

船舶 設計時 IMO의 SOLAS 協約에 따른 損傷 復原성과 그 適用에 관한 研究

김 윤 진¹⁾, 박 명 규²⁾

A Study on the Application of SOLAS Convention of IMO related to Ship's Damage Stability

Yun Jin Kim, Myung Gyu Park

Abstract

Damaged survivability criteria based on probabilistic analysis procedures, as first proposed by Wendel in 1960, proposed for cargo ships in 1971, and incorporated into the 1973 Intergovernmental Maritime Consultative Organization(IMO) Passenger Ship Regulations, represent a superior method for evaluating the relative safety of ships exposed to damage. While somewhat more complicated and extensive from the naval architect's viewpoint, criteria based on probabilistic principals are much less arbitrary and can be applied uniformly to ships of all types. The resulting yardstick for ship safety is in the form of a survivability index, which is proportional to the that a ship will survive collision damage. A required survivability index may be set at a desired level of safety in consideration of the likelihood of damage occurring and its potential consequences in terms of loss of life and property, or environment impact. The new rules are considered vastly superior to the 1960 Convention in logic and are rational and explicit in structure.

I. 서 론

해상에서의 선박손상에 의하여 발생할 수 있는 인명과 재산의 손실 및 환경오염을 미연에 방지하고자 하는 노력은 선박 설계자의 가장 중요한 목적 중의 하나이다. 선박 건조기술의 발달에 힘입은 전체적인 사고율의 저하에도 불구하고 선종의 다양화 및 선박의 중량화 등에 따른 미처 예기치 못했던 이유로 인하여 각종 해상재난은 계속 발생하고 있다.

이에 따라 선박의 안전성을 도모하기 위한 각종 규정이 수정·보완 및 신설되고 있는데, 이

-
- 1) 한국해양대학교 대학원 선박공학과
 - 2) 한국해양대학교 조선공학과 교수

중 중요한 항목 중의 하나가 손상 복원성에 관련된 규정이다. 선박의 안전성에 대한 기존의 결정론적 계산방식의 결점이 발견됨에 따라 새로운 규칙의 개발이 요청되었으며, 확률론적 평가 방법이 도입되었다.

1960년대 초, Wendel과 그의 동료들은 선박의 區劃을 검토하는데 있어서 확률론적 방법을 도입하면서 선박의 안전의 확보와 생존의 위험에 대하여 수치적 계산을 가능하게 하였다. 모든 사고들은 사고 당시 완전히 제한된 상황 속에 처하여 발생하였으며, 사고로부터 선박의 생존 가능성은 여러 가지 동적 인자들과 해상상황에 달려 있다. 이러한 사고를 유발하는 요소들과 특성들 중 일부는 유동적이며 임의의 값을 취한다. 그러므로, 확률론적인 개념은 이러한 현상을 연구하고 해결하는데 적합한 것으로 고려되고 있다.

본 논문에서는 이러한 충돌 및 기타 사고의 원인을 검토해 보고, 충돌사고와 관련하여 SOLAS 협약의 변천과정을 살펴보고자 한다. 또한, 1974년 이전의 기존 IMO 협약의 문제점을 분석하고, 현 개정된 협약의 손상 복원성 규정의 적용방법 및 개념에 대하여 고찰하고자 한다.

현 IMO 협약의 확률론적 평가방법이 기존 사고자료의 통계분석을 근거로 하였으며, 기존 결정론적 방법에 비하여 상당히 현실적인 것으로 평가되고 있으나, 시행 초기 단계인 만큼 아직 많은 문제점을 안고 있다. 이와 관련된 확률론적 평가법의 적용상 문제점을 분석해 보고 그 개선방향을 제시하고자 한다.

II. 선박의 생존률의 평가방법

제 1절 연혁 및 기존 협약의 오류

1.沿革

수밀격벽이 13세기 중국에서 처음 사용된 것으로 알려져 있지만, 유럽에서는 영국 해운협약(the British Marine Shipping Act)과 함께 1854년경 관심이 일기 시작했다. 1912년의 Titanic호의 손실은 해상에서의 인명의 안전에 대한 국제 규칙의 합의를 촉진시켰으며, 그 결과로 1914년 1월, 여객선의 구획과 인명구조 기준에 대한 최초의 국제 협약이 합의되었으나, 세계 제 1차 대전으로 인해 그 효력을 발생하지 못하였다.

1929년 제 2차 해상에서의 인명의 안전(SOLAS)에 대한 국제 회의가 개최되었으며, 여기서는 주로 화물을 운송하는 선박들과 여객운송에 종사하고 있는 선박들을 구분할 목적으로 용도의 표준수(service formulation)와 구획계수(factorial system)의 기준을 채택하였다.

1948년 세번째 협약이 채택되었으며, 1960년 회의에서는 1956년 "Andrea Doria"호의 충돌사고와 관련하여 여객선의 구획 및 손상복원성과 관련된 여객선 규칙의 실질적인 변화를 요청하였으나, 1960년 짧은 회의 기간 동안 주요 안전을 개정하기에는 불가능하였다. 이 작업을 수행하기 위하여 소위원회는 연구단체(Working Group)를 설립하였으며, 구획계수 방식(factorial system)에서 논리적 결함을 지적하고, 확률원리의 사용을 제안하는 논문들도 함께 검토하였으며, 3년의 연구 뒤에 많은 의견이 제안되었으나, 그 제안들의 어느 것도 만족하게 고유의 결점

을 수정할 수 없었으며, 확률론적 방법에 근거한 새로운 구획기준을 개발하는데 더 많은 노력이 기울여져야 할 것으로 결론을 내렸다.

이와 관련하여 가침상과 손상 복원성을 포함한 가능한 규정들에 대한 광범위한 연구 뒤에 1971년 손상 복원성 계산의 사용에 직접적으로 근거한 개정된 형식을 제출하였다. 이것은 현재 발효 중인 1974년 SOLAS 회의에서 채택된 확률론적 방식에 의한 선박의 구획 및 손상 복원성 규정의 기초가 되었다.

2. 기존 협약의 오류

1929, 1948 및 1960년의 세 협약의 의도는 각 선박들의 용도에 대한 운항의 특성을 고려하여 각 선박들을 가능한 한 효율적으로 구획할 것을 규정하였으며, 더 나아가 여객수와 선박의 크기의 증가에 따른 안전성을 제공하는 것이었다. 여객수가 증가함으로써, 재난의 정도도 더욱 심각해지고, 선박의 크기가 증가함에 따라 더 큰 구획이 실용되므로서, 이 두 가지 매개변수(parameter)들은 합리적으로 고려되어야 한다.

이에 대한 1948년 이전 협약으로부터 내려온 결정론적 방법에 대한 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- ① 선박구획의 다양한 용적에 관련된 운항기준에 대한 공식들이 현대의 발달된 선박에 비해 교해 불 때, 관련 계산방식이 매우 구시대적이다.
- ② 많은 수의 여객을 운반하도록 설계된 선박들을 포함하여 여객선의 대부분이 횡적벽을 포함한 작은 손상으로부터 생존할 수 없도록 설계되었다.
- ③ 기존 규정에 의한 선박의 안전 등의 측정에 있어서 신체의 부위, 다양한 흡수와 침수율, 침수시 복원성 등을 충분히 고려하지 못하므로서, 두 선박이 실제로는 매우 다른 생존율을 갖고 있음에도 불구하고 동등하게 안전한 것으로 평가될 수도 있다.
- ④ 인료탱크 내의 해수 밸러스트에 의한 항내의 유류오염 발생 및 복원성 등의 현실적 문제에 대하여 충분히 고려하고 있지 않다.

제 2절 확률론적 생존률의 고찰방법

전 세계의 선단에 대한 충돌사고의 통계를 보면, 선박의 심각한 충돌(즉, 水線下部의 손상)의 일반적 위험이 1,000척의 선박에 대하여 약 4-5건이 발생함을 보여준다. 항로밀도는 손상확률의 주요 요소로서, 사고사건의 검토는 충돌(및 좌초)에 의한 손상이 항구의 인접지역 및 부산항이나 인천항과 같은 고밀도의 교통지역에서 더 많다는 것을 확인시켜 준다.

충돌확률은 속도, 크기 및 조종성과 같은 선박의 특성에 영향을 받을 수도 있다. 항해장비의 효율성 및 신뢰성과 마찬가지로 선원 또는 도선사(pilot)의 적성 또한 이 확률에 있어서 중요한

인자들(factors)이 된다.

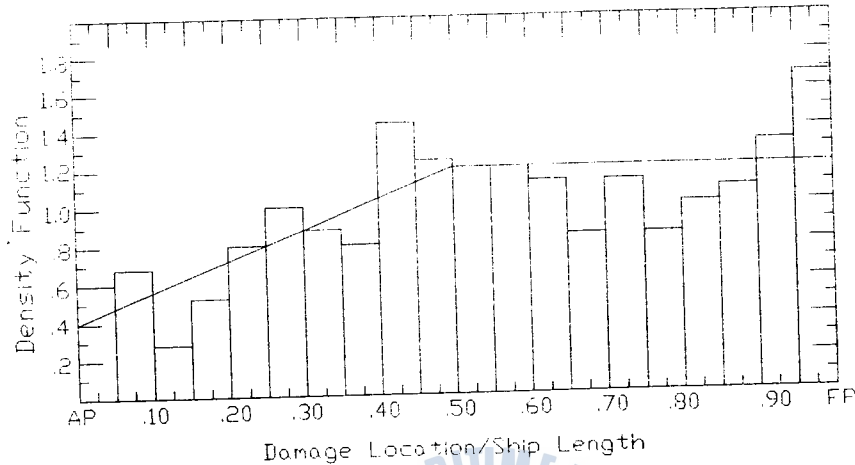


그림 1 損傷의 縱方向 位置 分布密度

그림 1과 2는 '73년 IMO 여객선 규칙을 제정하는데 사용된 것과 동일한 자료로써, 손상의 종방향 위치의 가정 분포밀도를 보여준다. 이 도표로부터 충돌은 선박의 전반부에서 발생하기 쉬우며, 일반적으로 선미쪽으로 갈수록 가능성이 줄어들음을 알 수 있다.

가정 손상깊이는 선박의 길이(200m 이상의 선박에 대하여 최대 48m)의 0에서 24%까지 변한다. 대부분의 선박에 대하여 통계적으로 이 최대 손상깊이는 셋 또는 그 이상의 수밀 구획실을 손상시킨다. 횡방향 손상깊이는 만재수선(손상의 종방향 중심에서 측정함)에서 선체범위 0에서 80%까지 손상되는 것으로 가정한다.

직접 계산법에 따른 침수계산에서는 배의 수직방향의 손상범위는 상방으로는 무제한으로 계산되지만, 확률론적 방법에서는 수직방향의 손상위치 및 범위에 대한 자료의 수집도 가능하나 이를 확률적으로 취급하는 것이 용이하지 못하다는 것이 일반적인 의견이다.

손상으로부터의 생존확률은 침수의 위치와 범위, 침수장소의 침수율, 침수 전의 홀수와 복원성, 침수 후 배에 작용하는 힘과 모멘트 등과 같은 인자들에 근거하고 있다.

제 3절 IMO의 생존률의 평가방법

임의의 구획의 침수확률 p_i 와 깊이방향의 침수확률 v_i 와 횡방향의 잔재 동복원성의 비율을 나타내는 s_i 를 계산하여 이 p_i , v_i , s_i 의 곱을 선박의 전길이에 걸쳐 합계한 도달구획지수 A 를 구하여, 이 A 값이 계산식에 의한 요구구획지수 R 보다 클 것을 요구한다.

SOLAS 협약의에서는 깊이방향의 침수확률을 v_i 로써 나타내고, 잔재확률을 각 범규 공동의 침수율 μ 를 이용한 직접계산에 의한 선박의 잔재 동복원력과 최종 경사각으로 나타낸 것이 특징이다.



그림 2 損傷길이 및 橫方向 침투범위

1. 요구구획지수 R

선박에 대한 최소 구획기준을 설정하기 위한 것으로, 그 최저 기준치는 다음과 같다

$$R = (0.002 + 0.0009L_s)^{1/2} \dots\dots\dots(2-1)$$

Ls는 구획길이(m)

2. 도달구획지수 A

이 값은 최고구획만재활수선의 상태와 부분적재활수의 2가지 상태에서 계산하여 그 평균치로 한다[부록 1참조].

$$A = \sum_i p_i \cdot s_i \cdot v_i \dots\dots\dots(2-2)$$

- p_i : 임의의 구획의 침수확률
- s_i : 침수후 생존확률
- v_i : 기상 수직방향의 손상범위내 침수확률
- i : 가상의 구획실군

3. 확률론적 평가법의 적용상 문제점

1) 요구구획지수 R값의 기준설정

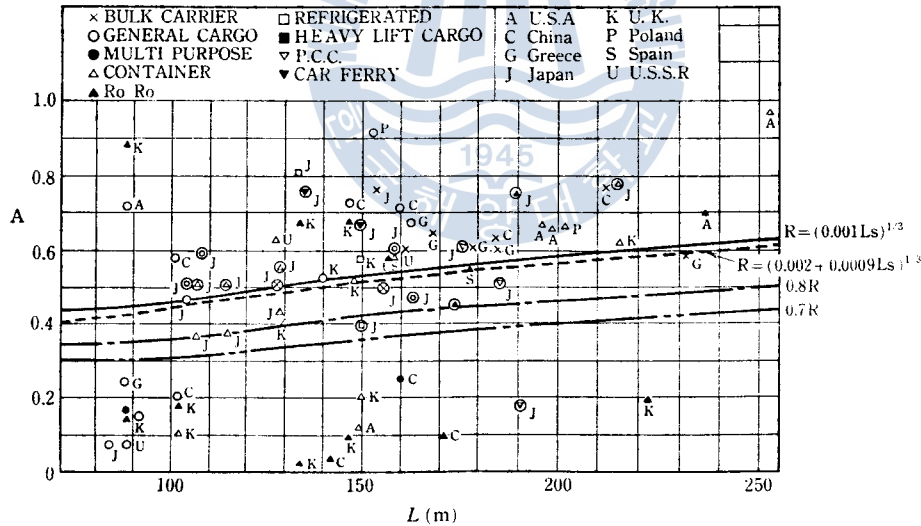


그림 3 각국의 R 및 A의 計算例

선박의 구획정도는 충돌시 생존확률의 요구구획지수 R값에 의하여 결정된다. 이 값은 기존 선박에 적용하여 계산한 도달구획지수의 수치를 근거로 하여 구할 수 있다. 이와 관련된 모든 표본선박에 대한 실제 계산결과가 그림 3과 같이 산만하게 분포하고 있다. 그 이유는 관련 선박의 건조 당시 적용되었던 협약의 기준이 비논리적이며 부적합하였기 때문이다. 이러한 산만한 분포는 선박의 안전의 측정방식에 대한 기존 협약의 오류를 여실히 보여주고 있다.

73년 여객선 규칙에 처음으로 적용되었던 요구구획지수 R에 대한 식은 아래와 같다.

$$R = 1 - \frac{250}{(L + \frac{N}{4}) + 375} \dots\dots\dots(2-3)$$

여기서, N = N₁ + 2N₂
 N₁ : 규명장 허용인원수
 N₂ : N₁을 초과한 전체 승선 인원수
 L : 부속길이

초기 화물선에 대해서는 이객선 규칙과 동일한 식을 적용할 것을 결의하였다. 그러나, 모든 선종에 적용 가능한 통일된 식을 목적으로 MSC/Cir. 484에서는 계수 N을 생략한 길이에 대한 안전의 지수로서 아래의 식으로 수정할 것을 제안하였다.

$$R = (0 + 0.001L)^{-1} \dots\dots\dots(2-4)$$

IMO의 연구단체는 MSC Cir. 484의 R에 의해 표현되는 안전기준의 수준이 Ro-Ro선을 비롯한 몇 가지 선종이 R을 만족하는데 어려움이 따른다는 데 인식을 같이하였고, 규정조안에 대한 근본적인 수정은 배제한다는 MSC 위원회의 지침에 따라 부속 기준을 완화할 것을 결정하였다. IMO의 연구단체는 이와 관련된 여러 가지 조건들을 고려하여 각국의 의견을 검토한 결과,

$$R = (0.002 + 0.0008Ls)^{-1/3} = 0.125(1 + 0.4Ls)^{-1/3} \dots\dots\dots(2-5)$$

식 (3-4)의 네덜란드 안을 Cir. 484의 내안으로 수용 가능한 것으로 판단하고, 위원회의 주안 등을 참조하여 Cir. 484와 네덜란드 안 사이의 평균치를 채택하였으며, MSC Cir. 138의 최종 안에서는 아래의 식으로 하향 조종할 것을 결의하였다.

$$R = (0.002 + 0.0009Ls)^{-1/3} \dots\dots\dots(2-6)$$

연구단체는 상대에 좀 더 많은 경험들이 축적될 때까지 규정 조안의 R값(Cir. 484)보다 조금 낮은 수준을 적용할 것으로 결론을 내렸다.

2) 각국의 의견

1) 미국의 의견

이와 같은 하향결정에 대해 미국 등 몇개국은 규정 조안의 R값이 바람직한 수준이며, 계속 유지되어야 할 것으로 생각하였다. Ro-Ro선에 대한 손상 복원성의 연구결과 Ro-Ro선은 손상 에 매우 취약하므로, 따라서 R값의 하향 조정은 Ro-Ro선을 구제할 수 있을지는 모르나 규정 조안의 R값을 만족하는데 어려움이 없는 타종의 선박에 대한 안전의 수준을 낮추는 결과를 초래할 것으로 수정하였다.

② 폴란드의 의견

폴란드는 SLF 37차 회의에서 현 규정의 구획기준이 길이가 길어짐에 따라 지나치게 높아지므로 길이가 긴 선박에 대해 부적합한 것으로 주장하였으며, 선박의 길이에 대한 안전의 지수로서 아래의 식으로 수정할 것을 제안하였다.

$$R = 1 - \frac{205}{Fs + 275} \text{ for } Fs \geq 100 \dots\dots\dots(2-7)$$

표 1. 각 국의 제안별 구획길이에 따른 비교표

구획길이(m)	Res. A. 265	MSC Cir. 484	현재의 규정	네덜란드의 제안	폴란드의 제안
100.00	.4737	.4642	.4514	.4344	.4533
150.00	.5238	.5313	.5155	.4960	.5176
200.00	.5652	.5848	.5667	.5451	.5684
250.00	.6000	.6300	.6100	.5867	.6095
300.00	.6296	.6694	.6479	.6232	.6435
350.00	.6552	.7047	.6818	.6558	.6720
400.00	.6774	.7368	.7127	.6854	.6963
450.00	.6970	.7663	.7411	.7127	.7172
500.00	.7143	.7937	.7674	.7380	.7355
550.00	.7297	.8193	.7921	.7617	.7515
600.00	.7436	.8434	.8153	.7841	.7657
650.00	.7561	.8662	.8373	.8052	.7784

3) 구획기준의 적용상 문제점

부록 2와 같이 컨테이너선 및 벌크 캐리어의 3척의 선박에 대하여 각국의 의견에 따른 요구 구획지수를 적용해본 결과, 2척의 선박은 각국의 식에 따른 모든 요구구획지수에 대하여 도달 구획지수의 값을 충분히 만족하고 있다. 그러나 최근 국내 조선소에서 건조된 43,000DWT급 벌크 캐리어에 대하여 MSC Cir. 484의 R에 의한 값은 만족하지 못하고 있다.

이것은 그림 3에서 알 수 있듯이 Ro-Ro선을 제외한 기존의 대부분의 선종이 MSC Cir. 484의 R값을 만족하고 있는 것을 비추어 볼 때, 미국의 주장과 같이 타 선종의 상대적 안전의 저하의 가능성이 충분히 있음을 보여주고 있다.

표 1은 각국이 제안한 구획기준의 계산식에 따른 결과치를 나타낸 것으로서, 길이가 길어짐

에 따라 각 식에 의한 값들의 차이가 심하게 나타나고 있다. MSC Cir. 484의 식은 길이에 따라 지나치게 크게 증가하는 경향이 있으며, 현재의 규정과 폴란드의 수정식을 비교해 보면, 작은 크기의 선박에 대해서는 폴란드의 식이 다소 높은 값이 있으나 길이가 증가함에 따라 현재의 규정에 의한 값이 크게 증가하고 있는 반면에 폴란드의 식은 다른 값들에 비해 다소 낮아서 Resolution A. 265의 식과 유사한 경향을 보여주고 있다. 즉, 구획기준의 강화를 요구하는 일부 국가들의 주장에 비추어 볼 때, 진 선종에 적용하기에는 구획길이가 긴 선박에 대해서 기준이 조금 낮은 것으로 생각된다.

길이만의 함수로서 진 선종에 대한 통일된 공식을 적용하려는 원대의 의도는 좋으나, 손상 복원성의 평가가 해상에서의 재난이 발생하였을 경우, 인명의 안전을 도모하고 선박 또는 적재 중인 화물의 손실을 방지하는 것이 근본 취지인 만큼 이와 같은 문제점들에 대하여 충분한 재검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본문의 내용과 같이 표본선박으로 3척에 대하여 계산을 수행하였으며, 3척 중 1척이 초안의 기준(MSC Cir. 484)에 미달하고 있다. 즉, 이것은 미국이 우려한 대로 안전성의 저하의 가능성을 보여주고 있다.

그와 동시에 현재까지 제안된 각국의 의견을 검토·비교해 본 결과, 제각각의 무시할 수 없는 결점을 포함하고 있으며, 진 선종에 통일된 공식을 적용하려는 원대의 의도는 좋으나, 각 선형 및 용도 등의 특성이 무시된 길이만의 계수로서 선박의 안전성을 평가한다는 것에 많은 부리가 따르고 있음을 볼 수 있었다.

이와 관련된 각국의 의견이 계속 제출되고 있으며, 시행 초기 단계인 현시점에서 IMO의 결정과 같이 경험이 축적될 때까지 지켜보아야 할 것이다. 그러나 세계 속의 조선강국으로서 국제 규격의 변화에 맹목적인 추종보다는 관련 환경 및 업계 나름대로의 기술을 축적하여 이와 같은 국제 규격의 변화에 대비하여야 할 것으로 생각한다.

각국이 제안한 문제점을 분석한 결과, 선종별 계산방법의 분리에 따른 번거로움이 있을 수 있으나, SOLAS 협약의 근본 취지가 해상에서의 인명의 안전을 도모하고, 선박 또는 적재 중인 재산을 보호하고자 하는 것인 만큼 선종별 관련 매개변수가 삽입된 새로운 공식을 개발하는 방법과, 기존 협약의 길이에 따른 비효율성에 대하여 감소계수를 취하여 현재의 수식을 수정하는 방법의 2가지 안을 제안하고자 한다.

앞에서 설명한 문제점들과 관련하여 앞으로의 연구과제로 다음과 같은 사항을 포함한다.

1. 300미터 이상의 길이가 긴 선화물선의 도단구획지수에 대한 자료를 수집·분석하여 현 규정의 안전수준의 적합성 평가
2. Ro-Ro선, 다용도선, 위험물 운반선 등의 손상에 취약한 선종에 대한 적절한 안전의 수준을 설정

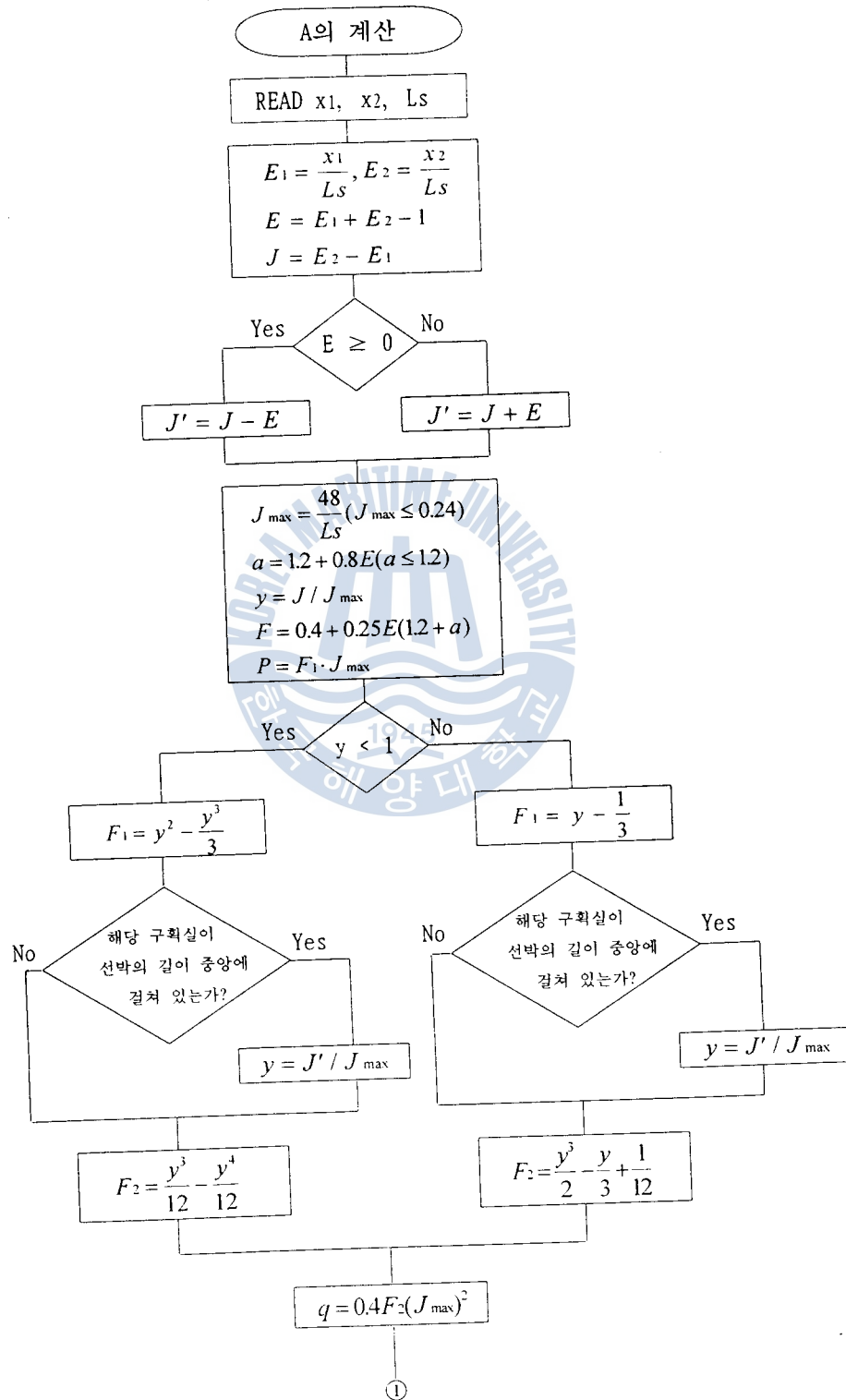
- ③ 100미터 이하의 건화물선에 대한 자료를 수집·분석하여 확률론적 평가방법의 개발 및 적합한 안전의 수준을 설정
- ④ 침수율, 트림 및 흘수들의 확률적 취급

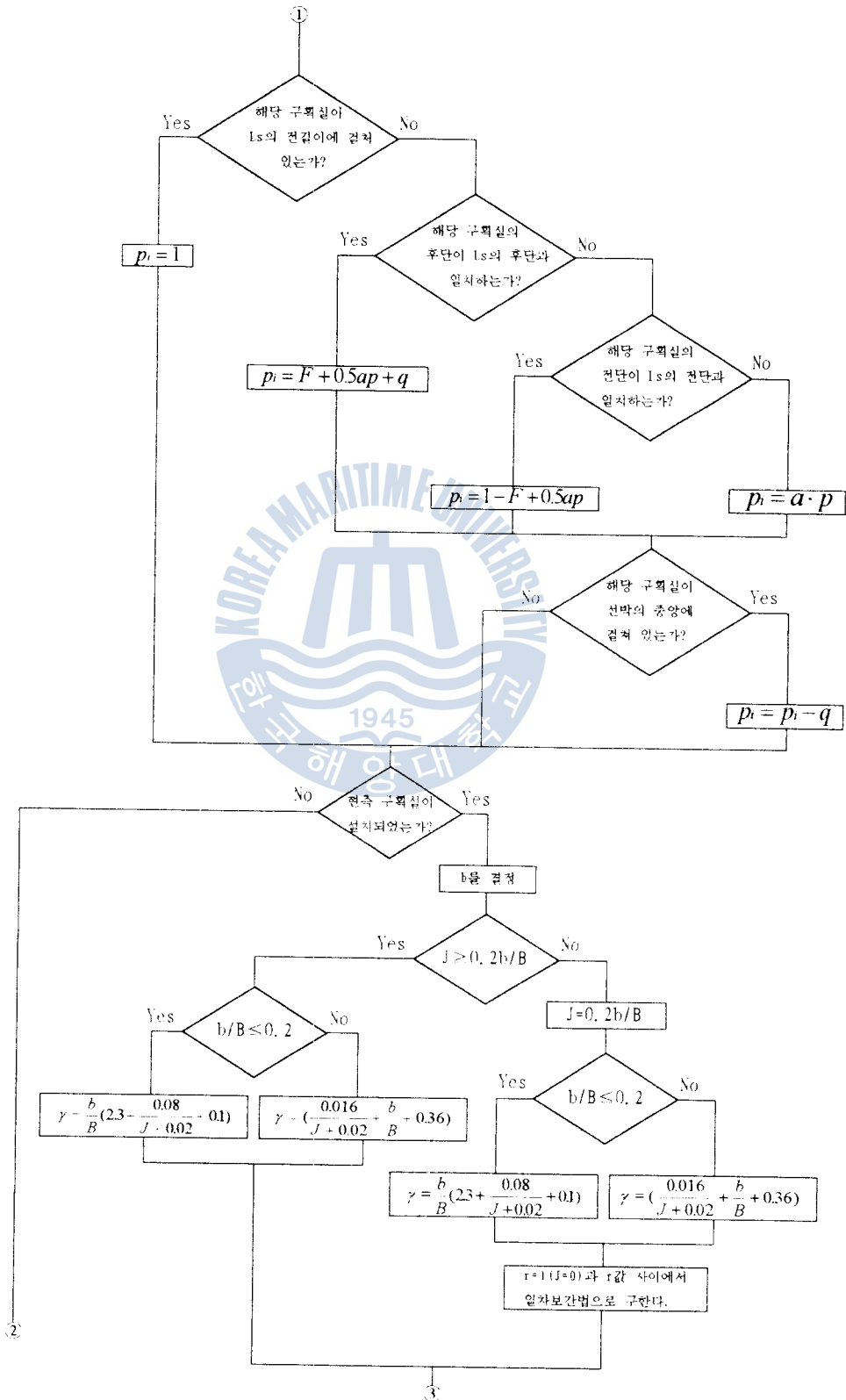
참 고 문 헌

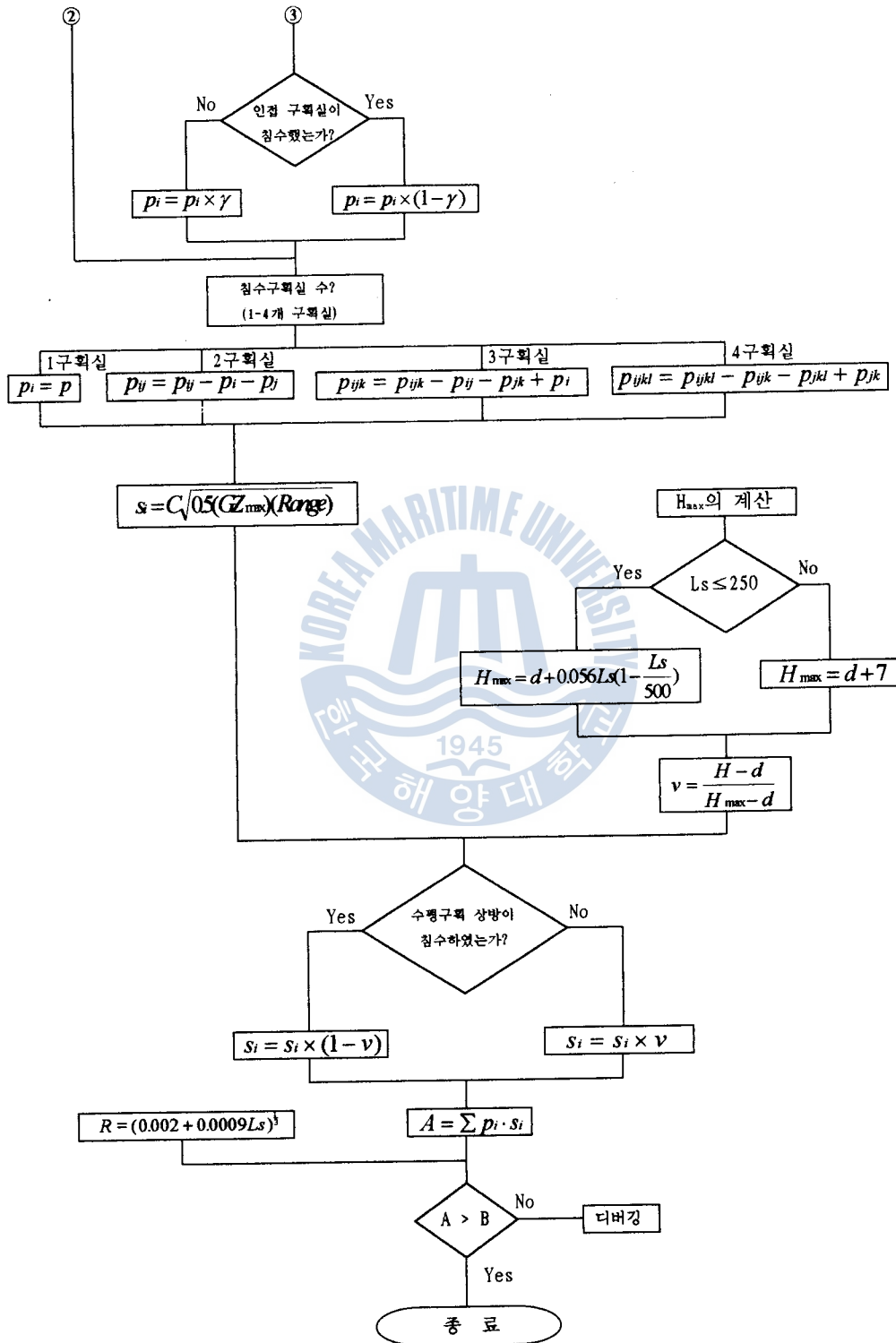
- [1] H. E. Skinner and J. Phillips, "Merchant Ship Subdivision," Trans. INA, July 1949.
- [2] IMCO Resolution A. 265(VIII), Resolution on Subdivision and Stability of Passenger Ships as Equivalent to Part B of Chapter II of the International Convention for the Safety of Life at Sea 1960'.
- [3] A. C. Richmond, "The International Conference on Safety of Life at Sea", Trans. SNAME, Vol. 68, 1960.
- [4] Comstock, J. P. and Robertson, J. B. "Survival of Collision Damage versus the 1930 Convention on Safety of Life at Sea", Trans. SNAME, Vol. 69, 1961.
- [5] Robertson, Nickum, Price, Middleton, "The New International Regulations on Subdivision and Stability of Passenger Ships", Trans. SNAME, Vol. 82, 1974.
- [6] Macdaff, T., "The probability of vessel collision", Ocean Industry, Sept. 1974.
- [7] Heller, Pegram, "Probabilistic Assessment of Collisions Involving Seagoing Ships". IEEE Transactions on "Reliability, Oct. 1979.
- [8] "Analysis of Serious Casualties to Sea-Going Tankers, 1968-1980", IMCO Publications.
- [9] IMCO MSC/Circular 153, "Regulation on Subdivision and Damage Stability of Passenger Ships as Equipment to Part B of Chapter II of the International Convention for the Safety of Life at Sea. Explanatory Notes to the Regulations".
- [10] James Robertson, Jr., & George C. Nickum, & Robert I. Price, & Edward H. Middleton, "The New Equivalent International Regulations on Subdivision and Stability of Passenger Ships", SNAME Vol. 82, 1974.
- [11] Robert D. Tagg, "Damaged Survivability of Cargo Ships", SNAME Vol. 90, 1982.
- [12] Wendel, K., "Die Wahrscheinlichkeit des Uberstehens von Verletzungen", Schiffstechnik, 1960, P. 47
- [13] Varges, G., "Wasser im Schiff", Schiffstechnik, 1969, P. 197
- [14] Explanatory Notes(SLF35/20 ANNEX3)
- [15] Document IMO Circular MSC/Circ. 484, "Subdivision and damage stability of dry cargo ships including Ro/Ro ships", 6 May, 1988.
- [16] "Comments on the Reduction Factor r", IMO Document SLF/37(Poland), 1986.
- [17] Abell, W.S., "Chances of Loss of Merchant Ships", Proceedings of the Royal Society, 1919.
- [18] Hovgard, W., "The Buoyancy and Stability of Troop Transport", TRANS. SNAME, Vol. 27, 1919
- [19] Hogben and Lumb, Wave Statistics, HM Stationary Office, 1967.
- [20] Bird, H. and Brown, R. P., "Damaged Stability Model Experiments", RINA Spring Meeting, 1973
- [21] Wegner V., "Berechang der Wahrscheinlichkeit fur das Uberstehens von Verletzungen des schiffskorpers", Schiffstechnik, Jun 1960.
- [22] 今津準馬 "避航と衝突豫防装置", 成山堂, 1984
- [23] 今津他, 小山 "變針行動による避航限界の研究", 日本航海學會論文集, 第82號, 1990年
- [24] 今津他 "避航限界と被避航限界の研究, 日本航海學會論文集", 第85號, 1991年
- [25] 今津他 "避航所要時間と避航限界, 日本航海學會論文集", 第87號, 1992年
- [26] 造船研究協會資料 "Manoeuvrability of Ships and Manoeuvring Standards, RR742-67, 1991年

- [17] 柳存正, “船中衝突回遊狀界에 관한 연구”, 日本船舶學會論文集, 36卷, 1967.
- [18] 1960, (9)版, 海難(海難) 康復(康復) 法(法) 律(律) 學(學).
- [19] 1980, (9)版, 海難(海難) 法(法) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 111.
- [20] “船中衝突回遊狀界에 관한 연구”, 柳存正, “船舶(船舶) 學(學)”, 日本船舶學會, 1967, 36卷, 1967, 8, p. 35-33.
- [21] “船中衝突回遊狀界에 관한 연구”, 柳存正, “船舶(船舶) 學(學)”, 日本船舶學會, 1967, 36卷, 1967, 8, p. 37-39, 367-373, 360.
- [22] 政府(政府) 公(公) 報(報) “船舶(船舶) 學(學)”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學), 1981.
- [23] 李(李) 命(命) 主(主) 人(人), “船舶(船舶) 學(學) 概(概) 論(論)”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 4, 38卷, 1961.
- [24] 王(王) 命(命) 主(主) 人(人), 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學), 85.
- [25] 1991, “SOLAS : the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [26] 1991, 王(王) 命(命) 主(主) 人(人), “船舶(船舶) 學(學) 概(概) 論(論)”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [27] 1991, 王(王) 命(命) 主(主) 人(人), “船舶(船舶) 學(學) 概(概) 論(論)”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [28] 1993, 王(王) 命(命) 主(主) 人(人), “船舶(船舶) 學(學) 概(概) 論(論)”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [29] 1993, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [30] 1987, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [31] “Subdivision and Damaged Stability of Dry Cargo Ship”, 1990, 19, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.
- [32] Jones, N., “On the Collision protection of ships”, Nuclear Engineering and Design, Vol. 38, 1975.
- [33] 藤(藤) 井(井) 榮(榮) 在(在), “海(海) 難(難) 救(救) 助(助) 法(法) 律(律) 學(學)”, 1955.
- [34] “International conference on marine pollution”, 1973, IMCO Publication.
- [35] Middleton, E. H. and Numata, E., “Test of Damaged Stability Model in Wave”, SNAME, Spring Meeting, 1970.
- [36] U. S. IMCO paper STAB-XII-111, “The Effect of Ship Proportions on S”, Feb. 1971.
- [37] Stahlshmidt, E., “Modellversuche zur Untersuchung der Kenterstabilität locker beladener Frachtschiffe in regelmässigen und unregelmässigen Wellen”, Schiff und Hafen, Heft 11, 1971.
- [38] Saunders, H. E., Hydrodynamics in Ship Design, SNAME, 1957.
- [39] 李(李) 命(命) 主(主) 人(人), “船舶(船舶) 學(學) 概(概) 論(論)”, 海(海) 難(難) 法(法) 律(律) 學(學) 論(論) 文(文) 集(集) 19, 79.

부록 1. 도달구획지수 A의 계산 순서도







부 록 2 (A), 벌크 캐리어에 대한 계산에

DV 23,900 bulk carrier

○ L : 150.0m, B : 24.6m, D : 13.3m, d : 9.8m, Ls : 155.70m

○ 요.구.회.자.수 R : 0.5391

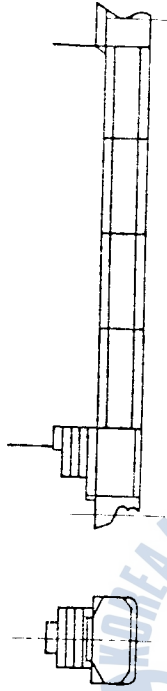
○ 보.강.구.회.자.수 A : 0.05889

○ 침수전 초기 상태

d(m) LC(G(m) K(G(m) Trim(m)

60% 좌회 상태 6.74 -3.49 8.03 0.60

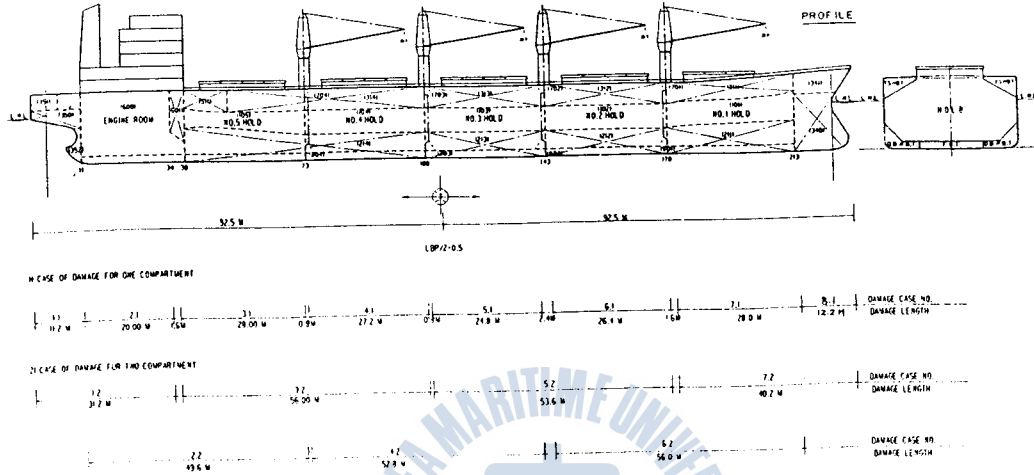
만 좌회 상태 9.83 -2.51 8.11 0.00



구분	AFTTC		ERCO		NO.1 C.H.C		NO.2 C.H.C		NO.1 C.H.C		NO.1 W.B.T.P		E.P.T
	h	P	h	P	h	P	h	P	h	P	h	P	
상	16	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
중	16	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
하	16	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
최소 경사각(deg)													
GZ(max)	2.041	1.015	1.903	0.721	1.822	0.538	1.490	0.537	1.134	0.234	1.183	2.990	1.081
GZ positive AG	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF	SUF
8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
D	0.0104		0.0317		0.0912		0.1203		0.1258		0.1558		0.0595
3/9, S, C	0.0097	0.0097	0.0159	0.0159	0.0471	0.0471	0.0602	0.0602	0.0629	0.0629	0.0629	0.0629	0.0253
A	0.0194		0.0317		0.0912		0.1203		0.1258		0.0629		0.0595
* F - 만 좌회 상태	P	60% - 부분 좌회 상태											

* - - - 좌회

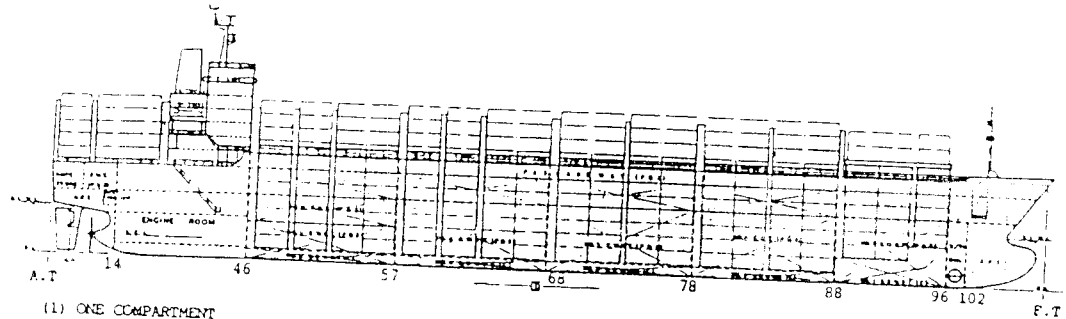
부록 2-(B). 벌크 케리어에의 적용 예



43,000 DWT Bulk Carrier				
	LBP	B	D	Ls
	177.0	30.5	16.0	185.0
	d	LCG	KG	Trim
60%積載狀態	7.524	7.49	11.993	0.00
滿載狀態	11.2	5.59	10.996	0.00
	H _{max}	d _L	d _P	d _F
	17.726	2.01	7.524	11.2
Summation of Contributions & Result	1-Compartment	2-Compartments	3-Compartments	
	0.4387	0.1250	0.0000	
到達區劃指數 A	0.5637			
要求區劃指數 R	0.5523			
MSC/Cir. 484에 의한 R의 값	0.5698			
네덜란드의 提案에 따른 R값	0.5313			

* d_P : partial load line = d_L + 0.6 × (d_B-d_L) * d_L : lightship draft * d_B : deepest subdivision load line

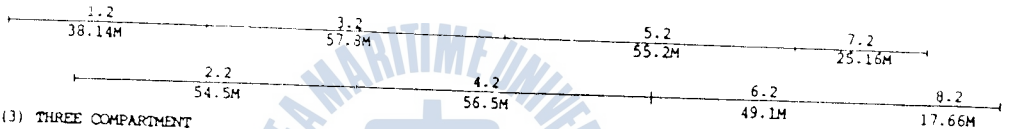
부록 2-(C). 컨테이너선에의 적용 예



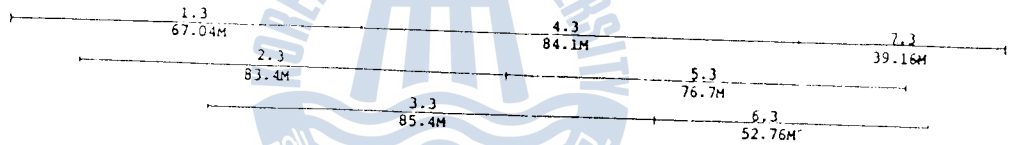
(1) ONE COMPARTMENT



(2) TWO COMPARTMENT



(3) THREE COMPARTMENT



단위 : m

2,000 TEU 無蓋型 컨테이너선				
	L_{pp}	B	D	L_s
	180.0	30.60	20.50	190.30
	d	LCG	KG	Trim
60%積載狀態	7.556	-530	14.458	0.00
滿載狀態	10.500	-2,423	13.739	0.00
	H_{max}	d_L	d_F	d_F
	17.101	3.14	7.556	10.5
Summation of Contributions & Result	0.4298	0.2032	0.0000	
到達區劃指數 A		0.6330		
要求區劃指數 R		0.5575		
MSC/Cir. 481에 의한 R의 값		0.5752		
네덜란드의 提空에 따른 R값		0.5363		

* d_L : partial load line

$d_L = d + 0.6 \times (d_F - d_L)$

* d_L : lightship draft

* d_F : deepest subdivision load line

