

초고속선의 내항성능

김 용 직 <부산수산대학교 조선공학과 부교수>

1. 서 언

산업의 발전과 생활수준의 향상에 따라 신속하고 안락한 수송수단에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 기존상선보다는 빠르고 항공기보다는 값싼 속도 50 노트급의 초고속선 개발이 국내외에서 활발히 추진되고 있다. 이러한 초고속선은 여객과 고부가가치 화물을 주로 수송하므로, 여객과 승무원의 승선 안락감과 화물의 안전성이 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 고속을 내기 위한 저항추진성능뿐 아니라, 파랑중의 우수한 내항성능이 중요하게 고려되고 있다.

선박의 내항성능으로는 파랑중의 선속유지, 승선감, 파랑하중등이 중요 요소라고 할 수 있다. 즉, 우수한 내항성능은 파랑중에서도 선속감소가 적어야 하고, 승무원과 여객의 배멀미와 피로가 적어야 하며, 파랑에 의한 선체 손상위험이 적어야 함을 의미한다. 이러한 내항성능이 불량할 때는 파랑이 있는 실해역 운항시에 운항시간이 급격히 증가한다거나 운항한계에 의한 결항율이 증가하여 결과적으로 선

박의 종합적인 경제성과 경쟁성을 떨어 뜨리게 된다. 고속선은 고속에서 급격히 증가하는 조파저항을 줄이기 위해 다양한 원리가 이용되고 있고, 그 종류를 대별하면 Fig.1과 같다. 이들의 원리와 형상이 다양하고 특수한 만큼 파랑에 반응하는 특성과 이에 따른 내항성능도 다양하고 특수하다. 본고에서는 초고속선의 내항성능을 파랑중 선속감소, 운항 안락성, 파랑하중등으로 나누어 살펴 보고자 한다.

2. 파랑중 선속감소

선박이 파랑중에서 운항할 때 정수중에서와 비교하여 저항이 증가하고 추진효율이 감소한다. 따라서, 이에 의해 자연적인 선속감소(involuntary speed loss)가 초래된다. 이 선속감소의 정도는 각 고속선의 종류에 따라 큰 차이가 있으며, Fig.2에 개략적인 선속감소 특성이 보여지고 있다[1].

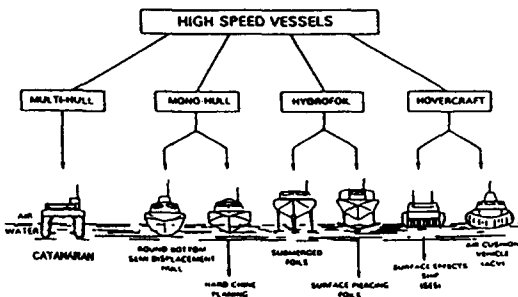


Fig.1 High speed marine vehicles

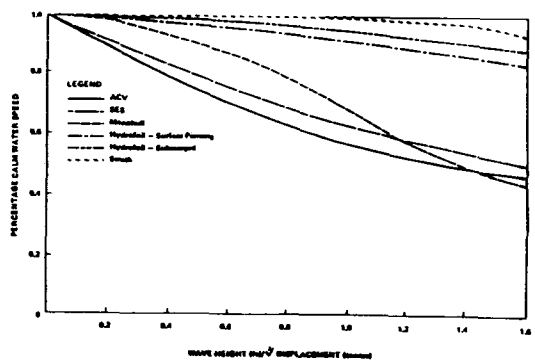


Fig.2 Comparison of fast craft speed loss in seaway

공기부양선(ACV: Air Cushion Vehicle)과 표면효과선(SES: Surface Effect Ship)[2], 단동선(Monohull)[3]이 비교적 선속감소가 크고, 수중익선(Hydrofoil Ship)[4]과 최소수면쌍동선(SWATH: Small Waterplane Area Twin Hull)[5]이 선속감소가 작음을 알 수 있다.

공기부양선(ACV)과 표면효과선(SES)에서 파랑중 선속감소가 크게 나타나는 것은 파랑에 의한 부양실내의 공기누출과 밀접한 관계가 있다. 즉 파랑에 의한 부양실내의 공기누출은 선체를 가라 앉게 하고, 결과적으로 선박의 저항증가를 초래한다. 이 저항증가의 정도는 스커트의 형식, 부양팬의 특성, 운동제어장치(RCS: Ride Control System)성능등에 따라 차이가 있다.

수중익선은 항주시 선체는 완전히 물밖에 드러나고, 수중익만이 물속에 잠기므로 파랑의 영향을 거의 받지 않아 선속유지를 포함한 내항성능이 우수하다. 수면관통(surface piercing)형과 전몰(submerged)형의 차이는 수면관통형의 경우 파랑에 의해 수중익의 잠긴 길이와 양력이 변화하므로 어느정도 파랑의 영향을 받는 반면, 몰수형의 경우는 이러한 영향이 없이 순수하게 운동제어장치(RCS)에 의존하여 항주하므로 내항성능이 매우 우수하다. 최소수면쌍동선(SWATH)은 Fig.3에 보여지는 바와 같이 매우 작은 수선면적(water plane area)을 가지고 있어, 파에 의한 상방향 기진력이 매우 작고 내항성능이 극히 우수한 장점이 있다.

3. 운항 안락성

운항 안락성 문제는 파랑하중과 더불어 인위적인 선속감소(voluntary speed reduction)와 운항한계(operational limits)를 초래하는 중요요소이다. 이 운항 안락성을 지배하는 중요인자로는 선체운동에 의한 수직가속도, 횡동요각(roll angle)등을 들 수 있다. 초고속선의 개발에 있어 이러한 운동응답을 이론적 실험적 방법에 의해 추정하고, 이를 감소시킬 수 있는 우수한 선형과 운동제어장치를 개발하는 것은 핵심적인 과제중의 하나이다.

운동응답 추정을 위한 이론적 방법은 비활주 단동선과 쌍동선의 경우는 만족할 만한 수준에 있는 반면, 표면효과선과 활주선, 수중익선의 경우는 앞으로 계속적인 개선이 필요하다. 특히, 표면효과선의 경우 많은 연구에도 불구하고 부양실내의 공기역학, 수면에서의 파랑역학, 스커트와 백의 탄성거동, 부양

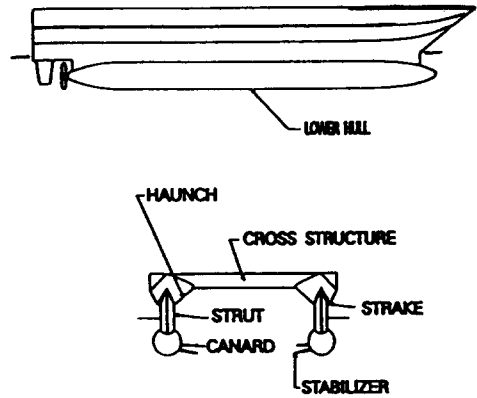


Fig.3 SWATH ship configuration

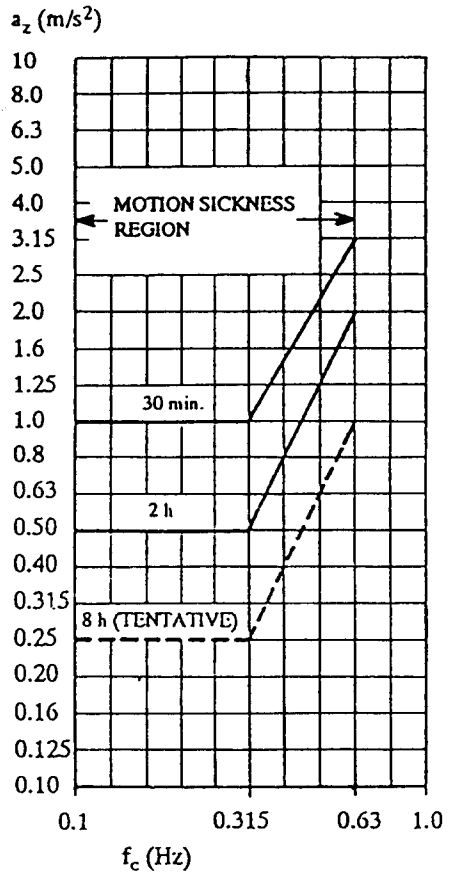


Fig.4 ISO 2631/3 severe discomfort boundaries

팬의 특성등을 함께 다루어야 하는 복잡성 때문에 이론적 추정에 많은 어려움이 있다. 모형실험에 있어서

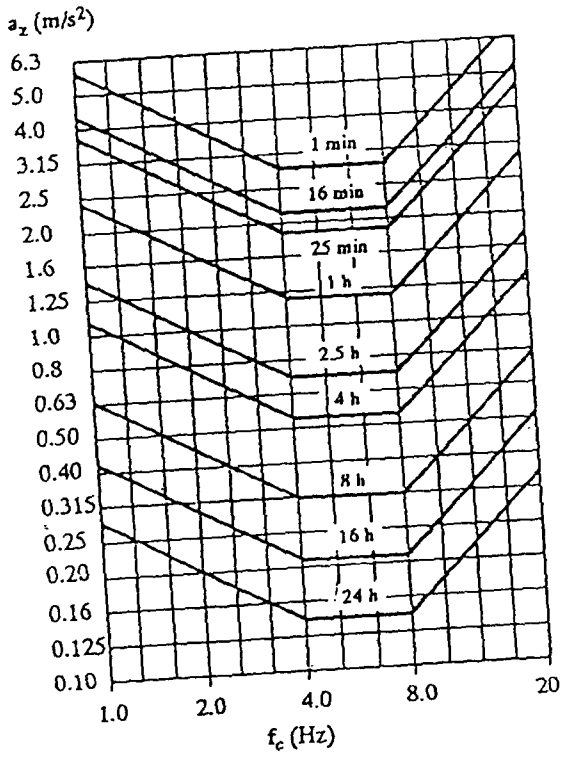


Fig.5 ISO 2631/1 fatigue-decreased proficiency Boundary

도 부양실내 공기 압축성에 대한 상사법칙을 만족시킬 수 없어 이에 따른 실선과 모형선에서의 차이에 유의하여야 한다. 한 예로서 실선에서 나타나는 자갈길 효과(cobblestone effect - 부양실내 공기의 공진현상에 의해 나타나는 1Hz~10Hz 범위의 진동으로 선체에 큰 수직가속도를 유발함)는 모형실험에 의해 적절히 추정될 수 없다.

고속선의 운항안락성을 판단하는 기준으로 ITTC 고속정분과에서는 Fig.4의 ISO 2631/3과 Fig.5의 ISO 2631/1의 기준을 사용할 것을 권고하고 있다 [6]. 그림에서 횡축의 주파수 f_c 는 1/3 octave band의 평균 주파수이며, 수직가속도 a_z 는 한계 가속도의 RMS(Root Mean Square)값을 나타낸다. Fig.4는 탑승여객이 배멀미를 일으키는 한계 가속도를 노출 시간별로 주파수의 함수로서 나타낸 것이고, Fig.5는 피로를 일으키는 한계 가속도를 같은 형식으로 나타낸 것이다. Fig.5의 한계 가속도에 2를 곱하면 건강과 안전에 관계되는 한계 가속도가 되며, 3.15로 나누면 안락성 감소가 시작되는 최소 가속도가 얻어

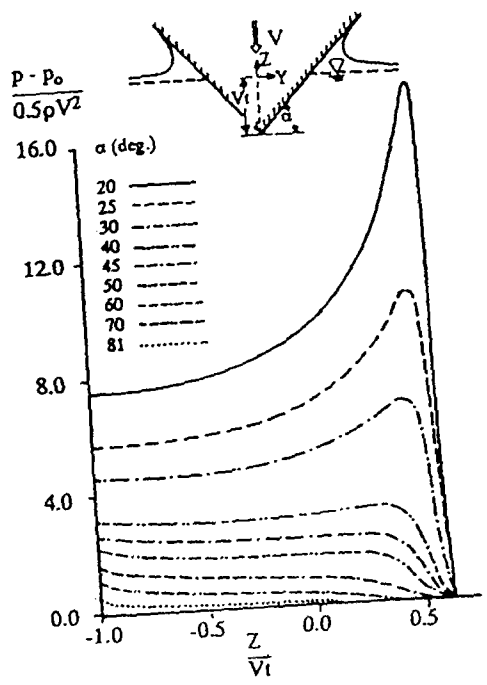


Fig.6 Pressure distribution during water entry

진다. 적절한 방법에 의해 수직가속도를 추정하고 이 기준을 적용하면 여객의 승선 안락감을 판단할 수 있다.

대부분의 고속선은 운항 안락성을 향상시키기 위해 운동제어장치(RCS)를 장착하고 있다. 제어력을 발생시키는 기구로는 공기부양선과 표면효과선은 부양실내 압력을 조정하는 vent louver를 사용하며, 그밖의 선종들은 능동 fin이나 능동 flap이 달린 수중익을 주로 사용하고 있다. 고속선의 운동성능은 이 운동제어장치에 의해 크게 좌우되므로, 초고속선 개발에 있어 우수한 운동제어장치의 개발은 중요한 과제이다.

4. 파랑하중

파랑에 의해 선체에 작용하는 하중(파랑하중)은 운항 안락성과 더불어 인위적인 선속감소와 운항한계를 초래하는 내항성능의 중요요소이다. 파랑하중은 작용범위에 따라 전체하중(global load)과 국부하중(local load)으로 나눌 수 있다. 일반적으로 고속선은 길이-폭 비가 작기 때문에 국부하중이 만족되면 전체하중도 만족되는 경우가 많으나, 대략 길이 50m 이상의 쌍동형 선박(Catamaran과 SES)에서

는 전체강도가 신중히 고려되어야 한다. 이 경우의 중요 전체하중으로는 횡갑판(cross structure) 중심면에 작용하는 횡방향 수직 굽힘모멘트와 수직 전단력 그리고 비틀모멘트가 있다. 수직 굽힘모멘트와 수직 전단력은 일반적으로 횡파(beam sea)중에서 가장 크고, 비틀모멘트는 선수각 60°의 선미 사파중에서 가장 크다.

선체가 파면에 돌입할 때 발생하는 슬래밍 충격하중은 고속선에서 크게 나타나는 가장 중요한 국부하중이다. 2차원 이론에 의한 썩기형 물체의 입수(water entry)충격시 발생하는 압력분포가 Fig.6에 보여지고 있다[7]. 이 충격압력은 물체표면과 수면과의 사잇각 α 와 상대속도 V 에 의해 결정되며, α 가 45°보다 작을 때는 물체와 수면과의 교점부근에서 최대압력이 발생하고, α 가 45°보다 클 때는 썩기의 꼭지점에서 최대압력이 발생한다. 실제 선체의 슬래밍 충격시에도 이와 유사한 충격압력이 발생하여 국부강도에 큰 영향을 미치고, 이 압력에 의한 충격력과 충격모멘트는 선체의 수직가속도와 전체강도에도 큰 영향을 미친다.

슬래밍 충격력의 이론적 추정에는 운동량 슬래밍 이론(momentum slamming theory - 부가질량의 시간에 대한 변화율과 수직 상대속도의 곱에 의해 충격력을 계산하는 이론)이 많이 사용되고, 충격압력의 추정에는 낙하실험(drop test)에서 얻어진 압력계수를 사용하고 선속과 상대속도, 선체표면형상을 고려하는 방법이 주로 사용된다. 이 분야는 그 정확성을 개선하기 위해 앞으로 더 많은 연구가 필요한 분야라고 할 수 있다.

슬래밍 충격이 자주 발생하는 부분으로는 쌍동선의 선수부 횡갑판, 표면효과선의 선미 seal 앞쪽 wetdeck(선수부 충격은 선수 공기백에 의한 완충효과로 그다지 크지 않음), 활주선의 선저, 수중익선의 선저등을 들 수 있다. 이밖에 표면효과선의 과도한 종동요(pitch)에 의해 유발되는 선수에서의 갑작스런 공기유출은 선체에 큰 가속도를 발생시키고 이에 따라 큰 선체하중을 유발시키기도 한다.

5. 결 언

고속선의 발전방향은 초고속화와 더불어 대형화에

초점이 맞추어져 있으며, 고속선의 대형화는 새로운 복합 지지방식을 필요로 한다. 복합 지지방식은 종래의 지지방식(Fig.1 참조)을 두가지 이상 병행 이용하는 것인데, 현재 개발되고 있는 복합 지지방식들을 보면 내항성이 우수한 전몰 수중동체(submerged lower hull)나 수중익등이 많이 응용되고 있다. 이는 초고속선에서 내항성능이 차지하는 비중이 매우 큼을 보여주는 것이라 하겠다. 또한, 선박의 대형화 그 자체도 내항성능을 제고시키는 한 방법이 된다.

이상에서 초고속선의 내항성능에 대해 개략적으로 살펴 보았다. 현재 각국에서 대형 초고속선의 개발에 경쟁적으로 나서고 있음은 주지의 사실이다. 국내에서도 이에 대한 활발한 연구가 이루어 지기를 바라고, 머지않은 장래에 연구성과가 결실을 맺어 웅대한 황천에서도 안락한 항해가 가능한 우수한 초고속선이 개발되기를 기대해 본다.

참 고 문 헌

- [1] Wright, C., "Operation and Cost of High-Speed Craft", Marine Technology, Vol.27, No.2, March 1990, pp.104-113
- [2] Lavis, D.R., "Hovercraft Development", Proc. of HPMV '92, June 1992
- [3] Savitsky, D., "Overview of Planing Hull Development", Proc. of HPMV '92, June 1992
- [4] Meyer, J.R. and Wilkins, J.R., Jr., "Hydrofoil Development and Applications", Proc. of HPMV '92, June 1992
- [5] Jansson, B.-O. and Lamb, G.R., "Buoyantly Supported Multi-Hull Vessels", Proc. of HPMV '92, June 1992
- [6] ITTC Report of the High-Speed Marine Vehicles Committee, 20th ITTC, San Francisco, Sep. 1993
- [7] Zhao, R. and Faltinsen, O., "Water Entry of Two-Dimensional Bodies", J. of Fluid Mechanics, Vol.246, 1993, pp.593-612