

발크캐리어의 안전성 향상에 관한 연구

金 太 羽* · 朴 鎮 洙**

A Study for the Improvement of Safety of Bulk Carriers

Tae-Woo, Kim* · Jin-Soo Park*

〈목 차〉	
I. 서론	1. 선체 구조적 측면
II. 발크캐리어의 운항 특성과 사고의 특징적 형태	2. 적하 및 운항 관리 측면
1. 구조 및 운항 특성	IV. 발크캐리어 안전성 향상을 위한 대책
2. 사고 사례와 해난 통계	1. 원인 분석에 따른 안전성 향상 대책
3. 발크캐리어 사고의 특징적 형태	2. 규정과 통제 측면에서의 안전성 향상 대책
III. 발크캐리어 사고의 문제점 및 원인 분석	V. 결론

Abstract

Concerns related to the safety of bulk carriers are, most of all, the increasing number of bulk carrier accidents which amount to 425 during last 20 years; half of them are totally lost. A number of bulk carriers are still missing. Bulk carrier safety has become an international issue since 1995. The International Maritime Organization (IMO) embarked on the legislation as a countermeasure to the increasing number of the bulk carrier accidents. The IMO discussed in the safety of bulk carriers including the strength of transverse watertight bulkheads, especially when the ship carries high density cargoes and the damage stability of bulk carriers in the flooded condition. In this study, statistics and causes of accidents of bulk carriers are analyzed in order to identify special features of bulk carrier accident and causes of the casualty. This study examines certain cases of hull collapses and severence which resulted in sinking to infer possible causes of missing ships.

* (사)한국선급 기획실장

** 한국해양대학교 해사대학 부교수

I. 서 론

지난 20여년간 발크캐리어(Bulk carrier)의 사고는 425건으로 이중 반수는 전손 사고(total loss)였다. 사고의 형태는 흔적도 없이 사라지는 실종 사고가 많았고 생존자가 전혀 없어 원인을 밝혀 내기가 어렵다. 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization - 이하 IMO로 호칭한다)는 이러한 발크캐리어 사고의 심각성을 인식하고 1995년부터 발크캐리어의 안전을 위한 전세계적인 대책을 수립하고 국제해상인명안전협약(SOLAS: Safety of Life at Sea)의 규정을 강제화 하기 위한 작업에 착수하였다. 그러나 이 회의에서는 상당한 안전 요건이 제정되었음에도 불구하고 발크캐리어의 실종 사고의 원인과 대책을 광범위하게 다루지 못하였다. 따라서 본 논문에서는 발크캐리어의 실종 사고 원인 분석과 국제해사기구에서 채택한 안전 요건들을 고찰하여 발크캐리어의 해난 사고의 원인 분석과 안전성 향상을 위한 종합적인 대책을 수립해 보자 한다.

해난사고의 원인분석에 있어서는 발크캐리어의 사고 사례와 사고 통계, 사고의 특징적 형태를 분석하고, 사고의 원인을 선체 구조적 측면과 운항 관리적 측면에서 검토하였다.

선체 구조적 측면에서는 침수 시의 화물창 격벽의 강도 및 손상 복원성 기준 등, 발크 화물 운송과 관련된 선박의 구조적 안전성에 대해서는 IMO의 결정 사항에 대한 검토를 포함하였고 실종 사고의 원인이 되는 선체 절단 사고 가능성과 사고 사례를 분석하였다.

운항 관리적 측면에서는 화물 적재, 교차 적재의 문제점과 황천 항해 시의 문제 등을 분석하였고, 현존 선박의 구조적 안전성 향상을 위한 선체 구조의 보강 시기와 선령에 따른 횡격벽 보강의 정도를 실제 운항 중인 선박을 대상으로 검토하였다.

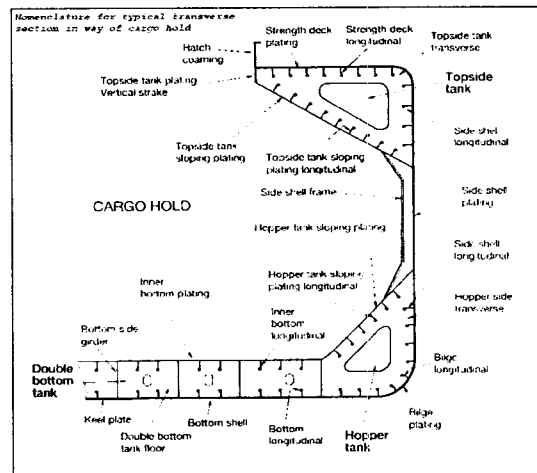
대책에서는 원인 분석과 문제점 분석을 토대로 종합적인 안전성 향상 대책을 세우고자 하였으나, 안전성 향상을 위한 대책이 있어서 그 범위는 실종 사고의 주 원인인 침수 침몰 사고의 실질적 방지

대책에 제한하여 집중적으로 제시하였다.

II. 발크캐리어의 운항 특성과 사고의 특징적 형태

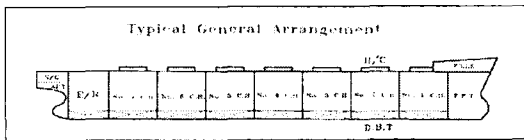
1. 구조 및 운항 특성

발크캐리어는 비중이 큰 광석에서 상대적으로 비중이 극히 작은 목재 칩에 이르기까지 곡물, 인산 비료, 복사이트, 시멘트, 소금 등을 적재하며 크기에 따라 레이커 (laker), 핸디사이즈(handly size), 파나마스(panamax), 케이프 사이즈(cape size) 등으로 구분한다. 운송하는 화물의 특성상 전용 발크 화물 운반선으로서 광석 운반선(ore carrier), 석탄 운반선(coal carrier), 광석/석탄 운반선(ore/coal carrier), 곡물 운반선(grain carrier), 목재 운반선(log carrier), 목재칩 운반선(wood chip carrier) 등이 있고 겸용 발크캐리어로서 광석/원유 운반선(ore/oil carrier), 광석/여타 발크캐리어(ore/ bulk carrier), 컨테이너/발크캐리어 (container/bulk carrier) 등이 있다. 세계 상선 선복량의 약 30%를 차지하는 발크캐리어에 대한 정의는 해상인명안전협약 (SOLAS: Safety of Life at Sea.....이하 SOLAS라 한다.) 제9장, 제1.6규칙에 의하면 다음과



<그림 1> 화물창의 전형적인 midship section의 형태

같다. "발크캐리어라 함은 화물 구역 내에 일반적으로 단일 갑판, 톱사이드 탱크 및 호퍼사이드 탱크를 가지는 구조로 건조되고 주로 건화물을 발크로서 운송하기 위한 선박을 의미하며, 광석 운반선 및 겸용선과 같은 형태의 선박을 포함한다." 즉 발크캐리어는 선박의 정의에서 알 수 있듯이 톱사이드 탱크, 호퍼 탱크, 이중저 탱크를 갖는 구조적 특성이 있다(그림 1). 이러한 구조적 특징은 무거운 발크 화물을 적재할 때 해수 발라스트를 이용하여 적절한 복원성을 유지하기 위한 구조이다. 또한 발크캐리어는 화물창의 수가 많아서 중간 종격벽의 수가 많고(그림 2), 이 격벽은 평면 격벽의 형태를 취하지 않고, 강도와 효율성을 증진한 파형 격벽(corrugated bulkhead)으로 건조되고 있다. 이러한 발크캐리어의 운항상 특징은 단일 발크 화물을 대량으로 신속히 운송하기 위한 목적에 맞도록 구조와 화물 적재 형태를 취하고 있다. 따라서 적하에서의 화물의 적재 속도가 빠르고 여러 개의 화물창에 교차 적재를 함으로서 선체에 급격한 스트레스를 가할 수 있다는 문제점을 내포하고 있다.



〈그림 2〉 전형적인 일반 배치도

2. 사고 사례와 해난 통계

발크캐리어의 해난 사고는 여러 가지 형태로 나타나고 있으나, 몇 가지의 전형적인 사고 사례와 통계적으로 나타나는 사고의 특징을 살펴보기로 한다.

2.1 해난 사고 사례

북태평양을 항행중인 한 광석 운반선(A선박)은 당직 항해사가 주시하고 있는 가운데 서서히 파괴되어 갔다. 해상상태(Sea State) 약 7정도의 선수 파고를 타고 항해 중 새벽의 어스름한 빛속에서 쿵소리와 함께 2번창 좌현 부근이 부풀어 올랐다.

항해사는 선장에게 보고 후 현장 조사 결과 2번창 부근이 솟아올라 있었고, 좌현 외판을 따라 갈라져 있는 선체를 관찰하였다. 십 여분 후에는 이 선박은 절단되어 갔고 침몰하기 시작하였다.

또 다른 한 선박(B선박)은 원인을 알 수 없는 선측 외판의 균열에 의해 4번창이 침수되었으며, 침수가 진전되어 가면서 5번창과의 횡격벽이 하중을 견디지 못하고 붕괴됨으로서 5번창도 침수되어 침몰하였다. 화물창의 수가 많은 발크캐리어는 중앙부의 화물창 한 곳이 완전히 침수되는 경우에도 침몰하지 않고 부상 할 수 있기 때문에 이 선박의 침몰은 격벽의 붕괴가 원인이다.

또한 황천 항행 중인 한 선박은 격심한 선체 요동과 갑판상으로 올라오는 해수를 감당하지 못하고 1번창의 창구 덮개 전체가 붕괴되어 다량의 해수가 1번창에 침수한 예도 있다.

발크캐리어의 사고는 이처럼 화물 적재 운항 중 선체 파괴적인 현상에 의한 침수·침몰 사고가 많고 전복이나 충돌, 화재와 같은 해난 사고의 형태는 상대적으로 적게 나타나고 있다.

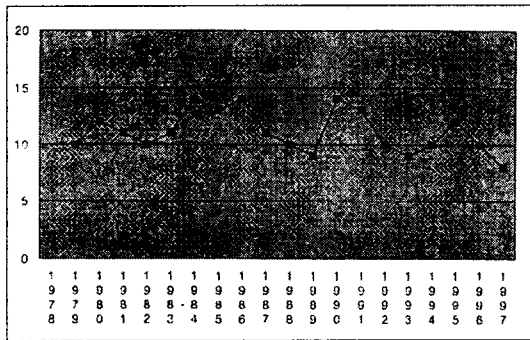
발크캐리어의 전형적인 해난 사고의 예는 화물창 6개를 갖은 15,000톤급의 한 선박(C선박)에서 북대서양의 동계 항해 후 발견된 선체 구조의 이상에서 알 수 있다. 이 선박은 2번창과 3번창의 전 프레임이 엇가락처럼 휘어져 있었고 톱사이드 탱크의 구조물들이 뒤틀려 군데 군데 찢어져 있었다.

그러나 발크캐리어의 가장 큰 문제는 이러한 선체손상보다 원인이 밝혀지지 않은 실종 사고이다. "해당화호", 1971년 필리핀 근해에서 실종된 리베리아 선적의 "바나루나호", 1976년 태평양상에서 실종한 "카네리안호" 등에 대해서는 그 원인이 밝혀지지 않았기 때문에 뚜렷한 대책도 없이 유사한 사고가 계속되고 있다.

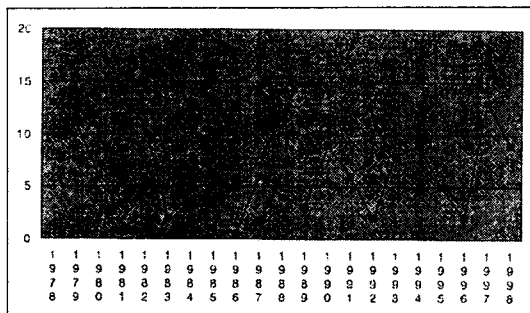
2.2 해난 통계

1978년부터 1997년까지 20년간의 발크캐리어의 중대 해난사고는 총 425척이며 이중 221척이 전손(total loss)이었다. 이는 연평균 11척의 발크캐리어가 전손 되었음을 의미하며(그림 3), 전손의 경우 대부분 인명 손실이 발생하여 심각한 문제로 대두

된다. 동 기간 동안에 1,614명의 인명이 희생되어 연평균 82명의 희생자가 발생하였으며 이는 전선 척당 평균 8명이 희생되었음을 의미한다. (그림 4)



<그림 3> 전선 통계



<그림 4> 인명 손실 통계

<그림 3>과 <그림 4>에서 발크캐리어의 전선 발생 건수는 줄어들고 있지만 척당 인명 손실은 오히려 늘고 있어 80년대 중반에 3~4명의 인명 손실이 90년대에서는 10명선으로 증가하였음을 알 수 있다. 이러한 현상은 발크캐리어의 사고 원인을 분석하는데 중요하다.

3. 발크캐리어 사고의 특징적 형태

해난 사고 분석결과 발크캐리어 해난 사고의 특징적 형태는 다음과 같다.

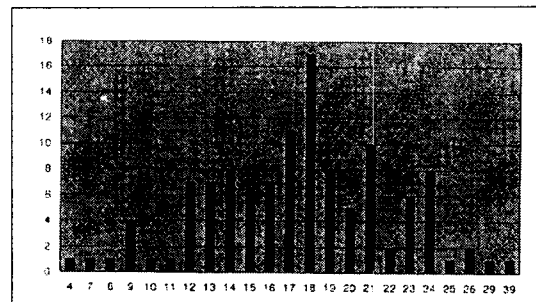
3.1 황천 항해 중의 선체 파괴적 현상

발크캐리어의 해난 사고는 전복되지 않은 상태

에서 순간적 침몰이 발생하고, 이에 많은 인명 손실을 수반한다는 점에서 다른 선형의 해난 사고와 다른 특징적 형태를 갖추고 있다. 즉 황천 항행 중 갑자기 선체가 파괴됨으로서 짧은 시간 내에 침몰하는 것으로, 이는 통계상에 그 원인이 분석되지 않은 실종 사고의 사례가 발크캐리어 사고에 많다는 것을 의미한다.

3.2 노후 선박

사고의 75%가 선령 15년 이상이며 94%가 선령 10년 이상이다. 이는 선령 15년 이상의 선박이 3/4를 차지함으로써 선령과 사고의 상관관계를 증명하고 있다(그림 5). 또한 선령별의 해난 검토에서 순수 발크캐리어와, 발크캐리어 중에서도 기름과 발크 화물을 동시에 적재하도록 설계된 오일발크 오어(Oil/Bulk/Ore)선과 오일오어(Oil/Ore)만을 적재하도록 설계된 선박들을 별도로 분리해 본 결과를 표로 나타내었다(표 1).



<그림 5> 해난의 선령별 검토

<표 1> 해난의 선령별 검토

	선령 10년이상	선령 15년이상
Bulk	96 (94.1%)	76 (74.5%)
OBO	8 (80%)	7 (70%)
Ore/oil, Ore	19 (100%)	17 (89%)

3.3 중량 화물의 적재

80년대의 10년간 82척을 대상으로 조사한 화물 적재와 관련한 분석은 다음과 같다. 즉, 광석 등의

중량 화물을 적재한 선박은 66%인 54척이었으며 이중 34척은 철광석을 싣고 있었다. 석탄 등과 같이 대체로 중량 화물을 적재한 선박은 17척이며 가벼운 화물을 적재한 선박은 4척에 지나지 않았다. 그 외의 선박들은 발라스트 상태였거나 화물이 알려지지 않은 경우이다. 즉, 87%가 중량 화물을 적재하고 있었다(표 2).

〈표 2〉 화물의 종류에 따른 사고수

화물의 종류	total loss	serious casualty
경량 화물 grain, timber 등	3	8
대체로 중량 화물 coal, phosphate 등	13	4
중량 화물 ore, bauxite 등	26	28
합 계	42	40

3.4 침수에 의한 침몰

발크캐리어는 어떤 형태로든 침수에 의해서 침몰한 경우가 많다.

82척의 사고 선박 중 침수에 관련되지 않은 선박은 11척에 불과하며, 어떠한 형태의 것이든지 침수가 원인이 된 경우가 71척이다. 그 중 선체의 균열(crack)을 통한 침수는 48척에 달하여 선체의 누수가 사고의 주된 원인이 되고 있음을 알 수 있다(표 3).

〈표 3〉 침수에 의한 침몰

선체의 균열	48
화물창 뚜껑	5
엔진 룸	1
기타 (선수등)	4
위치 불명	13
침수가 없었던 사고	11

이러한 내용을 종합하면 선령 15년 정도의 선박

이, 중량 화물을 싣고 항해중 선체의 침수에 의해서 침몰한 경우가 가장 많이 발생했음을 알 수가 있다.

Ⅲ. 발크캐리어 사고의 문제점 및 원인 분석

1. 선체 구조적 측면

1.1 소개

발크캐리어의 침수 침몰의 원인을 선체 구조적 측면에서 살펴보면 항행 중의 선체 파괴는 선체 구조가 취약하게 건조되거나, 정비 불량에 의해 취약해지거나, 또는 선체 구조 부재가 황천 항해를 견디지 못한 결과로 나타난 사고이다. 따라서 선체가 취약해진 원인은 해난사고의 분석을 통해 정리될 수 있다. 대부분의 발크캐리어는 국제선급연합회(IACS: International Association of Classification Societies - 이하 IACS라 한다) 회원들의 선급 규칙에 의해서 건조되고 있고, 이들 선급들은 동일 규칙을 지향하고 있으며, 건조 시의 선체의 강도는 선체 구조 응답 계산법 및 유한 요소법 등의 과학적인 방법으로 분석하여 안전성을 충분히 확보하고 있다는 것은 국제적으로 증명되고 있다. 다만 최근 IMO에서는 이들 IACS의 규칙 중 횡수밀 격벽의 강도 계산식이 화물창내의 유동수의 영향을 고려하지 않았다 하여 이를 개정하도록 요구한 사례가 있었다.

실종된 선박들은 그 원인을 밝히는 것이 불가능하다. 그러나 선체 파괴 현상을 일으키고도 침몰하지 않은 선박들이 있으며, 선박 검사 과정에서 선체 파괴의 초기 현상이 발견되기도 한다. 한 선박은 정박 중에 상갑판에 길고 큰 균열이 발견되어 수리하였고 이러한 균열이 방지되었다면 항행 중에 점점 확산되어 큰 사고를 당하게 되었을 것이다.

1.2 슬래밍에 의한 충격

슬래밍은 선수 바닥에 대한 파도의 충격이 배의 중앙부에 있는 사람에게까지 감지될 수 있을 만한 선체 진동을 유발하는 경우를 뜻한다.¹⁾ 실제로 공선 상태에서 선수 파도를 맞으며 항해해 본 경험이

있는 승무원들은 슬래밍에 의해 선저가 굉음을 울리며 파도에 부딪치는 충격으로 선수 부위가 얇은 플라스틱 판처럼 춤을 추는 광경을 보았을 것이다. 화물을 만재한 상태의 황천 항해 중에는 선수부가 거의 해수에 잠겼다가 재차 부상하기 위해 엄청난 파도를 떠밀며 힘겹게 솟아오르는 것을 보면 선수가 부러지지나 않을까 하는 두려움을 느끼게 된다. 선박이 규칙적이고 비교적 파고가 높은 일련의 파도를 조우하여 선체 운동 특히 종방향의 운동(pitching)을 심하게 하고 있을 때 여러 방향으로부터의 스웰 및 파랑이 합쳐져서 특이하게 높은 파도를 일으킨 상황에서 거대한 슬래밍이 발생한다.

1.3 선체의 부식과 종강도

선체 파괴 현상이 선령이 적은 선박들에 거의 일어나지 않기 때문에 슬래밍 자체만이 그 원인은 아니다. 선체의 부식은 적재 화물의 특성으로 인해 많은 문제를 야기시키고 있다. 유황 성분을 많이 함유한 석탄은 습기와 결합하여 황산을 방출하여 부식을 촉진한다. 또한 화물이 직접 선체에 닿아 화학적 반응을 일으키며 외판을 통해 찬 해수와 접촉하므로 습기(Sweat)에 의한 부식도 타 선형에 비해 많이 발생한다. 선체 피로에 의한 부식도 발크캐리어에서는 상당히 문제가 된다. 즉 중량물의 하중 분포와 관련, 특히 파랑에 의한 호깅과 새깅의 상태를 반복하여 상갑판 및 선저에 항상 인장과 압축 운동이 있으며, 내부 부재의 응력 집중부에 응력 부식이 심하다.

1.4 선체의 누적 손상

발크캐리어의 선체 손상은 균열과 변형과 부식으로 크게 나눌 수 있다. 선급의 손상 정보시스템의 통계에서는 선체 손상이 선령 5년까지는 5%이내, 선령 10년까지는 약 20% 정도이나, 선령 15년이 되면 거의 100%로 모든 선박에서 손상이 발견된다. 이는 선령 10년에서 15년 사이에 손상 건수가 크게 증대한다는 것을 통해서 알 수 있다. 선령 10년 이후는 부식이 급속도로 진행되고 변형과 균열이 함께 증대된다.

1.5 횡수밀 격벽의 붕괴

발크캐리어의 전형적 사고 형태로 보기는 어렵지만 사고 사례가 많지 않아, 횡수밀 격벽의 붕괴가 침몰에 이른 사례가 있다. 이중저를 포함한 횡수밀 격벽의 강도는 발크캐리어의 안전을 향상하기 위한 구조적 문제이며, 침수시 즉 화물창이 침수되어 물이 차 올라 올 경우에 유동수의 영향을 고려한 유입된 물의 하중을 견딜 수 있는 강도를 만족해야 한다. 횡수밀 격벽의 붕괴 원인이 원천적인 강도의 부족인지, 부식과 손상에 의한 횡수밀 격벽 자체의 강도 약화인지에 대해서는 논란의 여지가 있다. 현재 발크캐리어의 거의 모든 횡수밀 격벽은 파형 격벽으로 건조되고 있으며, 국제선급연합회(IACS)는 최근 선수 부위의 횡수밀 격벽의 부재의 치수(scantling)를 계산하는 하중의 기준을 설정하여 공포하였는데 그 중 IACS 통일 규칙 19(1번 화물창과 2번 화물창 사이의 파형 격벽의 강도)가 설정하고 있는 강도 평가의 기준은 다음과 같다.

- Bending Capacity

$$10^3 \cdot \frac{M}{0.5 \cdot Z_{le} \cdot \sigma_{a,le} + Z_m \cdot \sigma_{a,m}} \leq 1.0$$

M : 설계 굽힘 모멘트

Z_{le} : 하단에서의 Section Modulus

Z_m : 중간에서의 Section Modulus

$\sigma_{a,le}, \sigma_m$: 허용 응력

이 계산식은 현재까지의 선급 규칙이 유동수의 영향을 고려하지 않았다는 점에서 개선된 것으로 볼 수 있다. 발크캐리어는 특히 횡수밀 격벽의 부식과 손상이 문제되고 있으며 현존선의 경우에도 획기적인 보수 유지를 해야 한다는 필요성이 제기되고 있다. 이 횡수밀 격벽의 붕괴는 중량 화물의 적재 패턴과도 관련이 있다. 또 다른 고려 사항은 발크캐리어의 손상 복원성 규정의 검토이다. 즉 횡수밀 격벽이 창내 침수량의 증가에 의해 붕괴되어 구역 침수가 발생하더라도 침몰하지 않도록 하는 일이다. 현재의 손상 복원성 규정은 미흡하다고 판단되므로 우선 발크캐리어의 손상 침수시 손상 복

원성 요건을 증진시키기 위하여 선박의 어느 구획에서 침수하여도 침몰하지 않도록 하는 일구획 손상 기준 (one compartment standard)의 규정화가 필요하다. 이 횡수밀 격벽의 붕괴와 함께 고려해야 하는 것은 이중저의 붕괴이다. 무거운 화물을 운송하는 발크캐리어의 선체 이중저 특히 횡수밀 격벽에 연해있는 부위는 하역시 손상, 내부 구조 부재의 관리 소홀 등으로 인한 방식 불량과 그에 따른 점진적 부식과 화물에 의한 과도한 하중을 받게 되어 변형, 붕괴 등이 생긴다. 따라서 격벽의 강도와 함께 이중저의 강도를 같이 검토해야 한다.

2. 적하 및 운항 관리 측면

2.1 소개

발크캐리어의 적하와 운항은 많은 문제점이 노출되어 있다. 즉 광석과 같은 무거운 화물을 고속 적재로 인해 운항시 선수 트림이 되는 경향이 많고, 무거운 화물을 적재하는 특성상 한 화물창씩 건너 뛰어서 적재하는 교차 적재 방식의 채택, 발라스트 항해인 공선 항해와 무거운 화물의 만재 항해가 교대로 이루어 지는 특성이 있다. 이러한 적하 및 운항상의 특성은 선체 구조에 영향을 주어 복합적인 해난 형태를 보인다.

2.2 무거운 화물의 교차 적재

광석과 같은 무거운 화물을 모든 화물창에 균일하게 적재(homogeneous loading)할 경우 선박 중심이 지나치게 낮아지기 때문에 교차 적재를 하는 경우가 많다. 그러나 이러한 교차 적재는 발크캐리어 사고의 중요한 원인의 하나이다. 즉 교차 적재로 인하여 선체 길이 방향의 응력 변화가 심하게 되고, 선창내 화물 적재 높이가 석탄 등의 화물에 비하여 상당히 낮기 때문에 해수의 하중이 화물에 의하여 보상되지 못하고 선측 외판으로 전달될뿐 아니라 발크캐리어의 격심한 횡동요로 인하여 악화될 수 있다. 교차 적재 상태에서 선각 거어더는 과도한 전단력과 종굽힘 모우먼트를 받게 되어, 황천 항해시 더욱 증대되어서 선각 거어더가 붕괴하거나 두부분으로 절단되었을 가능성이 있다. 또한 선수 선저부 또는 선수 플레어(flare)부의 슬래밍에

의해 선수부가 파괴되거나 절단될 가능성도 있다. 이같은 손상은 부식이나 피로 균열이 진전된 상태에서는 더욱 크게 발생할 수 있는 것이다. 또한 파랑 중을 항해 중에 횡경사에 의해 비중이 큰 적재 화물이 선측 외판 쪽으로 쏠리거나 또는 충격적으로 부딪쳐서 부식에 의해 약해져 있는 선측 외판에 구멍을 내었을 가능성도 있다. 교차 적재와 유사한 형태의 적재법인 인접 적재(adjacent loading)의 경우도 횡수밀 격벽에 무리한 하중이 주어지게 되며 크로스덱(cross-deck) 구조물에도 상당한 하중을 주게 된다. 이 경우 부식과 피로로 약해진 브래킷 연결 부위는 황천 또는 침수에 의하여 파손될 수 있다. 이러한 교차 적재는 침수 시에 횡수밀 격벽에 과도한 하중을 줄 것이라는 문제점이 있고, 침수 시에 균일 적재에 비해 생존 가능성이 나쁜 것으로 평가된다.

2.3 고속 적재와 정량 초과

광석의 적재가 시간당 16,000톤의 비율로 높은 곳에서부터 본선에 적재될 때 선체에 상당한 손상을 초래한다는 것은 의문의 여지가 있다. 그러나 공선 상태에서 한 화물창에 집중적으로 짧은 시간에 적하를 하므로 적재량과 순서에 대해서는 상당한 주의가 필요하다. 고속 적재의 다른 하나의 폐단은 과적을 초래하게 된다는 것이다. 5% 과적의 경우 안전 굽힘 모우먼트를 15%까지 증가시키고 전단력을 5%까지 증가시킨다고 보고 있다(IACS제공). 과적 10%는 굽힘모멘트 40%와 전단력 20%까지 증가한다.

2.4 선수 트림 항해의 문제

발크캐리어의 만재시의 운항에서 문제가 되는 것은 선박이 선수 트림(by the head) 상태로 항해하는 경우이다. 이것은 도착항에서의 제한 흘수 때문에 평형 흘수(even keel)의 상태로 입항하기 위해 조절하는 경우도 있겠지만, 적하항에서의 흘수 제한 때문에 처음부터 선수 트림 상태로 출항하여 항해가 진전 될수록 선수 트림 상태는 심해진다. 또한 적하중 선수쪽에 예상 보다 많이 적재한 경우도 있고, 출항 당시는 선미 트림이었으나 항행 중 후부에 있는 물과 연료를 소모하여 선수 트림이 된

경우도 있다. 이같은 선수 트림 상태의 운항은 두 가지의 문제가 생긴다. 첫째, 선수 높이가 낮아지는 것이고 둘째, 화물창내의 침수가 생겨도 선수쪽으로 기울어 있기 때문에 빌지웰에서 감지 할 수 없다는 점이다.

IV. 발크캐리어 안전성 향상을 위한 대책

1. 원인 분석 따른 안전성 향상 대책

1.1 소개

발크캐리어 사고의 특징은 선체 구조적 문제를 일으키는 선박들은 선령 15년 이상이며 광석, 석탄 등의 중량물을 적재하고 항천 항행 중에 1-2번창의 선수부에서 침수나 파괴를 일으키는 공통점을 가지고 있다. 따라서 사고방지 대책은 첫째 신조선의 선체 구조는 안전성을 확보하고 있다고 판단되므로 건조 당시와 가까운 선체 강도를 유지하는 것이다. 그것은 선체 구조가 부식되거나 손상되지 않도록 하는 것이고, 부식되거나 손상된 경우에는 빨리 발견해서 수리해야 한다. 즉 선체 부식 및 손상 방지 대책이 발크캐리어의 안전성 향상을 위한 가장 핵심적인 대책이 될 것이다. 둘째, 중량물 적재, 적재의 패턴과 적재 후 선수 트림 상태로의 운항 등과 같은 화물의 적재와 운항에 대한 안전 확보이다. 셋째, 항천 항해와 1-2번창 선수부의 사고에 대한 실용적 대책 수립이다.

1.2 선체 부식 및 손상 방지 대책

선체 부식은 유효한 코팅에 의해서 방지된다. 특히 고장력강의 사용이 증대된 지금은 코팅에 의한 철판의 두께 유지가 중요하다. 발라스트 탱크의 코팅에 대해서는 국제 규정이 마련되어 있다. 화물창내의 코팅에 대해서는 선급 규칙에서 창구 코팅 및 창구 덮개의 모든 내외면과 화물창내의 모든 표면에는 도료 제조자가 정하는 요건에 따라 유효한 방식 도장(에폭시 도장 또는 이와 유사한 도장)을 하도록 하고 있다. 다만 내저판과 선체 늑골의 브래킷 끝단으로부터 300mm 아래의 호퍼탱크 경사판은 제외하도록 되어 있다. 화물창의 코팅은 설사없

이 부식을 일으키는 광석, 석탄 등의 화물을 적재하므로 코팅 상태의 유지가 어렵기 때문에 효과적인 코팅을 하는 것이 중요한 일이다. 코팅은 지속성 5년과 지속성 10년의 두 가지 사양으로 대별된다. 이들은 ± 3 년의 편차를 가지며 코팅 표면의 청소와 그라인딩과 같은 사전 준비가 효율성에 중대한 영향을 준다. 또한 코팅은 스프레이로 뿌려져야 하며 각 코팅의 시간 간격이나 최저 온도 등은 제조사의 사양에 따라야 한다. 발크캐리어에서 부식은 적재 화물 때문에 많은 문제가 발생하기 때문에 각각의 적재 화물에 적합한 부식 상태의 점검과 보수 계획을 수립하는 것이 필요하다.

또한 선체 피로에 의한 부식은 호강과 새강이 반복되는 응력 집중 부위를 정기적 검사 시기에는 물론 승무원에 의한 수시 상태 점검이 필수적이다. 승무원들은 선체 피로에 의한 부식이 항해 중 선체 파괴 침몰을 유발할 수 있다는 인식을 가지고 자체 점검을 하고 수리 보수를 해야 한다. 또한 정비가 잘 이루어지고 있는 상갑판보다는 부식이 심한 외판이나 창구 연재 등의 경우에 국부적인 심한 손상에 유의해야 한다.

침수가 해난의 중대한 원인이 되고 있는 발크캐리어의 경우는 국부적인 부식과 손상 균열을 조속히 발견하여 보수하는 것이 중요한 일이다. 특히 횡능골과 호퍼 탱크 또는 톱사이드 탱크가 접하는 부위에 유의해야 한다. 발크캐리어의 손상이 화물 구획의 창내 늑골에 압도적으로 많으며, 이는 화물 양하시 그랩(grab)을 사용하므로 이 충격에 의한 코팅의 이탈과 부식뿐만이 아니라 그랩의 충격으로 늑골이 심하게 손상되거나 외판의 용접부가 떨어진다. 따라서 이 부위들은 침수·침몰을 사전에 막기 위해 공선 항해 시에 승무원들에 의한 자체 점검도 중요하다. 선급의 검사원에만 의존하는 것은 정기적 검사가 1년에 한번뿐이며 대형 선박의 검사시 손상 개소를 전부 발견하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 원인 분석에서 언급한 외판 균열의 진전을 초래하는 선수 격벽 브래킷과 사이드 스트링거의 손상은 발견 자체가 아주 중요하기 때문에 검사원에만 의존하는 것은 현명하지 않다. 이러한 손상들이 정기적 검사 시에도 발견되지 않고, 승무원들

에 의해서도 발견되지 않음으로서 누적된 손상으로 계속 남아 언젠가 사고를 일으킨다는 것이다. 그리고 누적된 변형의 방치를 허용해서는 안 된다는 점에서 선수미 홀수와 중앙부의 홀수차에 의한 선체 새김, 호킹 현상의 판정은 중요한 일이다. 특히 중앙부의 창구 덮개가 창구 코밍에 일치되지 않고 날이 갈수록 벌어지면 큰 문제가 발생할 조짐으로 판단해야 한다.

이러한 문제점들은 승무원에 의해 발견된 경우 선급 검사원에 통지하고 선급측에 안전 점검을 요청해야 할 것이다.

선급의 검사는 매년 행해지지만 발크캐리어처럼 초과 하중을 자주 경험할 수 있는 선박은 검사 완료가 곧 다음 검사까지의 안전을 보장하는 것은 아니라는 것을 유의하고 세심한 주의를 기울일 필요가 있다.

1.3 안전한 화물의 적재와 운항 대책

교차 적재가 설계 허용치를 초과하는 과도한 굽힘 모우먼트를 유발할 수 있기 때문에 교차 적재를 전면적으로 금지해야 할 것인가에 대해서는 논란의 여지가 있다. 전술한 여러 가지 문제점 외에도 철광석과 같은 무거운 화물을 균일하게 화물창에 적재하였을 경우 중량 중심이 지나치게 낮아 극심한 롤링 현상을 유발하며, 이는 전 항해에 걸쳐 승무원의 과도한 피로를 유발하게 된다는 측면에서 승조원들이 거부감을 일으킬 수도 있다.

또한 적양하 시간이 길어지고 청소 시간이 길어진다는 등의 불리한 점이 지적되나 인터카고 (INTERCARGO)와 빔코(BIMCO)²⁾의 여론조사에서 교차 적재를 금지할 경우 38%만이 아주 어려울 것이라고 답하였고, 이중 10%정도만이 지나친 롤링을 걱정할 점에서 크게 심각한 문제는 아닌 것으로 판단된다. 따라서 교차 적재시에는 로딩 매뉴얼과 적하 기기(loading instrument)의 지침에 적합하게 적하 계획을 세우고, 각 창 의 적재량이 계획대로 진행되는가를 잘 확인하여 안전성을 확보할 수 있도록 하고, 가능하면 균일 적재를 권고하여도 좋을 것으로 생각된다. 예정된 항해의 상태에 따라 적절한 적재 패턴을 취할 수 있을 것이고, 교차 적

재를 한 경우는 항로상의 변화에 유의하여 안전한 항해를 하도록 유의해야 할 것이다.

공선 상태에서 고속 적재를 해야 하는 터미널에 입항했을 때에는, 터미널 측과 자선의 각 창 의 적재 순서가 계획된 대로 진행될 수 있도록 협의하고 당직자를 통해 감시하는 것이 중요하다. 특히 유의할 것은 한 화물창에 정해진 양을 초과하지 않도록 하는 일이며, 하역량을 정확히 측정하는 것은 힘든 일이지만 시간이 걸리더라도 두세번의 순회를 통해 응력의 집중을 제한하도록 터미널 측에 강력히 요청하여야 할 것이다.

디발라스팅은 적하 순서를 고려하여 사전에 적하 기기에서 시뮬레이션을 행하는 것이 권고된다. 그리고 디발라스팅이 끝나지 않은 경우는 항내에서 완료한 뒤에 출항해야 하며, 선수 트림의 상태로 항해하지 않도록 유의해야 한다. 적양하지에서 특별한 제한이 있는 경우에는 연료와 물의 적재 위치에 대한 면밀한 검토가 선행되어야 할 것이다. 또한 부득이 선수 트림으로 항해 할 경우 빌지 사운딩에만 의존하지 말고 화물창내의 상황을 육안으로 자주 확인 할 필요가 있다.

1.4 황천 항해와 선수부의 사고에 대비한 대책

선수부의 1번 화물창의 현측에 해당하는 만곡부위는 선체 운동과 파랑으로 인해 특히 충격이 심한 부위이다. 또한 그 만곡상태로 인하여 양하지에서 그랩 등 화물을 퍼내기 위한 장치의 충격 손상을 더 쉽게 받는다. 국제해사기구에서도 1번 화물창의 침수에 대해 인식하고, 발크캐리어는 1999. 7. 1이전에 건조된 현존선이라 할지라도 최전방 화물창이 침수한 경우에도 평형 상태로 떠 있을 수 있도록 규정화하고 있다. 또한 횡수밀 격벽의 강도 보강도 현존선이라 할지라도 1번 화물창 후부의 격벽만큼은 보강을 강제화 하도록 하였다. 슬래밍에 의해 선수부 상갑판의 좌굴 붕괴 응력을 넘는 응력이 발생할 수 있다고 하는 연구 결과에 의해 항상 닦칠 수 있는 위험이 상존하고 있으므로, 선수로부터 큰 파도를 받고 항해해야 할 경우는 상당한 주의를 요한다.

관측하는 큰 너울의 유의 파고 6-8m를 기준으

로 할 때, 1/10 최대파는 8-10m, 1/100 최대파는 10-13m, 1/1000 최대파는 12-16m로 조사되었다.³⁾ 실제로 항해 경험이 있는 승무원들은 연이은 파도와 소위 삼각파의 출현에 의해서 큰 파도가 형성되어 덮쳐 오며, 규칙적으로 피칭을 하던 선박이 갑자기 크게 올라갔다 떨어지는 상황을 경험하였을 것이다. 통상의 두 배가 넘는 파고는 계산적인 것만은 아니며 실제로 경험하는 상황이다.

크고 높은 파도의 조우 가능성을 예보할 수 없는 가 하는 것은 앞으로의 과제이다. 분명 피할 수 있다면 피해야 하는 것이 이러한 위험이며, 부득이 피할 수 없는 상황이라면 침로를 변경하거나 속력을 감속하여 충격을 최소화하도록 노력해야 한다. 일반적으로 해상상태(Sea State) 8 이상의 황천 항해 상태에서는 속력을 줄여서 항해하도록 권고하고 있다.⁴⁾ 또한 적절한 항해 상태의 유지를 위해서 선수 트림으로 선수 높이가 평상시보다 낮아진 상태에서 계속 항해하지 않도록 해야 할 것이다.

2. 규정과 통제 측면에서의 안전성 향상 대책

2.1 안전 요건의 시행을 위한 기국의 법제화 작업

안전 요건은 제정이나 개정도 중요하지만 그 시행이 더욱 중요하며 주관청에 의한 법제화 작업은 규정의 강제적 시행을 촉진한다. 채택된 IMO의 규정이 각국 정부에 의해 국내법에 수용함으로써 시행되므로 발크캐리어의 규정이 안전성의 향상 효과를 실질적으로 얻기 위해서는 국내법에 이를 신속히 수용하는 것이 중요하다. 다만 국내법에서 국제법 우선 규정을 두고 있거나, 시행 근거를 마련하고 있는 경우 국내법이 제정되지 않더라도 해사 산업계가 국제법의 내용을 적용하는 데는 문제가 없다. 또한 국제법의 제정과 개정 내용을 적시에 국내법화하는 것은 결코 용이한 일이 아니고, 또한 그러한 능력 자체를 보유하고 있지 못한 국가가 더 많지만 최근에는 선급 등록선에 대해서 선급들이 자발적으로 IMO의 규정을 조기 시행하기 때문에 국제적인 시행에 큰 도움을 준다. 실제로 전 세계의 발크캐리어의 90%는 선급에 등록되어 있다. 선급에 등록된 선박들은 선급의 조기 시행에 따르지

않을 경우 선급 등록이 파기되는 불이익을 감수해야 하기도 하지만, 선급이 그 내용과 시행 방법들을 지도하게 되므로 비교적 용이하게 규정을 시행할 수 있는 것이다. IMO협약 규정을 국내법으로 법제화함에 있어서 유의할 사항은 국제법의 내용과 상이할 수 있지만 그 기준이 낮아서는 안된다는 것이다. 이는 IMO협약의 규정이 국제적인 통일 기준을 설정하는 것인 동시에 최저 기준을 설정하는 것으로 해석되기 때문이다. 또한 국제법은 통일 규칙이며 국가나 지역의 특성을 충분히 고려하지 못하고 채택되는 수가 많으므로 국제 항해를 하는 선박들과 지역 또는 국내만을 항행하는 선박에 규정 적용의 차이를 두는 것이 국내법 제정 시의 중요 고려 사항이다. 금번 발크캐리어의 안전 기준의 적용은 국내 항해를 하는 선박에 적용할 필요는 크지 않다고 보지만 적재 화물의 성격에 따라 국내 선박이라 할 지라도 국제 규정의 일부를 완화 적용하는 문제를 검토해야 할 것이다.

2.2 선박 검사와 항만국 통제

발크캐리어의 해난 사고에서 전형적인 형태로 나타나 있는 침수 침몰은 선체 외판의 균열이나 파괴에 의한 침수가 원인이므로 정기적인 검사에서 이를 방지할 수 있을 것이며, 따라서 SOLAS 제11장에서 규정한 확대검사제도(Enhanced survey)는 계속 강화되어 화물창의 검사범위가 확대되고 있다. 그러나 건물 5-6층 높이의 화물창 상부의 부식 부위를 올라가서 면밀히 검사한다는 것은 극히 힘든 일이다. 선급 검사만으로는 한계가 있으며 부식과 양하 작업 중의 하역 장비에 의한 충격 방지에 더 비중을 두어야 한다는 견해도 설득력이 있다. 그러나 선급에 등록되어 있는 발크캐리어에 대한 검사는 이제 보강 수리와 확대 검사의 엄격한 시행을 통해 상당히 확보될 것으로 기대되고 있다. 70년대 말에 오스트레일리아에 입항한 선박들은 자선의 하역 장치의 안전 작업 하중(SWL)표시가 명확하지 않다는 이유로 하역 거부를 당한 사례를 경험하였다. 당시에는 외국선에 대해 이를 강요하는 국제적 근거가 없어 상당한 논쟁이 되기도 하였으나, 이후 유류오염사고가 빈발하면서 안전성이 없는 외국

선박이 자국의 연안에서 막대한 재앙을 불러올 수 있다는 국제적인 인식이 확산되었으며, 선박이 입항하는 항만국(port state)이 선박의 안전성을 검사할 수 있는 근거가 국제 협약에 수용되었다. 항만국 통제(port state control)는 IMO에서 제정된 규정의 시행을 위한 가장 효과적인 수단으로 간주하고 있으며 사실상 80년대 초에 시작된 항만국 통제에 의해 선박의 안전도가 크게 향상되었다. 항만국 통제에서 적발되는 선박들은 국제 항해를 계속할 수 없을 정도로 큰 불이익을 받게 되므로 항만국 통제의 기준이 되는 SOLAS 등 국제 협약 선박에의 적용이 보편화되었다. 발크캐리어의 안전 확보를 위해 신조선의 경우는 1999년 7월1일을 기준으로 엄격해진 기준을 적용하고, 현존선의 경우도 경과 조치를 두어 연차적으로 수리 보강하도록 한 SOLAS 제12장의 규정에 의거하여, 발크 화물의 적재지의 항만 당국은 물론이고 양하지의 소속 국가들이 항만국 통제를 더욱 강화할 것이다. 항만국 통제에 의해 억류되는 선박들이 증가하고 있으며, 이러한 통제에 의해 선박의 안전도가 향상되고 있음으로 항만국 통제를 강화하는 것이 발크캐리어의 안전성 향상에 크게 도움이 될 것이다.

V. 결 론

발크캐리어 사고의 특징은 선령이 15년 정도 되는 선박이 중량 화물을 싣고 항해 중에 선체의 침수를 통해 침몰한다고 할 수 있다. 또한 실종 사고가 많으며 선체 절단에 이르는 선체 파괴적 현상이 많다는 특징이 있다.

한편 발크캐리어의 침몰, 실종 사고는 선체의 부식·피로·균열 등이 주된 원인이며, 침수 시의 격벽 및 이중저의 강도 부족, 무거운 화물의 적재와 신속 대량 적재에 따른 응력 초과와 누적 손상의 방치 등이 복합적으로 조화되어, 항해 중 슬래밍 등의 충격으로 좌굴 등 선체 파괴 현상이나 침수 사고를 일으키고 있다.

발크캐리어 안전성 향상 대책은 첫째, 선체가 건조 당시의 부재의 치수를 최대한 유지할 수 있도록

코팅을 유지하고, 둘째, 적양하시의 절차를 개선하며, 셋째, 선체 손상을 방지하여 선체의 누적된 손상이나 변형을 방지하지 않음으로서 큰 사고를 일으킬 수 있는 요인을 사전에 제거하기 위한 실행 지침이 작성 이용되어야 한다. 넷째, 승무원은 선급에서 제공하는 관련 지침과 매뉴얼 등의 기준 등을 준수하고, 이상의 발견 시에 기술적인 지원을 구하는 제도적인 장치에 익숙해야 한다.

분석된 사고의 요인들이 건조 기술적이거나 잠재적인 것이라기 보다는 선박의 적하와 운항에 관련하여 발생하는 것임으로, 승무원들이 이를 일차적으로 발견하고 대처하여 사고를 미연에 방지할 수 있는 주체가 될 수 있다. 따라서 선박의 상태 점검과 보수 유지, 선급 등으로부터 기술적 지원을 받기 위한 지침과 안전 운항 관리 기술 등을 개발하여 실행하는 절차를 통해 상당한 사고들이 미연에 방지될 수 있을 것으로 생각된다.

통상 대형선의 만재 항해에서는 파랑의 충격이 크게 문제되지 않는 것으로 생각되어 왔으나 만재 상태의 대형 발크캐리어도 슬래밍 현상을 일으킴으로 선수로부터 높은 파고를 맞고 항해 시는 침로 변경이나 속력 감소 등의 안전 조치가 필요하며, 고속 적재와 이에 따른 하중 초과, 교차 적재, 지나친 선수 트림 상태의 운항을 개선하는 노력이 필요하다.

참고문헌

- 1) BIMCO, BIMCO Bulletin volume 93. No. 3. Jan. '98
- 2) DNV, Guideline for corrosion Protection of Ships No. 92-P001, Feb. 1992
- 3) Fairplay, Fairplay 13 Sept. 1998
- 4) IACS, IACS Booklet (Unified Requirements 17, 18, 19, 20, 22)
- 5) IMO, Analysis of total loss and fatality statistics, Intercargo, MSC 65/INF
- 6) IMO, Consideration and adoption of resolution and recommendation and related

- matters, SOLAS/CONF. 4/25
- 7) IMO, Information on the ramification study of the traverse bulkhead of bulk carriers based on the Japanese proposal and related matters, MSC 68/INF. 19
 - 8) IMO, International Conventions on the Safety of Life at Sea, 1974
 - 9) IMO, International Conventions on the Load Lines 1988, 1997
 - 10) IMO, Justification for proposals prohibiting Bulk carriers to carry high density cargo, Norway, MSC 66/4/3
 - 11) IMO, Proposed amendments to Chapter II-1 of the SOLAS, MSC 67/4/2
 - 12) IMO, Report of the intersessional correspondence group, MSC 66/4
 - 13) IMO, The proposal guidelines on the strength in the flooding conditions for existing single side bulk carriers. MSC 68/4/13
 - 14) Lloyd, Lloyd's list 1 Dec. 1997
 - 15) Maritime Press, Market report 1998. 10. 9
 - 16) Tradewinds, Tradewinds 15 Sept. 1998
 - 17) 미국조선학회, 기본조선학, 1979. 8
 - 18) 운수성 선박국, 미도환사고에 관한 기술검토회 보고서, 소화 56년 11월 20일
 - 19) 울산공대 해양연구실, 연구보고서 "1번창의 침수에 관한 FSA 적용" 1997. 7
 - 20) 울산공대/한국선급 기술연구소, 파형격벽의 최중강도에 관한 실험 및 이론 연구, 1997. 1
 - 21) 윤점동, 거대형선 조선론, 아성출판사, 1983. 8
 - 22) 한국선급, IMO 협약실무지침, 1998
 - 23) 한국선급, 산적화물선의 손상, 1995. 5
 - 24) 한국선급, 선급 및 강선규칙, 1998
 - 25) 한국선급, 선급 및 강선규칙등 적용지침, 1998
 - 26) 한국선급, Brochure "Bilk carrier의 안전을 위한 국제동향" 1997.