이 고려되었을 경우의 차이에 대한 연구 및 선체 각 부분에 작용하는 압력에 대한 비교 검토를 통해서 피로강도 등 구조강도에 미치는 영향에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 울산대학교 교비 지원에 의한 연구의 결과임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 정병훈, 류홍렬, 최병기, 2005, “ 초대형 컨테이너선 구조 설계를 위한 비선형 파랑하중 생성 및 적용,” 대한조선학회 특별논문집, pp. 15-21.
- 최병기, 최익홍, 이순식, 류홍렬, 2005, “ 초대형 컨테이너 운반선의 초기 구조설계에 대한 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 40-44.

- 하태범, 김대현, 송강현, 2001, 2 차원과 3 차원 방법에 의한 설계 파랑압력의 비교, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 136-140.
- American Bureau of Shipping, 2005, Guidance notes on “ Safehull Dynamic Loading Approach for Container Carrier” .
- Det Norske Veritas, 2003, Classification Notes No. 31.6, Strength Analysis of Hull Structure in Container Ships.
- Germanischer Lloyd, 2004, “ Rule for Classification and Construction, 1 Ship Technology, Part 1 Seagoing Ship, Chapter 1 Hull Structures” .
- Korean Register of Shipping, 2005, 부록 3-2 직접강도평가에 관한 지침.
- Ryuji Miyake, Tingyao Zhu, Toshiyuki Shigemi, Kazuhiro Iijima and Atsushi Kumano, 2004, Study on Wave-Induced Torsional Loads for Practical Strength Assessment of Container Ships, PRADS.



< 류 홍 렬 >



< 이 주 성 >