

공학석사 학위논문

연안 항해용 25,000톤급 크루즈선의 개념설계

지도교수 김 동 준

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



부경대학교 대학원

조선해양시스템공학과

진 송 한

진 송 한의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월

주 심 공학박사 김 인 철



위 원 공학박사 김 용 직



위 원 공학박사 김 동 준



대학원장 이학박사 양 용 립 (印)

Conceptual Design of the 25,000 tons Cruise Ship for Coast Voyage

Dept. of Naval Architecture & Marine Systems Engineering **Song-Han Jin**

Directed by Professor **Dong-Joon Kim**

As a leading country of shipbuilding Industry, we have to consider the future of the Korean shipbuilding industry. The rapid growth of the cruise ship industry gives us a potential long lasting market for our future, which faces an urgent need of restructuring.

The excellence we have acquired through the merchant shipbuilding should be passed on to the next generation. The primary competitive power in cruise ship building is not in the minimum building cost, as has been the case with the merchant shipbuilding market, but in the higher quality. The higher quality of a cruise ship can be achieved only when the ship design has reflected the dynamic and various needs of the cruise ship customers. This is what the modern Total Quality Management tells us.

In this research, the conceptual design of the cruise ship that is suitable for Korean coast was carried out.

After the main dimension was presumed, the hull form was developed and the general arrangement for ship parts was achieved and the stability of several load cases was evaluated.

In this process the various kind of empirical formula was examined and some of them was proved its usefulness for cruise ship.

목 차

I.	서론	-----	1
II.	본론	-----	3
1	연안항해용 크루즈선의 설계 개념	-----	3
2	연안항해용 크루즈선의 개념설계	-----	6
2.1	설계선의 주요 특징 요약	-----	6
2.2	설계선의 주요목 추정	-----	6
2.3	설계선의 선형 생성	-----	23
2.4	선형의 유체역학적 성능 평가	-----	34
2.5	선박의 일반배치	-----	36
2.6	선박의 복원력 계산	-----	42
III.	결론	-----	55
IV.	참고 문헌	-----	56

I. 서론

2000년 한 해 우리 나라의 선박 건조량은 1,221만8천G/T로 세계 총건조량의 39.1%를 차지하여 세계 1위를 유지하고 있다. 이는 1999년의 948만1천G/T에 비해 28.9%(273만7천G/T)가 증가한 것이다[1]. 그러나 한국의 조선업 상황은 수주량 증가 수치와는 다른 이중적인 면을 보이고 있다. 한국은 선가 하락, 업체간 과당경쟁, 공급능력 초과라는 세 가지 문제점을 가지고 있다. 국내의 조선산업은 대형 조선업체를 중심으로 수출선을 위주로 건조되고 있으며 선종도 유조선이나 컨테이너선, 살물선이 대다수이다. 세계적으로 수요에 비해 공급이 많은 조선시장에서 이들 선종에 대한 선가가 과거에 비해 현저하게 낮아진 상황이기 때문에 수주량은 많아도 채산성은 오히려 나빠졌다. 특히 80년대 후반 부터는 국내 노동비용의 상승이 생산성 증가를 훨씬 앞지르는 추세이기 때문에 현재와 같이 저가의 선종을 위주로 생산이 이루어지는 국내의 조선산업은 국내외적으로 큰 어려움에 부딪치고 있다. 향후 국내 조선산업이 현재와 같은 비율로 세계 조선시장을 점유할 수 있기 위해서는 현재 국내 조선산업이 보유하고 있는 효율적인 조선설비와 경쟁력 있는 기술인력을 최대한 활용할 수 있는 고부가가치의 특화된 선종을 선택하는 것이다[2].

이에 대한 대안 중 하나가 국내 조선산업의 영역을 획기적으로 확대시킬 수 있는 크루즈선을 선택하는 것이다. 크루즈선은 선박으로서 승객이나 화물을 한 지점에서 다른 지점으로 신속하게 옮겨주는 이동 기능보다는, 승객의 편의성을 최우선으로 고려하고 최상급 호텔 수준의 안락감을 창조하는 휴양/레저설비로 인식되어야 한다. 따라서 크루즈선의 건조에는 일반 상선건조에 필요한 조선기술적 측면의 설계와 함께 고급화되고 전문화된 건축학적 디자인 개념이 필수적이다. 크루즈선 건조사업의 성공여부는 선박설계의 기술력과 경험, 경쟁력 있는 선가, 차별화된 마케팅, 전문화된 내부시설 디자인에 달려있는데, 국내의 경우 선박에 대한 건축학적인 디자인 부분은 거의 경험이 없어서, 일반 상선 건조에서 축적된 기술력과 경험만으로는 국제 경쟁력을 갖춘 크루즈선 건조가 어려운 실정이다.

일반 상선의 건조에 있어서 한국과 일본이 유럽의 조선국가들을 월등히 앞서고 있으나 이는 상선의 건조에 있어 요구되는 기술의 상대적 단순성과 한국과 일본이 가지고 있는 가격 경쟁력 때문이라 할 수 있다. 반면 대표적인 고부가가치 선박인 크루즈선의 경우는 가격보다 품질이 지배적인 역할을 하기 때문에 전통적 유럽 국가들의 기술적 우위 혹은 품질 우위로 인해 반대의 현상이 나타나고 있다. 최근 국내 대형 조선소에서 여객선 사업에 착수하고는 있으나 대형 크루즈선의 수주나 건조실적은 아직도 전무한 실정이다. 특히 최근의 변화인 크루즈선의 대형화, 고급화 추세를 고려해 볼 때 커다란 시장이 앞에 놓여 있음에도 불구하고 아직 아무런 실적을 보이지 못하고 있는 것은, 크루즈선의 설계와 건조에 있어서 국제적인 수준의 품질 경쟁력을 갖추지 못했기 때문이라고 생각된다[2].

이에 본 연구에서는 현재 크루즈 산업과 크루즈선의 추세를 짚어 보고 이를 정리하여, 국내 연안에 적합한 크루즈선의 규모를 살펴보았다. 이렇게 결정된 크루즈선의 개념 설계를 위해 많은 유사실적선을 조사했으며, 일반상선과는 다른 크루즈선의 주요목 추정을 위한 여러 가지 방법론을 제시하고자 했다. 그리고 유사실적선을 이용한 선형변환 기법을 사용하여 설계선의 선형을 생성하고, 이 선형에 대한 저항 계산을 통한 선형의 정도를 평가하였다. 또한 유사선과 계산된 Tank의 Volume에 적합한 일반배치를 수행하였으며, 설계된 크루즈선의 복원성을 계산하여 안정도를 평가하였다.

II. 본론

1. 연안항해용 크루즈선의 설계 개념

최근 세계 크루즈선 건조에 있어서 가장 두드러진 특징은 규모의 대형화이다. 이 대형화 현상은 향후 몇 년 동안 지속될 전망이다. 대형화 경향 이외에 승객의 안전문제, 환경문제, 사고방지를 위한 설계 등이 크루즈선 설계의 최근 핵심 주제로 떠오르고 있다. 현재 대형화된 선박들은 카리브해 연안을 중심으로 하는 중저가형 크루즈 고객을 흡수하기 위한 것이 주목적이다. 규모의 경제를 최대한 살려서 저렴한 크루즈 요금 마케팅을 통해 많은 고객을 흡수하자는 전략이다.

반면 여전히 고급 크루즈 시장에서는 20,000톤급 정도의 비교적 작은 규모의 호화 크루즈 선박이 계속 건조되고 있다. 즉 크루즈 선박의 건조는 목표 시장의 고객에 맞게 차별화 되어야 한다는 것이다. 이점이 한국의 연안항해용 크루즈 선박을 설계할 때 고려되어야 할 중요한 점이다.

크루즈 선박은 이렇게 중저가 시장을 중심으로는 대형화로, 고급 크루즈 시장에서는 소형이면서도 고객의 기대에 맞게 고급 성향으로 차별적으로 설계되고 있는 것이다[3].

따라서 한국의 연안항해용 크루즈선은 다음과 같은 개념을 가지고 설계를 하여야 할 것이다[4].

첫째로, 한국의 연안 크루즈 시장은 중저가형 시장이 될 것이라는 전제 하에서 이에 알맞은 적절한 규모와 설비를 갖춘 크루즈 선박을 설계하여야 할 것이다.

둘째로, 대형 크루즈 선박을 건조하는 것은 무엇보다도 아직 한국의 크루즈 항만이 미비된 여건상 타당치 않다. 또한 한국의 남서해안이 굴곡이 심하며 다도해로 이루어져 있다는 점, 관광자원이 풍부한 여러 도서 지방들의 크기가 작아서 대형 크루즈를 접안하기에 적절치 않다는 점 등도 아울러 고려해야 할 것이다. 이런 점에서 최근 한국과 일본을 운항 중이거나 운항했던 크루즈 선박들의 규모가 연안크루즈를 위한 적절한 대안이 될 수 있다(Table 1, 2)[2]. 이보다 규모가 작을 경우 고급 크루즈 시장이 아니면 경제성이

없을 것이고, 이보다 클 경우 전술한 여건상 부적합 할 것이다. 이런 점에서 연안 크루즈를 위한 적절한 선박의 규모를 약 20,000톤에서 25,000톤 정도로 생각할 수 있다.

Table 1. 최근 한국에 운항했거나 운항 중인 크루즈선의 규모

	Taurus	Aires	금강호	봉래호	풍악호
길이(m)	150	200	205.5	171.6	168.5
폭(m)	25	28.5	25.2	24	24.9
총톤수	25,000	37,000	28,979	18,445	20,000
승객(명)	960	700	1,305	894	650
승무원(명)	400	560	-	320	350
속력(Knots)	21	21	18	18	-

Table 2. 일본에 운항 중인 크루즈선의 규모 (1997년 현재)

	New Utopia	Fuji	Orient Venus	Nippon	Asuka
운항회사	일본크루즈	MOL	일본크루즈	MOL	NYK
총톤수	12,378	23,340	21,906	21,903	28,717
승객(명)	594	600	606	600	610
승무원(명)	63	175	120	175	243
속력(Knots)	25	21	21	21	21

셋째로, 통상 이 정도 규모의 선박이라면 고급 크루즈 시장을 대상으로 할 경우 승객 수 300명에서 400명 정도를 적정규모로 생각한다. 그러나 한국의 연안 크루즈 선박은 중저가시장으로 예상이 되므로 객실의 사이즈를 줄이고 수를 늘려서 적정 승객 수를 800명에서 1000명 정도로 보는 것이 타당할 것이다. 예를 들어 SuperStar Taurus의 최대 승객 수는 960명이다. 또한 서비스 수준의 척도가 되는 승객 대 승무원의 수는 통상 중저가의 경우 2대 1에서 3대 1 수준이므로 이점을 감안하여 승무원 수가 300명에서 400명 정도인 선박으로 설계하면 바람직할 것이다.

마지막으로, 한국의 연안 크루즈 시장은 설문 조사(Table 3)[2]의 결과나 한국 사회의

문화적 요소를 감안해 볼 때 단기 크루즈 시장이 가장 시장성이 있을 것이다. Taurus호나 금강산 유람선들은 모두 3박 4일을 기본 기간으로 운항하고 있다. 일주일 미만의 단기 크루즈 상품은 대표적 중저가 시장인 카리브연안 크루즈의 전형적 크루즈 형태이다.

Table 3. SuperStar Taurus호 승객 대상 설문조사

질문 내용	답변	
크루즈 여행 만족도	높음	72.9%
타인에게 권장 경향	높음	72.5%
연안크루즈의 필요성	높음	77.2%
연안크루즈의 기항지	제주 (96명), 울릉도 (66명), 부산 (58명)	
바람직한 연안크루즈 기간	3박 4일 (61명, 53.5%)	

2. 연안항해형 크루즈선의 개념설계

2.1 설계선(Design Ship)의 주요 특징 요약

현재 우리나라 주변에서 운항되고 있는 선박들의 주요 특징을 토대로 설계선의 규모를 Table 4와 같이 요약하기로 한다[2].

Table 4. 설계선의 규모

길이(m)	폭(m)	총톤수	승객(명)	승무원(명)	속력(Knot)
150~200	24~28	25,000	1,000	400	20~25

2.2 설계선의 주요목(Main Dimension) 추정

2.2.1 유사 실적선 조사

Table 5, 6에 정리하였다.

표에 정리되어 있는 배 중 RoPax 1, 2, 3는 우리나라 조선소에서 설계 중이거나 인도하여 운항 중인 선박이며, Asuka는 1991년 일본 NYK의 28,000톤급 크루즈선으로서 일본의 크루즈 산업을 한단계 발전시켰다고 불리는 선박이다[5]. 그 외 선박들은 현재 동남아시아와 일본 그리고 카리브해에서 운항중인 선박이다[6]. 하지만 이 선박들에 대해서는 중요한 자료가 많지 않아 참고자료로만 활용하였다. 그 외 A, B, C, D은 미국에서 건조된 선박으로 건조한지 오래되어 참고자료로서의 활용가치가 떨어졌다[7].

2.2.2 주요목 추정

설계선은 일반상선과 달리 특수 선박인 크루즈선이기 때문에 주요목 추정을 위한 추정식이 제대로 나와 있지 않다. 따라서 일반상선의 주요목 추정 방법과 기타 여러 방법을

Table 5. 유사 실적선 자료

선명	Lbp	B	D	T	LWT	DWT	만재 배수량	총톤수	승객	승무원	차량/ton	속력	Cabin
RoPax 1	105	20	6.25	4.75	3,979	1,733	5,712	9,258	464	52	123/976	17	92
RoPax 2	117	18.9		4.9	4,358	1,517	5,875		1,500	40	115/890	24.2	
RoPax 3	208	29		7.2	15,750	9,900	25,650	40,000	400	41	-7,800	24	180
RoPax 4	162.1	27.6	21	7.2			19,504		2,000		665	27	300
비조 (Asuka)	160	24.7	10.4	6.6	11,878	3,596	15,474	28,717	584	240	여객전용	21	292
Europa	179.86	24		6.0				28,400	408	270		21	204
Olympic Voyager	155	25.6		7.1				24,391	832	360		28	
SuperStar Taurus	159	25						25,000	960	400	여객전용	21	480
SuperStar Aries	200	28.5						37,000	678	560	여객전용	18	339
SuperStar Gemini	163.81	22.5						19,089	900	470	여객전용	18.4	400
Minerva	122.2	16.6		4.5				12,331	108	24	여객전용	13.5	
Radisson Diamond	115.8	32		8.9		1,300		18,444	354	194	여객전용	12.5	177
Nordkapp	123.3	19.5		4.9		850		11,350	490	59	50	18	230
Polarlys	123	19.5		4.7				11,340	490	63	여객전용	17.5	
Mariner (균함)	160.7				7,682								
A선	145	24	9.6	7.5		3,365	15,685	19,903	767	301	여객전용	20	
B선	137	24	9.0	6.7		3,151	11,806	18,400	870	300	여객전용	21	
C선	115	16.8	6.4	5.45		1,919	5,858	4,973	1,280	70	여객전용	23	
D선	170	24	15.6	6.4		3,831	13,528	11,312	1,124	90	292	24	
E선	106	20.4	8.0	5.7		1,981	5,921	5,954	1,010	78	151	19	

Table 6. 유사 실적선 자료

선명	Cb	L/B	L/T	B/D	B/T	F.N. $V/\sqrt{L \times g}$	엔진 사양	연속 최대 출력
RoPax 1	0.5587	5.25	22.11	3.200	4.201	0.2725	MAN B&W 16V28/32A	4800BHP × 750RPM
RoPax 2	0.5290	6.19	23.88		3.857	0.3675	Wartsila 6138B	4350kW × 600RPM
RoPax 3	0.5762	7.17	28.89		4.028	0.2733		
RoPax 4	0.5907	5.87	22.51	1.314	3.833	0.3485		12,600kW
비조 (Asuka)	0.5788	6.48	24.24	2.375	3.742	0.2727	MAN B&W 7L 58/64	11770PS × 400RPM
Europa							MAN B&W 7L(8L) 40/54 × 4	
Olympic Voyager							Wartsila NSD 9L 46C × 4	
SuperStar Taurus		6.36				0.2735		
SuperStar Aries		7.02				0.2090		
SuperStar Gemini		7.28				0.2361		
Minerva		7.36	27.16		3.689	0.2006	MAN B&W	3480kW
Radisson Diamond		3.62	13.01		3.596	0.1908	Wartsila Vasa 8R32E/6R32E	15500BHP
Nordkapp		6.32	25.16		3.980	0.2662	Mak	9000kW
Polarlys		6.31	26.17		4.149	0.2592	Bergen	11260kW
Mariner (균함)								
A 선	0.5863	6.04	19.33	2.5	3.200	0.2728		
B 선	0.5216	5.72	20.50	2.667	3.582	0.2943		
C 선	0.5428	6.85	21.10	2.625	3.083	0.3523		
D 선	0.5054	7.08	26.56	1.538	3.750	0.3023		
E 선	0.4687	5.20	18.60	2.55	3.579	0.3031		

사용하여 계산을 수행하였다. 주요목 결정 과정은 먼저 재화중량과 경하중량을 추정하고 길이, 폭, 흘수 등을 결정하였다.

1) 재화중량(DWT) 추정

재화중량에는 다음과 같은 항목이 있다[7].

- 만재배수톤수로부터 배의 자중(Light Weight)을 뺀 중량
- 선박에 적재 가능한 화물, 여객, 승무원, 연료, 청수, 식료품, 또한 배의 안전 운항을 위한 발라스트(Ballast) 등이 포함된다.

재화중량은 보통 일반상선일 경우 선주가 결정하여 조선소에 요구하게 된다. 하지만 본 설계에서는 직접 각 항목에 대해 계산을 하였다(Table 7)[8].

Table 7. 설계선의 재화중량 계산

항목	Value-Unit	Coeff.	무게 (tons)
Passenger & Crew	1400 명	0.10	140
Provision & Store	1400 명	0.20	280
Fuel Oil	293 ton/trip	3	879
Lub Oil			30
Fresh Water	430 ton/trip	3	1290
Sewage	140 ton/trip	3	420
Ballast Water			595
Marina Equipment			700
합계			4,334

※ 재화중량 계산 시 Margine 5%를 두고 계산하였다.

따라서 Design Ship의 재화중량은 4,550 tons로 결정하였다.

2) 경하중량(LWT) 추정

초기 설계 단계에서 경하중량 추정은 조선소에서는 실적선 자료를 이용하거나 자체의 추정식등을 이용하여 이루어진다. 본 연구에서는 이러한 축적된 자료들을 구할 수가 없으므로 알려진 여러 추정식을 사용하여 경하중량을 계산하고 이 값을 알려진 실적선의 값과 비교하여 설계선의 경하중량을 추정하였다.

(1) 일반상선에 적용하는 식을 이용한 추정

▶ 개략적 경하중량 추정식의 검토

크루즈선에 대한 개략적 경하중량의 추정식은 현재 문헌에 발표된 것이 없으므로 일반 상선에 적용하는 추정식을 사용하여 보았다.

추정식은 다음과 같다[9].

- GENERAL CARGO : $260 * (L * B * D / 10^3)^{0.50} * (1 + 4 * \sqrt{(L * g)} - 0.20)$
- TRAMPER, BULK CARRIER*1 : $(260 \sim 275) * (L * B * D / 10^3)^{0.78}$
- LARGE CONTAINER SHIP : $(325 \sim 350) * (L * B * D / 10^3)^{0.69}$, $V_s / \sqrt{(Lg)} \approx 0.27$
- CAR CARRIER : $(25.5 \sim 0.0067L) * (L^2 * B / 10^3)$, $V_s / \sqrt{(Lg)} \approx 0.22 \sim 0.25$
- RO/RO CARGO SHIP : $(185 \sim 200) * (L * B * D / 10^3)^{0.92}$, $V_s / \sqrt{(Lg)} \approx 0.25$
- MULTI-PURPOSE SHIP : $(290 \sim 320) * (L * B * D / 10^3)^{0.80}$,
 $1 + 4(V_s / \sqrt{(Lg)} - 0.29) * 1$
- COASTAL CARGO SHIP : $(185 \sim 200) * (L * B * D / 10^3)^{0.90}$, for $L * B * D > 4,000$
- LARGE TANKER : $(1.0 \sim 1.1) * (7.2 - 0.0015 * L) * (L^2 * B / 10^3)$
- ORE CARRIER : $(0.90 \sim 0.96) * (L / 10)^{1.6} * (B + D)$
- ORE/OIL CARRIER : $(0.98 \sim 1.02) * (L / 10)^{1.8} * (B + D)$
- COASTAL TANKER : $(200 \sim 220) * (L * B * D / 10^3)^{0.90}$, for $L * B * D > 4,000$

이 추정식 중에서 C_b 값이 가장 유사한 컨테이너선의 추정식을 사용하여 계산하였다. 추정식의 정확도를 검증하기 위하여 경하중량이 알려진 몇몇 경하중량과 비교하여 보았다(Table 8).

Table 8. 개략적 추정식을 사용한 경하중량 추정

	추정식 계산 값	실제 LWT	차이	%(차이/LWT)
RoPax 1	2,548~2,745	3,979	1,234~1,431	33.5
RoPax 2	3,024~3,256	4,358	1,102~1,334	27.9
RoPax 3	9,183~9,889	15,750	5,861~6,567	39.5

Table 8에서와 같이 추정식을 사용한 계산값은 실제 경하중량과 현격한 차이를 보여주어 설계선에 적용하기에는 오차의 범위가 커 무리가 따르리라 생각된다.

▶ 대 구분별 경하중량 추정식의 검토

대 구분별 경하중량 추정은 경하중량을 선각강재(Hull) 중량과 선체의장(Outfitting) 중량 그리고 기관부(Engine) 중량으로 구분하여 계산하는 것이다[9].

◎ 선각 강재 총량 추정식(W_s)

- GENERAL CARGO : $(40 \sim 41) * L^{1.6} * (B+D) * C_b^{1/2} * k / 10^3$, $L/B \approx 6.0 \sim 7.0$
- BULK CARRIER : $(35 \sim 36) * L^{1.6} * (B+D) / 10^3$
- LARGE CONTAINER SHIP : $(50 \sim 54) * L^{1.6} * (B+D) * C_b^{1/2} / 10^3$
- CAR CARRIER, RO/RO : $0.13 * L^{1.5} * B$
- COSTAL CARGO : $36 * L^{1.6} * (B+D) / 10^3$ or $110 * (L * B * D / 10^3)^{0.95}$
- TANKER (SBT TYPE) : $(6.1 \sim 6.3) * (L^2 * B / 10^3)$
- COSTAL TANKER : $38 * L^{1.6} * (B+D) / 10^3$ or $170 * (L * B * D / 10^3)^{0.85}$
- ORE CARRIER : $38.5 * L^{1.6} * (B+D) / 10^3$

◎ 선각 의장 중량 추정식(W_o)

의장관계 중량 중 깊이(D)에 관련하는 항목은 비교적 적다. 여기서는

$W_o = k_0 \cdot (L \cdot B)$ 로 하고, k_0 의 개략 값을 아래에 나타냈다.

$$k_0 = \frac{W_o}{LB}$$

- CARGO TRAMPER : 0.30
- CARGO LINER : 0.40~0.45
- MULTI-PURPOSE : 0.46~0.55
- BULK CARRIER : 0.24~0.31
- LARGE CONTAINER SHIP : 0.30~0.35
- CAR CARRIER : 0.20~0.24
- RO/RO TYPE SHIP : 0.33~0.38
- COASTAL CARGO SHIP : 0.20~0.25
- TANKER, ORE CARRIER : 0.16~0.19
- ORE/OIL CARRIER : 0.21~0.27
- COASTAL TANKER : 0.26

◎ 기관부 중량(W_m)

기관부 중량은 주기의 연속 최대출력(MCR)을 기준으로 계산한다.

$$W_M / \text{MCR}$$

- DIESEL, CARGO TYPE : 0.066~0.075
 - : MCO <5,000 PS : 0.065~0.070
 - : MCO <2,000 PS : 0.045
- TANKER : DIESEL : 0.070~0.080
 - : TURBINE : 0.055
- SMALL TANKER : MCO <2,500 PS : 0.055

이 추정식 역시 선형을 몇 가지 타입으로 나누어 계산 하도록 하고 있다. 개략적 경하중량 추정과 같이 컨테이너선의 추정식을 사용하여 계산하였다(Table 9).

대 구분별 경하중량 추정에서 RoPax 3는 계산 과정에 필요한 MCR을 알 수 없어 제외하였다.

Table 9. 대 구분별 경하중량 추정

	추정값				실제 경하중량	차이	% (차이/LWT)
	선각강재 중량	선체의장 중량	기관부 중량	합계			
RoPax 1	1,852~2,000	630~735	643~730	3,125~3,466	3,979	513~854	34.1
RoPax 2	2,162~2,335	663~773	722~810	3,517~3,918	4,358	440~841	29.4

대 구분별 추정식을 사용한 계산값은 실제 경하중량과 30% 가까이 차이를 보여주고 있다. 이는 RoPax의 경우 일반선박과는 달리 승객을 위한 편의시설과 많은 선실 등 여러 가지 시설을 갖추고 있기 때문으로 이에 대한 고려가 필요할 것이다.

▶ 호텔부분과 일반선박부분으로 나누어 경하중량 추정

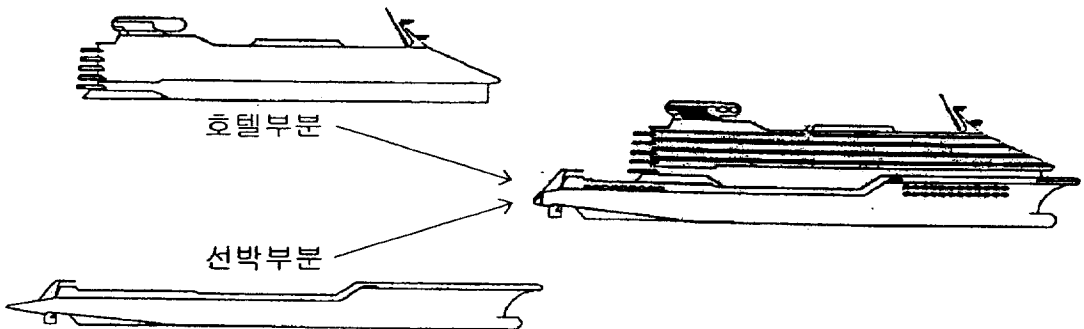


Fig. 1 크루즈선에서의 선박부분과 호텔부분

크루즈선은 떠다니는 해상의 호텔이라고 불리울 정도로 호텔부분이 차지하는 비율이 크다. 따라서 선박의 경하중량을 호텔부분(Accommodation)과 일반 선박부분(선체, 의장, 기관부)으로 나누어 생각을 해 보았다(Fig. 1).

경하중량분포(Light Weight Distribution)를 가지고 있는 RoPax 2에 대하여 전체 경하중량에서 선체, 의장, 기관부와 Accommodation 부분별로 중량분포를 얻은 뒤,

그 비율을 살펴보았다(Table 10 참조). 단, RoPax 1, 3는 경하중량분포에 대한 데이터가 없어 계산하지 못하였다.

Table 10. RoPax 2의 경하중량

항목	경하중량				
	선박부분			Accommodation 중량	선박부분 중량과의 비
	선체중량	의장중량	기관부중량		
RoPax 2	2,036	983	770	590	0.156
					4,358

Table 9에서 추정한 대 구분별 경하중량에 실제 얻어진 Accommodation 무게를 더하여 보면 4,308 tons로 실제 경하중량과 비교적 근사한 값이 나온다.

따라서 일반 선박(컨테이너선)의 대구분별 경하중량식을 이용하여 선박부분을 계산하고 호텔부분은 선박부분 중량과의 비율을 이용하여 구하면 전체경하중량을 추정할 수 있다. 이와 같은 방법으로 설계선의 선박부분을 대구분별 경하중량 추정식으로 계산하고, Table 10의 비율로 구해진 Accommodation 중량을 더하여 전체 경하중량을 계산해 보았다(Table 11.).

Table 11. 경하중량의 구분

항목	경하중량				
	선체중량	의장중량	기관부중량	Accommodation 중량	합계
Design Ship	5,173	1,377	1,518	1,260	9,327

하지만 앞에서 구해본 전체 경하중량과 선박부분 중량과의 비율은 호텔부분이 크루즈급보다 한단계 아래인 RoPax에 대한 것이므로 크루즈선의 경우 이것보다 커진다는 것을 생각해야 할 것이다.

(2) Kai Lavander 식을 이용한 추정

Kai 식은 세계 4대 크루즈 건조 조선소의 하나인 Finland의 Masa 조선소에서 오랜 여객선 설계의 Data를 참고로 만든 식으로 선박의 Volume에 상수를 곱하여 경하중량을 추정한다[8].

$$LWT = (Hull \& Superstructure + Outfitting + Interior Outfit + Machinery System) / Total Volume \times 0.119$$

※ 5% Margine 계산

Total Volume은 다음 식으로부터 계산한다.

$$Gross Tonnage = K \times V$$

$$K = 0.2 + 0.02 \log V$$

이 추정식을 사용하여 총톤수를 알고 있는 RoPax 1, 3에 대해 계산해보고 이를 실제 경하중량과 비교하여 보았다(Table 12).

Table 12. Kai 추정식을 사용한 경하중량 추정

선명	추정식 계산 값	실제 경하중량	차이	%(차이/LWT)
RoPax 1	3,986	3,979	7	0.2
RoPax 3	16,055	15,750	305	1.9

Kai 식을 사용하여 구한 경하중량은 실제 경하중량과 0.018~1.9% 정도의 차이를 보인다.

설계선의 총톤수는 25000ton으로 가정하였고, 위 식으로 구한 설계선의 Volume은 83763 m³이다. 따라서 설계선의 추정된 경하중량은 10,500 tons 이다.

(3) 실적선의 중량 비율 조사

RoPax 1과 RoPax 2, RoPax 3 등의 선박은 비교적 선박의 무게가 자세히 나와 있다. 이 배들이 차량과 여객을 함께 싣는 RoPax선이란 것에 주의를 두고 재화중량에서

차량의 무게를 제외해 보았더니 실제 재화중량의 42% 정도 밖에는 되지 않았다. 그리고 경하중량과 이 42% 재화중량의 비는 0.13~0.19 이었다(Table 13).

Table 13. 실적선에서의 경하중량과 재화중량의 비율

선명	중량 (ton)				재화중량 (ton)			경하중량과 차량톤수제의 재화중량과의 비	만재 배수량
	Steel Weight	비율 (%)	Equipment Weight	비율 (%)	실제 DWT	차량 톤수	차량톤수 제외한 DWT		
RoPax 1	3,979				1,733	976	757	0.19	5,712
	2,300	0.58	1,679	0.42					
RoPax 2	4,358				1,517	890	627	0.14	5,875
	2,556	0.59	1,802	0.41					
RoPax 3	15,750				9,900	7,800	2,100	0.13	25,650
	10,525	0.67	5,225	0.33					

차량제의 재화중량과 경하중량의 비가 보통 0.13~0.19라고 보고 설계선의 경하중량을 추정해 본다(Table 14).

Table 14. 비율로 추정한 경하중량

선명	경하중량 (ton)		재화중량 (tons)
	Steel Weight	Equipment Weight	
Design Ship	23,000~34,000		4,550
	13,800~20,400	9,200~13,600	

(4) 경하중량 결정

지금까지의 여러 가지 계산 결과를 검토해보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 개략적 경하중량, 대구분별 경하중량 추정식을 사용하여 계산된 값과 실제 값과는 오차가 크므로 상선에서 적용하던 방식을 그대로 쓰기에는 문제가 많았다.

- 호텔부분과 일반선박부분으로 나누어 계산된 경하중량 추정에서 선박부분의 경하중량 추정을 대구분별 경하중량 추정식으로 계산했기 때문에, 이 계산값에 어느 정도의 오차를 염두에 두어야 할 것이다. 또한 RoPax에 비해 크루즈선이 좀 더 고급이기 때문에 Accommodation의 무게도 커진다는 것을 생각해야 할 것이다.
- Kai 식을 사용한 경하중량 추정은 비교적 계산값과 실제값의 차이가 근소하다.
- 경하중량과 재화중량의 비율 0.13~0.19를 Design Ship에 적용해 보면 재화중량이 4,550 tons 이므로 경하중량은 23,000~34,000 tons이다. 하지만 이 비는 RoPax에서 차량중량을 제외한 재화중량이기 때문에 설계선에서 재화중량과 경하중량의 비는 이보다 더 높을 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 계산된 경하중량에 비해 실제 경하중량을 더 낮을 것이라 예상한다.

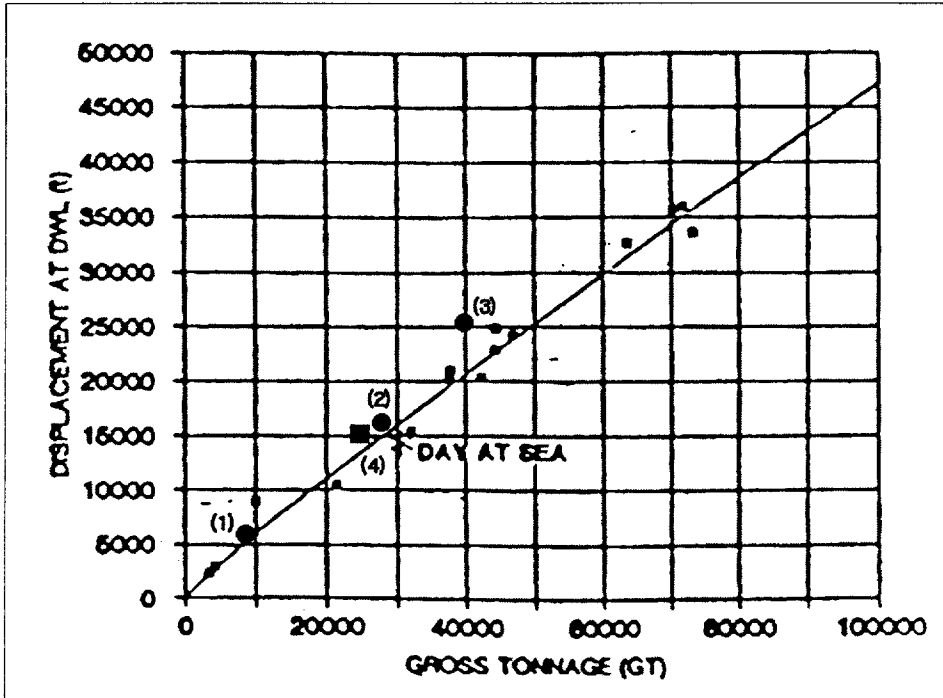
설계선의 경하중량을 몇 가지의 방법으로 추정해 보았으나, 대부분의 방법은 오차 범위가 커서 사용에 문제가 있었다. 호텔부분과 일반선박부분으로 나누어 계산하는 방법에서 설계선이 크루즈선이기 때문에 Accommodation의 무게를 좀 더 크게 잡는다면 Kai 식을 사용하여 나온 값과 거의 유사해 질 것이다. 따라서 초기 추정 경하중량을 10,500 tons으로 결정하였다.

(5) 추정 재화중량과 경하중량의 검증

추정된 재화중량과 경하중량의 합인 배수량을 Fig. 2[8]에서 확인을 해 본 결과가 일반적인 범위를 벗어나지 않기 때문에 추정한 재화중량과 경하중량을 신뢰할 수 있다고 보겠다.

Table 15. 결정된 재화중량과 경하중량

항목	재화중량	경하중량	만재배수량
톤수	4,550 tons	10,500 tons	15,050 tons



(1) RoPax 1 (2) Asuka (3) RoPax 3 (4) Design Ship

Fig. 2 총톤수와 배수량의 관계 그래프를 이용한 결과값 검증

3) Lbp, B, T, Cb 결정

일반상선에서의 주요목 결정은 추정식을 사용하거나 많은 실적선 자료를 바탕으로 추정하게 된다. 하지만 크루즈선의 주요목 결정에서는 적용할 추정식이 없었다. 그래서 실적선 자료를 이용하여 추정하는 방법을 사용하였다. 설계선의 총톤수와 배수량에 가까운 실적선을 많이 조사하지 못해 주요목 추정의 오차를 어느 정도 염두에 두고 초기 주요목 추정을 시작하였다.

Table 5를 살펴보면 설계선의 총톤수 25,000 tons에 가까운 선박(Asuka, Europa, Olympic Voyager, SuperStar Taurus)의 Lbp가 160m에 가까운 것을 알 수가 있다. 그리고 B는 25m에 가까운 것을 알 수가 있다.

(1) Lbp를 160m로 가정

Lbp를 160m로 가정한 후 선실설계에 있어서 방들의 크기를 고려하여 24.6m 택하였다. 이 경우 L/B의 값은 6.5가 되고 Table 16에서의 실적선들 L/B 평균값과 비슷하였다. 홀수는 B/T 의 실적선들의 평균치인 3.7로 선택하여 T는 6.65m로 결정되었다. Lbp와 B 그리고 T를 결정한 후 L/T를 계산 해 보면 24.06으로 실적선들의 범위에 충분히 만족함을 알 수 있다.

Table 16. 실적선들의 주요 치수 비

선명	Cb	L/B	L/T	B/D	B/T	F.N. $V/\sqrt{(L \times g)}$
비조(Asuka)	0.5788	6.48	24.24	2.375	3.742	0.2727
RoPax 1	0.5587	5.25	22.11	3.200	4.201	0.2725
RoPax 2	0.5290	6.19	23.88		3.857	0.3675
RoPax 3	0.5762	7.17	28.89		4.028	0.2733
RoPax 4	0.5907	5.87	22.51	1.314	3.833	0.3485
SuperStar Taurus		6.36				0.2735
SuperStar Aries		7.02				0.2090
SuperStar Gemini		7.28				0.2361
Minerva		7.36	27.16		3.689	0.2006
Radisson Diamond		3.62	13.01		3.596	0.1908
Nordkapp		6.32	25.16		3.980	0.2662
Polarlys		6.31	26.17		4.149	0.2592

Table 17. Lbp를 160m로 가정한 후 주요목 계산 결과

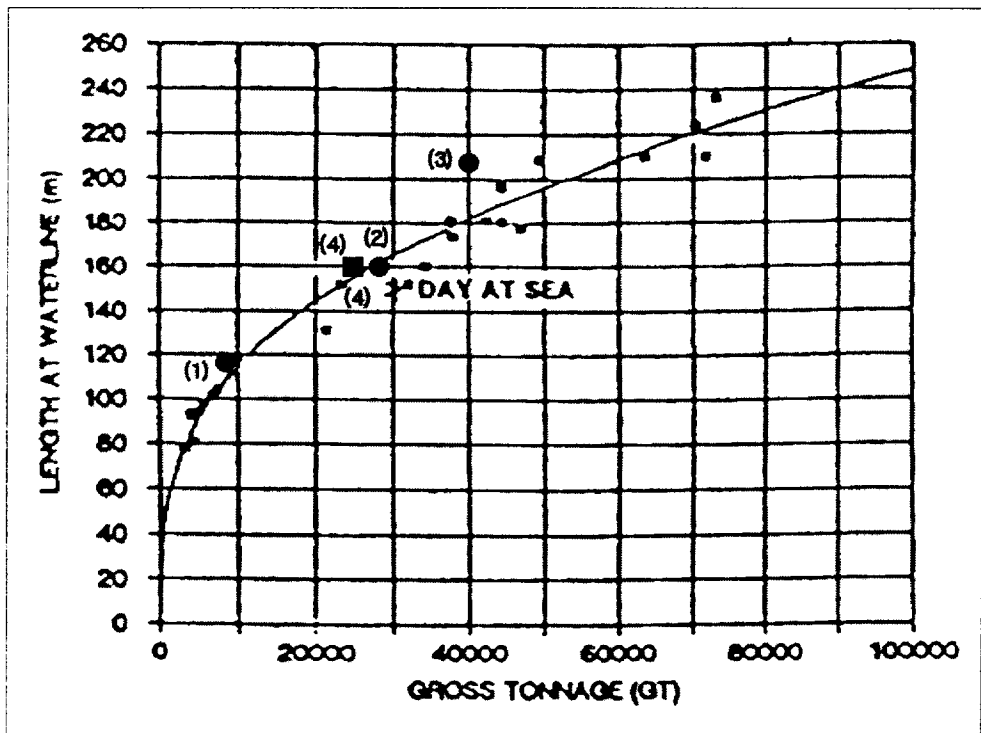
항목	Lbp	B	T
첫 번째 방법	160m	24.6m	6.65m

(2) Cb 값 계산

배수량과 결정된 L_{bp} , B , T 를 사용하여 C_b 를 계산해 보면 0.5609가 나오고 이 값은 Table 16의 범위에 적합하다는 것을 알 수 있다. Table 16에서 C_b 값은 평균적으로 0.56 정도이다.

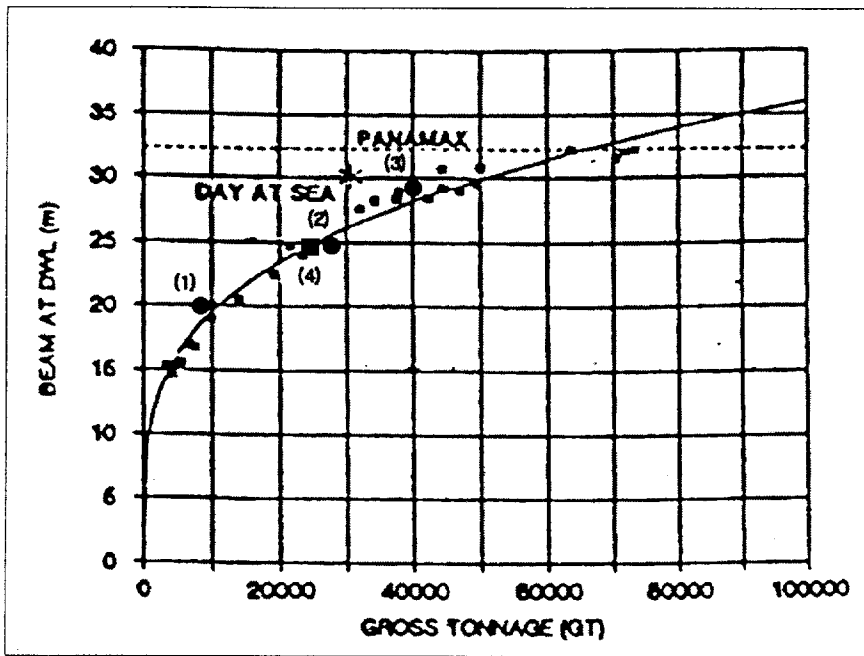
(3) 결정된 주요목 검증

크루즈선에서 총톤수와 L_{bp} , B , T , 만재배수량과의 관계를 나타낸 그래프에서 결정한 값들을 표시하여 확인하여 보았다(Fig. 3, 4, 5)[8].



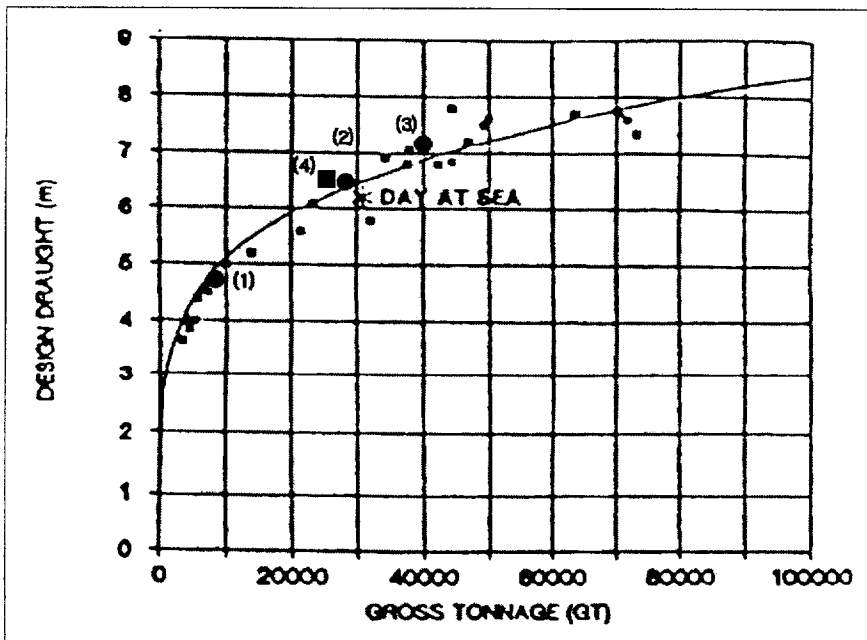
(1) RoPax 1 (2) Asuka (3) RoPax 3 (4) Design Ship

Fig. 3 크루즈선에서의 총톤수와 길이의 관계



(1) RoPax 1 (2) Asuka (3) RoPax 3 (4) Design Ship

Fig. 4 크루즈선에서의 총톤수와 폭의 관계



(1) RoPax 1 (2) Asuka (3) RoPax 3 (4) Design Ship

Fig. 5. 크루즈선에서의 총톤수와 흘수의 관계

결정된 주요목들이 그래프의 범위를 만족한다고 볼 수 있다. 따라서 이 주요목을 설계선의 주요목으로 결정하였다(Table 18).

Table 18. 설계선의 주요목

항목	Lbp	B	T	LWT	DWT	만재배수량	Cb	총톤수
Design Ship	160m	24.6m	6.65m	10,500 tons	4,550 tons	15,050 tons	0.5609	25,000 GT

2.3 설계선의 선형 생성

2.3.1 유사 실적선의 선형 생성

일반 상선에서 선형 생성은 신선형을 직접 만들거나, 기준선형(Mother Ship)을 선형 변환 기법(Variation)을 이용하여 설계선의 선형을 만드는 두 가지 방법이 주로 이용된다. 특히 기준선형을 이용한 선형 변환 기법은 우수한 실적선형을 미소 변환시킴으로써 양호한 성능이 어느 정도 보장된 적정 선형을 생성할 수 있기 때문에 널리 이용되는 방법이다[10].

본 설계선의 선형도 현재 운항 중인 기준선형으로부터 선형 변환 기법을 이용하여 생성하였다.

기준선형을 만들기 위하여 설계선의 주요목과 유사한 선박의 선도(Lines)를 얻고자 하였으나 안타깝게도 구할 수가 없었다. 그래서 구할 수 있었던 Europa와 Olympic Voyager의 일반배치도(Fig. 6, 7)를 확대 복사하여 직접 Offset을 작성하였다. 일반배치도의 측면도에서 Center Profile를, 각 Deck에서 Waterline과 반쪽을 구하였다. 이렇게 작성한 Offset으로 선도를 생성하고 이를 전체적으로 Fairing 하였다(Fig. 8).

Table 19. Voyager와 Europa 비교

	Lbp (m)	B (m)	T (m)	총톤수	Cb
Voyager	155	25.6	7.1	24,391	0.4923
Europa	179.86	24	6.0	28,437	0.6172

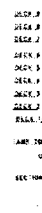


Fig. 6 Olympic Voyager의 일반배치도(1)

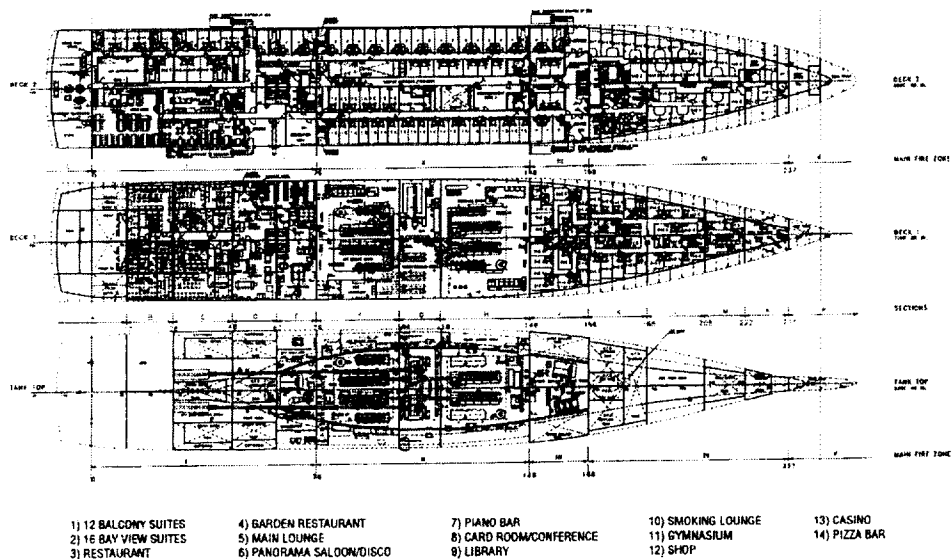


Fig. 6 Olympic Voyager의 일반배치도(2)

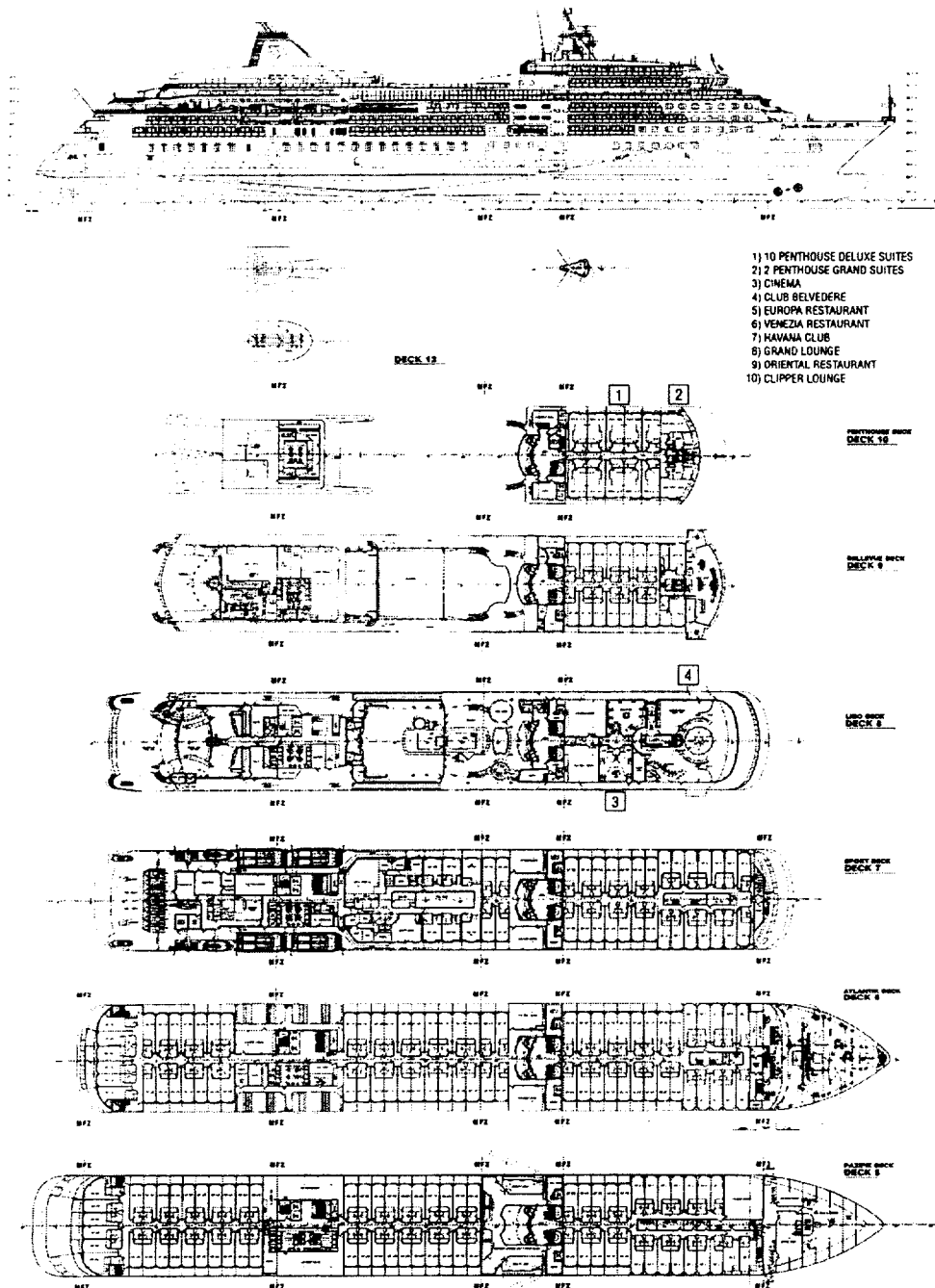


Fig. 7 Europa의 일반배치도(1)

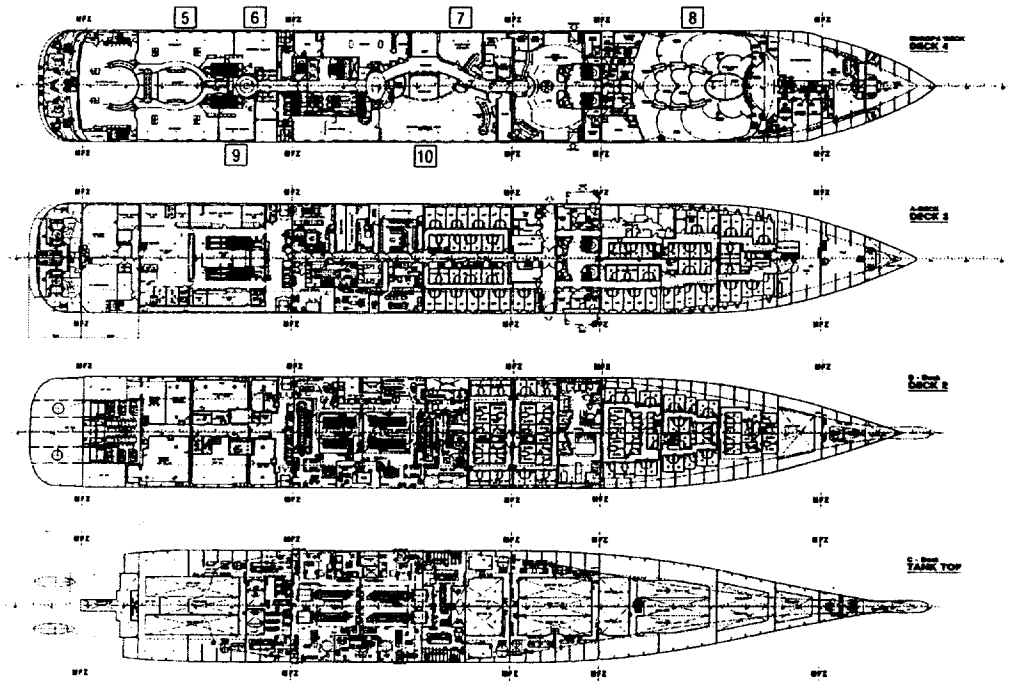


Fig. 7 Europa의 일반배치도(2)

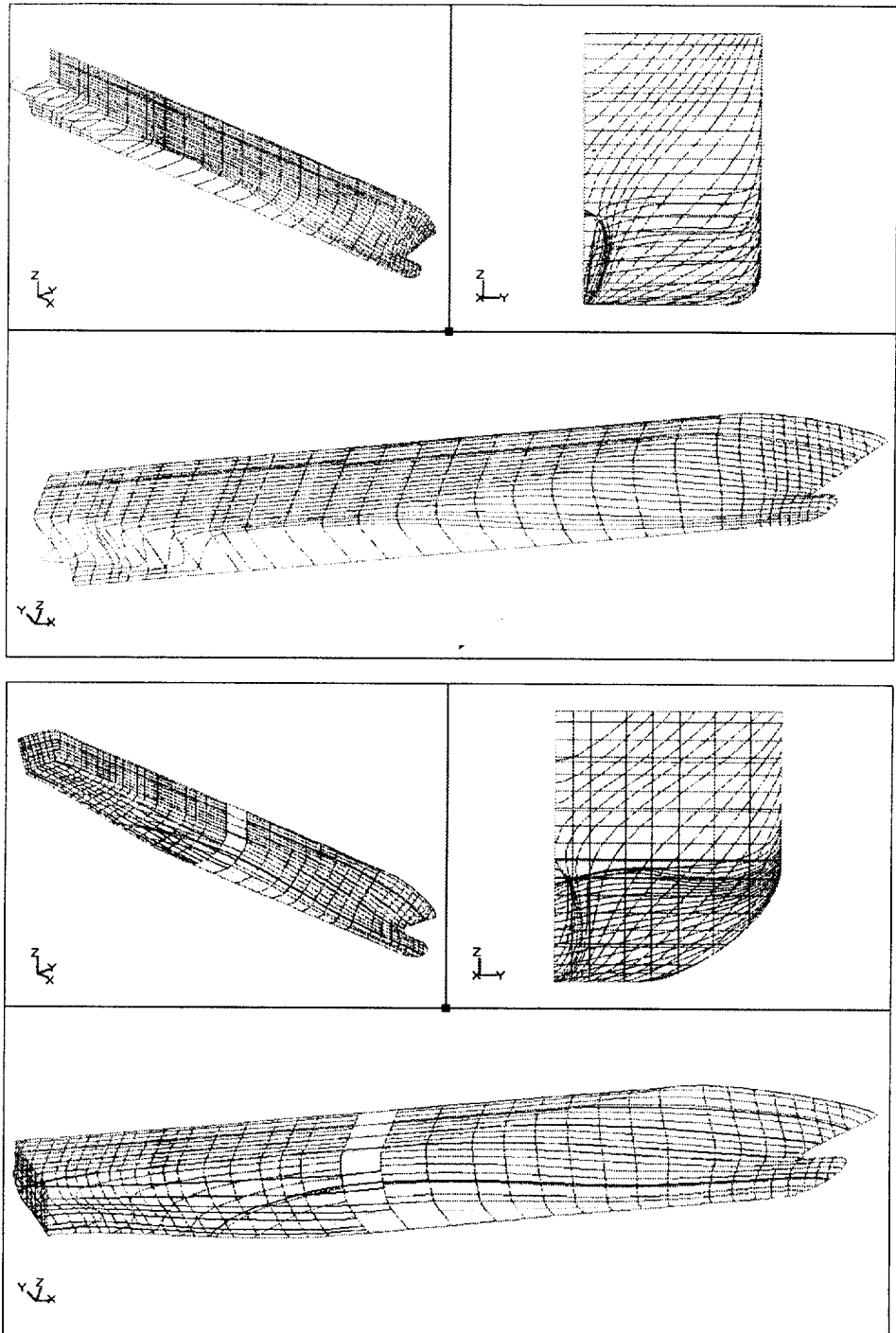


Fig. 8 Europa(위)와 Olympic Voyager(아래)의 선형

2.3.2 기준선 결정

Fig. 9, 10과 Table 19를 보면 Voyager의 총톤수와 Lbp가 설계선의 값과 비슷하고 또한 Europa의 경우 Cb 값이 너무 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 Cp 곡선과 정면도(Body Plan)를 보면 Europa의 정면도의 경우 발지반경(Bilge Radius)이 너무 작아 뚱뚱한 느낌을 준다. 따라서 설계선의 기준선형으로 Voyager의 선형을 택하여 변환(Variation)하였다.

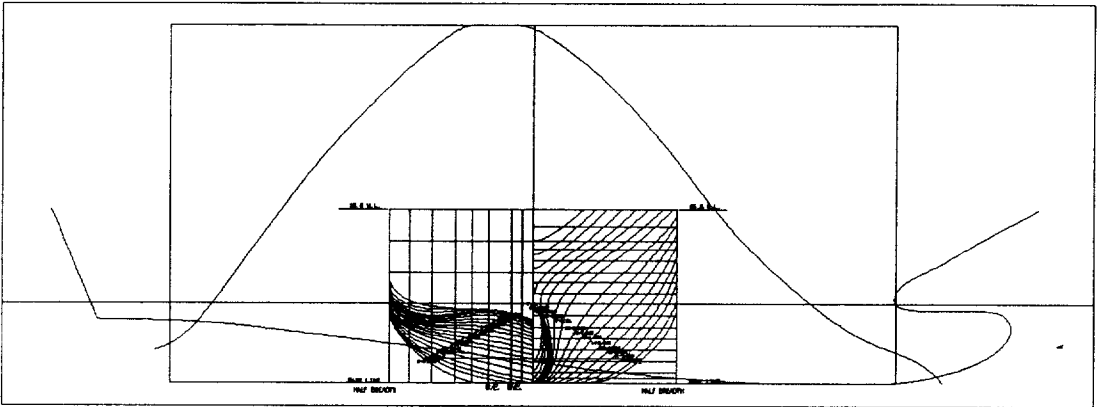


Fig. 9 Voyager Cp 곡선과 선수·미 형상

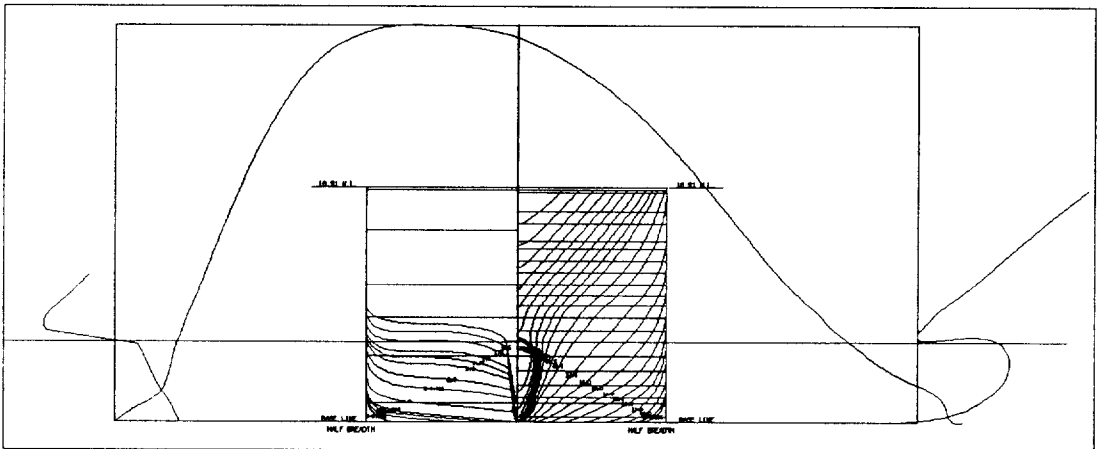


Fig. 10 Europa의 Cp 곡선과 선수·미 형상

2.3.3 기준선을 이용하여 설계선으로의 선형 변환

기준선을 설계선의 주요목으로 선형변환하였다. 변환기법은 Lackenby방법을 사용하였다. Fig. 11에 선형변환된 선형이 나타나있다.

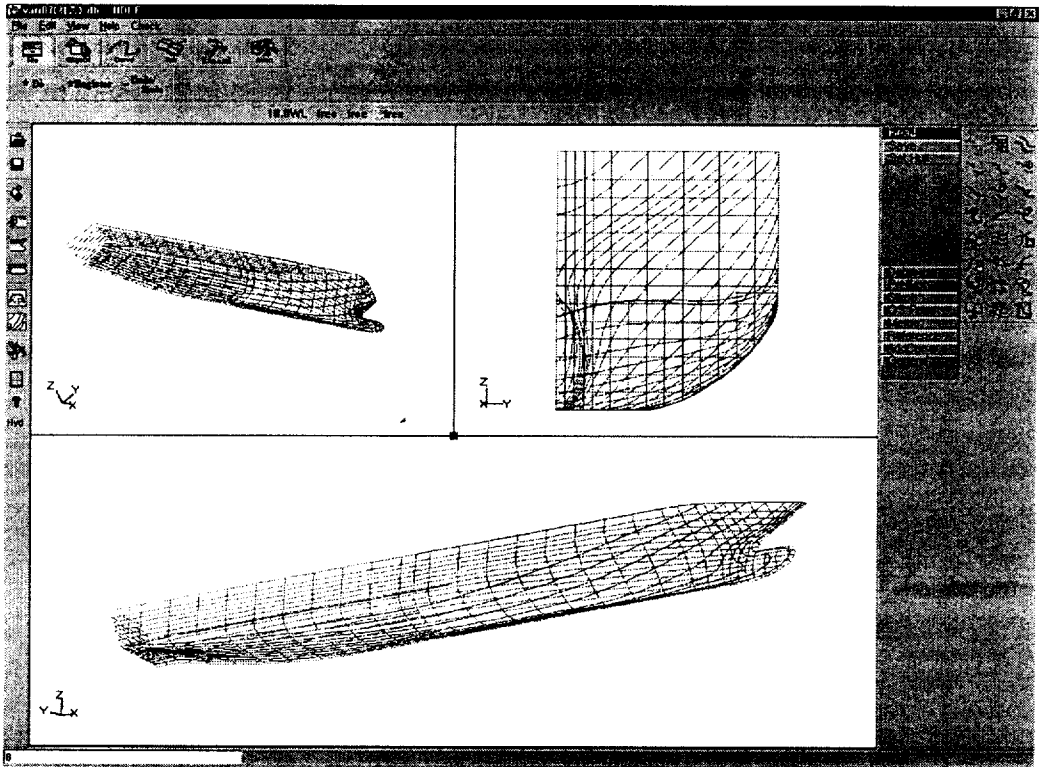


Fig. 11 Olympic Voyager로 선형변환 한 후 순정작업이 끝난 설계선의 선형

2.3.4 설계선의 1차선형

Olympic Voyager를 변환하여 얻은 Cp 곡선을 이용하여 설계선의 선형을 얻은 뒤 선수미부의 측면형상을 정의하여 순정함으로 1차 선형을 얻었다.

설계조건을 만족하면서 유체역학적 성능이 뛰어난 선형을 개발하기 위해서 다음과 같은 선형개념을 적용하였다[11]. 우선 여객선 선형의 특징으로는 고속이며 흘수가 얇고, 복원성능을 확보하기 위하여 수선면적을 크게 만든다는 것을 들 수 있다. 따라서 선수선형은 조파저항관점에서 V형 늑골선형상을 취하였으며, 구상선수는 High Nose 형식을 택하였다. 그리고 Cp 곡선을 Fine하게 하기 위하여 노력하였다. 선미선형은 형상저항과 추진성능관점에서 우수한 성능을 가지도록 하기 위하여 Center Skeg를 가지는 Barge 형상의 늑골선 형상을 채택하였다. 그리고 대직경 프로펠러의 장착을 위해 Tunnel Type의 선미 형상을 취하였으며, 수선면적을 크게 만들었다.

Fig. 12에 설계선의 선형과 Cp 곡선 및 선수미부 측면 형상이 정의되어 있다.

2.3.5 설계선의 2차 선형

1차 선형의 Cp 곡선을 살펴보면 선미쪽 곡선이 스케그(Skeg)형상에 따라 부드럽게 변화하고 있지 못하다. 따라서 Cp 곡선을 좀 더 매끄럽게 변화를 주면서 중앙부를 좀더 선미쪽으로 이동하여 2차선형을 얻었다. Fig. 13에 수정된 Cp 곡선이 표시되어있다.

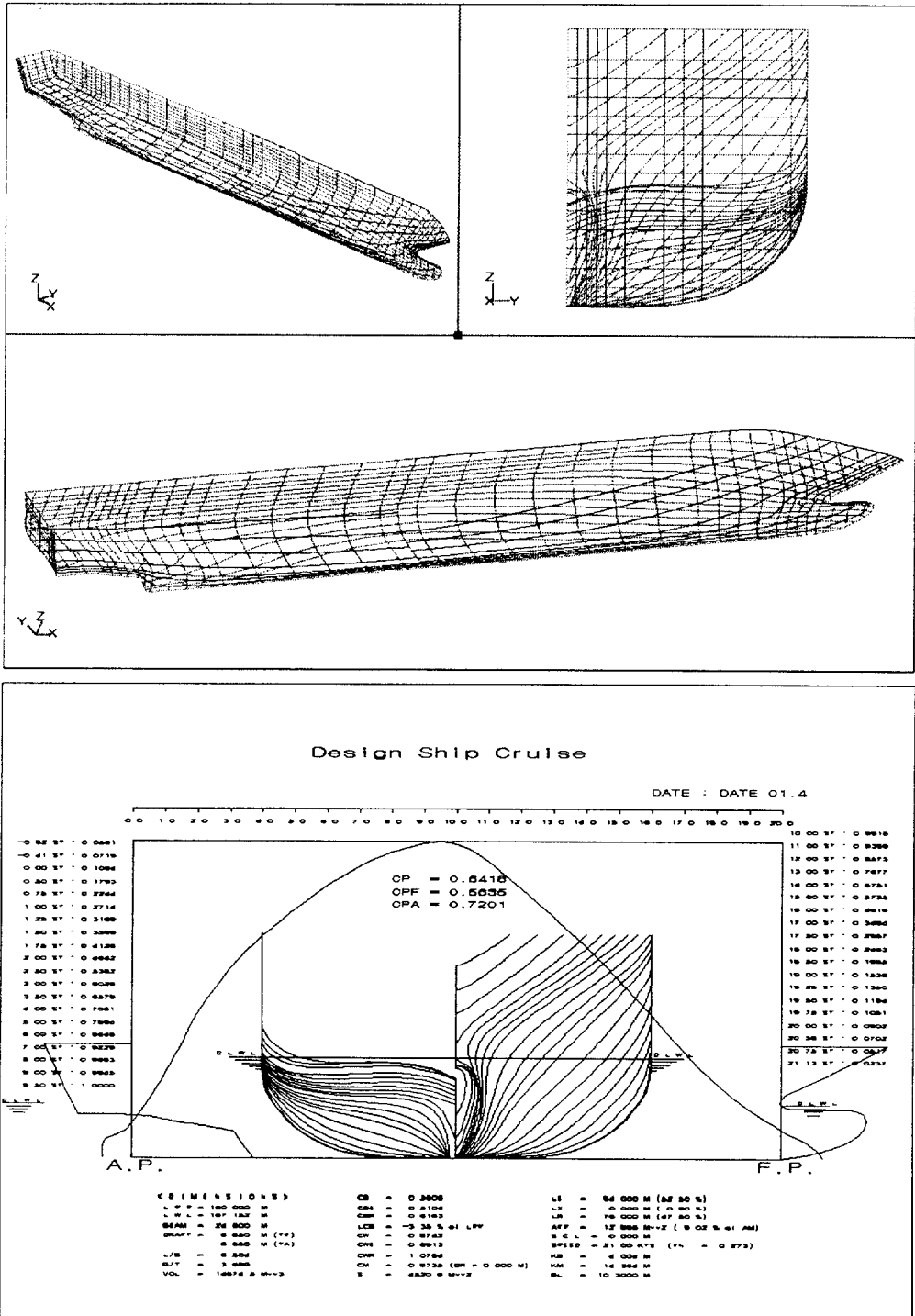


Fig. 12 설계선의 1차 선형과 Cp 곡선

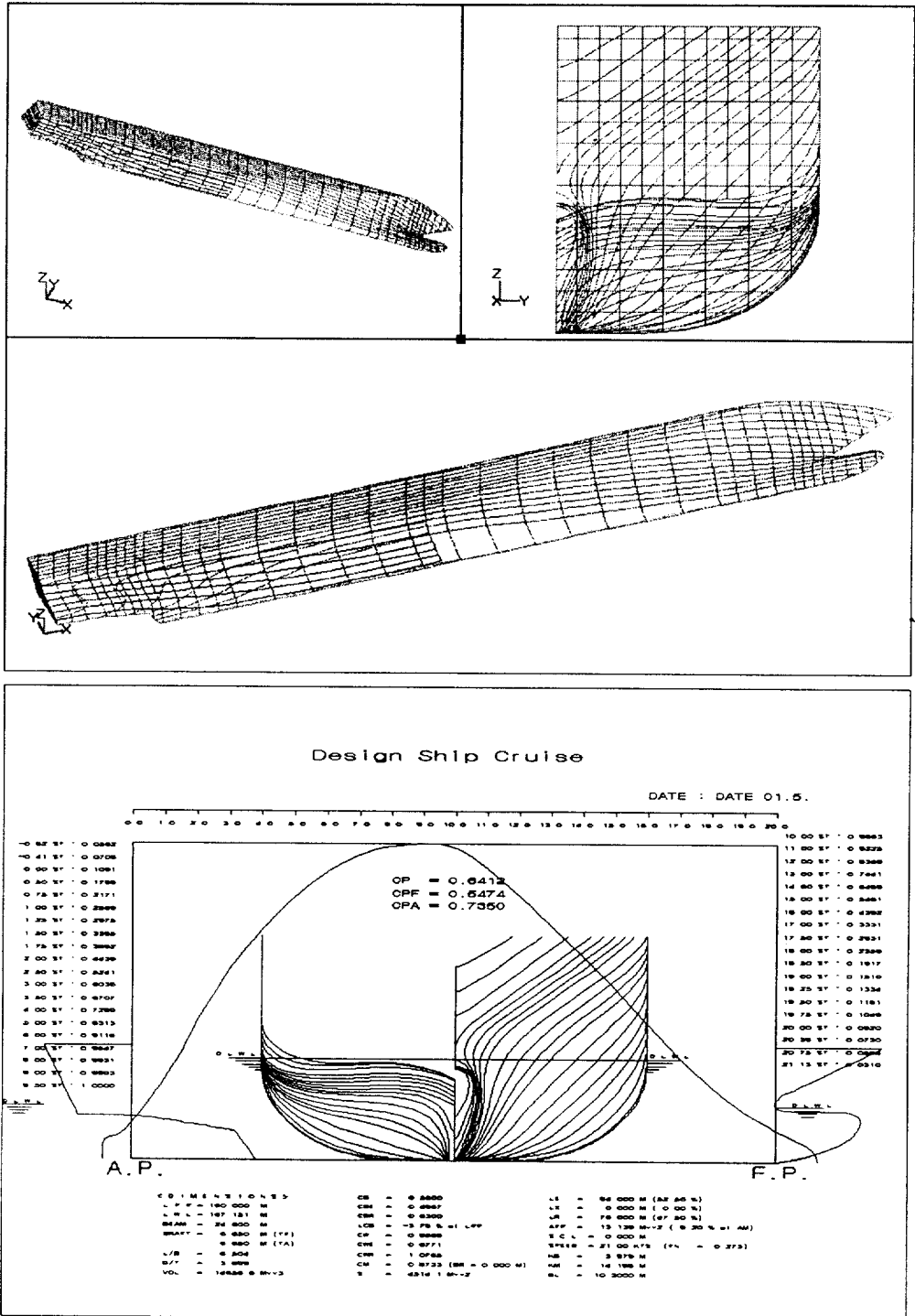


Fig. 13 설계선의 2차 선형과 Cp 곡선

2.4 선형의 유체역학적 성능 검토

1차와 2차의 순정이 끝난 선형을 Kriso에서 개발한 Wavis 프로그램을 이용하여 유체역학적 성능을 검토하였다.

Wavis 프로그램을 이용한 유체역학적 성능 계산은 한국해양대학교 현범수교수팀에서 수행한 결과를 받아 2개의 선형에 대한 유체역학적 성능을 검토하였다.

계산 결과는 Fig. 14에서 Fig. 16 그리고 Table 20에 나타내었다.

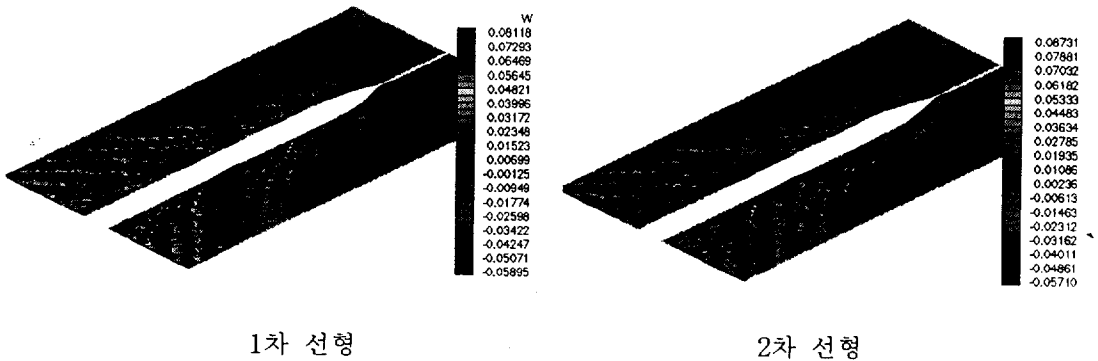
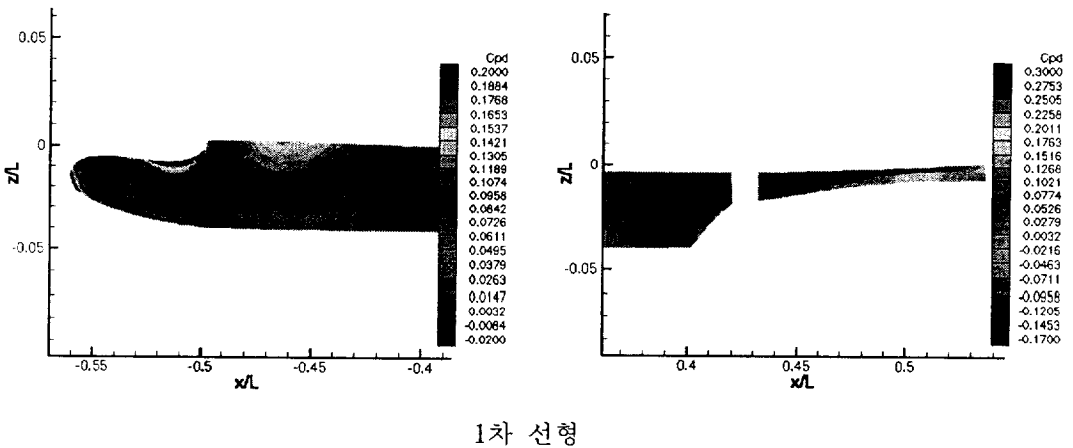
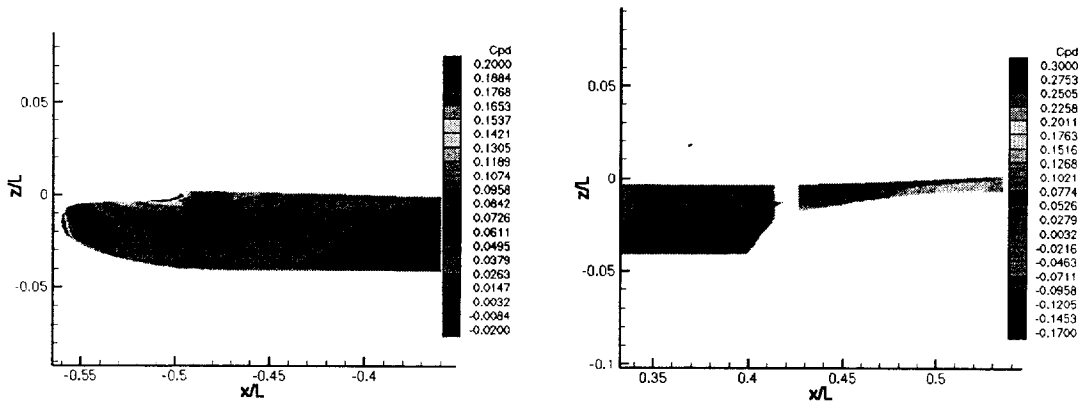


Fig. 14 Wave Profiles Along Main Hulls and Wave Patterns



1차 선형



2차 선형

Fig. 15 Hull Surface Pressure Distributions at Bow & Stern

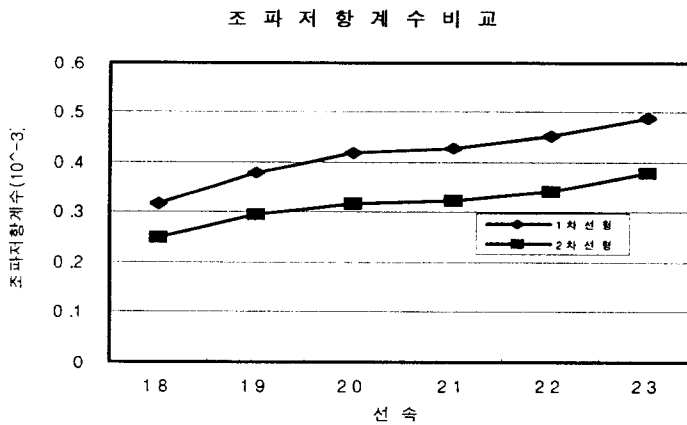


Fig. 16 선속에 따른 조파저항계수 비교

Table 20. 선체 전저항 계수

	$C_F (\times 10^{-3})$	$C_W (\times 10^{-3})$	$C_D (\times 10^{-3})$
1차 선형	1.478	0.429	1.907
2차 선형	1.487	0.323	1.810

위 계산 결과를 검토해 보면 1차 선형에 비해 2차 선형이 조파저항 값과 압력분포 값 등에서 약간 우수한 성능을 보여주고 있다.

2.5 선박부분의 일반배치

앞서 생성한 설계선 선형을 참고로 한 해양대학교 이한석교수의 연구 결과[4][12]에 제시된 선박부분에 대한 구획정보에 따라 기준선인 Olympic Voyager를 참고로 선박부분에 대한 개략적 일반배치를 수행하였다. 연구 결과에 따르면 본 설계선의 주수직구역(MVZ)은 다섯 구획(구역마다 길이 40m이하)[13]으로 하고, Frame Space는 712mm, 객실 폭 2,740mm, 길이 6,200mm으로 설정하였다(Fig. 17). 이를 토대로 주 횡격벽을 40m 이내로 하여 전체 4개를 두었으며, 객실의 길이를 객실수로 계산하여 Cabine을 배치하였다. 그 외의 각 Tank들은 Olympic Voyager의 일반배치를 따랐다.

그리고 각 Tank의 Volume은 재화중량 결정 시 추정하였던 Fuel Oil, Lub. Oil, Fresh Water, Water Ballast를 충분히 수용할 수 있을 정도로 생성하였다.

이렇게 만든 Data를 Sikob을 이용하여 Tank Volume 결과를 도출하였다[14].

결과인 Volume Summary은 Table 21로 정리하였다. 이 Table에서 재화중량 추정 시 결정했던 Fuel Oil, Lub. Oil, Fresh Water, Water Ballast, Sewage의 무게를 만족함을 알 수 있다.

생성된 Tank를 Hull을 제외한 사각형의 Box 형태로 Display한 것과 Hull에 Tank가 위치하는 것을 Display한 것을 Fig. 18과 19에 나타내었다.

Tank Volume 생성이 끝난 후 초기 G/A를 출력하여 CADRA를 이용하여 최종적인 개략적 일반배치도(Fig. 20)를 생성한다.

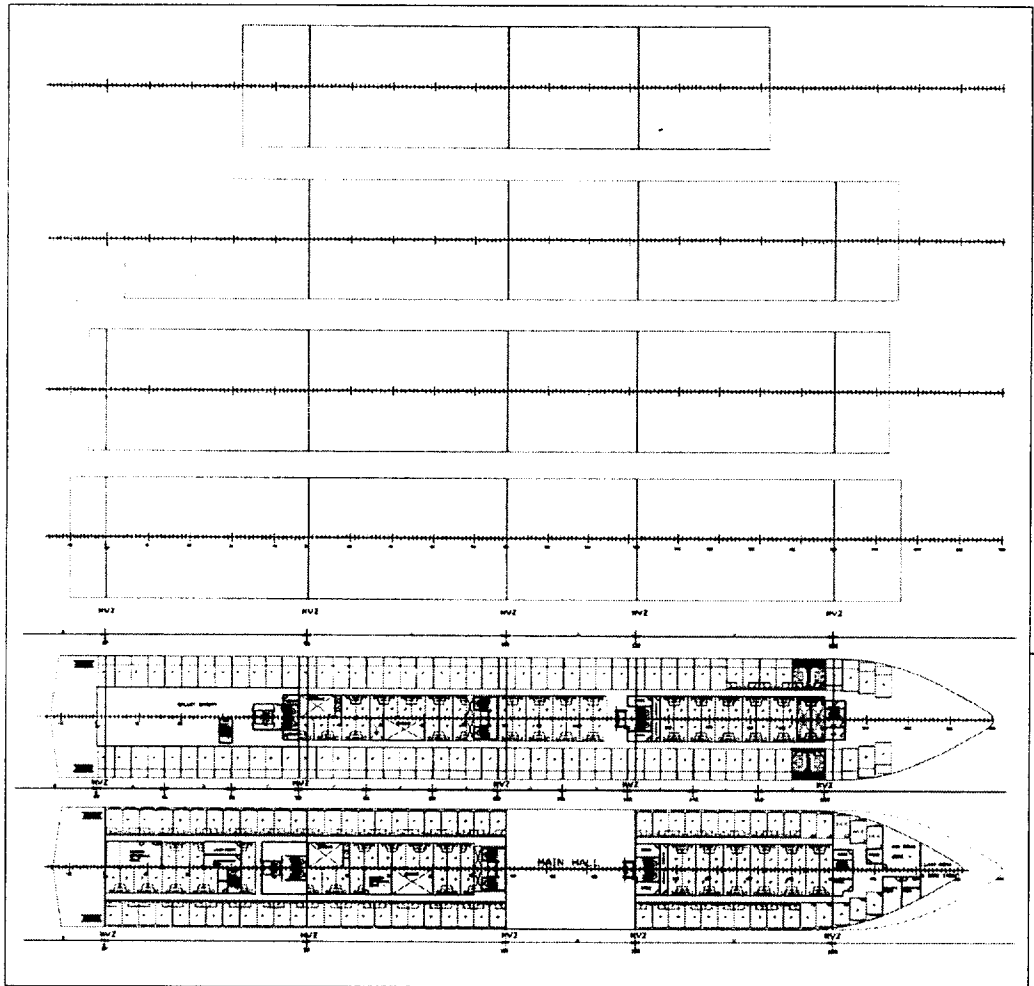


Fig. 17 설계선의 거주부 개략 일반배치도(1)

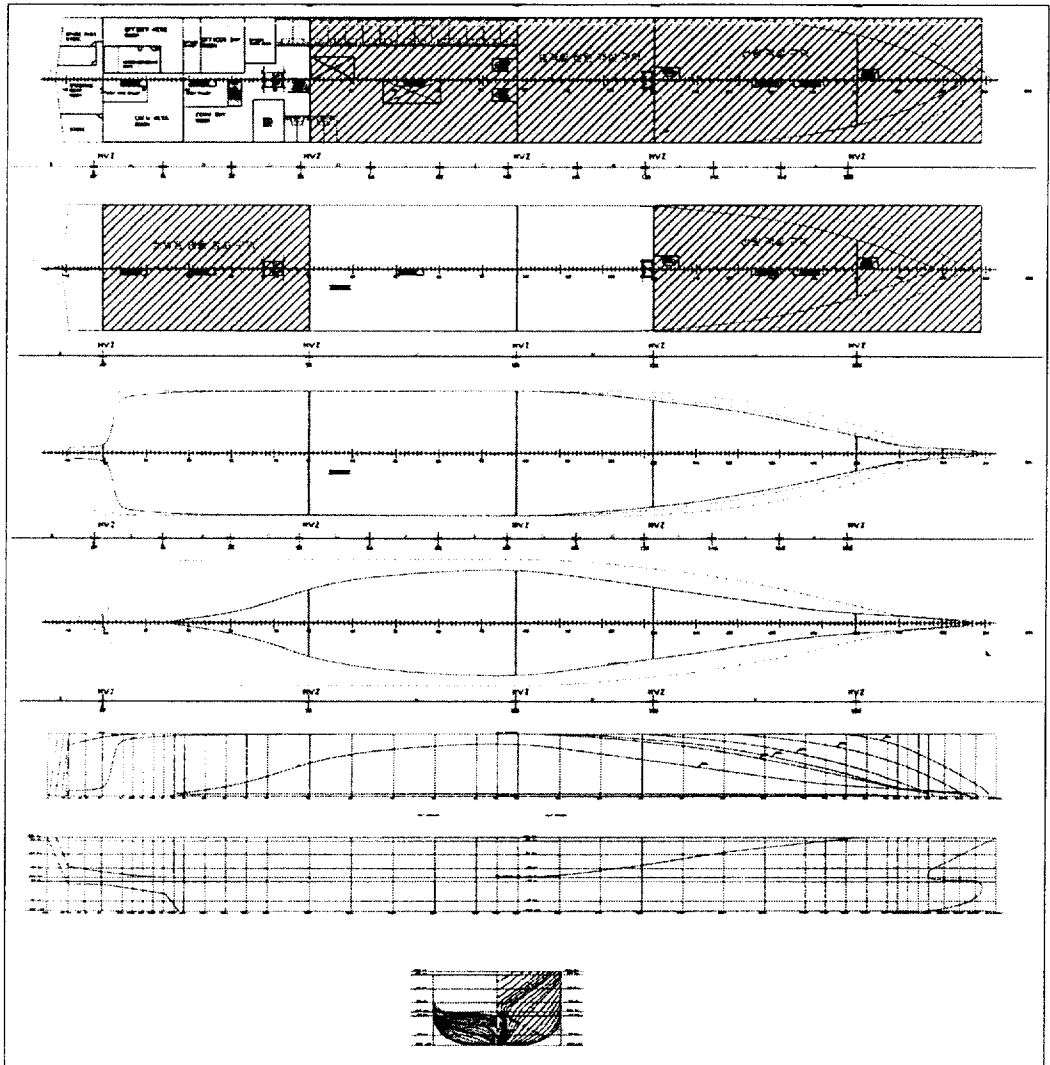


Fig. 17 설계선의 거주부 개략 일반배치도(2)

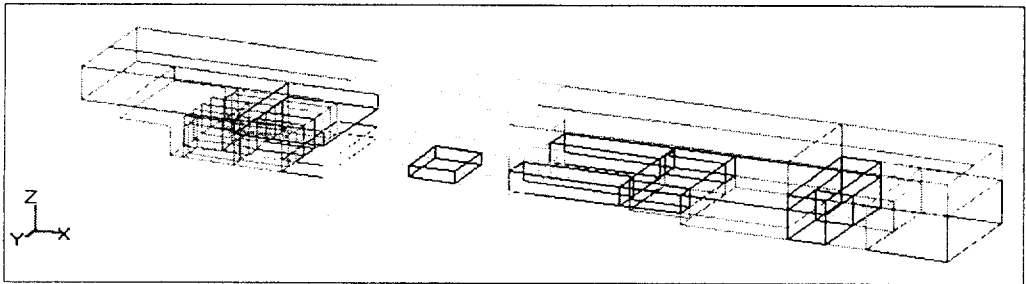


Fig. 18 설계선의 Tank Volume 생성 Display(1)

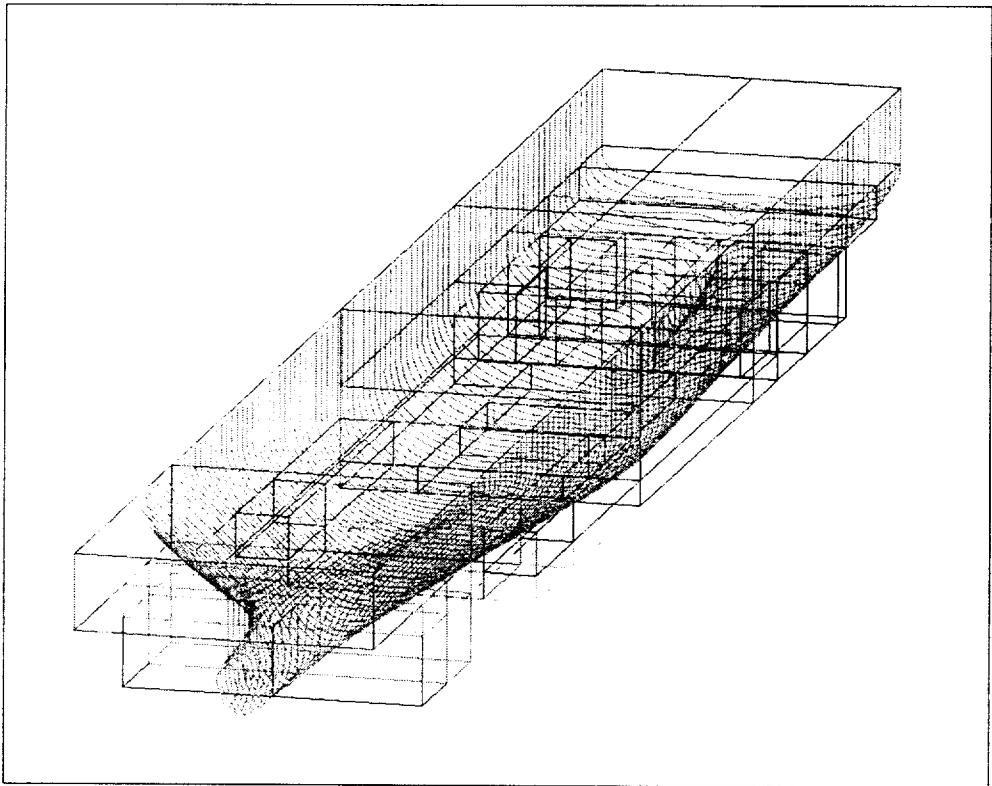


Fig. 19 설계선의 Tank Volume 생성 Display(2)

Table 21. Volume Summary

COMPARTMENT	VOLUME	CENTRE OF GRAVITY FROM		
		LPP/2	BL	CL
E/R	5326.6	-14.23	5.438	0
AFT SHADT BEARING ROOM (S)	151.7	-55.96	4.254	3.813
AFT SHADT BEARING ROOM (P)	151.7	-55.96	4.254	-3.813
LUB. TANK (E/R)	46.3	-19.5	1.207	0
FORE AUX E/R	913.6	14.67	4	0
H.F.O.T	438.4	-50.59	3.233	0
M.F.O.T	650.9	31.4	4.055	0
M.F.O.T (SETTING TANK)	241.9	31.2	1.278	0
AFT E/R	617.5	-36.52	4.111	0
AFT PUMP ROOM (S)	140.8	-45.13	3.75	3.982
AFT PUMP ROOM (P)	140.8	-45.13	3.75	-3.982
FWD PUMP ROOM	834	46.87	4.169	0
F.W.T (S)	184.4	-49.78	4.409	7.645
F.W.T (P)	184.4	-49.78	4.409	-7.645
F.W.T (S)	363.7	14.85	4.243	8.307
F.W.T (P)	363.7	14.85	4.243	-8.307
F.W.T (E/R)	315.5	-2.83	1.188	0
W.B.T (E/R) (S)	156.4	-11.5	1.526	7.51
W.B.T (E/R) (P)	156.4	-11.5	1.526	-7.51
W.B.T (Fore E/R) (S)	57.8	11.69	1.588	7.125
W.B.T (Fore E/R) (P)	57.8	11.69	1.588	-7.125
W.B.T (FWD) (S)	81.6	69.7	3.383	0.994
W.B.T (FWD) (P)	81.6	69.7	3.383	-0.994
COFFERDAM (S)	95.2	-51.67	4.921	9.994
COFFERDAM (P)	95.2	-51.67	4.921	-9.994
PROVISION	650.9	-67.49	7.155	0
REFRIGERATOR STORE	816.3	-56.25	7.152	0
CLEANING CENTER	1143.5	-41.25	7.151	0
SEWAGE TANK	154.9	-36.26	1.41	0
SEWAGE TANK (E/R)	269.1	-26.33	1.225	0
BOW THRUSTER	136.2	69.51	7.277	0
FPT	198.6	79.4	4.346	0
VOID (E/R)	211.1	-13.99	1.195	0
VOID	214	62.03	7.25	0
VOID	495.8	14.58	1.211	0
VOID	261.2	46.71	1.288	0
VOID (S)	112.6	62.04	3.491	1.495
VOID (P)	112.6	62.04	3.491	-1.495

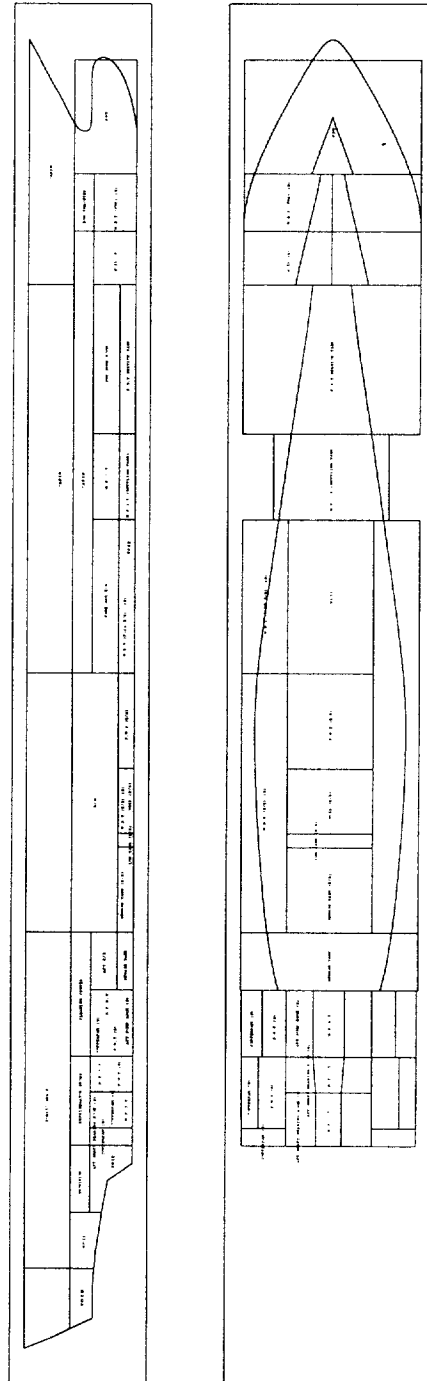


Fig. 20 설계선의 개략적 일반배치도

2.6 선박의 복원력 계산

선박은 항해 중 바람, 파, 선회시 경사, 편중된 화물 등의 외력에 대한 복원성을 확보하고 있어야 한다.

특히 여객선의 경우 일반 화물이 아닌 승객을 대상으로 한 선박이기 때문에 복원성 규정이 일반 상선에 비해 더욱더 엄격하게 적용되고 있다.

2.6.1 여객선의 복원성 [21]

가) 여객선의 복원성은 다음 각호의 기준에 적합한 것이어야 한다.

- (1) 한계경사각(α)에 있어서의 복원정(GZ_α)이 경사우력정(M/W)이상일 것(Fig. 21 참조).

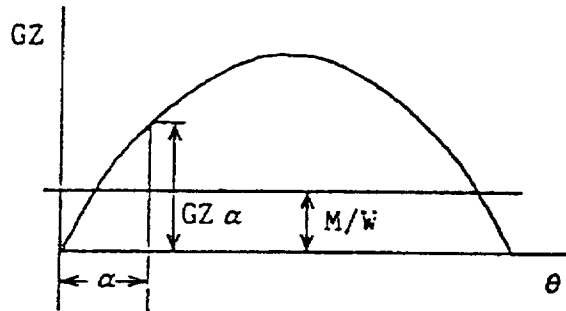


Fig. 21 복원정 곡선

- (2) G_0M (액체의 자유표면의 영향을 고려한무게중심으로부터 횡메타센타까지의 높이를 말한다. 이하 같다)의 값이 양(+)의 값일 것
- (3) 복원정의 최대값(GZ_m)이 배의 너비의 0.0215배 또는 0.275미터중 작은 값 이상일 것.

나) 여객선의 한계경사각(α)은 다음 조건식을 만족하는 각도로 한다.

$$\tan \alpha = 0.8 \tan \beta$$

이 식에서 β 는 선박의 직립상태에서 현단이 수면에 닿을 때까지의 횡경사각(현단몰입각), 20도 또는 해수유입각중 최소의 것. 이 경우 한계경사각 및 각도의 산정방법은 다음에 의한다.

- (1) 한계경사각 및 각도는 선박의 직립상태에 있어서 선체중심선과 흘수선과의 교점을 통하는 것으로 한다.
- (2) 현단은 원칙적으로 현측의 최저점에 있어서 상갑판의 상면의 연장과 외판의 외면과의 교점으로 한다. 다만, 상갑판에 현측수도또는 양압재를 설치하는 경우에는 그 내측에 있어서 갑판의 상면의 연장과 외판의 외면과의 교점으로 한다.
- (3) 평수구역을 항행구역으로 하는 선박에 대하여는 현측이 상갑판보다 상방에 있고 그 강도 및 수밀성에 대하여 충분하다고 인정되는 경우에는 그 위치를 현단으로 할 수 있다.
- (4) 상갑판 바로 위에 전통선루를 가지는 선박에 대하여는 선박이경사한 경우 당해 선루의 선측에 있어서 폐쇄장치가 전부 개방된 상태에서 당해 폐쇄장치의 개구의 하연의 부분중 최저점(당해 선루의 선측에 개구가 없는 경우에는 당해 선루갑판의 상면과 외판의 외면과의 교점)을 현단으로 할 수 있다.

다) 여객선의 한계경사각에 있어서의 복원정(GZ)은 평수구역을 항행구역으로 하는 선박(플레어 또는 텀블홈을 가지는 선박등 특수한 형상을 가지는 선박을 제외한다)에 대하여는 이를 다음 산식에 의한 것으로 할 수 있다.

$$GZ = G_0 M \cdot \tan \alpha \text{ (미터)}$$

라) 여객선의 경사우력정(M/W)은 다음 산식에 의한 것으로 한다.

$$M/W = K \cdot A \cdot H / W \text{ (미터)}$$

이 식에서 A는 직립상태에서 선박의 흘수선 윗부분의 선체종단면에 대한 투영면적(제곱미터). 이 경우 가능한 한 선박의 광범위한 부분을 산입한다.

H는 선박의 선체종단면에 대한 투영면적에 있어서 직립상태에 있어서의 선박의 흘수선 윗부분의 중심으로부터 흘수선 아랫부분의 중심까지의 수직거리(미터). 이 경우

H의 하단은 보통의 선형을 가지는 선박에 대하여는 흘수의 2등분점으로 할 수 있다.
K는 Table 22에 의한 계수를 취한다.

Table 22. K의 계수값

선박의 구분	K
근해구역이상을 항행구역으로 하는 선박	0.0514
연해구역을 항행구역으로 하는 선박	0.0274
연해구역의 항행예정시간이 2시간 미만인 선박	0.0171

2.6.2 Condition의 의미

- 1) Light Condition : 이 Condition은 Lightship 상태에서의 선박의 트림과 흘수, 그리고 전단력과 굽힘 모멘트 등을 확인하는 Condition이다.
- 2) Normal Ballast Condition : 이 Condition은 승객이 승선하지 않았을 경우의 선박의 트림과 흘수를 안정적으로 맞추어 주기 위해서 Ballast Tank를 Ballasted 시켜 항해하는 Condition이다.
- 3) Full Load Design Condition : 이 Condition은 승객을 승선시킨 상태의 선박의 트림과 흘수를 확인해 보는 컨디션으로 이때의 주요 고려사항은 유동하는 승객의 Weight의 위치와 재화(화물)의 무게를 잡아주는 것이 중요하다.

2.6.3 각 Condition에서의 결과값과 GZ 곡선도

다음은 각 Condition에서의 복원력 계산의 결과값의 정리와 GZ 곡선을 보여주고 있다. 각 Condition에서 복원력 계산 결과값을 복원성 규정을 적용하여 보면 각 Condition에 모두 만족함을 알 수 있었다(Table 23).

1) LIGHTSHIP CONDITION

DRAFT AMIDSHIP	5.252 M
MEAN DRAFT AT LCF	5.279 M
DRAFT AFT	5.444 M
DRAFT FORE	5.059 M
TOTAL TRIM	-0.385
DISPLASMENT	10500 TONS
LCG	76.404 M
VCG	11.600 M
FREE SURFACE CORR	0.000 M
KMT	14.898 M
UNCORR.GM	3.418 M
CORR.GM	3.418 M

LONGITUDINAL STRESS VALUES WHEN SHEAR FORCE = 0.

 1 165.88 85.881 0.000 45931.3

LONGITUDINAL STRESS VALUES ON THE BULKHEADS.

 1 80.00 0.000 302.357 1647.0
 2 127.50 47.500 536.545 33125.2
 3 163.80 83.800 88.733 45811.5
 4 218.50 138.500 -793.646 12301.2
 5 252.90 172.900 0.000 0.0

MAXIMUM SHEAR FORCE = -894.820(ton) AT A DISTANCE OF = 123.913

MAXIMUM BENDING MOMENT = 45931.3(ton-m) AT A DISTANCE OF = 85.881

2) NOMAL BALLAST DEPARTURE CONDITION

DRAFT AMIDSHIP	6.431 M
MEAN DRAFT AT LCF	6.505 M
DRAFT AFT	6.803 M
DRAFT FORE	6.058 M
TOTAL TRIM	-0.74485
DISPLASMENT	14551 TONS
LCG	72.794 M
VCG	9.283 M
FREE SURFACE CORR	0.017 M
KMT	14.419 M
UNCORR.GM	5.136 M
CORR.GM	5.118 M

LONGITUDINAL STRESS VALUES WHEN SHEAR FORCE = 0.

1 150.40 70.397 0.000 54247.4

LONGITUDINAL STRESS VALUES ON THE BULKHEADS.

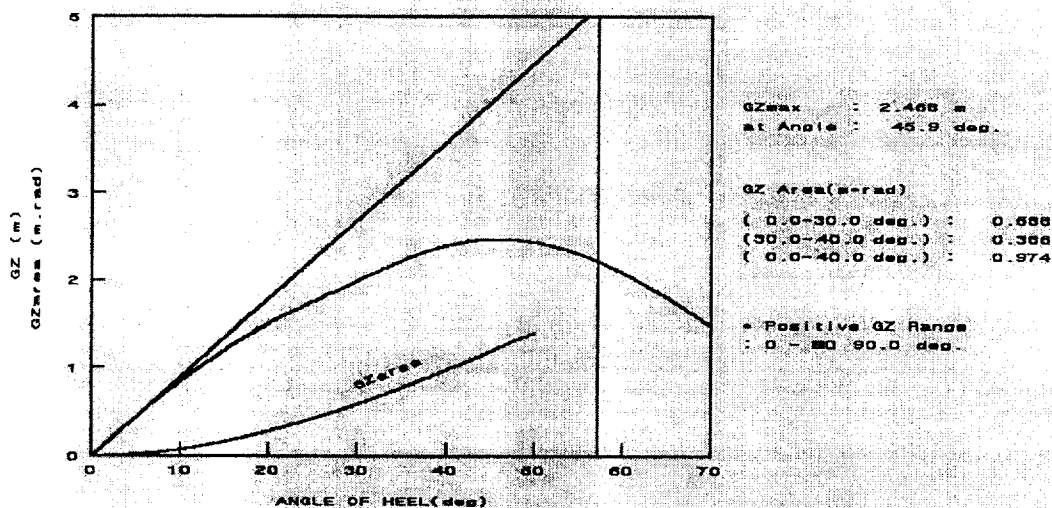
1 80.00 0.000 559.076 1323.3
2 127.50 47.500 767.963 45277.9
3 163.80 83.800 -362.124 51701.7
4 218.50 138.500 -811.362 13540.7
5 252.90 172.900 0.000 0.0

MAXIMUM SHEAR FORCE = 1116.322(ton) AT A DISTANCE OF = 38.452

MAXIMUM BENDING MOMENT = 54247.4(ton-m) AT A DISTANCE OF = 70.397

DISPLACEMENT : 14550.7 TON

LCG :	72.794 M	KMT :	14.419 M	DRAFT
KG :	9.263 M	G ₀ M :	5.119 M	-FORE(F.P) : 5.055 M
GGo :	0.017 M	TRIM :	-0.745 M	-AFT (A.P) : 0.603 M
KGo :	9.300 M	I/D :	0.0 %	-EQUIVALENT: 5.655 M



ANGLE OF HEEL(deg) :	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
RIGHTING LEVER GZ(m) :	0.000	0.640	1.497	1.990	2.394	2.432	2.008
ANGLE OF HEEL(deg) :	70.0	80.0					
RIGHTING LEVER GZ(m) :	1.478	0.664					

Fig. 22 Normal Ballast Departure Condition GZ Curve

3) NOMAL BALLAST ARRIVAL CONDITION

DRAFT AMIDSHIP	6.104 M
MEAN DRAFT AT LCF	6.206 M
DRAFT AFT	6.656 M
DRAFT FORE	5.553 M
TOTAL TRIM	-1.103 M
DISPLASMENT	13527 TONS
LCG	72.370 M
VCG	9.635 M
FREE SURFACE CORR	0.215 M
KMT	14.691 M
UNCORR.GM	5.057 M
CORR.GM	4.841 M

LONGITUDINAL STRESS VALUES WHEN SHEAR FORCE = 0.

1 154.11 74.108 0.000 47704.7

LONGITUDINAL STRESS VALUES ON THE BULKHEADS.

1 80.00 0.000 579.392 1398.5
2 127.50 47.500 469.586 39334.3
3 163.80 83.800 -150.279 47097.9
4 218.50 138.500 -878.471 14057.6
5 252.90 172.900 0.000 0.0

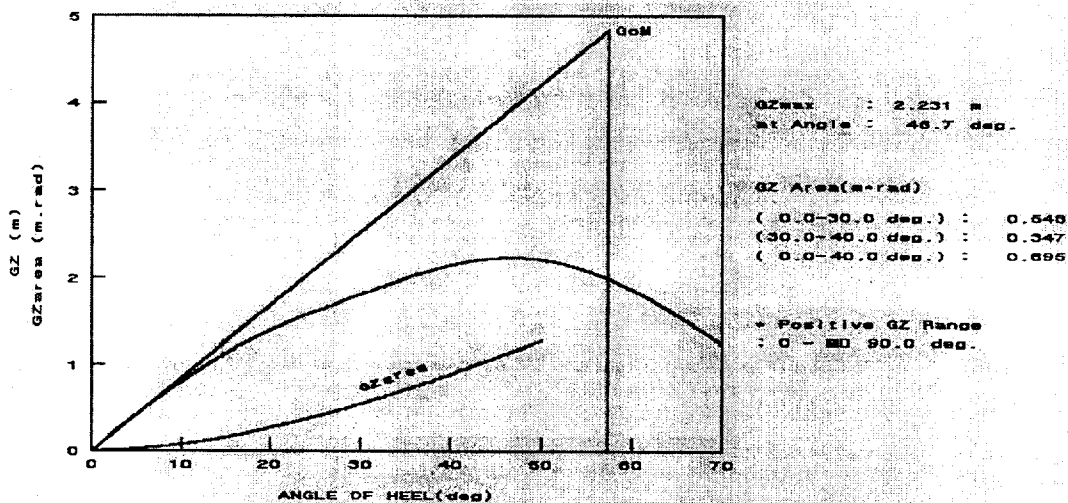
MAXIMUM SHEAR FORCE = 1018.583(ton) AT A DISTANCE OF = 9.048
MAXIMUM BENDING MOMENT = 47704.7(ton-m) AT A DISTANCE OF = 74.108

DISPLACEMENT : 13528.6 TON

LCG : 72.370 M
 KG : 9.838 M
 GGo : 0.215 M
 KGo : 9.850 M

KMT : 14.891 M
 GoM : 4.841 M
 TRIM : -1.103 M
 I/O : 0.0 %

DRAFT
 -FORE(F.P) : 8.553 M
 -AFT (A.P) : 8.658 M
 -EQUIVALENT : 8.206 M



ANGLE OF HEEL(deg) :	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
RIGHTING LEVER GZ(m) :	0.000	0.787	1.394	1.809	2.147	2.200	1.867
ANGLE OF HEEL(deg) :	70.0	80.0					
RIGHTING LEVER GZ(m) :	1.231	0.395					

Fig. 23 Normal Ballast Arrival Condition GZ Curve

4) FULL LOAD DEPARTURE CONDITION AT DESIGN

DRAFT AMIDSHIP	6.288 M
MEAN DRAFT AT LCF	6.412 M
DRAFT AFT	6.926 M
DRAFT FORE	5.650 M
TOTAL TRIM	-1.276 M
DISPLASMENT	14233 TONS
LCG	71.468 M
VCG	9.805 M
FREE SURFACE CORR	0.018 M
KMT	14.579 M
UNCORR.GM	4.774 M
CORR.GM	4.756 M

LONGITUDINAL STRESS VALUES WHEN SHEAR FORCE = 0.

1	148.40	68.403	0.000	52987.4
---	--------	--------	-------	---------

LONGITUDINAL STRESS VALUES ON THE BULKHEADS.

1	80.00	0.000	535.491	1232.4
2	127.50	47.500	807.698	44330.9
3	163.80	83.800	-356.403	49906.9
4	218.50	138.500	-694.463	12217.1
5	252.90	172.900	0.000	0.0

MAXIMUM SHEAR FORCE = 1150.935(ton) AT A DISTANCE OF = 38.452
 MAXIMUM BENDING MOMENT = 52987.4(ton-m) AT A DISTANCE OF = 68.403

DISPLACEMENT : 14232.8 TON

LCG : 71.465 M

KG : 9.905 M

GGo : 0.015 M

KGo : 9.623 M

KMT : 14.678 M

GoM : 4.755 M

TRIM : -1.276 M

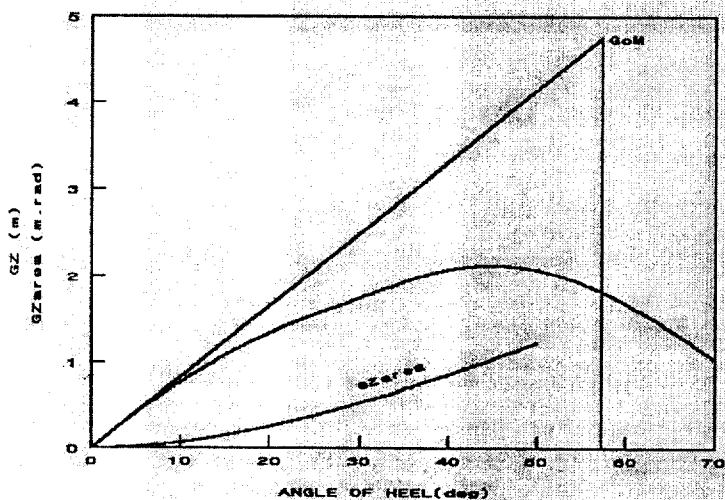
I/D : 0.0 X

DRAFT

-FORE(F.P) : 6.850 M

-AFT(A.P) : 6.925 M

-EQUIVALENT : 6.412 M



GZmax : 2.127 m
at Angle : 45.0 deg.

GZ Area(m-rad)
(0.0-30.0 deg.) : 0.531
(30.0-40.0 deg.) : 0.336
(0.0-40.0 deg.) : 0.868

- Positive GZ Range
: 0 - 80 90.0 deg.

ANGLE OF HEEL(deg) :	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
RIGHTING LEVER GZ(m) :	0.000	0.772	1.349	1.759	2.079	2.076	1.891
ANGLE OF HEEL(deg) :	70.0	80.0					
RIGHTING LEVER GZ(m) :	1.042	0.206					

Fig. 24 Full Load Departure Condition at Design GZ Curve

5) FULL LOAD ARRIVAL CONDITION AT DESIGN

DRAFT AMIDSHIP	5.672 M
MEAN DRAFT AT LCF	5.847 M
DRAFT AFT	6.632 M
DRAFT FORE	4.712 M
TOTAL TRIM	-1.920
DISPLASMENT	12316 TONS
LCG	70.455 M
VCG	10.627 M
FREE SURFACE CORR	0.388 M
KMT	15.160 M
UNCORR.GM	4.533 M
CORR.GM	4.144 M

LONGITUDINAL STRESS VALUES WHEN SHEAR FORCE = 0.

1	156.17	76.169	0.000	50291.1
2	156.64	76.641	0.000	50285.7
3	166.10	86.099	0.000	51628.4

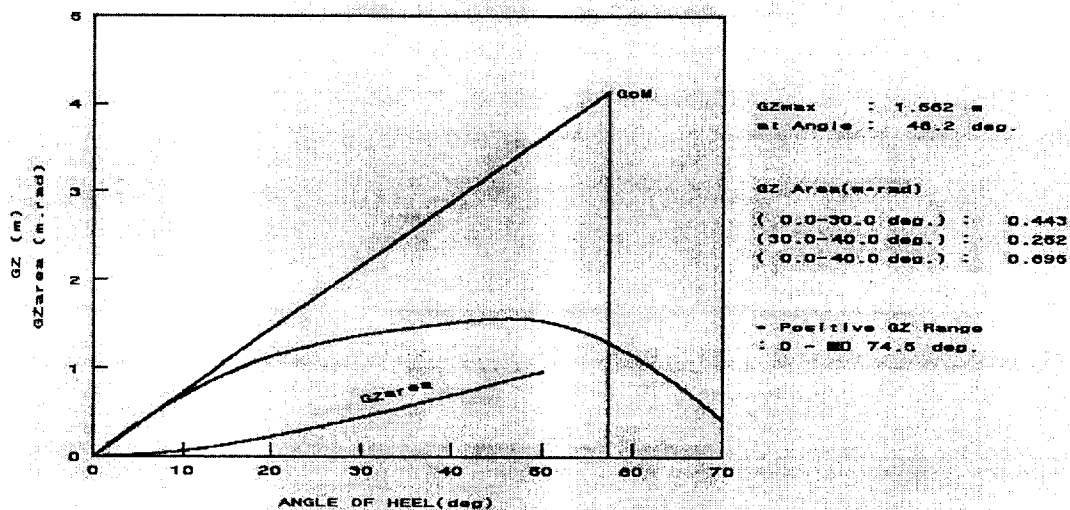
LONGITUDINAL STRESS VALUES ON THE BULKHEADS.

1	80.00	0.000	580.499	1393.3
2	127.50	47.500	492.992	41080.2
3	163.80	83.800	113.739	51525.4
4	218.50	138.500	-819.169	14113.8
5	252.90	172.900	0.000	0.0

MAXIMUM SHEAR FORCE = 1030.084(ton) AT A DISTANCE OF = 9.048
 MAXIMUM BENDING MOMENT = 51628.4(ton-m) AT A DISTANCE OF = 86.099

DISPLACEMENT : 12316.7 TON

LCG :	70.466 M	KMT :	16.160 M	DRAFT	
KG :	10.627 M	GGM :	4.346 M	-FORE(F.P.) :	4.712 M
GGo :	0.366 M	TRIM :	-1.920 M	-AFT (A.P.) :	6.632 M
KGo :	11.016 M	I/O :	0.0 %	-EQUIVALENT :	6.647 M



ANGLE OF HEEL(deg) :	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
RIGHTING LEVER GZ(m) :	0.000	0.861	1.123	1.364	1.514	1.534	1.143
ANGLE OF HEEL(deg) :	70.0	60.0					
RIGHTING LEVER GZ(m) :	0.417	-0.504					

Fig. 25 Full Load Arriaval Condition at Design GZ Curve

Table 23. 복원성 규정에 적용한 각 Condition의 결과

		Normal Ballast Departure Cond.	Normal Ballast Arrival Cond.	Full Load Departure Cond.	Full Load Arrival Cond.
$G_0M > 0$		5.118 M	5.057 M	4.756 M	4.144 M
		<u>만족</u>	<u>만족</u>	<u>만족</u>	<u>만족</u>
$GZ_{\max} \geq$ 0.0215B or 0.275 M		2.466 M	2.231 M	2.127 M	1.562 M
		<u>만족</u>	<u>만족</u>	<u>만족</u>	<u>만족</u>
$GZ \alpha \geq M/W$	$GZ \alpha$	1.497 M	1.394 M	1.349 M	1.123 M
	M/W	0.154 M	0.169 M	0.159 M	0.189 M
		<u>만족</u>	<u>만족</u>	<u>만족</u>	<u>만족</u>

Ⅲ. 결론

크루즈선은 대표적인 고부가가치선이다. 하지만 아직도 우리나라에서는 크루즈선의 건조 실적은 많지 않다. 몇몇 조선소를 제외하면 크루즈선에 대한 연구자체도 미비한 실정이다. 하지만 누구도 앞으로 우리나라 조선을 한단계 향상시키기 위해 크루즈선의 수주와 건조가 중요하다는 것에 대해 의의를 달 사람은 없을 것이다.

본 연구에서는 크루즈산업의 수요예측과 경제성 분석을 한 조성철교수의 연구결과를 토대로 국내 연안에 적합한 크루즈선의 개념을 정립하고, 이를 목표로 하여 선박의 주요목 추정과 선형의 생성을 수행하였다. 그리고 이한석교수의 크루즈선의 건축학적 측면에서의 상부구조물 설계 연구 결과를 바탕으로 선박부분의 일반배치 작업을 행하였다.

국내·외의 크루즈선에 대한 정확하고 자세한 데이터의 부족과 자료조사의 어려움으로 인해 주요목의 추정에 있어 미비한 점이 많았다. 그래서 주요목 추정 과정에서 실적선 Data의 값에 많은 비중을 두었다. 그러나 본 연구에서의 주요목 추정과정은 상세설계 과정이 아닌 초기 설계 과정에서는 유용한 여러 가지의 방법론을 제공할 것이다.

선형 생성 과정은 정확한 기준선이 없는 상황에서 근사한 선박을 대상으로 선형변환 기법을 사용하여 설계하고자 하는 개념을 충분히 반영하고자 하였다. 그러나 기존 선형의 선형변환이 아닌 신선형 개발에 대한 충분한 연구가 필요하겠다.

크루즈선의 설계에 대한 연구 활동이 활발해지고 있는 시점에서 본 연구는 크루즈선의 개념설계부터 시작하여 주요목 추정과 선형의 개발 그리고 일반배치 결정에 이르는 일련의 과정을 여러 가지 방법을 사용하여 서술하였다. 이를 통해 앞으로 크루즈선의 설계를 행하는데 있어 초기 설계 과정에 도움을 줄 수 있으면 한다.

앞으로 지속적인 연구와 자료 조사를 통한 크루즈선 설계의 전반적인 분야에 대해 상세하고 정확한 설계가 이루어져야 할 것이다.

IV. 참고문헌

- [1] 한국조선공업협회, 「조선자료집」 1992-2001, Lloyd's Register 「World Shipbuilding Statistics」 2001
- [2] 최경식, 현범수, 이한석, 조성철, 김동준, “신개념 Cruise Ship 설계 모델 개발”, 한국 과학재단 목적기초연구 제 1차 년도 중간보고서, 2000. 5
- [3] 장철순, “세계 크루즈 시장과 동북아에서 크루즈 사업의 가능성”, 해양 한국, 2000. 3
- [4] 최경식, 현범수, 이한석, 조성철, 김동준, “신개념 Cruise Ship 설계 모델 개발”, 한국 과학재단 목적기초연구 제 2차 년도 중간보고서, 2000. 5. 26
- [5] “선의 과학“, Vol. 45 1992-1
- [6] ShipPax Information, Sweden, <http://shippax.se/>,
<http://www.cybercruises.com/cruiseurl.htm>
- [7] 이창억 편저, “선박 설계”, 대한교과서주식회사, 제 3~4장
- [8] Kai Lavander, “System-Based Passenger Ship Design”, Finland Masa-Yard Ship Design
- [9] Tetsujiro Tomita, “선박 기본 설계론”, 중량 추정, 1983
- [10] M. Lackenby, “On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms”, Transaction INA, Vol. 92, 1950

- [11] 손봉룡, 이정관, 차동열, 허재경, “이축 로로휠리선의 선형 개발에 관한 연구”, 대한조선학회 '98 춘계학술대회 논문집, 1998. 4
- [12] 이한석, 박명규, 한창용, “대형 크루즈선박의 승객거주구역 공간계획에 관한 연구”, 한국실내디자인학회 논문집, 2000
- [13] 해상인명안전조약(SOLAS), 제 2-2장 - 규칙, 1998년 종합본
- [14] SIKOB-Package for Naval Architect Calculations, Hull Definition & Compartment-Definition-Calculation
- [15] 고부가가치 선박 핵심기술 개발 전략 공청회 자료, 한국해양연구소 선박해양공학분소, 2000. 9
- [16] 조성철, 최경식, 권해규, “세계 크루즈선 산업의 동향과 시장 전망”, 대한조선학회지, 제 37권 제3호, 2000. 9
- [17] 김호충, “효과적인 선형설계를 위한 주요목의 선정”
- [18] 신준섭, 유승열, 김현일, 손영택 (1997), “115m 호화 카훼리 개발 사례”, 대한조선학회 선박설계연구회 '97년 동계연구발표회
- [19] 민계식, 김외현, 강선형 (1997), “중형 초고속 수중익 쌍동휠리 설계에 대한 연구”, 대한조선학회 '97 춘계학술대회 논문집
- [20] 전경렬, 정현채(1999), “Ro-Ro Passenger Ship 설계”, 대한조선학회 선박설계연구회 '99 하계연구발표회
- [21] 한국선급, 선박검사관계법령집, “16. 선박복원성 규칙, 여객선의 복원성 기준”, 1999.1.2

감사의 글

학부와 대학원 전 과정을 통해 많은 가르침과 아낌없는 사랑을 베풀어주신 조선해양시스템공학과 모든 교수님께 감사드립니다. 특히, 학부, 대학원 과정 동안 부족한 점 많은 저에게 올바른 길을 일깨워 주시고 격려를 아끼지 않았으며, 인생을 살아가는 법을 가르쳐주신 지도 교수님, 김동준 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

그리고 보잘 것 없는 본 논문을 심사해 주신 김인철 교수님, 김용직 교수님께 진심으로 감사드리며, 폭넓은 지식과 학문의 기초를 닦아주시고 인도해 주신 홍봉기 교수님, 배동명 교수님 그리고 구자삼 교수님께 깊이 감사드립니다.

연구실에서, 학부시절부터 곁에서 많은 도움을 주셨던 윤태경 차장님, 언제나 포근한 웃음으로 대해 주셨던 유병항 선생님, 그리고 기본설계와 현장의 경험에 대해 자상하게 가르쳐주신 심상목 과장님께 감사드립니다. 그리고 저를 위해 항상 격려와 포근함을 주었던 민경철 선배님, 함께 마신 술병만해도 한 트럭이 될 만큼 항상 동거동락하며 4년이란 긴 시간을 함께 보낸 친형과도 같은 박 성우 선배님, 2002년 한해 제발 결혼을 하였으면 합니다.

그리고 함께 머리 싸매고 뭔가 해보겠다고 수없이 많은 밤을 지새웠던 태운이와 연구실 생활동안 저를 도와준 무열, 준호, 성호, 문희, 은지, 연희, 나까야마씨에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 대학원 생활동안 많은 격려를 해 주셨던 배성용 선배님, 하영록 선배님, 김경태 선배님, 신기석 선배님, 이승철 선배님, 김철현 선배님 그리고 손정대군과 석사 1년차 후배들을 평생 잊을 수가 없습니다.

내가 힘들고 지쳐 쓰러지려 할 때 항상 곁에서 묵묵히 날 지탱해주며 걱정해주었던 진정한 친구 석민과 상모에게 이 기회를 빌어 고맙다는 말을 전합니다.

저를 낳아주시고 어려운 환경에서도 저를 지금까지 공부시켜주신 부모님께 진심으로 감사드립니다. 5남매의 막내로 가장 게으르고 놀기만 좋아하던 저를 대학

원까지 보내주시고 안하던 공부한답시고 집에도 자주 들어가지 않던 저를 항상 묵묵히 지켜봐 주시고 걱정해주신 어머니와 아버지께 죄송한 마음과 감사한 마음을 비록 보잘 것 없으나 이 논문에 담아 바칩니다.

그리고 어려운 속에서도 가족이라는 울타리로 저에게 힘이 되어주시고 용돈도 듬뿍 주셨던 누님들과 매형들께 너무너무 고맙고 사랑한다는 말을 하고 싶습니다. 귀엽고 사랑스러운 나의 조카들에게도 사랑한다는 말을 전합니다.

석사과정 시작하며 나와 인연을 맺어 지금까지 무능한 나를 믿고 곁에서 지켜봐주며 힘이 되어준 미래에게도 진심으로 사랑한다고 말하고 싶습니다.

너무나 착하고 고마운 사랑하는 가족들에게 이 논문을 바칩니다.

끝으로 저를 항상 지켜봐주셨던 모든 분들과 동아리 친구들에게 진심으로 감사드립니다.