

해양오염 방지를 위한 이중선체 초대형 유조선의 설계 개발

봉 현 수

〈대우조선공업(주) 부장〉

1. 서 언

산업의 발달로 우리가 살고 있는 지구의 오염은 갈수록 심화되고, 육지뿐만 아니라 해양환경 또한 오염의 도를 더해가고 있다. 이제 무제한적인 산업발전은 환경 보존이라는 커다란 장벽에 부딪혀 그 진로를 대대적으로 수정해야 할 시점에 이르렀다.

일찍이 산업발전에 따른 원유 수송을 위해 유조선이 건조되기 시작하여, 1960년대에 세계적으로 원유의 해상 수송량이 증가함에 따라 초대형 유조선이 등장하게 되었고, 1970년대 중반까지 그 건조량이 증가하다가, 두 차례의 oil shock와 신조선 시장의 불황으로 침체된 뒤 1980년대 중반에 초대형 유조선이 다시 건조되기 시작하면서 1990년대 중반부터는 더욱 많은 신조선 발주가 이루어지리라 예상되고 있다. 이렇듯 원유의 해상 운송량이 증가함에 따라, 유조선의 해상 충돌 및 좌초 사례도 증가하여 해양오염이 날로 늘어나게 되었고, 심지어 해양 생태계가 크게 위협당하는 심각한 지경에 까지 이르게 되었다.

일찍이 1967년 “토리캐년(Torrey Canyon)”호, 1978년 “아모코 캐디즈(AMOCO Cadiz)”호의 해난 사고에 의한 대량의 원유 유출 사고로 국제해사기구(International Maritime Organization)에서는 “해양오염 방지협약 73/78(MARPOL 73/78)”을

발효하였고, 1989년 3월 알래스카 연안에서 “엑슨 발데즈(Exxon Valdez)”호의 좌초로 대량의 원유 유출사고가 발생하여 천혜의 자연보호지역에 해양 오염을 가져오게 되자 미국에서는 유조선의 외벽을 이중구조로 해야 한다는 OPA 90(Oil Pollution Act of 1990) 발효 및 국제해사기구에서는 1992년 3월 제32차 해양 환경오염 방지 회의(The Marine Environmental Protection Committee)에서 이를 규칙화하였다. 지난해 12월 초, 스페인의 “라코루나” 항에서 그리이스 유조선 “에이지언 씨이(Aegean Sea)”호의 좌초 사고와 금년 1월 초 스코틀랜드 북쪽 셰틀랜드 제도에서 발생한 라이베이라 선적의 8만톤급 유조선 “브레이어(Braer)”호의 좌초 사고로 인한 엄청난 원유 유출로 인근 해역의 오염을 가져온 일련의 사고로 말미암아 이중선체 유조선의 주문 및 건조는 더욱 가속화될 것으로 보인다.

본 고에서는 우선 당사에서 설계·건조되어 기 인도된 단일 선체구조 초대형 유조선의 설계 및 건조 경험을 포함한 몇가지의 설계개발을 위한 기반 기술과 경험을 간략하게 검토해 보고, 이러한 해양오염 방지라는 시대적 요구에 따라 경쟁력 있는 신세대 선박으로 당사에서 설계 개발 및 건조한 2종의 차세대 초대형 유조선, 즉 기 인도된 이중선측구조 초대형 유조선(Double Side VLCC) 과, 현재 건조중인 이중선체구조 초대형 유조선(Double Hull VLCC)의 구조적 특징을 소개 하고자 한다. 특히, 후자의 경우 1991년 7월 15

본 원고는 1993년도 춘계 기념강연한 내용임(1993년 4월 16일)

일 World Wide사와 계약 체결되어 건조중 금년 1월 16일 이중선체 초대형 유조선으로는 세계 최초로 한 도크에서 2척(5071/72호선)이 동시 진수된 바 있다.

2. 설계개발을 위한 기반 기술 및 경험

2.1 생산지향적 설계(Design for Production) 개념

선박의 설계 과정에서 선박의 총 건조비를 다루는 제반 활동의 기본 철학은 “생산지향적 설계(Design for Production)” 개념에서 출발한다. 생산지향적 설계 개념은 일찌기 1972년 영국의 Caldwell 교수에 의해 조선산업에 소개되었다고 볼 수 있겠다. 이 개념은 ISSC에 의해 structural design philosophy의 한 부분으로 채택되었고, 다음과 같이 정의되었다.

“Design to reduce the production costs to a minimum compatible with the requirements of the structure to fulfil its operational functions with acceptable reliability and efficiency”

1960년대에는 최적 구조설계에 관한 연구들이 선체 중량을 최소화하는 것으로 시작되었으나, 그 후 전산기술의 발달과 더불어 총 건조비를 최소화 하는 연구가 이루어지게 되었다. 물론 초기에는 생산의 여러 과정들이 충분히 고려되지 않아 그 결과들이 실제 반영되기에는 어려움이 많았으나, 그 후 생산의 work content를 분석하고 실제적인 각종 cost data를 사용하게 되므로써 그 결과 또한 실제적인 건조비의 최소화가 가능토록 그 방향을 제시해 줄 수 있게 되었다. 이들 생산지향적 설계 관련 연구들에서 나타난 결과를 한가지로 요약해 보면: “선체중량을 감소시키면(즉, 자재비가 감소되면) 인건비(Labour Cost)는 증가되며, 이들을 동시에 모두 고려하면 총 건조비를 최소화 하는 조합이 생긴다”라고 말할 수 있겠다.

1988년 미국 조선학회에서 발표한 바 있는 본 저자의 연구(참고문헌[3] 참조)에서 얻어진 결과 중 몇가지를 소개하면 다음과 같다.

대상선박은 150,000 TDW Bulk Carrier로서

주요 요목은,

LBP	262.00 M
B(MLD)	43.20 M
D(MLD)	24.00 M
T(Design)	16.50 M
(Scantling)	17.50 M
Cb	0.853

이며, 구조형상이나 구조계산상의 가정사항들은 위 논문에 기술되어 있어 이를 참고함이 좋을 것이다.

(1) 구조형상 변화에 따른 영향:

여러가지 중앙단면 형상의 변화 가운데 top side와 hopper side tank의 형상 변화에 따른 효과를 살펴보면, 총 건조비를 최소화 하는 inclined bulkhead의 경사각은 대략 top tank에서 17도 hopper side tank에서 30도로 나타났다.

(2) 표준화(Standardisation) 정도의 차이에 따른 영향:

표준화의 정도는 나라마다, 조선소마다 다르다. 강판과 형강재의 표준 규격, block division과 block의 갯수, block 한개의 중량 등은 구조설계에 yard standard를 효과적으로 적용하는데 있어 중요한 인자가 된다. 이들 중 block division의 변화에 대한 효과를 고찰해 보면, 조선소의 하역 및 운반설비, crane 등의 시설 용량이 허용하는 한 가장 적은 갯수의 block division이 가장 유리함을 알 수 있었다.

(3) Transverse Frame Spacing의 변화에 따른 영향:

자재비 곡선은 약간 작은 frame spacing에서 최소가 되며 spacing이 넓어질수록 rule scantling이 커지므로 자재비는 증가한다. 반면에 인건비와 overhead cost는 반대의 경향을 보인다. 그 이유는 intersection joint의 수가 감소하기 때문이다. 이들을 모두 감안할 때 결과적으로 총 건조비가 최소가 되는 frame spacing이 나타난다.

(4) Unit Cost와 Labour Rate의 변화에 따른 영향:

자재비가 3배 가량 증가함에 따라 총 건조비도 55~65% 증가했으나, 최적 web frame spacing은 변함이 없었다. 서로 다른 임률(wage rate)에 대한 영향을 살펴보면, 임률이 높아질수록 총 건조비를 최소로 하는 frame spacing이 커지는 경향을 알 수 있다. 마지막으로 labour rate(즉, manhours per ton)가 높을수록 넓은 spacing에서 건조비의 최소치가 나타난다.

그러므로 생산성이 높은 회사일수록 frame spacing을 줄이는 설계가 경제적인 것이다.

2.2 구조해석 기술

Rule scantling 계산과 preliminary midship section 및 typical web frame section 도면을 작성한 상태에서 cargo hold area는 다음의 5단계로 나누어 구조해석을 수행하며, 특히 기관실 및 선수구조에 대해서도 구조해석을 수행하여 그 결과를 도면에 반영함으로써 선체구조에 대한 안정성을 높였다.

—Step 1: 2-D Cargo Space Grillage(Beam Model)

—Step 2: 3-D Coarse Mesh FEM(2 Hold)

—Step 3: 2-D Fine Mesh FEM

—Step 4: Buckling Strength Analysis

—Step 5: Fatigue Analysis

최근 hardware의 급속한 발달로 주요 관심부재에 대해서는 fine mesh를 병행 실시하여 2~3개 hold에 대한 3-D semi-fine mesh를 수행하는 기법을 이용하고 있으나, 당사 hardware의 용량과 반복되는 computer run time의 loss 및 model의 복잡성 등을 방지하는 목적에서 별도의 2-D fine mesh하는 기법을 사용하였다. 특히, 당사에서 보유하고 있는 ANSYS program의 경우 coarse mesh model의 경계조건을 automatic transferring 하는 기능이 있기 때문에 이에 대한 장점을 이용하고 있다.

—Step 1: 2-D Cargo Space Grillage (Beam Model)

3-D coarse mesh FEM 해석에 필요한 경계조건(Moment/Force)을 구하기 위하여 E/R front

bulkhead에서 collision bulkhead까지의 cargo hold 구간에 대한 주요 부재를 beam으로 치환하여 grillage를 수행하였다.

—Step 2: 3-D Coarse Mesh FEM

Cargo hold 중앙부(2 Hold) 구조에 대해 3-D coarse mesh 해석을 수행하였으며, model 및 해석 결과는 다음장의 실선 설계단계에서 언급하였다.

—Step 3: 2-D Fine Mesh FEM

Step 2의 3-D coarse mesh 해석에서 얻어진 경계조건을 이용하여 typical web frame, adjacent web frame, stringer, buttress 구조 및 secondary members(typical longitudinals) 등에 대한 2-D fine mesh 해석을 수행하였으며, 각각의 model 및 결과는 다음장의 실선 설계단계에서 언급하였다.

—Step 4: Buckling Strength Analysis

3-D coarse mesh 해석 및 2-D fine mesh 해석의 결과치를 이용하여 bottom, inner bottom, deck, bulkhead, web frame 및 stringer 등에 대한 buckling strength를 검토하였다.

—Step 5: Fatigue Analysis

피로파괴의 발생 가능성이 크다고 판단되는 side shell longitudinal, web bracket toe 및 hopper 구조에 대해서 fatigue analysis를 수행하였으며, 결과는 다음장의 실선 설계단계에서 언급하였다.

2.3 CAD 적용/개발(SBH System)

89년 12월 선체설계 전용의 일관시스템인 Steerbear-Hull System을 스웨덴의 KCS사로부터 도입·설치하여, workstation 10대와 20명의 TFT를 조직하여 15만톤 OBO선(H.NO.5501-5505)의 중앙부에 시범적용을 시작으로, 현재까지 W/S 60대와 actual user 110명으로 실적선 5선종의 data base 확보와 선박 및 크고 작은 철구조물 공사에 대하여 16종(전 영역 적용)을 진행중에 있으며, 이들의 성공적인 적용을 위하여 노력한 핵심 추진사항은

- (1) 적용 설계영역간(선형/구조/조립/절단도면) 전수 교육으로 선체설계 다 기술화에 주력
- (2) 다선종 동시착수에 대비하여 다가설 일관 조직화하여 1실 4개팀으로 편제(Table 1 참조)

Table 1 조직의 변화

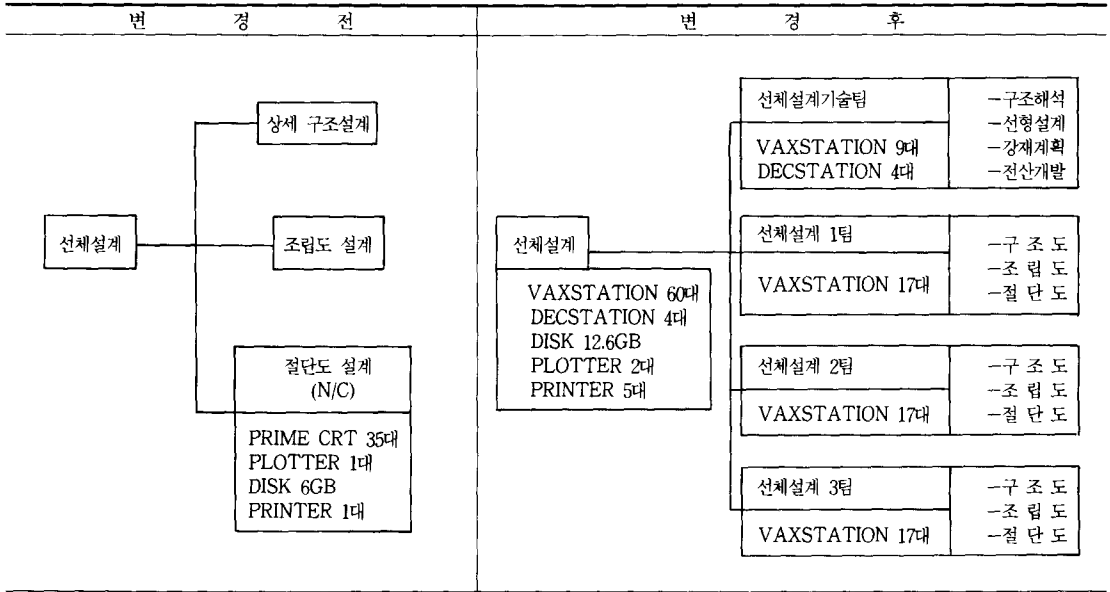
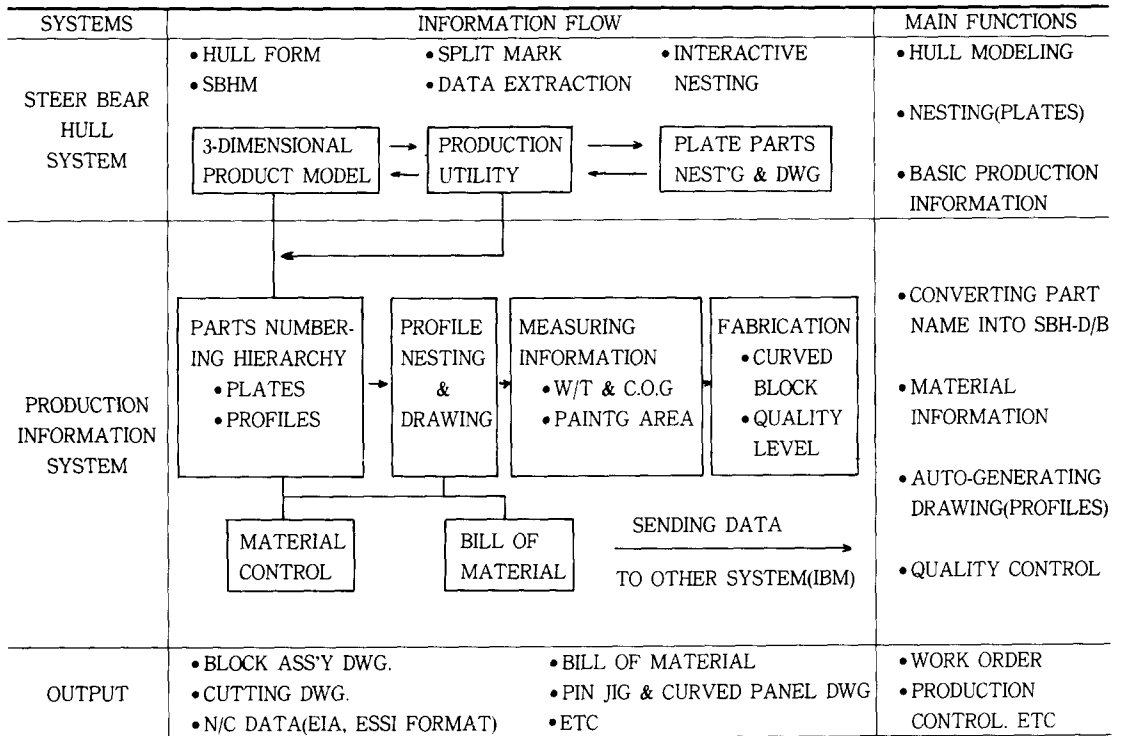


Table 2 자체개발 생산정보 시스템(Developed System Flow)



(3) 적시 사용이 가능하도록 W/S을 확충하여 W/S 1대당 2명의 user 배치

(4) 생산 정보용 요소기술 시스템 자체 개발 (Table 2 참조)

-BOM 관리 시스템

-부재번호 자동 표기 시스템

-Profile 자동 nesting 시스템

-계량정보(W/T & COG, Painting Area 등) 시스템

등이 있고 설계인력의 다기술 정예화, 조직의 일관화, 장비의 고도화, 필요한 요소기술 자체 개발 등을 통하여 design speed-up과 flexibility를 확보하였으며, 현재는 고객만족 설계와 경쟁력 배가 달성을 위하여 정착단계에 접어들었다.

여러형태의 선박이 있으나 2세대 5 type으로 분류되며 첫 호선을 기준으로 지속적인 개선을 통해 선박 품질을 높이는 노력을 시도하였다. 각 세대를 통하여 cargo tank 갯수 조정 및 재배치, 선체 주요 부재의 적정화를 위한 부재간격 조정, wide frame 및 wide longitudinal space에 대한 장단점 분석, 고장력강 확대 사용과 상세구조 연결 부위에 대한 fatigue 문제 해결, ship depth 조정, cross tie와 stringer 적정 배치, 조립과 탑재 블록의 대형화와 의장품 선형공사의 확대 적용 및 부재수/용접장 절감등의 새로운 선박건조 공법 개념 도입을 통하여 양질의 선박 건조를 추구하고 있으며, 이러한 노력과 경험이 신세대 선박으로 불리는 이중선체 초대형 유조선 설계에 적용되었다.

2.4 단일선체구조 초대형 유조선(Single Hull VLCC)의 설계·건조 경험

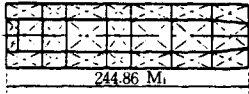
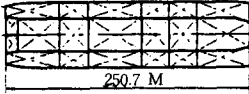
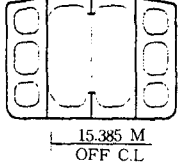
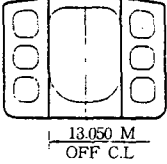
당사는 1986년 World Wide사로부터 수주받은 single hull VLCC를 시작으로 1993년 2월말 현재 23척의 VLCC를 인도했으며 7척은 건조중에 있다.

3. 이중선체구조 초대형 유조선(300K Double Side VLCC) 설계

3.1 구획 및 구조배치 특징

폭 6.0m의 side tank를 ballast 전용 tank로

Table 3 Single Hull VLCC 변천 추이

GENERATION	I		II		
TYPE NUMBER	17	31	33	39	56
NO. OF SHIPS	3 SHIPS	2 SHIPS	4 SHIPS	2 SHIPS	13 SHIPS
DELIVERY DATE	88.12.12.	89.10.31.	90.3.6.	90.12.20.	92.1.3.
DEADWEIGHT, TONNES	250K	280 K			
LOA , M	322.00	327.50	327.50		
LBP , M	310.00	315.00	315.00		
BREADTH, M	56.00	57.20	57.20		
DEPTH , M	29.50	31.20	30.40		
DRAFT , M	21.00	22.00	20.80		
SPEED , KNOTS	14.25	14.50	14.00	14.90	
TANK ARRANGEMENT	-				
MIDSHIP SECTION CONFIGURATION	-				

사용함으로써 충돌시 외벽이 손상되더라도 내벽의 손상을 방지할 수 있도록 하고 single bottom으로 되어 있는 화물유창의 손상시 vacuum 장비를 사용하여 추가적인 화물유의 유출을 억제할 수 있도록 되어 있다.

화물창은 centerline 종격벽으로 나뉘어지는 7쌍의 cargo oil tank, 4쌍의 side ballast tank

및 1쌍의 slop tank로 구성되어 있다. 주요 요목, 선주, 선급 및 생산일정은 다음과 같다.

LBP	320.00 M
B(MLD)	58.00 M
D(MLD)	31.00 M
T(Design)	20.80 M
(Scantling)	22.00 M

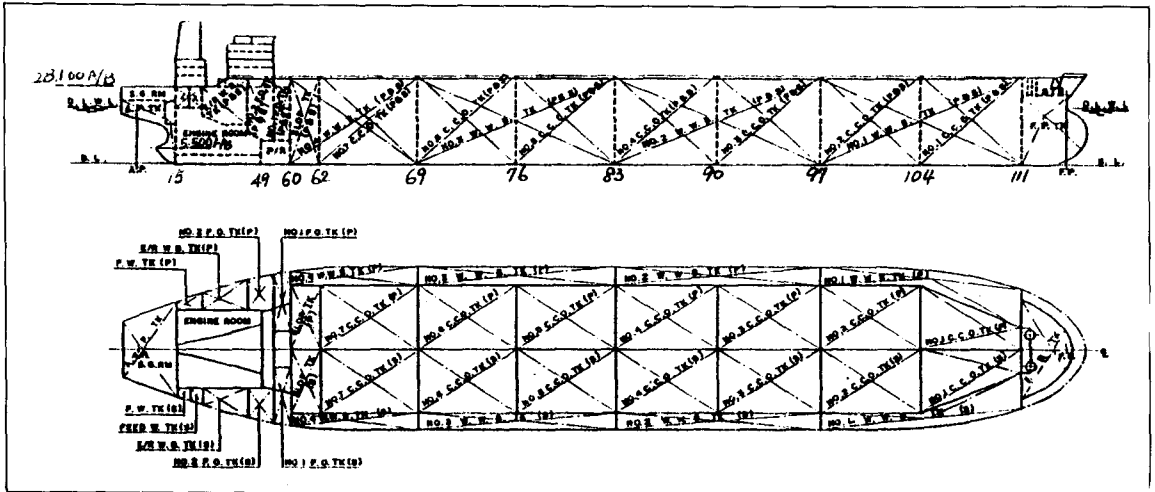


Fig. 1 General arrangement

Table 4 구획 / 구조 배치시 검토 항목

구분	NO.	항 목	내 용	비 고
구 획 배 치	1	Cargo Volume	C/H당 95% Loading으로 200만 Barrel (약 318,000 M ³ 적재)	SPEC. 350,000 M ³
	2	Ballast Volume	Ballast Draft 유지 가능한 용량	SPEC. 95,000 M ³ (INCL'G Peak Tank)
	3	Trim condition	선미 Trim 유지	
	4	Hypothetic Oil Outflow	MAX. 30,000 M ³ ⇒ Actual 25,458 M ³ (Bottom Damage) 29,485 M ³ (Side Damage)	
구 조 배 치	5	구조적 안정성	① C/H 길이 및 갯수 ② L.BHD 갯수 및 위치 ③ D/S 폭 ④ Primary 구조 배치 ⑤ Fatigue 대책 마련	35×7+10=255 M 3 EA 6 M 3 STR. 일면 배치 "T" Bar 적용확대, Back BKT 취부
	6	생산성 향상	① Double Side 구조에 대한 건조공법 ② 부재수, 용접장, 도장 면적 최소화	
기타	7	선박 성능 향상	① Ship Operation 용이 ② Maintenance 용이 ③ Passage/Access 용이 ④ Ventilation 용이 ⑤ Safety 고려	Three(3) Segregation Loading Type

Cb 0.817
 Speed 15.50 KTS
 선주 Gotaas-Larsen
 선급 DNV
 강제 절단 91. 7. 15.
 Keel Laying 91. 11. 4.
 진 수 92. 4. 25.
 인 도 92. 7. 7.

상기의 구획배치는 주요 구조배치와 동시에 수행되며, 구획/구조 배치시 주요 검토사항은 다음 table과 같다.

3.2 구조 특징

Centerline에 종격벽이 설치됨으로 해서 횡능골이 좌·우현 비대칭 구조로 되어 있으며, hull girder shear force의 centerline 종격벽에의 과도한 집중으로 plate 두께를 local rule requirement 보다 30% 정도 증가시켰다. cross tie 미설치로 인한 횡강도 문제는 구조해석을 통하여 vertical web frame들간의 상대 변위로 인하여 secondary member (longitudinal stiffeners)에 높은 응력이 발생하는 곳은 web frame의 전·후면에 bracket를 배치하였다.

Fatigue strength 측면으로 고려된 것은 slit type slot 적용, side shell longitudinal에 "T" type 확대 적용, longitudinal에 연결되는 web stiffener에 key hole type의 scallop 적용 및 back bracket 적용 등이 있다.

Cargo oil tank의 bottom damage시 vacuum 장비를 사용하여 oil의 유출을 억제할 때 발생하는 추가압력에도 견딜 수 있도록 보강되어 있다. 고객 service 차원에서는 선박의 보수 유지를 위해 side ballast tank내의 상부에 inspection platform을 설치하였으며, 화물유류의 하역시 잔유가 남지 않도록 충분한 drain hole을 시공하였다.

3.3 구조 계산

3.3.1 Rule Scantling 계산

결정된 principal dimension과 midship section 형상을 기초로 local rule scantling 계산을 수행하였으며, hull girder에 대한 결과는 아래와 같다.

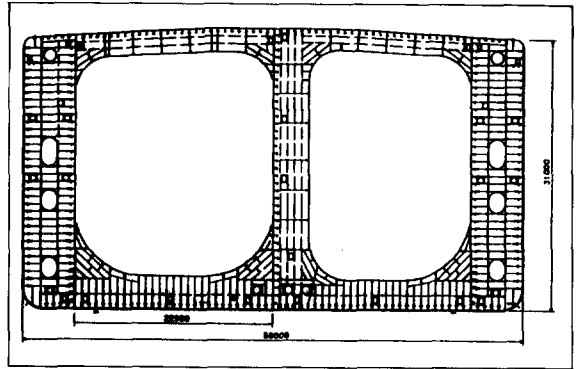


Fig. 2 Midship section

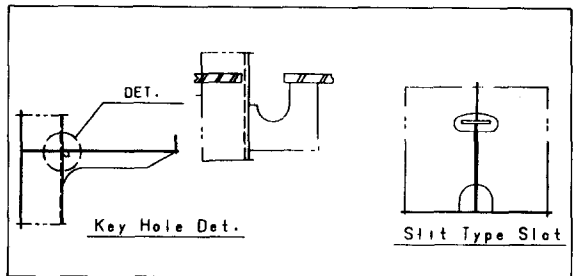


Fig. 3 Key Hole 및 slit type slot detail

Table 5 Bending moment 및 section modulus

(Unit: KN · M)

구 분	S.W.B.M (Rule Req.)	W.B.M (Rule Req.)	Total
Hogging	7.359E6	5.378E6	1.274E7
Sagging	6.793E6	5.944E6	1.274E7

(Unit: M³)

구 분	Min.Section Modulus Req.	Actual Sec. Modulus	Excess (%)
Deck	67.877	68.878	101.5
Bottom	73.710	76.561	103.9

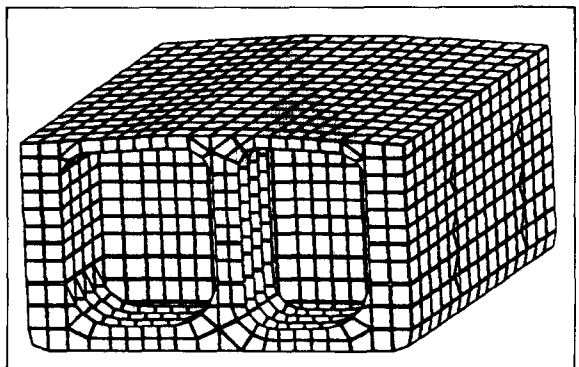


Fig. 4 3-D Coarse mesh FEM

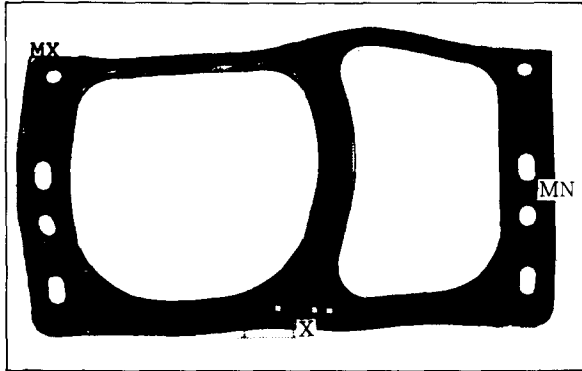
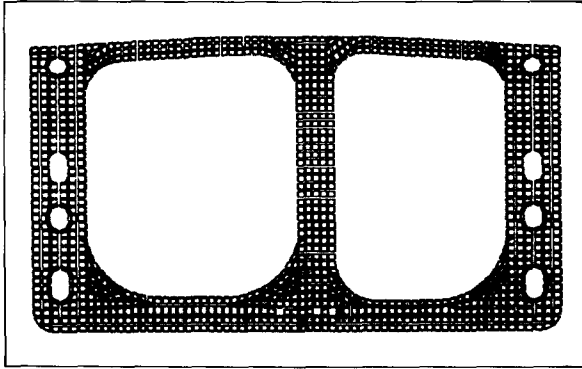


Fig. 5 2-D Fine mesh FEM for typical web frame

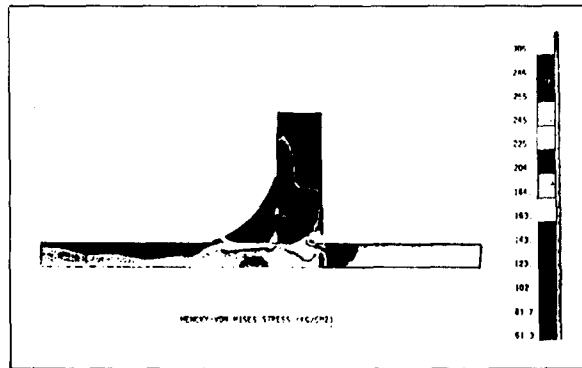
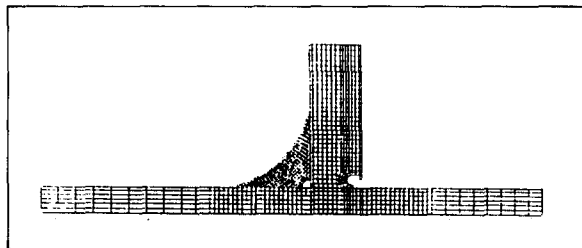


Fig. 6 Fatigue analysis for side shell longitudinal

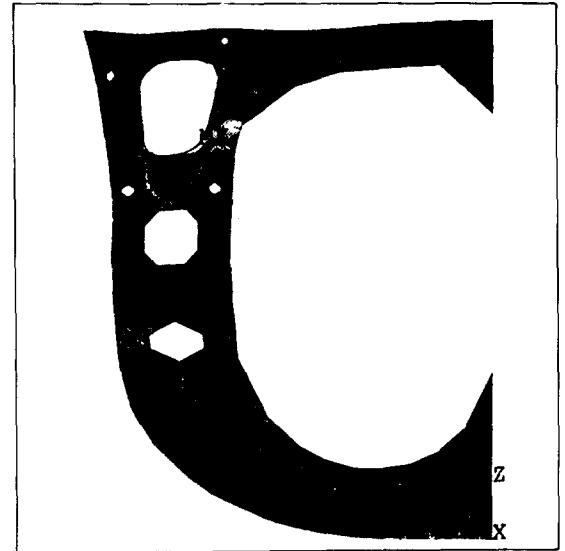
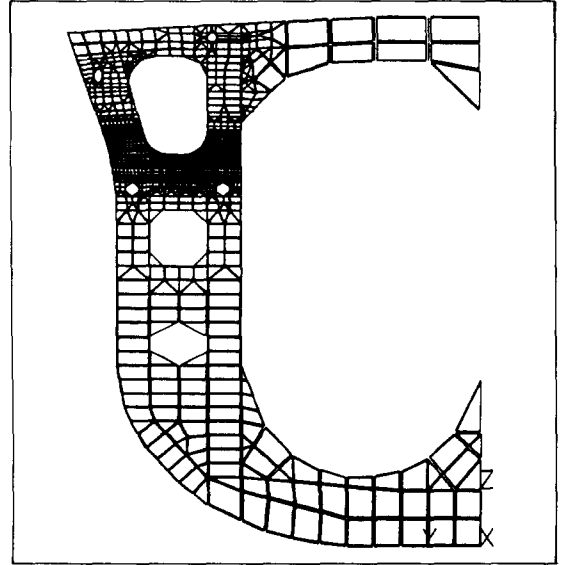


Fig. 7 Structural analysis for FR. 108 section

3.3.2 C/H 중앙부 구조해석

2.2에서 언급한 절차에 의거 단계별로 구조해석을 하였으며, model 및 해석결과는 다음과 같다.

3.3.3 C/H FWD Area 구조 해석

Cargo hold FWD부는 선형 및 side longitudinal bulkhead의 knuckle 때문에 side tank의 폭이 넓어져 중앙부와는 전혀 다른 형상이 된다. 따라서, 이 부위의 구조 안정성을 점검하기 위해 NO.1

hold의 typical web frame에 대한 구조 해석을 수행하였다.

3.3.4 Engine Room 및 Fore Peak Tank Area 구조 해석

Transverse web, girder 및 stringer에 대해 직접 구조해석법을 통하여 구조안정성을 점검하였다.

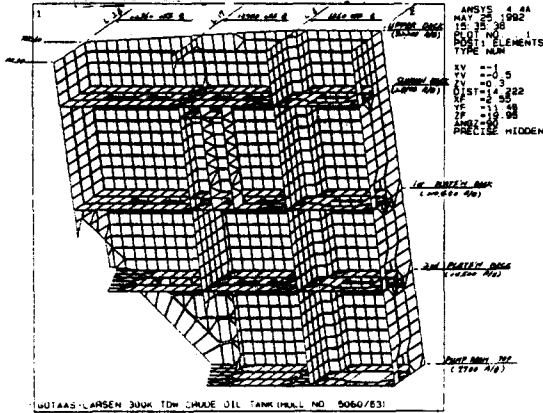


Fig. 8 Structural analysis for E/ R area

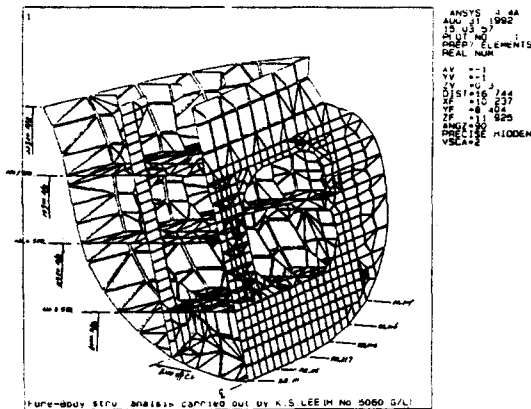


Fig. 9 Structural analysis for F/ P tank area

3.4 건조 공법

본 선박의 block division은 총 건조비 최소화 측면에서

- 설계상 작업물량 최소화
- 작업의 상류화
- 부대작업(운반, 발판 등)의 최소화

-안전 작업을 위한 설계 등의 기본방향에 의하여 분할되었으며, 실선에 반영된 주요사항을 간략히 요약하면 보면 다음과 같다.

- (1) 발판 수량 및 선각부재수 절감을 위해, D/S 구조인 wink tank(폭 6M) block을 무발판 작업 가능한 높이(2.5M) 및 최대 강재발주 size를 고려하여 세로 방향으로 2분할 하였다.
- (2) Cargo hold deck block은 선행 stage에서 deck상의 화기작업 및 의장작업을 완료하기 위해 P.E Stage에서 전폭 P.E를 실시하였다.
- (3) F.P tank내의 화기작업 방지 및 발판 감소를 위해, 선행 stage에서 BHD 부위에 대한 leak test가 가능하도록 선수 BHD에서 선미 쪽으로 2.8M 지점에서 block을 분할하였다.
- (4) 작업의 상류화를 위해 E/R 및 선수의 deck block을 전폭 P.E하여 선행단계에서 D/G, windlass를 선행 설치한 후 탑재토록 block을 분할하였다.

280K Single Hull 대비 block수 및 생산 물량 증감은 다음과 같다.

항 목	증 감	
Block 수	Cargo Hold	거의 같음
	Total	9.3% 감소
생산 시수 (M/H)	거의 같음	
취부장 (M)	3.7% 감소	
부재수 (EA)	5.4% 감소	
도장 면적 (M ²)	10% 증가	
중 량 (TON)	6.4% 증가	

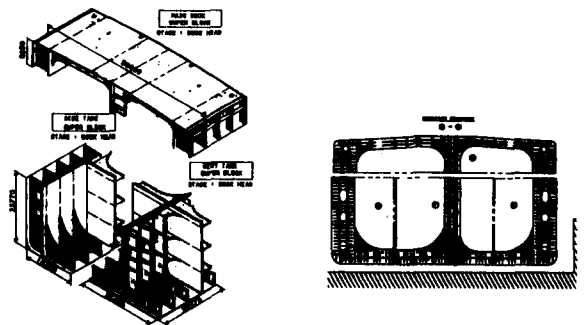


Fig. 10 C/ H block의 건조 공법

4. 이중선체구조 초대형 유조선(300K Double Hull VLCC) 설계

4.1 기획 및 구조배치 특성

IMO의 MARPOL 73/78, ANNEX I REG, 1 3F 규정에 따라 중·대형 유조선의 경우 이중선체 격벽간 거리는 2.0M 이상이 되어야 한다. 화물창은 15개의 C.O.T와 1쌍의 slop tank 및 5쌍의 ballast tank로 구성되어 있다. 각 쌍의 ballast tank는 선체 중심선부에서 좌·우로 구분 배치되고 그 모양은 "L"형을 이루고 있다. 화물창의 기획배치시 주요 고려사항은 아래와 같다.

- 약 200만 barrel(318,000M³) 이상 적재 가능한 cargo volume 확보
 - Ballast Draft 유지 가능하게 충분한 ballast 용량 확보
 - 좌초/충돌시 기름 유출량 최소화 규정 만족
 - MARPOL 규정 만족(Double Hull 폭 > 2.0M)
- 상기 기본사항들을 만족시키면서 복원성, Trim 조건등에 적합한 일반 배치를 완성하였다. 주요 요목, 선주, 선급 및 생산일정은 다음과 같다.

LBP	320.00 M
B(MLD)	58.00 M
D(MLD)	31.00 M
T(Design)	20.80 M

(Scantling)	22.00 M
Cb	0.826
Speed	15.70 KTS
선주	World Wide
선급	DNV
강재 절단	92. 6. 14.
Keel Laying	92. 9. 21.
진 수	93. 1. 16.
인 도	93. 5. 6.

상기의 기획배치는 주요 구조배치와 동시에 수행되었으며, 기획/구조 배치시 주요 검토사항은 이중 선측 구조 설계와 같은 방법으로 검토하였다.

4.2 구조 특징

중양 횡단면의 형상은 선박의 중량 및 작업량에 큰 영향을 미치므로, 다음의 여러가지 경우에 대해서 중량, 부재수, 용접장, 도장 면적 및 작업성등을 고려하여 총 건조비를 최소로 하는 구조 배치를 하였고, 선박의 보수 유지 및 선주의 편의성 증대를 최대한 도모하였다.

- Double Bottom 높이 및 Double Side 폭
- 새로운 IMO REG.에 따르면 D/B 높이 및 D/S 폭은 2.0(M)이상 되어야 한다고 규정되어 있다. 본선에서는 충돌 및 좌초시의 안정성 확보 측면에

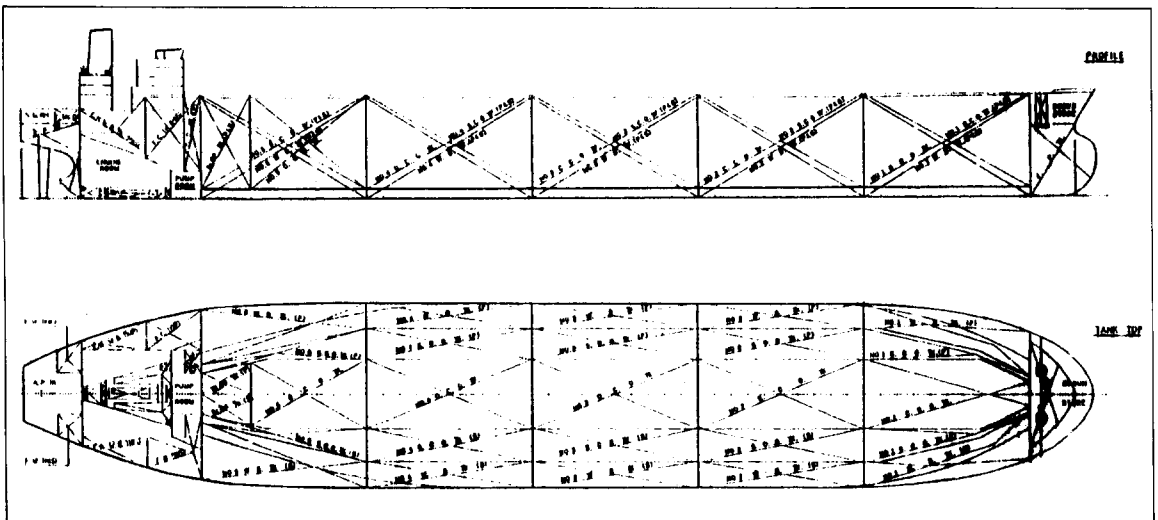


Fig. 11 General arrangement

서 D/B 높이 3.0(M), D/S 폭을 3.52(M)로 결정하였다. 특히, 초기에는 도장 관련 무 발판 작업을 위하여 D/B 높이 및 D/S 폭을 2.5(M) 내외로 할 것을 고려 하였으나, 중량 및 D/B 내부에 설치되는 main ballast pipe를 감안한 passage 문제, D/S 내부에 inclined ladder 설치문제로 상기의 dimension을 확정하였다.

- Longitudinal Bulkhead 갯수

Three(3) longitudinal bulkhead Type의 경우 중량 증가 및 hull girder shear force의 centerline longitudinal bulkhead에의 과도한 집중, cross tie의 미설치에 따른 횡강도 확보의 어려움, 횡능골의 좌·우현 비대칭 구조등의 문제로 Four (4) longitudinal bulkhead type으로 결정하였다.

- Side Longitudinal Bulkhead Type

Slanted longitudinal bulkhead type의 경우 구조 안정성은 증가하나 제작상 어려운 점이 많아, straight longitudinal bulkhead type을 채택하였다.

- Cross tie 배치

Cross tie를 center에 배치함으로써 cross tie의 갯수 감소 및 제작 용이, side tank에 설치시 발생할 수 있는 cross tie와 wing water ballast tank와의 연결부에 crack 발생 방지를 도모하였다.

- Hopper 구조 채택

Cargo hold forward와 aft 부위의 이중선체 구조의 연결성 및 double side 구조의 횡강도 확보에 유리하므로 제작상의 어려움은 다소 있지만 hopper 구조를 채택하였다.

- Fatigue 측면 고려

Slit type slot 적용, side shell longitudinal에 "T" type 확대 적용 및 transverse bulkhead에 back bracket를 취부하여 fatigue strength를 높였다.

- 선주 편의성 증대

C.O.T에 inspection platform설치, wing tank

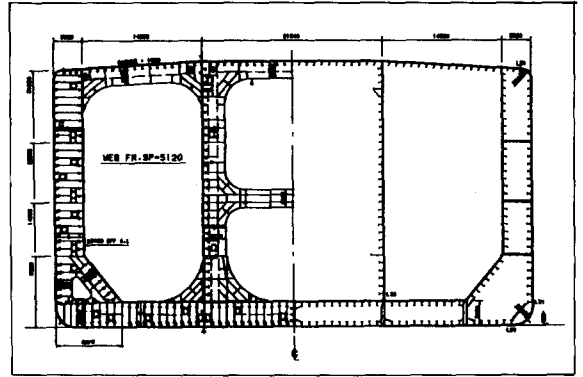


Fig. 12 Midship section

Table 6 Bending moment 및 section modulus

(Unit : KN · M)

구 분	S.W.B.M (Rule Req.)	W.B.M (Rule Req.)	Total
Hogging	6.848E6	9.761E6	1.6609E7
Sagging	6.169E6	1.044E7	1.6609E7

(Unit : M³)

구 분	Min.Section Modulus Req.	Actual Sec. Modulus	Excess (%)
Deck	74.147	78.290	106
Bottom	74.147	102.368	138

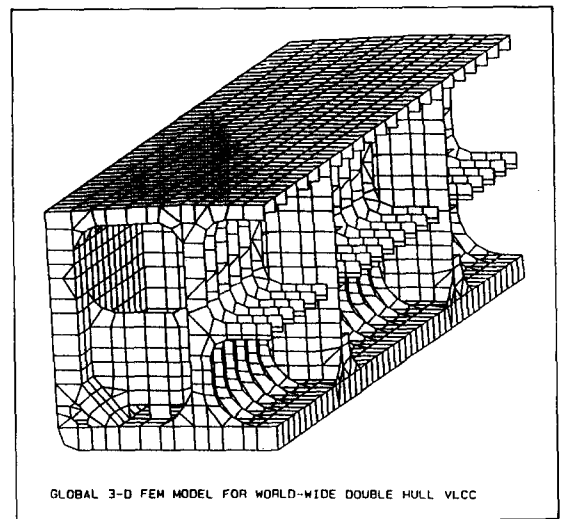


Fig. 13 3-D Coarse mesh FEM

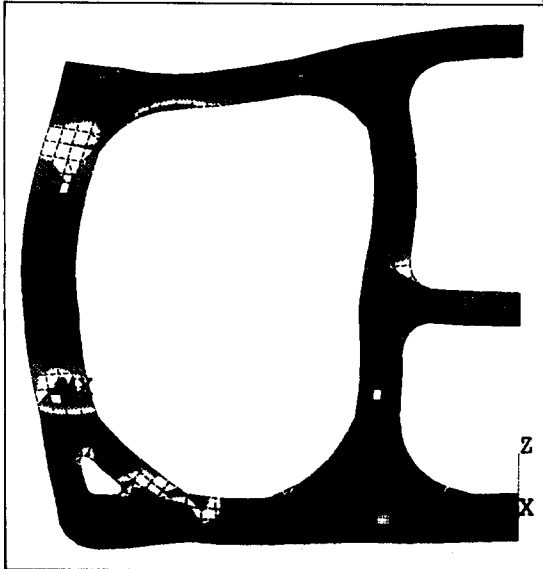
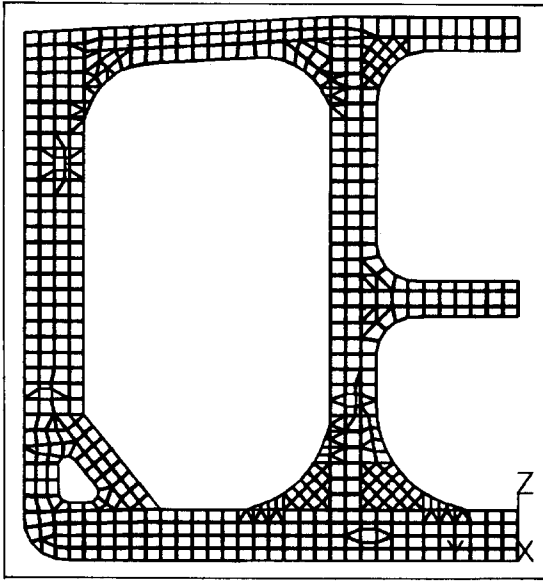


Fig. 14 2-D Fine mesh FEM for typical web frame

내에 inclined ladder설치, hopper tank내에 cat-walk 설치, curved shell plate에 anti-skid bar 설치 및 transverse bulkhead 상부 plate에 부식에 대비한 두께증가 등을 고려하여 선박의 보수유지, 통행 및 close-up survey가 용이하도록 하였다.

4.3 구조 계산

4.3.1 Rule Scantling 계산

결정된 principal dimension과 midship section 형상을 기초로 local rule scantling 계산을 수행하였으며, double side와 double bottom 구조의 채택으로 인하여 내저판 및 종격벽 등 종강도 부재가 대폭 추가되고, 이에 따라 hull girder의 강성이 선급 요구치는 물론 single hull 보다 상당히 큰 값을 가져 구조 안정성 측면에서 유리함을 알 수 있다.

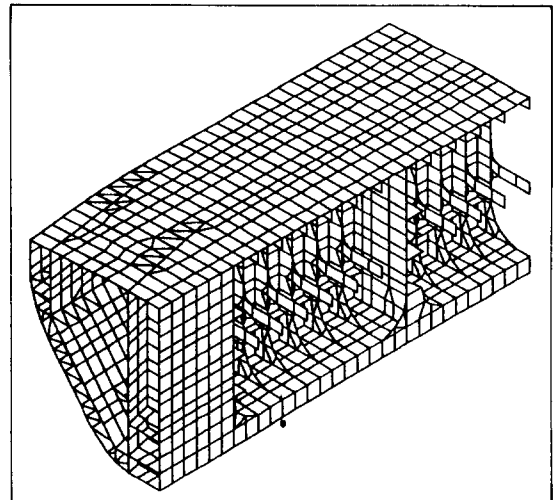


Fig. 15 C/H Aft area 구조 해석(NO.4~NO.5 Hold)

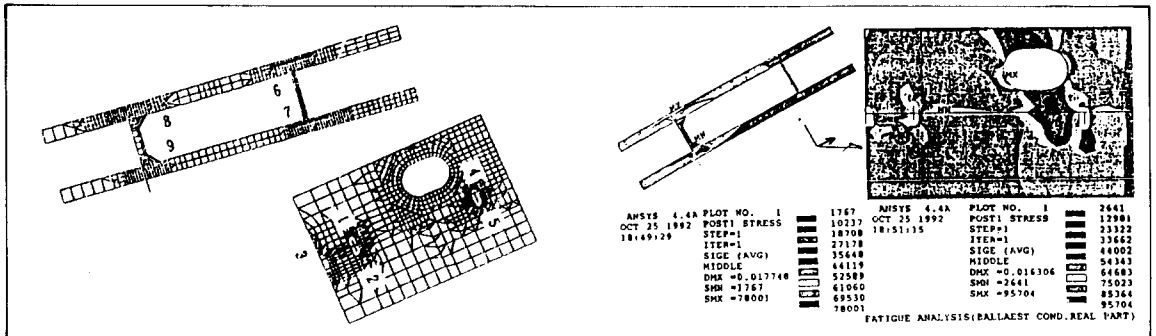


Fig. 16 Fatigue analysis for double side longitudinals

4.3.2 C/H 중앙부 구조해석

2.2에서 언급한 절차에 의거 단계별로 구조해석을 하였으며, model 및 해석결과는 다음 그림과 같다.

4.4 건조 공법

본선의 block division은

- 조립 및 탑재 block의 대형화
- 선각, 의장, 도장 등 제 작업의 상류화
- 부대작업 최소화(발판 최소화)
- 어려운 작업의 최소화(Overhead 용접, 고소작업 최소화 및 Cross Tie 선 취부)

등의 기본방향에 의하여 분할 되었으며, 설계시 반영된 주요사항은 다음과 같다.

(1) 대형 정규 P/E(Pre Erection) 유도

당사 보유 crane의 최대 용량(900TON)을 활용하여 block 대형화를 통한 ring type 탑재 방식 적용으로 탑재 갯수 최소화, 280K Single Hull 대비 block 수 및 생산물량 증감은 다음과 같다.

항 목		증 감
Block 수	Cargo Hold	6.5% 증가
	Total	12.2% 감소
생산 시수 (M/H)		거의 같음
취부장 (M)		5.1% 감소
부재수 (EA)		3.9% 감소
도장 면적 (M ²)		40.0% 감소
중 량 (TON)		11.6% 증가

- (2) Main cargo pipe의 선취부를 위하여 transverse bulkhead 자를 double bottom block에 일체화하였다.
- (3) E/R bulkhead 및 선수 bulkhead에 인접한 shell longitudinal의 block butt 이동으로 burn damage를 최소화 하였다.
- (4) Cargo hold block은 상하 높이 방향 2등분하여 정규상태로 P/E로 main deck는 정규상태로 전폭 P/E하여 deck상의 의장 장비 설치를 선취화하였다.
- (5) Engine room 및 aft body는 대형 정규 상태 P/E로 각종 장비의 선취설치가 가능토록 하고, 탑재발판의 수를 최소화하였다.

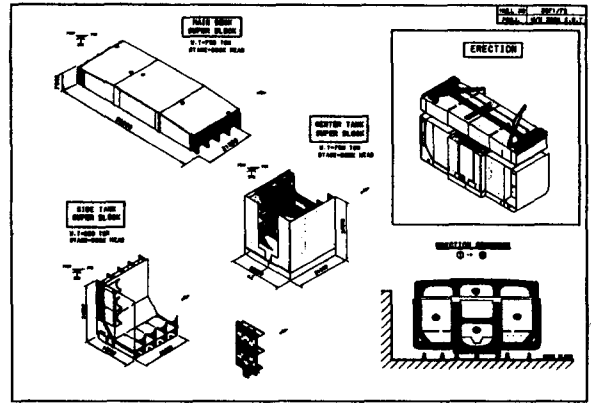


Fig. 17 Cargo hold block의 건조 공법

5. 결 언

세계 조선소 중 최근에 single hull VLCC를 가장 많이 건조한 경험을 바탕으로 4척의 double side VLCC를 성공리에 인도하여 선주측으로부터 호평을 받고, 나아가 전 세계 최초로 double hull VLCC의 2척 동시 진수라는 성과를 거둘 수 있었던 것은, 각 type의 특성을 고려한 최적의 구획/생산설비 및 작업환경등을 고려한 개선사항을 설계에 적극 반영한 결과로 나타난 것이다.

최근에 신규 수주 상담이 진행되고 있는 double hull VLCC 선주들의 대부분은 당사에서 single hull VLCC를 건조한 경험이 있는 선주들로서, 그동안 고객 만족을 위한 운항, 보수, 점검, 통행, 안전 및 편의성 등 선박 성능향상 측면에서 노력한 결과로 볼 수 있으며, 여기에서 만족하지 않고 당사의 Motto인 VOF(Vessel of the First Class) 구현을 이루고자 최선을 다하고자 한다.

서언에서 언급한 바와 같이 최근 일련의 해양오염 사고로 인한 국제적 관심의 고조 결과, 1993년 7월 6일 이후 계약되는 유조선에 대해서는 이중선체 구조가 의무사항으로 규정되므로서 double hull VLCC의 시황은 매우 밝으리라 예상 된다.

당사는 그동안의 경험을 발판으로 double hull type VLCC에 대한 선두 주자로서의 자부심과 긍지를 가지고 1등선박 설계의 기준을 제시할 것을 기약하며 본고를 마친다.

참 고 문 헌

- [1] J.B.Caldwell, "Design-Construction", Symposium on Modern Ship Structural Design philosophy, Delft, March 1972.
- [2] J.B.Caldwell, "Design for Production", WEGEMT, University of Newcastle, September 1978.
- [3] H.S.Bong, W.Hills and J.B.Caldwell, "Methods of Incorporating Design for Design for Production Considerations into Concept Design Investigation", Proceedings of 1988 SNAME Spring Meeting-13th STAR Symposium and 3rd International Marine Systems Design Conference(IMSDC)-, Pittsburgh, June 1988(also shown in Journal of Ship Production, Vol.6, No.2, SNAME, May 1990). This paper received the 1988 SpringMeeting Award for best paper.
- [4] 봉현수, "개념설계 단계에서 총 건조비를 최소로 하는 생산지향적 설계 적용 방법", 대한조선학회지, 제27권 제3호, 1990.
- [5] 봉현수, 한성환, 엄항섭, "대우조선의 VLCC 설계 경험에 관하여", 조선학회 '92 춘계 연구 발표회, 1992. 4.
- [6] H.S.Bong, S.H.Han, "Recent Development of VLCC Design and Construction in DSHM", Proceeding of PRADS '92. Volume 2, May 92.
- [7] Keizou Yamazaki 외 6인. "Structural Design of 150K Double Hull Tanker", IHI 기술보고서 제32권 제3호, May 92.
- [8] BP Shipping, "Fatigue Evaluation of Tanker Structures", Tank Structure Co-operative Forum '92. Oct. 92.
- [9] 봉현수, 김만수, 최인택, "초대형 이중선체 유조선의 구조설계" 조선학회 '92 춘계연구발표회 1992. 11.
- [10] DNV. Rules for Classification of Steel Ship. Jan. 91.
- [11] IMO. Regulation 13F of MARPOL 73/78. ANNEX I.

