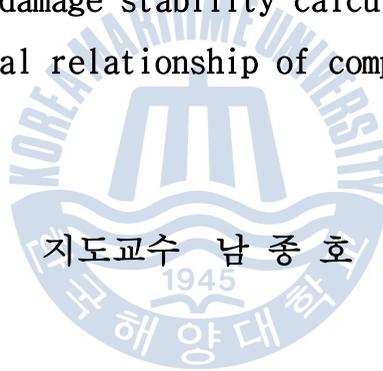


공학석사 학위논문

구획의 상호관계에 기초한 확률론적 손상복 원력의 손상조합 자동생성 알고리즘

An algorithm for automatic generation of damage cases in
probabilistic damage stability calculation based on
topological relationship of compartments.



2012년 6월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과

신 혁 선

本 論 文 을 申 焌 琫 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

위원장 박 주 용 (인)

위 원 남 중 호 (인)

위 원 이 승 재 (인)



2012년 2월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

목 차

List of tables	IV
List of figures	V
Abstract	VIII
1. 서론	1
1.1. 연구배경 및 필요성	1
1.2. 연구내용	2
2. SOLAS 규정	3
2.1. 개요	3
2.2. 규정의 탄생 배경과 그 원리	3
2.2.1. 규정의 탄생배경	3
2.2.2. 계산 원리	3
2.2.3. 현재식의 가치와 한계	6
2.3. 주요변수 설명	6
2.3.1. Required subdivision index 'R'	6
2.3.2. Attained subdivision index 'A'	7
2.3.3. Pi factor	8
2.3.4. Si factor	10
2.4. 프로그래밍 측면에서 본 규정	13
2.4.1. 종방향 구획 표기법	13

2.4.2. 횡방향 구획 표기법	14
2.4.3. 횡방향 복수 구획에 대한 처리	16
2.4.4. 수직 손상 한계와 그에 따른 침수구획 변화	17
2.4.5. GZ_{max} 값의 이용	18
3. 구획관계 알고리즘	19
3.1. 개요	19
3.2. 구획간의 관계 정의	19
3.2.1. 최외각 구획들 간의 관계	19
3.2.2. 최외각 구획과 선 내측 구획들 간의 관계	22
3.3. 손상조합 생성원리와 그 예제	23
4. 기존 알고리즘과의 비교	27
4.1. 개요	24
4.2. Grid Model	27
4.2.1. Grid Model 이란	27
4.2.2. Grid Model의 보완점	28
4.3. 개선된 점	30
5. 결론	31
5.1. 연구 결과	31

5.2. 기여도	.....	31
5.3. 향후과제	.....	31
참고문헌	.....	32



List of tables

Table 1 Damaged cases of 106 compartment	.....	25
Table 2 Generated damaged cases	.....	26



List of figures

Fig. 1 Formulas of required subdivision index 'R'	7
Fig. 2 Formula of Attained subdivision index 'A'	8
Fig. 3 Calculation of Pi factor	9
Fig. 4 Examples of assumed division lines	10
Fig. 5 Various Si factors	11
Fig. 6 Formula of $S_{final,i}$	12
Fig. 7 Possible single and multiple damage in ship	13
Fig. 8 Example of index expression	15
Fig. 9 Damage cases of multiple zone	16
Fig. 10 Example of vertical extent limit	17
Fig. 11 Damages correspond to vertical extent limit	17
Fig. 12 Different case of GZ curve	18
Fig. 13 Port side of a container ship	20
Fig. 14 General Arrangement of outmost compartments	20
Fig. 15 Topological property of 'z' direction	21

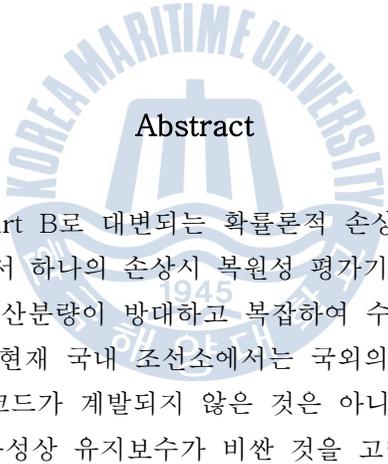
Fig. 16 Topological property of 'x' direction	21
Fig. 17 Topological property of Midship section	22
Fig. 18 Example of general arrangement	23
Fig. 19 Topological data of the example	24
Fig. 20 Grid Model	28
Fig. 21 An example of Grid Model	29
Fig. 22 Re-arranged input data	30



Development of geometric analysis technique for
An algorithm for automatic generation of damage cases in
probabilistic damage stability calculation based on
topological relationship of compartments.

Hyuk-Sun, Shin

*Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering
Graduate School of
Korea Maritime University*



Abstract

SOLAS Chapter II-1 part B로 대변되는 확률론적 손상 계산은 89/90 개정판에서 2006 개정판으로 넘어오면서 하나의 손상시 복원성 평가기준으로써 자리 잡았다. 하지만 이 계산은 그 특성상 계산분량이 방대하고 복잡하여 수작업으로 수행하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 현재 국내 조선소에서는 국외의 고가 상용프로그램을 이용하고 있다. 국내의 계산 코드가 개발되지 않은 것은 아니나 주류를 차지하고 있다고 보기 어렵고, 프로그램의 특성상 유지보수가 비싼 것을 고려하면, 해외 프로그램에 대한 전적인 의존은 조선산업의 수익성을 낮추는 일이라 볼 수 있다. 게다가, 상용 프로그램이라고 모두 사용자편의적인 사용법을 지원하고 있지 않는 실정이다.

본 논문에서는 새로운 규정에 대한 분석을 토대로 사용자가 직관적으로 입력데이터를 작성할 수 있는 구획관계 알고리즘을 개발하였다. 또한, 실선의 구획배치를 통해 알고리즘을 검증하였으며, 기존 알고리즘에서 미흡했던 부분을 보완하였다.



제 1 장 서론

1.1. 연구 배경 및 필요성

선박의 손상시 복원성에 관한 규정이 결정론적 방법에서 확률론적 방법으로 많은 부분 대체되었다. 건화물선에 대해서는 그 첫 시도가 SOLAS 89/90 개정판(amendment)이고 이것이 Harmonized Project를 거쳐 SOLAS 2006 amendment로 넘어오면서 현재는 손상 복원성 통합 규정으로써 상선 및 여객선에 대해서도 같은 확률론적 규정을 적용하고 있다. 확률론적 방법으로 손상시 복원성을 평가하는 방법은 계산의 분량이 방대할 뿐만 아니라 복잡하여 수계산으로 계산하는 것은 매우 비효율적이다. 따라서 컴퓨터를 활용하여 계산을 하여야 하고, 국내 조선소에서도 계산 프로그램을 이용하고 있다. 하지만 그 이면을 살펴보면 국외의 상용코드에 의존하고 있음을 알 수 있다. 여기서 국내의 논문을 살펴보면, SOLAS Chapter II-1 Part B 규정에 대한 설명과 이것이 미치는 영향을 나타낸 2편(전영기,1993, 염천환 등, 2006), 1992년에 개발된 프로그램과 알고리즘 1편(남종호 등, 1992), 이 알고리즘에 GUI 및 시각화 등을 보완한 논문(박성우 등, 2001) 이렇게 총 4편이 전부이다. 뿐만 아니라 여기서 새로운 규정에 대한 논문은 (염천환 등, 2006)1편이며, 이마저도 프로그래밍 측면이 아니다. 이처럼 국내에서 발표된 논문중 프로그램의 측면에서 쓰여진 것은 1편(남종호 등,1992)이 전부이며, 이는 국내의 조선소에서 국외 상용코드를 사용하는 지금의 현실과 무관하지 않다. 물론 선박의 건조비용에서 이런 프로그램이 차지하는 비중이 매우 큰 것은 아니나, 소프트웨어의 특성상 유지보수 비용이 초기 구매비용보다 높다는 점과 현재 일반선 건조에서 매우 중요한 부분인 원가절감의 측면에서 본다면, 국외 상용코드에 의존하는 것은 바람직하다고 할 수 없다.

1.2. 논문 구성과 연구 내용

본 연구에서는 국내 계산코드 확보를 목표로, 손상시 복원성 계산의 핵심이라 할 수 있는 손상조합 자동 생성 알고리즘을 개발하였다. 먼저 2장에서는 해당 규정에 대한 개념 및 용어를 정리하고, 프로그래밍 측면에서 분석한다. 3장에서는 구획관계 알고리즘을 소개하고, 해당 알고리즘이 손상조합을 생성해내는 원리를 설명한다. 4장에서는 기존 알고리즘과의 비교를 통해 개선된 점들을 살펴본다.



제 2 장 SOLAS 규정

2.1. 개요

본 연구의 토대인 SOLAS 규정에 대한 분석과 정리이다. 해당 규정의 계산 원리와 여러 변수들을 정리하고, 프로그래밍 측면에서 분석하였다. 이후에는 이에 대한 내용은 생략하도록 한다.

2.2. 규정의 탄생 배경과 그 원리

2.2.1 규정의 탄생배경

확률론적 손상 복원력 규정이 탄생하게 된 배경은 기존의 결정론적 방법을 따른 선박들의 사고에서 출발하였고, 이 규정의 자세한 탄생 배경에 대한 내용은 ‘격자모델을 이용한 확률론적 손상복원력 계산의 전산화’(남중호등, 1994)에 잘 나와 있으며, 89/90 개정판에서 2006 개정판으로 넘어오면서 보완된 부분들에 대한 내용도 ‘SOLAS 손상복원성 규정변경에 따른 설계 영향 검토’(엄천환등, 2006)에 잘 나와 있다. 여기서는 거기서 다루지 않았던 부분들에 대한 내용을 추가하였다.

2.2.2 계산원리

먼저, 확률론적 방법을 이용하여 계산함에 있어 최소한의 결정론적 요소들이 추가되며, 이 방법을 사용하여 손상복원성을 평가 할 경우, 추가 계산을 하지

않아도 된다. 단지 선박의 앞부분과 바닥부분이 ramming과 slamming으로 다뤄질 뿐이고, 여객선에 한해 특정부분이 취약한 것을 방지하기 위해 ‘사소한 손상’(minor damage)이 적용된다.

확률론적으로 선박의 손상이 복원성을 평가하는 것은 쉬운 일이 아니다. 같은 선박에서 일어난 같은 손상일 지라도 선박의 화물량에 따라 침수정도, 흘수가 달라진다. 따라서 임의의 손상에 대해 다음의 요소들을 고려해야 한다.

- 1) 어떤 공간(혹은 공간들)이 침수 되었나
- 2) 손상시 흘수, 트림, 비손상 메타센터
- 3) 손상시에 가정된 공간의 침수정도(permeability)
- 4) 손상시의 해상상태(sea state)
- 5) 불균일한 중량으로 생기는 굽힘 모멘트 등과 같은 요소들

이러한 요소들은 상호의존적이나 그에 따른 영향은 다양하다. 뿐만 아니라 수학적 계산의 복잡성, 충분하지 못한 통계자료는 직접적으로 확률론적 방법을 이용하여 평가하는 것을 어렵게 만든다. 하지만 여기에 근사치를 적용하면 선박의 안전평가 및 규정의 기초를 위한 확률 접근법을 얻을 수 있고, 이를 통해 논리적인 접근이 가능하다. 이는 다음의 확률이론으로 표현된다.

“ 선박의 생존 확률은 각각의 구획(혹은 구획군)에 대한 손상과 그 구획이 가지는 생존확률의 곱의 합 형태로 나타낼 수 있다. ”

확률론적 손상계산 시 해당 손상 시나리오가 발생할 확률이 계산되고, 손상 이후의 생존 확률과 결합 될 수 있다면, 선박이 손상에서 버티는 정도를 수치화 할 수 있고, 이를 나타내는 지수로써, Attained subdivision index 'A'를 도입하였다. 여기서 선박의 손상 확률은 몇 개의 개연성을 가진 흘수에서 계산

되며, 생존 확률은 sinking과 capsizing 없이 선박이 떠있을 확률을 말한다.
좀 더 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

- 1) 길이(longitudinal) 방향 손상이 선박의 범위 내에 존재할 확률
- 2) 손상이 해당 공간내의 횡 방향 격벽만을 고려하는 길이 방향 크기를 가질 확률
- 3) 손상이 주어진 수평 경계의 아래 공간들만이 침수 되는 높이 방향 크기를 가질 확률.
- 4) 손상이 주어진 길이방향 경계보다 작은 횡 방향 크기를 가질 확률
- 5) 침수 과정에서 watertight integrity 와 복원성이 전복과 침몰을 피할 만큼 충분한 확률

위에서 처음 3가지는 선박의 수밀 구획의 배치와 관련이 있고, 마지막 2가지는 선박의 형상과 관련이 있으며, 실제 재하 조건의 영향을 받는다. 상기 확률을 A값 계산을 위한 확률로 재분류하면 다음과 같다.

- 1) 단일 구획 혹은 2개 이상의 인접 구획들이 침수될 확률
- 2) Intermediate 혹은 final stage에서 선박이 전복되거나 위험한 횡 경사각을 가지지 않을 확률

이러한 개념을 통해 얻어진 A값을 평가할 상대적인 값이 필요하다. 이것을 required subdivision index ' R ' 이라고 한다.

이것은 다음 사항을 포함한다.

- 선박 크기
- 승객 수
- 기타 중요한 요소들

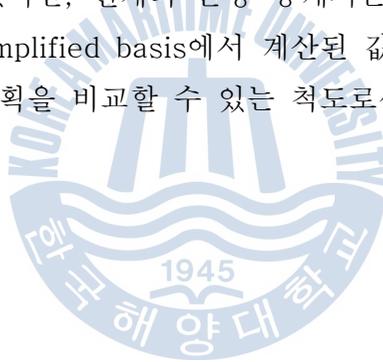
이 두 가지 지수를 이용하여 규정을 간단히 요약하면,

- $A \geq R$

즉, 다시 말해, 지수 A가 R 보다 크면 선박의 손상시 복원력이 충분하다고 보는 것이 SOLAS의 확률론적 손상시 복원성 규정이다. 지수 A와 R에 대한 계산식은 2.3.절에서 자세히 다루도록 한다.

2.2.3 현재 식의 가치와 한계

위에서 언급했듯이, 현재의 식은 상당한 근사치를 적용한 식으로, 미완성이라 할 수 있다. 따라서 현재 IMO에서 규정을 수정하기 위한 움직임은 없으나 추후 보다 완벽한 계산식이 고안된다면, 손상의 길이방향(longitudinal) 위치와 높이, 그리고 손상의 크기(x, y, z) 이 5가지 요소를 포함하게 될 것이다. 뿐만 아니라 많이 개선되었지만, 현재의 손상 통계치는 매우 정확하다고 보기는 힘들다. 그러나 이런 simplified basis에서 계산된 값이 정확하다고 하기 힘들지라도 이것은 선박의 구획을 비교할 수 있는 척도로써의 가치를 지닌다.



2.3. 주요변수 설명

2.3.1. Required subdivision index 'R'

요구구획지수(Required subdivision index 'R')는 선박이 손상시 복원성을 가지는지 평가하기위한 지수로써, 선박의 길이, 여객선의 경우 승객의 수를 변수로 하는 지수로써, 아래와 같이 현재 총 3가지 식이 있다.

1. In the case of cargo ships greater than 100 m in length (L_s):

$$R = 1 - \frac{128}{L_s + 152}$$

2. In the case of cargo ships not less than 80 m in length (L_s) and not greater than 100 m in length (L_s):

$$R = 1 - \left[1 / \left(1 + \frac{L_s}{100} \times \frac{R_o}{1 - R_o} \right) \right]$$

where R_o is the value R as calculated in accordance with the formula in subparagraph .1.

3. In the case of passenger ships:

$$R = 1 - \frac{5,000}{L_s + 2.5N + 15,225}$$

where:

$$N = N_1 + 2N_2$$

N_1 = number of persons for whom lifeboats are provided

N_2 = number of persons (including officers and crew) the ship is permitted to carry in excess of N_1 .

Fig. 1 Formulas of required subdivision index 'R'

89/90 Amendment에서 2006 Amendment로 넘어오면서 L_s 가 80m~100m 인 선박에 대한 규정이 추가된 점과 추가된 통계치를 기반으로 상수가 조금 변경된 것을 제외하면 크게 바뀐 부분은 없다.

2.3.2. Attained subdivision index 'A'

도달구획지수(Attained subdivision index)는 선박의 손상확률과 생존확률의 곱의 합 형태로 나타내는 지수로써, 확률론적 방법이 계산양이 많고, 복잡한 것은 이 부분의 계산 때문이라고 할 수 있다.

지수 'A'는 규정홀수(d_s , d_p , d_l)를 이용해 계산한 부분지수(A_s , A_p , A_l)에 가중치를 주어 계산한다. 여기서 각 부분 지수는 Fig. 2의 (2)식을 이용해 계산된 손상의 기여도들의 합이다.

$$(1) A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_i$$

$$(2) A = \sum p_i s_i$$

i represents each compartment or group of compartments under consideration.

Pi accounts for the probability that only the compartment or group of compartments under consideration may be flooded, disregarding any horizontal subdivision, as defined in regulation 7-1.

Si accounts for the probability of survival after flooding the compartment or group of compartments under consideration, and includes the effect of any horizontal subdivision, as defined in regulation 7-2.

Fig. 2 Formula of Attained subdivision index 'A'

2.3.3. Pi factor

Pi값은 선박의 손상 확률을 나타내는 지수로, 길이(longitudinal)방향 손상확률과 폭(breadth)방향 손상확률의 곱의 형태로 나타난다. 변수는 크게 2가지로, 선박에 가해지는 손상의 길이(longitudinal direction)와 손상의 깊이(breadth direction)가 그것이다.

계산식은 Fig. 3과 같으며, X1과 X2가 손상 길이를 나타내고, b값이 손상의 폭방향 깊이를 나타낸다. 그밖에 j, n, k와 같은 표기는 손상구획의 수와 위치를 나타내는 표기법으로 2.4절에서 보다 자세히 다루도록 하겠다. Fig. 3의 식은 1Zone 침수일 때 이용되는 식이다. Pi계산식에는 언급한 것 이외에도 다양한 상수들과 식이 존재하며, 2Zone 이상의 경우, 계산식도 조금 달라진다. 이것과 관련해서 보다 자세한 사항은 SOLAS 규정 Chapter II-1 Reg.7-1을 참고하도록 한다.

$$p_i = p(x1_j, x2_j) \cdot [r(x1_j, x2_j, b_k) - r(x1_j, x2_j, b_{k-1})]$$

j = the aftmost damage zone number involved in the damage starting with No1. at the stern .

n = the number of adjacent damage zones involved in the damage .

k = is the number of a particular longitudinal bulkhead as barrier for transverse penetration on a damage zone counted from shell towards the center line. The shell has $k = 0$.

X1 = the distance from the aft terminal of L_s to the aft end of the zone in question .

X2 = the distance from the aft terminal of L_s to the forward end of the zone in question .

b = the mean transverse distance in meters measured at right angles to the centerline at the deepest subdivision loadline between the shell and assumed vertical plane extended between the longitudinal limits used in calculating the factor **pi** and which is a tangent to, or common with, all or part of the outermost portion of the longitudinal bulkhead under consideration. This vertical plane shall be so orientated that the mean transverse distance to the shell is a maximum, but not more than twice the least distance between the plane and the shell. If the upper part of a longitudinal bulkhead is below the deepest subdivision loadline the vertical plane used for determination of **b** is assumed to extend upwards to the deepest subdivision waterline. In any case, **b** is not to be taken greater than $B/2$.

Fig. 3 Calculation of Pi factor

선박에 가해지는 손상은 작게는 선체의 표면만을 통과 할 수도 있고, 선박의 Centerline까지도 침투될 수 있다. 이를 확률론적으로 계산하기 위해 r factor 가 도입 되었고 이것은 b값을 토대로 계산되어진다. 여기서 b값은 구획의 폭 (breadth) 방향 평균 깊이를 나타내는 길이로, Fig. 4와 같이 구획의 형상에 따라 달리 계산된다. r factor에 대한 계산식 또한 자세한 내용은 SOLAS 규정 Chapter II-1 Reg.7-1을 참고하도록 한다.

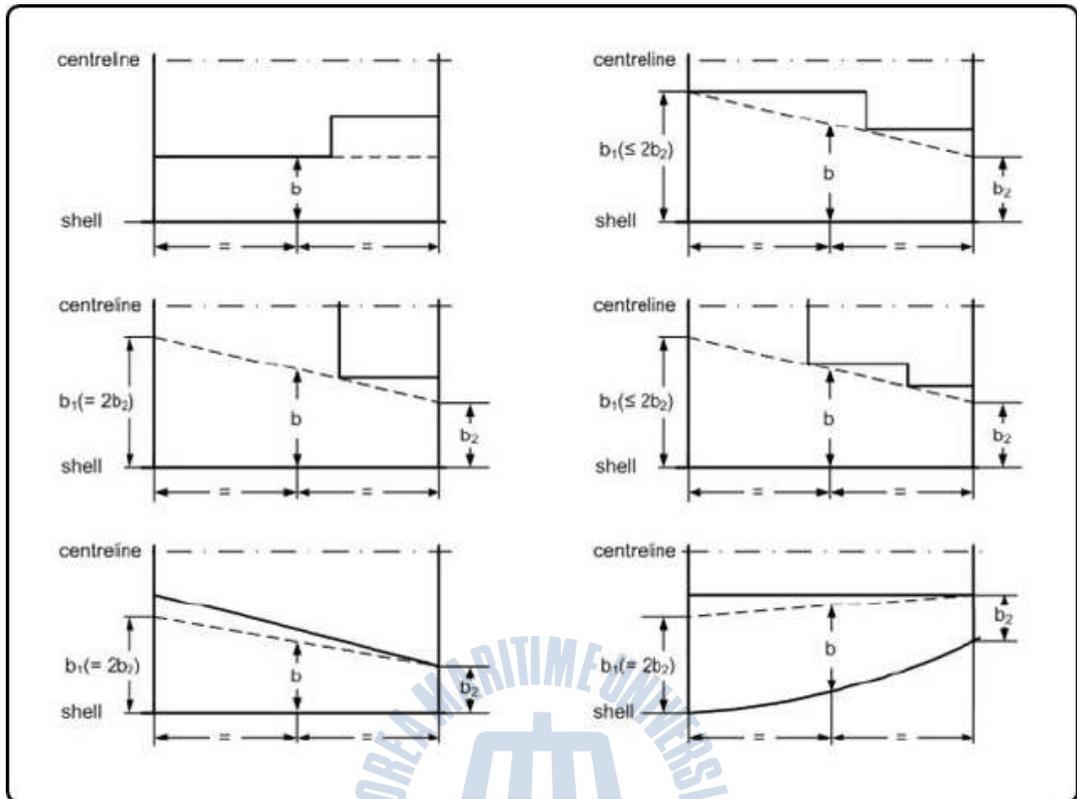


Fig. 4 Examples of assumed division lines

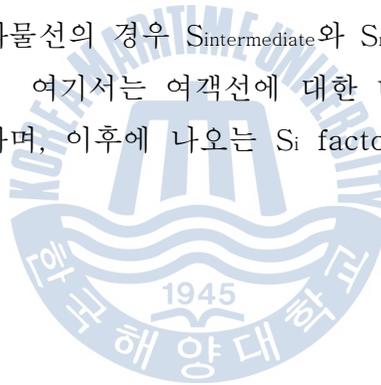
2.3.4. Si factor

Pi factor가 선박의 특정 부분이 손상될 확률이라면, Si factor는 해당 손상에 대해 예비부력과 복원성을 평가하여, 선박이 Sinking이나 Capsizing없이 생존할 수 있는 확률을 나타낸다.



Fig. 5 Various S_i factors

Fig. 5의 식처럼 ' $S_{\text{intermediate}}$ ' 와 ' $S_{\text{final}} \cdot S_{\text{mom}}$ ' 값 중에서 작은 값을 S_i factor로 취하게 되어있다. 그 내용을 살펴보면 여객선일 경우 2가지 모두 계산하여 비교해야 하지만, 일반 화물선의 경우 $S_{\text{intermediate}}$ 와 S_{mom} 이 모두 '1'이므로 S_{final} 이 곧 S_i factor가 된다. 여기서는 여객선에 대한 내용은 배제하고 화물선에 대한 내용을 다루기로 하며, 이후에 나오는 S_i factor은 모두 S_{final} 을 의미한다.



$$S_{final,i} = K \cdot \left[\frac{GZ_{max}}{0.12} \cdot \frac{Range}{16} \right]^{\frac{1}{4}}$$

where:

GZ_{max} is not to be taken as more than 0.12 m;

Range is not to be taken as more than 16°;

$$K = 1 \quad \text{if } \theta_v \leq \theta_{max}$$

$$K = 0 \quad \text{if } \theta_v \geq \theta_{max}$$

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_v}{\theta_{max} - \theta_{min}}} \quad \text{otherwise,}$$

where:

θ_{min} is 7° for passenger ships and 25° for cargo ships; and

θ_{max} is 15° for passenger ships and 30° for cargo ships.

Fig. 6 Formula of $S_{final,i}$

S_i factor의 계산식은 Fig. 6에 나와 있듯이 GZ_{max} 와 Range를 이용하여 계산한다. 여기서 주의해야 할 부분은 horizontal subdivision이다. 선박의 손상은 폭(breadth)방향으로 진행되지만, 해당 손상이 horizontal subdivision 너머로 진행될 확률도 고려해야 하기 때문이다. 이 확률은 v factor로써 다루어지며, S_{final} 값과 곱하여 최종 S_i 값이 나오게 된다.

2.4. 프로그래밍 측면에서 본 규정

프로그래밍 측면에서 SOLAS Part B-1 규정을 살펴보고, 유의해야 할 점은 무엇이며, 프로그래밍 하기 위해 알아야 할 점을 살펴본다.

2.4.1. 종방향 구획 표기법

가장 먼저 살펴 볼 부분은 선박의 길이방향(longitudinal)과 관련된 표기법이다. 이러한 표기법은 규정을 이해하고, 계산을 하는데 쓰일 뿐만 아니라 프로그래밍 할 경우에도 하나의 가이드라인으로 활용 할 수 있다. 아래의 그림은 선박의 길이방향 손상의 예시이다.

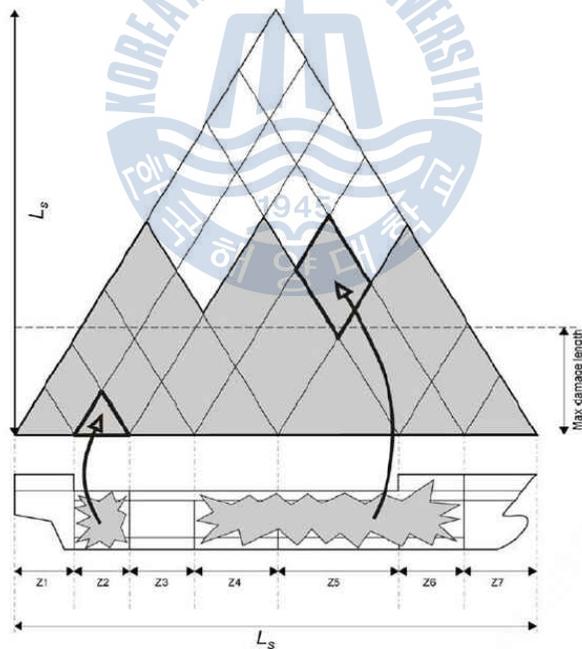


Fig. 7 Possible single and multiple damage in ship

Fig. 6 그림과 같이 선박의 손상은 하나의 점으로 나타낼 수 있으며, 이것은 선박의 길이방향(longitudinal)으로 어떻게 구획 배치를 하느냐에 따라 달라진다. 또한, Zone이라는 개념을 새롭게 도입하여 길이방향으로 몇 번째 공간이 침수되는지를 알 수 있다. 예를 들어, Fig. 6에서 삼각형은 2번 Zone이 침수됨을 의미하며, 평행사변형은 Zone 4,5,6이 동시에 침수됨을 의미한다. 이 Zone들은 길이방향 구획을 표시하기위해서만 사용되며 선미에서부터 번호를 지정한다.



2.4.2. 횡방향 구획 표기법

종방향 이외에도 횡방향과 높이 방향에 사용되는 표기법과 Pi 와 Si factor 계산식에 사용된 다양한 표기법을 살펴봄으로써 규정에 대해 보다 깊은 이해를 하고자 하였다. Fig. 7에 나오는 표기들은 앞서 언급한 Zone 이외에도 횡방향 손상구획을 위해 사용되는 표기법으로, 보다 정확한 손상구획의 위치를 나타낸다.

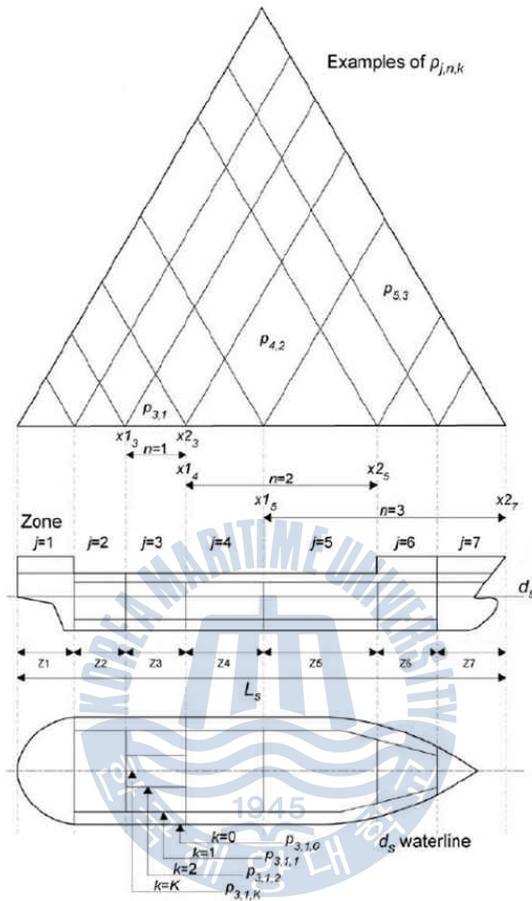


Fig. 8 Example of index expression

j : stern에서 1번부터 시작하는 손상 구획 번호.

n : 고려된 구획 내에서 j를 맨 후미 손상 구획이라고 할 때, 인접한 손상구획의 번호

k : 임의의 damage zone에서 횡방향 침수로부터 방벽으로 작용하는 길이방향 (longitudinal) 격벽의 번호, 선측에서부터 번호를 매긴다.(최외각은 0번)

K : 횡방향 침투 경계의 총 개수

$P_{j,n,k}$: j번 째 Zone부터 n개가 연속된 범위에서 k번까지 횡방향 침수를 의미

2.4.3. 횡방향 복수 구획에 대한 처리

계산에 이용되는 표기법을 살펴봄으로써 이를 프로그램화 하거나, 이에 대한 알고리즘을 개발하기 위해선 선박의 구조에 대한 정보가 논리적인 자료구조 형태를 요함을 알 수 있었다. 또한 선박의 손상은 하나의 횡방향 손상깊이를 가져야 하고, 이를 표현하기 위해 횡방향 손상깊이를 나타내는 b 값을 이용한다. b 값에 대한 내용은 본 논문 2.3.3.절과 MSC.281(85) 7-1을 참고하도록 한다. 더불어 구획 군이라 할지라도 하나의 b 값을 가져야 하므로, 구획군의 경우 다수의 손상조합을 가지게 된다. Fig. 9은 그 예를 잘 나타내고 있다.

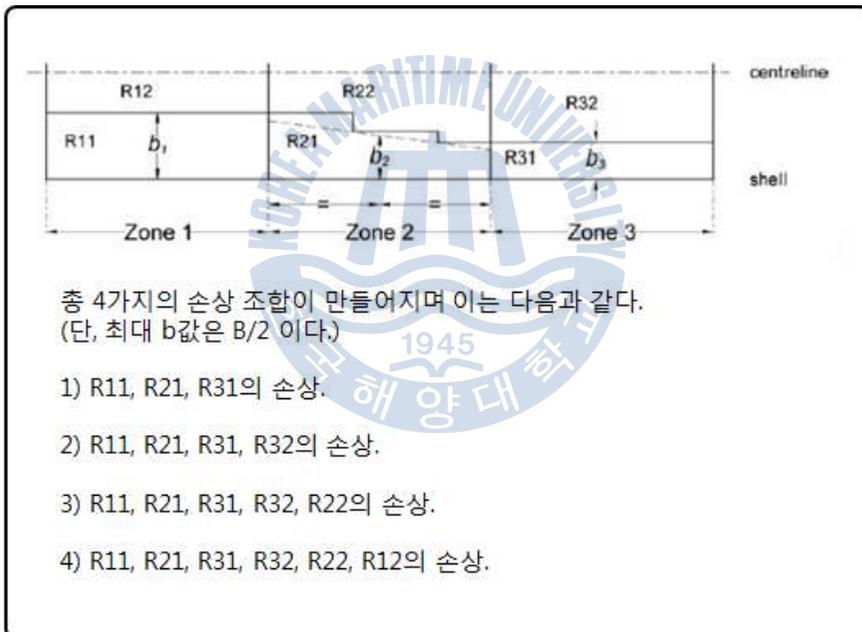


Fig. 9 Damage cases of multiple zone

2.4.4. 수직 손상 한계와 그에 따른 침수구획 변화

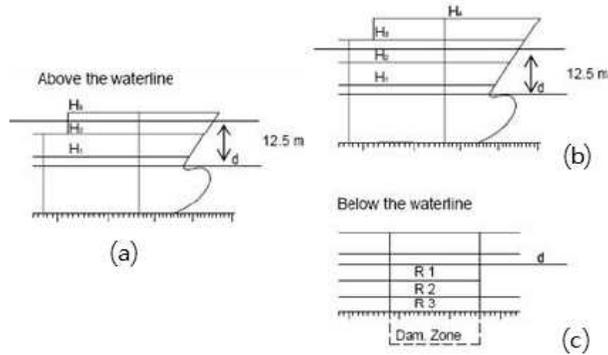


Fig. 10 Example of vertical extent limit

앞에서 언급했다시피 수직 손상 한계(vertical extent limit)의 적용은 해당 구획의 침수여부를 결정하는데 중요한 역할을 한다. Fig. 9의 (a)그림을 보면 흘수 d 와 최대 수직 손상높이인 $d + 12.5\text{m}$ 사이에 H_1, H_2 값이 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 최대 수직 손상높이를 벗어나는 H_3 에 해당하는 horizontal subdivision은 제외하고, 그 아래에 존재하는 H_1, H_2 는 별개의 손상조합으로써 고려해야 한다.

다음으로 흘수 아래의 격벽의 경우, 수직 손상 한계와는 별개로 다루어져야 한다. Fig. 9의 (c) 그림과 같이 흘수아래의 구획들을 R1, R2, R3라 할 때, 수밀 격벽일 경우 R1, R2, R3의 조합 중에서 가장 낮은 S factor 값을 가지는 손상을 Attained subdivision index 값 계산에 포함시켜야 한다.

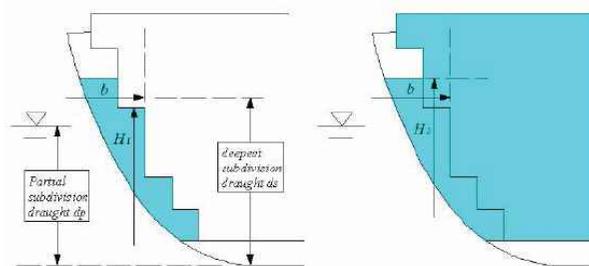


Fig. 11 Damages correspond to vertical extent limit

하지만 이러한 손상조합은 높이방향 손상 한계(H1, H2)에 따라 침수 구획이 달라질 수 있으므로, 유의해야 한다. 예를 들어, Fig. 11과 같이 H1, H2에 따라 wing tank 만 침수 될 수도 있고, cargo hold 까지 침수될 수도 있기 때문이다.

2.4.6. GZ_{max} 값의 이용

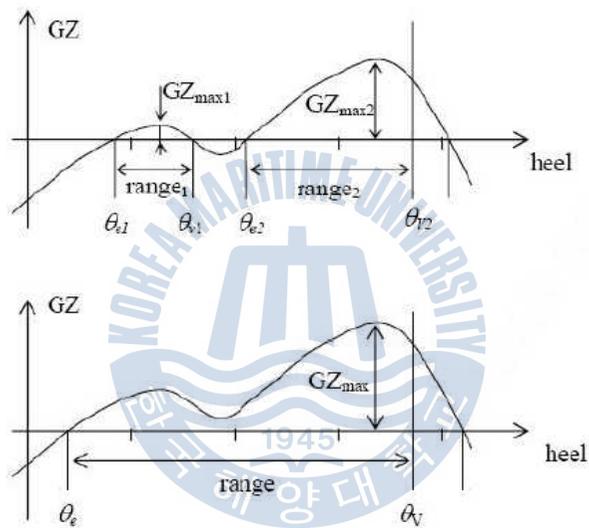


Fig. 12 Different case of GZ curve

GZ_{max} 는 Si factor를 구하는 과정에서 이용된다. GZ 값이 계속 양의 값을 취할 경우, GZ_{max} 를 구하는데 별 문제가 없으나 위의 2번째 그림처럼 양의 GZ 값을 가지는 구간이 2구간 이상 나타날 경우 각각을 별개의 경우로 두고 계산한다.

제 3 장 구획관계 알고리즘

3.1. 개요

제 3 장에서는 새로 고안한 ‘구획관계 알고리즘’을 소개하고 이 알고리즘을 통해 손상조합이 생성되는 원리를 알아보고 간단한 예제를 통해 손상조합 생성 과정을 살펴본다. 해당 알고리즘은 구획들 간의 관계를 이용하여 손상조합을 생성한다. 여기서 말하는 구획이란, G.A 상에 나와 있는 수밀 구획들을 말한다.

3.2. 구획간의 관계 정의

손상조합을 생성하는 방법이나 구획들 간의 관계를 정의하는 방법은 다양하겠지만, 본 연구에서는 구획들 간의 위상학적 관계를 이용하여 손상조합을 생성하는 알고리즘을 개발하였고, 그 관계를 2가지로 정리하였다. 하나는 최외각 구획들 간의 관계이고 다른 하나는 이 최외각 구획과 선 내측으로 이어진 구획들 간의 관계이다.

단, 좌표계는 선박에서 통상적으로 사용되는 좌표계를 따른다.

3.2.1 최외각 구획들 간의 관계

여기서 최외각 구획이라고 함은, Fig. 13과 같이 실제 선박을 좌현이나 우현에서 봤을 때, wing tank 나 side ballast tank처럼 우리가 볼 수 있는 구획들, 즉, 가장 바깥쪽에 위치한 구획들을 말한다.



Fig. 13 Port side of a container ship

Attained subdivision index를 구하는 과정에 있어서 계산의 시작은 항상 이 최외각 구획에서 시작되나, 모든 관계 정보가 필요한 것은 아니므로 꼭 필요한 정보만을 이용하여 관계를 정의 한다.

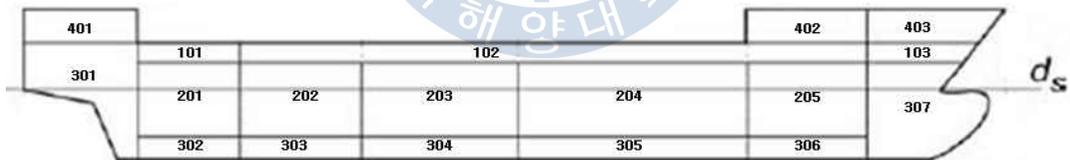


Fig. 14 General Arrangement of outmost compartments

가령 Fig. 14와 같은 최외각 구획배치가 있다고 했을 때, 다음과 같이 2가지 관계로 최외각 구획들 간의관계를 나눌 수 있다.

1. 높이방향(z-direction) 구획들 간의 관계.

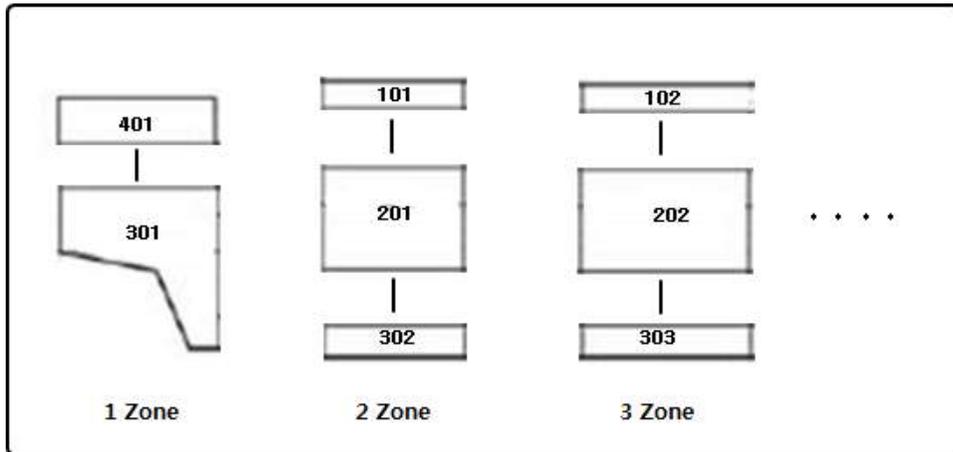


Fig. 15 Topological property of 'z' direction

2. 계산하고자하는 흘수와 만나는 구획들의 관계.

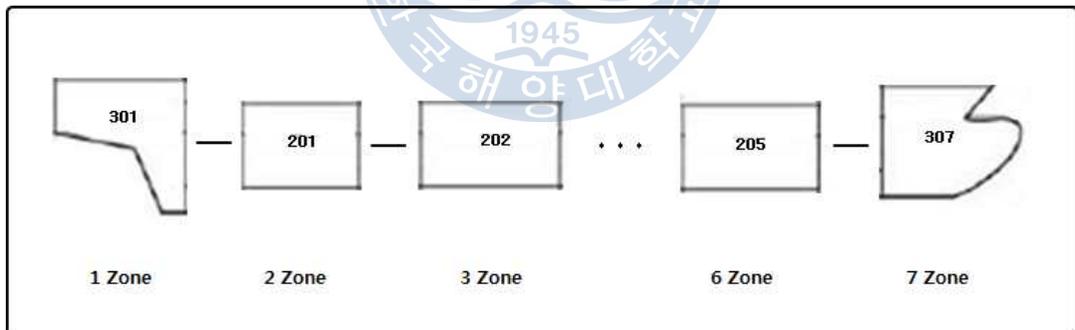


Fig. 16 Topological property of 'x' direction

3.2.2 최외각 구획과 선 내측 구획들 간의 관계

두 번째는 이러한 최외각구획들과 선 내측으로 이어진 구획들 간의 관계로써, b값에 직접적으로 영향을 받는 구획들이라고 할 수 있다. Fig. 15를 보면, 해당 횡단면에 대해 최외각 구획들과 선 내측으로 이어진 구획들 간의 관계를 확인 할 수 있다.

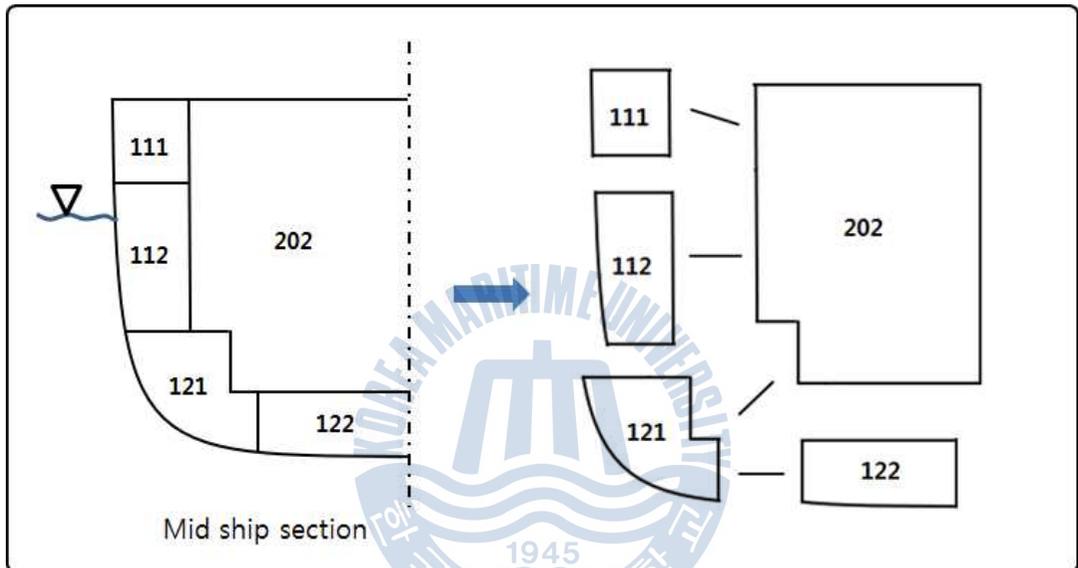


Fig. 17 Topological property of Midship section

3.3. 손상조합 생성원리와 그 예제

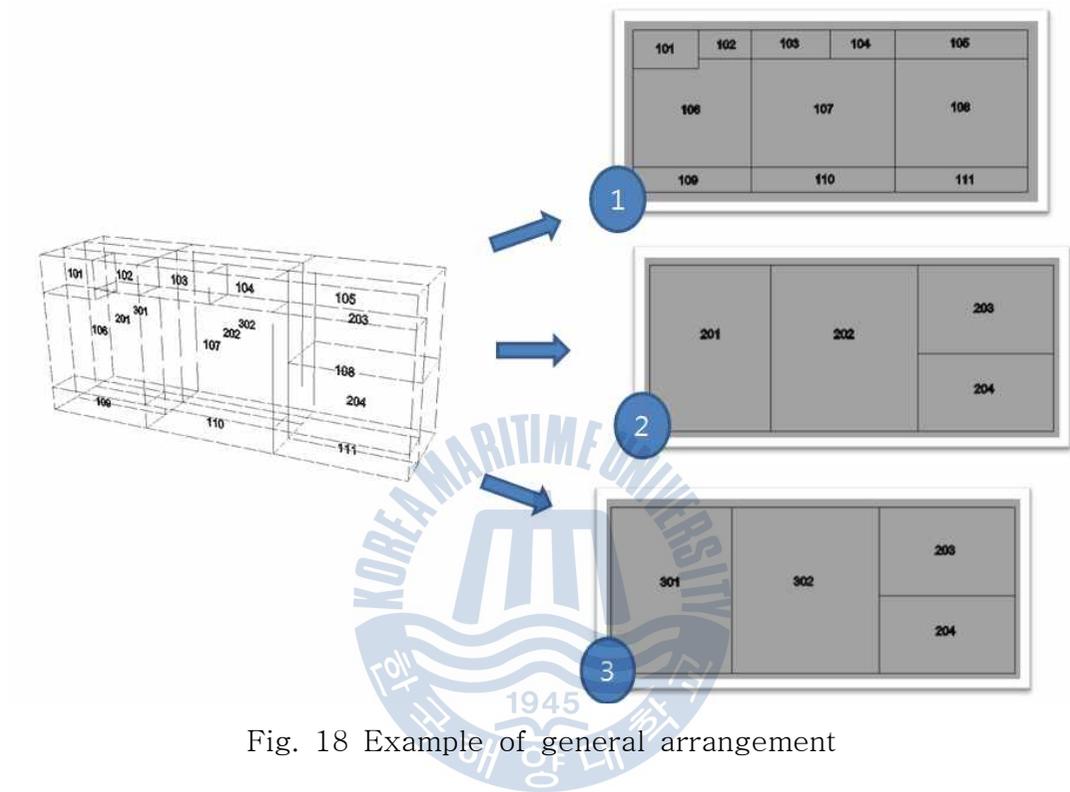


Fig. 18 Example of general arrangement

Fig. 18은 간단한 구획배치이다. 번호(1, 2, 3)가 매겨진 단면은 각각의 b값에 대한 종단면을 나타내며 101, 102, 201등은 구획의 번호를 나타낸다.

손상조합의 생성원리는 Attained subdivision index 값을 구하는 과정과 매우 밀접한 관계를 가진다. 이를 예제(Fig. 18)를 이용하여 설명하면, 입력 데이터, 즉, 구획간의 관계는 Fig. 19 같이 나타낼 수 있다.

```

# H-Direction
102-101-106-109,103-104-107-110,105-108-111

# B-Direction
101-201-301,
102-201-301,
106-201-301,
109-201-301,

103-202-302,
104-202-302,
107-202-302,
110-202-302,

105-203,108&203&204,111-204,

# Calculated Draft
D.p
6.9
106 107 108
0.0 26.5 50.1 72.0

```

Fig. 19 Topological data of the example

먼저, 구하고자하는 흘수가 106-107-108 구획을 지난다고 가정한다. 제일 첫 번째에 위치한 106구획(1Zone)을 예로 들면, 해당 Zone은 3개의 b값을 가지므로, 각각의 b값에 대해 106, 106,201, 106,201,301 의 손상 조합이 생성된다. 또한, 104구획은 위쪽으로 101, 102 구획과 연결되어 있으므로 이 구획들도 고려해주면, Table. 1처럼 106(1Zone)에 대한 손상조합을 생성 할 수 있다.

b1	<ul style="list-style-type: none"> •106 •106,101 •106,101,102
b2	<ul style="list-style-type: none"> •106,201 •106,101,201 •106,101,102,201
b3	<ul style="list-style-type: none"> •106,201,301 •106,101,201,301 •106,101,102,201,301

Table. 1 Damage cases of 106 compartment

이 손상조합들은 106(1Zone)에 대한 P_i 값과 이에 해당하는 S_i 값들을 구하기 위해 필요한 손상조합들으로써, 106(1Zone)에 대한 부분 구획지수 Attained subdivision index 값을 구하기 위해 쓰이며, 나아가서는 전체 도달구획지수를 계산하기 위해 사용된다.

이렇게 해당 예제에 대해 알고리즘을 적용하면, Table. 2처럼 총 42개의 손상조합이 생성되는 것을 확인 할 수 있다.

제 4 장 기존 알고리즘과의 비교

4.1. 개요

제 4장에서는 손상조합 자동생성알고리즘으로는 국내에서 유일하게 발표된 Grid Model(남중호, 1992)과의 비교를 통해 개선된 점들을 살펴본다.

4.2. Grid Model

4.2.1 Grid Model 이란

Grid Model은 1992년 해사 기술 연구소에서 발표된 ‘확률해석에 의한 손상 복원력 계산 프로그램 개발’이라는 연구 보고서에서 처음 발표된 손상조합 자동생성 알고리즘으로, 국내에서는 이제까지 발표된 유일한 손상조합 자동생성 알고리즘이다.

이 알고리즘은 선박의 횡단면에 대한 격자를 만들어서 손상조합을 생성해 낸다. Fig. 20의 (c)를 예로 들면, dP홀수의 경우, 103, 103,104, 103,104,104 와 같은 형태로 손상조합이 생성되며, 중복되는 구획번호는 삭제한다.

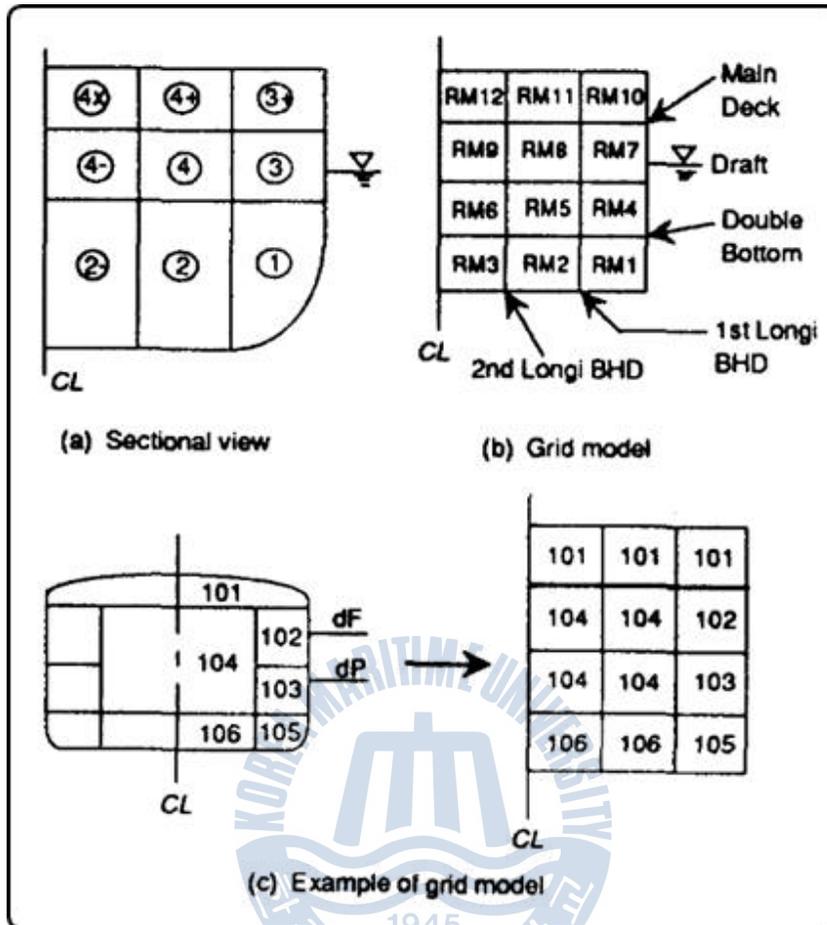


Fig. 20 Grid Model

4.2.2 Grid Model 의 보완점

Grid Model은 최초의 국내 계산코드라는 의미와 횡방향 단면에 대해 손상조합이 생성되는 과정을 쉽게 확인 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 하지만 알고리즘이 1992년에 만들어진 프로그램에 맞춰져 있다. 따라서 현재의 GUI와 같은 환경을 제공하지 못하며, SOLAS 89/90을 따르고 있어 Harmonized Project를 거쳐 수정된 2006 SOLAS의 규정을 반영하지 못한다. 특히 흘수 아래 구획에 대한 처리는 수정되어야 하는 부분이라고 할 수 있다.

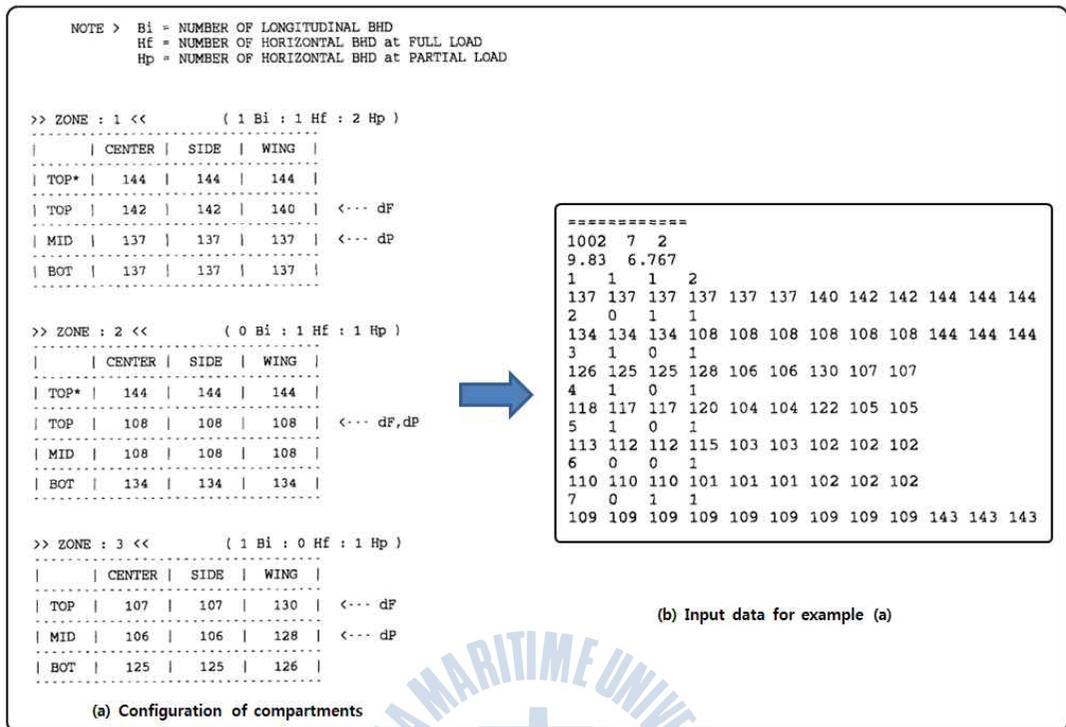


Fig. 21 An example of Grid Model

다음으로, 격자 모델을 이용하기 때문에 중복되는 데이터들이 비교적 많다고 할 수 있다. Fig. 21은 Grid Model의 입력 데이터 예제이다. 입력 데이터(b)를 살펴보면, 중복되는 입력데이터가 상당수 있음을 확인 할 수 있다.

더불어 손상조합을 생성하는 과정에서도 중복되는 손상조합들이 나오게 된다. 복잡한 구획 일수록 전체 격자의 개수가 증가하게 되고, 이는 중복되는 입력데이터의 양을 증가시키고, 중복 생성되는 손상조합들의 수를 증가시킴으로써 계산시간도 증가하게 만든다.

마지막으로, 격자 모델을 이용함으로써 횡단면에 대한 손상조합 생성은 사용자도 쉽게 알아볼 수 있으나, 전체 G.A상에서 손상조합이 생성되는 과정은 알아보기 힘들며, 이는 사용자가 생성된 손상조합이 정확한지 확인하는 것을 어렵게 만들며, 입력데이터 작성도 쉽다고만은 할 수 없다.

4.3. 개선된 점

먼저 구획들 간의 관계를 활용함으로써 기존의 Grid Model과 비교하여 중복되는 입력데이터의 분량을 줄일 수 있다. Fig. 22는 Fig. 21의 예제를 구획관계 알고리즘을 위한 입력데이터로 바꾼 모습이다. Grid Model의 입력데이터보다 그 양이 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

```
# H-Direction
144-140-137,144-108-134,130-128-126

# B-Direction
140-142,
137
144
134
108
130-107,
128-106,
126-125,

# Calculated Draft
d.f
140 108 130
```

Fig. 22 Re-arranged input data

다음으로, 구획들 간의 관계를 최외각 구획들 간의 위상관계와 최외각 구획과 선 내측 구획들 간의 위상관계로 분류함으로써, Grid Model과는 다르게 구획이 복잡하고 많아지더라도 입력데이터의 분량이 상대적으로 적게 늘어나며, 손상조합의 중복 역시 거의 일어나지 않는다.

마지막은 논리성이다. 위상관계를 이용한 알고리즘이라 논리성면에서 강점을 가지며, 이는 사용자가 보다 쉽게 입력데이터를 작성할 수 있게 만든다. 또한, 복수구획 침수와 단일구획 침수가 한 번에 계산되므로, 손상조합이 생성되는 전체적인 과정도 확인할 수 있게 한다.

제 5 장 결론

5.1. 연구 결과

SOLAS 확률론적 손상 규정에 대한 연구를 수행하였다.

먼저, SOLAS Chapter II-1 part B와 RESOLUTION MSC.281(85)을 토대로 프로그래밍 측면에서 규정을 분석하여 고려해야할 점과 89/90 개정판에서 2006 개정판으로 넘어오면서 바뀐 부분들도 살펴보았다.

또한, 이를 토대로 구획들 간의 위상학적 위치관계를 활용한 구획관계 알고리즘을 개발하였으며, 예제를 통하여 이 알고리즘이 손상조합을 생성하는 과정을 살펴보았다.

마지막으로, 기존의 국내 알고리즘(Grid Model)과의 비교를 통해 개선된 점을 확인 할 수 있었다.

5.2. 기여도

프로그래밍 측면에서 쓰여진 논문이 1편뿐인 국내의 상황에서 구획들 간의 위상관계를 이용해 손상조합을 생성하는 알고리즘을 개발함으로써 국내 계산코드 확보라는 목표에 한발 다가갈 수 있었다고 생각한다. 또한 기존의 Grid Model의 미흡한 부분을 보완함으로써, 보다 발전된 알고리즘을 개발하였다.

5.3. 향후과제

이 알고리즘만을 가지고 Attained subdivision index를 구할 수는 없다. 따라서 기존의 상용코드와 연계하여 별개의 프로그램으로써 활용될 수 있도록 하여야 한다. 나아가서는 선박 모델링 프로그램과 연동하여 설계와 검증이 하나의 프로그램에서 이루어 질 수 있도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 남종호 외1명, (1992). “확률해석에 의한 손상복원력 계산 프로그램 개발”, 해사기술연구소 최종보고서
- 남종호 외1명, (1994). “격자모델을 이용한 확률론적 손상복원력 계산의 전산화”, 대한조선학회
- SOLAS 89/90 amendment ||-1 Part B-1 & Res.A.684(17)
- SOLAS 2006 amendment ||-1 Part B-1 & MSC.281(85)
- 전영기, (1991). “길이 100m 이상 건화물선의 구획 및 손상복원성 규칙”, 한국선급 자료.
- Apostolos Papanikolaou, Eleftheria Eliopoulou. (2007) On the development of the new harmonised damagestability regulations for dry cargo and passenger ships
- A.J. Brown. (2002) Collision scenarios and probabilistic collision damage
- Preben H. Lauridsen, Jørgen Juncher Jensen, Jan Baatrup. (2001) Ship Design Using Probabilistic Damage Stability Rules — A Sensitivity Study
- 염천환 외2명, (2006). “SOLAS 손상복원성 규정(Harmonized SDS) 변경에 따른 설계 영향 검토”, 대한조선학회 특별 논문집.
- 박성우 외2명, (2001). “손상복원력 계산을 위한 시나리오 자동 생성 알고리즘 개발”, 대한조선학회 2001.04 pp. 20-24
- 이재원. 《Visual C++ .NET 실전 프로그래밍》, 가메출판사(2005)

