

유조선 엑슨발데즈호 좌초사고의 교훈

백 점 기

〈부산대학교 교수〉

1. 서 언

1989년 3월 24일 알래스카 연안에서 발생한 유조선 엑슨 발데즈호 좌초사고의 여파는 아직까지도 가라앉지 않은 느낌이다. 그것은 이 사고에 의한 대량의 기름유출로 인해 해상환경 및 어업자원에 미친 영향때문에서 뿐 아니라 유조선의 사고 발생시 기름유출을 방지 또는 최소화하기 위한 구조설계상의 대책수립에서도 많은 논란을 빚고 있기 때문이다.

특히, 후자는 조선분야에 몸담고 있는 기술자, 연구자들이 반드시 해결해야할 과제중의 하나로써, 우리나라는 전세계 유조선의 상당부분을 설계· 건조해 오고 있다는 점을 감안할 때 이것은 우리나라가 주도적으로 해결해야할 문제가 아닐까 생각한다. 명실공히 세계조선시장을 리드하고 있다는 우리나라로서 단순한 장사속에서 뿐 아니라 지구환경을 보호한다는 차원에서도 이 문제를 깊이 있게 다루어야 할 것이다.

본고에서는 유조선 엑슨 발데즈호 좌초사고의 발생경위와 원인등을 분석하고, 유조선 기름유출 사고를 방지하기 위한 구조설계 측면에서의 몇가지 대책을 소개하고자 한다. 본고를 작성함에 있어 말미의 참고문헌[1~4]을 참조하였다.

2. 유조선 엑슨 발데즈호의 좌초사고

2.1 사고개요

1989년 3월 24일 유조선 엑슨 발데즈호는 알래

스카 연안에서 좌초사고를 당하여 대량의 적재 기름을 유출시켰다. 사고를 당한 엑슨 발데즈호의 개요는 다음과 같다.

- Exxon Shipping사 소유(미국선적, 건조후 2년 경과)
- 214, 861 dwt, 95, 169 G/T
- 길이×폭×깊이×홀수=299×50×27×17 (m)
- 11개의 Cargo Hold /7개의 분리밸러스트탱크
- 단저구조

이하에서는 본 좌초사고의 발생개요를 요약한다.

1989년 3월 23일 21시 30분, 원유운반선 엑슨 발데즈호는 알래스카주 발데즈항에서 원유 20만 킬을 신고 출항하였다. 그림1에 엑슨 발데즈호의 운항경로를 보여주고 있다. 동선박은 그림1의 좁은 수로 A지점을 통과할 때까지는 선장의 지휘하에 알래스카주 소속 Pilot의 안내와 USCG(미국 연안 경비대) VTS(선박 교통 서비스 센터)의 지시를 받으며 항해하였다.

23시 24분경 A지점을 통과한 후 Pilot는 하선하였고, 발데즈항을 출항하기전 상당량의 음주를 했던 선장은 이 항로를 항해하는데 필요한 자격증도 소지하지 않은 당직 3등항해사에게 이후의 조타를 맡긴채 자신은 휴식을 취하기 위해 조타실을 떠났다.

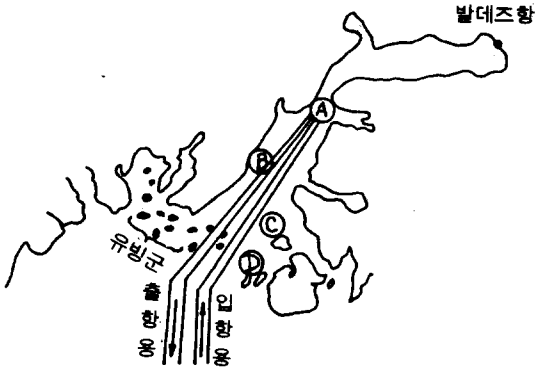


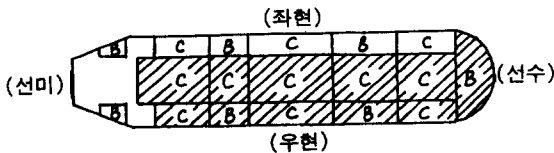
그림1. 엑슨발데즈호의 운항경로

23시 39분경 B지점에 도달했을때 항해사는 수로의 우측에서 대량의 빙하가 떠내려오는 것을 발견하고 이를 피하기 위해 12노트 정도로 속도를 감속하면서 통상항로의 반대편, 즉 입항용 항로 쪽으로 좌회전하여 항해를 계속하였다.

23시 55분경 정상항로에서 약 0.25마일 정도 벗어난 C지점에서 동선박은 암반위를 스쳐 지나가게 되었고, 그 결과 우현쪽 화물탱크의 선저판에 구멍이 생김으로써 기름이 유출되기 시작하였다. 그러나, 항해사는 기름유출을 눈치채지 못한채 항해를 계속하였고 3월 24일 0시 4분경에 D지점에서 암초위에 좌초하고 말았다.

그 결과, 그림2에 나타내는 바와 같이 중앙부 화물탱크 5개와 우현쪽 화물탱크 3개등 모두 8개의 화물탱크 선저부에 구멍이 생겼으며, 2개의 우현 밸러스트탱크 선저판에도 구멍이 생겨 해수가 침수하였다.

기름은 5시간여에 걸쳐 전체 적재량의 약 20%에 해당하는 38,000 kl(약 1,010만 갤론)이 유출하였다. 유출된 기름은 사고 발생지점을 중심으로 9,600평방마일에 걸쳐 해상환경과 어업자원을 극



B : 밸러스트창 C : 화물창
 ▨ 좌초에 의해 손상당한 부분

그림2. 엑슨발데즈호의 좌초손상 부분

심하게 오염시켰다. 이후 엑슨사를 중심으로 민간 합동으로 필사적인 기름 방제작업을 수행하였고, 엑슨사에서는 어느 정도의 방제작업은 완료되었음을 공표하였으나, 특히 이 지역은 한냉지역이기 때문에 겨울철에는 기름의 방제 또는 회수작업을 수행하기 어렵고 장기간에 걸쳐 잔류기름에 의한 환경 파괴가 계속될 가능성이 높다고 전문가들은 우려하고 있다.

이 사고를 계기로 미국정부에서는 미국연안을 향해하고자 하는 모든 유조선은 기본적으로 이중선체(이중저/이중선측) 구조를 채용하고 있어야 한다는 소위 OPA 90 법률안을 통과시켜 현재 발효중에 있다. 또한, 국제해사기구(IMO)에서도 금년 4월의 파리회의에서 OPA 90과 동일한 내용을 전세계 해역에 적용시키는 규정을 확정된 바 있다. 그러나, 문제는 이중선체구조 역시 기름유출을 완전히 방지할 수 있는 대책은 아니라는 데 있으며, 앞으로 계속적인 논란이 예상된다.

2.2 기름의 대량 유출/ 확산 원인분석

전술한 바와 같이 본 사고의 직접원인은 항해사의 조타실수에서 비롯된 것이긴 하나 몇가지 대책이 강구되어 있었다더라면 기름유출 또는 해상오염을 방지 또는 최소화할 수 있었으리라 예상된다. 그것은 선박의 운항측면, 구조설계측면 및 기름유출후의 해상방제처리 측면에서 검토해 볼 수 있을 것이다.

선박의 운항측면에서는 무엇보다 승무원의 고도의 운항기술이 필요하며, 이외에도 운항시스템의 자동화, 또는 육지에서의 항해지원체제 구축등이 요청된다. 본 사고의 경우, 이 지역에서는 특히 2~3월에 걸쳐 유빙군(流氷群)이 빈번히 표류하고 있다는 사실은 이미 알려져 있음에도 유빙군의 정기적인 관측이나 또는 항해선에 대한 통지등이 전혀 이루어지지 않았으며, 그것도 시계(視界)가 극히 제한적인 야간에 항해했다는 점이 사고유발의 원인으로 지적되고 있다.

구조설계 측면에서는 일단 사고가 발생하더라도 기름유출을 방지 또는 최소화할 수 있는 구조배치가 필요하다. 사고유조선의 경우, 선저는 단저구조로 구성되어 있었으며, 만일 충분한 이중저

높이를 가진 이중저구조로 되어 있었다면 기름유출을 방지할 수 있었으리라 예상된다. 특히, OPA 90에서 이중선체구조의 채용을 의무화시킨 것도 이번 좌초사고에서 동선박이 이중저구조를 채용하고 있었다라면 기름유출이 일어나지 않았으리라 판단되기 때문이다(선저 내저판은 손상되지 않는다는 전제하에서).

마지막으로 방제처리측면에서는 일단 유출된 기름에 대한 신속하고 즉각적인 방제체제의 구축이 요청된다. 본 사고의 경우, 동해역에서의 유출유(流出油) 방제체제가 갖추어져 있긴하였으나, 갖추어진 설비는 760 kl(동사고에 의해 유출된 기름의 2%)의 유출사고가 발데즈항으로 부터 약 30 마일 이내에서 발생한 경우에 5시간이내 처리할 수 있는 수준이었고, 그나마 사고 당시에는 방제처리용 바지선등을 수리중에 있었으므로 출동조차할 수 없었다. 방제처리를 위한 작업선등이 사고현장에 도착한 것은 사고발생후 12시간뒤였으며, 이때는 유출유가 광범위하게 확산된 뒤였다.

엑슨 발데즈호의 기름유출 및 해상오염사고는 이상의 3단계 안전장치를 모두 이탈한 최악의 해난사고중의 하나로 역사에 기록될 것이다. 이하에서는 유조선의 사고발생후 기름유출을 방지 또는 최소화하기 위한 구조설계측면에서의 근본대책에 대하여 고찰해 보고자 한다.

3. 기름유출 방지를 위한 유조선 구조

해난사고시 유조선의 기름유출을 방지 내지는 최소화하기 위한 방안으로 기존구조에 분리 밸러스트탱크 설치 또는 화물탱크의 용량/크기 제한 등을 들 수 있으나, 그 효과는 미지수이다. 왜냐하면 엑슨 발데즈호도 분리밸러스트탱크를 배치하고 있었으나, 대량의 기름유출을 막지는 못했기 때문이다. 따라서, 보다 근본적인 대책이 필요하며, 그것은 구조자체를 효과적으로 재배치하는 것이다. 이같은 측면에서 현재까지 이중저/이중선체 구조 및 수평격벽/광폭 이중선체 구조의 2종류의 구조설계 개념이 합리적인 방안으로 제시되고 있다. 여기서는 이들에 대한 구조특성을 고찰한다.

3.1 이중저/ 이중선체 구조

OPA 90 및 IMO에서 규정한 이중선체구조는 이중저/이중선체구조로 되어야 하며, 이중저 높이 및 이중선체 폭은 5,000 dwt 이상 유조선의 경우, 다음과 같이 규정되어 있다.

이중저 높이 h

$$h = B/15(B: \text{선폭}) \text{ 및 } 2.0(m) \text{ 중에서 작은 값 이상}$$

(단, 최소 1.0(m) 이상 일 것)

이중 선체 폭 w

$$w = 0.5 + DW/20,000(DW: \text{Dead Weight}) \text{ 및 } 2.0(m) \text{ 중에서 작은 값 이상}$$

(단, 최소 1.0(m) 이상 일 것)

이중선체 유조선의 좌초 사고는 크게 저에너지 좌초와 고에너지 좌초로 분류할 수 있다. 전자는 좌초에 의해 외저판만이 손상을 입고 내저판은 손상이 생기지 않은 경우이며, 후자는 선저 내/외저판 모두 손상을 입게되는 사고이다. 따라서, 이중 선체 유조선의 경우 저에너지 좌초 사고 발생시에는 기름 유출이 전혀 없다. 그러나, 고에너지 좌초사고 발생시에는 기름 유출이 예상된다. 이 경우의 유출 유량은 대략 다음과 같이 추정할 수 있다.

먼저, 그림3에 나타내는 바와 같이 좌초가 선체 중심선을 중심으로 발생하여 선저 내/외판을 압초가 관통했다고 가정한다. 화물창에 기름이 적재된 경우, 선저 밸러스트탱크는 비어 있으며, 좌초사고에 의해 선저 외저판에 구멍이 생기면 처음에는 해수가 침입하게 되나 내저판에도 구멍이 생기면 화물창의 기름 압력과 해수 압력이 균형을 이룰 때까지 기름은 유출하게 된다. 이때 이들 압력의 평형은 선저 내저판 위치에서

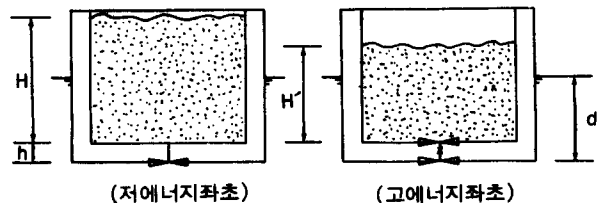


그림3. 이중저/ 이중선체구조 유조선의 좌초시 기름유출

이루어진다고 가정할 수 있다. 따라서, 다음의 관계식이 성립한다.

$$\gamma_w(d-h) = \gamma_o H' \quad \text{또는} \quad H' = \frac{\gamma_w(d-h)}{\gamma_o}$$

여기서, γ_o : 적재 기름의 비중
 γ_w : 해수 비중

따라서, 제i번째 화물창에서의 유출 유량 V_i 는 화물창의 수평단면적을 a_i 라 하면,

$$V_i = a_i(H - H')$$

결국, 선박 전체의 유출 유량 합계 V 는 손상이 생긴 각 화물창의 유출 유량을 합하면 된다.

이상에서와 같이 이중 선체 유조선의 경우, 저에너지 좌초 사고에 대해서는 기름유출이 전혀 없는 대신 고에너지 좌초 사고시에는 기름 유출을 피할 수 없다. 기름 유출을 방지하기 위하여는 압초가 내저판을 관통하지 않도록 할 필요가 있는데, 이를 위해서는 이중저 높이를 보다 높게 하거나 또는 선저 외판 두께를 증대시키는 등 이중저 구조가 좌초에 대해 충분히 견딜 수 있는 개선책이 필요할 것이다.

다음으로, 충돌사고의 경우도 선측외판만이 손상을 입는 저에너지 충돌사고와 선측 내외판이 모두 관통하는 고에너지 충돌사고로 분류할 수 있다. 저에너지 충돌 사고의 경우는 기름 유출이 전혀 없으며, 고에너지 충돌사고시에는 기름 유출이 예상된다.

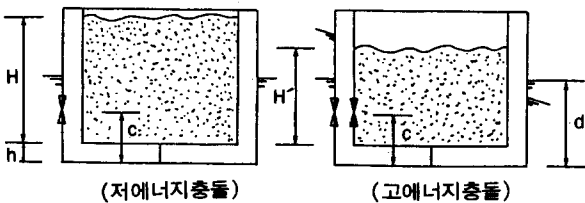


그림4. 이중저/ 이중선측구조 유조선의 충돌시 기름유출

그림4에 나타내는 바와 같이 충돌사고가 발생하면, 해수의 침입 또는 화물창 기름의 유출에 의해 선박은 한 쪽으로 기울어지게 되지만, 이것의 영향을 무시하면, 충돌사고가 발생한 위치

를 선저로부터 c 의 높이라고 할 때 압력의 평형조건으로부터 다음식이 성립한다.

$$\gamma_w(d-c) = \gamma_o(H' + h - c)$$

$$\text{또는} \quad H' = \frac{\gamma_w(d-h)}{\gamma_o} - h + c$$

따라서, 제i번째 화물창의 충돌에 의한 유출 유량 V_i 은 수평 단면적을 a_i 라 할 때 근사적으로 다음과 같이 계산된다.

$$V_i = a_i(H - H')$$

이 경우에도 기름의 유출을 방지하기 위하여는 충돌에 의해 선측내판이 관통되지 않도록 이중 선측 폭을 크게 하는 등의 내충돌(耐衝突)구조로 하여야 한다.

3.2 수평격벽/ 광폭이중선측 구조

유조선의 기름유출방지구조로서 제시되고 있는 개념중에 이중저/이중선측구조와 함께 수평격벽/광폭 이중선측 구조가 있다. 이것의 개념은 수평격벽을 설치하여 선저부의 기름압력을 해수 압력과 동등 또는 그 이하가 되도록 함으로써 좌초발생시에도 기름이 유출되지 않도록 하며, 또한, 광폭의 이중선측 구조를 배치하여 충돌에 의해서도 기름유출을 방지할 수 있는 구조이다. 그림5에는 이의 개념도를 보여주고 있다.

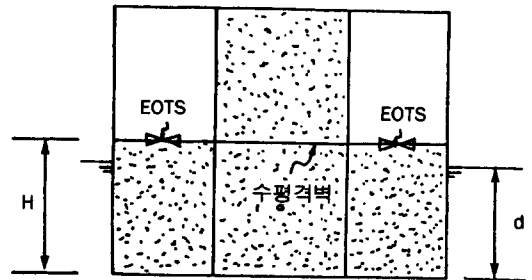


그림5. 수평격벽/ 광폭이중선측구조의 설계개념

그림5에 나타내는 바와 같이 수평격벽을 기본적으로 $H < \gamma_w \cdot d / \gamma_o$ 의 위치에 설치하면 단저구조로 된 선저판에 좌초에 의해 구멍이 생기더라도

도 화물창의 기름 압력이 해수압력 이하이기 때문에 기름유출은 전혀 일어나지 않는다.

이 개념에서는 선저는 단저구조로 구성하며, 그 결과 OPA 90의 이중저 설치 의무화규정에 위배되기 때문에 현시점에서는 이미 발효중인 OPA 90규정을 개정하지 않는 한 수평격벽 설치 유조선은 미국연안을 항해할 수 없으며, 이 점이 현재 논란의 대상이 되고 있다. 또한, 이 구조는 화물창이 상하로 분리됨으로써 기름의 적재 및 하역이 까다로워지는 결점이 있다.

한편, 충돌사고에 의한 기름유출을 방지하기 위해 수평격벽과 함께 그림5에 나타내는 바와 같이 폭이 큰 이중선측구조를 배치하며, 동시에 EOTS(Emergency Oil Transfer System)를 설치한다. 이 구조에서는 수평격벽의 하부는 모두 화물창으로 사용하며, 상부의 중앙탱크는 화물창으로, 양측탱크는 밸러스트탱크로 사용한다. 이중선측의 폭은 B/6~B/5정도(B: 선폭)로서 극히 크며, 충돌에 의해 내측판이 관통되는 경우는 결코 없다. 따라서, 수평격벽상부의 선측에서 충돌이 발생한 경우, 기름유출의 가능성은 거의 없다. 또한, 수평격벽하부의 선측에서 충돌이 발생한 경우는 기본적으로 기름유출이 예상되나 이 경우도 수평격벽에 설치된 EOTS를 작동시켜 충돌이 발생한 하부선측탱크의 적재기름을 상부 선측탱크의 빈공간으로 이동시킴으로써 기름 유출을 방지할 수 있다.

4. 결 언

대형 유조선 엑슨 발데즈호의 좌초사고는 대량의 적재기름을 유출시켰고, 그 결과 해상환경

의 심각한 오염을 초래하게 되어 해양오염방지를 위한 근본적인 대책수립의 필요성을 제기하였다. 구체적으로 모든 유조선은 이중저/이중선측구조를 채용해야 한다는 내용의 OPA 90이 발효중이며, IMO에서도 동일한 내용의 규정을 제정한 바 있다. 그러나, 이들 역시 여러가지 문제점을 안고 있으며, 근본적인 해결책이 아닌 현시점에서의 일시적인 대책에 지나지 않는다.

따라서, 이 문제에 대한 적극적인 연구·개발이 절실하다고 하겠다. 특히 세계 유조선 건조의 상당량을 우리나라가 담당하고 있다는 점을 감안할 때 이 문제는 우리나라가 선두에 나서서 독창적으로 해결해야 할 과제중의 하나라고 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] Skinner S.K., and Reilly W.K., The Exxon Valdez Oil Spill, OSIR, 1989.
- [2] 大坪英臣, 山本孝, 青木元也, タンカー流出油汚染防止について-その1 對座礁性 のための二重底/二重殻の検討-, 日本造船學會誌, 第743號, 1991.
- [3] 大坪英臣, 山本孝, 永井昌太郎, タンカー流出油汚染防止について-その2 中間デッキ付二重船側タンカー-, 日本造船學會誌, 第745號, 1991.
- [4] Paik J.K., Kim C.Y., Kim J.Y., and Jang Y.S., A New Structural Design Concept of Oil Tanker for Oil Pollution Prevention-Concept, Verification Test, Prototype Design and Safety Evaluation-, Proc. PRADS'92, Newcastle upon Tyne, May 1992.

19th Symposium on Naval Hydrodynamics
1992. 8.23~28 HOTEL LOTTE
Seoul, Korea
THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS OF KOREA
Phone : 02-880-7329 Fax : 02-888-9298