
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 2 號 1997年 5月
 Journal of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 34, No. 2, May 1997

예인수조시험의 계측정도 향상에 관한 연구 (I) (수조수온, 기포와 난류촉진장치에 대하여)

박용제*

A Study on the Improvement of Measuring Accuracy of the Experiments in Towing Tank (I) (Water Temperature, Air Bubbles and Turbulence Stimulator)

by

Yong-Jea Park*

요 약

예인수조에서 저항추진 성능을 추정하기 위한 선형시험을 수행할 때는 계측정도에 나쁜 영향을 주는 불안정현상에 유의하여야 한다. 불안정현상을 일으키는 큰 원인인 수조수 수심에 따른 수온의 불균일, 연중 수온의 변화, 난류촉진장치, 저항시험 시의 이복현상에 대해 검토하였다. 그리고 수조수 순환, 수조동 난방, 탈기장치 및 난류촉진장치의 개선 등을 그 해결 방안으로 제시하였다.

Abstract

We have been noticing the unstable phenomena of measured data which may give a bad influence on the prediction of powering performance characteristics. In this paper, ununiformity of water temperature according to the water depth in towing tank, variation of water temperature between summer and winter, effect of turbulence stimulator and double line phenomena in the resistance test are investigated. And circulating the tank water, heating the towing tank, degassing the tank water and improving the turbulence stimulator are proposed as it's solutions.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 추계연구발표회('94.11.11)

접수일자 : 1996년 4월 1일, 재접수일자 : 1997년 2월 20일

* 정회원, 선박·해양공학연구센터

1. 서 언

실선의 저항추진성을 추정하는 방법 가운데 가장 신뢰할 만한 것은 모형시험에 의해 실선의 저항추진 성능을 추정하는 것이다.

이 모형시험은 실험의 단순함에도 불구하고 높은 계측정도가 요구되지만, 여러 원인에 의하여 불안정현상이 다양하게 나타나기 때문에 정도 높은 시험을 수행하기 어렵다[1].

본 고에서는 예인수조시험의 계측정도를 향상시키기 위해서 몇 년간에 걸쳐 수행된 일련의 연구에 대해 기술한다. 즉 선택된 몇 종류의 불안정현상에 대해 원인을 규명하고, 그 해결 방안을 찾는 것으로서 검토된 사항은 수조수 수온이 수심별로 균일하지 않는 데에서 오는 문제점, 수조수 수온이 연중 변화하는 데에서 오는 문제점, 난류촉진 장치의 효과 및 저항시험 시 계측 결과가 두개의 선으로 나타나는 이복현상들이다.

2. 계측치의 불안정현상

정확하게 실선의 저항추진성을 추정하기 위해서는 선형시험에서 계측되는 모형시험 계측치의 정확도가 중요하다. 아울러 더욱 필요한 것은 시험결과의 재현성이며 조선소가 요구하는 정확도는 1% 이내이다. 만일 15°C의 균일한 온도분포를 지니며 완전히 정지된 물을 넣은 넓은 수조에서 아주 매끄러운 표면을 갖는 모형선이 선수부에서부터 난류경계층에 덮인 상태로 공기저항을 전혀 받지 않고 예인된다면 완전한 시험상태라고 할 수 있지만 실제로 이와 같은 조건에서 선형시험이 수행되기는 불가능하다. 그간의 경험으로 보아 계측치의 불안정현상은 종종 발견되며, 저속비대선인 경우에는 더욱 두드러진다.

불안정현상의 일례로서 1990년 7월 18일에 수행된 방형비척계수가 0.8062인 9만5천톤급 유조선에 대한 저항시험결과를 Fig. 1에 보이는데, 계측치는 같은 날 실험되어졌음에도 불구하고 여러 이유 때문에 13.0 knots 때 309g, 15.5 knots 때 139g 이나 다르고, 이는 순정된 값의 5.54% (13.0 knots)와 1.78% (15.5 knots)에 해당한다.

이 차이를 2차원 해석방법에 의해 실선의 유효

동력으로 해석하면 각각 575.1PS와 307.8PS이고, 이는 순정된 값의 10.06% (13.0 knots)와 3.17% (15.5 knots)에 해당하므로 조선소가 요구하는 1% 정확도에는 훨씬 못 미치는 것을 알 수 있다.

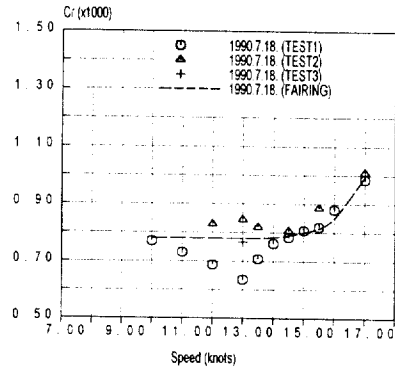


Fig. 1 Resistance test results with 95K class tanker

3. 수조수 수온의 수심별 불균일

3.1 수온 불균일의 영향

Fig. 2에는 1990년에 계측된 수심별 수온을 수심 0.5m에서 5.5m까지 1.0m 간격으로 계측한 결과를 보인다. 수심별 수온은 동절기(12월 ~ 3월)에는 일정하지만 그 밖의 계절은 다르다. 특히 수온이 급상승하는 여름에는 수심 0.5m에서 계측된 수온과 수심 1.5m에서 계측된 수온이 4°C 이상 차이를 보인다. 또한 계절별 수온은 기온이 상승함에 따라 수표면에서부터 상승하고 9월 중순경부터는 수표면에서부터 떨어지게 된다. 이로부터 수온변화를 일으키는 원인은 대부분 수조동 내의 공기로부터 온다는 것을 알 수 있다. 이러한 수심별 수온의 불균일은 선형시험 계측치와 결과해석에 커다란 영향을 미친다.

Fig. 1에 보인 선형시험이 수행되었던 7월 18일의 수심별 수온은 0.5m 수심에서 16.8°C, 1.5m 수심에서 14.0°C로 계측되었다. 16.8°C 때의 물의 동점성계수는 $1.0956 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 이고 14.0°C 때의 동점성계수는 $1.1696 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 이기 때문에 수온 2.8°C 감소는 동점성계수 6.75% 증가에 해당한다.

저속비대선에 대한 모형시험의 경우 전저항계수중에 마찰저항이 차지하는 비율은 약 80% 정도이다. 만약 Fig. 1에 보인 실험이 반복적인 모형선 예인에 따라 수온이 다른 수조수가 섞여서 수온이 1°C 작아진 상태에서 수행되었다면, 마찰저항계수는 13.0 knots에서는 2.991×10^{-3} 에서 3.005×10^{-3} 로 커지게 되므로 잉여저항계수는 0.781×10^{-3} 에서 0.767×10^{-3} 으로 1.79% 작아지게 된다. 이로부터 수심별 수온의 불균일은 선형시험의 정확도에 나쁜 영향을 미치므로 수심별 수온을 균일하게 만들 필요성이 있음을 알 수 있다.

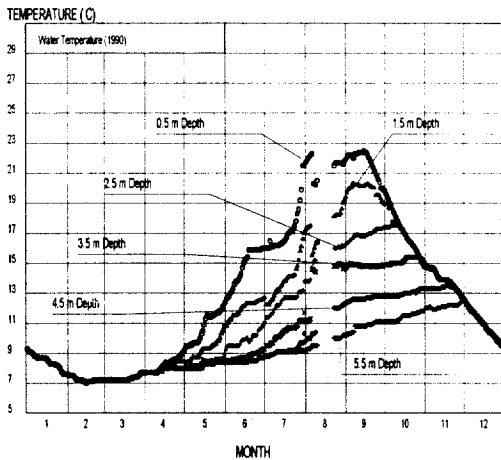


Fig. 2 Record of Water Temperature (1990)

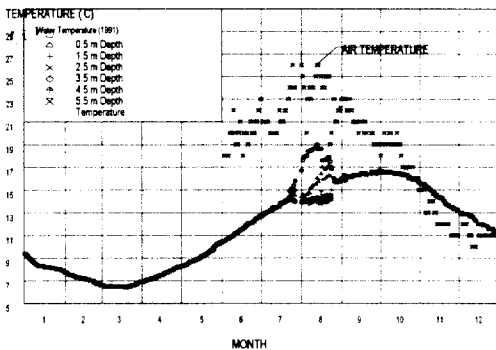


Fig. 3 Record of Water Temperature (1991)

3.2 수온 균일화 방안

KRISO 예인수조에서는 1991년 초부터 수조수를 순환시켜 수심별 수온을 균일하게 해주고 있다. 이는 수조수의 여과장치를 보수하여 가동한 것인

데, 이장치는 여과용량 $200\text{m}^3/\text{hr}$ 를 가지며, 여과된 물을 10개의 구멍을 통하여 제공급함으로서 수조수내의 불순물 여과 기능과 수온 균일화 기능을 동시에 수행하는 것이다. Fig. 3에 1991년에 계측된 수심별 수온을 보이는데 여과장치를 가동한 후에는 수심별로 수온이 거의 같음을 알 수 있다.

4. 수조수 수온의 연중 변화

4.1 수온 연중 변화의 영향

수조수의 순환장치가 가동된 이후 계절변화에 따른 수조수 수온의 최대 변화폭은 1991년의 경우 약 10.0°C, 1992년의 경우 약 9.5°C, 1993년의 경우 약 8.0°C 이었다. Froude의 가정에 따르면 이러한 수온변화는 잉여저항계수에 영향을 주지 않아야 하지만 그간의 경험에 비추어 보면 꼭 그렇지만은 않다. 수온변화에 의한 잉여저항계수의 변동을 확인하는 시험을 위하여 두께 3mm 정도의 FRP를 덮어 석위 제작한 15만톤급 원유운반선에 대한 표준모형선을 제작하였다. 표준모형선에 대한 body plan과 선수미 contour를 Fig. 4에 보인다.

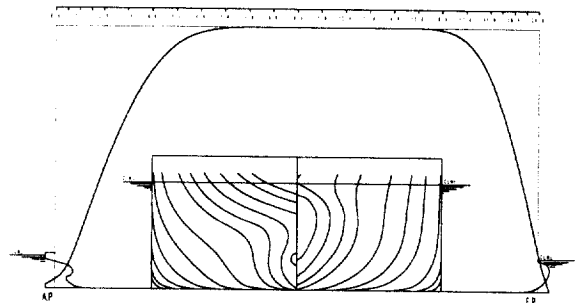


Fig. 4 Body-plan, bow and stern contours of the standard model

수온변화에 의한 저항계수의 변화에 대하여 알아보기 위해 네번의 저항시험을 수행하였고 이들을 2차원 방법으로 해석한 결과를 Fig. 5에 보이는데 수온변화에 따라서 잉여저항계수는 큰 차이를 보인다. 예를 들면 설계속도인 15.0 knots에서 잉여저항계수의 최대값은 0.946×10^{-3} 으로서 최소

값 0.856×10^{-3} 보다 10.5%가 더 크다. 이러한 경향은 전속도 영역에서 보이며 특히 저속역일수록 더욱 커져 6.0 knot인 경우에는 35.1% 정도이다.

Fig. 6은 같은 시험결과를 각 속도에 대하여 횡축을 수온으로 한 결과와 동점성계수를 보인다. 이것으로부터 저항시험 결과를 2차원방법으로 해석할 경우 모형선과 실선에서 항상 같으리라 생각하는 잉여저항계수는 수온이 증가하여 동점성계수가 작아짐에 따라 작아지기 때문에 이에 대한 보정을 하거나 연중 수온 변화를 줄여야 된다.

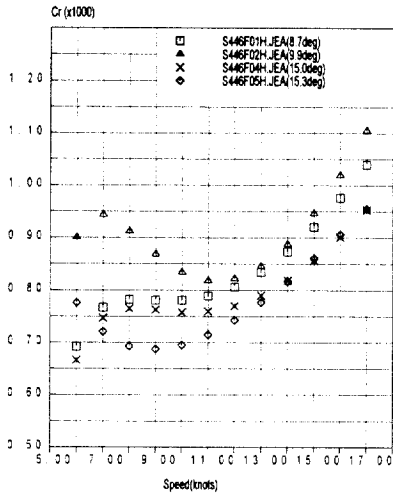


Fig. 5 Resistance test results with standard model

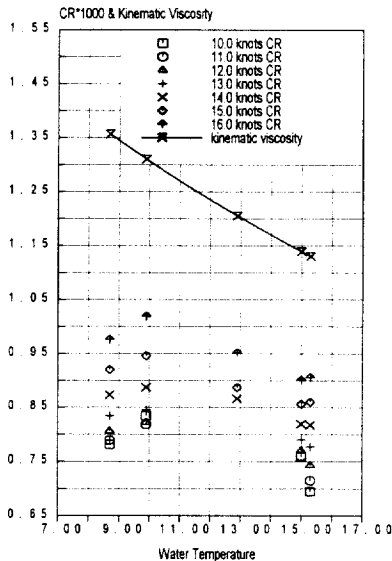


Fig. 6 Resistance test results with standard model

4.2 수온 일정화 방안

수조수의 연중 변화를 줄이기 위하여 수조동 내부를 난방해 주기로 하였으며, 수조동의 난방 시기는 다른 건물의 난방 시기와 다르기 때문에 필요에 따라 수조동만을 따로 난방시킬 수 있도록 Fig. 7에 보인 독립된 보일러를 1994년 말부터 설치하여 가동하고 있다.

Fig. 8에는 1995년의 수심별 수온분포를 보이고 Fig. 9에는 1996년의 수온분포를 보이는데, 1995년 1월에 실시된 수조동 지붕공사로 인해 한달간 수조수가 외기에 노출되어 있었고 1995년 겨울이 예년에 비해 매우 낮았지만 최저 수온은 8.1°C에서 9.8°C로 1.7°C 상승되어 난방장치가 효과있음이 증명되었다. 또한 동절기 난방으로 인해 수조동내 기온을 15°C내지 20°C로 유지할 수 있어서 시험환경이 개선되었고 이에 따라 시험자들의 능률을 높일 수 있었다.

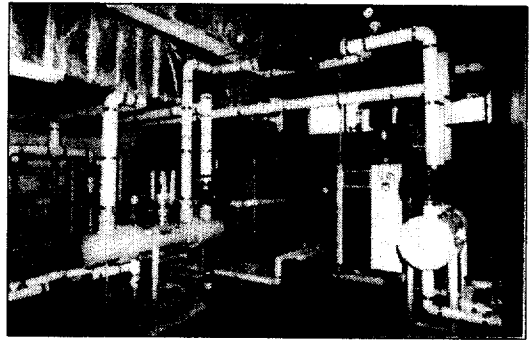


Fig. 7 Photographs of the heating system

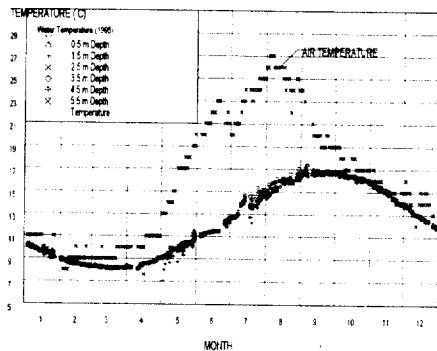


Fig. 8 Record of water temperature (1995)

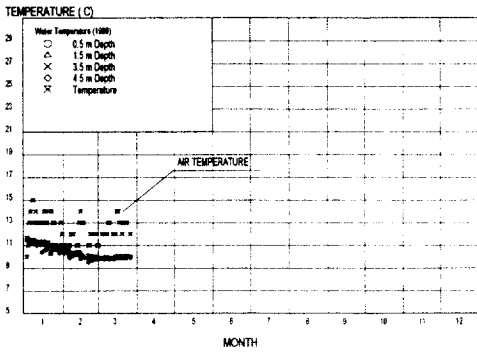


Fig. 9 Record of water temperature (1996)

5. 이복현상의 문제점

5.1 이복현상

수심별 수온이 일치된 후 현저한 이복현상이 관찰되었다. Fig. 10은 9만8천만톤급 원유운반선에 대한 저항시험 결과이다. 이 선형의 방형비척계수는 0.8063으로 Fig. 1에 보인 선형과 거의 유사하다. △로 표시된 결과와 ●로 표시된 결과는 같은 날 시험되어졌으나 크기와 경향이 완전히 다른 뚜렷한 이복현상을 보이고 있다. 이러한 이복현상의 주원인은 모형선 표면에 발생하는 기포이다.[10] 이 기포의 발생원인은 수온이 상승하게 되면 물에 함유될 수 있는 산소량이 감소하여 과포화 상태가 되기 때문이다. 일 예로 이복현상이 발생되었던 1991년 6월 27일에 측정된 수조수의 용존산소량은 104.5%이었다. 과포화 상태의 수조수에는 아주 작은 기포가 발생하게 되고 이 기포는 모형선 표면에 붙어 저항계측치를 증가시키게 된다. Fig. 11에 모형선 표면에 부착된 기포의 모습을 보인다.

Fig. 10에 보인 결과 가운데 기포의 발생이 정지하고 모형선 표면에 부착되었던 기포가 떨어져서 계측치가 안정된 이후에 계측된 값(●)들은 Fig. 1에 보인 것보다 훨씬 안정된 결과를 주고 있다. 계측치의 변화는 13.0 knots 때에는 15g이며 14.0 knots에서는 30g이고 설계속도인 15.0 knots에서는 10g이다. 이를 실선의 유효동력으로 확장하면 각각 50PS, 95PS와 35PS로 수온을 균일하게 해주기 전보다 안정된 값을 주고 있다.

이복현상을 일으키는 기포는 모형선을 진수한 직후에는 아주 작은 크기로 모형선에 붙게되지만 시간이 지남에 따라 점점 더 크게 된다. 모형선을 진수한 후 4시간 정도 경과하면 기포의 발생은 정지하게 되고 이에 따라 계측치는 안정을 찾게 된다.

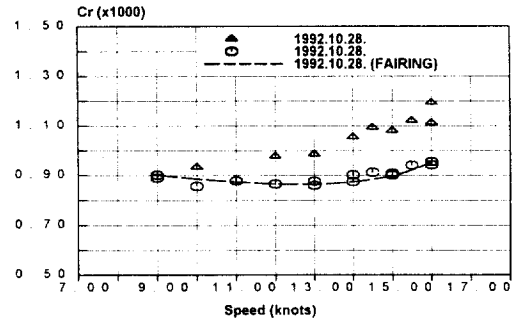


Fig. 10 Resistance test results with 98K class C.O.T.

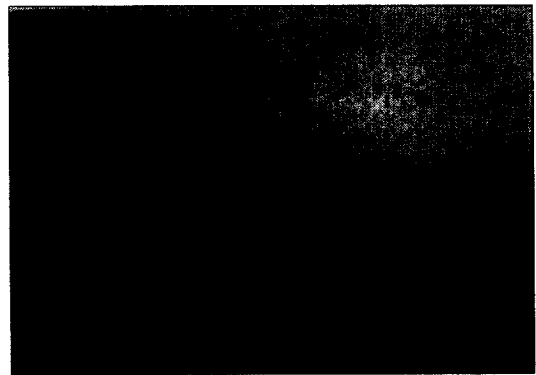


Fig. 11 Photograph of air bubbles

5.2 이복현상 해결 방안

모형선 표면에 부착되어 저항계측치를 증가시키는 기포를 제거하기 위해 수조수에 녹아 있는 산소함유량을 줄이기 위해 Fig. 12와 Fig. 13에 보인 탈기장치를 설치하였다.

이 장치의 용량은 시간당 40m³이며, 수조수 순환장치와 동시에 작동되도록 설치되었다. 탈기장치의 가동은 1995년 3월말부터 시작되었으며 그 날의 용존산소량은 93.8%로 측정되었고 수온이 급격히 상승하는 계절인 6월 3일에는 용존산소량이 88.5%, 6월 12일에는 87.7%, 6월 26일에는 88.5%

로 계속되어 탈기장치가 효과있다는 것을 확인하였다. 탈기장치를 설치한 1995년부터는 모형선에 부착되어 저항계측치를 증가시키는 기포를 발견할 수 없었고 이에 따라 안정된 저항시험을 수행할 수 있었다.

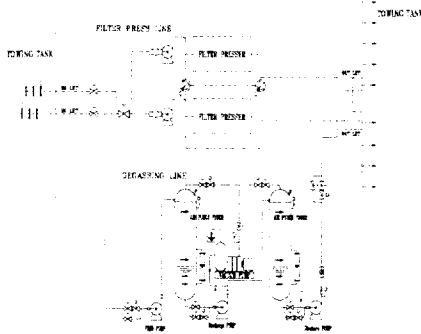


Fig. 12 Diagram of degassing system

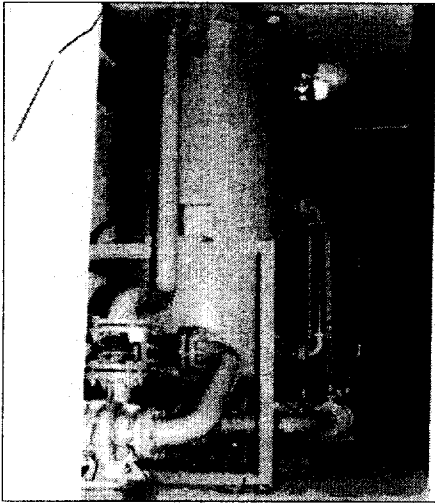


Fig. 13 Photograph of degassing system

6. 난류촉진장치

6.1 난류촉진장치의 영향

저속역에서의 이상적인 잉여저항계수는 속도가 증가할 수록 약간씩 커지는 것이지만 Fig. 5에 보인 시험결과 가운데 수온 8.7°C와 15.0°C에서 수행된 시험결과는 그러한 모양을 보이지 않고 있다. 이 원인은 난류촉진효과의 부족에 의한 영향이라

판단된다. 이상적인 난류촉진장치는 그 자신의 고유저항은 존재하지 않고 유동에 주는 교란이 커서 난류촉진장치로 인한 저항 증가는 없으면서 난류촉진장치 후방의 흐름을 완전한 난류로 만들어 주어야 한다. 하지만 이러한 이상적인 난류촉진장치는 존재하지 않으므로, 그 자체의 고유저항이 작으면서 흐름을 가장 많이 교란하는 장치를 찾아야만 한다. 본 연구에서는 Fig. 14에서 보는 바와 같은 네가지 Stud들에 대해 검토하였는데, Stud 1이 현재 사용하는 난류촉진장치이다. 이러한 Stud들에 대해서 Benzoic Acid에 의한 약품피막법과 염료를 분사하는 잉크분사법에 의한 유선가시화와 저항시험을 통하여 난류촉진장치의 유효성을 판단하였다.

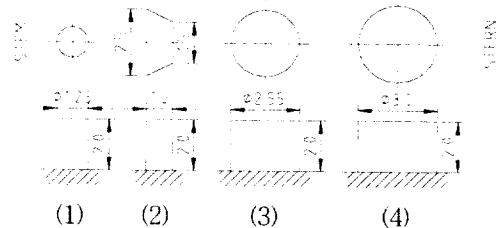


Fig. 14 Studs

(1) 저항시험에 의한 검토

시험에 사용된 선형은 길이 3.3m, 폭 0.6m인 포물선선형으로 난류촉진장치의 종류에 따른 저항시험결과를 Fig. 15 ~ 19에 보인다. 저항시험결과에 따르면 난류촉진장치가 부착되지 않은 경우에는 Reynolds수 0.9×10^6 에서부터 저항계측치의 기울기가 급격히 감소하여 Reynolds수 0.6×10^6 부근에서 마찰저항곡선과 교차한다. Stud 1인 경우에는 Reynolds수 0.9×10^6 에서부터 저항계측치의 기울기가 서서히 감소하는 경향을 보이고 있으므로 이 결과에 의하여 형상영향계수를 추정하면 오류를 범할 우려가 있다. 이에 반하여 Stud 2가 부착된 경우의 저항시험 결과는 Reynolds수 0.6×10^6 까지 일정한 경향을 보이고 있어 Stud 1의 경우보다는 나은 결과를 보이고 있다. Stud 3의 경우에는 Reynolds수 1.0×10^6 부근부터 저항계측치의 기울기가 감소하며 그 양은 Stud 1의 경우보다 더 크다. Stud 4인 경우는 원통형 Stud중 크기가 가장 큰데도 불구하고 Reynolds수 1.3×10^6 부근부

터 저항계측치의 기울기가 급격히 감소해 원통형 Stud 가운데 가장 나쁜 결과를 보이고 있다.

량이 일정하도록 개폐용 코크와 조절용 코크 두개를 장치하였다. 흘수는 25cm로 맞추었으며 분사 위치는 선저로부터 15cm 떨어진 곳이다. Reynolds수 0.25×10^6 부터 5.0×10^6 까지의 속도에서 저항시험과 잉크분사에 의한 유선가시화 시험을 수행하였다.

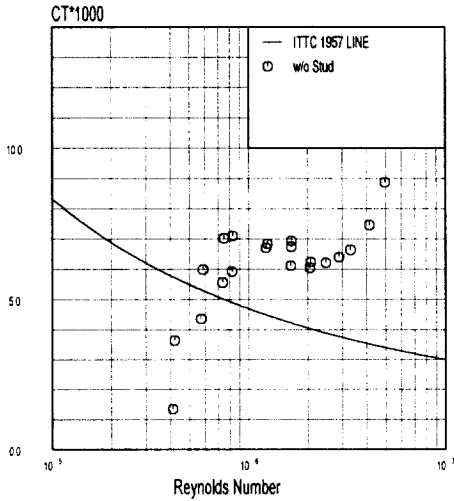


Fig. 15 Resistance test results of wall side type model with parabolic waterplane shape (without stud)

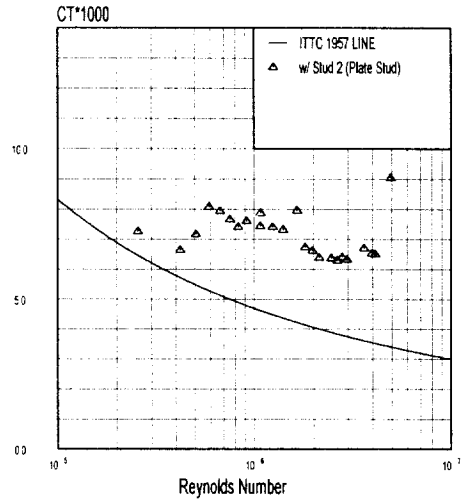


Fig. 17 Resistance test results of wall side type model with parabolic waterplane shape (with stud2)

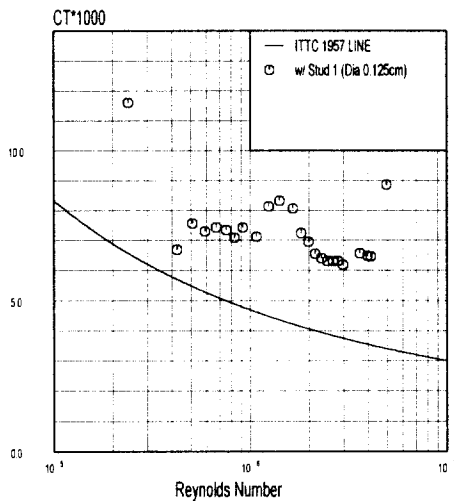


Fig. 16 Resistance test results of wall side type model with parabolic waterplane shape (with stud1)

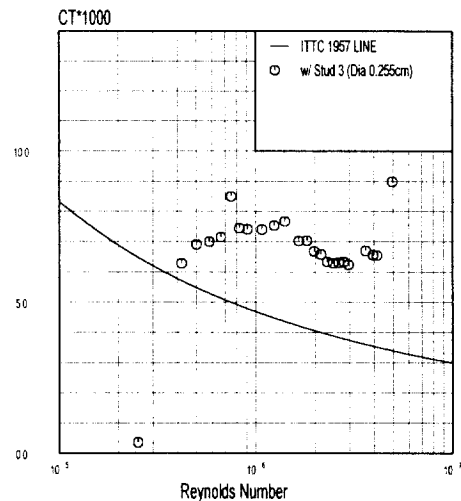


Fig. 18 Resistance test results of wall side type model with parabolic waterplane shape (with stud3)

(2) 잉크분사법에 의한 검토

난류촉진장치는 선수로부터 10cm 떨어진 곳에 1.0cm 간격으로 부착하였으며, 잉크는 선수로부터 30cm 및 60cm 위치 두군데에서 분사하였고, 분사

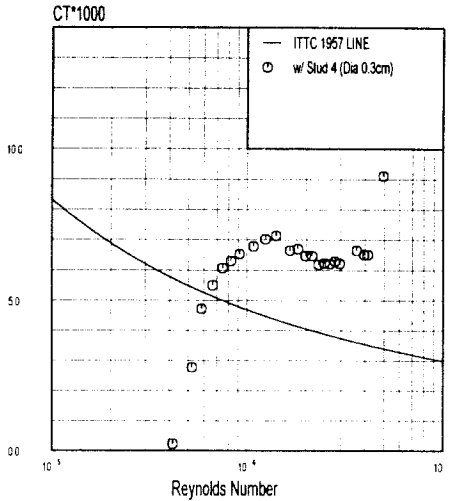


Fig. 19 Resistance test results of wall side type model with parabolic waterplane shape (with stud4)

Fig. 20에는 Reynolds수 0.2475×10^6 인 속도에서의 유선가시화결과를 보이는데 위로부터 Stud 1, Stud 2, Stud 3과 Stud 4에 대한 사진이다. Stud 1에서는 분사된 잉크가 흩어지지 않고 매끄럽게 흘러가지만 Stud 2, 3과 4에서는 분사된 잉크가 흩어지면서 흘러가고 있다. Fig. 21에는 Reynolds수 0.6600×10^6 인 속도에서의 유선가시화결과를 보이는데 흥미로운 것은 Stud 1인 경우 첫번째 구멍에서 분사된 잉크는 교란되어 흩어지고 있으나 두번째 구멍에서 분사된 염료는 층류 때와 마찬가지로 전연 교란되고 있지 않다. 이는 Stud 1의 난류촉진효과가 작아 그 영향이 두번째 구멍 위치까지 미치지 못하여 전이되었던 흐름이 다시 층류로 환원되고 있음을 나타낸다. 이에 반하여 Stud 2,3은 같은 Reynolds수에서 Stud 1과는 달리 흐름을 천이시키고 있음을 알 수 있고 Stud 4인 경우에는 뒤쪽의 흐름이 앞쪽의 흐름보다 약간 층류에 가까움을 알 수 있다.

(3) 약품피막법에 의한 검토

약품피막법에 의한 유동특성분석은 Benzoic Acid와 같은 수용성 고체가 물의 흐름에 따라서 용해되는 현상을 이용한 것으로 용해속도는 천이역 후반부에서 최대값을 가지며 층류역 후반부에서 최소값을 갖는다[8]. 즉 모형선 표면에 수용성

고체를 도포하고 예인하면 수용성 고체는 천이역 후반부에서 물에 가장 빨리 녹고 층류역 후반부에서 가장 늦게 녹는다.

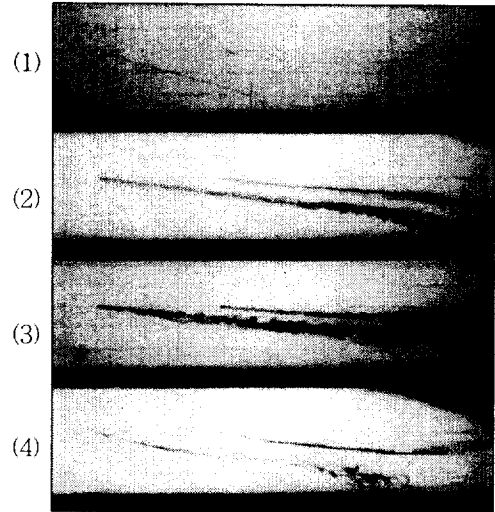


Fig. 20 Photographs of flow visualization ($Rn_{tot} = 0.2475 \times 10^6$)

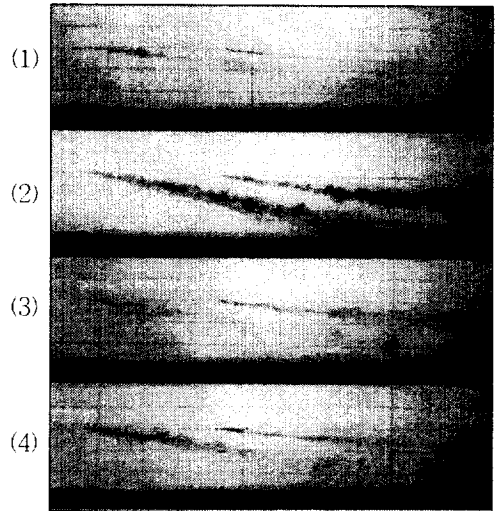


Fig. 21 Photographs of flow visualization ($Rn_{tot} = 0.6600 \times 10^6$)

수용성 고체를 모형선 표면에 고루 도포시키기 위해서는 기화가 용이한 용매를 선택하여야 하는데 그 용매로서 아세톤을 사용하였다. Benzoic Acid를 아세톤에 용해시킨 후 모형선 도장에 사용

하는 분무기를 사용하여 모형선에 분무하고 아세트론이 완전히 기화하여 Benzoic Acid의 막이 형성된 후 일정한 속도로 예인하며 막이 용해되는 모습을 관찰하였다. 그 결과중 일부를 Fig. 22에 보인다.

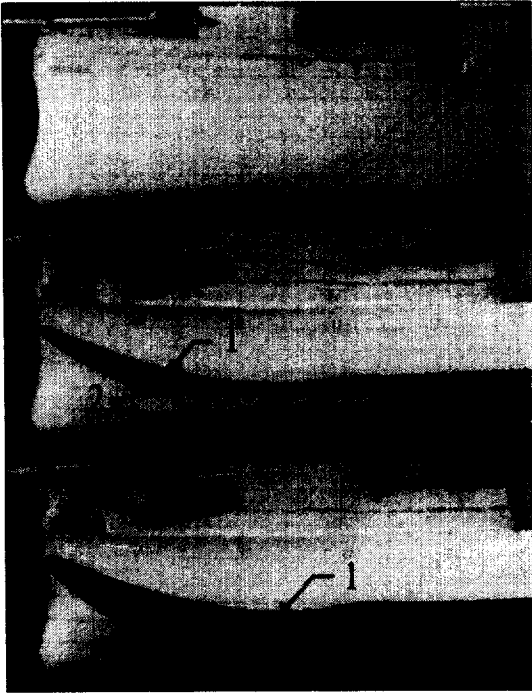


Fig. 22 Photographs of chemical film method (V=1.0m/sec, Fn=0.199)

시험에 사용된 선형은 배수량 3만2천톤급 산적 화물선이고 난류촉진장치로는 우리 수조에서 표준으로 사용하고 있는 직경 0.125cm 원통형 Stud가 부착되어 있다. 이 때의 Froude수가 0.199이라는 고속임에도 불구하고 Fig. 22의 맨 위와 같이 Benzoic Acid를 모형선에 고르게 도포한 후 예인하게 되면 두 번째 사진에서 보는 바와 같이 Line 1과 Line 2 사이에 칠해진 Benzoic Acid가 가장 빨리 물에 용해되는데 이 구역이 천이역 후반이다. 예인을 계속하게 되면 도포된 Benzoic Acid는 세 번째 사진에서 보인 바와 같이 Line 3까지 용해되므로 선수에서 Line 3까지가 충류역에 해당한다. 이로부터 천이역 후반이 흡수의 중심에서 15스테이션까지 존재함을 알 수 있고 선저부분에서는 bilge vortex 등의 이유로 좀 더 앞쪽에서 천이가

일어나며 흡수선 부근에서도 자유표면의 영향에 의하여 훨씬 더 앞쪽에서 천이가 일어나고 있다. 충류역은 19스테이션 즉 Stud가 위치하는 곳까지 삼각형 모양으로 존재함을 알 수 있다.

6.2 효과적 난류촉진장치

일련의 검토로부터 현재 사용하고 있는 난류촉진장치는 효과가 작아 모형선 주위의 유동을 완전한 난류로 바꾸어 주지 못한다는 것을 알 수 있었고, 검토된 난류촉진장치 가운데 사다리꼴 형상을 갖는 stud가 가장 효과적임을 알 수 있다.

7. 결 언

일련의 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 수심별 수온차의 문제점을 검토하고 수조수순환장치로 이를 해결하였다.
- 2) 연중 수온 변화가 선형시험 계측치에 미치는 영향을 검토하였고 이를 최소화 하기 위해 수조동난방장치를 설치하였다.
- 3) 모형선에 달라붙어 저항을 증가시키는 기포를 없애기 위해 탈기장치를 설치하여 이복현상을 제거하였다.
- 4) 현재 사용하고 있는 난류촉진장치의 효과를 재검토해 보고 최적의 난류촉진장치로 사다리꼴 형태의 stud를 선정하였다.

후 기

본 연구는 선박해양공학연구센터에서 수행한 1992년도와 1993년도 및 1994년도 기본연구사업의 연구결과 중 일부이다. 시험수행을 위해서 애써 주신 수조운용실 동료 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] “船型開發と試驗水槽”, 日本造船學會 試驗水槽委員會, 1983. 2.
- [2] Tanaka Kazuyuki, “Management of the Water of the Experiment Tank (No.1~12)”, SRC Technical Note, 84.11.
- [3] Taniguchi Kaname, “The Resistance Tests on the I.T.T.C. Standard Model”, 日本造船協會論文集 第112號, 62.11.

- [4] Watanabe Kyoji, "Unstable Phenomenon in the Self-Propulsion Tests of Full Ship Form Models", 日本造船學會論文集 第126號, 69.11.
- [5] Tagori Tetsuo and Okamoto Hisashi, "Experiments on the Mechanism of Unstable Phenomena during Self-Propulsion Test of Full Ship Model", 關西造船協會誌 第176號, 80.3.
- [6] Ferguson A. M., "An Investigation into the Effects of Temperature Difference on Water Movement", TRINA, 1966.
- [7] G. Hughes, Visitor and J. F. Allan, "Turbulence Stimulation on Ship Models", SNAME, 1951.
- [8] Tetsuo Tagori, "On the Effect of the Turbulence Stimulation Device (with Special Reference to the Plate Stud)", 日本造船協會論文集 第109號, 1961.
- [9] Tetsuo Tagori, "On the Effect of the Turbulence Stimulators Fitted on Ship Models, and Resistance of These Stimulators (experiments on 2.5m Models)", 日本造船協會論文集 第111號, 1962.
- [10] Takatsugu Yokota, Hiroshi Sekine and Ryo Tasaki, "Effect of Air Bubbles Clinging to Models in a Towing Tank Measures for Prevention", 關西造船協會誌 第193號, 1984. 6.
- [11] Yoshinare, K. and Komatsu, Y., "Comparison in Measurement of Air Content between Dissolved Oxygen Meter and Van Slyke Method", 日本 SRC Technical Note 第11號, 1983.
- [12] 박용제, "KRISO 수조에서의 저항시험에 관한 소고(I)", KTTC 저항분과·추진분과 공동 Workshop, 1991.
- [13] 박용제 등, "선형시험 계측정도 향상을 위한 연구", 한국기계연구원 부설 해사기술연구소보고서 UCE 522-1679·D, 1992.
- [14] 박용제 등, "모형선의 표면조도 및 수조수의 물리적 특성 연구", 한국기계연구원 선박·해양공학연구센터보고서 UCE 544-1770·D, 1994. 2.
- [15] 박용제 등, "저항추진시험 정도향상 기법연구", 한국기계연구원 선박·해양공학연구센터보고서 UCE 556-1881·D, 1994. 12.