

고속선의 파랑중 조종성능

손 경 호 <한국해양대학교 조선공학과 교수>

1. 서 언

고속선의 선형 설계에 있어서 우선적으로 고려되는 사항은 속력 즉, 저항·추진성능이고, 이어서 파랑중에서의 성능 즉, 내항성능이다. 그리고 이들 2가지 성능이 만족되어진 후에야 비로소 조종성능이 검토되어지는 것이 일반적 관례이다. 다시 말하면 고속선의 조종성은 설계 목표의 제 2차적 성능이므로 속력과 내항성의 목표가 달성되어진 후에야 비로소 침로 안정성 또는 타효(舵效)에 관한 검토가 이루어진다. 그리고 조종성에 다소의 문제가 있다 하더라도 선박 운항자의 조종 기술에 의해 어느 정도 보완될 수 있는 성질이라면 묵과해 버리는 경향이 있다. 그러므로 고속선의 조종성에 관한 기술 자료는 공표된 예가 그다지 흔하지 아니하며, 공표되어 있는 것 중에도 조종성이 아주 문제시된 개개의 선박에 대한 대책을 제시한 내용이 대부분이다.

이러한 이유로 본고에서는 고속선의 항행 안전성과 관련된 공통의 문제로서 파랑중 조종성능에 관해서 언급하고자 한다. 파랑중 조종성능이 문제시되는 것은 선박이 추파(following seas) 또는 추사파(quartering seas)를 받으면서 고속으로 항행할 때이다. 보통의 속도 범위에서 운항되는 일반 선박중에서도 컨테이너선, 어선 등과 같이 비교적 속력이 빠른 선박은 추사파중에서 선수 동요가 크게 일어나며, 보침(保針)을 위한 조타량이 커짐과 동시에 횡동요가 심하게 일어나는 것으로 알려져 있다. 이러한 불안정 현상은 정도의 차이는 있을지언정 고속선에서도 마찬가지로 경향을 보이고 있다.

파랑중 조종성능을 요약하면 추파 또는 추사파중

에서의 복원성과 보침성 문제에 귀착된다. 추사파중에서의 복원성 문제는 선체 중심이 파정에 위치할 때 복원력 저하로써 설명될 수 있으며, 이러한 현상은 파장과 선체 길이가 거의 같고 선속이 파속과 거의 같은 조건하에서 일어난다고 알려져 있다. 이러한 조건을 만족하는 선속은 Froude수 0.4 정도로서 고속선의 운항 범위에 미달되는 속도이다. 추사파중에서의 보침성 문제는 브로칭(broaching-to) 현상으로써 설명될 수 있으며, 브로칭 현상은 파장이 선체 길이의 2 배 정도이고, 선속과 파속이 거의 같은 조건하에서 일어난다고 알려져 있다. 이러한 조건을 만족하는 선속은 Froude수 0.56 정도로서 고속선의 운항 범위와 일치하는 속도이다.

따라서 본고에서는 고속선을 대상으로 하기 때문에 복원성 문제는 다루지 아니하고 브로칭 현상에 관해서만 간략히 기술하기로 한다.

2. 브로칭 현상

추파 또는 추사파중에서 항행하는 선박의 중심이 파도의 내리막 파면에 위치할 때, 침로를 유지하기 위해서 큰 타각으로 조타를 하는데도 불구하고 선체가 파저와 나란히 될 때까지 급속히 회두하는 현상을 브로칭이라고 한다. 그리고 이러한 급격한 회두와 함께 선체는 파저쪽으로 대각도 횡경사되어 전복되는 경우도 있다. 브로칭 현상은 중소형 선박을 운항하는 해상 기술자들에게는 잘 알려져 있으나, 조선 기술자들에게는 비교적 잘 알려져 있지 않다. 브로칭 현상에 관해서 발생 조건, 발생 원인, 선박 설계 및 조종상의 유의점 등의 순서로 기술하고자 한다.

2.1 발생 조건

브로칭 현상이 어떠한 파랑 조건과 어떠한 항행 조건하에서 발생하는가에 관해서 지금까지 연구된 결과를 요약하면 다음과 같다. 일본 선박기술연구소에서는 하드차인(hardchine), 반활주형으로 분류되는 표준적인 유람 어선(길이 7.26 m) 선형의 자유 항주 모형 실험을 실시한 결과 다음과 같은 사항이 밝혀졌다[1].

- (a) 브로칭이 발생하는 것은 선체 중심이 파도의 내리막 파면에 있을 때에 한하고, 반드시 스퍼라이딩(surfriding) 현상이 동반된다. 스퍼라이딩은 추파 또는 추사파중에서 전후 방향 파장제력 변동에 의해 선체가 가속되어져서 파도를 타게 되는 현상을 말한다. 그리고 파도가 선체를 짧은 주기로 추월하거나, 선체 중심이 파저, 오르막 파면 또는 파정 부근에 있을 때는 브로칭 현상이 발생되지 않는다.
- (b) 파장이 선체 길이의 2 배 정도이고, 파고파장비(h_w/λ)가 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{25}$ 전후일 때, 그리고 파도와 선체의 만남각(χ)이 선미로부터 20° 부근일 때 브로칭 현상이 일어나기 쉽고, 정선미로부터 파도를 받는 추파($\chi = 0^\circ$)일 때에는 브로칭 현상이 거의 일어나지 않는다.
- (c) 선속은 파속과 거의 같거나 파속보다 약간 낮은 경우에 일어나기 쉽다.

한편, 상기 (a), (b), (c)의 조건이 전부 갖추어진 경우에도 모형선의 침로 진입 방법, 조타 방법, 침로 수정법, 초기 조건 등에 따라서 브로칭 현상이 일어나지 않은 경우도 있었으므로, 상기 (a), (b), (c)의 조건은 브로칭 발생의 충분 조건이라고는 볼 수 없으나 많은 관련이 있다는 것을 부인할 수 없다. 그리고 실험에 사용된 모형선은 고속 유람 어선 선형이지만 기타의 고속선형의 경우에도 같은 경향을 보일 것으로 생각할 수 있다.

2.2 발생 원인

브로칭 현상의 발생 원인으로서 가능성이 높다고 생각되어 왔던 다음의 3 가지 항목

- (a) 추파중에서 타효(舵效)의 저하
- (b) 추파중에서 침로 불안정
- (c) 파입자의 궤도 운동에 기인하는 회두 모우멘

트의 작용

에 대해서 Motora 등이 검토한 결과는 다음과 같다 [2]. 일반적으로 추파의 내리막 파면에서 타효가 저하되기는 하지만 자유 항주 모형 실험에 의해 브로칭이 발생하였을 때에도 현저한 타효의 저하가 나타나지 않은 경우도 있었다는 점, 그리고 추파중에서 어느 정도 침로 불안정 경향을 보이지만, 자유 항주 모형 실험에 의하면 $\chi = 20^\circ$ 전후에서 브로칭이 일어나기 쉽다는 것을 침로 불안정성으로부터 설명하기 어렵다는 점, 그리고 선수미 부근에서의 파입자의 궤도 운동 속도의 선체 횡방향 성분에 의한 회두 모우멘트가 브로칭을 일으키는 주 원인이 될 정도로 크지 않다는 점 등이 밝혀졌다.

Motora 등은 추사파중에서 항행하는 소형선박(앞에서 언급한 하드차인, 반활주형 소형 유람 어선)을 이용하여 전후동요, 좌우동요, 선수동요를 포함하는 조종성 수치 시뮬레이션을 실시하여 브로칭의 발생 원인을 검토하였다[2]. 시뮬레이션에 이용된 수학 모델은, 선형화된 조종운동 방정식에 파랑에 의한 유체력을 추가한 것이었다. 이 수학 모델을 이용하여 추사파중에서 항주하는 선박의 운동에 대한, 선체 중심의 파면상 초기 위치, 초기 선속 등의 영향을 조사한 결과, 2.1절에서 언급한 파랑 조건과 항행 조건이 일치할 때 브로칭 현상이 나타났으며, 자유 항주 모형 실험시의 브로칭 현상과 일치하는 선체 거동을 시뮬레이트할 수 있었다. 상기 시뮬레이션 기법을 이용한 검토 결과 Motora 등은 브로칭 현상의 원인을, "타의 보침 능력을 훨씬 초과하는 파랑 회두 모우멘트의 작용"이라고 결론지었다. 이것은 실선 실험에 의해서 계측된 브로칭 발생시의 선체 운동 응답과 타력(舵力)의 기록을 토대로 브로칭 발생시의 파랑 강제력을 추정 한 결과가, 구속 모형 시험에 의한 파랑 강제력의 크기와 잘 일치한다는 사실로부터도 타당한 결론이라고 생각된다.

2.3 설계상의 유의점

앞에서 설명한 바와 같이 브로칭 현상의 발생 조건과 발생 원인은 거의 밝혀졌지만, 브로칭 현상을 방지하기 위해서 설계 단계에서 선체 형상을 어떻게 할 것인가 하는 문제에 관해서는 아직까지 체계적 연구가 수행된 예가 거의 없다. 그러나 지금까지의 해상 경험과 연구 결과를 토대로 선체 설계시에 유의할 사항에 관해서 간단히 언급하면 다음과 같다.

(a) 침로 안정성을 향상시킨다
추파중에서 항행할 때 선체가 $\chi = 0^\circ$ 에 가까운 상태이면 브로칭 현상이 잘 발생되지 않는다는 것을 앞에서 지적하였다. 침로 안정성이 나쁜 선박은 추파중에서 선수동요의 진폭이 커지므로, 브로칭 현상이 발생될 위험이 높은 파랑 상태 즉, $\chi = 20^\circ$ 전후의 추사파를 받는 상태가 되기 쉽다. 따라서 침로 안정성이 좋은 선박은 추파중에서 보침성이 좋아지므로 브로칭 현상의 위험이 그만큼 줄어든다. 침로 안정성의 관점에서 경험적으로 리드(lead, 선박의 무게 중심과 수면 하부 선체 측면적의 중심 사이의 수평 거리로 정의되며, 후자가 전자의 전방에 있는 경우를 “+”로 한다)를 가능한 한 작게 설계하는 것이 유리하다고 알려져 있다. 구체적 척도로서 리드가 선체 길이의 5%를 초과하지 않도록 하는 것이 바람직하다고 한다.

(b) 타효(船效)를 증대시킨다
타면적을 증가시키면 타의 보침 능력을 높이는 동시에 침로 안정성의 향상에도 효과가 있다. 한편, 타가 선미로부터 후방으로 돌출되어 있는 어선의 경우에는 브로칭 현상의 초기에 타가 수면 상부에 노출되기 쉬우므로 타면적을 증가시킬 때에 타의 높이를 높이는 것이 보다 효과적이다.

(c) 선수부가 수면 아래로 잘 몰입되지 않는 선수형상으로 한다

추파 또는 추사파의 내리막 파면 부근에 선체 중심이 위치할 때, 선수부가 수면 아래로 몰입되기 쉬운 선수형상은 선수 트림 상태가 되어 파랑중에서의 리드가 커지므로 브로칭 현상을 촉진한다. 따라서 브로칭 현상을 회피하기 위해서는 일반적으로 V형 선수보다는 U형 선수가 효과적이며, 전진 속도에 의한 동적 양력이 커지도록 차인(chine)을 설치한 선수형상도 효과적이다. 단, 이러한 선수형상은 슬래밍(slamming)에 약하기 때문에 주의를 요한다.

(d) 횡안정성을 향상시킨다
브로칭 현상에 동반되는 횡경사 모우멘트의 작용에 의해 쉽게 전복되지 않도록 배려한다.

2.4 선박 조종상의 유의점

선박의 운항에 있어서, 목적지의 방향에 따라서는 추파 또는 추사파 상태에서 항행을 하지 않으면 안될 경우가 있다. 이러한 경우에 브로칭 회피를 위해서

도움이 될 수 있는 선박 조종상의 유의점에 관해서 간단히 언급하면 다음과 같다.

(a) 항로 선정에 신중을 기한다. 다소 멀리 돌아가는 항로라 하더라도 해상 상태가 잔잔한 항로를 선정하도록 충분히 배려한다.

(b) 브로칭은 파도의 내리막 파면에 선체 중심이 위치할 때 쉽게 발생되므로 기관 출력에 여유가 있는 경우에는 파도의 오르막 파면 부근에 선체 중심이 위치하도록 약간 선속을 높인다. 그리고 선속이 파속보다 약간 느린 경우에는 선속을 아주 낮추어서 짧은 시간에 파도가 선체를 지나가도록 한다. 이외에도 접근하는 파도의 상황에 맞추어서 자주 선속을 조정한다.

(c) 추파중에서 항행하지 않으면 안될 부득이한 상황에서는 $\chi = 0^\circ$ 전후의 추사파가 되지 않도록 보침(保針)에 힘쓴다.

(d) 화물 적재시 선수 트림 상태가 되지 않도록 유의한다.

(e) 선박의 무게 중심을 가능한 한 낮추며, 화물을 잘 동여매고, 자유수를 배수하는 등 횡안정성이 나빠지지 않도록 힘쓴다.

2.5 IMO의 활동

최근 IMO(International Maritime Organization) SLF(Stability and Load Lines and Fishing Vessels) 소위원회에서는 복원성 기준 A.167[3] 및 A.562[4]에 추가하여, “추파 및 추사파중에서 위험 상황을 회피하기 위한 선장에게 지침서(Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Following and Quartering Seas)”를 제정하여 IMO 총회에서 이를 채택하도록 하려는 움직임이 있다[5].

현실적으로 선박의 해난 사고는 횡파보다는 추파중에서 특히 전복 사고가 빈번하게 발생되고 있으나, 횡파 기준 A.562와 같이 추파중에서의 안전 기준을 제정하기가 곤란하기 때문에, 우선 당분간 선박 운항자들이 추파중에서의 위험 상황을 충분히 인식하고 사전에 위험 요소를 배제할 수 있도록 하기 위해서 안전 기준이 아닌 지침서의 형태를 취하게 된 것이다.

SLF 소위원회에서는 상기 지침서 개발을 위해서 통신 연락반(correspondence group)을 설치, 운영하고 있으며, 통신 연락반에 의해 작성되어진 지침서 초안은 1995년도 상반기중에 개최될 SLF 제 39차

회의에 상정되어 심의가 끝나면 총회에 회부될 예정이다.

이 지침서 초안에는 추파 또는 추사파중에서 항행하는 선박의 모든 형태의 불안정 거동을 망라하고 있으므로 본고에서 다루고 있는 브로칭 현상도 당연히 포함하고 있다. 이 지침서에서도 브로칭 회피를 위해서는 먼저 스퍼라이딩 현상이 발생되지 않도록 해야 하며, 그렇게 하기 위한 수단으로서 선속을 $1.8\sqrt{L}$ (L)보다 낮추도록 권장하고 있다. 단, L 은 선체 길이(단위 : m)를 의미한다.

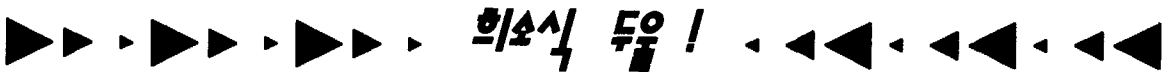
3. 결 언

본고에서는 추파 또는 추사파중에서 항행하는 선박의 불안정 거동 중 특히 고속선과 관련이 깊은 브로칭 현상에 관해서 간단히 기술하였다. 추파 또는 추사파중에서 항행하는 고속선의 안전성을 확보하기 위해서는 해난 사고의 원인을 상세하게 규명하려는 노력이 필요할 것이다. 그리고 이러한 과정을 거쳐서 보다 안전하게 고속 항행이 가능한 선체 설계와 선박 운항에 관련된 조종 지침이 명확해질 것이다. 그리고 IMO SLF 소위원회에서는 추파 또는 추사파중에서의 항행 안전성 확보를 위한 일환으로서 지침서 이외에 구체적 안전 기준 제정도 앞으로 검토되어질 것으로 전망된다. 일반 선박을 대상으로 하는 이러한 안전 기준은 모든 형태의 고속선형에도 별도로 규정하

는 IMO HSC(High Speed Craft) Code에서 수용이 될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] 不破健, 吉野泰平: “小型船のBroachingに関する實驗的研究”, 日本造船學會論文集, 第150號(1981).
- [2] 元良誠三, 藤野正隆: “Broaching 現象の發生機構に関する考察”, 日本造船學會論文集, 第150號(1981).
- [3] IMO: “Recommendation on Intact Stability for Passenger and Cargo Ships under 100 meters in Length”, Resolution A.167 (1968).
- [4] IMO: “Recommendation on a Severe Wind and Rolling Criterion(Weather Criterion) for the Intact Stability of Passenger and Cargo Ships of 24 meters in Length and over”, Resolution A.562(1985).
- [5] IMO Sub-Committee on SLF: “Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Following and Quartering Seas”, SLF 39/3/ (1995).



조선공학연습 개정판이 출간되었습니다.