



8년여의 세월호 사고원인 규명활동 결과의 정리와 분석 (2/2)

글 : 울산대학교 조상래 명예교수 / srcho@ulsan.ac.kr

제7장 사고원인 규명활동 결과와 이의 비교 검토

본 장에서는 각 조사기구의 위원 구성과 운영방법에 대해 비교하고, 바람직한 운영방법에 대한 의견을 제시해 보았다. 또한 사고 원인과 밀접한 연관이 있다고 판단되는 화물의 과적, 평형수 부족, AIS항적과 횡경사, 출항 당시의 흘수와 GoM, 화물의 고박상태와 화물의 이동, 방향타의 조타, 수중체와의 충돌, 세월호 선체의 손상에 관한 지금까지의 조사결과를 정리하고 이를 검토하였다. 그리고 여객선에서는 반드시 여객들에게 숙지시키고 집합훈련을 해야 하는 비상집 합장소에 관한 의견도 기술하고, 세월호 사고와 관련된 대한조선학회의 활동도 정리해 보았다.

7.1 사고원인 조사위원회의 구성과 운영

7.1.1 위원회 구성

7.1.1.1 각종 위원회의 위원 구성

해양안전심판원 특별조사부: 해양수산부장관 소속인 해양안전심판원은 사람이 사망하거나 배가 본래의 기능을 상실하는 등의 매우 큰 해양사고가 발생하면 심판을 위한 조사와는 별도로 해양사고를 방지하기 위하여 특별조사부를 구성하게 된다. 특별조사부는 해양안전심판원 조사관, 해양사고와 관련된 관계 기관의 공무원 그리고 해양사고 관련 전문가로 이루어진다. 특별조사부의 최종보고서[5]에는 조사에 참여한 전문가가 누구인지를 밝히고 있지 않다. 앞으로 가능하면 사고조사에 어떤 전문가들이 참여하였는지 참여자의 이름을 밝히는 것이 좋겠다.

특조위/선조위/사참위: 특조위는 전체 위원 17명 중 언론 전문가 1명과 위기관리 전문가 1명을 제외한 15명이 모두 법조인이다. 위원회의 업무에 세월호 참사의 사고 원인규명이 명백히 포함되어 있음에도 불구하고 위원 17명 중 15명이 법조인이라는 것은 수긍하기가 어렵다. 이런 구성으로는 세월호의 침몰사고 원인 규명을 위한 조사 활동이 옹기종기 진행되기 어렵게 될 것이 쉽게 짐작된다.

선조위는 8명의 위원으로 구성되었고, 위원들의 전문 분야는 조선공학 3명, 항해학 3명 그리고 법조인이 2명이었다. 사고원인을 규명하고자 하는 목적을 달성할 수 있는 적절한 구성이라고 생각된다.

사참위는 가습기살균사건과 4·16세월호참사를 모두 다루었기 때문에 세월호 침몰사고 원인규명의 관점에서만 판단하기는 어려운 측면이 없지는 않다. 사참위는 9명의 위원으로 구성되었다. 초기에는 9명의 위원이 모두 활동하였고 전문 분야도 다양하였다. 감사원공무원, 사회운동가, 정무직공무원과 내과교수가 각 1명이었고, 신문기자가 2명, 변호사가 3명이었다. 하지만 조선공학이나 항해학 분야 전문가는 없었다. 또한 중간에 위원의 교체가 자주 있었으며, 위원회 활동의 마무리 시점에서는 6명의 위원만 활동하였고, 위원장을 제외한 나머지 5명의 위원은 모두가 변호사였다.

7.1.1.2 위원회의 바람직한 구성

해양사고의 원인을 규명해야 하는 위원회라면 우선적으로 조선공학과 항해학 분야 전문가가 위원에 포함되어야 한다. 특별법에 의해 구성된 특조위와 사참위의 경우에도 이 분야의 전문가를 모실 수 있도록 길이 열려 있었다. 하지만 추천 단위별 추천자의 조율이 옹기 이루어질 수 있는 기회를 갖지 못한 결과라고 짐작된다. 선조위의 경우는 누군가가 조율을 한 결과인지 비교적 전문 분야의 균형이 있도록 추천되어 구성이 괜찮았다고 판단된다. 세월호 사고의 경우 선박조종, 침수해석과 구조강도 분야 전문가가 우선적으로 포함이 되었더라면 훨씬 효과적으로 사고조사 활동이 이루어질 수 있었지 않았을까 하는 아쉬움이 있다.

이즈음에서 홍성욱의 논문 '선택적 모더니즘(elective modernism)의 관점에서 본 세월호 침몰 원인에 대한 논쟁'[39]을 잠깐 소개할 필요가 있겠다. 이 논문에서 저자는 세월호 원인 분석에 누가 참여해야 하는가 라는 문제를 다루고 있다. 기술과 관련된 사회적 논쟁을 기술적 국면과 정치적 국면으로 나누고 기술적 국면은 전문가와 상호작용전문가(interactional expert)만이 논의하고, 정치적 국면에서는 기술적 국면의 결론을 최대한 고려하여 정치적 결정을 내리는 방법을 제시하고 있다. 여기에서 상호작용전문가는 전문가의 지식이나 대화를 온전히 이해하고, 전문가 간의 갈등을 토론을 통하여 해결할 수 있는 사람을 뜻한다. 이번 세월호 조사활동을 통하여 갈등 당사자들이 신뢰할 수 있는 상호작용전문가의 역할이 매우 중요함을 확인할 수 있었다. 하지만 상호작용전문가는 구체적인 조사활동을 직접 수행하기는 어렵다.

7.1.2 위원회의 운영

해양안전심판원 특별조사부는 해운법[40], 해사안전법[41], 선박안전법[42]과 복원성기준[43] 등의 위반 사항을 중심으로 조사하였고, 특조위는 피해자들이 조사를 신청한 신청사건을 위주로 활동하였다. 이후에 구성된 선조위는 위원회에서 조사하기로 정한 직권사고를 위주로 조사활동을 하였고, 사참위는 선조위에서 사고원인으로 제시한 '내인설'과 '열린안'에 대한 심층 조사를 하였다. 사고원인 규명의 보다 합리적이고, 보다 과학적인 수행을 위해 두 가지를 제안하고자 한다. 하나는 후보 사고 시나리오의 도출이고, 또 하나는 변수의 분산을 고려한 확률적 사고조사이다.

7.1.2.1 후보 사고 시나리오 도출

해양사고의 원인을 조사하는 위원회가 구성되면 우선적으로 해야 할 업무가 사고 시나리오의 후보를 도출하는 것이다. 사고 시나리오의 후보를 도출하는 과정을 자세히 보여주는 예로 산적화물선인 Derbyshire호 침몰사고 조사보고서[20]와 군함인 천안함 침몰사고보고서[44]를 들 수 있다. 조사작업의 초기에는 가능성이 조금이라도 있다고 판단되는 후보 시나리오를 모두 열거한 다음 사고조사가 진행됨에 따라 하나씩 지워가고 있다. 이 방법이 과학적이고 합리적이라고 판단된다.

사고가 난 배의 자매선(sister ship)이 있다면 우선적으로 자매선의 상태를 조사하면 후보 시나리오 도출에 많은 도움이 될 수 있는 정보를 얻을 수 있을 것이다. 자매선의 상태를 조사하여 활용한 예로 Derbyshire호 침몰사고[20]와 컨테이너운반선인 MOL Comfort호 침몰사고[45]를 들 수 있다. 세월호의 경우는 개조를 하였기 때문에 세월호의 자매선은 없지만 개조하기 전 일본에서의 선명인 Naminoue호의 자매선은 Ariake호가 있었다. Ariake호는 2009년 11월 13일 05:06시에 Mie현 Kihosi에서 남동쪽으로 약 20마일 떨어진 해역에서 좌현 45도 방향에서 오는 파고 6.9m인 파도를 만나 우현으로 심하게 기울어진 후 전복되어 좌초되었다[46]. 횡경사각이 25도 정도에 달했을 때 화물의 이동이 시작되었을 것으로 추정하고 있다. Ariake호 전복사고 당시의 해상상태가 세월호의 경우와는 차이가 있지만 세월호 사고시나리오 후보의 도출 작업에 도움이 될 수 있다.

또한 같은 선종의 배, 특히 비슷한 크기인 배의 사고사례를 참고하는 것도 후보 시나리오 도출의 시작 단계에서는 많은 도움이 될 수 있다.

7.1.2.2 확률적인 접근

세월호와 관련된 대부분의 보고서에서는 변수들을 값을 한 가지 값으로 확정하고 조사를 진행하고 있다. 예를 들면 화물이 이동하기 시작하는 한계 횡경사각은 18도로 가정하고 이후의 해석을 수행하고 있다. 물론 이 값을 가정하는 데에는 나름의 배경 설명이 가능할 것이다. 하지만 이 각도가 17도가 될 가능성도 있을 것이고 19도가 될 가능성도 있을 텐데 이런 가능성도 고려할 필요가 있을 것이다. 화물의 이동은 화물과 갑판 바닥의 마찰계수와 밀접한 관계에 있고, 이런 마찰계수는 습도에 크게 좌우된다. 다른 표현으로 한다면 우리가 가정하는 물리량에는 다소간의 불확실성을 내재하고 있다는 것이다. GM을 몇 개의 특정된 값으로 가정하는 것도 마찬가지로 일 것이다. 과연 이 방법이 적절한 것일까 하는 의문이다.

최근에는 이런 확정적접근(deterministic approach) 보다는 확률적접근(probabilistic approach)을 권장하고 있다. 확률적접근을 하자면 설계변수의 확률적 특성(평균과 분산)을 알아야 한다. 만약 변수의 확률적인 특성을 알기가 어렵다면 설계변수의 범위를 가정하고 분석을 진행하는 것도 바람직한 대안이라고 생각된다. 사고원인 규명에서 변수의 확률적인 특성을 고려한 예를 MOL Comfort호 사고 원인 조사[45]에서 볼 수 있고, 변수의 범위를 가정하여 접근한 예는 세월호 선외에 대한 수치해석 논문[47]에서 볼 수 있다. 이렇게 사고 원인 규명 작업에 있어 확률적인 접근을 한다면 보다 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

7.2 과적과 평형수 부족

세월호는 개조로 인해 화물의 최대 적재량이 1,450톤 감소한 987톤으로, 그리고 선박평형수는 1,333톤 증가한 1,703톤을 적재하여야 하는 것으로 승인되었다. 최대 승선 인원은 116명 증가한 956명이었다. 하지만 출항 당일에는 화물 2,214톤(사참위 추정값)이 적재되었고, 선박평형수는 793.5톤(선조위 '내인설'과 '열린안'의 평균)만 적재되었다. 그리고 승선인원은 476명이었다. 화물은 무려 1,227

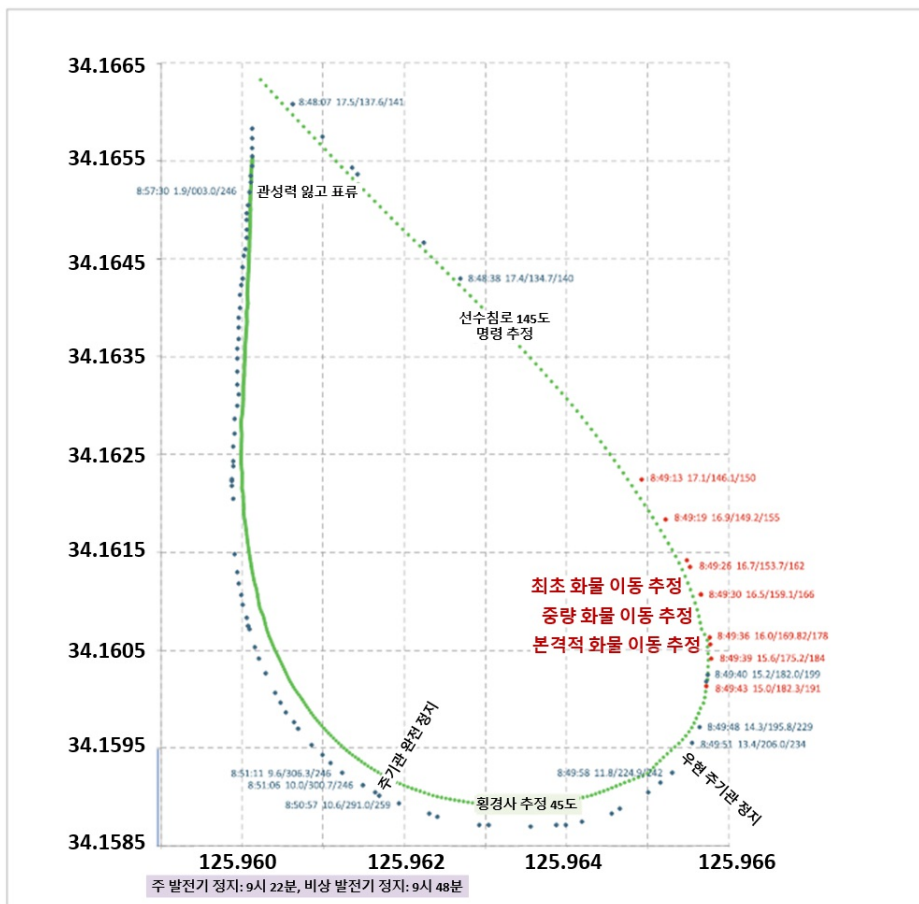
톤이 과잉 적재되었고, 선박평형수는 1,010톤이 적게 적재되었다. 과적이 관행이었다는 표현이 여러 보고서에서 나오는데 이런 표현은 잘못된 것이다. 화물과 평형수를 승인받은 기준을 지켜 적재하였더라면 세월호 사고는 일어날 수 없었다. 이런 큰 사고의 원인을 제공하는 행위가 관행이 될 수는 없다.

7.3 AIS항적과 횡경사

세월호 사고원인 규명 작업에 있어 사고 당일(2014년 4월 16일) 08시 48분경에 왜 선수가 갑자기 우현으로 돌아가면서 좌현으로 심하게 기울어졌는지를 설명하는 것이 가장 어려운 과제이다. 급작스러운 우회전과 급격한 좌현 경사의 실체를 먼저 정리하였다.

7.3.1 항적도

사고조사 초기에 많은 문제를 야기한 것이 AIS(Automatic Identification System)항적이다. AIS는 선수 방위, 속력, 배의 운항정보를 다른 배나 해상교통관제센터(Vessel Traffic Service: VTS)에 제공해 주는 항해 장비이다. 사고 직후 해양수산부가 세 차례나 발표한 항적도의 문제점이 계속적으로 지적되어 여러 의구심을 갖게 하였고, 심지어는 자료 조작이라는 오해를 받기도 하였다. 타임스탬프(time stamp, 송신시간 표시)의 오류, 자이로 콤파스의 오작동, VTS기지국 통신용량 제약 등의 이유로 인한 오류로 정리되었다. 선조위는 이런 문제점들을 다 보정하여 그림 13과 같은 세월호의 사고 당시 AIS항적도를 제시하였다. 이 항적도는 이후에 수행되는 자유 항주 시험이나 이론적 추정 기준으로도 사용되었다.

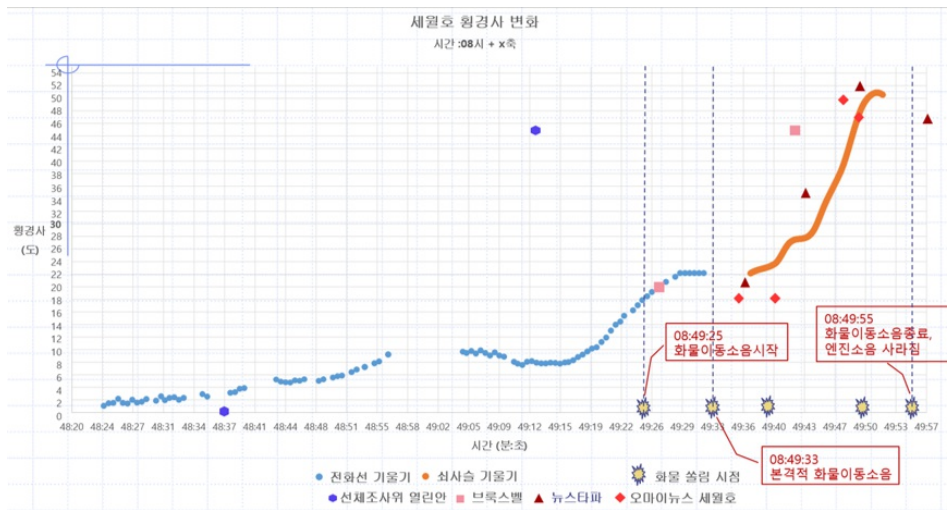


<그림 13 선조위가 보정하여 작성한 사고 당시 세월호의 AIS 항적도([6]의 그림2-24, 그림 2 재수록)>

7.3.2 횡경사

선조위[6,7]와 사참위[34]의 활동으로 좌현 횡경사가 50도 정도가 될 때까지의 세월호의 시간별 횡경사는 비교적 객관성 있게 잘 정리되었다. 사고 당일 08시 48분 24초(횡경사 대략 2도)부터 08시 49분 30초(횡경사 22도)까지의 자료는 CCTV영상을 복원하여 선내 매점에 설치된 전화기의 전화선 기울기로부터 얻었다, 그리고 08시 49분 36초(횡경사 대략 22도)일 때부터 08시 49분 51초(횡경사 대략 50도)까지는 C갑판 오른쪽 앞에 선적된 차량의 블랙박스 녹화 영상을 복원하여 벽면에 매달린 쇠사슬 기울기로부터 얻었다.

그림 14에는 횡경사의 변화에 소음 정보를 같이 보여주고 있다[48]. 이 그림으로부터 화물이동이 횡경사가 몇 도일 때 발생했는지를 참고적으로 알 수 있다.



<그림 14 화물 이동 소음을 같이 표시한 세월호의 횡경사 변화[48]>

7.4 출항 당시의 흘수와 GoM

사고 당시의 배수량이 얼마였고, 높이방향 무게 중심(KG) 그리고 길이방향의 무게 중심(LCG)이 얼마였는지를 추정하는 것이 세월호 사고원인 규명 작업의 시작이라고 할 수 있다. 제6장의 표13과 표 14에는 각 조사기구에서 추정하는 출항 당시와 사고 당시의 배수량과 높이방향 무게 중심(KG) 등이 비교되어 있다. 이 표에서 제시하고 있는 값들은 측정된 것은 아니고 관련 자료를 활용하여 추정한 것이다.

Brookes Bell[23]에서는 세월호 출항 직전의 인천항 CCTV영상을 분석하여 출항 직전의 흘수를 제시하였다. 4월 15일 21시 01분 37초의 영상으로 판독한 중앙부 흘수는 기선(base line)에서 6.55 m 높이에 있는 방현재(fender)에서 0.4m 정도 아래인 약 6.15m로 판독하였다. 그리고 21시 02분 15초의 영상으로 판독한 선수부 흘수는 기선(base line)에서 6.2 m 높이에 있는 방현재(fender)에서 0.3m 정도 아래인 약 5.9m로 판독하였다. 따라서 세월호는 출항 당시에 선미 중경사가 0.5m가 된다. 선미 흘수는 세월호의 선미가 돌출형(overhang)이라 판독하지 못했다.

그리고 선미램프가 펼쳐져 있을 때(20시 54분 16초)와 선미램프를 완전히 폐쇄하였을 때(20시 56분 05초)의 D갑판과 C갑판 사이의 높이 변화로부터 횡경사각이 2.7도가 됨을 밝혔다. 선미램프의 폐쇄로 인해 발생하는 횡경사모멘트와 횡경사각으로부터 GM(GoM의 오기로 판단됨) 값이 약 0.6m이 됨을 추정하였다. 이 값은 GoM의 추정값들을 평가할 때 기준으로 삼을 수 있는 것으로 판단된다.

최종적으로 Brookes Bell은 사고 당시의 평균흘수 6.114m, 선미중경사 0.528m 그리고 GM(GoM의 오기로 판단됨) 0.497m로 추정했다([23] 10쪽).

7.5 고박 상태와 화물의 이동

세월호의 사고 당시의 화물을 고정시키는 고박 상태와 좌현 횡경사로 인한 화물의 이동은 밀접한 연관이 있다. 본 절에서는 고박 상태와 화물 이동에 관해 여러 보고서에서 언급한 내용을 정리하였다.

7.5.1 고박 상태

선박안전법[42]에서는 화물적재고박지침서를 마련하도록 되어 있고, 화물적재고박 등에 관한 기준[49]에 화물적재고박지침서의 작성 기준이 제시되어 있다. 세월호에는 화물적재고박지침서에 따라 갑판별로 고박배치도가 준비되어 있었다. 하지만 세월호가 사고 전날 인천항을 출발할 때의 고박상태는 이 지침이 전혀 지켜지지 않았다.

해양안전심판원 특별조사부 보고서[5] 35쪽에서는 아래의 사항을 지적하고 있다.

- 차량 바퀴에 버팀목을 대었지만 고박 밴드는 기준보다 적게 사용
- 선수갑판에 2단으로 적재된 컨테이너의 경우 twist lock이나 bridge fitting을 사용하지 않고 로프로 컨테이너 모서리 구멍을 연결
- 한국선급으로부터 10피트 규격의 컨테이너를 적재하는 것으로 승인받았으나 8피트 규격의 컨테이너를 D갑판과 E갑판에 적재함으로써 일부 모서리(corner fitting)가 선체의 컨테이너 고정부(sliding base, twist lock)에 고박할 수 없어서 로프로 고정

인양 후 선체를 조사한 후에 작성된 선조위 '내인설' 조사보고서[6] 49쪽 ~ 52쪽에도 다음과 같이 화물적재 및 고박상태의 불량함을 지적하고 있다.

- D갑판 앞쪽에는 고정식 고박장치가 설치되어야 하나, 설치되어 있지 않음.
- 트윈갑판에는 차량을 12대 적재하도록 허가를 받았으나 33대를 적재.
- 선수갑판에 45개의 컨테이너가 쌓여 있고, 컨테이너 사이사이에 철제 빔, 파이프, 철근 등이 적재.
- C갑판에 100대 가까운 차량이 적재되었으나 절반 이상의 차량은 고박장치가 체결되지 않았고, 허가를 받지 않은 트럭도 적재되었으며 차량을 실을 수 없는 경사로에 7대의 차량 적재.
- D갑판 앞쪽에는 그림 13과 같이 73.48톤의 대형드 라이어 1대와 40톤의 드라이어 2대 그리고 12.6톤인 시멘트 파우더 트럭이 적재

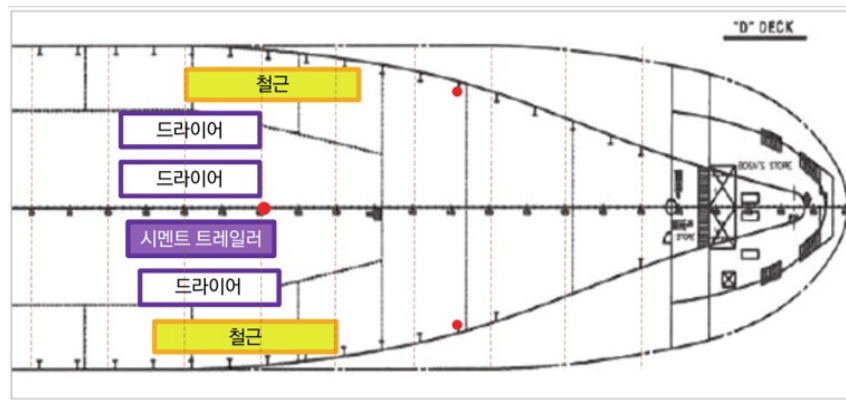
되었음. 이 드라이어들은 4월 14일 세월호와 인천-제주를 오가던 오하마나호가 적재를 거부한 화물임.
 - E갑판에는 컨테이너를 적재할 수 없으나 고박장치가 없이 30개의 컨테이너가 적재됨.

7.5.2 화물이동

살펴본 바와 같이 세월호의 화물 고박상태는 횡경사가 좀 심해지면 쉽게 미끌어져 이동할 수 있는 상황이었다. 횡경사가 발생했을 때 D 갑판의 화물이동을 포착한 영상은 없었다. 하지만 C갑판과 트윈갑판의 화물이동이 기록된 7대 차량 블랙박스의 영상과 음성을 근거로 화물이동 상황을 추정할 수 있었다. Brookes Bell은 최초의 화물 이동이 시작한 위치와 원인을 참고문헌 [26]의 제9장(Analysis of Cargo Shift)에서 자세히 설명하고 있다. 이를 간략히 요약하면 다음과 같다.

그림 15에서 볼 수 있듯이 D갑판 앞쪽 우현과 좌현에는 외판 가까이에 136.29톤이 되는 철근이 적재되어 있었다. 적재된 철근과 철근을 올려놓은 철제 팔레트 사이와 철제 팔레트와 강제 갑판 사이에는 별도의 깔개가 없이 강재와 강재가 직접 접촉한 상태였다. 사고 당일 08시 49분 26초 전후에 발생한 굉음은 철근더미를 고박했던 체인이 파손되는 소리로 Brookes Bell은 추정하고 있다. 고박이 풀린 철근은 우현 선측의 바로 옆에 있던 대형 드라이어의 고박장치와 부딪혔을 것으로 판단하고 있다. 대형 드라이어와 트레일러는 합한 무게가 73.48톤이고 대형 드라이어는 고박장치로 인정받을 수 없는 체인블록 2개만으로 트레일러에 부적절하게 고박되어 있었다. 고박장치가 풀린 트레일러와 드라이어는 좌현 쪽으로 이동하면서 시멘트 트레일러와 작은 드라이어를 연속적으로 이동시켰을 것으로 추정하고 있다. 대형 드라이어와 트레일러를 묶은 체인이 파손될 때의 좌현 횡경사각은 20도 정도로 추정하고 있다. 나중에 보았던 횡경사각(그림 14참조)에 의하면 18도 정도에 해당한다.

참고문헌 [26]의 56쪽에 제시한 표에 의하면 강재와 강재가 직접 접촉하면 두 표면이 건조할 때(dry)는 마찰계수가 0.1이고, 표면이 젖어 있으면(wet) 마찰계수가 0.0이 된다. 안개로 출항이 연기되었던 점을 감안하면 사고 당시의 마찰계수는 0.1과 0.0 사이의 값일 수 있겠다.



<그림 15 D갑판 앞쪽의 중량 화물 배치도 ([6]의 그림 1-28)>

7.6 방향타의 조타

지금까지의 조사활동 결과에 의하면 횡경사가 좌현 18도 정도가 되면 화물의 이동이 시작되고 이 이후에는 대부분의 화물이 이동하기 시작하여 20초가 경과되지 않아 횡경사는 50도 가까이 되고 침수가 시작되었다고 정리할 수 있다. 그러면 어떻게 횡경사가 좌현 18도가 되었는지를 설명하는 시나리오가 아직 정리되지 않았다. 사고 당시의 방향타의 각도는 어떠하였는지 여러 보고서에서 제시된 조타 시나리오를 검토하였다.

7.6.1 중앙해양심판원 특별조사부 보고서 [5]

2014년 4월 16일 08시 48분경 세월호 침로가 140도로 경침된 것을 레이더 화면으로 확인한 3등항해사는 당직 조타수에게 세월호 침로를 145도로 추가 변침하도록 지시하였다. 변침을 지시하고 수 초 후 당직 조타수가 방향타가 이상하다는 취지의 말을 하였으며, 배가 좌현으로 심하게 기울어지며, 선수가 우측으로 많이 회두하는 것을 인지한 3등항해사는 방향타를 좌현으로 사용할 것을 지시하였다([5]의 40쪽). 그리고 세월호 침몰 직전에 촬영된 방향타는 좌현 8도로 돌아가 있었다(그림 5참조). 140도로 변침할 때까지 잘 작동하였던 방향타가 왜 추가로 5도 조타할 때는 지시대로 작동하지 않고 또 침몰 직전에는 방향타가 좌현 8도가 되었는지에 대한 설명이 필요하다.

특별조사부 보고서[5] 118쪽에는 사고원인의 하나로 부적절한 조타에 의해 급선회와 과도한 선체 횡경사 발생했다고 기록되어 있다. 검찰이 법원에 제출한 합동수사본부 자문단 보고서도 이와 같은 의견이었다([6]의 81쪽). 1심에서는 이 의견이 받아들여졌으나 광주고등법원이 맡은 2심 재판(2015년 4월)에서는 조타기의 고장이나 오작동 가능성을 배제할 수 없다고 판단했다. 2015년 11월 대법원도 세월호가 급선회하여 사고가 발생한 원인을 명확히 알 수 없다는 고등법원의 판단을 받아들였다.

7.6.2 선조위 보고서

7.6.2.1 '내인설'보고서[6]

선조위 '내인설'보고서([6]의 97쪽)에서는 사고 당시 두 대의 타기가 모두 작동 중이었고, 인천행일 때 주로 사용하는 2번 타기의 솔레노이드 밸브의 고착으로 우선회가 발생하였다고 설명하고 있다. 또한 세월호가 많이 기운 다음에 3등항해사가 2번 타기펌프의 정지 버튼을 눌러 2번타기를 정지시키고 작동 중인 1번 타기(제주행일 때 주로 사용) 펌프에 좌현 조타신호가 전달되어 방향타가 좌현으로 이동

되었다고 설명하고 있다.

7.6.2.2 반론

‘내인설’ 보고서의 주장에 대한 반론(권영빈, 이동권, 장범선 위원)이 보고서의 부속서 - II [14]에 수록되어 있고, 그 내용은 다음과 같다. 출항 당시 타기 펌프 2대를 사용하던 중, 1대를 정지하는 것은 3등항해사의 역할이 아니었기 때문에 누가 언제 인천항에 주로 사용하는 타기 펌프 1대를 켜는지 3등항해사가 알지 못하는 것이 당연하다. 3등항해사는 2014년 4월 16일 세월호 참사 당시 제주항 타기 펌프 1대만 사용했다고 진술했다. 따라서 인천항 타기 펌프의 솔레노이드 밸브의 고착은 세월호 침몰과 무관하다.

7.6.3 사참위 보고서

사참위는 종합보고서[8] 76-77쪽에서 모형시험과 해석 그리고 선원 진술을 종합해 볼 때 세월호 우현급선회는 타기장치 고장으로 인해 발생했을 가능성이 매우 낮으며 다른 변수가 없다면 솔레노이드 밸브 놀림 현상은 횡경사 발생시점과 신체인양 시점 사이에 알 수 없는 외부 충격으로 인해 일어났다고 볼 수 있다고 판단하였다. 복원성이 취약한 세월호가 솔레노이드 밸브 고착이 우선회를 유발했다는 부분의 가능성은 매우 낮다는 결론을 내렸다. 또한 수중체 추돌로 세월호가 침몰했다는 설의 근거가 부족함을 확인하였다([8]의 89쪽).

7.7 수중체와의 충돌

선조위 ‘열린안’ 보고서[7]와 사참위 보고서[8]의 상당 부분이 수중체와의 충돌 시나리오에 대해 다루고 있다. 이제는 이 시나리오를 계속 유지할 것인지 아니면 폐기할 것인지를 결정하기에 필요한 정보가 충분히 확보되었다고 판단된다. 수중체가 세월호와 충돌(추돌의 경우를 가정하고 있음) 하면 어떤 현상이 나타나게 되고, 그 현상이 과연 세월호의 경우에 부합하는지를 따지면 되겠다.

7.7.1 MARIN의 자유 항주시험

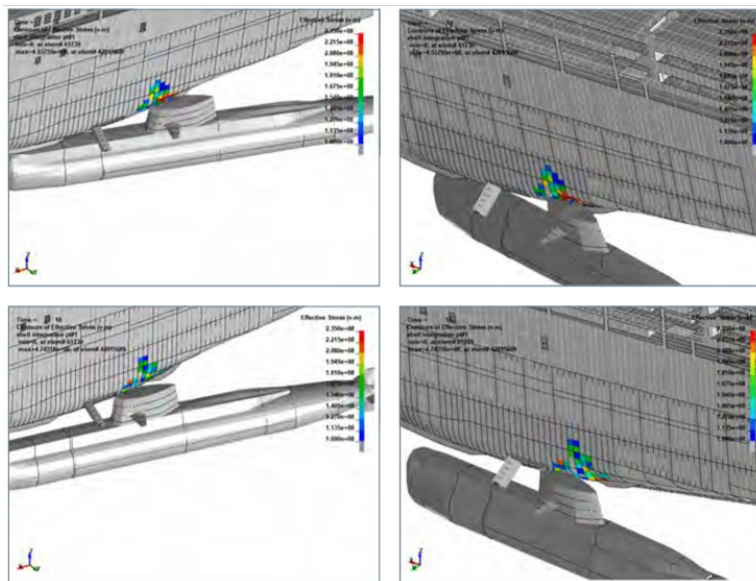
이 글 제5장과 제6장에서 언급하였듯이 선조위와 사참위는 네덜란드의 MARIN에 충돌로 인해 좌현 핀안정기에 발생하게 되는 힘을 모사할 수 있는 원치를 설치하고 수행하는 여러 차례의 자유항주시험을 의뢰하였다. 이 시험을 결과 핀안정기에 힘을 가하면 선회율은 증가하게 되나, 횡경사각은 감소하고 모델의 속도가 증가한다. 이 사실은 선회율이 증가하면서 횡경사각도 증가하고 속도가 감소하는 세월호의 사고 당시의 거동과 그 경향이 일치하지 않는다.

7.7.2 충돌로 인한 손상

배와 같은 박판구조물(thin-walled structure)이 충돌로 인한 충격을 받게 되면 접촉한 충돌체가 어떤 형상을 가졌는지를 짐작할 수 있는 손상의 형상을 보여 준다. 이것이 배의 충돌사고를 판단할 수 있는 특징이다.

선조위 ‘열린안’ 종합보고서[7] 179쪽에 다음과 같이 핀안정기의 손상에 대한 조사 결과가 정리되어 있다. ‘좌현 핀안정기에 어떤 외부의 힘이 어떤 방식으로 가해졌는지 파악하기 위해 육안과 내시경 카메라를 통해 조사하였으나 핀안정기 내부와 외부에서 외력의 충격으로 생긴 손상의 흔적은 발견하지 못했다.’라고 기술되어 있다. 따라서 수중체와 세월호 좌현 핀안정기와는 충돌로 인한 접촉이 없었다고 할 수 있다.

사참위 진상규명소위원회 보고서[34]의 그림 1-46을 옮겨온 것이 그림 16이다. 이 그림은 수중체와 좌현 핀안정기 약간 뒤쪽의 선체와 충돌하는 상황을 수치해석한 것으로 짐작된다. 이 그림이 현실성이 없어 공학적인 의미를 가질 수 없는 이유 세 가지를 다음과 같이 들 수 있다.



<그림 16 수중체의 추돌 거동과 손상 응답([34]의 그림 1-46, 그림 9 재수록)>

- 이 그림의 수중체는 형상으로 볼 때 잠수함일 것으로 사료된다. 선체와 접촉하는 잠수함 핀(fin)구조물의 외피는 잠수함의 유체역학적 성능을 향상시키기 위한 것이다. 재료는 보통 탄소섬유 강화플라스틱(carbon fiber reinforced plastic)을 사용하고 그 강도는 수심 20m 전후의 수압에 해당하는 압력을 견디도록 설계하고 있다. 이 그림에서 천연색으로 나타나는 부분은 응력이 커서 손상이 발생하는 부분으로 판단된다. 세월호의 하부 선체와 잠수함의 핀구조물이 충돌하면 아마도 세월호 선체 보다 핀구조물의 외피가 먼저 깨지고 핀구조물 내부에 있는 파이프나 원통구조물과 선체가 접촉할 것으로 예상된다.

- 세월호의 핀구조물과는 접촉을 하지 않는다는 뜻은 수중체의 운동에너지가 모두 소진되어 세월호 핀구조물 직전에서 수중체가 정지하였다는 뜻이다. 수중체가 세월호의 선저 외판에만 접촉하여 손상을 입히고 핀구조물에는 손상을 입히지 않기 위해 접촉 직전에 정지하였다는 뜻이다. 어떻게 이런 조절이 가능한지 잘 이해되지 않는다.
 - 세월호가 좌현 핀안정기 직전에서 수중체가 운동을 멈추었다면 사고 당시가 아침식사 시간임을 감안하면 정지한 수중체를 본 사람이 나타나야 할 것이다. 그러면 세월호 핀안정기 바로 앞에서 멈춘 수중체는 어디로 사라져야 하는가?
- 지금까지 조사한 결과를 종합하면 좌현 핀안정기에 수중체와의 충돌 흔적이 없고, 선체에 발생한 손상도 수중체와의 충돌 손상이 아님이 밝혀진 것이다. 따라서 이제는 수중체 충돌 시나리오는 세월호 사고원인 시나리오 후보에서 제외시켜야 한다고 생각한다.

7.8 세월호 선체의 손상

선조위는 외력 검증 TFT를 구성하고 운영하였다. 외력검증TFT의 주요 작업 중의 하나가 좌현 핀안정기 점검 작업이었다. 또한 사참위에서는 직립상태의 내외부 선체 손상을 면밀하게 조사하였다.

7.8.1 좌현 핀안정기축의 과회전

좌현 핀안정기는 인양 과정에서 리프팅 빔 거치 작업에 방해가 된다는 이유로 절단되었고, 인양 후 조사에서 핀 경사축(shaft)은 최대 허용 각도인 25도보다 25.9도를 초과한 50.9도였다. 핀안정기 축의 접촉면인 내부 보스와 핀안정기 축 표면의 육안검사 결과 양쪽 접촉면에서 원주 방향으로 긁힌 자국(scratch)이 과도한 외력에 의해 강제 회전되었을 때 나타나는 현상으로 판단하였다. 외력검증 TFT는 핀안정기 축에 과도한 외력이 작용할 수 있는 시나리오로 다음의 두 가지를 검토하였다([15]의 61쪽).

- 운항 중 외부 물체와 충돌 시 핀안정기에 외력이 작용
- 착저시 회전 발생: 착저시 지반 관입 과정에서 핀안정기에 외력이 작용

이제는 수중체 충돌 시나리오는 해당이 없으므로 첫 번째 시나리오는 제외하고 두 번째 시나리오에 대한 추가 검토를 할 필요가 있겠다. 그리고 외력검증 TFT가 고려하지 않은 다음의 시나리오를 검토의 대상에 포함할 필요가 있다고 판단한다.

- 착저 후 핀안정기가 관입이 된 상태에서 조류력 등이 작용하여 선체가 회전

7.8.2 선체 내·외부의 손상 원인 규명

사참위는 직립된 세월호 선체 내·외부를 레이저 스캔장비와 디지털 카메라를 사용하여 자세한 손상 정보를 확보하였다. 이런 손상의 원인이 무엇인지를 규명하기 위해서는 보다 고급의 구조해석 기술을 동원하여 손상을 추정하여야 할 것이다. 심한 손상을 유발할 가능성이 있는 상황은 다음의 경우를 고려할 수 있겠다[50].

- 착저 손상: 침몰 후 착저과정에서 해저면과 좌현 선체가 접촉하는 과정
- 관입 손상: 해저면에 핀안정기가 관입된 후 조류 등에 의해 선체가 이동하는 과정
- 인양 손상: 인양보(lifting beam)를 이용한 인양과정
- 직립 손상: 직립과정

7.9 비상집합장소(muster station)

해양안전심판원 특별조사부의 보고서[5] 95쪽에 다음과 같은 내용이 있다.

'사고 당시 바다가 잔잔하였고, 수온이 약 12도로 생존에 급박한 위험을 초래하지 않았을 것이고, 주변에 구조 세력이 많이 있었던 점 등을 고려하면, 사고발생 후 선장 등이 일반적인 선원의 상무에 따라 여객을 적절하게 대피시켰다면 인명 손실은 없었거나 있었더라도 극소수에 그쳤을 것으로 예상할 수 있다.'

출항 시의 과적, 평형수 과소 적재 등의 과실이 있었다 하더라도 만약 적절한 시기에 선장이 승객들에게 비상집합장소로 이동하라는 지시가 하였더라면 아마도 인명 손실이 없었거나 있었더라도 극소수에 그쳤을 것이라는 의견에 동의한다.

여객선에는 비상시에 여객들이 집합할 장소를 미리 정하게 되고, 이를 여객들에게 안내하여야 한다. 비상집합장소는 보통 구명정과 같은 구명장비가 거치된 곳 부근의 갑판으로 정하게 된다. 세월호에도 A갑판 양현과 B갑판 좌현 쪽이 비상집합장소로 지정되어 있었다.

7.10 세월호 사고와 대한조선학회

홍성욱의 논문[39] 132쪽에는 다음과 같은 문장이 있다.

'2014년부터 2019년까지 조선해양 분야의 전문가들이 출간한 논문들은 세월호 침몰 원인에 대해서 외력을 상정하지 않았지만, 그렇다고 원인 자체를 탐구해 들어가지도 않았다. 이런 문제를 다룰 가장 공신력있는 기관인 대한조선학회도 세월호 침몰 원인에 대해서는 침묵을 지켰다.'

해양사고의 원인규명 활동과 가장 가까이 있어야 할 조선해양공학 전문가들의 모임인 대한조선학회는 세월호 사고의 원인규명 활동과 관련하여 무엇을 했는가에 대해 다시 생각하게 하는 글이다. 그동안 회원 개인적인 차원의 활동은 여러 형태로 많이 있었다. 이글에서는 학회 차원의 활동만을 언급하고자 한다.

7.10.1 해양안전위원회 설치

대한조선학회는 해양안전확보와 연계된 사회적 책무를 수행하기 위해 세월호 사고가 발생한 해인 2014년 8월 '해양사고특별위원회'를

발족하였다. 이 위원회는 2015년 12월까지 활동하고 활동 최종보고서[51]를 제출하였다. 이 보고서에는 국내외 해양사고의 사례와 교훈, 각국의 해양사고 조사 및 심판제도 비교 그리고 대한조선학회와 정부에 대한 제언도 포함되어있다. 대한조선학회에 대한 제언 중 하나가 학회 산하에 상설 기구인 '해양안전위원회'의 설치이다. 이 제언이 대한조선학회 이사회(제356차, 2016년 10월 7일)의 결의에 의해 설치되어 지금도 활동하고 있다.

7.10.2 사참위 활동의 자문

사참위의 활동 기간 동안 대한조선학회가 수행한 세월호 사고원인 규명과 관련된 활동은 다음과 같다. 이 활동은 모두 대한조선학회 산하의 해양안전위원회를 중심으로 이루어졌다.

- 세월호 경사시험 계산검증: 사참위의 자유표면효과

계산 방법과 경사시험 오류 사항 검토 요청(세월호 조사1과-114, 2019.04.11)을 접수. 자유표면효과와 표준 계산 방법을 설명하고 경사시험 오류 사항을 지적(조선 제2019-167호, 2019.09.30).

- 기획세션 개최: 세월호 사고원인 규명을 위해 발주한 연구용역 4건의 연구 결과에 대한 효과적인 검증을 위해 2021년도 대한조선학회 추계학술대회에서 기획세션 개최(군산 새만금컨벤션센터, 2021년 11월 5일).

- 사참위 보고서 2건 검토: 사참위 보고서 2 건(직나-09, 직나-10)를 검토하고, 대한조선학회의 공식의견서 송부(2022년 6월 17일). 직나-09는 세월호의 변형손상부위 확인 및 원인조사에 관한 것이고, 직나-10은 세월호 급선회와 횡경사 원인검증 및 복원성과의 관계 분석에 관한 것임.

- 과총-SNAK 공동포럼 개최: 사참위 최종보고서 발표가 2022년 9월에 있는 다음 2022년 10월 27일 한국과학기술단체총연합회와 대한조선학회는 '세월호 참사 - 과학적 재난 분석에 대하여' 라는 주제로 공동포럼을 개최.

세월호의 사고원인규명과 관련된 대한조선학회의 활동에 관한 구체적인 내용은 다른 기회에 정리하면 좋겠다.

제8장 제언

해양사고에 대한 원인 규명 활동이 보다 과학적으로 그리고 보다 합리적으로 이루어질 수 있기 위해 그리고 우리 사회의 안전문화 제고를 위한 몇 가지의 제언을 하고자 한다.

- 우리도 해양안전심판원의 심판을 담당하는 조직과 사고원인 규명을 담당하는 조직을 분리하고 사고원인 규명을 위한 조직을 강화하자.

우리나라는 해양사고의 원인을 규명하는 조사관실과 해양사고를 심판하는 심판관실이 '해양안전심판원' 이라는 하나의 지붕 아래에서 활동을 하고 있다. 하지만 대부분의 해양사고 조사 선진국은 해양사고원인 규명을 위한 조직을 독립적으로 운영하고 있다. 미국은 1974년 '독립안전위원회법'을 제정하여 국가교통안전위원회(National Transportation Safety Board: NTSB)를 행정부로부터 독립시켜 연방의회에만 책임을 지는 조직으로 바꾸었다. 이 위원회는 배뿐만 아니라 철도와 항공기 사고의 조사도 수행하고 있다. 영국은 1987년 벨기에 Port of Zeebrugge에서 전복되어 침몰한 로로여객선인 Herald of Free Enterprise호의 사고를 계기로 1989년 7월 해난조사국(Marine Accident Investigation Branch: MAIB)을 운수성 장관 직속의 외청으로 설립하였다. 네덜란드는 항공, 해상, 내수로 및 철도의 각 운수부문마다 개별로 사고조사 기관은 가지고 있었으나 미국의 NTSB의 탄생을 계기로 1998년 7월 네덜란드 교통안전위원회(Dutch Transport Safety Board: DTSB)를 설치하였다.

그리고 일본은 2008년 국토교통성 산하의 해난심판청과 항공-철도사고조사위원회를 통합하여 운수안전위원회(Japan Transport Safety Board: JTSB)를 국토교통성 산하에 설치하였다. 이 위원회는 항공, 철도 및 배 사고의 원인을 규명하기 위한 조사활동을 수행하고 있다. 그리고 부득이하게 사고조사를 위한 특별위원회를 구성한다고 하더라도 수사와 관련된 업무는 분리하여 사고원인 규명만을 목적으로 활동하도록 하자.

- 해양사고 조사 전문가를 양성하고, 전문가의 네트워크를 구축하자.

해양사고 조사 업무는 전문가들이 담당해야 할 영역이다. 조선공학이나 항해학을 전공하였다 하여 쉽게 담당할 수 있는 것이 아니고, 평소에 사고조사 보고서에 대한 연구를 꾸준히 수행하고 사고조사 참여 경험을 쌓는 것이 중요하다. 또한 해양사고 조사 전문가들의 네트워크도 필요하다. 사고가 발생한 후에 허겁지겁 구성하는 위원회로는 좋은 성과를 기대하기 어렵다. 해양수산부 해양안전심판원의 조사관실은 평소에 해양사고 조사 전문가들과의 네트워크를 강화할 필요가 있다. 특히 관련 학술단체와의 유대를 강화할 필요가 있다. 또한 해양사고 조사 전문가 집단이라고 할 수 있는 한국선급 조직을 활용하는 방안을 강구할 필요가 있다. 외국은 어떻게 해양사고 조사 전문가를 양성하고 있는지도 참고할 필요가 있다.

- 비상집합훈련(muster drill)을 철저히 실시하자.

여객선에는 비상시에 여객이 집합할 장소(muster station)가 미리 정해져 있고, 여객들에게 출항 전에 비상집합 장소를 숙지시키게 되어 있다. 2012년에 발생한 이태리 여객선 Costa Concordia 좌초사고 이후에는 모든 여객선이 출항 30분 전에 실제로 비상집합 훈련을 실시하도록 요구되고 있다. 이런 훈련에서는 비상대피로에 대한 안내도 필요가 필요한데 이는 승무원들이 담당하게 된다. 이러자면 먼저 승무원들의 비상집합훈련 교육이 필요할 것이다. 또한 어떤 시기에 비상집합장소로의 집합 명령을 내릴 것인지에 대한 선장의 교육도 당연히 포함되어야 한다.

- 안전문화의 제고를 위해서는 평소에 꾸준한 인적, 물적인 투자가 효과적이다.

해양사고를 줄이자면 발생한 사고의 원인을 철저히 조사하여야 하고 일반 국민들의 안전문화 수준을 높일 수 있는 다방면의 노력이 필요하다. 네덜란드의 경우 초등학교 저학년 학생을 대상으로 옷과 신발을 신은 채 수영을 하는 생존수영(survival swimming) 교육을 꾸

준히 제공하고 자격증을 주고 있다. 세월호 사고로 우리 사회가 치른 비용을 생각한다면 이런 종류의 안전교육에 충분히 투자할 수 있을 것이다.

제9장 결언

1953년에 발생한 창경호 사고, 1970년의 남영호사고 그리고 1993년에 발생한 서해훼리호 사고와 견줄 수 있는 수준의 큰 인명 피해를 가져온 것이 세월호 사고이다. 사고의 전 과정이 국민들에게 증계되어 아마도 우리의 뇌리에서 가장 오래 남을 사고가 아닐까 생각된다. 또한 우리나라에서 발생한 해양사고 중에서 이렇게 오랫동안 사고원인 규명을 위한 활동이 전개된 경우도 없을 것이다. 하지만 조선해양공학을 전문으로하는 사람들조차도 과연 세월호의 사고원인이 무엇지를 쉽게 이해하는 사람은 거의 없을 것이다. 이런 지경이니 일반 국민들은 어떻게 납득을 할 수 있을까?

사고원인이 무엇인지 이제는 답을 마련해야 할 때이다. 사고조사 활동의 초기에는 다양한 후보시나리오가 개진될 수 있고, 또 다양한 의견이 제시되도록 여건을 조성해야 한다. 세월호 선체가 인양되어 직립되었으므로 우리가 확보할 수 있는 물적 증거는 대부분 확보한 셈이다. 이제는 상당수의 국민들이 이해할 수 있도록 사고원인을 설명해야 할 때이다.

수중체 핀안정기 충돌 시나리오의 가능성을 끝내 부정하지 않는 사참위 보고서의 결론 부분에도 불구하고 이제는 수중체 충돌 시나리오를 사고원인 후보에서 제외해야 한다.

Brookes Bell은 인천항의 CCTV 영상을 분석하여 세월호의 출항 당시의 흘수를 선수 약 5.9m, 선미 약 6.4m로 추정하였다. 또한 선미 램프를 닫기 전과 닫은 후의 횡경사각 변화(2.7도)로부터 출항 당시 GoM을 약 0.6m로 추정하였다. 표 13과 14를 참고하면 사고 당시 GoM은 대략 0.5m로 추정할 수 있다. 그리고 사고 직후 배의 방향과 표류 속력을 기초로 Brookes Bell이 추정한 조류는 북쪽으로 1.7 노트이었다. 좌현 횡경사각이 18도 정도가 되면 과도한 적재와 부실한 고박으로 화물의 연쇄전복이 발생할 수 있고 이로 인해 순식간에 좌현 횡경사각이 45도 정도에 도달할 수 있다는 점에 대해서는 대체적으로 동의하고 있다. 횡경사 45도 이후의 침수시나리오도 여러 기관의 추정 결과들이 대체적으로 일치하고 있다. 세월호의 시간별 횡경사각도도 전화선과 쇠사슬의 영상으로부터 정리가 잘 되었고, 항적도도 오차를 수정하여 사고 당시 세월호의 궤적을 명확하게 보여주고 있다.

역사적으로 보면 큰 해양사고를 겪고 나면 큰 발전이 있었다. Titanic호 침몰사고 이후에 해상인명안전협약 (Safety Of Life At Sea: SOLAS)의 제정이 좋은 예이다. 각 세월호 사고 이후에는 어떤 발전이 있었다고 할 수 있는가? 일본으로부터 중고 여객선을 도입하여 개조해서 사용하는 관행이 없어지고 우리나라에서 설계, 건조를 시작한 것은 조그마한 발전이다. 이것만을 이야기하기에는 우리가 치른, 지금도 치르고 있는 희생이 너무 크다.

이제 출항 당시의 흘수와 GoM으로부터 사고 당시의 세월호의 배수량과 GoM의 범위를 상당히 구체적으로 추정할 수 있고, 사고 당시의 조류 정보를 포함한 해상상태를 비교적 정확하게 판단할 수 있다. 또한 사고 당시 세월호의 항적도와 횡경사 변화 자료도 확보하였다. 사고 직전의 방향타 조타 시나리오, 즉 타각을 몇 도로 얼마 동안 유지하였는지에 대한 유력한 시나리오를 수립할 필요가 있다. '이로써 어떻게 세월호의 외방횡경사각이 18도에 도달하게 되었느냐?'라는 숙제부터 풀자.

용어 설명

AIS(Automatic Identification System, 선박자동 식별장치, 船舶自動識別裝置)

배나 해상 교통 관제시 배를 식별하고 그 위치를 파악하기 위해, 근접한 배, 기지국, 위성 등과 전자 통신으로 배의 위치, 속도, 제원, 화물의 종류 등 각종 정보를 교환하는 자동 추적 시스템.

DGPS(Differential Global Positioning System, 위성항법 보정시스템)

GPS수신기가 받는 위치 정보에는 위성의 시계나 궤도의 요동, 대기권 통과시 전파의 지연 등으로 인한 오차가 포함되어 있어 이 오차를 계속하여 보정할 필요가 있음. 이 때문에 실제로 측위를 하는 GPS수신기 이외에 위치가 정확하게 알려진 고정된 장소에 설치된 또 1대의 GPS수신기를 사용하여 GPS신호의 오차를 구하게 됨. 2대 이상의 GPS수신기를 동시에 작동시켜 GPS수신기의 오차를 보정해 주는 장치.

KG

용골 상면(K)으로부터 배의 연직 방향 무게 중심(G)까지의 거리

GM

횡메타센터높이, 배의 연직 방향 무게 중심(G)과 횡메타센터(M)의 거리

GoM

자유표면효과를 반영한 GM

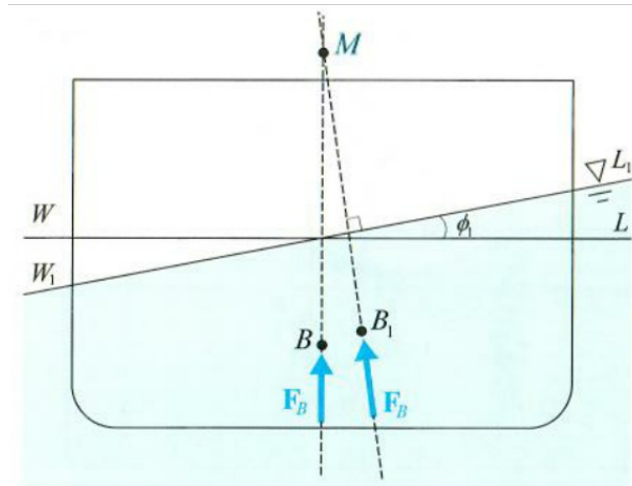
LCG(Longitudinal Center of Gravity)

배의 길이 방향 무게 중심

M(횡메타센터)

배의 횡경사를 설명할 때 우선적으로 필요한 것이 횡메타센터 M 이다. 이에 대해 그림 A1을 사용하여 설명하고자 함. 이 그림에서 WL 은 경사지기 전의 수선면이고, B 는 경사지기 전의 부심(부력의 중심)이다. 그리고 W1L1 과 B1 은 각각 미소 횡경사각 만큼 횡경사진 후의 수선면과 부심이며 FB 는 부력을 나타냄. 횡메타센터 M 은 경사 전의 부력과 미소경사 후의 부력의 작용선의 교점임. 부력 작용선

의 교점 M 은 횡경사각이 미소하면(대략 7도 -10도)한 점으로 고정되어 있다고 가정할 수 있으나 횡경사각이 커지면 M 점은 의미를 잃게 됨



<그림 A1 미소 경사각 만큼 횡경사진 부력 작용선과 경사 전의 부력 작용선의 교점(M), ([A1]의 그림 2.19)>

고박(固縛, Lashing)

화물을 배에 견고하게 고정하는 것

기선(基線, Base Line)

배의 거리나 각도 측정에서 기준이 되는 선으로 통상 용골의 상면을 지나고 수면과 평행

램프(Ramp)

자동차운반선과 같은 RO-RO(roll-on roll-off) 선박의 경우 화물을 적재하고 하역할 수 있도록 하는 통로

로로여객선(Ro-Ro 旅客船, Ro-on Ro-off Passenger Ship)

여객과 자동차나 트럭, 트레일러에 실린 화물을 운송하는 배. 자동차와 화물을 실은 트럭과 트레일러는 선수, 선미 또는 선측에 설치된 램프를 통해 선내로 진입하게 됨

만재흘수(滿載吃水, Full Load Waterline)

안전 항해를 위해 허용되는 최대의 적재량을 실은 상태의 흘수

모멘트(Moment, 짝힘, 우력, 偶力)

크기가 같고 방향이 반대인 짝힘이 서로 다른 작용점에 작용하여 회전 운동을 유발할 수 있는 물리량

모멘트암(Moment Arm, 우력정, 偶力程)

모멘트를 만드는 두 짝힘의 작용선 사이 거리

방현재(防舷材, Fender)

배를 부두에 묶어 둘 때 또는 다른 배의 옆에 닿을 경우에, 접촉에 의한 충격을 완화시켜 서로의 손상을 방지하기 위해 배의 현측에 장치한 완충물

복원성(復原性, Stability)

선박이 평형상태로 있다가 바람이나 파도 등의 외적 요인에 의해 교란되었다가 외적 요인이 사라지면 초기의 평형상태로 되돌아오는 성질

복원 모멘트 암(Restoring Moment Arm, GZ)

배 중량의 작용선과 부력의 작용선 사이의 거리

비상집합장소(Muster Station)

비상시 승객이 배를 탈출하기 위해 집합하는 장소

주로 구명보트 등의 구명 장치를 쉽게 이용할 수 있고, 접근이 용이한 갑판의 장소를 지정함. 2012년에 발생한 호화 유람선인 Costa Concordia호의 좌초/전복 사고[B] 이후 여객선의 비상대피 훈련이 한층 강화되었음

선미(船尾, Stern)

배의 꼬리

선수(船首, Bow)

배의 머리

솔레노이드 밸브(Solenoid Valve)

도선을 나선형으로 감아서 전기를 통전시키면 자장의 힘에 의해 밸브가 열리고 닫히는 전자밸브. 유압용 솔레노이드 밸브는 주로 유압 펌프에서 가해진 힘을

작동 기기의 시동, 정지 및 운동 방향 등을 변환하는 목적으로 유압의 흐름을 제어하기 위해서 사용함

스노클링 파이프(Snorkeling Pipe)

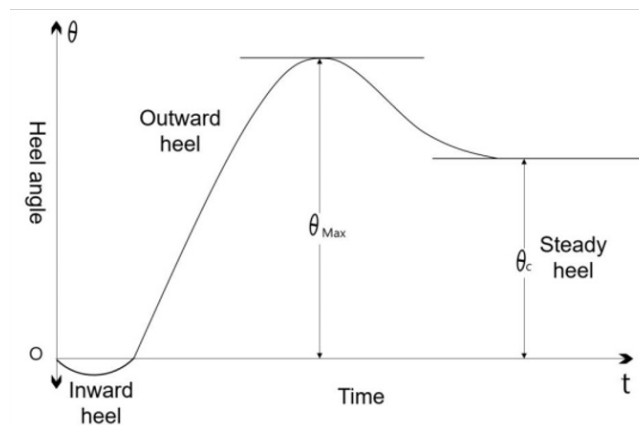
발전기로 축전지를 충전하여 추진하는 재래식 잠수 함이 잠항 상태에서 축전지 충전, 압축 공기 충전 또는 함내 대기 순환을 목적으로 수면 상부의 공기를 실내로 흡입하기 위해 사용하는 파이프

용골(龍骨, Keel)

선체의 중심선을 따라 선수(船首)에서 선미(船尾)까지 선저부를 관통하는 부재로 선체의 종강도를 담당하는 중요한 부재. 오래전부터 목선에서는 사각형 단면인 각재의 용골을 사용하여 좌초로부터 선저를 보호하고, 범선, 어선 등 소형선에는 오늘날도 사용됨. 하지만 강선에서는 선저외판보다 약간 두꺼운 평판으로 평판용골(平板龍骨: flat plate keel)을 사용함.

외방횡경사(外方橫傾斜, Outward Heeling)

방향타를 사용하여 회전을 하게 되면 그림 A2에서 보여주듯이 초기에는 회전하는 방향으로 (내방)횡경사가 일어나지만 시간이 조금 경과하면 회전 방향의 반대쪽으로 (외방)횡경사 발생하게 됨. 선속이 빠르고 GM이 작은 선박은 외방횡경사가 심하므로 선회 중에 갑자기 타각을 없앤다든지 급히 반대쪽으로 대각도 타각을 주면 횡경사로 인한 선체 전복의 위험이 있으므로 선회 중의 대각도 조타는 타각을 순차적으로 작게 하거나, 순차로 크게 하도록 조타명령을 해야 함.



<<그림 A2 조타에 의해 발생하는 내방횡경사와 외방횡경사[A2]>

자유표면효과(自由表面效果, Free Surface Effect)

배가 기울어지면 배에 실려 있는 평형수, 청수, 연료유 등의 액체도 자유롭게 움직일 수 있으면 같은 방향으로 기울어지게 되고, 이로 인해 액체의 무게 중심이 배가 기울어지는 방향으로 움직이게 됨. 무게 중심의 이동은 마치 배의 무게 중심이 상승하는 것과 같은 효과를 주게 되어 이런 현상을 자유표면효과라 함.

중경사(縱傾斜, Trim)

선수 흘수와 선미 흘수의 차이. 선수의 흘수가 크면 선수중경사, 선미의 흘수가 크면 선미중경사 라 하고 선수와 선미의 흘수가 같으면 평중경사(even keel) 라고 함

평형수(平衡水, Ballast Water)

배가 운항에 적합한 상태로 떠 있을 수 있도록 하기 위해 적재하는 물. 좌우 수평 또는 앞뒤 균형을 맞추거나 특정 흘수를 만들기 위해 사용하게 됨

핀안정기(Fin Stabilizer)

배의 횡동요(rolling)를 경감시키기 위한 장치로 배의 중앙부근 양현 만곡부 근처에 돌출한 타와 비슷한 모양의 지느러미(fin)임. 횡동요 주기에 맞추어 핀의 각도를 교대로 변화시켜 횡동요를 경감시키는 모멘트를 발생시키며, 횡동요의 경감효과는 매우 뛰어나지만 선박이 정지 중에는 효과가 없음. 사용하지 않거나 주위에 장애물이 있을 때는 선내로 접어 넣을 수 있음

해상교통 관제센터(Vessel Traffic Service Center:VTSC)

레이더, VHF(초단파무선통신), AIS등의 장비를 이용하여 관제구역 안에서 이동하는 선박들의 해상교통, 질서유지 및 안전운항을 위한

관찰확인, 정보제공, 조언, 권고 및 지시를 하거나 필요한 항만운영 정보를 제공하는 업무를 수행하는 기관

흘수(吃水, Draft)

배가 물에 떠있을 때 배의 중앙부에서 수면으로부터 배의 가장 밑바닥까지의 수직거리.

• 이 글에서 사용되는 용어는 대한조선학회에서 편찬한 선박계산(2012)의 용어를 표준으로 하였음.

• 참조 문헌

[A1] 공길영. 네이버 선박항해용어사전.

<https://terms.naver.com/list.naver?searchId=au28>.

[A2] 대한조선학회(대표저자: 이규열). 2012. 선박계산, 텍스트북스, 파주.

[A3] 두피디아(네이버 두산백과). <https://www.doopedia.co.kr/>

[A4] 선회 중 내방경사와 외방경사.

감사의 말씀

이 글을 쓸 기회를 주신 대한조선학회 이신형 회장님과 대한조선학회 미래기술연구소 노인식 소장님께 감사를 드립니다. 글의 전달력을 높일 수 있도록 많은 의견을 제시해 주고 글을 많이 가다듬어 주신 울산랩 이진태 교수님, KAIST 한순홍 교수님, 인하대 정준모 교수님 그리고 충남대 정현 교수님께 감사드립니다. 그리고 원고 마감 시한이 많이 지났는데도 묵묵히 기다려 주신 대한조선학회 사무국 임은혜 과장님께도 고마움을 전합니다.

참고 문헌

- [1] 법제처. 2020. 해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률, 법률 제 17689호, 2020년 12월 22일 타법 개정, 2021년 1월 1일 시행.
- [2] 법제처. 2014. 4·16세월호참사 진상규명 및 안전사회 건설 등을 위한 특별법, 법률 제12843호, 2014년 11월 19일 제정, 2016년 1월1일 시행.
- [3] 법제처. 2017. 세월호 선체조사위원회의 설치 및 운영에 관한 특별법, 법률 제14734호, 2017년 3월 21일 제정, 2017년 3월 21일 시행.
- [4] 법제처. 2020. 사회적 참사의 진상규명 및 안전사회 건설 등을 위한 특별법, 법률 제17751호, 2020년 12월 22일 제정, 2020년 12월 22일 시행.
- [5] 해양안전심판원, 2014. 여객선 세월호 전복사고 특별조사보고서. 해양안전심판원 특별조사부.
- [6] 세월호 선체조사위원회, 2018. 세월호 선체조사위원회 종합보고서 본권-I, 침몰원인조사(내인설).
- [7] 세월호 선체조사위원회, 2018. 세월호 선체조사위원회 종합보고서 본권-I, 침몰원인조사(열린안).
- [8] 가슴기살균제사건과 416세월호 참사 특별조사위원회, 2022. 4·16 세월호참사 종합보고서, 본권II.
- [9] 4·16세월호참사 특별조사위원회. 2016. 중간점검보고서.13 쪽.
- [10] 박상은. 2022. 세월호, 우리가 묻지 못한 것 - 재난조사 실패의 기록. 진실의 힘, 서울.
- [11] 세월호 선체조사위원회. 2018. 진실을 세우다. 세월호 선체조사위원회 활동백서.
- [12] 대법원. 2015. 판결서(사건 번호: 2015도6809). 2015년12월 2일.
- [13] KRISO. 2014. 세월호 침몰사고 원인분석(선박조종 및 침수침몰 시뮬레이션). 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소.
- [14] 세월호 선체조사위원회, 2018. 세월호 선체조사위원회 종합보고서 부속서-II, 조사결과보고서-II.
- [15] 세월호 선체조사위원회, 2018. 세월호 선체조사위원회 종합보고서 부속서-III, 조사결과보고서-III.
- [16] 대한조선학회. 2017. 해양사고 사례와 교훈: Estonia호 침몰사고. 대한조선학회 해양안전위원회 기술보고서 제1권, 42-65.
- [17] MAIB. 2016. Report on the investigation into the listing, flooding and grounding of Hoegh Osaka. Marine Accident Investigation Board, United Kingdom.
- [18] Wikipedia. 2023. 2012 Lamma Island ferry collision. 2023년 2월 21일 접속.
- [19] Maritime Casualties Investigation Body. Cruise ship Cost Concordia - Report on the safety technical investigation. Ministry of Infrastructures and Transports, Italy.
- [20] Faulkner, D, 1998. An independent assessment of the sinking of the MV Derbyshire, SNAME Trans, vol. 106, pp 99-103.
- [21] Brookes Bell Group. 2017. Report SEWOL - External Damage, Report No. J160707/RJG, 355 pages in total.
- [22] Brookes Bell Group. 2018. Internal Survey Report - SEWOL. Report No. J160707/RJG, 747 pages in total.
- [23] Brookes Bell Group. 2018. Analysis Report - SEWOL, Part I: Navigation analysis. Report No.J160707/RJG, 9th April, 2018, 45 pages in total.
- [24] Brookes Bell Group. 2018. Analysis Report - SEWOL, Part II: Stability and manoeuvring analysis. Report No. J160707/RJG, 17th April,2018, 341 pages in total.
- [25] Brookes Bell Group. 2018. Analysis Report -SEWOL, Part III: Sinking analysis. Report No.J160707/RJG, 11th April, 2018, 50 pages in total.
- [26] Brookes Bell Group. 2018. Analysis Report -SEWOL, Part IV: Cargo matter analysis. Report No. J160707/RJG, 1st April, 2018, 227 pages in total.

- [27] Brookes Bell Group. 2018. Executive Report -SEWOL. Report No. J160707/RJG, 63 pages in total.
- [28] MARIN. 2018. Sewol flooding and sinking model tests and simulations. Final report, Report No. 30561-1-DWB 485, 30th April, 2018. 485 pages in total.
- [29] MARIN. 2018. Sewol simulator study”. Final report, Report No. 30561-2-MSCN, 30th April, 2018. 299 pages in total.
- [30] MARIN. 2018. Sewol turning and heeling fast time simulations and model tests. Volume I- Discussion report, Final report, Report No.30561-3-SMB, 30th April, 2018, 159 pages in total.
- [31] MARIN. 2018. Sewol turning and heeling fast time simulations and model tests. Volume II -Data report, Final report, Report No. 30561-3-SMB, 30th April, 2018, 316 pages in total.
- [32] MARIN. 2018. Sewol Model Tests & Simulations - Investigation into turning, capsizing, flooding and sinking. Summary report, Report No. 30561-4-DIR, 30th April, 2018, 23 pages in total.
- [33] MARIN. 2018. Sewol additional turning and heeling model tests. Final report, Report No.30561-5-SMB, July 2018, 618 pages in total.
- [34] 가슴기살균제사건과 416세월호 참사 특별조사위원회, 2022. 416 세월호참사 진상규명 소위원회 보고서, 부속서II.
- [35] 가슴기살균제사건과 416세월호 참사 특별조사위원회, 2022. 완전한 진실, 온전한 치유, 안전한 나라. 운영백서.
- [36] MARIN. 2022. Sewol additional turning and heeling model tests. Final report, Report No.33705-1-SMB, May 2022, 1286 pages in total.
- [37] Lee, B.-H. 2020. NAPA stability calculations for SEWOL. NAPA Korea, 21st Dec. 2020, 55 pages in total.
- [38] Ruponen, P. 2020. SEWOL flooding simulations. NAPA Finland, 20th Dec. 2020, 36 pages in total.
- [39] 홍성욱. 2020. 선택적 모더니즘(elective modernism)의 관점에서 본 세월호 침몰 원인에 대한 논쟁. 과학기술학연구, 20(3), 99-144.
- [40] 법제처, 2021. 해운법. 법률 제18430호, 2021년 8월 17일 일부 개정.
- [41] 법제처. 2022. 해사안전법. 법률 제19142호, 2022년 12월 27일 일부 개정.
- [42] 법제처. 2015. 선박안전법. 법률 제13002호, 2015년 1월 6일 타법 개정.
- [43] 해양수산부. 2013. 선박복원성 기준. 해양수산부고시 제2013-076호, 2013년 5월 7일 일부개정.
- [44] 대한민국 국방부, 2010. 천안함 피격사건 합동조사 보고서, ISBN 978-7677-711-9.
- [45] Committee on Large Container Ship Safety, Final report of committee on large container ship safety, March 2015.
- [46] Japan Transport Safety Board. 2012. A ferry heavily listed while proceeding south-westward in Kumanonada to starboard and grounded off Mihara Town. Japan Transport Safety Board annual report 2012, 86-89.
- [47] Kim, Y., Seo M.-G. and Lee, J.-H. 2019. Numerical simulation of Sewol ferry capsized. Pro. IMechE Part M. Journal of Engineering for the Maritime Environment, 233(1), 186-208.
- [48] 한순흥. 2022. 세월호 복원성 검토. 세월호 침몰 참사 - 과학적 재난 분석에 대하여, 한국과총-대한조선학회 공동 포럼(2022년 10월 27일 개최) 자료집, 15-42.
- [49] 해양수산부, 2018. 화물적재고박 등에 관한 기준. 해양수산부 고시 제2018-5호, 2018년 1월 12일 일부개정.
- [50] 정준모. 2022. 세월호 복원성 검토. 세월호 침몰 참사 - 과학적 재난 분석에 대하여, 한국과총-대한조선학회 공동 포럼(2022년 10월 27일 개최) 자료집, 43-51.
- [51] 대한조선학회. 2015. 해양사고 사례와 교훈. 대한조선학회 해양사고특별위원회 활동 최종보고서.

글쓴이 소개

이 글을 쓴 조상래 교수는 1980년부터 2018년까지 울산대학교 조선해양공학부에서 선박해양구조물의 최종강도와 충격강도에 관한 실험연구, 이론연구와 설계기법 개발연구를 진행하였다. 또한 천안함 민·군 합동조사단 선체 구조/관리분과 분과장(2010), 대한조선학회 회장(2012-2013), 대한조선학회 해양사고특별위원회 위원장(2014-2015)과 대한조선학회 해양안전위원회 위원장(2017-2019)을 역임한 바 있다.