

천수영역에서 고속선박의 저항특성에 대한 연구

권수연^{†*}, 이영길^{**}

선박검사기술협회^{*}, 인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공^{**}

A Study on the Resistance Characteristics of
High-Speed Ship in Shallow Water Condition

Soo-Yeon Kwon^{†*} and Young-Gill Lee^{**}

Korean Society of Ship Inspection & Technology^{*}
Dep. Naval Architecture & Ocean Engineering, Inha University^{**}

Abstract

In this paper, the resistance characteristics of high-speed ship are studied in the region of shallow water condition. For the purpose of this research, model tests in a ship model basin are carried out with an equipment for the satisfaction of shallow water condition, and the computations of wave resistance characteristics and the flow simulations around a ship hull are performed by Michell's thin ship theory and a finite difference method based on MAC scheme, respectively. The calculation results for the resistance and flow characteristics of a ship hull are compared with those from the model tests in deep and shallow water conditions. From the comparison results, it is known that the variation of wave pattern around a ship hull caused by shallow water condition has the most influence to the resistance characteristics of a high-speed ship advancing on shallow water.

※Keywords: Resistance Characteristics(저항특성), High-Speed Ship(고속선박), Shallow Water Condition(천수조건), Wave Pattern(파형)

1. 서론

최근 연근해를 운항하는 소형의 고속 선박에 대한 연구가 점차 증가되는 추세에 있다. 연근해를 운항하는 선박의 경우는 흘수 및 운항 속도면에서 중대형 일반선박에 비하여 제한을 많이 받게 되므로, 천수 효과를 고려한 선형의 개발 및 모형실험에 대한 필요성이 한층 더 요구되고 있다(이영길

접수일: 2002년 10월 15일, 승인일: 2004년 1월 9일

† 주저자, E-mail: kissiny@kst.or.kr

Tel: 032-773-0612

등 1997, 김성용 등 2001). 외국에서는, 이미 천수장비를 설치하여 천수영역에서 선박의 저항특성들에 대하여 여러 연구들이 수행되어 왔다. 특히, Qian/Xu-tao(1989)는 여러 모형선형에 대한 실험을 통해, 모형선의 길이, 폭, 흘수, Froude 수(Fn) 등을 이용하여 천수효과가 나타나지 않는 최소 수심 및 천수영역에서의 손실속도를 결정할 수 있는 수식을 제시하였으며, Millward(1984)는 다양한 모형선 실험을 기초로 수심에 따른 형상영향계수의 변화를 예측할 수 있는 수식을 제시하기도 하였다. Tuck(1970)은 천수에서의 얇은 배의 움직임에 관한 연구를 위하여 천수에서의 heave, pitch, 부가질량 및 댐핑(damping)계수등을 계산하여 천수에서의 선박의 자유운동에 관한 연구의 기초를 마련하였다.

본 연구실에서는, 인천국제공항의 개항 및 서해도시지방의 관광객 증가에 대비한 황해형 고속 여객선의 선형개발에 대한 연구를 수행함에 있어서, 서해연안의 특성에 따라 수심제한이 심한 항로를 고려하여 설계된 쌍동선형인 CATA III 및 CATA IV의 심수와 천수에서의 모형 실험결과에서 천수상태에서는 임계속도(critical velocity)부근에서 급격한 저항의 증가를 보이다가 이보다 빠른 고속구간에서는 저항치가 오히려 심수의 경우보다 감소하는 현상을 확인할 수 있었다(김호은 2001).

본 논문에서는 이에 대한 원인규명과 천수상태에서의 수심을 대표 길이로 하는 Froude 수 F_h 로 임계수치인 1.0을 초과하는 고속역에서의 저항특성에 대한 연구를 목적으로, 천수장비가 설치된 예인수조에서 이들 고속선들에 대한 모형실험을 수행하였다. 또한, Michell의 얇은 배 이론에 의하여 저항특성이 계산되는 전산프로그램인 'Michlet'과, MAC법을 기초로 한 유한차분법(Finite Difference Method)에 의해 저항특성이 계산되는 전산프로그램인 'Inhawave'를 이용하여 저항값과 선체주위의 유동계산이 수행되었다. 실험에 있어서는 심수와 천수상태로 나누어 저속부터 설계속도이상의 구간에 대해 저항실험을 수행하여 저속역과 고속역의 심수와 천수시의 결과를 비교하였다. 수치계산의 경우에는 모형시험에 있어서 심수와 천수에서 결과의 차이가 크다고 생각되는 저속역과 고속역의

몇 가지 속도에 대하여 계산을 수행하였다.

Michell의 이론을 사용한 전산프로그램인 'Michlet'을 이용함에 있어서는, 이것에 경계층, 형상영향계수, 트림(trim)등의 인자를 고려하였을 때 이들이 저항에 미치는 영향을 계산해 보았고, 심수와 천수상태에서의 파스펙트럼(Wave spectrum)의 비교로부터 가장 많이 저항에 영향을 미치는 인자를 분석하여 보았다. 또한 'Inhawave'를 이용하여 수치시뮬레이션을 해 본 결과들은 모형실험에 대한 결과와 비교, 검토되었다.

2. 모형실험

천수와 심수에서의 저항특성의 변화에 대한 원인 및 고속역에서의 저항특성에 대한 연구를 하기 위해, 단동체간의 간섭효과가 작용하는 쌍동선보다는 보다 선체주위 유동현상이 단순한 단동선의 결과 분석이 용이하리라 생각되어 본 연구실에서 개발된 선형 중 저항성능이 우수한 편에 속하는 CATA IV의 단동체에 대한 모형시험을 수행하였다.

2.1 실험 장치

실험은 인하대학교 선형시험수조에서 수행되었다. 수조의 주요 제원은 길이가 79m, 폭이 5m, 수심은 2.7m 이며, 천수 장비로는 철골구조위에 PVC판을 붙여 별도의 수심변화가 가능한 바닥조건이 주어지도록 하였다. 그 주요 제원은 각각의 길이가 6m인 5개의 평판으로 구성된 총 길이 30m, 그리고 폭은 5m로 수심조절이 가능하도록 되어 있다. 실험장치의 개략도는 서성호 등(2000)의 '천수 영역에서의 Series60 선형에 대한 실험적 고찰'에 잘 나타나 있다.

2.2 실험대상 선형

실험대상 선형은 지금까지 황해형 여객선의 선형개발을 목적으로 계획한 선형들 중 가장 최근에 설계된 CATA IV의 단동체를 이용하였다.

CATA IV는 기존의 CATA III의 실험 결과를 참고로 하여 개선된 선형이다. 두 선형 모두 운항될 항로의 수심이 매우 얇으므로, 얇은 흘수와 요구되는 배수량을 만족시키기 위해 넓은 폭을 가진 광

폭 천할수형태(wide breadth and shallow draft type)의 쌍동선형으로 설계되었다. 수선 위쪽에 차 인라인을 두어 선체를 따라 올라오는 물보라 (spray)가 떨어지도록 유도되었으며, CATA IV의 선미부의 경우는 선체 평행부와 평행했던 것을 선저부분에 약간의 경사를 주어 선미 유동이 보다 원활하게 되도록 하였다.

Fig. 1 및 Fig. 2에서는 CATA III와 CATA IV의 횡단면적곡선과 정면도를 각각 비교하여 보여주고 있다. CATA IV의 단동체의 주요목은 Table 1과 같다. 실험은 심수와 천수조건에 대하여 수행되었다.

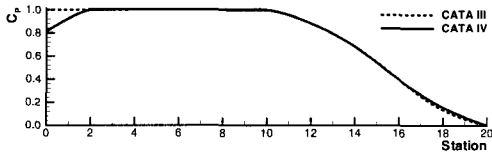


Fig. 1 Comparison of the sectional area curves of CATA III & CATA IV

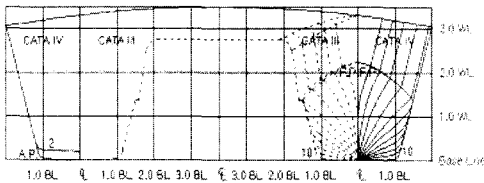


Fig. 2 Comparison of the body plans of CATA III & CATA IV

Table 1 Principal of dimensions

주요목	실선	모형선
LWL (m)	30.000	2.000
b (m)	2.759	0.184
d (m)	1.000	0.067
D (m)	3.000	0.200
Wetted S. (m ²)	106.28	0.472
△ (t)	54.7	0.016

2.3 실험 방법

모형실험은 축적비 1/15인 모형선으로, 심수조건과 천수조건으로 나누어 배의 수선간길이를 대표길이로 하는 Froude수 $Fn=0.20\sim 0.96$ 에 걸쳐서 수행되었다. 천수실험은 천수판을 올려서 수심 14cm에서 전저항, 선수미 침하(sinkage)량의 계측을 하였으며, 침하량의 계측은 선수의 경우 18 st., 선미의 경우 A.P. 전방 1cm에서 각각 수행되었으며, 이들은 비례식을 통하여 F.P.와 A.P.에서의 침하량으로 환산되었다. 예인점은 길이방향으로는 단동체의 부력중심에 위치하며 난류축진장치로 사용된 스테드(stud)들은 지름 1.5mm, 높이 2mm로 F.P.에 10mm간격으로 위치하였다. Fig. 3에는 CATA IV 모형선의 모습을 보여주고 있다.

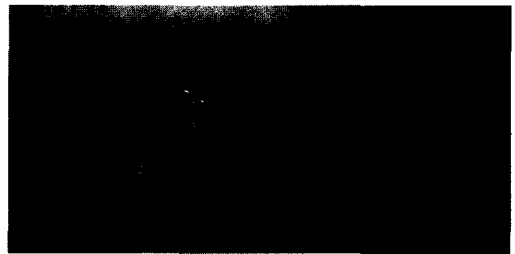


Fig. 3 Model ship of CATA IV

3. 수치계산

단동체에 대한 모형시험에 의하여 심수와 천수에서의 배의 저항치의 변화를 비교한 결과가 기존의 쌍동선형에 대한 실험치와 같은 경향을 보이는지 확인하고, 또한 수치계산을 이용하여서도 같은 결과가 얻어지는지 확인해 보았다. 이와 더불어, 추정되는 여러 저항성분들이 천수시 선박의 저항에 미치는 영향의 정도를 알아보기 위해, 심수와 천수상태로 나누어 각각의 인자들이 포함된 저항치들을 그래프로 나타내어 보았다.

우선, 저항추정을 위해 Michell의 이론을 적용한 프로그램인 'Michlet'을 사용하였다(Tuck 1971). Michell의 이론은 잘 알려진 바와 같이 폭이 길이에 비해 매우 작은 값을 갖는 얇은 선형에 대하여 자유표면과 선체의 경계조건을 선형으로 가정하여 조파저항값을 계산하는 방법이다. 본 연구에서 활

용된 프로그램은 오스트레일리아 Adelaide 대학의 Leo Lazauskas가 만든 프로그램으로, Michell의 이론을 보완하여 Holtrop법에 의한 형상저항의 고려, 경계층에 의한 저항증가, 선미 transom조건, 침하와 트림 등 조파저항 이외 다수의 추정되는 저항성분치를 이용하였다. 그러므로, 활용된 전산 프로그램은 원래의 Michell 이론만에 의한 조파저항치 뿐만이 아니므로 실험에 의한 잉여저항값에 보다 더 근접하는 계산상의 잉여저항값을 얻을 수 있는 것이 장점이라 할 수 있다. 배의 수선에 따른 반쪽의 값들과 만재배수량 및 설계출수를 입력하여, 그 값들에 따라 만재배수량과 설계출수가 만족되도록 자동적으로 수선간격이 지정이 되고, 원하는 속도를 지정하여 저항값을 계산하게 되어 있다. 계산에 의하여 얻은 파형을 가시화 하여 그려 보았고, 배의 길이 방향에 따른 선측파형을 나타내어 보았으며, 유효마력을 추정하여 보았다(강신형/이영길 1981, Tuck 1997).

한편, 유한차분법에 있어서, MAC법은 선체주위의 비선형성이 큰 자유수면변화의 시뮬레이션 및 해석문제에 있어서 효과적인 방법중의 하나임이 여러 논문(Lee et al. 1988)들에 의하여 입증된 바 있으므로, 본 연구에서도 이 방법에 따라 선체 조파현상의 시뮬레이션을 수행하도록 하였다. 전산프로그램에 적용된 직사각형격자계는 물체적합격자계와 비교하여 계산의 정도는 다소 떨어지나, 기하학적으로 복잡한 3차원 임의형상주위의 격자구성에 있어서 적용성이 우수하다. 또한, 계산의 정도를 높이기 위하여 교차격자계(staggered mesh system)와 가변격자계(variable mesh system)를 적용하여 계산의 정도를 높이고 계산시간의 효율성을 높이도록 하였다. 계산영역은 단동선을 포함하는 유동장으로 구성하였다. 또한, 심수와 천수조건에 대하여는 계산상의 수치유동장의 바닥에 경계조건을 달리하여 그 경계조건들을 각각 만족하도록 하였다(Lee et al. 1988).

4. 결과 및 고찰

4.1 모형 시험

Fig. 4는 CATA IV 단동체의 실험결과에 따른

잉여저항계수를 심수 및 천수조건에 대하여 각각 나타내고 있다. 임계속도(1.17m/s)를 약간 초과한 $Fn=0.3\sim 0.46$ 일 때는 천수에서의 잉여저항이 심수에서 보다 큰 상태로 그 차가 속력의 증가와 함께 점차 줄어들고 있는 것을 볼 수 있으며, $Fn=0.46$ 이상의 보다 고속구간에서는 오히려 천수에서의 값이 더 작아지다가 $Fn=0.8$ 부근에서부터는 거의 같아지는 현상을 볼 수 있다. 천수에 의한 영향은 일반적으로 다음과 같이 정의되는, 즉 $F_n=1.0$ 에서의 속도인 임계속도가 중요한 인자가 된다.

$$V_c = \sqrt{gh}$$

여기서, g 는 중력가속도, h 는 수심을 나타낸다. 본 모형선에 있어서의 임계속도는 $V_c=1.17\text{m/s}$ 이며, $Fn=0.26$ 에 해당된다. 일반적으로 천수중에 운항하는 선박에 있어서, 저항치는 속도가 약 $0.7V_c$ 이하의 영역에서는 대체적으로 심수상태와 비슷하지만, 약 $0.7V_c$ 에서부터는 천수에 의한 영향이 발생하기 시작하여, $0.7V_c\sim 1.0V_c$ 의 고아임계속도영역(high sub-critical velocity region)에서는 심수상태에서 보다 선박의 저항이 점차 크게 증가하며, 그 이상의 초임계속도영역(super-critical velocity region)에서는 저항치가 오히려 점차 감소하는 현상을 보인다. 이러한 현상은 선박이 항해하면서 발생하는 파형과 밀접한 관계가 있다. 즉, $0.7V_c$ 보다 낮은 속도에서는 천수상태에서도 일반적인 가로파와 발산파를 관찰할 수 있지만, 점차 속도가 증가해 $1.0V_c$ 에 가까워질수록 발산파의 각도가 점차 커져서 $1.0V_c$ 에서 가장 큰 각도의 발산파가 나타나게 되며, 이때의 저항치도 가장 큰 값을 갖는다. 그러나, $1.0V_c$ 이상의 속도에서는 속력의 증가와 함께 가로파의 발산 각도가 점차로 줄어들게 되어, 저항치도 점차 줄어들게 된다. 이와 같은 현상은 이미 오래전부터 잘 알려진 것으로 새로운 것이 될 수는 없으나, 본 연구에서 같이 고속선인 경우에는 $Fn=0.4$ 이상되는 고속력에서 심수상태에서보다 오히려 저항이 줄어드는 결과가 나타나게 됨을 볼 수가 있다.

본 실험결과에서도 관찰된 이러한 일련의 현상은 천수에 의한 영향을 잘 보여주는 것으로, 이것은 선박이 항진하면서 발생시키는 파형과 당연히

밀접한 관계가 있을 것이다. Figs. 5~8은 심수와 천수시의 모형실험에서 각각의 F_n 에 따른 파형을 보여주고 있다. Fig. 5에서는 천수시가 심수시보다 발산파의 각도가 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig. 6에서는 천수시의 발산파의 각도가 Fig. 5에 비하여 줄어든 것을 볼 수 있으며, Fig. 7에서는 오히려 심수시의 발산파 각도가 더 크게 나타나고, Fig. 8에서는 두 상태가 거의 비슷한 파형을 보이고 있다. 이는 Fig. 4와 위의 설명을 잘 나타내고 있는 것으로, 고속에서는 천수상태에서 심수상태보다 잉여저항치가 적게 예측될 수 있음을 말해주고 있다.

CATA IV 단동체의 심수와 천수조건에서의 침하 및 트림에 대한 곡선을 Figs. 9, 10에 나타내었다.

천수조건에서의 침하와 트림 곡선으로 보아, 역시 임계속도부근에서 급격한 변화를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 침하는 그 값이 급격히 감소하고 있고, 트림은 선수트림에서 선미트림으로 바뀔 수 있다. 또한 임계속도를 훨씬 초과한 고속영역에서는 배의 항주자세가 점점 안정되어가고, $F_n=0.7\sim 0.8$ 정도의 고속에서는 천수와 심수상태에서 항주자세가 거의 차이가 없음을 보여주고 있다.

Fig. 11은 CATA IV 단동체의 심수와 천수상태에서 저항실험을 통한 유효마력 추정값을 함께 비교한 결과이다.

천수시 임계속도부근에서 급격한 저항의 증가를 보이다가 $F_n=0.46$ 이상의 보다 고속구간에서는 저항치가 오히려 심수의 경우보다 감소하는 현상을 보인다. 이는 앞에서 나타난 잉여저항계수, 침하, 트림곡선을 참고로 했을 때, 천수시의 임계속도부근에서 저항치가 증가하는 현상의 주된 이유는 잘 알려진 바와 같이 배주위의 파형의 변화에 따른 영향 때문이다. 천수상태의 선미트림상태로부터 고속영역에서 보다 안정된 항주상태가 되기까지, 천수에서의 저항은 심수에서의 저항보다 적은 속도영역을 보이며, $F_n=0.7$ 이상에서는 심수와 천수의 항주자세가 거의 같아지고 유효마력도 서로 비슷하게 됨을 알 수 있다. 즉, 천수상태에서 임계속도를 지난 후, 조파저항값은 심수조건보다 작아진다는 오래전의 Havelock(1908)의 이론도 잘 반영해주고 있음을 알 수 있다.

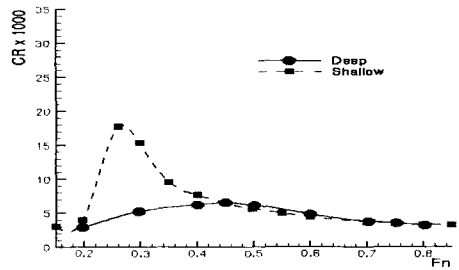


Fig. 4 Comparison of C_R curves at deep and shallow water condition

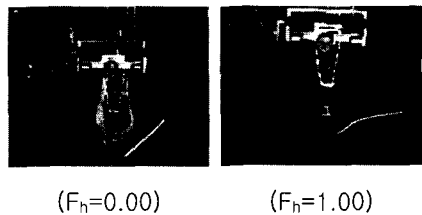


Fig. 5 Wave pattern at $F_n=0.26$

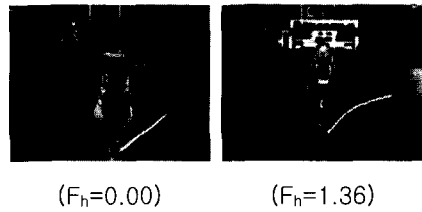


Fig. 6 Wave pattern at $F_n=0.35$

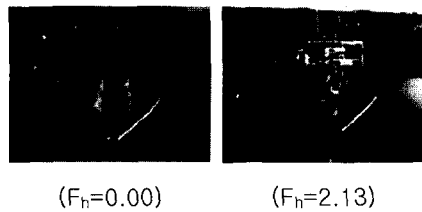


Fig. 7 Wave pattern at $F_n=0.55$

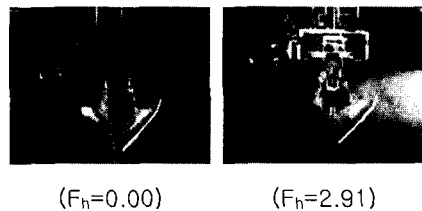


Fig. 8 Wave pattern at $F_n=0.75$

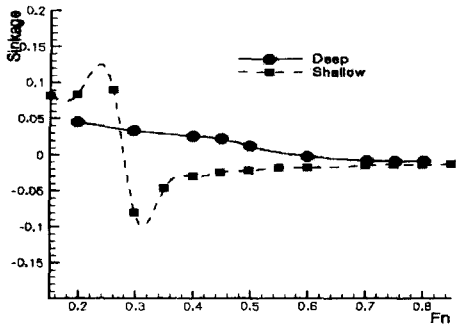


Fig. 9 Comparison of sinkage curves at deep & shallow water condition

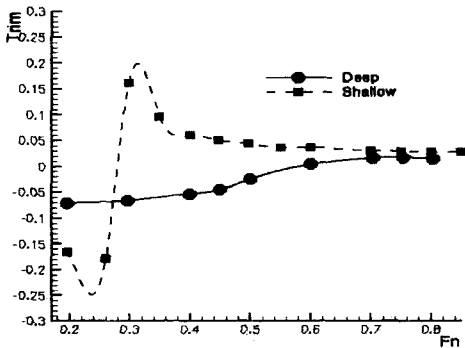


Fig. 10 Comparison of Trim curves at deep & shallow water condition

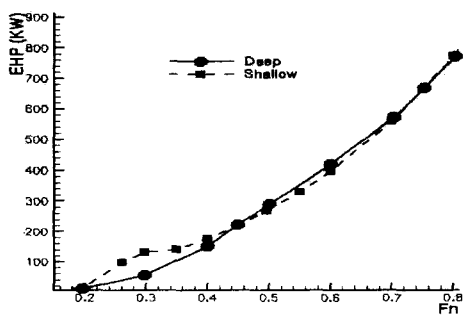


Fig. 11 Comparison of EHP curves at deep & shallow water condition

4.2 수치계산

4.2.1 Michell 이론에 의한 방법

Figs. 12, 13은 $F_n=0.35$ 에서 심수와 천수조건에 의해 계산된 파형 및 배의 길이방향으로 자른

파의 단면형상을 보여주고 있다. Fig. 13은 실선에 대해 나타낸 것이고 y축은 수면을 원점으로 하는 파고의 높이를 나타낸 것이다.

또한, Figs. 14, 15에서는 $F_n=0.75$ 에서 심수와 천수조건에 의해 계산된 파형 및 배의 길이방향으로 자른 파의 단면형상을 비교하여 보여주고 있다. $F_n=0.75$ 에서 심수와 천수의 경우 발산파의 각도가 거의 같음을 볼 수 있으며, 앞의 $F_n=0.35$ 와 비교했을 때 가로파를 그림상으로도 확인할 수 없다.

Figs. 16, 17, 18은 심수와 천수시의 파 스펙트럼을 비교하여 보여주고 있다. 그림들에서도 알 수 있듯이, 천수상태에서는 임계속도에서 가로파성분의 증가로 조파저항의 증가를 가져오게 됨을 알 수 있으나, 고속역들에서는 오히려 천수 상태에서 작은 각도보다는 큰 각도에 속하는 파성분이 좁은 폭에서 급속한 증가를 가져오게 된다. 그러나 전체적으로 조파저항치로 볼때는 심수상태보다 작아짐을 예측할 수 있다.



($F_n=0.00$) ($F_n=1.36$)
Fig. 12 Wave pattern at $F_n=0.35$

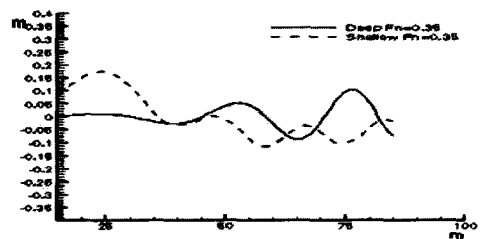


Fig. 13 Longitudinal cut at $F_n=0.35$



($F_n=0.00$) ($F_n=2.91$)
Fig. 14 Wave pattern at $F_n=0.75$

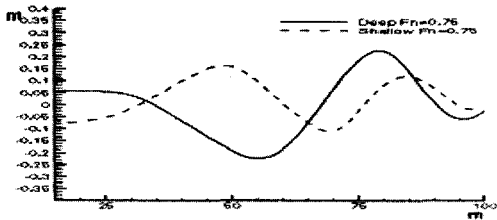


Fig. 15 Longitudinal cut at $Fn=0.35$

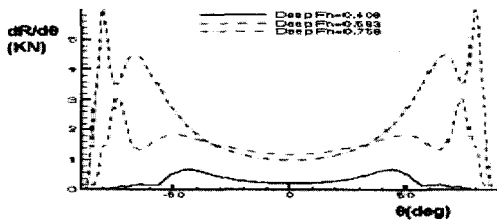


Fig. 16 Wave spectrum in deep water condition

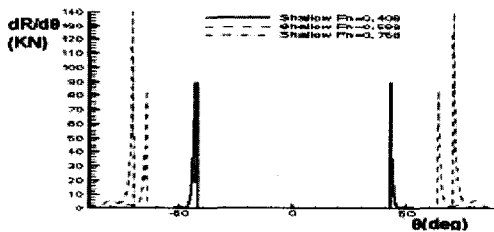


Fig. 17 Wave spectrum in shallow water condition

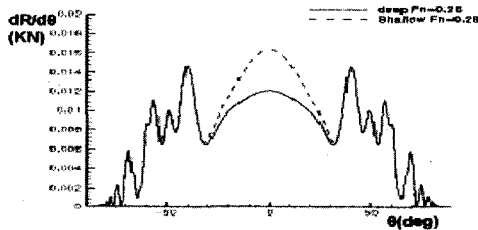


Fig.18 Wave spectrum at $Fn=0.26$

Figs. 19, 20에서는 경계층, 형상영향계수, 트림 등이 저항에 미치는 영향의 정도를 알아보기 위하여 각각의 인자들이 포함될 때의 전저항계수값(C_t)을 심수와 천수로 나누어 나타내어 보았다.

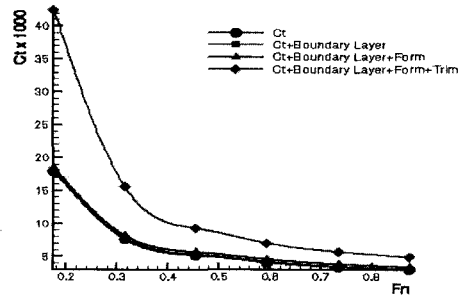


Fig. 19 C_t curves in Shallow water condition

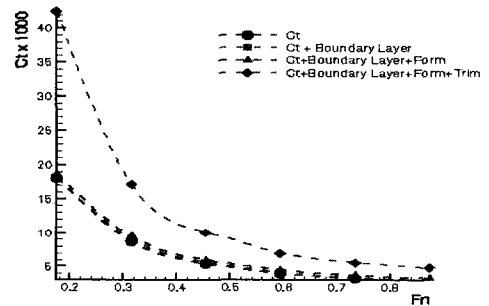


Fig. 20 C_t curves in Shallow water condition

위의 인자들 중 심수나 천수상태 모두 트림이 가장 저항에 영향을 많이 미치는 것을 볼 수 있었으며, 이것은 트림에 의한 항주자세의 영향이 저항에 크게 작용한다고 생각된다. 또한, C_w 값을 심수와 천수로 나누어 위의 인자들을 각각 고려하여 Figs. 21, 22에 나타내어 보았다. 단동체 뿐만 아니라, 쌍동선에서도 같은 경향이 나타나는지의 확인을 위하여 Fig. 23에는 심수와 천수시의 쌍동선과 단동체의 C_w 값을 함께 나타내어 보았다. 그림에서 볼 수 있듯이, 쌍동선과 단동체 모두에서 임계속도부근에서 급격한 조파 저항의 증가를 보이다가 고속구간으로 갈수록 서서히 저항치가 감소해 오히려 저항치가 심수의 경우보다 감소하는 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 조파저항과 마찰저항을 제외한 기타의 인자들 중 트림의 영향이 저항에는 가장 크게 영향을 미치나, 심수와 천수 상태에서의 저항치의 상이함에는 역시 선체

주위의 파형 변화에 따른 조파 저항의 차가 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 24에서는 계산에 의해 얻은 경계층, 형상 영향계수, 트림등을 고려한 심수와 천수시의 유효 마력값과 실험에 의한 값을 그래프를 이용하여 비교해 보았다. 그 결과, 본 연구에서 사용한 선형이 세장선인 관계로 실험치와 계산치가 매우 근접함을 볼 수 있었다.

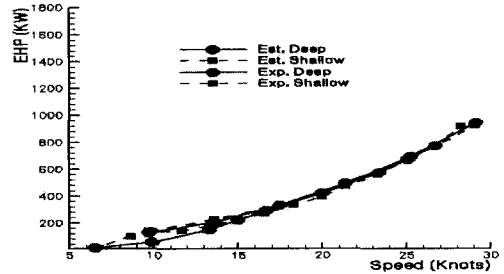


Fig. 24 Comparison of EHP curves

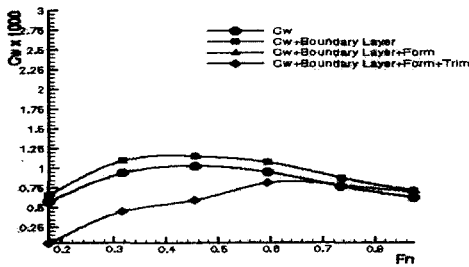


Fig. 21 Cw curves in deep water condition

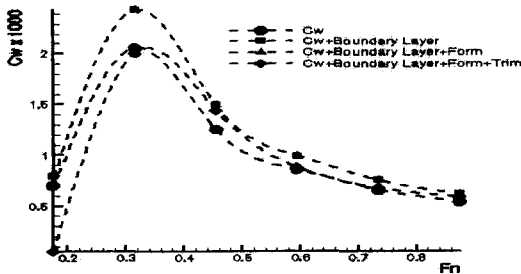


Fig. 22 Cw curves in shallow water condition

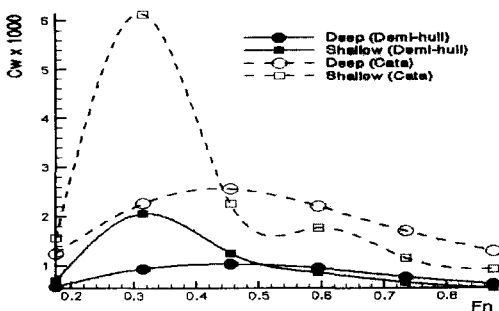


Fig. 23 Comparison of Cw curves

4.2.2 유한차분법에 의한 방법

유한차분법에 의한 계산도 심수와 천수조건에 대하여 수행되었다. Table 2는 그 계산조건에 대하여 나타내고 있다.

수치계산은 transom 선미를 포함한 선체주위의 유동장에 대하여 수행되었으며, 격자계의 상이함에 따른 영향을 배제하기 위하여 천수와 심수조건에 대한 등파고선도를 모두 같은 격자계를 사용하였다.

Figs. 25, 26, 27에서는 $Fn=0.35, 0.65, 0.75$ 에 대한 등파고선도를 심수와 천수 조건에 대하여 함께 비교하고 있다.

$Fn=0.35$ 에서는 천수조건인 경우 심수조건인 경우보다 가로파의 생성이 더 활발하게 된 것을 볼 수 있으며, $Fn=0.65, 0.75$ 로 갈수록 심수와 천수 조건에서 선수파의 각도가 거의 차이가 없음을 볼 수 있다. 이 결과는 앞의 'Michlet'에 의한 계산결과 및 모형실험과 같은 결과를 나타내고 있으므로, 고속에서 천수의 선박저항에 미치는 영향이 속도에 따른 파형과 밀접한 관계가 있음을 다시 한번 확인할 수 있었다.

Figs. 28, 29, 30에서는 계산의 수렴도를 확인하기 위하여 $Fn=0.35, 0.65, 0.75$ 에서의 계산에 의한 압력저항계수곡선의 변화를 계산의 진행과 더불어 보여주고 있다. $Fn=0.35$ 에서는 심수가 천수보다 작은 값에 수렴하고 있으며, Fn 가 커지면서 반대의 현상을 보이다가 더욱 고속이 되면 다시 반전되어 심수와 천수가 비슷한 값에 수렴하고 있음을 볼 수 있다. 이는 앞에서의 실험과 계산결과의 비교분석한 내용을 다시 한번 확인하여 주고 있다.

Table 2 Computational conditions

구분		실험조건
Number of Cell	X	100
	Y	50
	Z	17
Computational domain	X	11.000m
	Y	1.500m
	Z	0.300m
Minimum Cell	X	0.1100m
	Y	0.0300m
	Z	0.0200m
Fn	0.35, 0.65, 0.75	
Time steps for acceleration	2000	
Time increment	0.0075	
Total time step of computation	5000	

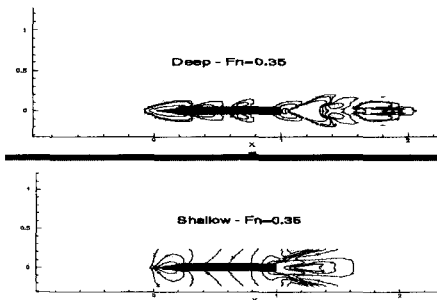


Fig. 25 Wave height contours at $Fn=0.35$

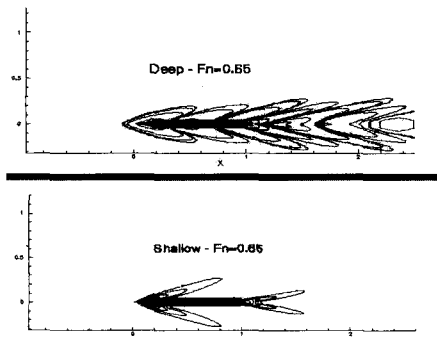


Fig. 26 Wave height contours at $Fn=0.65$

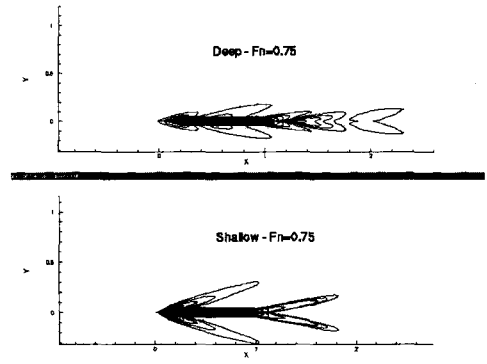


Fig. 27 Wave height contours at $Fn=0.75$

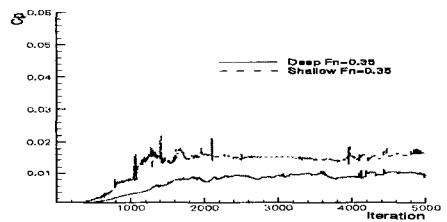


Fig. 28 C_p -history at $Fn=0.35$

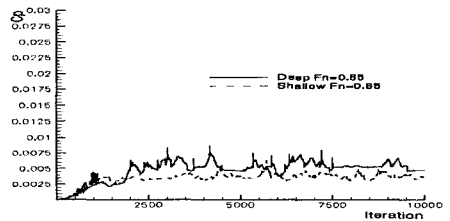


Fig. 29 C_p -history at $Fn=0.65$

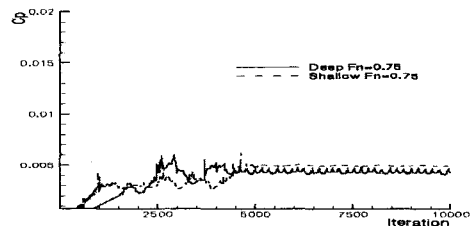


Fig. 30 C_p -history at $Fn=0.75$

5. 결론

본 논문에서는, 천수영역에서의 고속역에 대한 선박저항특성이 일련의 모형시험과 수치계산을 통하여 아래와 같음을 알 수 있었다.

(1) 천수시 임계속력부근에서는 저항이 급격히 증가하며, 임계속력을 많이 초과한 고속역에서는 심수에서보다 저항치가 오히려 적어지는 영역이 있음을 확인하였다. 또한, $Fn=0.70$ 이상의 고속인 경우, 심수상태와 천수상태에서 저항치가 서로 근접함을 알 수 있었으며, 이러한 천수의 영향도 역시 속도에 따른 배주위의 파형의 변화가 가장 큰 원인인 것을 확인하였다. 따라서, 천수에서 운항하는 선박의 설계시, 주어진 설계조건 범위내에서 될 수 있으면 충분히 고속역을 운항하는 선형을 설계할 때 저항면에서 보다 유리하다고 할 수 있다.

(2) 천수의 영향으로, 임계속력을 조금 넘어선 속력에서 가장 큰 선미트림이 발생하고, 침하량은 감소함을 알 수 있었으며, 이와 같은 항주자세의 변화가 저항치에 영향을 미치나, 이들이 심수와 천수상태의 저항치의 차이를 발생시키는 주요한 요인은 되지 못한다.

(3) 수치계산을 이용하여서도 천수영향을 파악하여 보았으며, 모형선 실험의 결과와 비교해 본 결과, 저항치에 미치는 천수효과가 실험치와 매우 근접함을 확인할 수 있어, 앞으로 천수효과에 대한 추정에 있어서 수치계산의 활용이 기대된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 황해권 수송시스템 연구센터의 2001년도 연구비 지원 과제중 기본연구의 하나로 수행되었다. 원고 및 자료정리에 도움을 준 문철원군에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 강신형, 이영길, 1981, 파형해석 자동화 및 선형 개발에 관한 연구, 한국기계연구원.
- 김성용, 이승희, 이영길, 2001, "연안-하천 연계 수송용 Pusher-Barge 선형주위의 유동특성에 관

한 연구," 대한조선학회 논문집, 제38권, 제1호, pp. 9-26.

- 김호은, 2001, 황해형 고속 여객선의 선형설계에 관한 연구, 인하대학교 공학석사학위논문.
- 서성호, 김호은, 이영길, 2000, "천수영역에서의 Series 60 선형에 대한 실험적 고찰," 대한조선학회 논문집, 제37권, 제3호, pp. 21-26.
- 이영길, 이승희, 이규열, 김성용, 1997, "200 TEU 연안-하천 연계 컨테이너선의 선형개발", 대한조선학회 논문집, 제34권, 제4호, pp. 72-83.
- Havelock, T. H., 1908, "The Propagation of Groups of Waves in Dispersive media, With Application to Waves on Water Produced by a Travelling Disturbance," Proceedings of the Royal Society, London, Vol. 81, pp. 514-521.
- Lee, Y.G., Miyata H. and Kajitani, H., 1988, "Some Application of the TUMMAC Method to 3D Water-wave Problems," Journal of The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 25, No. 4, pp. 13-27.
- Millward, A., 1984, "The Effect of Hull Cross Section on the Theoretical Wave Resistance of a Fast Ship in Shallow Water," International Shipbuilding Progress Delft, Delft University Press, Vol. 31, No. 354, pp. 28-33.
- Qian and Xu-tao, 1989, "Prediction of Performance of Inland Vessels Influenced by Shallow Water," Proceeding of PRADS '89, Varna, Bulgaria, p 27.1-27.7.
- Tuck, E. O., 1970, "Ship Motions in Shallow water," Journal of Ship Research., pp. 317-328.
- Tuck, E. O., 1997, "Wave Resistance of Thin Ships and Catamarans", Unaltered reprint of internal report T8701.
- Tuck, E. O., Collins, J. I., and Wells, W. H., 1971, "On ship Wave Patterns and Their Spectra," Journal of Ship Research, pp. 11-21.



< 권 수 연 >



< 이 영 길 >