

선박과 교량의 충돌예방과 충돌시 손상의 감소방법에 관한 연구

윤 병 원* · 윤 점 동**

*평택당진항 도선사, **한국해양대학교 항해시스템공학부 명예교수

A Study on Avoiding Collision between a Ship and Bridge and Minimizing Damages if Unavoidable

Byoung-Won Yoon* · Jeom-Dong Yun**

*Pyong Taek harbour Pilot

**Emeritus Professor, Division of Navigation System Eng., Korea Maritime University

요 약 : 항로를 횡단하여 건설된 교량은 부근을 지나던 선박의 기관이나 조타기의 고장 또는 비상한 외력의 영향이나 인위적인 판단오류로 인하여 발생할 수 있는 선박과 교각의 충돌을 예방하고 불가피한 충돌의 경우에도 교량의 붕괴를 방지하는 대책을 마련하여야 한다. 충돌이나 간접 충격에 의하여 교량의 상관이 붕괴되는 경우 많은 인명의 손실과 교량으로 연결되는 간선도로의 장기간 폐쇄는 국가적인 재앙이 될 것이기 때문이다.

핵심용어 : , 교각폭, 선박과 교각충돌, 항로표지, 접현등, 중시등, 충돌각, 충격량

ABSTRACT : A Collapse of bridge by ship's collision to the bridge post may lead a great calamity. This paper investigates on avoiding collision between a ship and bridge by improvement of environmental factors, submitting a counter plan of reducing collision effect by triangular type of collision protecting bar and ship maneuvering skills. Putting up collision protecting bar fences of triangular type around the bridge posts would decrease the collision impact force by 75 percent.

KEY WORDS : Main span, Ship and bridge collision, Navigational aids, Collision angle, Collision impact force

1. 서 론

항로를 가로질러서 건설되는 교량은 교량하부를 통과하는 선박의 기관이나 타기의 고장, 강한 배경광이나 불시에 형성되는 안개로 인한 시인성 불량, 비상한 외력 또는 인위적인 판단의 착오에 의하여 선박과 충돌 붕괴될 위험이 상존하고 있는 만큼 이러한 충돌을 예방하고 만일의 충돌 경우에도 교량이 보호될 수 있는 연구와 대책이 필요하다. 어떠한 경우의 사고라도 교각사이의 좁은 항로를 항주하는 선박을 순간적으로 항로에서 이탈케 하여 돌이킬 수 없는 상황으로 갈 수가 있기 때문이다.

이 연구는 선박조종의 관행 및 심리적 안전거리 등 실제 조종을 하는 실무자의 시각을 정리하였으며 돌재, 교각의 시인성 증

진을 위한 표지와 등화의 설치 및 점등방법 등의 환경 여건 개선 셋째, 불가피한 선박 충돌의 경우 손상을 최소화하는 충격 흡수구조물의 모양과 배치 및 교각과 선박의 손상이 최소가 되도록 하는 선박조종방법으로 구분하였다.

또한 본 연구에서는 대형 교량의 교각주위에 설치하는 충격 흡수용 충돌 방지공의 개선안을 제안하고 충돌 시 충돌방지공의 형상에 의하여 충돌선박이 발산하는 에너지 분산을 계산하였으며 형상이 개선된 충돌방지공은 교각과 선박의 손상방지에 효과가 큰 것을 발견하였다.

2. 물리적 항로폭의 검토

교량의 교각과 선박의 충돌을 예방하기 위하여 중요한 것은 선박의 통항에 위협하지 않을 정도로 교각간의 항로폭을 확보하는 것이지만 교각폭의 증가에 따라 가중되는 건설비의 부담

*ywpilot@naver.com 031)683-2691

**Yoon jeom dong 051)416-7082

때문에 적정 교각폭에 대한 논쟁이 계속되고 있다.

수학모델에 의하여 계산된 물리적 횡방향 안전거리 $(7B+5.2B+5.2B) \div 3 = 5.8B$ (윤)는 선체 길이로 따지면 약 0.83L에 해당된다. 크기가 거의 같은 선박이 10kt내외의 속력으로 항과하거나 추월하면서 타각 10도 이내의 자력조종만으로 얻어진 안전거리이다. 통상의 선박조종에서 잘 적용이 될 수 있는 합당한 물리적 거리이지만 선박을 조종하는 실무자의 입장에서는 심리적인 부담이 커서 기관고장이나 환경여건에 의해 예측불허로 발생할 수 있는 위험한 상황에서 정상적인 판단이 쉽지 않을 정도로 비현실적이라는 생각이 지배적이다.

홍콩과 중국의 상하이 등 최근에 건설되는 대부분 교량의 교각하부 항로폭이 양방향 통항로의 경우 $d_s = 3L + 2B + @$ 또는 그 이상 되도록 하는 것은 조선자의 그러한 심리적 안전거리를 고려하고 기관고장과 같은 불시의 사고에도 충돌없이 잔여타력에 의하여 선박이 교량을 통과하게 하는 등 교량의 붕괴가 가져오는 재난급의 사회적 파급효과를 감안한 안전비용의 투자로 판단된다.

3. 조종 실무상 안전항로폭

3.1 항로폭의 적합성

본 연구에서는 실제 현장에서 선박을 조종하는 항로 이용자의 시각에서 항로의 적합성과 최소 기준을 정리하였다. 아무리 탁월한 물리적 이론을 정리하고 시뮬레이션으로서 검증은 하였다고 하더라도 현장에서 이용자가 불안을 느끼거나 심리적으로 안정된 판단을 할 수 없다면 그 항로는 안전하다고 하기 어렵기 때문이다.

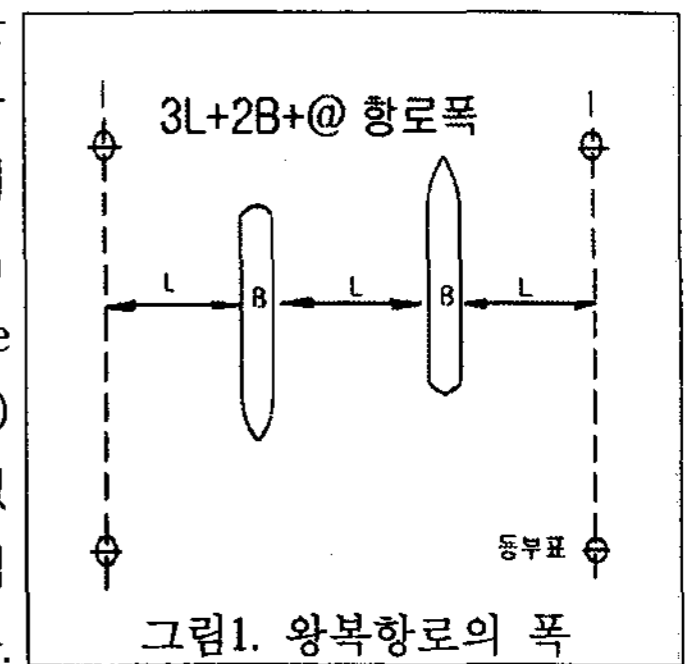
3.2 해상에서의 비교 기준척도

해상에서는 다른 선박이나 위험물부터의 안전거리 등 안전기준과 선회권 및 정지거리 등 조종의 제반 기준을 선박의 길이와 비교하여 정리하고 운항에 이용하고 있다. 주야간이나 시정의 차이에 따라 거리오차가 큰 해상에서 제반 기준을 선박의 길이에 비교하는 것은 이를 적용하는 현장에서 직감적이고 실시간 연속적으로 확인이 되는 자연스러운 방법이기 때문이며 이미 오랜 역사성을 가지고 있다. 특히 선박의 크기에 비례하여 선박 조종성의 둔중함 정도가 달라지므로 이러한 방법은 현실적이며 이론적으로도 타당성을 가진다.

3.3 이용자가 판단하는 안전항로의 폭

수학모델에 의하여 계산된 물리적 횡방향 안전거리는 0.83L 정도로 나타나지만 해상의 오랜 관습으로서 선장이나 도선사는 항해중 자신이 조종하는 선박 좌우측의 선박길이(1L) 이내에 다른 선박이나 위험물이 근접하여 지나가는 것을 피하고 있으며 그러한 거리 이내에 다른 선박이나 위험물이 지나가는 경우를 근접사고 또는 준사고로 간주하며 경계를 한다. 심리적

압박감이 커져 정상적인 판단으로 조종을 하기 어려울 때가 많기 때문이다. 국제해상충돌예방규칙에서도 그러한 근접상태 항행(Close quarter situation, 박근상태)에 대한 주의를 포함하고 있을 만큼 위험이 크고 심리적으로 부담이 되는 거리이다.



“Close quarter situation”을 긴장감이 포함된 어감의 “박근상태”로 번역을 한 것은 이러한 이유로 생각이 된다. 이러한 관습적 최소 이격거리를 이용하여 양방향 항로의 최소 폭을 표시하면 $3L + 2B + @$ 가 된다. @라는 변수는 항로의 굴곡부 및 횡조류나 바람 등 외력의 영향이나 외력의 영향을 크게 받는 저속선박에 대한 고려이다. 외력이 크거나 외력의 영향을 크게 받는 선박은 이격거리를 더 크게 하여야 하기 때문이다. 예컨대 DWT 20만톤급의 폭 50m, 길이 300m의 선박이 출입하는 왕복 항로의 최소폭은 $1000m + @$ 가 되어야 한다는 것이 이용자의 시각이다.

3.4 굴곡부와 교차항로의 확폭

육상의 교통로는 바퀴의 접지마찰에 의하여 선회 편각이 억제되고 좌우 떠밀림(drift)이 없으며 브레이크에 의한 급감속이 가능하므로 도로의 굴곡부에서 속도별 곡률반경이 필요할 뿐 폭을 확장하지는 않아도 된다. 그러나 유체중에 떠서 이동하는 선박은 큰 무게만큼 운동타성이 커서 선회가 둔중하고 편각과 외력에 의한 떠밀림이 있으며 급감속이 어렵다. 두 선박의 교차시에도 한 선박이 다른 선박의 우선통과를 위해 멈추어 대기할 수 없고 주로 변침으로 피함을 하므로 교차항로는 확폭을 하거나 인접여유수역을 확보하여야 한다. 또한 항로의 굴곡부에서 서로 반대 방향으로 항하는 두 선박은 항로의 교차점에서와 같이 횡단상태로 접근하여 실제위험은 물론 심리적 부담감이 커지게 되므로 교차 항로와 같은 정도의 확폭이 필요하다.

항로의 분기접합과 굴곡부가 중첩되어 확폭 요인이 있었던 인천항의 서수도 등부표 제9호와 제10호 사이의 항로는 폭이 $3L + 2B$ 정도인 1000m이었음에도 불구하고 충돌사고가 빈발하여 이 부분 항로의 폭을 1600m로 확장한 후에는 잦았던 사고가 없어지는 것을 경험하였으며 교차와 굴곡부가 중첩되는 인천항 동수도 제5호 등부표 부근의 속칭 “영흥뿌리” 부근 항로는 기존 1000m 폭을 1900m로 확장한 후에 선박간의 항법관계가 무난하여 지는 것을 경험한 실례가 있다.

4. 교각의 시인성 증진

4.1 교각의 시인성 증진이 필요한 이유

선박과 교각과의 충돌을 피하기 위한 두 번째의 여건개선은 교각의 시인성 증진이다. 스모그나 황사, 비와 안개 등 기상여건에 의하여 약시정이 형성되거나 야간 배경광에 의해서 시인을 방해 받고 있을 때 교각표시 등화만으로는 교각의 시인이 어려울 때가 많으므로 충돌위험은 크게 증가된다. 어떠한 여건에서든 다양한 방법으로 교각의 확인이 되도록 하여야 한다. 교각의 확인이 된다면 본능적으로 이를 피하는 조치를 하게 될 것이기 때문이다.

환경여건에 대한 구체적인 예를 들면 다음과 같다. 서해대교가 지나는 평택당진항은 수도권과 중부권의 물류개선 여망에 부응하는 적합한 위치이지만 주변에 여러 개의 대형 저수지와 논이 많은 육지 깊숙이 위치하여 있으므로 연중 수시로 안개가 자주 형성되고 있다. 해상뿐만 아니라 육상의 교통조차도 어려운 경우가 많은 만큼 특단의 교각 식별대책을 세우지 않으면 2007년 서해대교상에서 일어난 자동차들의 수십 중 충돌처럼 선박과 교각의 충돌이 일어날 가능성이 크다. 더구나 통항선박 중에는 무게가 5만 톤을 초과하는 선박도 출입이 예상되므로 일단의 사고가 발생하여 충격에 의해 다리의 상판이 붕괴되는 경우 이는 많은 인명의 손실뿐만 아니라 적어도 수년간 서해고속도로가 마비되는 국가적 물류재난이 될 수 있으므로 관련분야별 전문가의 심도 있는 검토를 공개적으로 하여야 할 것이다.

4.2 등대와 중시등화의 시설

항로를 횡단하여 건설된 교량은 기존규정에 의한 교량등화의 설치에 부가하여 원거리 시인용인 교각의 자체조명과 충돌방지공의 선단에 근거리 시인용 접현등을 시설하여 시인성을 개선하여야 한다. 그 외에도 교각표시 등대와 당시의 선속정도에서 바람이나 조류 등 외력에 의한 선박의 표류정도를 측정하기 위한 중시등화의 시설을 하는 것이 충돌방지를 위하여 효과적이다.

1) 등대시설과 투광기에 의한 등대 몸체조명

특히 교각폭이 충분하지 못하여 교각사이에서 일방통행을 하여야 하는 경우 선박은 양교각 사이의 중심선을 지나는 것이 가장 안전하다. 교량하부의 중앙을 통과하고자 접근하는 선박은 계속하여 양쪽 교각의 중심위치를 확인하며 접근을 하여야 하므로 양쪽 교각중심의 연장선상에 등대를 설치하여야 한다. 교각 중심 연장선상에 설치하면 전후의 등대가 중첩되어 나타나는 혼란을 최소화 할 수 있는 효과가 있다. 등대의 높이는 선박항해자의 눈부심 방지를 하고 2개 1조인 중시등화 중의 하나로 사용하기 위하여 그리 높지 않은 것이 바람직하다. 이러한 등대는 일반 전원의 이상시에도 계속 작동할 수 있도록 축전지등 독립된 전원을 사용하여야 한다. 또한 등대는 배경광의 시인방해를 보완하기 위하여 등대의 상부에서 하부 방향으로 등색과 동일한 색의 투광기를 설치하여 시인성과 정체

성을 개선하여야 한다. 투광기에 의한 등대의 몸체 색깔만 보 고도 직감적으로 등대의 정체성이 연상되어야 하기 때문이다. 투광기의 전원은 소모를 고려하여 육전을 이용함이 합리적이고 500 Lux 이하의 조도에서는 자동으로 작동되도록 광감각 센서에 의한 스위치 방식이 합리적이다. 주간에도 비나 안개에 의하여 약시정이 형성되면 점등이 되어야 하기 때문이다.

2) 중시등화의 필요성

바람과 조류 등 외력에 떠밀리며 진행되는 선박은 선박의 선수가 가리키는 방향과 선체가 진행되는 방향이 일치하지 않고 헬기가 선회할 때 뚜렷하게 보이는 것처럼 외력의 영향을 받아서 일정한 편각(偏角)을 가지고 진행한다. 이러한 떠밀림 여부는 항해중 전후위치와 원침로를 비교하여 측정이 가능하므로 단시간에 측정이 불가하고 오차도 적지 않다. 측정에 시간이 걸릴수록 위험을 대처할 시간적 여유가 더 적어진다. 좁은 교각사이의 조종에 큰 위험을 줄 수 있는 편각은 바람과 조류 등 외력이 클수록, 선속이 낮을수록 커지게 되며 특히 선속이 낮을수록 타압(舵壓)이 줄어서 발생하는 조종성(操縱性) 불량과 복합적으로 작용하면 더욱 큰 위험이 형성된다. 이러한 위험을 감지하고 대각도의 비상한 피항동작을 하는 경우에도 선박의 대각도 선회시에 발생하는 Kick out에 의한 또 다른 편각발생은 상당히 큰 편이어서 선미충돌의 원인이 되기도 한다.

예컨대, 컨테이너선박이나 여객선처럼 풍압면적이 큰 선박이 상당한 횡바람의 영향을 받으며 5-6노트 이하의 조종성이 떨어지는 미속으로 교량하부를 통과하고자 접근하면 외력에 의하여 상당히 떠밀리게 될 것이나 어느 정도 떠밀리는지 여부를 판단할 방법이 마땅하지 않을 것이다. 밀리는 것을 감지하는 경우에도 좁은 교량하부 항로의 특성상 반대편 교각쪽으로 과감한 여유타각(Leeway allowance)을 주기는 쉽지 않다. 반대편 교각 또한 장엄한 위험물로서 압박감을 주는 심리적 영향이 크기 때문이다.

따라서 선박의 편각을 연속적으로 감지하고 대응동작을 할 수 있도록 양쪽 교각의 전후단에 중시등화를 설치함이 합리적이다. 중시등화의 정렬이 변하지 않으면 선박은 교각과 충돌코스로 진행하고 있음이 명확하여지므로 확신을 가지고 피항조치를 할 수 있다. 또한 좌우교각 중시등화의 벌어진 각이 동일하거나 계속 비슷하게 보이는 정도로 진행을 하면 그 선박은 교각하부의 중심선을 따라 진행하고 있다는 증거가 되고 이를 실시간 연속적으

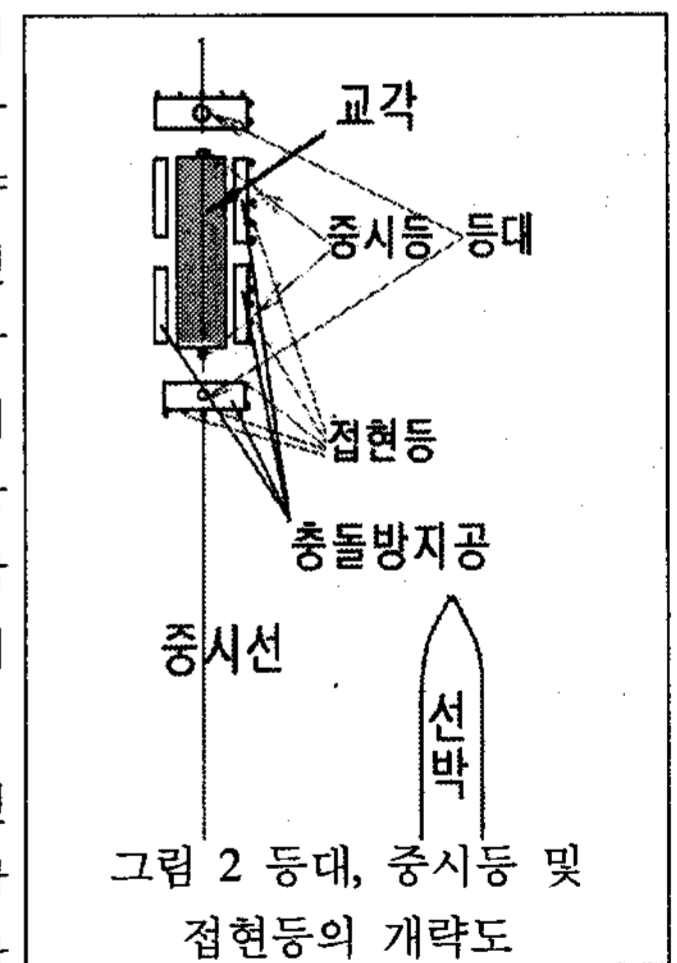
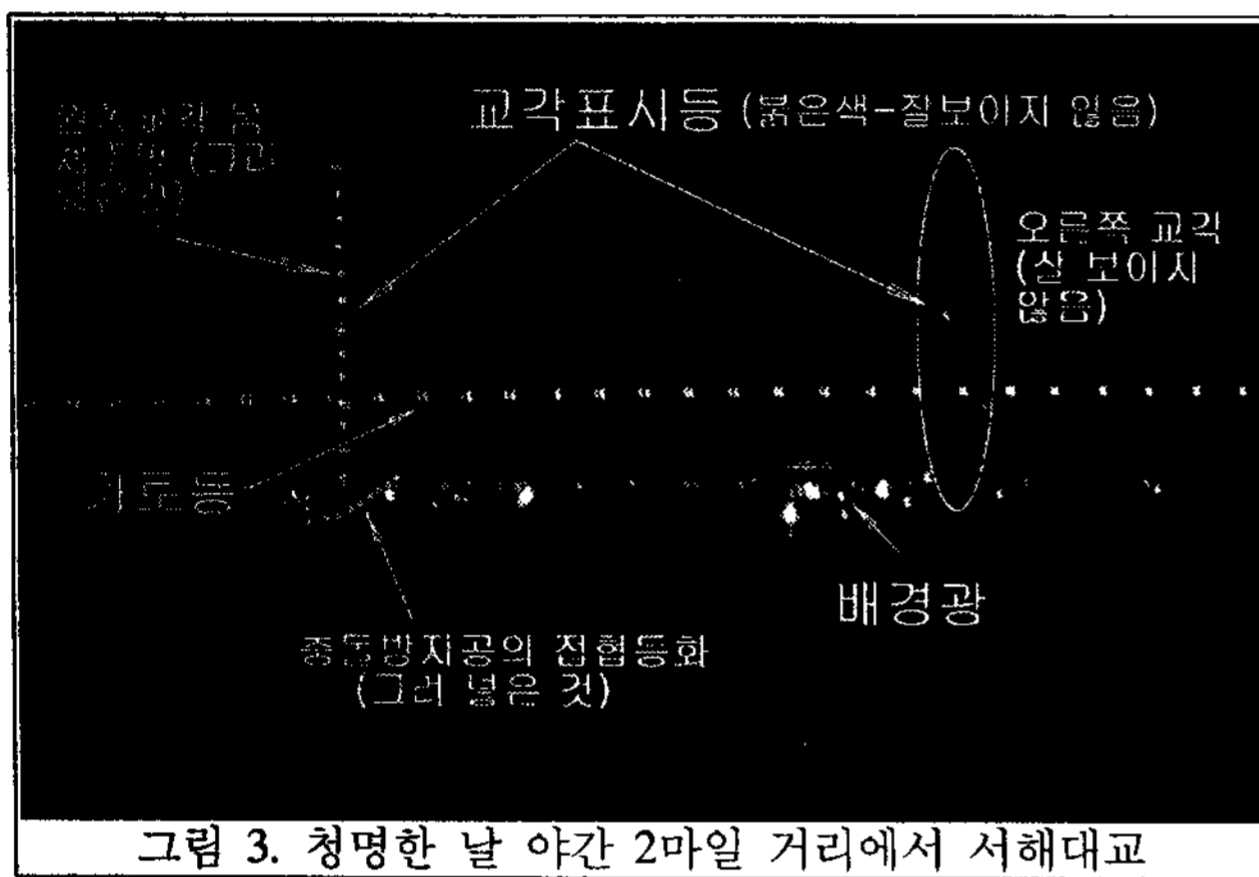


그림 2 등대, 중시등 및 접현등의 개략도

로 확인하며 진행하는 항해자는 심리적 안정감을 확보하여 만일의 위험한 경우가 발생을 하여도 정상적인 판단으로 안전한 조종을 하게 하는 효과가 있다.

중시등화의 위치는 교각전면에 설치된 등대와 교각의 중심선 및 각 등대의 뒤쪽 등대보다 5m 이상 높은 곳(예컨대 교각의 본체 등)에 등대의 등색과 같은 부동(Fixed light)의 등화를 설치함이 합리적이다. 전원은 일반전원의 이상시에도 유지되어야 하는 등대와는 별도로 일반육전을 사용하여도 무방할 것이다.

3) 교각의 몸체조명



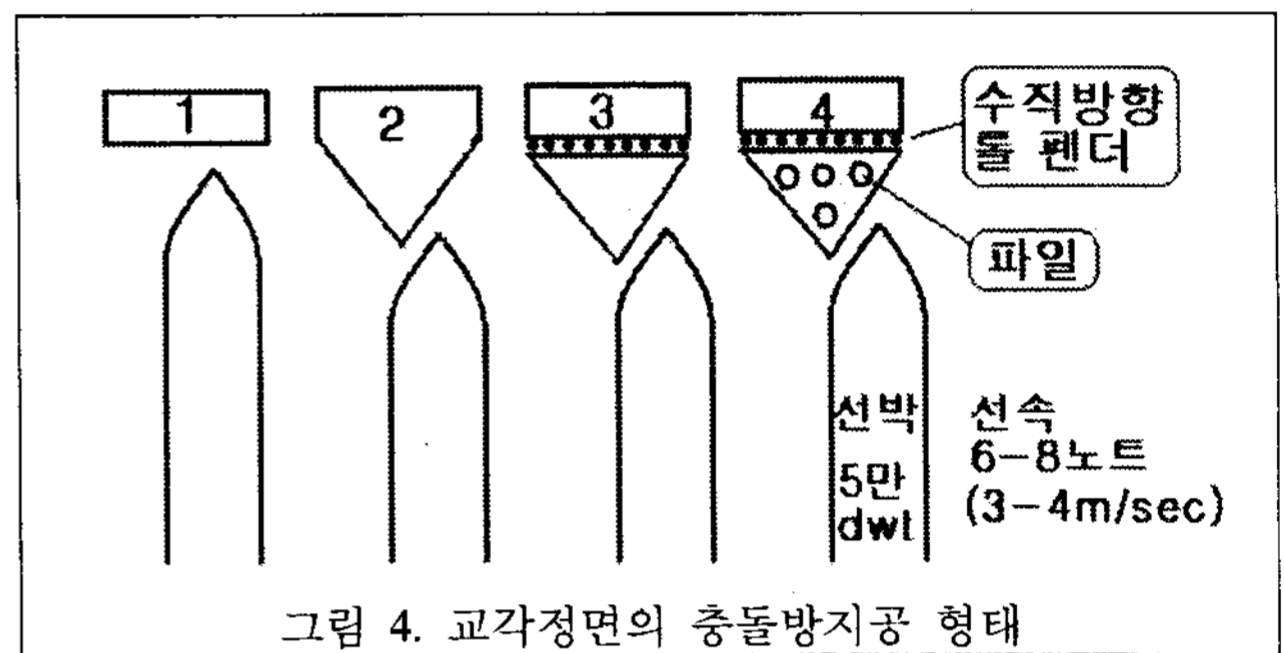
교각의 위치는 멀리서부터 시인이 뚜렷하여야 한다. 대형선의 일방통행만이 가능한 좁은 교각은 적어도 2-3 마일 전부터 양 교각의 중앙을 향하여 정침을 하며 접근하여야 교각의 투영면적이 적어지며 근거리에서 교각의 중앙쪽으로 변침을 하면 교각의 투영면적이 커져서 교각사이의 Clearance는 줄어든다. 그림 3의 사진처럼 항공용 교각 표시등이나 투사등에 의한 간접조명은 미세한 안개나 황사만 끼어도 보이지 않으므로 왼쪽 교각에 그려 넣은 예와 같이 직접조명이 효과적이다. 이러한 교각조명은 교각관리자가 임의로 켜는 것보다 항만세척을 마련하고 적용하여 조도 500 Lux 이하에서는 광감각센서에 의하여 자동 점등되도록 하여야 한다. 보이지도 않는 교각을 피해가라고 주문을 하는 것은 항해자에게는 고문이나 다름이 없다. 직감에 의해 본능적으로 위험을 피하게 하기 위해서는 다양한 방법에 의하여 육안으로 시인이 되도록 하는 것이 가장 효과적이다.

5. 충돌효과 감쇄방안의 고정시설물

선박은 종종 기관이나 조타기의 고장 또는 기관 시동의 불량에 의하여 일시적 또는 상당시간 운전부자유 또는 운전 불능의 상태가 되는 경우가 있으며 그러한 일은 때와 장소를 가리지 않고 불시에 일어나서 사고로 이어지기도 한다. 통상시는 물론 갑문의 입구나 교각의 하부통과와 같이 심리적으로 중압감을 갖는 특정위치에서는 조타(操舵)를 하는 조타수가 선장이

나 도선사 등 지휘자의 구령을 맞게 복창하고도 실제로는 반대로 타를 돌리는 경우도 종종 있다. 지휘자도 왼쪽 전타를 생각하면서 구령은 오른쪽 전타를 명할 수도 있으며 심리적 압박감이 큰 민감한 장소일수록 이러한 일이 이리날 가능성은 크다. 따라서 선박과 교각의 충돌은 언제든지 발생할 수 있는 것으로 가정하여 대책을 마련하여야 하며 그러한 대책은 교량 붕괴의 심각성에 비추어 실제로 선박의 충돌이 발생할 경우 유효한지를 관련분야의 전문가와 함께 공개적으로 검토하여야 한다.

5.1 충돌방지공의 설치



선박이 충돌하면 교각의 파손이 경미한 경우라도 그 충격에 의하여 상판이 떨어지며 붕괴되는 경우가 보통이므로 교각에는 어떠한 충격도 없도록 충돌 방지공은 선박의 예상최대 충격량을 견딜 만큼 견고하여야 한다. 그러나 거대한 충돌방지공을 설치하는 것은 항로폭 부족이라는 또 다른 문제가 있으므로 최소의 범위에서 효과적인 충돌 방지공의 설치가 필요하다. 그림 4와 같은 구조를 비교하여 볼 필요가 있다.

5.2 교각 전면의 충돌 방지공

그림 4의 1과 같은 구조는 5만톤 선박 3-4m/sec의 운동량을 충돌방지공에서 모두 소진하여야 교각이 안전하므로 상당히 크고 견실해야하나 그림에도 불구하고 속도에 따라 크게 달라지는 선박운동량을 감안할 때 교각의 충격우려는 크다. 그림 4의 2, 3, 4와 같은 삼각형구조는 경사면 충격에 의하여 운동에너지의 일부만을 소진하고 선박의 진행방향을 돌리므로 교각은 안전하며 남은 운동량은 이후 진행중 수저항에 의하여 점차 소진하거나 운동량을 지닌 채 교량밖의 안전수역으로 벗어나는 구조이다. 선박과 충돌방지공의 손상을 동시에 줄일 수 있는 이러한 구조의 효과를 더욱 높이는 방법으로 충돌방지공을 두 부분으로 나누어 사이에 수직의 볼펜더를 끼우고 전면 충돌방지공의 중심에 여러개의 파일을 박아서 보강하면 좀 더 좁은 면적에 적은 비용으로 효과적인 구조가 될 수 있다. 그림 7의 (b)에 표시한 것과 같이 1차 충돌 방지공에 가해지는 충격이 삼각형의 면에 직압력을 가하면 이 직압력은 2차 충돌방지공쪽의 힘과 그 직각방향의 힘으로 분해되어 힘의 절반이상이 1차 충돌방지공을 옆으로 미는 힘으로 작용하므로 교각쪽에 있는 2차 충돌방지공 쪽으로 가해지는 충격량은 직압력의

절반이하로 줄어진다.

5.3 교각의 측면 충돌 방지공

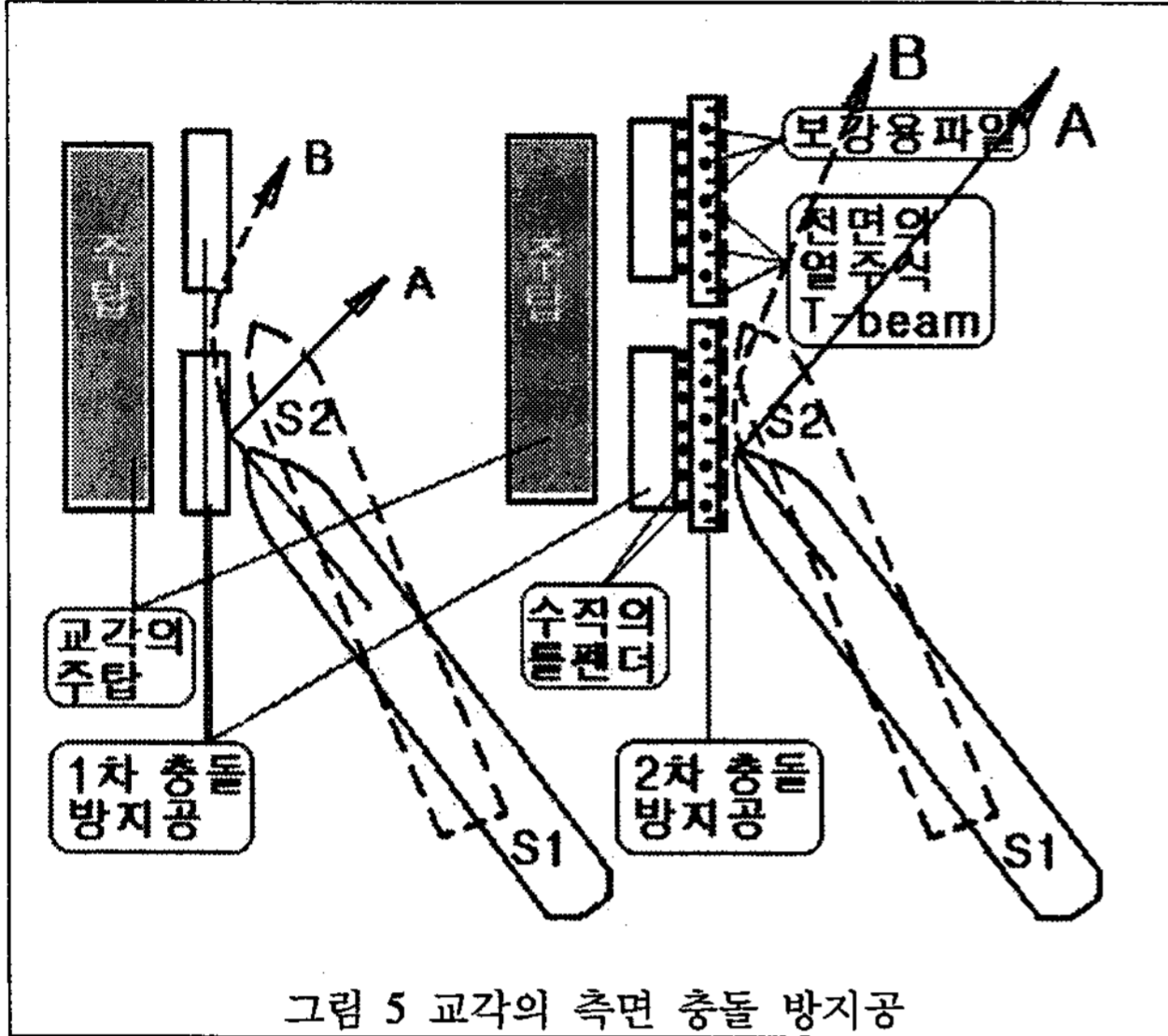


그림 5 교각의 측면 충돌 방지공

다리 아래를 통과하는 선박은 운행 경로상 측면 충돌시 정면충돌보다는 그림 5와 같이 사각으로 충돌할 가능성이 크다. 사각으로 선수를 방지공에 충돌한 선박은 A와 같이 바로 튕기지 않고 S2의 자세로 이동하며 B와 같은 경로로 진행하게 될 것이다. 선수의 수면하부면적에 비례하는 수저항은 선박의 회두에 저항하므로 당구공과 같이 (입사각=출사각)으로 튕겨하지는 않기 때문이다. 충돌 후 방지공의 면을 따라 미끄러지며 진행을 하던 선박이 두 번째 측면 충돌 방지공 사이에 끼이며 교각방향으로 방향이 바뀌는 것을 피하기 위하여 연속되는 충돌 방지공 사이는 최소로 하여야 하며 사각의 충돌역시 선박의 큰 질량을 고려하여 2중으로 보강할 필요가 있다. 그 외에도 외측 충돌방지공의 선단은 파괴를 줄이고 강도를 보강하기 위한 열주식 T-Beam과 방지공 중앙에 파일들을 박는 등의 보완 방법을 강구할 필요가 있다. 외면과 내면을 보강한 충돌 방지공 및 시인효과 개선용 접현등화와 중시등화를 조합하여 제안하면 그림 6과 같다.

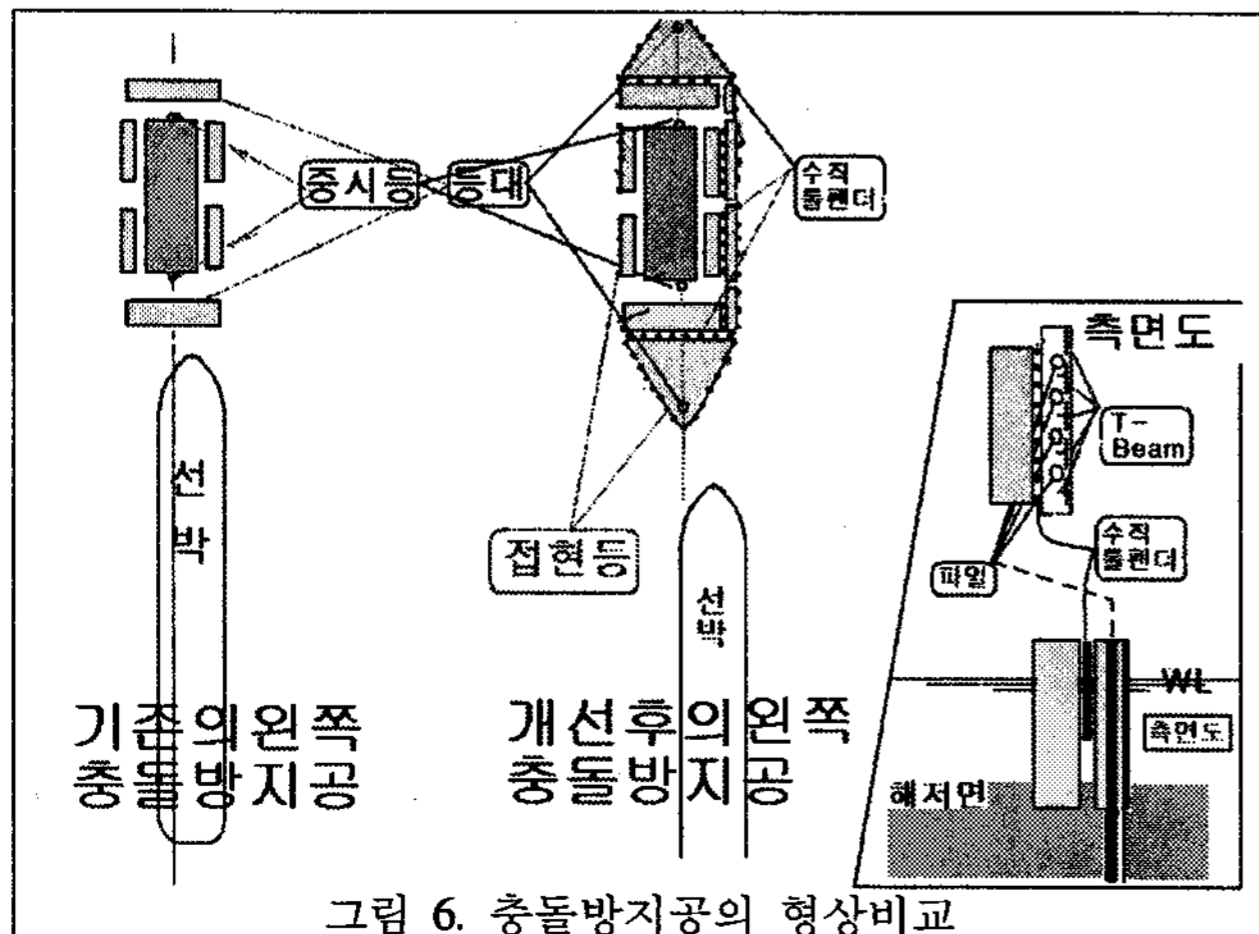


그림 6. 충돌방지공의 형상비교

5.4 삼각형 충돌방지공의 충격 감쇄효과에 대한 수치계산

충돌선박의 개략은 다음과 같다.

선박 : 배수량 50,000톤

치수 : $L \times B \times d = 205 \times 28 \times 15$

충돌속도 : 6 kt

충돌각도 : 충돌방지공과 선수미선 사이 각 45도

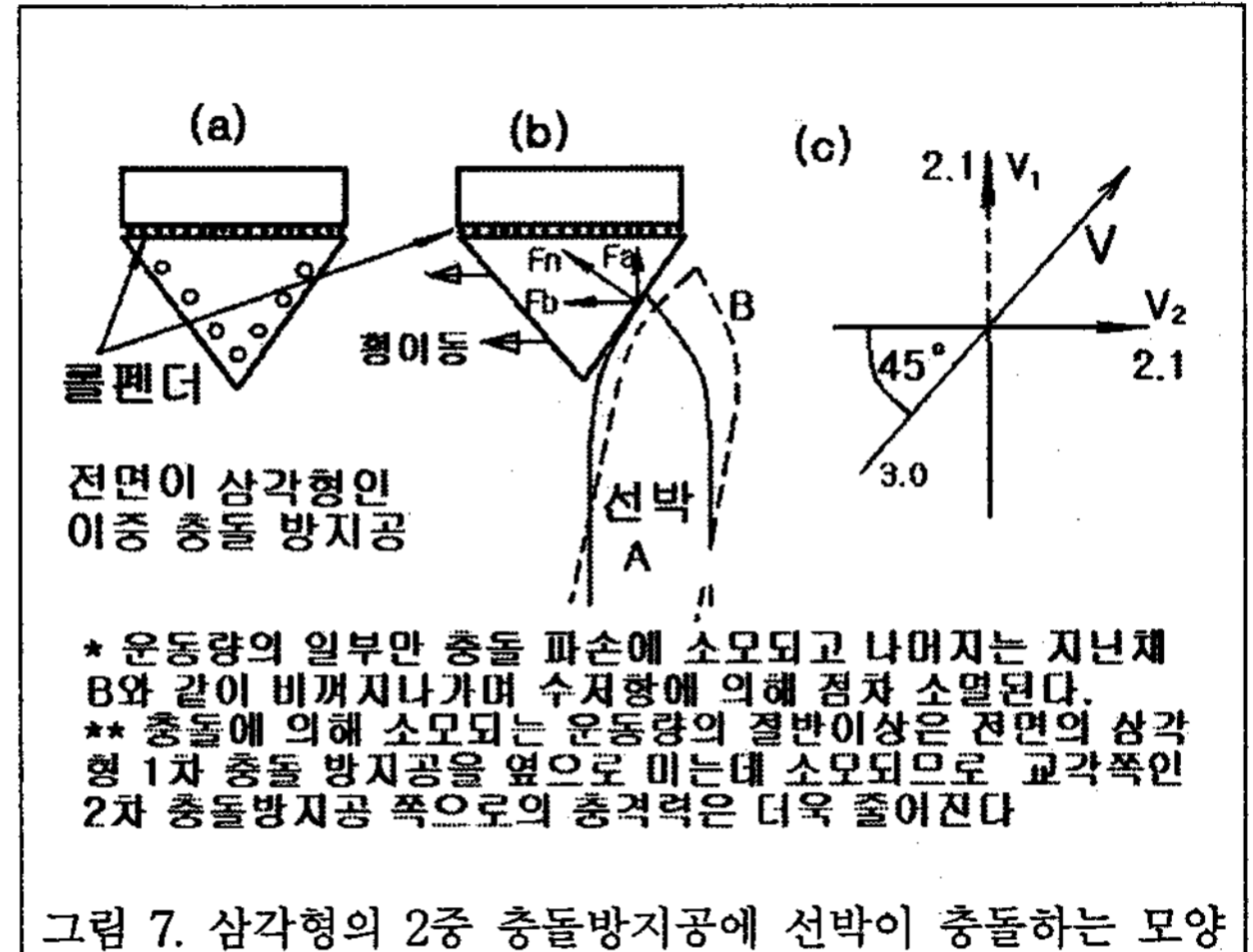


그림 7. 삼각형의 2중 충돌방지공에 선박이 충돌하는 모양

속도는 벡터이므로 충돌방지공에 선박이 45도의 각도로 충돌한다고 가정하면 속도 $v(3m/sec)$ 는

$$v_1 = v \cos \theta = 3 \cos 45^\circ = 2.1m/sec \text{와}$$

$$v_2 = v \sin \theta = 3 \sin 45^\circ = 2.1m/sec \text{로 나뉘어 진다.}$$

v_1 속도는 충돌방지공을 압축하면서 이것을 손상시킬 것이고 면과 평행한 v_2 는 충돌방지공면을 따라서 마찰 전진하여 나가다가 충돌방지공면에 밀착되어 밀어붙이는 선수는 반력을 받아서 선체를 우회두 시키며 진행할 것이다. 이러한 경우 충돌방지공에 가하여지는 운동에너지는 식(4)로 계산되지만 이 에너지는 충돌방지공에서 소실되는 에너지와 선체가 회두하는 회전운동에너지로 양분된다(윤, 2002). 다만 속이 빈 철판조립체인 선박의 충돌은 탄성충돌이 아니라 반소성 충돌이므로 당구공처럼 튀기지는 않을 것이며 선체의 수면하부에서 선체의 회두에 저항하는 수저항으로 인하여 완만하게 선수를 회두시키며 교각의 밖으로 선체가 빠져 나갈 수 있을 것이다.

$$\text{운동에너지 } E = \frac{1}{2} m (1 + C_x) v_1^2 \dots \dots \dots (4)$$

단, m : 선체질량

C_x : 종방향부가질량계수로 약 0.4

v_1 : 면에 직각방향의 속도 2.1m/sec

$$E = \frac{1}{2} \times \frac{50,000}{9.8} (1 + 0.4) \times 2.1^2 = 15,750 \text{ton} \cdot \text{m}$$

벽의 사면 일정각도를 가지고 선수가 충돌할 때 운동에너지는 절반은 면과 접촉하면서 소실되는 보존에너지가 되고 나

머지 받은 선박회전운동에너지로 물의 저항 때문에 소실된다. 선수부가 충돌방지공에 충돌할 때 방지공을 하나의 큰 fender로 간주하고 이것의 spring constant K를 50 ton/m로 가정하면 다음식이 성립한다.

$$\frac{15,750}{2} = \frac{1}{2}KS^2 \dots\dots\dots(5)$$

식(5)에 의하여 S를 계산하면 $S=17.7m$

즉, 사각형 충돌 방지공으로 운동량을 모두 소진하자면 선박은 충돌방지공면을 17.7m 정도 밀고 들어갈 것이다.

방지공이 없고 선박이 교각에 직각으로 충돌하였을 때의 운동에너지는 $E = \frac{1}{2} \times 1.4 \times \frac{50,000}{9.8} \times 3^2 = 32,143 \text{ ton} \cdot \text{m}$ 이고 이것이 교각에서 전부 발산된다.

그런데 삼각형 방지공을 세웠을 때는 방지공에 걸리는 에너지는 $E = \frac{15,750}{2} = 7,875 \text{ ton} \cdot \text{m}$ 이다. 그러므로 방지공으로 인한 파괴에너지는 $7875 \div 32,143 = 0.25$ 즉, 75%가 감소되었다.

반소성 충돌을 전제로 한 계산상의 효과 이외에도 그림 7의 (b)와 같은 삼각형의 2중 충돌방지공은 전면형상은 선박이 충돌방지공의 사면을 따라 미끄러지기에 적당하므로 선박과 충돌방지공의 손상을 줄이며 동시에 탄성충돌을 유도하는 효과가 발생하여 선박이 운동량의 대부분을 유지한 채 충돌방지공의 사면을 미끄러지며 벗어나게 하는 효과가 있다. 이후 선박은 충돌 방지공을 벗어나 선박의 진행방향이 교각을 안전하게 벗어나는 방향이라면 그대로 두어 수저항에 의하여 운동량이 점차로 소멸되게 하거나 일단 교각과 멀어지며 시간을 벌었으므로 투묘가 필요하면 투묘 후 주묘 저항으로 운동량을 감쇄시키거나 하는 여유시간이 생긴다.

이와 같이 사각형의 충돌방지공으로 선박의 운동량이 전부 소멸되는 소성충돌을 유도하는 것보다 삼각형의 구조가 더 합리적이다. 선박의 속력에 따라 운동량과 충격량은 크게 달라지기도 하거나와 속력을 무리하게 제한하면 선박의 속력이 느릴수록 조종성이 떨어져서 충돌위험은 오히려 커지기 때문이다. 조종성이 유지되도록 선박의 속력을 무리하게 제한하지 않고도 만일의 충돌은 그 운동량의 방향을 돌리는 방법으로 대책을 마련하여야 한다.

6. 충돌의 손상감쇄를 위한 선박의 조치

선박이 교각과 근접통과를 할 때 발생하는 유체 역학력에 대한 이해 및 충돌이 불가피할 때 충돌 손상의 감소를 위한 조종기술의 연구와 홍보가 필요하다.

6.1 선박의 조종성과 속력의 제한

기관을 가동하여 프로펠러가 회전할 때 발생하는 가속수류(Quick water)는 상선의 속력범위에서 선속에 관계없이 진행 속도보다 3-4노트 정도가 더 빠른 것이 보통이고 바로 뒤에 있는 타를 지나며 타압을 형성하여 조종성을 향상시킨다. 기관을 정지하고 관성에 의하여 진행할 때보다 기관을 사용하면 동일한 속력일지라도 조종성이 향상되는 것은 이 가속수류 때문이다. 기관과 프로펠러를 정지하였을 때는 최소 7-8 노트 이상 상당한 속력이 아니면 타효(舵效)를 쉽게 느끼지 못하는 것은 가속수류가 없기 때문이다. 따라서 선속을 무리하게 제한하는 규정이 있으면 속력규정을 맞추기 위하여 기관을 정지하여야 하므로 선박의 조종성이 나빠지고 충돌위험은 오히려 증가한다. 교량 등 위험물의 부근에서 이러한 선박의 조종특성을 무시하고 무리하게 속력제한을 하면 조종성의 저하로 인하여 오히려 사고를 더 조장할 수가 있으므로 선박의 조종특성과 환경을 고려하여 합리적인 속력범위를 결정하여야 한다.

6.2 선박의 기관고장과 시동불량 및 선속제한

운항중이던 기관이 변속과정에서 고장이 나는 경우는 드물지만 정지 후 다시 시동을 걸 때 공기압부족이나 스타팅밸브의 고착 등 여러 가지 원인에 의한 기관고장을 경험하게 된다. 따라서 위험물을 지날 때는 가급적 기관의 정지를 하지 않고 변속에 의해서만 지나는 것이 경험 많은 항해사의 상식이다. 입항선이 다리 등 위험물에 접근할 때 만일의 경우 손상을 줄이기 위하여 감속을 하는 범위는 조종성이 유지되는 기관의 최소 회전수(Dead slow ahead)를 유지하는 것이 합리적이고 그러한 속력 정도에 대응하는 충돌 방지공과 같은 구조물을 건설하여야 한다. 통상선박의 Dead slow 속력은 4-6노트이고 감속중이라면 잔여타력(殘餘力) 2-3노트를 더해야 하므로 선속의 제한은 대수속력 8-9노트 이하로 함이 현실적이다.

6.3 예선의 보조와 효과적인 사용기술

예선의 사용으로 모든 문제가 해결되는 것은 아니다. 예선의 사용에는 다음과 같은 제한이 있음을 고려하여야 한다. 선박의 속력별 예선의 지원효율 감소는, 선박이 멈추어 있을 때를 100으로 하면 선속 2-3노트에서는 50, 선속이 4-5노트일 때는 25, 6노트에서는 12-13 정도로 급감하므로 특히 대형선이 4-6노트이상으로 항주중일 때는 예선의 지원효과가 거의 없다고 보아야 한다. 횡으로 서서 계걸음으로 본선을 따라오는 예선자신의 이동에 소모되는 출력이 큰 것이 주요 원인이다.

다만 그림 8에 표시한 바와 같이 선박의 전심(轉心, Pivoting point)은 물

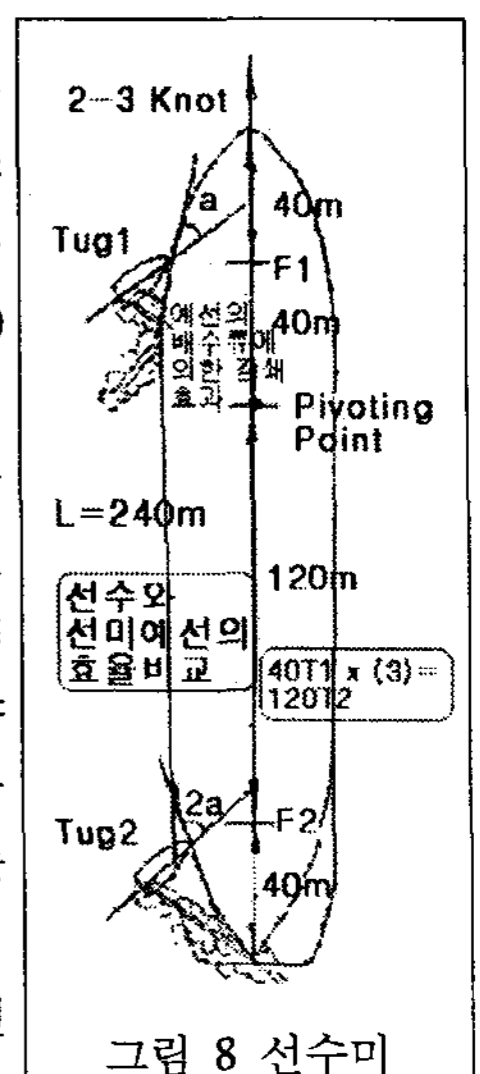


그림 8 선수미

체의 이동방향으로 쏠리므로 전심으로 부터 힘의 작용점까지의 거리가 큰 선미예선의 효과가 선수예선보다 큰 점에 착안을 하여 6-7노트 이상으로 운행중 이라도 선미에 잡은 예선을 밀거나 뒤 쪽 좌우 방향으로 당기는 것은 감속효과와 함께 전심으로부터 먼 거리(d)에서 힘이 작용하므로 회두모멘트($M=Fd$)가 커지게 되어 회두효과를 나타낼 수 있다. 입항시에는 교각을 통과하기 전에 선미예선을 잡고 출항시에는 교각을 통과할 때까지 선미 예선을 잡은 채 진행하도록 하여 기관이나 타의 고장과 같은 만일의 사태에서 충돌위험이 있을 때는 선미 예선을 좌우로 당기는 효과에 의한 안전조치는 필요하다.

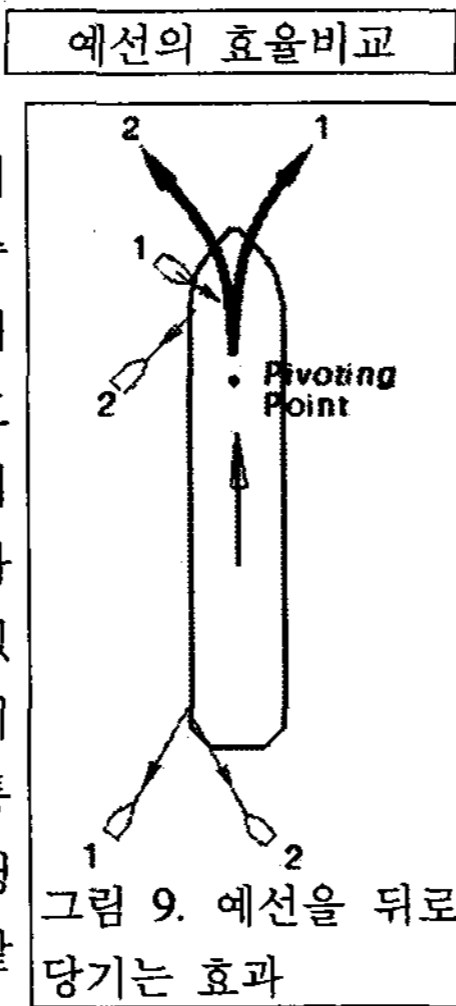


그림 9. 예선을 뒤로 당기는 효과

즉, 그림 9 같이 감속 우회두를 위해서는 1과 같이 예선을 사용하고 감속 우회두를 위해서는 2와 같이 예선을 사용해야 한다. 이러한 예선의 사용은 Simulation으로서 검증이 어려우므로 다만 조종이론으로서 구성을 하여 홍보하여야 할 문제이다.

6.4 앵커의 사용

5만 톤의 큰 질량을 가진 선박이 충돌방지공에 1차 충돌을 하는 경우 충돌방지공의 사면을 따라 상당히 진행을 할 것이지만 수선하에 작용하는 수저항이 크기 때문에 마치 공이 튀듯 입사각과 동일한 출사각으로 반대쪽 교각까지 튀지는 않는다. 방지공의 사면을 따라서 완만하게 미끄러지며 교각을 벗어날 것이지만 반대쪽 교각까지 회두하는 만일의 경우를 대비하여 투묘등의 긴급조치를 하여야 한다.

감속을 위해서는 양현앵커를 투묘하고 체인의 길이가 수심의 1.5배 내지 2배에서 dragging을 함이 효과적이고 위험물과의 반대방향으로 회두를 위해서는 위험물 반대쪽 앵커를 dragging함은 효과적이거나 심한 회두시에 나타나는 선미의 kick out에 의하여 선미 충돌이 있을 수 있음을 고려하여야 한다. 교각을 통과하기 전 충분한 시간을 두고 양현앵커를 Emergency stand by하는 것은 선장과 선원의 상무(常務)이다.

7. 결론

1. 왕복 항로를 가로질러서 건설하는 교량의 교각폭은 유체역학적으로 2L 정도이면 가능하나 심리적 안전거리 확보와 교량붕괴사고의 심각성을 감안하여 $3L+2B+@$ 로 확보를 할 필요가 있다.
2. 교각의 전후에 건설하는 충돌방지공은 1차 충돌방지공의 형상이 삼각형인 2중 충돌방지공이 효과적이고 선박이 교각

면에 직각으로 충돌하여 발생시키는 파괴에너지의 75%를 줄일 수 있다. 탄성충돌을 유도하여 선박이 교량을 안전하게 통과하게 하는 2차효과도 있으며 간접적으로는 건설장소의 면적과 비용 또한 줄일 수 있다. 1차 충돌방지공의 삼각형 꼭지점 각은 교각폭을 고려하여 반대편 교각과의 2차 충돌을 방지할 수 있도록 설계하여야 한다.

3. 교량부근에서의 선속제한은 통상선박의 Dead slow ahead에 해당하는 4-6노트에 감속중의 잔여타력 2-3노트를 감안하여 8-9노트 이내로 함이 합리적이며 이러한 속력에 대응하는 충돌방지공을 마련하여야 한다.
4. 교각은 배경광과 약시정에도 시인성이 유지될 수 있도록 다양한 방법의 시인성을 확보하여야 한다. 교각조명등과 충돌방지공의 선단에 접현등을 설치하고 교각부근에서 외력이 선박에 주는 영향력을 실시간 측정할 수 있도록 양쪽 교각의 전후에 등대와 중시등화를 설치하여야 한다.
5. 선박이 전진타력을 가지고 진행할 때 선미예선의 효과가 선수예선보다 크므로 교각의 부근에서 긴급한 상황이 발생하여 예선을 이용할 때는 선미예선을 적극적으로 이용하는 조선기법을 활용하여야 한다.

참고 문헌

- [1] 윤점동(2006) "선박조종의 이론과 실무", 세종출판사, 부산.
- [2] 윤점동(2002) "VLCC조종의 이론과 실무", 세종출판사, 부산.
- [3] 윤점동(1986) "선박간의 상호작용과 안전조선에 관한 연구", 한국항해학회지, 제10권, 제1호.
- [4] 中島利雄(1979) "曳船操船", 海文堂, 동경.
- [5] I.W.Dand(1977) "The Nautical Institute Conference on Shiphandling"
- [6] Philip Mandel(1977) "Principles of Naval Architecture" SNAME, NewYork.