

초고속선의 선형 및 조파저항

이 영 길 (인하대학교 선박해양공학과 조교수)

1. 서 언

고전적인 고속선형에서 탈피한 새로운 형태의 고속선형에 대한 효시는 1960년경의 수중관통형 수중익선의 개발이라 할 수 있다. 그 후, 1980년대 중반까지는 일반적인 중,저속의 화물선 및 LNG운반선에 대한 유체역학적 특성의 향상을 위한 선형 개발 경쟁이 국내외적으로 활발하게 진행되어져 왔다. 그러므로, 이러한 기간중인 약 20여년간은, 선박의 선형 개발면에서는 기존의 선박형태를 탈피하지 못한 채 유체역학적 성능을 향상시키려는 소극적인 진전이 있었을 뿐, 발전이 매우 더딘 편이었다. 1980년대 후반에 들어서 국내외적인 물동량의 증가와 해상고속운송의 필요성이 대두되면서 고속선의 개발에 대한 열기가 시작되었다. 그간의 고속선개발은 주로 미국을 중심으로 군사적인 목적면에서 진행되어 왔고, 일본은 거의 일반상선의 선형개발에 중점을 두어 왔으나, 1980년대 후반부터는 일본도 아시아지역에서의 물동량변화와 고속화의 필요성에 따라 고속선개발에 뛰어들게 되었다[1, 2, 3]. 특히, 최근의 50knots를 넘는 대형의 화물운송용 초고속선개발은 주목할 만한 연구가 되고 있다[4]. 국내에서도 1990년대에 들어서면서 소형이지만 이러한 초고속선의 선형개발을 시작하게 되었으며, 실용화된 예도 몇몇을 가지고 있다.

본고에서는 이제까지 연구된 몇가지 초고속선형들에 대한 예와 장단점, 또한 조파저항 성능면에 대해 기술하여 보고자 한다.

2. 초고속선의 선형

중소형 고속선의 선형에는 다양한 종류가 제안되고 있고, 계속 증가되는 추세에 있다. 국내외적으로 매우 많은 조선소, 연구소 및 대학에서 고속선의 개발에 많은 시간과 노력들을 들이고 있다. 이러한 선형들중 많은 부분을 차지하는 것은 쌍동선형태의 고속선형이다. 이것은 쌍동선형태의 고속선형이 횡안정성이 좋고, 갑판면적을 넓게 할 수 있으며, 또한 수중익과의 복합시스템 형성이 용이하다는 장점이 있기 때문이다. 중소형 고속선형의 다양성은 결국 고속선의 유체역학적 성능의 다양화에 기인한 것이지만, 각각의 고속선형에 대한 정도높은 유체역학적 성능의 비교, 검토는 그리 용이하지 않은 실정이다. 그것은 새로 개발된 고속선형의 성능시험결과에 대한 공개가 잘 이루어지지 않고 있고, 따라서 정성적인 비교로 각 선형의 특성 및 우열을 검토하는데 그치고 있기 때문이다. 새로운 고속선형의 개발에는 우선 고속선형을 구성하는 각 선형요소들에 대한 유체역학적인 특성 및 서로간의 간섭효과등에 대한 기초적인 평가능력이 필요할 것이며, 고속으로 항주함에 따라 해상항로의 상태에 따른 내항성이 기존의 선박과는 달리 최대의 설계조건으로 대두된다. 고속여객선인 경우에는 안전성, 보다 좋은 승선감의 유지와 더불어 채산성을 고려하여 중형의 고속 페리(ferry)로 건조되는 경향이 많다.

새로운 콘셉트에 의하여 초고속선으로 창출된 선형은 단순지지선형과 복합지지선형으로 나뉘어질 수 있다. 단순지지선형이라 함은 배의 중량을 지지함에 있어 부력, 활주면압력, 공기압력, 수중익에 의한 양력들 중에 한쪽으로 치우쳐 의존(전체 중량의 약 80~90%)시키는 선형을 말한다. 이에 반하여 복합지

지선이라는 것은 배의 중량을 2가지 또는 3가지등 복합적인 지지력에 균등분할시켜 의존시키는 선형을 말한다[5,6,7].

현재, 세계적으로 상선선형으로서 이미 개발되어 상품화되어 있는 단순지지형 고속선형은 배수량형 카타마란(Catamaran)선형, 표면효과선(SEs)과 수중익선등을 들 수 있다.

먼저, 배수량형 카타마란선형은 지지력으로 부력을 이용하는 배수량형의 선형으로서, 장폭비(길이/폭)가 매우 커서 길고 날씬한 두개의 선형을 횡적으로 조합한 선형이다. 이것은 주로 북유럽을 중심으로 건조된 것이 많으며, 속력성능면에서는 그리 나쁘지 않은 것으로 알려져 있다. 카타마란타입의 선형은 기존의 배수량에 의해 배의 중량을 지지하는 고전적인 방식이기 때문에 새로운 성능은 기대할 수 없으나, 다른 초고속선형에 비하여 부양시스템이 단순하고 값이 저렴하기 때문에 초고속선형으로서의 생명력이 길 것으로 예상되고 있다. 최근에는 급속한 대형화가 이루어져 74m급 wave piercer 등의 car ferry가 계속 건조되는 추세에 있다. 그러나, 아직 내항성에는 한계가 있어, 유체역학적 견지에서는 최적화가 미흡한 단계에 있다. 한편, 일본에서도 배수량형 카타마란선형으로 SSTH(Super Slender Twin Hull)를 개발한 바 있다. 1991년에 길이 30m의 실험선에 의한 실험을 수행하여, 저항추진성능 뿐 아니라 내항성 및 조종성도 우수함을 발표하여, 카타마란선형인 SSTH가 대형화에 가장 유력하다고 보고하고 있다.

다음으로는 앞에서 기술한 카타마란선형의 양쪽 선체사이에 선수미 스커트(skirt)를 장착하여 쿠션룸(cushion room)을 형성시켜 공기압력에 의해 선체를 부양시키는 표면효과선이 있다. 쿠션룸내에 공기압력을 증가시켜야 하므로 별도의 부양동력이 필요하다라는 점은 있으나, 선체를 부양시킴에 따라 마찰저항 및 잉여저항의 감소효과를 가져올 수 있다. 현재 100톤 정도는 실용화되어 있고, 200톤급도 외국에서는 실험선에 의한 시험을 진행중에 있다. 500톤급 정도의 표면효과선도 계획되고 있으나 내항성에 대한 스케일효과가 어느 정도일가가 관점이 되고 있다. 표면효과선은 낮은 홀수때문에 파도중에서 운항 성능이 그리 좋지 못하다는 내항성의 문제점을 가지고 있고, 이를 개선하기 위하여 수중익을 사용한다 하더라도 어느 정도 이상은 효과를 기대하기 어려울 것이다.

단순지지형의 초고속선중에서 마지막으로 수중익선을 들 수 있다. 이는 수중익의 양력에 의해 선체를 부

상시켜 조파저항과 마찰저항을 적게 하므로써 고속항주를 가능하게 하는 것으로, 쌍동형 수중익선에 대하여는 현재 노르웨이와 일본의 4개 개발 group에서 연구개발중에 있다. 수중익선은 원래 전형적인 형태인 jetfoil형으로 1980년대까지 제작되어 왔으나, 이의 내항성을 높인 쌍동형 수중익선이 1988년부터 연구, 개발되기 시작하였다. 1990년에는 digital 계산을 탑재한 실험선의 제어시험으로부터 상업용 쌍동형 수중익선의 건조 가능성을 입증하였다. 안정성이 높은 쌍동형의 선박에 낮은 저항치와 높은 내항성까지도 갖추게 된 것이다. 쌍동형 수중익선은 보통 100%의 foilborne을 계획항주상태로 하고, 40~50knots를 목표속력으로 하고 있다. 그러나, 일본의 히다찌 조선을 중심으로 개발한 HC (Hydrofoil Catamaran)는 80~90%의 foilborne이 표준상태로, 계획속도도 좀 낮게 설계되어져 있다[8]. 쌍동형 수중익선은 그간 여러 실선시험을 거쳐 이제 언제고 실용선 건조가 가능한 상태에 와 있다. 종방향 자세 안정성의 확보를 위하여 중심의 이동이 고려되고 있으나, 이에 따른 수중익의 강도, 캐비테이션(cavitation)등이 설계에 주요요소로 작용하게 되어 다른 초고속선에 비하여 설계의 자유도가 떨어진다. 수중익선의 선체가 커지면 배의 중량은 길이의 세제곱에 비례하여 증가하지만, 수중익의 부력은 길이의 제곱에 비례하여 증가하게 된다. 따라서, 수중익선은 배가 커질수록 이와 더불어 수중익을 매우 크게 설계해야 하는 단점이 있어 대형화에는 불리하다. 이와 더불어, 현재에는 약 200톤 이하의 선박에서만 높은 내항성을 기대할 수 있으므로, 이보다 대형인 선박에 대하여도 내항성의 향상을 가져올 수 있는 연구도 중요과제중의 하나이다.

국제적으로 볼 때 21세기의 조선및 해운산업의 경쟁력 향상을 위하여, 기존선박의 기술한계를 뛰어넘는 대형화된 초고속선의 개발이 요구되고 있다. 그러나, 앞에서 기술한 단순지지형의 선형들은 고속에는 장점들을 가지고 있으나, 배수량의 증가에 따른 저항의 많은 증가 또는 스케일효과에 의하여 대형화하기가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이와같이, 단순지지방식에 의한 선형으로는 선박의 고속화와 대형화를 동시에 만족시키는 것이 어렵기 때문에 여러 가지 지지방식을 복합하여 사용하는 복합지지방식의 선형을 고려하게 된다. 앞서 언급한 바와 같이 지지력에는 4가지가 있을 수 있으나, 이들의 결합에 있어서 상대성이 좋은 것과 그렇지 못한 것이 있다. 활주면 압력과 수중익에 의한 양력, 공기압력과 수중익

에 의한 양력등의 결합은 그리 좋지 못하다. 반면에 부력과 수중익에 의한 양력, 부력과 공기압력에 의한 결합은 서로 상대성이 매우 좋다. 이와같은 결론으로부터 이미 일본에서는 TSL(Techno Super Liner)-F, HYSWATH 및 TSL-A의 선형개발이 진행중에 있어, 실험선을 통한 여러가지 시험으로부터 그 실용성을 확인하고 있다[9]. TSL-F, TSL-A 는 모두 항해속도 50knots, 적재중량 1000톤, 항속거리 500해리를 그 설계목표로 하고 있다. 여기서, TSL-F는 부력과 수중익에 의한 양력이 각각 50 대 50으로 배의 중량을 지지하는 선형이고, TSL-A는 부력과 공기압력이 각각 50 대 50으로 배의 중량을 지지하는 선형이다. 이와같은 복합지지선형의 경우에는 선체에 작용되는 유체력의 성격이 단순지지선형에 비하여 단순하지 않게 된다. 따라서, 내항성, 안정성 및 조종성의 확보를 위하여 수준높은 제어시스템이 필요하게 된다.

끝으로, 해면효과를 이용하며, 그 형상, 기본개념, 설계기법으로 볼 때 선박보다 오히려 비행기에 가까운 WIG (Wing In Ground effect) 또는 WISES가 있다. 그러나, 안정성면에서 본다면, 해면에서의 파랑충격과 이수할 때까지의 활주성능등도 설계시 매우 중요한 요소가 되므로 조선분야에서 다루어야 할 초고속선분야의 하나라 할 수 있다. 이에 관한 연구는 미국, 중국 등에서 대형화도 포함하여 각종 형식의 선형들이 폭 넓게 연구되고 있고, 최근 일본에서도 이에 대한 연구가 시작되고 있다. WIG역시 고급의 제어 시스템을 필요로 하며, 아직 대형화를 위하여는 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

3. 초고속선의 조파저항

초고속선의 저항추정은, 그 선형상 기존의 일반선박에 대한 추정법과는 다른 기법들이 사용되어야 할 것이다. 수조에서의 예인시험과 이론에 의한 방법들이 있을 수 있으며, 먼저 초고속선형을 구성하는 각요소에 작용되는 유체력의 파악이 필수적이고, 이들의 상호간섭효과에 대한 평가도 이루어져야 할 것이다. 또한, 각 저항성분의 분리로부터 실선저항 추정기법도 연구되어야 한다. 이론에 의한 방법에서 흔히 쓰이는 것은 자유표면을 포함하는 panel법과 유한차분법(FDM)이다. 이러한 기법들은 각 요소에 의한 점성유동 및 조파저항 추정, 상호간섭효과 및 전체적 선형에 대한 저항요소 추정에 활용되어지고 있다.

배수량형 카타마란선형에 있어서는 선체가 매우 날씬하므로, 각각의 조파저항은 그리 큰 편이 아니고 서로의 간섭효과에 의한 저항증가를 억제하는 것이 주요과제가 된다. 따라서, 좌우 비대칭인 선체의 채용과 수식선형을 포함한 간단한 선형들에 있어서 두 선체사이의 거리를 변화시키면서 수조시험과 이론계산을 통하여 조파저항특성을 파악하려는 시도가 이루어지고 있다[10]. 카타마란선형의 저항은 잉여저항과 마찰저항으로 분류되며, 조파저항은 잉여저항속에 포함되게 된다. 선형특성상 선체주위의 파도가 그다지 크지 않아 항주시 자세변화는 거의 없게 된다. 선수 부분은 대부분 뾰족한 뺨기형상으로 파도가 적은 반면, 선미 뒷부분에서는 선미 transom에 의한 hydraulic jump의 효과 때문에 큰 파도가 생성되나, 물제트 추진장치에 의하여 조금은 감소효과를 기대할 수 있다.

표면효과선의 저항추진성능에 대하여는, 주로 모형시험에 의한 실선성능 추정기법들이 활발히 연구되고 있으며, 수조시험과 실험선의 시험자료를 비교, 검토한 결과들이 발표되고 있다[10]. 조파저항에 대한 이론적 연구는 주로 CFD에 의한 자유표면압력분포에 따른 파형해석 기법에 기초하고 있다. 표면효과선의 저항은 선체와 스커트의 마찰저항, 쿠손름의 압력에 의한 조파저항, 공기저항, 그리고 잉여저항으로 나누어진다. 일반적으로 표면효과선의 조파저항은 같은 급의 카타마란선형에 비하여 작다. 또한, 마찰저항도 카타마란선형에 비하여 작으나 운항에 필요한 동력면에서 생각하면, 쿠손름내의 압력증가에 필요한 동력이 추가로 고려되어야 한다.

수중익선은 단동체 또는 카타마란에 조파저항성을 향상시키기 위하여 수중익을 설치한 선형이다. 수중익선도 카타마란선형과 마찬가지로 저항이 마찰저항과 잉여저항성분으로 나누어진다. 수중익선에 의한 파도는 부상시 배수량형선에 비하여 매우 작아지고, 다만 스트러트(strut)에 의한 파도만이 발생하게 된다. 스트러트 부분의 파도는 쇄파와 spray를 동반하는 국부적인 파도로 스트러트 설계시에 충분히 고려되어야 할 것이다[11].

복합지지선형의 저항은 점성저항, 조파저항, 유도저항, 간섭저항, spray저항 및 공기저항등으로 분류될 수 있다. 현재 개발중인 TSL-F선형인 경우 조파저항이 전저항에 차지하는 비율은 약 15~20% 정도이다. 부력과 공기압력을 이용하는 복합지지형의 선형인 경우에는 조파저항이 차지하는 비율이 보다 더 낮아질 것이다.

4. 맺음말

여러가지 수송기관들의 마력/(중량X속도)와 속도와의 관계도인 Karman-Gabrielli선도를 보면, 최근 개발되고 있는 초고속선형들이 저항성능면에서 항공기보다도 못한 것이 있음을 볼 수 있으므로, 앞으로 선형에 대한 개발의 여지가 많이 남아 있다고 생각된다. 즉, 각 저항성분의 조사, 검토로부터 선형의 최적화와 다른 수송기관보다 운항율이 높은 초고속선형의 개발이 이루어져야 할 것이다.

국내에서도 초고속선형개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 그 중에서 표면효과선, 배수량형 카타마란선, 수중익선등은 소형의 실용선들이 나와 있는 단계이다[12]. 앞으로, 대형화 추세에 발 맞추어 복합지지형선형의 개발에 많은 연구가 기대되며, 이를 뒷받침하여 줄 저항, 추진분야의 이론 및 실험적 연구가 충분히 수행되어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 宮田 秀明, “高速船の展望”, 創立 80 周年記念シンポジウム - 豊かな将来, 21世紀へ向けての船と海 -, 関西造船協會, pp.1-20, May, 1992.

[2] 不破 健, “高速船·新形式船の研究”, 船舶技術研究所報告 Supplement No. 12, 運輸省 船舶技術研究所, pp.25-46, May, 1991.

[3] 小松正彦, “特輯: 高速艇の開発の現状と概要 - 高速船の推進性能-”, 日本造船學會誌 755, pp.14-45, May, 1992.

[4] 新形式超高速船の研究開発 (平成4年度 研究

成果報告書), テクノスーパーライナー 技術研究組合, May, 1993.

[5] Proceedings of the First International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'91), Trondheim, Norway, June, 1991.

[6] Proceedings of the Second International Conference on Fast Sea Transportation (FAST'93), Pacific Yokohama Conference Center, Yokohama, Japan, 13-16, Dec., 1993.

[7] Proceedings of the Second International Conference for High-performance Vehicles (HPV'92), China, 12-15, Nov., 1992.

[8] 宮田 秀明 外5名, “雙胴水中翼實驗船の定常直進航走試験” 日本造船學會論文集 第170號, pp.15-22, 1991.

[9] TSL 技術研究組合 外, “特集: テクノスーパーライナー”, 日本造船學會誌 785, pp.5-49, Nov., 1994.

[10] 21世紀의 새로운 海上輸送技術 高度화를 위한 '92超高速船WORKSHOP 논문집, 海士技術研究所, 1992.

[11] 21世紀의 새로운 海上輸送技術 高度화를 위한 '93超高速船WORKSHOP 논문집, 韓國機械研究院 船舶·海洋工學研究센터, 1993.

[12] 21世紀의 새로운 海上輸送技術 高度화를 위한 '94超高速船WORKSHOP 논문집, 韓國機械研究院 船舶·海洋工學研究센터, 25-26, Aug., 1994.

