

解 說

21世紀 國際滿載吃水線協約에 따른 船舶設計의 研究

朴 命 圭* · 權 寧 中**

A Study on the Ship Design of a new ICLL for the 21st Century***

M. K. Park · Y. J. Kwon

Key Word : ITTC(The International Towing Tank Conference), ICLL 66(The 1966 Load Line Convention), SOLAS(The International Convention on Safety of Life at Sea), IMO(The International Maritime Organization), USCG(The United States Coast Guard), SLF(Sub-Committee on Stability Load Lines, and Fishing Vessel Safety), PNA(The Principles of Naval Architecture), DSS(Dynamically Supported Ships), IACS(The International Association of Classification Societies), SWA (Small Waterplane-Area), NOAA(The National Oceanic and Atmospheric Administration), ONR(The Office of Naval Research), ISO(The International Standardization Organization)

Abstract

ICLL 66 is the most widely ratified instrument of the IMO and is, along with the International Convention on Safety of Life at Sea (SOLAS), the primary document setting forth internationally agreed ship safety standards. ICLL 66 set freeboard requirement based on experience gained from the first Load Line Convention in 1930 and on contemporary developments in ship design. Reexamination of ICLL 66 is indicated by the proliferation of novel ship designs for which it lacks adequate regulations and by significant advancements in analytical seakeeping and deck wetness prediction techniques now available to the designer. In this paper, the Freeboard Advisory Group reviews these issues against the changing climate of the marine industry and maritime administrations, discusses the state of the art in analytical seakeeping programs, and outlines a series of recommendations for the establishment of a new international load line convention for the next century. The steps needed for an international program at IMO are discussed and a new convention is proposed.

* 정회원, 한국해양대학교 선박공학과

** 울산대학교 조선 및 해양공학과

*** 본고는 필자가 1992년 8월에서 9월에 네덜란드 해양연구소(MARIN)에서 산학협동연구비로 개발중인 창구 덮개가 없는 컨테이너 선박의 Seakeeping Model Test 작업수행동안 Delft University of Technology에서 개최된 "MTFE 92" 세미나에 참석하여 USCG에 근무하는 PHILIP ALMAN의 강의 논문(제목: KLL2000)을 우리말로 옮기면서 최근에 다양한 선박설계시 국제만재홀수선 적용에 관한 내용을 원본에 추가하여 해운 및 조선기술자들의 대응방안을 모색코져 번역한 것임.

1. 서론

건현표(Freedboard Tables) 설정을 위한 현대 내항성이론의 첫번째 성공적인 적용은 1970년대 초 오대호 만재홀수선(Great Lakes Load Lines) 캐나다와 미국 공동 기술위원회에 의해서 이루어졌으며, 그 결과 당시에 등장한 305m의 새로운 배들을 포함한 1973 오대호 만재홀수선 협약을 낳았다. 오늘날 국제해사공동체는 그와 유사한 전환점에 서 있으며, 건현 결정에 과학적인 원리의 적용을 도입한 공동체로 되돌아가려 한다. ICLL 66은 26년동안 존재해 왔으며 그 이전에는 첫번째 1930년 만재홀수선협약이 있었다. 오랜동안 ICLL 66의 기술적인 규정을 재평가할 필요가 인식되어 왔다.

시간의 경과, 새로운 기술개발 그리고 새로운 선박설계의 도입에 의해서, 문서의 많은 부분의 근본적인 장점과 단점들이 들어났다. 30년전에는 결코 상상치 못했던 광범위한 설계개념들이 계속해서 해양산업에 도입되어 왔다. 이러한 새로운 형태의 배들에 대하여 상기 협약 그대로 적용한다는 것은 안전한 건현의 지정이라는 면에서 문제점을 안고 있다.

새로운 선박을 설계함에 있어서 갑판침수를 평가하는 방법으로서 모형시험과 병행해서 해석적인 내항성연구를 수행하려는 경향이 증가되고 있다. 최근의 해석적인 내항성 연구의 수행 능력은 모형시험 프로그램에 의해서 증명되었으며, 홀수선 지정에 적용할 수 있는 가능성을 넓혀 주었다. 그리고 그것은 ICLL 1966의 고유한 안전수준을 이해함에 있어서 요점이 된다. 이러한 발전을 인식하고, IMO는 복원성, 홀수선및 어선안전 소위원회(SLF)의 일정표에 ILLC의 기술적 수정을 의제로 제출했다. 미국해안보안청(USCG)은 SLF에 대표자로서 그 소위원회에 미국 공동 관심을 표명할 책임이 있다. USCG는 미국 공동의견이 SOLAS 작업그룹을 통해서 SLF에서 반영되도록 요청하고 있다. 건현 그룹은 USCG에게 기술적인 홀수선 논점에 대해서 조언을 하고 있으며, 조선(操船), 선급, 유체역학, 구조를 포함한 다양한 분

야에서 뛰어난 전문가들로 구성되어 있다.

본 고찰에서 1966 ICLL의 역량과 현시점의 기술적인 논점에 대한 앞으로의 전망을 보이고자 하며, 내항성능 해석에서의 갑판 침수 평가문제에 적용하기 위한 권고사항과 건현평가 변수들과 톤수측정규정(TM)을 수정할 필요성과 함께 현재 연구현황이 재검토된다. 그리고 상기 조약을 수정하기 위한 계획을 보이는데, 새로운 배에 적용하기 위한 유연성과 갑판 침수로부터 동등한 보호를 하기 위해 노력하고 있다. 마지막으로, IMO의 국제적인 협력을 위해서 권고하고 싶은 접근방법의 윤곽을 보이고자 한다.

2. 국제 만재홀수선 협약의 목적

안전 장치로서 홀수선의 개념은 30년전과 마찬가지로 오늘날에도 유효하다. 홀수선 협약의 역사를 통해서, “바다에 대한 종합적인 보호제공”에 뛰어난 철학이 존재해 왔다. 100년 이상이나, 홀수선 규칙이 대양에서 배에 관한 종합적인 안전장치가 되어 왔다. 이런 상황을 고려해 보면, 홀수선 협약이 선박안전의 가장 중요한 도구가 된다. 그러나 그 고유한 안전성이 흔히들 의심없이 자동적으로 받아들여지곤 하였다.

ICLL 66의 성취는, IMO의 모든 해사안전문서들 가운데 가장 널리 비준된 (140개국 이상) 것으로서, 양면성을 지니고 있다. 비록 대표자들은 내항성 해석에 있어서의 새로운 발전을 알고 있었지만, 충분히 개발되지 못했기 때문에 그 기술을 사용하기에 망설여왔다.

2.1 1966 협약의 기본적인 요소

홀수선 협약은 바다에서 운항하는 배에 대하여 최대 안전 홀수를 지정하기 위한 문서로써立案되었다. 1966년 홀수선 협약에서, 최상의 기준은 다음과 같다.

1. 배안으로 물의 유입 방지
2. 적절한 예비부력 확보
3. 선원 보호

4. 적절한 선체강도와 복원성 유지

5. 갑판 침수 제한

1966 협약의 대표들은 건현을 정의할 수 있는 기반 개발에 대한 필요성을 인식했다. 상기 5개 요소들은 그 기반을 보이고 있다. 1930년 협정에서 제정된 건현표와 지정 조건들은 이미 지정된 건현을 가지고 있는 배가 그 5개 보호요소들과 일치되도록 하기위하여 유지되고 수정되어졌다.

2.2 동등한 안전수준

오늘날, 선박설계에서 새로운 개념의 등장은 어떤 경우에 있어서 ICLL 66의 적용에 도전을 하는 해양선박형태의 출현을 이끌어 왔다. 이런 경우에, 안전에 대한 동등수준의 개념이 요구 건현을 결정하는데 사용된다. 대표들은 특별한 개념을 예상했으며 제6조(면제)(Articles 6("Exemptions"))와 제8조(동등)(Articles 8("Equivalents"))에서 동등한 안전수준에 근거한, 실험적인 개발을 할수있도록 하였다. 실제의 동등한 안전수준은 계량적으로 정의되어지지 못했다.

새로운 형태의 배에 대해 면제시켜 주기 위해서는 안전 목적이 어떤 다른 방법으로 주관청에 만족되어야 한다. ICLL 66은 동등성을 평가하기 위해 사용되어야 할 방법에 대하여 특정지침, 혹은 어느 수준이 적당한가 조차도 제공하지 못한다. 때로는, 그 결과는 그 협약의 광의한 해석에 그치고 만다. 근래의 ICLL 66가 의미하는 안전수준의 재조사를 강요하고 있다. 급진적인 설계개념의 도입은 Open-top(무개형) 컨테이너선은 창구덮개가 없이(Hatch coverless) 운항되도록 설계된 특이하고도 도전적인 설계개념이다. 햇치카바의 제거는 결과적으로 항구에서의 체류시간을 줄이고 컨테이너 적하능력을 증대시킨다. 이러한 설계 형태는 관련 규정 문제에서 복잡한 국제적인 논쟁의 초점이 되어 왔다.

Open-top 컨테이너선의 요구에 대한 현재의 개발상황은 동등물 과정에서 하나의 뛰어난 예이다. 이 배는 건현을 증가시킴으로서 선창안으로 해수의 유입을 줄이도록 설계된다. 증가된 건현은 일

년동안의 운항상태에서 경험하는 green water의 유입을 최소화하도록 되어 있다. 그러나 연간 통계에서 예측된 값을 넘는 황천이 발생할 수 있을 것이다. 그 운항수명 동안에 open-top 선박은 상당한 선창침수를 일으키는 황천 상태를 조우할지도 모른다.

황천 이나 비에 의해서 선창내에 축적될 가능성이 있는 green water는 선창 예비된 선창 배수 시스템에 의해 조절된다. 과거에, 흡수선의 지정은 동등안전수준의 증명에 근거한 규칙 27, 16과 면제에 의해서만 수행될 수 있었다. Open-top 컨테이너선에 대한 동등수준은 증가된 건현, 선창 예비 배수시스템 확보 그리고 선창 완전 침수상태에서도 복원성이 있을 때에 주어진다.

동등물의 증명을 위한 기준을 특별히 제정하기 위하여, IMO는 "Requirements for Open-Top Container Ship"을 개발했다. 이 요구사항들은 햇치카바없는 배의 동등 안전수준을 증명하기 위해서 만족해야할 기준을 정의하고 있다. 이들 기준은 green water 유입을 측정하는 내항성 모형시험에 근거해서 증명되어진다.

2.3 내항성능 : 함축된 안전수준

ICLL 66의 건현표와 규정은 안전수준을 가지고 있다. 그 협약이 입안될 그때 1930 협약의 기본 건현은 일반적으로 충분한 것으로 받아들여 졌고, 그리고 사실, 조정기간의 경험은 길이 100m 넘는 배들에 대한 기본 건현의 감소를 정당화 했다. 최근, 일반적인 내항성 연구가 건현표로 부터의 갑판침수 빈도수를 잴 수 있도록 행해 졌다. 이 내항성 연구는 길이 100~180m 사이에 있는 배들에 대해서 선수파(HS=10m)에서 선수에서 1m 넘는 green water의 갑판 침수가 시간당 100회 정도 되는 것을 보여 주었다 [2, 3]. 그리고 설계 한도로서 시간당 대략 30회의 갑판침수를 권장한 연구들도 있다[4]. ICLL 66 건현은 긴 배에서는 적은 갑판침수 빈도수를 짧은 배에 대해서는 많은 갑판침수 빈도수의 결과를 주고 있다.

건현표 제정에 있어서 근래의 내항성 이론의

첫번째 성공적인 적용은 1970년대초에 오대호 만재 홀수선에 대한 캐나다와 미국 공동 기술위원회에서 행해졌다. 이 연구는 길이 168m 넘는 오대호 선박에 대해서 선체 중앙 표정 전현을 줄일 수 있다는 것을 시사한 중요한 것이었다.

좀 더 최근에는, 일반 화물선들에 대한 내항성 연구가 SLF [2, 3]에 대한 준비를 하고 있는데, 길이와 C_b 를 변화시킨 21개의 다른 Series 60 선형에 대한 것이다. 선형 Strip 이론을 사용하는 MIT 5-D 내항성 프로그램이 계산을 위해 사용되었다. 유의파고 4, 7, 10m의 Bretschneider Spectra에 의해 특성지워지는 불규칙한 긴 파정을 가지는 선수파에서 각 선형에 대한 갑판침수를 결정하기 위해 계산이 수행되었다. 그 자료들은 선수에서의 심한 침수에 대한 시간당 빈도수를 보여주고 있다. 이러한 결과들은 갑판침수 빈도수에 있어서 현재의 전현표가 작은 배에 대해서는 더 많이, 큰 배에 대해서는 더 적은 결과를 준다는 이전의 결론을 보강해 주고 있다.

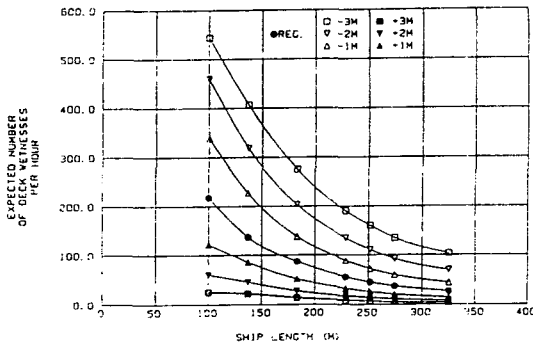


Fig. 1 Sample deck wetness for ICLL 66 "Standard Ship" (from reference [2], Fig. 7 : 10 knots, station No.2, 10-m wave height ; rule freeboard+standard sheer+1min head seas : $C_b=0.75$)

Fig. 1은 스테이션 2에서 1m 초과하는 갑판침수 빈도수를 보이는데, 현재의 전현 규칙에 의한 것과 그 규칙값을 크고작게 변화시킨 것에 의한 것을 비교해 보이고 있다. 그리고 국제표준화 침수 빈도수(ISO-wetness)곡선이 ICLL 66과 비교하기

위하여 구해졌다(Fig2). 이들 연구는 나아가서 C_b 의 증가에 따라 갑판침수가 감소하는 것을 보여주고 있다. 중간길이 범위를 벗어나는 배들에 대한 갑판침수의 동등수준을 주기 위해서는 전현표를 약간 조정할 필요가 있을지도 모른다는 결론이 합리적인 것 같다. 그러나 앞에서 말한 바와 같이 갑판침수는 고려해야 될 안전요건 가운데서 단지 한가지일 뿐이다. 내항성 해석이 전현을 결정하기 위해 이용될때, 갑판침수 빈도수는 시간당 대략 100회에 상당해야 한다. 이것이 ICLL 66의 고유한 갑판침수에 대한 동등안전수준이다.

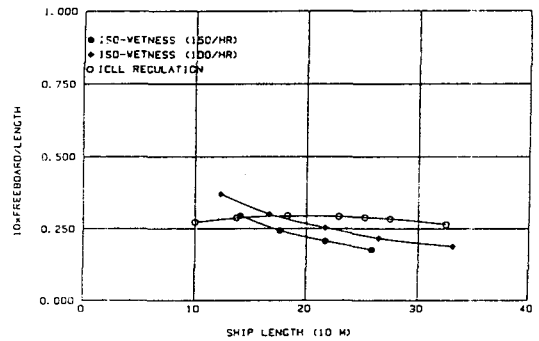


Fig. 2 Sample iso-wetness curves versus ICLL 66 (from reference [2], Fig. 10 : variation of freeboard ratio with ship length for $C_b=0.75$)

2.4 선체 강도

적절한 강도는 갑판침수, 해수유입 및 전복에 대한 방지와 더불어 전현지정시, 기본 안전요소 가운데 하나이다. 배는 분명히 지정된 만재 홀수선에서 안전하게 운항되도록 충분한 강도를 가져야만 한다. 그러므로 선체강도의 확보는 전현 지정에 포함시켜 왔다. 그러나 강도확보는 안전의 요점에 있어서 자주 복잡한 문제가 된다. 1966년 만재홀수선 협약은 "인정된 지정 기관의 승인하에 건조되고 유지관리된 배는 적절한 강도를 지니고 있는 것으로 간주된다"로 책임지고 있는 선급협회에 강도 확보에 대한 책임을 위임했다.

1930년 만재홀수선 협약은 지정조건의 한 부분

으로서 최소강도 공식을 포함하고 있다. 이 강도 공식은 선체거더와 늑골의 단면계수에 대한 최소한의 요구를 규정하고 있다. 이 공식들은 주로 1920년과 1930년대 초에 볼 수 있는 표준 선형의 매우 좁은 범위에 적용되었다. 1960년대초 경에는 배들이 이제 오래된 강도표준으로 적절히 적용될 수 있는 단계를 벗어나 있었다. 비록 강도표준을 선급협회에 위임함으로써 유연성을 갖추었지만, ICLL 66을 재평가함에 있어서, 다음과 같은 질문을 피할 수 없다; 현재 제도가 만족할 만한가? 1966 만재홀수선 협약은 선체 강도를 확보함에 있어서 적절히 구실을 해 왔는가? 뭔가 다르게 바뀌어져야 하지 않을까? 이 질문들에 대한 대답은 애매하다. 개정 협약은 1966년 협약의 개념으로부터 달라져서는 안되지만 미래의 도전에 적합하도록 수정되어야 한다.

선체구조에 대한 새로운 접근-새로운 기술과 설계에서의 발달과 새로운 재료의 사용으로서, 구조적인 완전성을 확보함에 있어서 부딪히는 문제들은 다른 차원을 맞이하게 될 것이다. 단동배수량 선박에 대한 안전수준으로서 과거 25년동안 세계 해사 공동체에서 ICLL 66이 적절한 역할을 해온 것은 사실이지만, 새로운 만재홀수선 협약은 특수한 해상선박과 문제들에 대해서도 잘 적용할 수 있도록 유연성을 갖추어야 한다. 새로운 설계가 협약에 대해 면제를 요구해 왔을 때, 구조적인 안전성을 확보하기 위해서 수행된 구조해석의 종류들이 때때로 주관청에 따라서 다르다.

현재, 어떤 선급협회는 가장 원칙적인 규칙의 공식화와 피로 설계방법을 개발하기 시작했다. 국제선급협회연합회(IACS)는 피로강도 설계를 위한 통일된 과정을 개발하기 위해서 "선박의 피로강도"에 대한 Ad Hoc Working Group(작업부회)를 설립했다(DE35/INF.16).

덧붙이면, 해사안전위원회의 61회 총회에서, IACS는 공인된 선급협회를 결정하기 위한 표준을 제정할 것을 권장했다. IACS의 제안지침은 IMO 권장사항을 위한 기반이 될 것이다. 선급협회에 의한 이런 형태의 진보적인 움직임은 지속적인 안전확보를 위해 필요하다. 어떤 면에서, 구조적

인 완전함을 확보하는 문제는 이미 바뀌었는지도 모른다. 구조 연구에서 노력의 초점은 피로생명과정비 그리고 오래된 선박의 구조 검사에 관계된 문제를 포함하도록 변화되었다. 탱커에서의 선체 균열의 재발 사례는 피로의 시작초기에 대한 어떤 척도가 되어야 하고, 국제적인 관심의 초점이 되어 왔다(SLF 35/12, SLF 36/14). 지난 2년에 걸쳐서 발생한 많은 산적화물선 재난사고는 큰 관심이 되어졌다. 1990년 1월과 1991년 9월 사이에 36척의 산적화물선이 심각한 구조적인 사고를 겪었으며 그 가운데 21척과 250명의 손실이 야기되었다.

이러한 문제점들이 해사안전위원회와 복원성, 만재홀수선 소위원회 그리고 어선안전(SLF)를 통해서 IMO에 상정되었다. 덧붙여서, IMO 사무국은 의원회 결의 A.713(17) "Dry Bulk Cargo를 운반하는 배의 안전"을 발표했다. IMO에서의 노력과 함께 IACS는 Working Party on Hull Damages(DE35/17)를 설립했다. IACS Working Party는 정비, 검사 그리고 선체 균열 문제를 다루기 위한 방안을 만들었다.

IMO와 IACS의 결론과 권장은 개정협약에 구조적인 완전함을 확보하기 위한 새로운 개념에 대한 중요한 지분을 가질런지도 모른다. 거의 모든 배수량 선박의 구조설계 이면에 있는 개념은, 간단히 말하면, beam 이론과 선체 거더에 중심이 맞춰져 있다. 미래의 새로운 선박설계는 이런 식의 해석을 허용하는 형태에 적합하지 않을런지도 모른다. 구조적인 완전함의 보장은 "제일 원칙"인 공학적인 접근에 바탕을 둘 필요가 있을 것이다. 선체하중은 세계적인 기후자료에 의해 정의될 것이다. 북미대륙에 대해서는, 국립해양기후관청(NOAA) 파랑 부표자료가 북대서양, 태평양, 멕시코만으로 부터 지난 10년동안 제공되어 왔다. 북해에 대해서도 유사한 자료를 영국과 노르웨이가 수집해 왔다. 다른 해양구역도 가까운 장래에 이와 유사한 조사를 해야 할 것으로 기대한다.

구조적인 신뢰성 분야에서 더 많은 이해가 얻어짐에 따라, 해양 선박이 운항생명을 연도록 설계할 때에 더욱 많은 노력이 기울여질 것이다.

동등 안전수준은 설계된 생명기간까지 확장될 것이다. 설계해석에서 사용되는 기후통계는 의도한 설계기간에 적절해야 할 것이다. 우리는 새 협약에서 최소 운항기간을 20년으로 맞출 것을 권장한다.

성능기준을 개정협약속에 통합시키는 것이 그 목적에 가장 적합한 방법인 것 같다. 구조적인 완전함을 확보하기 위한 성능기준은 정해진 조종성과 생존 가능성 대역에 근거해야 한다. 그 대역들은 차례로 정해진 기후와 예견되는 손실위험에 근거되어야 한다. 그 기준은 다양한 새로운 설계 개념을 충분히 포용할 수 있는 유연성을 가져야 한다. 성능기준의 중요한 부분은 주요한 구조적인 재건조 없이 만재홀수선은 새로 될 수 없다는 것 외에도 최소한의 피로생명에 근거를 두어야 한다. Critical Area Inspection Plan의 사용은 구조결합과 피로문제에 도움을 줄 수가 있으며, 만재홀수선 증서와 함께 배에 대한 유지보수 기록의 중요부분이 되어야 한다.

2.5 미래를 위한 새 협약

1930년과 1966년 만재홀수선 협약에 의해 실제로 이루어진 안전수준은 결코 계량화되지 못했다. 그 이유는, 첫째로 선체운동에 대한 수학적인 방법론이 아직 개발되지 못했었고, 둘째로 규칙이 공식화될 수 있는 자신있는 수준에 아직 도달하지 못했기 때문이다. 그 두 협약은 필시 그 회의 참석자들에게 적절한 가장 훌륭한 판단의 결과이었음에 틀림없을 것이다.

21세기초를 위한 만재홀수선 협약은 1930년 이래 만재홀수선 협약의 규칙에 의해 다루어져 온 다섯개의 안전기능 기준에 대한 재확인과 적용사항의 확장이 필요할 것이다. 그리고 현재 사용되고 있는 형식에 적합한 보통의 단동선과 보다 유연하고 실시하는데에 초점을 맞춰서 새로운 설계에도 적합한 동등안전수준을 제공할 수 있는 내항성 기술과 근래의 기후자료를 사용해야 한다.

최근에는 심해 부표와 고속 전자적 해석으로써 ICLL 66의 안전수준에 대한 상대적인 숫자를 대

치하는 것과 얻어진 안전수준이 모든 배에 대해서 동등하다는 것을 보증하는 방법을 확인하려는 시도가 가능하게 되었다.

선형(strip 이론)과 비선형(아직 충분히 개발된 공학적 방법은 아님) 내항성능 기법의 적용범위에 관해서 많은 논의가 있지만, 더 이상의 지체는 현명치 못하다고 생각한다. 모든 배들은 국제항해를 위해서 만재홀수선 증서로 증명되어야 하기 때문에, 본 협약은 새로운 배의 설계와 운항이 모색되어질 수 있도록 조치해 줄 수 있는 수단으로서 충분히 개선되어야만 한다. 이런 작업의 근거는 이미 자리를 잡고 있으며, 1989년 PNA(기본조선학) 3권에 Mandel이 명백히 써 놓았다. 그는 배/해양 성능을 조사하기 위한 세계의 주요 기준과 사람의 안전과 배의 안전을 위한 두 가지 기준으로 분류하고 있는데, 이는 해양으로부터 배를 보호하고 갑판상에서 사람의 안전을 목적으로 하는 본 협약과 관련되어 있다.

Mandel의 두가지 실시요소와 설계자는 황천시에 시간당 갑판침수를 대강 100회 정도로 예측해야 한다는 언급은 본 고찰과 잘 일치하고 있다. 이것은 중간길이 범위의 배에 대한 ICLL 66이 의미하는 갑판침수 수준으로서 안전에 대한 규칙 수준의 근거가 되어야 한다.

2.6 새로운 해양선박에 대한 협약의 확장

새로운 배 형태에 대해서 해석적인 내항성 모형의 사용에 대한 필요성은 거의 확실하다. [1]에서, 해양 시스템의 세가지 뚜렷한 기준을 가지는 만재홀수선 협약의 개념을 주장하고 있다. 이들 기준은 (A) 배수량형 단동선(Displacement Monohulls) (B) 다동선(Multihull Vehicles) (C) 저 배수량 혹은 배수량형(Low Displacement, or Nondisplacement Hulls) 이 아닌 선체로 구분된다. 이것은 세가지 기준의 실시에 있어서 뚜렷한 차이를 인식함으로써 표준 배수량 선형 이상까지 다룰 수 있도록 만재홀수선 협약을 확장하는 데에 있어서 유용한 근거가 된다. ICLL 66의 초석을 이루는 5개 요소(갑판침수, 예비 부력, 강

도, 복원성 그리고 침수방지가 단동선(범주 A)을 포괄적으로 포함한다는 것이 경험적으로 시사되어 왔다.

새로운 배의 전현지정시에 충분한 유연성을 주기 위해서 본 협약의 기본적인 5개 요소에 약간의 수정이 필요할지 모른다. 이들 선박에 대한 조종성과 생존성 대역을 정의하기 위하여서는 새로운 요소가 포함되어야 한다. 5개 요소 가운데 아마도 어떤 것은 운항 대역에서 완화되거나 수정되어야 하며, 그 선박이 인정될 수 있는 생존 대역을 가지고 있다는 것을 시사할 수 있도록 제공되어야 한다. 예로써, 현 규칙은 레일, 중간 레일, 기동 높이를 언급함으로써 갑판상에서 사람의 안전을 다루고 있다. 앞으로는, 50노트 이상의 속도로 운항하는 선박은 고속에서 폭로된 갑판상에서는 일할 필요가 없도록 설계되어야 하며, 배가 정해진 속도나 그 이상으로 운항할 때에는 아무도 폭로된 갑판상에 나가지 못하도록 해야 할 것이다.

운항가능과 생존가능 帶域을 정의함에 있어서 적합한 환경기준에 대한 논의가 참고문헌[5]에 주어져 있으며, 그예를 Fig.3에 보인다.

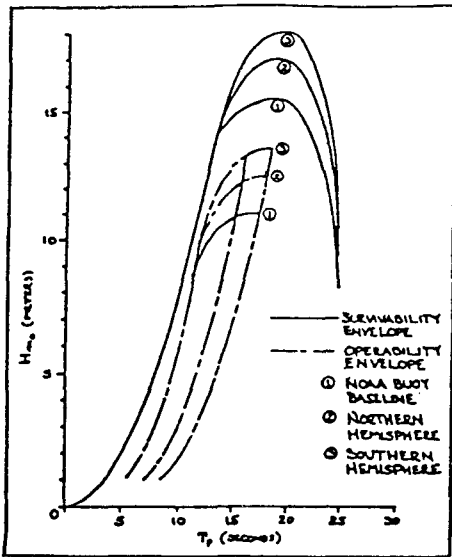


Fig. 3 Operability and survivability envelopes

Buckley는 거의 10년에 걸쳐서 수집한 NOAA 부표자료에 대해 수행한 상당히 많은 연구에 관해 논의를 하고 있다[5]. 운항가능과 생존가능 설계 기준의 사용은 원래 약 16년전에 제안되었으며, 그 정의는 다음과 같다.

- 운항가능 帶域 - 년중발생 최대파고 평균에 상응하는 상한치로 4개의 특정 파랑 기후를 포함
- 생존가능 帶域 - 유의파고와 주기값과 함께해서 최대 파랑 스펙트럼 측정에 근거하고, 파의 조도와 최대 유의파고에 의한 제한

적용시에는, 그 두 帶域의 경계를 대표하는 적절한 해양 스펙트럼(spectrum)이 정의되고, 상응하는 선형운동해석이 그 응답을 결정하도록 수행된다. 그 帶域에 대해 예측된 선체 응답은 Mandel이 보인 것으로서 성능기준과 비교된다. 운항가능 帶域은 세계의 특정 기준을 정의하고 있으며, 각각은 다음과 같이 세부 기준을 가지고 있다.

- 사람-사람의 피로, 안전
- 선박 화물-화물의 이동
- 선박-선체 손상, 갑판 의장 손상

Mandel에 의해 몇가지 값들이 제안[4]되었으며 Table. 1에 주어져 있다. 이와 같은 시도는 새로운 협약에 적용될 수 있다.

생존가능 帶域을 정의함에 있어서, 배에 파국적인 손상을 주는 다음과 같은 특정 기준은 제한되어야 한다.

- 선박-파국적인 선체 손상, 동력학적인 전복
- 새로운 만재흡수선 협약은 단지 배의 생존능력 그 자체에만 관계할 것이다. 왜냐하면 사람의 안전은 SOLAS의 규정에 속하므로 갑판상에서 작업하는 사람을 제외시킬 수 있기 때문이다.

운항가능과 생존가능 帶域 개념에 대한 한가지 한계성은 그것이 spectral특성을 사용한다는 것이다. 시간영역에서의 선체 운동 시험은 성능기준에 비선형인 운동성분을 포함 할 필요가 있을런지 모른다. 어떤 결정적인 시간영역 파형은 스펙트럼 특성으로부터 적절히 나타나지 않을런지도 모른다. 생존가능 대역을 정의함에 있어서 시간영역 파랑을 적절히 나타낼 수 있는 연구가 더욱 필요할 것이다.

Table 1. Prescribed values for twelve performance criteria

Column No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	Commercial Monohulls														
Ship Type	Naval Monohull	3350t SWATH	Planing Craft	Hydro-foil	2000-3000t SES	Naval Monohull	Naval Monohull	Bulk Carrier	Gen. Cargo	L. Trawler	Cross-chan.				
Function	Point-to-Point Transit						Helicopter Operation	At Sea Replen.	Sonar Search	Transit					
Source	Comstock Olson et al (1977)	Allen Olson (1980)	Allen et al (1977)	Stark (1978)	Mandel (1977)	Mandel (1979)	Comstock Olson (1977)	et al (1980)	Olson	Olson	Aertssen(1968, 1972)				
1 Rms roll angle, deg	9.6	4.	9.6	...	1.25	1.5	3.2	2.5	...	9.6	...	...	...	...
2 Rms pitch angle, deg	...	1.5	...	...	1.5	1.5	...	1.5	2.4	...	...	...	...	...
3 Rms vert. disp, m.	...	...	...	...	...	...	1.26	...	...	...	...	...	...	...
4 Rms vert. accel, g	...	0.2	...	...	0.11	0.1	...	0.2	...	...	0.5	0.9	1.4	1.0
5 Rms lat. accel, g	...	0.1	...	...	0.06	0.1	...	0.1	...	...	...	...	...	...
6 Mot. sickness incidence	20% in 2 hr	20% in 2 hr	10% in 2 hr	10% in 4 hr	10% in 2 hr	...	...	...	20% in 2 hr	...	...	...	...	...
7 Slam accel, g	0.2	...	...	4 ^b	0.5 ^b	0.6 ^b	0.2	...	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9	0.4
8 Slam freq.	3/100	20/hr	...	...	...	...	20/100	20/hr	3/100	3/100	3/100	4/100	6/600	5/100
9 Sonar dome emerg. freq.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12/hr	...	...	...	...
10 Dk. wetness freq.	20/hr	30/hr	...	...	...	...	30/hr	30/hr	30/hr	30/hr	5/100	4/100	...	...
11 Prop. emerg. freq.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	25/100	25/100	...	...
12 Rms rel. V. velocity, m/s	...	...	...	...	...	...	1.83	1.0	...	...	...	...	...	...

^a From Table 20 of reference [4].

^b Extreme peak-to-mean value.

NOTE : All values for response(angles, displacements, accelerations) are rms(root mean square) peak-to-mean(single amplitude) values unless otherwise noted.

운항가능과 생존가능 대역을 설정하는 개념이 Fig.4에 설명되어 있다. 그것은 open-top 컨테이너 선박에 대해서 IMO에서 제안된 과정인데, 이 배는 어느정도 침수가 허용되어지며, 어떤 극한 상황에서 선창 침수까지 허용되어지고, 그 상황에서 어느정도의 생존능력이 있어야 한다.

새 협약은 복원성, 강도와 해양에서의 거동에 대한 정적인 개념으로부터 복원성, 강도, 갑판상 안전 그리고 수밀완전도에 대한 완전한 운동학적 해석에 까지 공학적인 해석에 있어서 근본적인 변화를 요구할 것이다. 그러므로 새로운 협약은

다음과 같이 되어야 하리라고 제안한다.

- 일반적으로 세계적인 기후에서 안전하게 운항될 수 있는 배의 능력을 나타내는 실시기준을 채용할 것
- 극한 해상상태에서 생존능력에 어느정도 일반적인 보장을 할 것
- ICLL 66의 중간길이 범위의 선박과 동등한 수준을 줄 것.

Fig. 5는 협약 2000이라고 할수있는 새로운 협약이 어떻게 구성되어야 할지를 보인다.

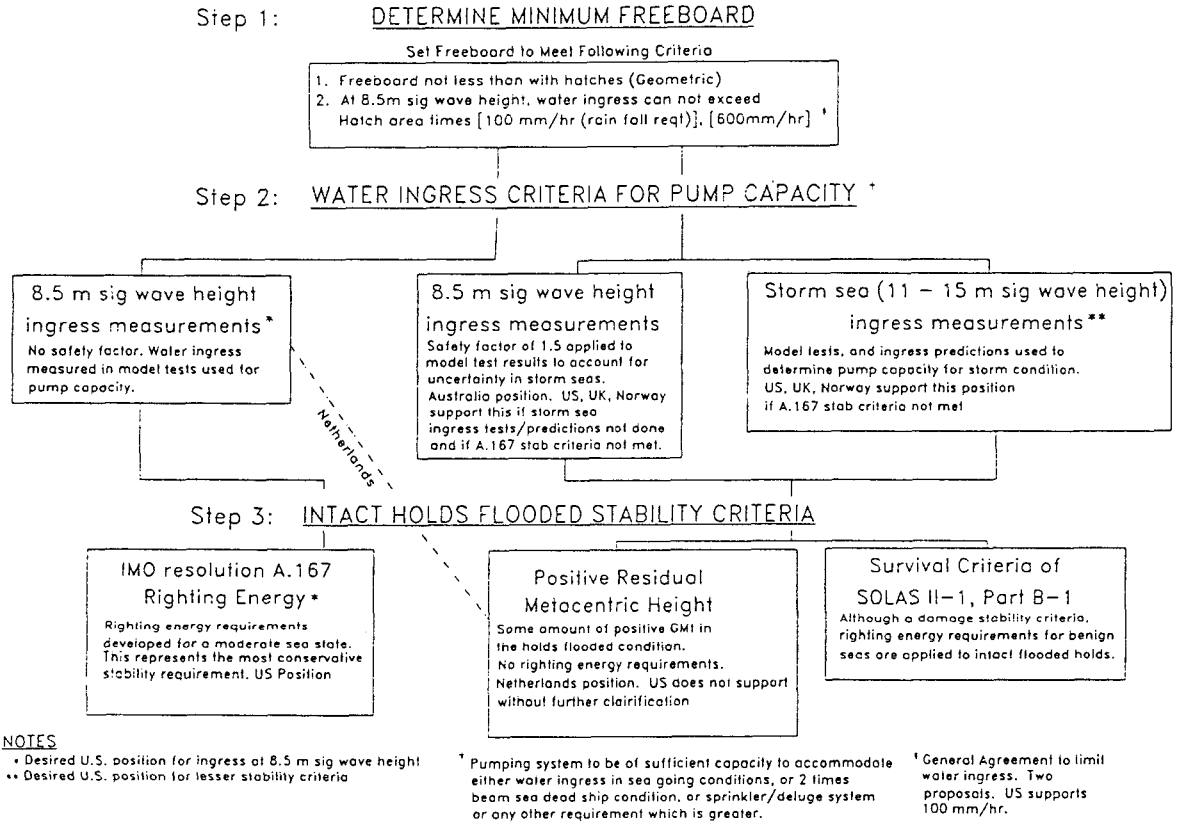


Fig. 4 Decision tree for open-top containership load line assignment

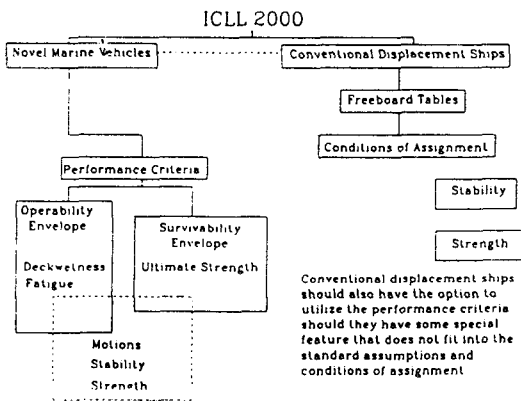


Fig. 5 ICLL 2000 structure envisioned

3. 상대적인 파도의 튀어오름과 갑판침수를 예측하기 위한 해석적인 기법

오대호에 대한 내항성능 연구는 한팀의 공학자들이 여러달 동안 손으로 strip 이론계산을 하게 하는 매우 힘든 일이었다. 오늘날, 선체운동 연구는 전자계산기의 발달에 크게 혜택을 받고 있다. 해석적인 연구는 이미 유용한 것으로 증명이 된 선형 strip 이론계산에 국한되지 않으며, 비선형의 시간영역 해석 범주로 들어가 버렸다. 슈퍼컴퓨터의 도입과 계속된 비선형 계산방법에서의 발달은 내항성능해석이 전현지정시에 사용될 수 있는 실용적인 도구가 되리라는 기대를 주고 있다. 상대적인 파도운동과 갑판침수를 예측하는 문제는

해양에서 배의 운동을 예측하는 것보다 일반적인 문제의 한 부분이다. 이 문제는 William Froude와 A. Krylov가 선체운동이론을 시작해서 근본적인 논점에 대한 뛰어난 통찰력과 이해를 보였던 19세기 중엽 이래로 조선공학도들의 흥미를 가져왔다.

Korvin-Kroukovsky가 strip 이론의 씨앗을 뿌렸고, 1960년대 중엽 미국, 유럽, 일본에서 많은 연구자들에 의해서 현재상태로 발전되었다. Strip 이론을 더욱 개발시키려는 최근 연구의 대부분은 빌지킬과 안정편으로부터 기인하는 효과를 포함하여 횡요감소를 잘 추정하려는 데에 초점이 주어져 왔다. 오늘날 설계자가 일반적으로 사용하는 전형적인 계산과정은 미해군 표준 선체운동프로그램 SMP이며, 이것은 1970년 Salvesen, Tuck과 Faltinsen[6]의 계산과정을 그대로 이어받을 것이다.

최근의 선체운동이론에서의 발전은 strip 이론 상에서 개선하려는 여러 분야에서 이루어져 왔으며, 그 계산과정에서의 각기 다른 결합에 초점이 모아졌다. 결과적인 방법들 가운데 어떤 것은 De Kat와 Paulling[7]에 의한 전복 예측 혹은 Fujino와 Yoon[8], Jensen과 Pedersen[9] 그리고 Pereira[10]에 의한 구조적인 적하에 초점이 모아지는 매우 특정한 목적을 지녔다. 다른 것들은 Sclavounos[11]에 의한 strip 이론의 주요 결합을 극복하는 일관된 slender body 이론을 개발하는 목적을 지녔다. 한편 또 다른 것들은 Lin과 Yue[12] 그리고 “배와 파도 상호작용의 3차원 이론을 위한 탐구”를 발표한 Newman[13]처럼 진짜 대진폭 3차원 이론을 아직도 목표로 가지고 있다.

여기서 그 방법들을 요약할 생각은 없다. 포괄적이고 읽기 쉬운 연구현황 보고는 Hutchison[14]과 1983년 Berkeley에서 개최된 워크숍의 논문집에서 찾아볼 수 있을 것이다. 그대신, 문제점을 정의하고 오늘날 조선공학도에게 있어서 유용한 방법으로 이룩되어 온 성공과 부족한 점에 대해 토론을 하고자 한다.

비선형의 선체운동을 계산하는 새로운 방법의 개발에 몇가지 주된 노력이 현재 진행중이라는

것을 알아야 한다. 특히, ONR이 현재 “비선형 선체운동”[15]에 대해 5개년 연구노력을 지원하고 있다. 또한 우리나라에서 1992년 8월에 열린 19차 ONR 심포지움에서 “비선형 선체운동”에 대해 9개의 연구논문이 발표되었다. 이 주제에 대해 진행중인 모든 연구는 갑판침수 문제를 풀 때에 대부분의 설계 적용시에 필요로 하는 정확도를 줄 수 있는 한층 진전된 새로운 실용적인 계산결과를 줄 것으로 믿어진다.

3.1 내항성 문제

간단히 말하자면, 문제는 배의 갑판 모서리를 따라서 어느 위치에서의 바다 높이를 어떻게 예측하느냐 하는 것이다. 이로부터 우리는 갑판 위로 올라오는 물의 량과 그 물이 헛치 카바, 컨테이너 그리고 갑판 구조상에 미치는 힘과 같은 관련 정보를 추론해야 한다. 상대파고에 대한 공식에 들어가는 성분들은 “기본”세트와 “개량”세트를 포함한다. 기본세트는 다음을 포함한다.

- 순간적인 상하, 중요, 횡요에 의해 결정되는 것으로서 배위의 점의 운동
- 입사 파고
- 배로 인한 입사파의 비틀림-굴절된 파계
- 배의 파도유기 운동에 의해 만들어진 파도-방사 파계

이것들은 모두 선형유체 동력학의 범위안에서 strip 이론으로 예측될 수 있을 것이다. 많은 실험적인 비교가 행해졌으며, 그로부터 그 이론의 적합성에 관해서 다양한 결론들이 도출되었다. 이것들에 대해서는 나중에 토론될 것이다.

진전된 세트는 더 있을지 모르겠지만 다음과 같은 것을 포함한다.

- 전진하는 배에 의해 만들어진 파도
- 전진속도로 인한 침하와 중경사
- topside의 flare로 인한 파도 쳐올라옴과 비틀림
- 분무와 다른 쇄파 효과들

이들 주제 각각에 대한 이론적이고 실험적인 연구가 행해져 왔으며, 이들 가운데서 일부는 파도가 없는 상태이다.

3.2 최근의 내항성 연구

1990년 ITTC(국제예인수조회의)[16]는 12개의 기관이 참가해서 표준설계 모형에 대해서 실시한 광범위한 모형시험 프로그램의 결과를 보였는데, 하나의 선수파 조건에서 상대적, 절대적 운동과 갑판침수를 측정하는 것이었다. 언급된 실험목적은 갑판침수에 대한 믿을만한 결과를 얻기 위해서 필요한 모형시험 기간을 결정하는 것이었다. strip 이론 프로그램을 사용해서 비교계산을 수행했다. 배와 파면사이의 상대적 상하운동이 선수와 전부 수선(FP)에서 0.15L 뒤에서 예측되었다.

많은 결론들이 이 연구로부터 도출되었는데, 그 가운데 어떤 것은 비록 실험이 단지 단동선, 한개 속도 그리고 배길이 4.5%의 유의높이를 갖는 엄격한 임의의 선수파 조건이 아닌 한가지에 대한 것이지만 관련이 있다. 그 결론은 다음과 같다.

- 실험주행거리는 갑판침수 빈도수에 대한 믿을 만한 자료를 얻기 위해서 모형선 길이의 200~300배 필요하다.
- 이것은 183m 배가 15노트로 움직일때, 거의 1 시간 반의 운항시간을 의미한다.
- Strip 이론은 배의 절대운동을 대체로 잘 추정해 준다. 그리고 그것은 선수로부터 0.15L 뒤에서 좋은 일치치를 보이지만 선수에서의 상대운동은 약 25% 낮게 추정한다. 이것은 선수에서 부딪혀 올라오는 파도 때문이다.
- 0.15L 위치에서 상대운동의 초과 확률은 Rayleigh 분포에 의하여 합리적으로 잘 모형화 된다. 선수에서, Rayleigh는 선수침하 상대운동을 상당히 작게 예측하고, 선수상하운동 사이에 커다란 비대칭이 존재한다.

Lloyd 등[17]은 여러가지 다른 선수각도의 규칙파중에서 행해진 전투함의 자항모형선으로 수행한 실험을 서술하고 있다. 모형선은 운동, 휨 모멘트 그리고 선수에서의 상대운동을 예측하는 장비를 갖추고 있었다. 이들은 여러 선수각에 대해서 Strip 이론 계산과의 비교를 보인다. 선수파에서 strip이론으로 예측한 선수상대운동은 실험 파장의 전영역에 대한 실험결과의 분포범위안에

들어 온다. 입사각에 대해서, 측정치는 짧은 파도에서 예측치를 초과하고 긴 파도에서는 그 반대이다. 이론적인 방법에서는 파도의 굴절효과를 고려치 않고 단지 배운동 효과와 입사파만을 포함한다.

ITTC와 Lloyd 실험 둘다, 상대운동이 영의 평균 파수이며 평균전진속도와 관련된 침하, 트림 그리고 파도로 인한 영이 아닌 평균효과를 포함하지 않는다. 그러나 이들 세가지 효과는 갑판 침수에 영향을 미친다.

Beck [18]은 배의 운동, 입사파, 굴절과 그리고 반사파를 포함하는 상대운동에 기여하는 항들의 상대적인 중요성의 비교를 보인다. 계산과 실험은 단순한 수학선형을 사용하여 수행되었다. 그는 이들 다른 효과들로 인한 항들을 추가하고, 차이점들이 3차원효과와 정상과 비정상 파계 사이의 간섭으로부터 기인될 수 있다고 결론지었다. 굴절과 반사파가 무시되면 상대운동의 strip 이론 계산이 명백하게 잘 일치되는 이유는 이들 다른 항들의 무시에 있어서 우연히 상쇄시키는 이론에 의한 배운동의 과대예측에 기인한다고 결론지었다.

Salvesen, Tuck, Faltinsen의 strip이론에 근거하고 파굴절과 반사항을 포함시키는 상대운동계산이 Lee, O'Dea 그리고 Meyers[19]에 의해서 기술되어 있다. 컨테이너선박과 해군 전투함을 나타내는 두개의 모형선에 대한 실험이 수행되었다. 여러 성분들은 물론 전체 상대운동에 대해 비교되었다. 비록 반사와 굴절항이, strip 이론상에서 계산된 것으로서, 상대운동추정을 충분히 개선시키지 않는다고 결론지었지만, 이 항들의 크기는 이와같은 추정을 충분히 개선시키기 위하여 아마도 더욱 정확한 방법으로 주의가 기울여져야 한다. 추정된 것과 예측된 굴절과 위상각 사이의 차이가 주목된다. 역시, 그 실험들은 파도속에서 달릴때의 침하와 종경사는 같은 속도의 정수에서의 값과 상당히 다르다는 것을 보여 주었다.

O'Dea와 Walden[20]은 상대운동과 갑판침수에 대한 수선위 선체형상의 영향을 조사하기 위하여 특별히 수행된 실험에 대해 보고하고 있다. 이

실험에서 사용된 전투함 모형은 선수위 선수부분을 다른 flare 형상으로 쉽게 설치하고 실험할 수 있도록 교체가능토록 제작되었다. 이 실험은 선수파에서 피치와 상하운동을 추정하는데에 strip 이론이 유용하고, 선수 flare 슬래밍을 포함하는 힘에 대한 유용한 정보를 부가적으로 준다는 이전의 결론을 확인해 주었다. 현 주제에 중요한 것으로서, 갑판상의 물의 깊이를 추정함으로써 갑판침수가 파경사에 따라 비선형적으로 변화한다는 것을 보였다. 가장 흥미있는 몇가지 결과들은 갑판상의 파고 센서에 의한 계측으로서 갑판상의 물의 깊이를 보이고 있다. 이 깊이는 종방향으로 같은 위치에서 모형과 나란하게 한 센서에 의해 측정된 상대파고가 현저하게 다름을 보이고 있다.

3.3 진행중인 연구

몇가지 주요 연구노력이 비선형 선체운동 문제를 발표하기 위하여 현재 진행중이다. 이들은 두가지 범주로 나뉘어질 수 있다: 완전한 비선형 방법과 근사 비선형 방법이다. 전형적으로 완전 비선형 방법은 “완전한” 자유표면 조건과 “완전함” 비선형 물체경계 조건을 의미하는데 “근사” 비선형 방법은 비선형 자유표면 조건에 어떠한 근사를 적용한다. 여기에 인용된 모든 이론들은 고전적인 포텐셜 유동 이론내에서 공식화된다. 완전 비선형 접근의 좋은 예는 Korsmeyer 등[21]과 Maskew[22]의 연구이다. Lin과 Yue[23]의 대진폭운동 연구는 완전 물체경계조건은 만족되지만 자유표면조건은 대진폭 입사파의 표면에 대해서 선형화된 문제의 한 예이다. Pawlowski와 Bass[24]의 연구는 “근사” 비선형 방법의 또 다른 예이다. 더 나아가, Tulin과 Maruo[25]는 약간의 기대를 가질 수 있을 것 같은 2½D 공식화에 근거한 “근사”방법으로서 비선형 갑판침수 문제를 발표하였다.

“근사” 비선형 접근은 말하자면 2~3년의 가까운 미래에 현대의 발전된 워크스테이션에서 돌아갈 수 있는 실용적이고 유용한 계산도구가 될 것

으로 믿어진다. 완전 비선형 방법은 가까운 장래에 발전된 슈퍼컴퓨터에서 돌아갈 것이다.

3.4 내항성에 대한 현재와 미래의 전망

모든 연구의 대부분은 오늘날 수행중에 있는 strip이론이 선수파에서 배의 상하운동을 잘 예측할 수 있다는 데에 일치한다. 입사파에서의 수평면 운동의 예측은 선수파운동 만큼은 믿을 수 없다. 이미 사용되고 있는 strip 이론 프로그램의 대부분에 의해서 추정된 상대운동은 단지 배의 운동에 의한 유기파와 입사파만을 포함하고 있다. 몇가지 유용한 비교를 통해서 배에 의한 파도교란이 가장 뚜렷한 선수끝단을 제외하고는 적절하게 잘 추정되고 있음을 알 수 있다. 한정된 비교이긴 하지만, strip이론은 선수끝단에서의 상대운동을 상당히 과소예측하고 있다. Fig. 6은 선형과 비선형 내항성능 해석의 상대적인 능력을 정리해 보인다. 굴절되고 반사된 파계의 효과를 포함시키는 것은 추정시 약간의 개선된 결과를 주고 있다. 이것은 아마도 strip이론의 부분적인 결함때문인 것 같다. 전진속도로 인한 평균침하와 트림을 포함시키려는 노력은 정상과 비정상 파계사이의 간섭의 무시때문에 성공하기에 있어서 제한되어 왔다.

계속되는 문제는 배의 갑판으로 들어오는 물의 실제량과 그 거동, 그리고 배의 구조에 가해지는 힘을 포함하여 추정하는 것이다. Strip이론과 관련된 선형 계산도구들은 단지 배에 상대적이거나 나란한 파고를 추정할 수 있을 뿐이다. 난간을 타 넘고 갑판을 가로지르는 파도의 실제적인 쇄파와 소용돌이는 더욱 복잡한 자연에 대한 계산도구를 필요로 한다. 쇄파에 대한 해석적이고 수치적인 모형화에 있어서 많은 성취가 있었으며 Schultz, Griffin과 Ramberg [26]가 요약해서 보이고 있다. 현장(bulwark)에 의해 갑판에 고인 물에 대한 문제를 Dillingham[27]이 수치적으로 다루었다. 이들 대부분의 경우 다루어지는 문제는 단지 2차원이다. 이로부터, 건현지점에 있어서 선상에 들어오는 물의 양과 갑판구조물에 미치는 힘에 대한

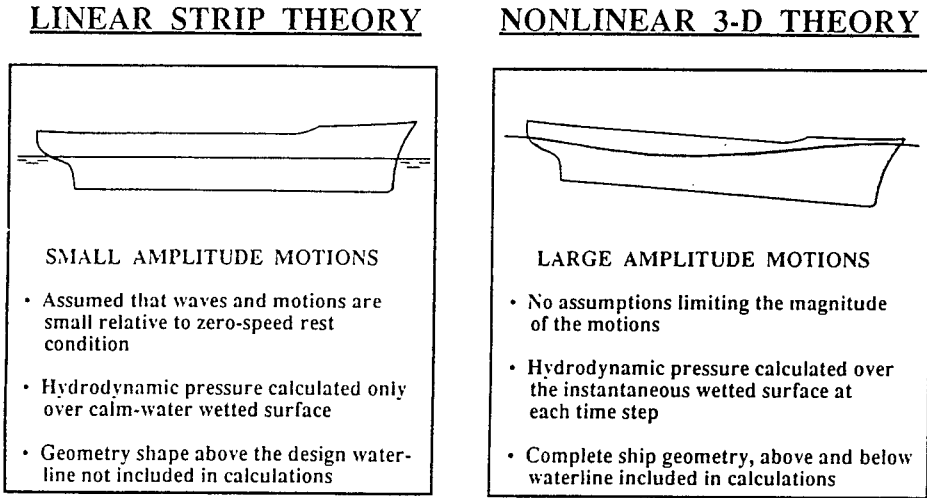


Fig. 6 Linear versus nonlinear seakeeping analysis summary

믿을만한 추정은 모형실험에 의해 확장된 해석도구의 개발에 대한 연구를 더욱 필요로 할 것이다. O'Dea와 Walden[20]이 보인 바와 같이, 갑판상의 물 깊이는 일반적으로 갑판 모서리에서의 상대과고보다 낮다. 근본적인 대답없는 질문, 즉 갑판상의 물의 정확한 량과 구조물에서의 충격력을 포함하여 그 움직이는 거동의 정확하고 자세한 추정을 우리가 필요로 하는지 아니면 배에 나란한 상대과고를 추정하고 그 결과를 추론하는 것으로 충분한지는 여기에 관련되어 있다.

현재, 임의의 선수와 각도에서 배의 운동을 추정하기 위한 완전한 3차원 비선형 계산방법이 없기 때문에, 파도의 비틀림에 대한 수정을 하거나 안하는 strip이론은 가장 유용한 한 수단이다. 이런 방법으로 산출된 결과들은 조심스럽게 알고 사용해야 하며, 상용선박이 아닌 경우에는 적합성을 위한 모형실험이 여전히 필요할 것이다. 한편, 비선형 선체운동 문제를 풀기 위한 계산방법의 개발에 대한 현재의 연구노력과 현대의 워크스테이션 시스템의 계산능력에서의 계속되는 변혁은 우리로 하여금 갑판상의 물과 상대운동에 대한 훨씬 좋은 추정을 가능하게 하는 정확하고 실용적인 방법을 매우 가까운 미래에 가질 수 있도록 기대하게 한다. 정도향상으로서, 이들 새로

운 계산방법들은 만재홀수선 규칙의 개발에 사용된 현재의 접근에 상당한 충격을 줄 것이 예상된다.

새 협약은 그러면 두가지의 극적인 사항에서 예전과 다를 수 있다. 첫째, 내항성 안전의 관점으로 부터, 지정조건으로 진현표의수정을 완전히 통합화할 수 있다. 만약 컴퓨터 해석이 갑판침수의 빈도수와 엄밀함을 의미하는 지정된 건현을 줄 수 있다면, 안전 폐쇄, 격벽, 통풍구 등에 대한 설계명세서가 논리적이고 간단하게 된다. 또한 지정조건에 대한 초과나 결함이 있는 배를 자신 있게 보증하거나 벌칙을 줄 수 있게 될 것이다.

두번째로, 새 협약은 조선자나 설계자가 선형 설계, 선수루, 현장 등 때문에 안전성 기준에 부딪히게 되면, 건현감소를 적용할 수 있게 해 줄 것이다. 설계 증명은 내항성과 갑판침수 해석에 대한 정해진 양식에 의해서 수행될 것이다.

4. 현 협약에 대한 권고

21세기초를 위한 만재홀수선 협약은 1930년 이래 만재홀수선 협약의 규칙에 의해서 다루어져 온 5개 안전기능 기준에 대한 적용을 위한 근본

적인 원리와 확장된 세부사항의 재확인을 필요로 할 것이다. 덧붙여서, 이 원리의 적용은 새로운 형태의 단동 사용 선박, offshore 산업장비 그리고 잠수정같이 상업용으로 개발될지 모르는 새로운 형태의 배에까지 확장되어야 한다. 중요한 것으로서, 새협약의 적용을 단순하게 하기 위한 IMO에서의 결정은 기억되고 존중되어야 한다.

배에 대한 건현이 만들어질때 고려되어야 할 전체 사항은 고려해야 하는 여러가지 노출(그리고 보호)수준을 지동적으로 만들어야 한다 :

- 배의 중요와 횡요한계 그리고 상하운동에 영향을 미치는 물위의 배의 용적과 형상
- 갑판상에 green water (혹은 선수 상승-“slamming”)를 가장 잘 유발시킬 것 같은 파도의 크기와 주기
- 갑판과 갑판 의장품 그리고 선수에 대한 파력
- 최저 개구의 해수면의 높이 - 배수를 결정한다.
- 갑판상에서 작동하는 것들에 대한 노출 정도
- 복원정 곡선이 반대로 되는 기울기 각도 (여러 가지 규칙 표준에서 예상되는 예비 횡복원력에 영향을 미침)

여기에서 사용되는 연구 프로그램은 ICLL 66 규칙의 기술적인 면에 대한 논리적이고 과학적인 접근을 만들어야 한다.

협약 부속서 I 에 따르는 안전 기능들은 우선 Table. 2에 규칙별로 나뉘어져 있다. 안전기능을 확인하는 외에, 이들 규칙의 또하나의 중요한 면이 있는데 그것은 배의 선수가 항로를 향해서 운항되고 있다고 가정하는 것이다. 예를 들어, offshore 선박과 barge가 여러개의 앵커때문에 선수

가 항로를 향하지 못하면, 그 협약이 의도하는 보호기준을 적용하기에 미흡하므로 절충되어져야 한다. 그러므로 선수를 항로로 향하지 않거나 할 수 없는 해양 선박은, 필요에 따라서 분리된 장 (Chapters)이나 부속서(Annexes)에서 조치되어져야 한다. ICLL 66 규칙에 대한 상세한 변경을 위한 것이 권고사항을 부록에 나타내었다.

4.1 ICLL 66-건현, 수정 그리고 벌칙

Fig. 7은 ICLL 66에서 유조선이 아닌 모든 화물선에 대한 표정 선채중앙 건현을 보이는데, 배 길이에 따라서 계속해서 증가하고 있다. 1966년 협약 당시에 배의 운동/내항성 해석이 선박설계에 막 소개되기 시작했으며 참석자들은 1930년 건현에 갑작스런 변화를 주고 싶지 않았다. 그 당시에 큰 배에 대한 최대 건현을 제한하기 위한 제안이 있었으나 시행되지 못했다. 그것은 부분적으로는 배운동 해석을 하는 대부분 국가의 대표자들 사이에 인식이 부족했기 때문이다.

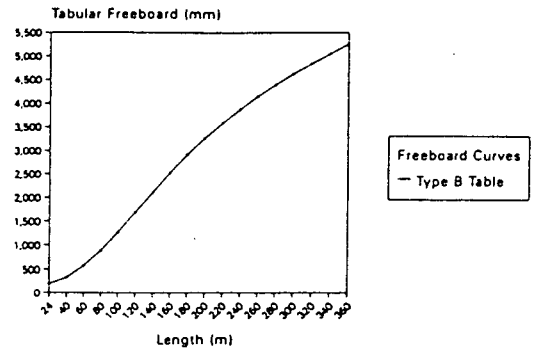


Fig. 7 ICLL 66 tabular freeboards

Table 2. Safety functions in load line regulations

Safety Function	Pertinent ICLL 66 Regs.
1. Hull integrity	1, 10, 21, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 38, 39, 40
2. Topside integrity	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 32, 33, 34, 35, 36, 37
3. Strength	1
4. Stability	10
5. Persons on deck	10, 21, 22, 23, 24, 25, 26

Fig. 8, 9, 10은 기본 건현에 대한 ICLL 66의 주요 수정을 보이는데, 즉 선루, 현호, 선수높이, 방형계수이다. 그 위에, 문, 창구 테두리 등의 턱 높이가 건현 갑판위로 요구되는 높이보다 작을 때 벌칙 건현이 때로는 더해진다. 문턱 높이의 부족에 대한 주관청의 벌칙에 있어서, 예를 들면, 각 주관청은 문턱높이의 원리에 대한 나름대로의

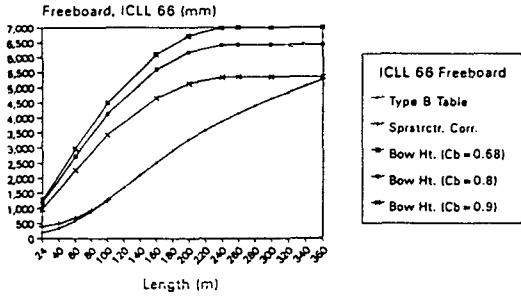


Fig. 8 ICLL tabular freeboard (Type B). Regulations 29 (correction for zero superstructure) and 39 (minimum bow heights) shown

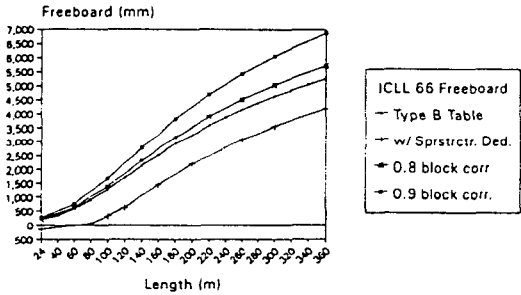


Fig. 9 ICLL 66 freeboard (Type B). Regulations 30 (block correction) and 37 (100% superstructure deduction) shown

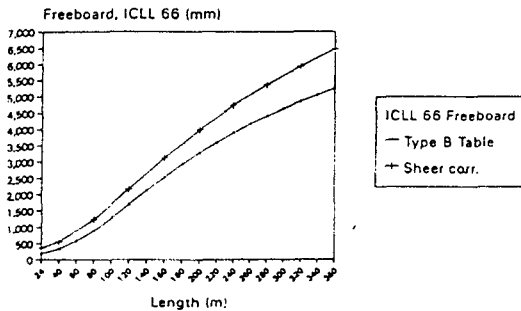
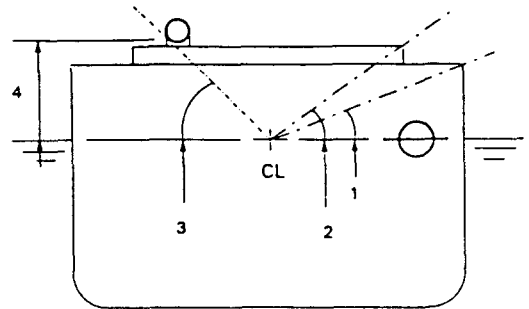


Fig. 10 ICLL freeboard (Type B). Regulation 38 (maximum correction for no sheer/superstructure ship) shown

이해와 위반의 상대적인 중대성을 따른다. 벌칙 부과시에 고려되어야 하는 배의 기본 도형을 Fig.

11에 보인다. 만약 주관청이나 승인기관이 그 위반사항이 선내에 있고 선실이나 선루에 의해서 잘 보호된다고 인정할 수 있다면, 낮은 문턱이 이들 제한높이나 모서리중 하나와 가까워야 한다는 조건보다는 덜한 전현 벌칙수정을 결정해도 좋다.



1. Deck edge immersion angle
2. Angle to top of hatch coaming
3. Downflood angle to most exposed opening
4. Height to downflooding point

Fig. 11 Ship geometry basis

4. 2 ICLL 2000을 위한 선체운동 연구

배/항해 운동에 대한 많은 여러가지 연구는 세계의 상선 선내에 있어서 모든 형태와 크기의 배에 대한 동등 전현 안전해석을 수행하기 위하여 필요할 것이다. 그러나, 단동선에 대해서, 단 두가지 주된 연구(몇가지 구성부분 해석으로서)가 필요하다 :

- “a” : “hove to” 속도상태에서 선수/선수과
- “b” : 최대운항속도가 아닌 중저속의 항진속도에서 all-around seas(360도)

범주 “a”의 연구는 ICLL “표준”선 ($C_b=0.68$)에 대해서 현재 잘 진행중이지만, 다양한 방형계수에 대해서는 아니다. 범주 “b” 연구는 10년전 시도되었으며 IMO에 보고되었으나 사실과는 너무 달라서 실제로 표준으로 하기는 어렵다. 그 연구(컴퓨터 만에 의해서)는 크기, 방형계수 그리고 형상이 각각 다른 20척의 배에 대해 조사했

다: 세가지 넓게 변화하는 항해와 세가지 넓게 변화하는 속도에서 보여진 것은 양적으로가 아닌 질적인 것으로서 360도 항해에 있는 배에 대한 등침수곡선은 풍우밀 갑판의 중앙부분에 선루를 필요로 한다는 것이었다.

360도 항해에서의 새로운 범주“b” 연구는, 물론, 훨씬 작은 크기와 방향계수에 대해서, 그리고 판정을 내릴 수 있는 결과를 얻기 위해서 황천 항해시의 중저속(실제적인) 속도에 대해서 행해질 것이다. 범주 “b” 연구는 범주 “a” 연구에서 측정된 heave와 pitch는 물론 roll 상태에서 갑판 침수를 보일 것이다. 이들 세가지는 현호, 선루 등의 크기와 길이방향으로 배에서의 위치가 복원 정곡선(roll에 대한 저항)과 창구 코오밍, 문 등 (heave의 제한)의 위치에 영향을 미칠 것이기 때문에 총체적으로 평가되어야 할 부분이다.

갑판 모서리 침수에 대해서 선택된 갑판침수한계는 어떤 높이가 필요한가를 알려주는 내항성 연구는 갑판 위로의 선택된 높이 한계에서 예측되는 침수가 얼마인가를 말해주어야 한다. PNA, 3권, 3.6절에서, Beck은 비록 strip이론이 유체동력학적인 힘을 계산하기 위하여 널리 사용되지만, 다른방법 (즉, slender body, 대형 컴퓨터와 source 판넬 그리고 시간영역에 의해 통합된 직접 계산)들이 필요하다고 말하고 있다. Beck은 “진진속도가 포함될때, 시간영역해는 동등 빈도수 영역해보다 적은 계산노력을 필요로 하게 된다”고 논평하고 있다. ICLL 2000을 이끌어 갈 새로운 연구의 일부는 “strip 이론”으로 빈도수 영역 평가를, 일부는 시간영역 평가로, 그리고 약간의 특별한 경우로서 고속 대형 컴퓨터로 직접 수치계산을 수행할 필요가 있을 것이다. 여기서모형과 항해시에 자료취득, 정리 및 해석에 대한 최근의 중대한 개선은 수치적인 방법과 함께 모형시험의 유용성을 개선시켜 주었다.

4.3 ICLL 2000 건현

협약을 재조사하는 과정에서, 현재의 모든 규약들은 재설정되거나 본 협약이 입안된 단동선과

앞에서 언급한 부력, 횡요, 상하운동 및 중요가 다른 여러가지 특이한 배에 대해서 전체적으로 일관되게 결합되어야 한다. 새로운 설계시의 속도증가는 다섯가지 안전기능을 완전히 새로운 규칙으로 평가해야 하는 항해/배에서의 즉각적인 반응을 야기시킨다.

또 하나의 필요한 평가는 배가 모든 방향으로 부터 항해를 겪는 동안 최대속도에서 선장이 원하는 방향이나 그 가까이로 배를 운항하려고 할 때 자주 만나는 적정항해(말하자면 7~8m)에서 선체의 수밀과 풍우밀 완전함을 지배하는 규칙과 함께 건현에 의하여 제공되는 것이다. 최대의 항해보호를 위해 적절히 위치한 선루나 다른 완전한 예비부력을 요구하는 규칙은, 이 경우에 있어서, 현재 보호되는 5개 안전기능을 위한 안전예비 유지관리와 배의 안전에 대해 필요로 하는 효과를 역시 가지고 있다.

단동선들 : Fig. 12는 ICLL 66 표정건현과 시간당 약 100번의 갑판침수가 발생하는 황천시 “bow/head” 항로에서 저속으로 항해하고 있는 배/항해 운동연구로부터 도출된 가설적인 값과 비교를 보여주고 있다.

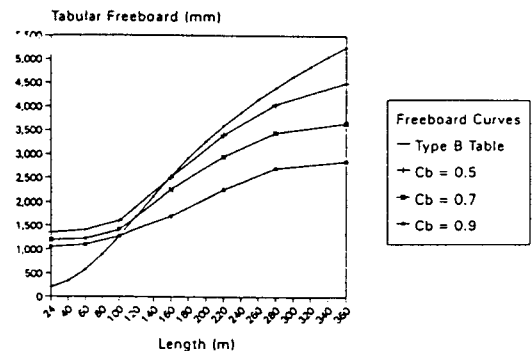


Fig. 12 Hypothetical freeboard curves

갑판침수발생은 단지 Foot/Ankle에 불편을 주기 뿐만 아니라 손상시 침수를 야기시키는 통풍동, 창구코밍과 뚜껑 그리고 공기관 등에 충격(손상가능성이 있는)을 발생시킨다. 가능한 모든 방형계수를 나타낼 수 있는 한개의 곡선을 구하

고, 유사한 갑판침수 안전수준을 주려 하고 있다. 예상컨대, 짧은 배(60m까지)에 대해서는 가능할런지 모르나 영역이 넓어지면 서로 다른 형태의 배에 대한 보다 지배적인 배운동 변수를 사용하도록 건현수정이 개선되어야 할 것이다.

Small-waterplane-area (SWA)와 동력학적으로 지지되는 Craft : SWA배와 동력학적으로 지지되는 고속선에 대해서, 한계 건현을 제정하기 위해서는 정지속도와 여러가지 운항속도에서 모든 항해조건하에서 복원력 확보의 보다 근사한 추정을 필요로 할 것이다. 만재홀수선 기술책자[28]의 저자인 Graf에 의하면, SWA배들의 건현지정은 종종 복원력 계산이나 해양표면에 대한 "clearance"에 근거하고 있다.

동력학적으로 지지되는 배(DSS)에 대한 복원력 확보는 고속시의 배에 대한 분석으로부터 나와야 한다. 건현지정은 여전히 정지상태에 대해서 행해지고 있으며 해상에서 배가 커다란 안전대책을 확보할 수 있도록 하기 위하여 완전 부양되지 않도록 짐을 신계끔 요구하는데에 사용될 수 있다. 이 분석은 속도에 대한 항해제한을 확실하게 지지할 것이고, ICLL 2000의 평의원들로 하여금 DSS가 (1) 폭풍과 폭풍에 영향받은 항로를 잘 피함으로써 파도가 높은 항로는 물론 거친 항로를 피할 수 있도록 하고 (2) 각 DSS의 운항할 수 있는 요구조건의 한계를 발행할 수 있도록 그 능력에 대한 규칙값을 줄 것이다.

덧붙여서, DSS는 또다른 지정조건을 필요로 할 것인데, 이는 동력을 잃은후 구난 혹은 탈출할때 까지 견디어 낼 수 있어야 하는 상태에서, 배가 영향받을 수 있는 저속 저충격파작용에 맡겨질지도 모른다는 가정에 근거한 것이다.

· 계절과 대역-이것은 삭제되거나 황천 항해 해석으로부터 어떤 항해가 선택되느냐에 따라서 개선되어야 한다. Aleutian 섬에서 떨어진 곳 HS=17.5m에서 잘 조정된 파랑부표로 황천항로가 기록되어진 것은 잘 알려진 사실이다. HS는 파도 3000개의 통계자료 가운데서 최대 높이가 1.8배(이 경우에는 31.5m)인 파도 가운데서 파고순서로 1/3까지 속하는 파도들의 평

균을 말한다. 해양학자들은 심한 폭풍속에서는 파도 윗부분이 쉽게 날려가 버려서, 4.5m 정도로 얻어지는 것이 최대높이는 27.5m 정도라고 한다.

그래서 IMO에서 토론되는 한, 다음의 두가지 이유때문에 컴퓨터 시뮬레이션시에 10m까지 올라가는 항로에서 배를 조사하도록 의견일치했다.

- 잘 설계되고, 유지관리되고 신중하게 운항된 배에 대하여 현 규칙을 통하여 제공되어 온 안전수준을 보다 잘 이해하는 것이 요망되었다.
- 배/항로 상호작용의 계산 정확성이 항로가 증가함에 따라서 더욱 어렵다.

ICLL 2000을 위한 계절과 대역에 관해서, 충분한 기상상태에서의 조사가 행해진 NOAA 파랑부표에 대한 최근 평가는 부표의 위치에 관계없이 겨울바다 spectra는 여름보다 2.6배 정도로 보여지는 것 같으며, 현재의 겨울 만재 홀수선 표시조정이 적절한 구분을 하지 못하는 것으로 여겨진다. 그러나 이렇게 해서 완성된 배/바다 연구는 중간크기 범위에 있는 대부분의 배들은 HS=7~8m의 여름바다에 대한 적절한 건현보다 더 이상이고 대부분이 최소 조종속도에서 HS=10m 해양에 대한 적절한 최소 건현을 가지고 있음을 지적하고 있다.

이것은 1930년과 1966년에는 경험만이 유용한 판단이었던 "낡은 타이머"로 부터 물려받은 판단에 대한 유산이다. 고려되어야 할 것은, 그 처음 두가지 만재홀수선 협약의 회원들이 "잘 처리한 것"에 대하여 공로가 있다고 생각한다. 왜냐하면 해양의 실제적인 수학적 모형은 단순하게 적용되지 않기 때문이다.

그러나 미래를 위하여 해양 spectra와 실제 해양 부표 측정은 유용하며 또한 우리들에게 협정을 단순화시키는 데에 정당성이 있음을 말해주고 있는 것 같다. 만약 ICLL 2000이 중간크기 배에 대하여 약 10m 해양까지 보호를 할 수 있으며, 풍우밀 갑판상에서 제공된 풍우밀이 설계되고 완전한 풍우밀로 작동되어지며, 15m spectrum에 대한 설계와 유지관리 및 운항이 고려되어 있다면, 단 하나의 표시로 정당화시킬 수 있을 것 같고,

그리하여서 전세계적으로 배의 일상적인 운항을 단순화시킬 수 있을 것이다. 현재, 법적으로 적절한 항해준비는 항해를 하는 동안 사용되는 유량과 그로인해 예상되는 건현 차이에 의한 실제 건현의 예정표를 요구한다. 이것은 배가 항로를 도중에 바꾸거나 예측이 잘못되었을때 과적에 대해 벌금을 부가시키는 원인으로 알려져 있다.

계절 자료를 포함시키기 위하여 진행중인 기상학적 연구를 확장하는 것은 배가 바다가운데서 가상의 계절선을 지나친 이유만으로 홀수를 몇인치 바꾸어야 하는 귀찮은 일을 계속해야 할 필요가 없다는 것을 보일 가능성이 있다. 만약 그렇다면, 건현 수정은 단지 선형 수정만으로 줄어들 수 있다.

4.4 도달가능한 안전수준

만재홀수선 협약은 적용되는 모든 배에 대하여 바다에서 국제적인 항해를 하는 동안 항상 마주치게 되어 있다. 그래서 이 협약은 세계적으로 배의 안전에 대한 공통적인 표준을 대표한다. 그 자체로, 그 협약은 Regulatory Safety 수준을 정의한다. Achievable Safety 수준(즉, 현재의 실행)은 정의될 수 있으며, 일반적으로 규칙 요구사항을 초과하고 있다.

한 예로서 PNA, 3권, 8장 그림 132의 사본위에 규칙 39 "선수높이"를 그려보면 알 수 있다(Fig. 13). 규정선수높이는 결과적으로 대양에서 다니는 많은 배들의 선수높이보다 낮다. 종종, 현존의

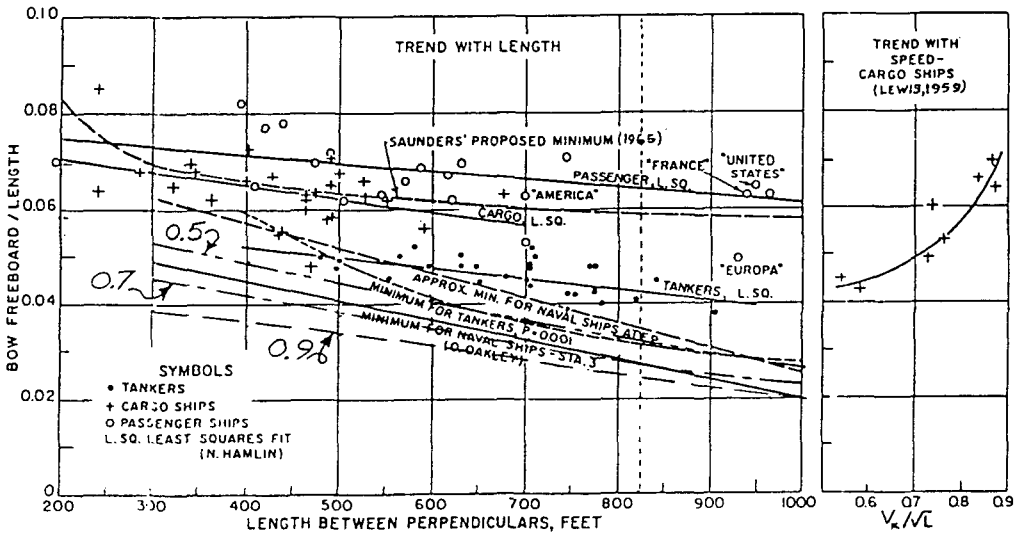


Fig. 13 ICLL bow heights for three values of CB (from reference [4] Chapter 8, Fig. 132 suitable bow freeboard trends)

협약의 규정 안전수준을 마주치는 과정은 절대적으로 정의되지 않은 고유의 Achievable Safety 수준으로 이끈다. 내항성과 강도에 대한 항해운동 연구에 근거한 배의 실행표준개발은 Achievable Safety 수준과 Regulatory Safety 수준이 같은 의미가 되게 지원할 것이다. 선택된 하중과 운동기

준은 Regulatory Safety 수준의 부분으로서 정의된 위험수준에 근거되어야 할 것이다. Achievable Safety 수준은 위험을 줄이는데 사용될 수 있다. 우리는 배운동과 감판침수에 대한 것과 똑같은 해상상태가 선택될 것으로 추측된다.

Mandel(PNA, III, 7.4절)은 배/항해 성능을 조

사하기 위하여 12개 세부기준을 갖는 3개의 주요 기준을 정리하고 있다. 새로운 해양 수송수단에 대해서는 만재흡수협약과 그 규칙들이 통상적인 배에 확장될때 3개의 주요기준 밑에 있는 세부기준 가운데 두가지에만 관계해야 한다고 믿는다.

만재흡수선 규칙들은 사람의 안락, 멀미, 피로 혹은 일의 숙달에 대한 제한을 주는 것을 의미하지는 않는다. 사람의 안전은 충분한 레일이나 현장(그리고 배수구)이 요구되는 갑판상의 작업에 대한 내용에서 보호된다. 배의 유효하중 안전은 화물은 “충분한 복원성과 과대한 구조적 응력의 회피를 확보하도록 적재하므로 전제된다”(부속서 1-1장-총칙)에서 단지 부분적으로 보호된다. “The Ship” 기준은, 추진 또는 시스템 손상 또는 효율을 위한 것이 아니고, 선체손상이나 갑판의장품 손상에 대한 최소한의 보호에 관해서 특별히 보호된다. 추진과 임계 시스템 손상(즉, 타)는 SOLAS 협정에 의해서 보호된다. 그리고 두가지 협약이 서문에서 그 목적이 해상에서 인명과 재산에 대한 안전지침이라고 하는 점이 재차 강조된다.

4.5 ICLL 2000-건현 수정

ICLL 2000에서, 2가지 건현 수정이 있을 것 같다. 첫번째는 규칙 29, 33~39를 대신하는 결합된 선루, 현호 그리고 선수높이 수정일 것이며, 그것은 배가 충분히 결합된 수면위 용적을 갖고 있음을 보이며, 전후로 적절히 균형잡혀 있어서 조심스럽게 운항되는 배가 충분히 발달된 HS=10m 항로에서 예상되는 규칙 안전수준보다 “slamming”, 갑판침수(창구, 통풍동, 공기통 등에 충격을 수반)를 적게 견뎌도록 하게 하기 위한 것이다.

두번째는 기상학적 조사의 결과에 좌우될 것이고 새 협약이 그 적정한 규칙안전수준을 위하여 근거한 10m HS 항로의 계절과 지형적인 초과를 고려하는 항해계획에 있어서 조종이 될 것이다. 항해계획과 시행상 편의를 위해서 두번째 표시가 될 수 있는데, 그것을 없앤다는 것은 배가 10m와 그 이상의 해상상태를 피해야 하는 것을 의미하

며, 심한 폭풍을 피하기 위해서는 계속 항로를 바꾸는 우수한 첨단 위성 항해계획을 계속해서 실행해야 하는 것을 의미한다.

이 두가지 수정은 여러나라에서 현재 수행중인 해상운동연구에 있어서 공감을 도출할 것이다. 규칙에 대한 자세한 사항은 ICLL 2000의 부속서 I 을 참조 바람.

4.6 ICLL 2000-건현 벌칙

현재의 협약에서는, 지정조건 (2장) (규칙 10~26)은 다음과 같은 관련사항을 보인다.

- 위치 : (1) 앞 1/4 길이와 최소건현수준에서의 폭로 갑판
- (2) 뒤 34과 최소건현수준 이상의 모든 갑판
- 높이 : (1) 최소 건현 폭로 갑판 이상의 문턱과 코오밍
- (2) rail과 현장
- 강도 : 건조에 유효한 철판에 동등한 강도
- 풍우밀 완전도 : 단혔을 때의 가스킷과 클램핑 장치의 풍우밀
- 수밀 완전도 : 건현 갑판선밀 주선체에서
- 규칙 21- 화물 창구
- 규칙 22 : 흡입구와 배출구
- 규칙 23 : 현창

관련 협약은 지정조건에 대한 규칙에서 보이는 것과 같이 폭로최소 건현갑판과 배가 건디어 살아남을 것인가에 영향을 미치는 황천항로를 예상한다.

이리해서, 몇가지 물리적인 변수는 갑판상에 적어도 잠깐동안은 거센 해수를 예상하고 몇분동안 해수의 쏟아짐과 갑판의장품에 대한 거센 해수의 충격을 예상한다. 화물창구, 흡입구와 배출구 그리고 창문(현창)과 같은 선체개구부는 설계, 건조, 유지관리에 있어서 완전수밀이 되어야 한다.

상갑판 의장품은 잦은 침수, 해수의 충격, 각 의장품에 대한 잠깐동안의 물 쏟아짐으로부터 보호하기 위하여 충분한 풍우밀로 설계되고, 건

조되고 유지관리되어야 한다.

ICLL 2000을 위하여, 배/항로 운동연구는 대부분의 이런 상황을 균일하게 잘 판정할 수 있도록 근거를 제공해야 한다. 그 연구는 높이와 위치가 충분할때 심한 해수로부터 갑판상의 파도세기의 예상되는 범위와 위험정도를 보일 수 있다. 갑판상의 파도세기의 조사는 강도와 선체완전도의 충분함을 평가하는데 도움을 줄 것이다.

동등안전을 위하여 필연적일런지 모르는 건현 법칙의 크기는 다음과 같은 하나 혹은 그 이상의 것으로부터 평가될 수 있다.

1. 적절하지 않은 유지관리 항목에 대한 동등성이 없거나 강도와 선체 안전도의 항목에 대한 것도 없다.
2. 동등성을 제정함에 있어서 가장 빈번한 필요는 갑판상의 표준협약높이보다 낮은 문턱 높이와 창구 코오밍 혹은 통풍통과 공기통 개구부에 대한 자주 반복되는 논점이 있다.

또한, 레일높이에 대한 동등성은 건현을 증가시키는 것으로 인정되어서는 안된다. 대신, 레일높이가 협약표준에 맞지 않는 곳에서는 직접적인 장치가 요구되어야 한다.

4.7 ICLL 2000—새로운 배의 형태

국제적인 항해에서 배의 형태를 위한 국제적인 지침서를 발행하기 위해서는 ICLL 2000에 적어도 네가지 그리고 아마 다섯개의 특별한 부속서를 필요로 할 것이다. 그렇지 않으면 “바다의 흑독함” ICLL이 이에 대한 안전원리를 제공함에 노출될 것이다.

이 형태들은 새로운 것이 아니지만, ICLL에 관계되는 140개국 이상의 승인관청들이 ICLL 원리를 일정하게 적용해 온 것을 확신시켜 주는 일정한 공식적 검토를 아직 받지 못해 왔거나 심지어 어느 특정한 원리도 적용해 온 바가 없다.

새로운 부속서의 제목은 물론 어떤 순서로도 배치될 수 있다. 본 고찰에서 우선 상업용 잠수정에 대해 논의하고자 하며, 그리고나서 ABS의 Graf에 의한 참고문헌[28] “Load Line Technical

Manual”과 같은 순서로 하고, 이동 offshore drilling units, multihull ships, tug-barge, 그리고 동력학적으로 지지되는 배들을 논의할 것이다.

- 잠수정 : 상업용 잠수정은 새로운 것이 아니고 1차대전 바로 전에 사용되어져 왔다. 그러나 합법적인 만재출수선이 되어서 상업적인 국제 항해에 이르기 전에 조정되어져야 할 국제적인 합법적 절차가 있다. 규칙 12-잠수정-항해하는 동안 어떤 때일지라도 적정 표시를 잠수하는 것을 금한다. 미국에서, 그 법은 1986년 10월 만재출수선법 아래서 상업용 잠수정이 개발되는 것을 허용하도록 바뀌었다 (46 United States Code Section 5110 참조바람). 또한 잠수정이 실제로 사용될 때가 도달할 때 그 개발이 지연되거나 방해받지 않도록 적정한 동등 안전 기술 요건을 적어두어야 한다.

잠수정에 대하여 풍우밀 지정조건 규정은 명백하게 필요가 없다. 왜냐하면 잠수전에 충분히 수밀되어야 하고 또한 잠수압력에 견디어 내야 하기 때문이다. 그러나, 만재출수선 규정의 안전목적으로서 부력 확보의 개념을 고려하기 위한 정당한 원리가 있다. 앞에서 언급한 것처럼, 만재출수선 협약은 선체 체적의 약 20%가 적정 황천에 대한 부력을 확보하고, 파도 가운데서 선체의 완전한 잠수를 방지하고, 작업대의 적정한 높이를 제공하도록 요구해 왔다. 이 안전 항목이 성취될 수 있는 한가지 방법은 정지상태의 설계깊이에서 30초 동안에 이를 수 있는 20%의 예비부력을 제공하는 것이다.

선박 설계시에 발라스트를 비우면 배가 수면과 평행하게 되는 것을 보여야 할 것이다. 조종위치, 생명지지 그리고 거주구역이 손상된 잠수정으로부터 분리될 수 있어야 할런지 어떤지는 만재출수선 협약보다도 SOLAS 협정에 대하여 의문이다. 그러나 명백한 것은 이러한 의문은 함께 고려될 필요가 있다는 것이다.

- Small Waterplane Area : Mobile offshore drilling units 등 참고문헌[28]에서 언급된 것과 같이, 이런 형식의 배는 복원성과 필요한 복원력 확보에 의해서 거의 완전히 제한된다. 이런

배들의 건현은 복원성 계산에 의해 결정된다. 해면위의 작업대 높이도 역시 직결되는 관심거리이다. 왜냐하면 상부 선체에 대한 파랑충격은 견디어낼 수 없기 때문이다. 비록 직접적인 파랑충격을 아마도 견디지 못하게 될지라도, 문, 창구, 통풍통 등은 협약에 언급된 대로 “풍우 밀이 되어야 함”이 요구된다.

Multihull Ships : 이런 배 형태는 surface ship 이고 게다가 단동선보다 해상에서 상이한 움직임을 가지고 있기 때문에 다각적인 동등성 연구가 되어져야 한다. 이들은 구조적으로 훨씬 다른 응력과 힘을 받을 것이고, 갑판 등등에서 작업하는 사람의 보호에 관한 해상운동에 있어서 아마 매우 다르게 움직일 것이다.

Tug-Barge Combination Ships : 이 배들 역시 ICLL의 5개 안전기능에 대하여 완전한 ship/seaway 운동을 조사해 볼 필요가 있다.

Surface-Effect Ships : 비록 IMO가 현재 동력학적으로 지지되는 배에 대한 규칙(CDSS)를 재 조사하고 있지만, 이런 배에 대한 만재홀수선 협약의 안전기능을 고려하고 있지는 않다. 그러므로 협정서에 다른 장이나 부속서가 여러가지 형태의 동력학적으로 지지되는 배에 대하여 잘 수행된 연구씨리즈를 포함해야 한다. 현재 규칙가운데 중대한 결함중 하나는 규칙에서의 복원성공식이 하나의 SES 형태에만 적용될 수 있다는 것이다.

Planing Ships : 본 고찰을 준비할 당시, 가장 빠른 북대서양 횡단 여객선 “Blue Riband”를 능가하는 50노트 이상의 속도로 아마도 수천명의 승객을 운반할 수 있는 고속활주선을 생산해서 운항시키기 위한 개발경쟁에 여러 국제조합이 관련되어 있었다. 국제해사단체는 이런 형태의 배에 대한 안전수준의 충분한 이해를 개발하려는 연구수행에 있어서 현재로서 몇년은 뒤떨어져 있다.

5. IMO에 대한 계획

IMO의 SLF는 현재 배의 안전과 환경보호 부

분에서 많은 중요한 안전으로 매우 바쁘다. 작업 모임은 새로운 완전 및 손상복원력 규칙을 작성하고 있으며 근래에 1977년 Torremolinos 협약(어선안전) 의정서 작업을 완료했고, 그 소위원회는 open-top 컨테이너선, 핵연료 운반선, 선체 균열, 산적화물선 손실, 동력학적으로 지지되는 craft의 복원력 그리고 유조선 안전에 대한 안전 면을 고려하고 있다.

1993년 37차 회의에서 SLF가 “1966년 만재홀수선 협약의 기술적인 규칙 수정”이란 주제의 실무진으로 지정하기에 적합한 것으로 인정된 것은 중요한 일이다. IMO는 IMCO가 36년의 기술적인 진전과 1930년 만재홀수선 협약의 정밀검사가 제출되기 전에 했던 것과 마찬가지로 26년동안 명백해진 본 협약의 구식적인 면을 수정하기 위하여 국제적인 새로운 노력이 필요하다고 인식했다. 앞의 경우에 있어서 새로운 발전은 용접선체 건조, 나무대신 철판 창구덮개, 중앙보다 뒤에 위치한 기관구역, 대형선의 크기 증가 그리고 특정 무역양상의 개시를 포함했다.

이제, 거의 긴박한 문제들이 있다. 현 협약은 갑판침수 개념을 효과적으로 다루지 못하고 있는 반면 배의 운동과 갑판침수를 예측하는 능력을 이제 조선공학도의 책상에서 찾아볼 수가 있다. 갑판침수는 과학적으로 제출되어져야 한다. 덧붙이면, 새로운 설계의 방식은 1966년 이래 크게 가속되어 왔다.

본 협약은 여러 주관청에 의해서 발행된 여러 가지 규칙으로부터 제의를 요구해 온 이들 배를 포함시키기 위한 수단을 제공해야 한다. SLF 실무진은 SLF 38의 소위원회에 보고할 담당그룹을 만들어야 한다. 1995년(SLF 39)의 목표기일이 93년에 마쳐져서 IMO 해사안전위원회에 보내지는 수정협약 안전에 대한 소위원회의 검토를 위하여 설정되어야 한다. 실무진은 특히 갑판침수에 관계된 안전문제가 조심스럽게 검토되었던 SLF의 최근 open-top 컨테이너선에 대한 작업을 고려해야 한다. 배로 올라오는 해수의 제한, 환경 변수 그리고 안전기준에 대한 질문들은 어떠한 새로운 배설제에까지라도 일반적으로 확장되어져야 하

고, 새 협약의 모양새에 대한 논의를 위한 바탕을 마련할 것이다.

IMO의 일정과 목표는 다음과 같을 것이다 :

1993 SLF 37

- 협약 수정 일정 제안
- 협약의 기본 안전요소들의 재확정
- 배수량 단동선에 대한 견현표, 규칙 그리고 별칙의 수정안 제출

1994 SLF 38

- 비공식 협약 제안
- 계절대역과 기후기준 제출
- 새로운 해양 운송수단에 대한 성능기준 제출

1995-8 SLF 39-42

- 새 협약 초안

6. 결론과 권고사항

앞에서 보인 바와 같이, 만재홀수선협정의 근본적인 철학적인 개념, 즉 안전이 60년동안 해사공동체에 성공적으로 기여해 왔다. 선체 안전도, 상갑판 안전도, 강도, 복원성 그리고 갑판위의 사람에 대한 안전요소들은 이 문서의 전반적인 중요성에 대하여 참신한 이해를 해사공동체에 가져오도록 재확인 되어져야 한다.

본 협약은 새로운 선박에 대한 실시기준을 포함하도록 수정되어야 하며, 이것은 만재홀수선협약이 다음세기까지 실행가능한 규칙수단으로 계속되어지기 위하여 필요할 것이다. 보통의 단동선은 성능기준으로부터 이득이 있어야 할 것이다. 성능기준 개발부분은 현 협약의 고유한 안전수준에 대해 충분히 이해할 필요가 있을 것이다. 단동의 배수량 선박은 어느 특이한 설계특성을 위한 견현에 의해 부당하게 별칙이 부과될런지 모른다. 내항성능 바탕위에서 견현지정을 할 수 있는 선택사항이 있어야 한다. 그러나, 새 협약을 개발하는 과정에서, 일을 완성시키기 위해 필요한 이해수준을 개선시키기 위해 상당한 연구를 필요로 할 것이다. 어떠한 상황에서라도, 우리로 하여금 그 임무에서 손을 떼게는 하지 못할 것이다.

견해로서는, 다양한 연구를 수행하기 위해서 필요한 이론적인 수단들은 지금 유용하던지 혹은 가까운 장래에 유용할 것이다. 우리는 새 협약이 모양을 갖추도록 하기 위한 개념적인 계획을 개발하는데 있어서 문제점들을 충분히 이해하고 있다. 그것이 본 고찰의 목표이다.

새 협약을 개발하기 위하여 다음과 같은 여러 연구분야가 수행되어져 왔다.

- 현존하는 보통배에 대한 내항성능을 더 잘 계량하기 위한 계속적인 연구
 - 비선형 계산방법에 대한 정비와 개발
 - 계절 기후학의 지속적인 연구
 - 통계적인 파랑부표 자료로 부터 시간영역에서 Extreme Wave Events를 특징지을수 있는 방법 개발
 - 새로운 해양선박에 대한 합리적인 성능기준의 정비와 개발
 - 운항과 생존기후 帶域項으로 표현되는 성능기준의 개발
 - 새 협약에서 수정을 위한 가장 결정적인 선택과 갑판침수에 민감하게 영향을 미치는 수선위와 아래의 형상에 대한 모든 선체변수의 조사
- IMO의 회원국들은 이제 만재홀수선 협약에 대한 작업을 시작해야 한다. 첫번째 임무는 단동배수량선에 적용되는 현재 협약을 수정하는 일이다. 비록 많은 분야에서 연구가 완성되지 않았지만, 협약을 수정하는 기본작업은 늦춰져서는 않된다. 새 협약은 미래에 적합한 핵심으로서 유연성을 가져야 한다. 앞으로 30년에 걸쳐서, 새 협약은 아직 상상치 못했던 배에 적용될런지도 모른다. 내항성능 바탕위에서 견현 지정을 할 수 있는 선택사항이 있어야 한다. 그러나, 새협약을 개발하는 과정에서, 일을 완성시키기 위해 필요한 이해 수준을 개선시키기 위해 상당한 연구를 필요로 할것이다. 그러므로 작업의 지연은 해상에서 많은 생명과 재산을 잃게할 것이다.

5. 참고문헌

1. Cleary, W.A., "Load Lines-The Lever of Sa-

- fety," *Trans.Sname*, Vol.83, 1975.
2. "Initial Assessment of Deck Wetness Implied by the 1966 Load Line Convention," SLF 35/7/4, submitted by the United States to IMO, Feb.1991.
 3. "Assessment of Deck Wetness Implied by the 1966 Load Line Convention," SLF 36/9/, submitted by the United States to IMO, Jan, 1992
 4. Principles of Naval Architecture, E.V.Lewis, Ed., Vol.3, Motions in Waves and Controllability, SNAME, 1989.
 5. Buckely,W.H., "Design Wave Climates for the World Wide Operation of Ships," 1992.
 6. Salvesen,N.,Tuck,E.O.,and Faltinsen,O., "Ship Motions and Sea Loads," *Trans. SNAME*, Vol. 78, 1970, pp. 250~287.
 7. de Kat,J.O.and Paulling,J.R., "The Simulation of Ship Motions and Capsizing in Severe Seas," *Trans.SNAME*, Vol.97,1989, pp. 139~168.
 8. Fujino, M.and Yoon, B.S., "A Practical Method of Estimating Ship Motions and Wave Loads in Large Amplitude Waves," *International Shipbuilding Progress*, Vol.33, No.385, Sept 1986.
 9. Jensen,J.J.and Pedersen, P.T., "Wave-Induced Bending Moments in Ship-A Quadratic Theory," *Trans.RINA*, 1978.
 10. Pereira, R., "Simulation Nichtlinearer Seegangslasten," *Schiffstechnik*, Band 35, 1988.
 11. Sclavounos, P.D., "The Unified Slender Body Theory," 15th Symposium on Naval Hydrodynamics, Hamburg, 1985.
 12. Lin, W.M.and Yue, D.K.P., "Numerical Solutions for Large Amplitude Ship Motions in the Time Domain" in *Proceedings*, 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, Ann Arbor, Mich., 1990.
 13. Newman, J, N., "The Quest for a Three Dimensional Theory of Ship Wave Interactions," *Royal Society Discussion Meeting*, June 1990.
 14. Hutchison, B., "Seakeeping Studies : A Status Report," *Trans.SNAME*, Vol.98, 1990.
 15. Office of Naval Research,Accelerated Research Initiative Program on Nonlinear Ship Motions, Review Meeting, J.Fein, Program Manager, M. I.T., Cambridge, Mass., March 1992.
 16. 16. Report of the Seakeeping Committee, 19th International Towing Tank Conference, Madrid, 1990.
 17. Lloyd, A.R.J.M., Brown, J.C., and Anslow, J.F. W., "Motions and Loads on Ship Models in Regular Oblique Waves," *The Naval Architect*, No.1, 1980, pp. 20~44.
 18. Beck, R.F., "Relative Motion Components for a Mathematical Form in Regular Waves," 14th Symposium on Naval Hydrodynamics, Ann Arbor, Mich., 1982.
 19. Lee, C.M., O'Dea, J.F., and Meyers, W.G., "Prediction of Relative Motion of Ship in Waves," 14th Symposium on Naval Hydrodynamics, Ann Arbor, Mich., 1982.
 20. O'Dea, J.F.and Walden, D.A., "Effect of Bow Shape and Nonlinearities on the Prediction of Large Amplitude Motions and Deck Wetness," 15th symposium on Naval Hydrodynamics, Hamburg 1985.
 21. Korsmeyer, F.T., Ma, C., Xu, H., and Yue, D. K.P., "the fully Nonlinear Diffraction of Water Waves by a Surface Piercing Strut," 19th Symposium on Naval Hydrodynamics, Seoul, Kores, Aug 1992.
 22. Maskew, B., "A Nonlinear Numerical Method for Transient Wave/Hull Problems on Arbitrary Vessels," *Trans.SNAME*, Vol.99, 1991.
 23. Lin, W.M.and Yue, D.K.P., "Large Amplitude Ship Motion and Load in Severe Seas," *NAVSEA Workshop on Wave loads*, Washington, D. C., June 1992.
 24. Pawlowski, J.S. and Bass, D.W., "A Theoretical

- and Numerical Model of Ship Motions in Havy Seas," Trans.SNAME, VOL.99, 1991.
25. Tulin, M. and Mauro,., "Nonlinear Deck Wetness," Presentation at Office of Naval Research Program Review Meeting, M.I.T., Cambridge, Mass., March 1992.
 26. Schultz, W.W., Griffin, O.M., and Ramberg, S. E., "Steep and Breaking Deep Water Waves," 16th Symposium on Naval Hydrodynamics, Berkely, Calif., 1986.
 27. Dillingham, J.T., "Motion Studies of a Vessel with Water on Deck," Marine Technology, vol. 18, No.1, Jan. 1981.
 28. Graf, J.R., Load Line Technical Manual, USCG-M-1-90, United States Coast Guard, Dec, 1990.
 29. Liapis, S. and Beck, R.F., "Seakeeping Computations Using Time-Domain Analysis" in Proceedings, Fourth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, National Academy of Sciences, Washington, D.C., Sept. 1985, pp. 34~56.
 30. King, B., Magee, A., and Back, R.F., "Seakeeping Calculations with Forward Speed Using Time-Doman Analysis" in Proceeding, 17th Symposium on Naval Hydrodynamics, The Hague, The Netherlands, Aug.1988.
 31. Beck, R.F. and Magee, A., "Time-Domain Analysis for Predicting Ship Motions," Developments in Marine Technology : 7 : Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1991.
 32. Cao, Y., Lee, T., and Beck, R.F., "Computations of Nonlinear Waves Generated by Floating Bodies," 7th International Workshop on Water Waves and Floating bodies, Val de Reuil, France, May 1992.
 33. Nakos, D.E. and Sclavounos, P.D., "Ship Motions by a Three-Dimensional Rankine Panel

Method" in Proceedings, 18th Symposium on Naval Hydrodynamics, Ann Arbor, Mich. 1990.

부 록

The following is a discussion of ICLL 66 regulations which should be modified, including discussion of background, application, and problems, and suggested modifications. They are categorized in three chapters as they appear in Annex I of ICLL 66, namely, "General," "Conditions of Assignment," and "Freeboard."

General

Regulation 6 "Lines to be used with the load line mark" : Seasonal load lines should be simplified new freeboard tables are based on deck wetness in a 10 m Hs seaway. If lesser basis is used, highlatitude seaway zones must be adopted taking into account new wave data.

Conditions of Assignment

Regulation 10 "Information to be supplied to the master" : This should be strengthened for novel vessels so that both master and the IMO (under Convention Articles 6 and 8) are provided full information as to conditions under which the vessel was certificated and any operational restrictions.

Regulation 14, 15, and 16 : dealing with hatchways and hatch covers. These should be simplified to simply assure weathertightness and strength to withstand expected green water loads.

Regulation 17, 18, 19, 20 : dealing with deck openings, ventilatoes, etc. These regulations will be linked to the deck wetness implied by the freeboard. Guidance should be added which links inadequate freeboard to penalties for opening heights or vice versa.

Regulation 22 “Scuppers, inlets, and discharges” : IMO decision on plastic pipe should be used as it fits hull openings.

Regulations 24 “Freeing ports” : Sizing of freeing ports should be updated utilizing the research of Dillingham [27], and related work.

Freeboard

Regulations 27 “Types of ships” : Convention 2000 will continue to recognize Type A and B ships, but should tighten gangway requirements for personnel on Type A ships. Advances in the damage stability code(probabilistic) must be recognized if credits are still to be allowed for better survivability of Type B ships (such credits must include compensation in the conditions of assignment). The freeboard credit for unmanned tight deck barges needs strong scrutiny in light of many changes in that trade resulting in the manning of some barges with the credit.

Regulation 28 “Freeboard tables” : New tables will be based on a safety standard checked with extensive seakeeping data.

Regulations 29 “Correction to the freeboard for ships under 100 meters in length” : This correction, shown in Fig.8 in its present form for ships with no superstructure(100% correction required), is correct in its intent. It should be combined with the sheer and bow height regulations and expanded to ships up to 200 meters in length (and eliminate the very complicated superstructure and trunk correction).

Regulation 30 “Correction for block coefficient” : The logic behind this correction goes back to the last century when early load line proponents agreed that about 20% of the internal volume of the ship should be above water and should be maintained weathertight, etc.(Ref 1906 Board of Trade rules), and at the same time decided on

a standard C_b of 0.68. A correction curve appears on Fig.6 for $C=0.9$. While studies have shown that block-corrected ships have less deck wetness, it is problematic whether elimination of the correction would equalize water on deck. This correction should be deleted unless there is some new evidence to support it.

Regulation 31 “Correction for depth” : This is a strength correction which adds a freeboard penalty for excessive length. This correction should be deleted, but not until some new minimum strength or performance criteria are established and placed into the convention.

Regulations 33, 34, 35, 36, and 37 : dealing with superstructure and related to regulations 29, 38, and 39. These corrections reduce the tabular freeboard at amidships and have maximum values (for 1.0L superstructure) as shown in Fig.9. For short ships with 100% superstructure this can produce a negative tabular number for freeboard.

Regulations 38 “Sheer” : This correction relates to all the others which utilize intact buoyant volume and its location on the ship. It is a gradually increasing freeboard penalty dependent only on length and fore-and-aft location of the buoyant volume. It benefits from better logic than some of the others but the seakeeping studies must tell us if the protection offered is similar for all sizes of ship.

Regulation 39 “Bow Height” : As the correction is shown on Fig.9, it is misrepresented because it does not automatically cause such a large correction to the tabular midships freeboard ; rather it shows the need for a forecastle(or a sheer curve enough to make the bow height). If, however, there is no forecastle or sheer line to meet this regulation, then this rule(as it is currently written) overwhelms all the others as the largest single full-length correction to freeboard. The new ship/seaway motion studies should show a better

application for this type of regulation.

Freeboard penalties

There are several different aspects to the need for height above the weather deck for ventilators, air pipes, doors hatch coamings, machinery openings, etc. ;

1. deck edge immersion angle
2. deck edge plus covering height at side
3. angle of down flooding

The seakeeping studies which tell us what heights are needed for a selected deck wetness limit for deck edge immersion can also tell us what the

expected wetness limit for deck edge immersion is at the several height limits above the deck. These regulations have the regulatory function of reminding all concerned (operators, owners, and maintenance, shipbuilding, design, and inspection personnel) that these heights above the freeboard deck (assuming it is also the weather deck) and the load waterline (Regulations 2 and 3) are points of entry for seawater.

Most of the above regulations concern deck or hull fittings which must be "closed weathertight" by the crew when their ship approaches a storm (Regulations 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23).