

## 천수 영역에서의 Series60 선형에 대한 실험적 고찰

김호은\*, 서성호\*, 이영길\*\*

### An Experimental Study of the Shallow Water Effect on Series60 Hull Form

H.-E. Kim\*, S. H. Seo\* and Y.-G. Lee\*\*

#### 요 약

연안항로용 선박에 있어서 수심은 선박의 흘수와 속도에 제한을 주는 요소로 작용하므로, 설계에 있어서 상당히 중요한 요소라 할 수 있다. 본 연구에서는 제한수심에 따른 선박의 저항성능의 변화를 알기 위해, 천수장비를 이용하여 각기 다른 수심에서 선박의 저항 및 트림, 침하를 측정하였다. 천수영향에 대한 기초적 연구단계로서, 본 연구에서는 Series60( $C_B=0.6$ ) 선형을 대상 선형으로 선정하였다. 실험은 기존의 실험 자료와 동일한 수심조건을 주어 그 결과를 비교하였다. 수심조건은 각각 모형선 수선간장의 10, 15, 20, 25% 로 하였다.

#### Abstract

For coastal service ships, the water depth is a very important parameter in the design stage of the hull form that has an influence on the restriction of the speed and draft of ships. In this study, the water depth is important for ship design. In this research, the change of total resistance, trim and sinkage due to the variation of water depth are measured by using on equipment for shallow water condition. For the basic research step about the shallow water effect, the effects on Series60( $C_B=0.6$ ) hull form are experimented. To compare with existing experiment results, the test conditions are same with those. The water depth conditions are 10, 15, 20, 25 % of LPP of the model ship, respectively.

---

접수일자 : 2000년 4월 3일. 승인일자 : 2000년 6월 19일

\*인하대학교 선박공학과 대학원 석사과정(E-mail:gl991072@inhavision.inha.ac.kr)

\*\*인하대학교 선박해양공학과 교수(E-mail:younglee@inha.ac.kr)

## 1. 서 언

최근, 육상에서의 물동량 증가로 원료 또는 제품수송에 따르는 물류비용의 증가가 가속되고 있는 가운데, 보다 효율적이고 물류비용의 절감을 위하여 연근해를 운항하는 선박의 이용 확대가 고려되고 있다. 그러나, 연근해를 운항하는 선박의 경우는 홀수 및 운항 속도면에서 제한을 받게 되므로, 천수 효과를 고려한 선형의 개발 및 모형실험에 대한 필요성이 요구되고 있다[1,2]. 1960년대로부터 외국에서는, 이미 천수장비를 설치하여 많은 연구들이 수행되어 왔다. 특히, Qian는 여러 모형선형에 대한 실험을 통해, 모형선의 길이, 폭, 홀수, 프루우드수 등을 이용하여 천수효과가 나타나지 않는 최소 수심 및 천수영역에서의 손실 속도를 결정할 수 있는 수식을 제시하였으며[3], Millward는 다양한 모형선 실험을 바탕으로 수심에 따른 형상계수의 변화를 예측할 수 있는 수식을 제시하기도 하였다[4]. 그러나, 우리나라의 경우는 이에 대한 연구가 활발하지 못하였으며, 주로 외국의 경험식이나 수치 계산으로 연안이나 운하를 운항하는 선박에 대해서 천수영향을 고찰하였다[1,2].

인하대학교 황해권 수송시스템 연구센터에서는 천수상태의 모형시험을 목적으로, 예인수조에 천수 장비를 설치하여, 천수영역을 운항하는 고속선 및 일반 화물선의 새로운 선형개발에 대한 모형 실험을 가능하게 하였다[5,6].

실질적인 연구에 앞서 장비에 대한 검증과 특성을 파악하기 위하여, Series60( $C_B=0.6$ ) 선형을 대상으로 실험을 수행하였다. Series60( $C_B=0.6$ ) 선형은 기준에 많은 실험[7]과 수치계산[8]을 통하여 연구가 되어온 선형이다. 본 연구에서는 서로 다른 수심에서의 저항시험을 통하여, 각 수심 상태에 따른 저항값의 변화 및 트림, 침하를 예측하고 이에 따른 저항특성을 고찰하였다. 또한, 기존의 실험치들과 비교하여 새로 설치된 천수장비의 적정성 및 실험정도를 파악하였다[9].

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

실험은 인하대학교 선형시험수조에서 수행하였으며, 수조의 주요 제원은 길이가 79m, 폭이 5m, 수심은 2.7m 이며, 천수 장비로는 철골구조 위에 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. Fig. 1에 이와같은 실험장비의 개략도와 소파기 반대쪽에서 찍은 사진을 보여주 고 있다.

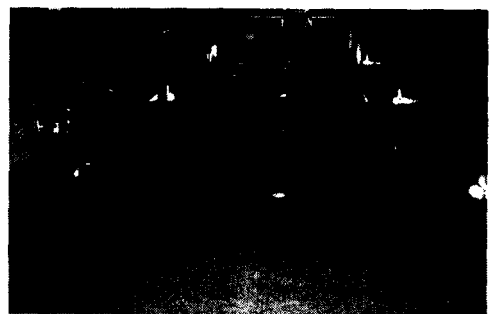
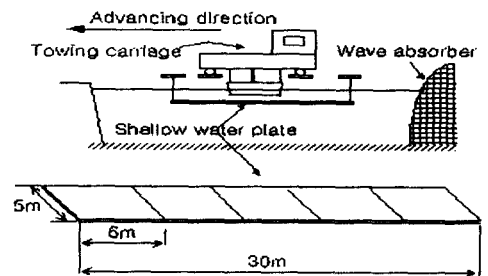


Fig. 1 Experimental setup and detail of shallow water plate in towing tank

이 천수 장비는 천수실험 목적으로 국내 최초로 기존의 예인수조에 설치되어, 심해상태 뿐만 아니라 천수상태에서의 실험도 수행할 수 있도록 되어 있다.

2.2 실험방법

실험에 사용된 선형은 길이(LPP) 2.5m, 폭(B) 0.333m, 흘수(T) 0.133m인 Series60 ( $C_B=0.6$ )선형으로,  $Fn=0.1\sim 0.35$  에 걸쳐, 심해조건과 천수조건으로 나뉘어져 저항시험이 수행되었으며, 저항값 및 트림(trim)과 침하량(sinkage)이 계측되었다.

천수실험 시에는, 수조 바닥에 놓여 있는 천수판(shallow water plate)을 들어 올려 각각의 천수조건에 맞는 수심에서 시험을 수행하였다.

천수 및 심해조건은 Table 1에서 보여지고 있다.

Table 1 Experimental depth conditions

	Water depth(h)	h/T
Shallow water condition	0.250m	1.880
	0.375m	2.820
	0.500m	3.759
	0.625m	4.699
Deep Water condition	2.7m	20.3

3. 천수장비의 검증

Fig. 2는 기존의 Series60에 대한 천수실험 [9]과 비교를 나타내고 있다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 기존의 실험치들과 유사한 경향과 값들을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이로부터 본 연구에 사용된 천수장비의 정도를 확인할 수 있다.

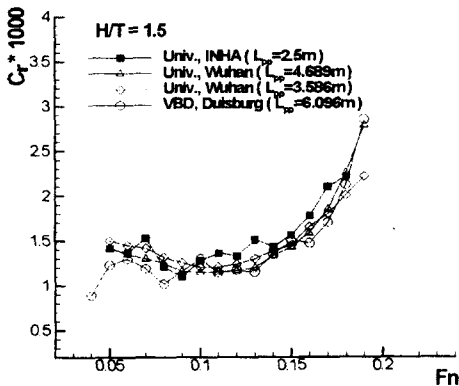


Fig. 2 Comparison of Fn-CR curves

4. 결과해석 및 고찰

4.1 저항 시험 및 결과 해석

일반적으로, 얇은 수심에서 운항하는 선박의 경우, 천수로 인한 영향은 크게 2가지로 요약된다. 첫째는 수심이 얕아짐에 따른 선체주위의 포텐셜 흐름의 변화로 인한 영향이다. 즉, 배 주위를 지나가는 물은 깊은 물에서보다 상대적으로 빨라지고, 이에 따라 침하와 트림이 증가하게 되며 저항값도 증가하게 된다. 둘째는 천수 영향에 의해 발생하는 임계속도와 임계파에 의한 영향이다[5,6]. 임계속도는 수심을 대표적인 길이로 하는 Froude 수인  $Fn$ 으로 얻어질 수 있는데, 즉  $Fn=1$ 인 경우의 속도로  $V_c = \sqrt{g/h}$ 로 정의된다. 여기서,  $g$ 는 중력가속도,  $h$ 는 수심을 나타낸다.

일반적으로 천수에 의한 영향은 임계속도를 기준으로, 임계속도 이전의 아임계속도영역과 고아임계속도영역, 임계속도영역, 임계속도를 지난 초임계속도영역의 4구역으로 구분된다. 천수영역에서는 임계속도에 가까워지면서 발산파의 각도가 커지고 가로파의 파고가 심해에 비해 크고 가파르게 변하여 이에 따른 조파저항이 증가하며, 임계속도영역에서는 발산파가 가장 큰 각도를 이루어서 조파저항값의 최고치를 나타내게 되는데, 본 연구에서도 이러한 이론과 일치하는 결과를 보이고 있다. 한편, 초아임계속도영역에서는 오히려 가로파의 소실과 파도의 발산각도 감소로 저항값이 심해조건보다 적어짐을 참고문헌 [5,6]에서 보여주고 있다.

Fig. 3은 수심에 따른 전저항계수의 변화를 나타내고 있다. 수심이 낮아질수록 임계속도 근처 ( $Fn=0.316, 0.387$ )에서 저항값이 크게 상승하는 것을 볼 수 있으며, 수심이  $h/T = 4.699m$  경우에는 심해영역에서의 저항값과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 Qian이 제시한 천수 효과가 나타나지 않는 최소 깊이  $h/T=4.812$ 에 매우 근접하는 깊이이다[3]. Qian은 실험적으로, 모형선의 길이, 폭, 흘수,  $Fn$  등을 이용하여 천수 효과가 없는 최소깊이를 얻어낼 수 있는 수식을 제시한 바 있다[3].

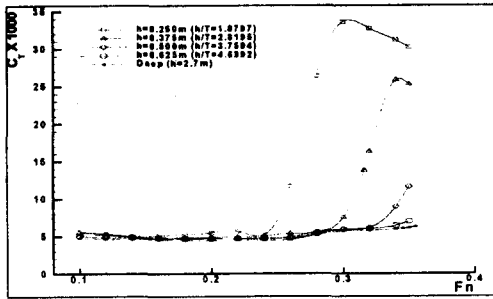


Fig. 3 Comparison of Fn-CT curves with the variation of water depth

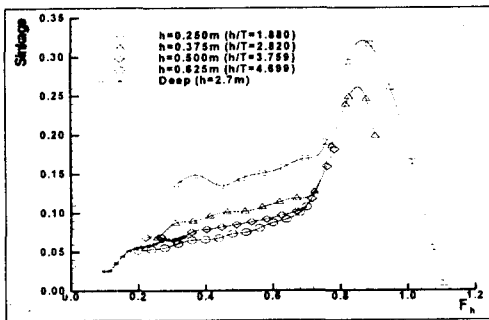


Fig. 4 Comparison of sinkage curves with the variation of water depth

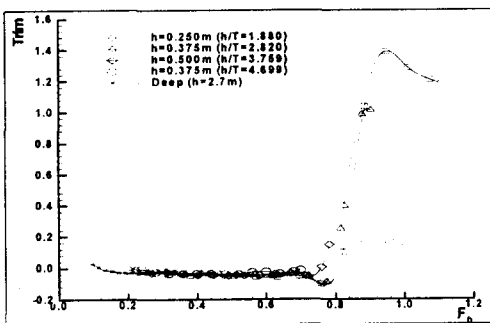


Fig. 5 Comparison of trim curves with the variation of water depth

Fig. 4와 Fig. 5에서는 실험에 의한 침하와 트림을 보여주고 있으며, 이때 침하와 트림은 각각 아래의 식 (1), (2)로 무차원화 되었다.

$$Trim = \frac{(\Delta Z_{bow} - \Delta Z_{stren}) \times 2g}{U^2} \quad (1)$$

$$Sinkage = \frac{h_s \times 2g}{U^2} \quad (2)$$

여기서,  $h_s$ 는 평균침하량이고,  $\Delta Z_{bow}$ 는 선수 흘수변화량,  $\Delta Z_{stren}$ 는 선미흘수변화량을 나타내며,  $U$ 는 모형선의 선속이다.

수심이 얕아질수록 침하는 전반적으로 증가하는 현상을 보이고 있으며,  $0.7 V_c \sim 0.9 V_c$ 의 고아임계속도영역에서 침하가 상승하기 시작하여, 임계속도에 가까워지면서 침하가 최고치를 이루고 있다. 그러나, 임계속도를 넘어서면서부터는 침하가 급격히 작아지는 현상을 보이고 있다.

또한, 트림변화는  $0.7 V_c$ 이하의 아임계속도영역에서는 심해와 비슷한 선수트림현상을 보이고 있으나, 임계속도에 가까워지면서 선수가 들리고 선미가 가라앉는 선미트림으로 급격하게 변하는 현상을 보이고 있으며, 임계속도이상의 속도에서는 트림변화가 적어지는 현상을 보이고 있다.

임계속도에 따른 저항값의 변화는 Fig. 6  $C_T$ - $F_n$  곡선에서 보여지고 있다.  $C_T$ - $F_n$  곡선에서 고아임계속도구간에서는 트림 및 침하가 급격히 상승함에 따라 저항값이 크게 상승하는 것을 알 수 있으며, 임계속도이상부터는 트림 및 침하가 감소함에 따라 저항값이 감소하는 현상을 보이고 있다.

천수 중에서 운항하는 선박의 경우, 저항값은  $0.7 V_c$  이하의 아임계속도에서는 심해에서의 저항값과 큰 차이가 없지만,  $0.7 V_c$  이상의 고아임계속도부터는 천수 영향에 의해 저항값이 증가하고 있다. 이와 같은 현상은 Fig. 7에서 더욱 명확히 알 수 있는데,  $F_n$ 에 따른 천수상태 각 수심에서의  $R_T$ 값을 심해에서의  $R_T$ 값으로 나누어서 심해에 비해 천수에서 저항값이 얼마나 증가하는지를 알 수 있게 하였다. 아임계속도 이하에서는 수심에 관계없이 저항값이 거의 일정함을 보이고 있다. 그러나, 고아임계속도에서부터는 뚜렷하게 저항값이 증가하고 있으며, 수심이 0.25m인 경우,

임계속도에서의 저항값이 심해영역에서의 저항값보다 약 6배정도 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

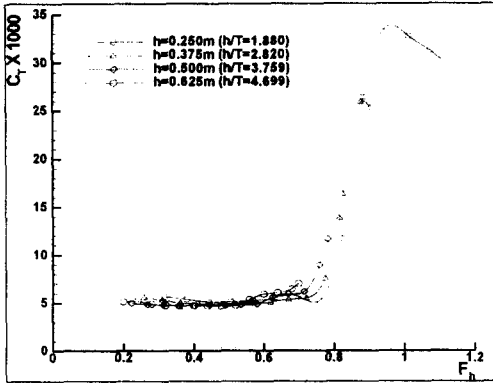


Fig. 6 Comparison of  $C_T$ - $F_H$  curves with the variation of water depth

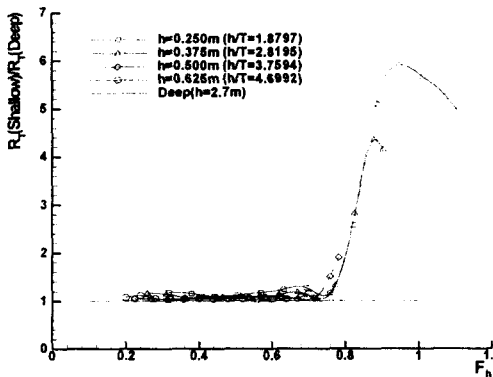


Fig. 7 Comparison of  $R_r(\text{shallow})/R_r(\text{deep})$  curves

#### 4.2 수심에 따른 형상영향계수의 변화

Fig. 8은 수심에 따른 형상영향계수를 나타내고 있으며, Millward에 의한 아래의 실험식에 따른 추정값과 비교하였다[4].

$$(1+k)_{h=0} = (1+k)_{T/h=0} + 0.644(T/h)^{1.72} \quad (7)$$

여기서,  $T/h$ 는 흘수/수심을 나타낸다.

형상영향계수의 결정은 저속실험을 통한 저속결정법을 이용하였으며, 아래의 식과 같다.

$$1+k = \frac{C_T}{C_F}, \quad (C_W=0) \quad (6)$$

여기서,  $C_T$ 는 전저항계수,  $C_F$ 는 마찰저항계수, 그리고  $C_W$ 는 조파저항계수를 나타낸다.

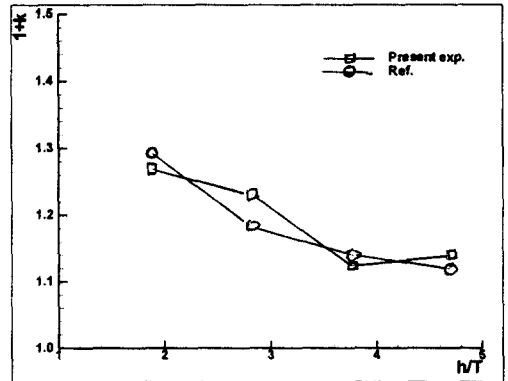


Fig. 8 Comparison of form factors with the variation of water depths

Fig. 8에서 전체적으로 Millward와 유사한 형태로 형상계수의 변화가 있음을 알 수 있다. 그러나, 실험에 의한 형상영향계수의 값이 Millward에 비하여 약간의 차이를 볼 수 있는데, 이는 Millward의 경우, Prohaska 방법을 기초로 하여 작성한, 천수영향을 고려한 실험식에 따른 추정된 값이어서, 실험에 의한 값과는 차이가 있다고 볼 수 있다(4).

#### 4. 결론

Series60( $C_B=0.6$ )선형에 대해, 심해 및 천수 조건으로 나누어 저항시험을 수행하였다.

본 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 수조에 설치된 천수상태 실험용 장비는 그 활용성과 정도면에서 좋은 결과를 주고 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 수심이 얕아질수록 전저항계수는 크게 변하고 있으며, 특히  $h=0.250\text{m}$  ( $h/T=1.880$ )에서, 임계속도에서의 전저항계수  $R_T$ 는 심해영역에서의 저항값보다 약 6배

정도 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 수심이  $h/T=4.699$ 에서는 심해에서의 저항값과 거의 같음을 알 수 있었다.

- (3) 한편, 임계속도에 가까워질수록 트림 변화는 선수트림에서 선미트림으로 변하며, 침하량도 증가하는 현상을 알 수 있었다.
- (4) 형상저항계수는 수심이 알아질수록, 증가하는 경향을 알 수 있었다.
- (5) 초임계속도영역에 대한 실험은 충분히 수행하지 못 하였으므로, 이에 대한 실험이 보완되어야 할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학기술재단지정 인하대학교 황해권 수송시스템연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이영길, 이승희, 이규열, 김성용, "200TEU 연안-하천 연계 컨테이너선의 선형개발", 대한조선학회지논문집, 제34권, 제4호, 1997, pp.72~83.
- [2] 김성용, "연안-하천 연계수송용 Pusher-Barge 선형주위의 유동특성에 관한 연구", 인하대학교 공학석사학위 논문, Feb. 1999.
- [3] Qian, Xu-tao, "Prediction of Performance of Inland Vessels Influenced by Shallow Water", PRADS '89, 4th International Symposium on the Practical Design of Ships and Mobile Units (PRADS), 10/23/89 - 10/28/89, Varna, Bulgaria, 1989, p 27.1-7.
- [4] Millward, A., "The Effect of Water Depth on Hull Form Factor", International Shipbuilding Progress Delft, Netherlands, Delft University Press, 1989 v 36, n 407, Oct. 1989, p 283-302
- [5] 김호은, 서성호, 이영길, 이승희, "황해형 연안도서 운항용 고속 쌍동선의 선형설계에 관한 연구 (1)", '99초고속선 WORKSHOP, 1999, pp.48~61.
- [6] 김호은, 이영길, 이승희, "황해형 연안도서 운항용 고속 쌍동선의 선형설계에 관한 연구 (2)", 2000년도 동계 선박설계 연구 발표회, Mar. 2000, pp.4-1~4-12.
- [7] H. C. Kim, S. I. Yang, Y.-G. Lee, et al., "Report on the Cooperative Experimental Study Program", Journal of The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 24, No. 3, The Society of Naval Architects of Korea, Sep. 1987, pp.17~24.
- [8] Y.-G. Lee, Hideaki Miyata and Hisashi Kajitani, "Some Application of the TUMMAC Method to 3D Water-wave Problems", Journal of The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 25, No. 4, The Society of Naval Architects of Korea, Dec. 1988, pp.13~27.
- [9] 'Review of Research on Resistance and Flow', Proc. 19th Int. Towing Tank Conf., 1990, pp.57~104.