
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 33 卷 第 1 號 1996年 2月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 33, No. 1, February 1996

구상 선수 주위의 유동과 기포 공급 효과에 관한 실험적 연구

임근태*, 김효철**

On the Variation of Resistance Components due to Air Bubble Blowing on Bulb Surface of a Ship

by

Geun-Tae Yim* and Hyo-chul Kim**

요 약

평저형 선형의 구상 선수에서 기포를 공급하면 기포가 선저 표면에 공급되고, 기포 공급의 효과로 물과 선저 표면이 직접 접촉하는 면적이 줄어들게 되어 선박의 마찰 저항을 감소시킬 수 있을 것이다. 이를 실험적으로 확인하기 위하여 구상 선수 선형에 대하여, 우선 선수 주변에서의 한계 유선을 관측하고, 국부적 압력 분포 및 마찰 응력을 계측하였다. 다음으로, 기포 공급 조건을 바꾸며 실험한 결과, 국부 표면 마찰 저항의 감소를 확인할 수 있었다. 또한, 기포 공급시 일어나는 운동량 변화가 저항 성분이 되는 것으로 확인되었다. 이러한 실험 결과는 실용 선형에서 기포법으로 저항 감소를 얻어내기 위한 기초적 연구가 될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

It seems that blowing air bubble out of the bulb surface of a ship of flat bottom will reduce the frictional resistance, since wetted area of the hull surface is reduced owing to air bubble staying close to the surface. To ascertain this concept, at first, the limiting streamlines around the bow was observed, and local distribution of pressure and shear stress

발 표 : 1995년도 대한조선학회 춘계연구발표회('95. 4. 21.)

접수일자 : 1995년 6월 1일, 재접수일자 : 1996년 1월 29일

* 정회원, 서울대학교 대학원 조선해양공학과

** 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

was measured. In the next, the variation of frictional drag, local pressure and shear stress, due to the change of air-blowing position, air supply pressure, and the model speed, was investigated. It was found that the local friction was reduced near the bulb and air-bubble injection is more effective at the high-speed regime. It is likely that momentum change obtained during air bubble formations also play an important role as a drag component. This paper can be considered as a preliminary study on the drag reduction of conventional ships by the micro-bubble injection.

1. 서론

마찰 저항을 감소시키려는 연구는 오래 전부터 선박 유체역학 학자들의 관심을 끌어 왔으며, 지금까지 polymer이용, 탄성 표면, 미소 기포법등이 제안된 바 있다.[1] 근년에 이르러서는 기포법에 의한 마찰 저항 감소에 대한 연구가 미국, 일본 등지에서 활발히 진행되고 있다.

Madavan[2], Tokunaga[6]등은 1980년대 초에 미소 기포법을 평판에 적용하여 특정 실험 조건에서 마찰 저항이 80%까지 감소한 실험 결과를 발표한 바 있다. 일본의 Doi[3]등은 원형 단면 주상체의 표면에 미소 기포를 공급시켜 마찰 저항을 감소시키려 하였으나 주목할 만한 결과를 얻지는 못하였다. 최근 일본, 중국 등지에서 평저형 실선에서의 실험적 성과가 보고되기도 하였으나 실용화에 앞서 많은 기초적 연구가 요구되고 있다.

선수 벌브를 가지는 일반 상선 선형에 기포법을 적용하여 저항의 감소를 꾀할 수 있는 가능성을 살펴보기 위하여 구상 선수 주위의 유동을 실험적으로 조사하였다. 구상 선수 주위의 압력 분포를 조사하였으며, 이로부터 항주 중 압력 저하가 두드러지게 나타나서 기포 분출에 소요되는 동력을 최소화할 수 있는 위치가 존재하는 지 알아보려고 하였다. 그리고 구상 선수의 표면에 공급된 기포의 유동 경로를 확인하기 위하여 유막법으로 한계 유선을 관측하였다. 예측된 한계 유선을 따라 길이 방향으로 일정한 간격을 두고 정압 계측공과 Preston관을 배치하여 압력을 계측하고 이로부터 구상 선수부의 압력 저항 성분과 마찰 저항 성분

이 기포 공급 여부에 따라서 어떻게 변화하는지를 국부적으로 알아보려고 하였다.

유선 관측 결과에 따르면 구상 선수의 표면을 지나는 한계 유선은 모두 선저 방향으로 이어지는 것을 확인하였다. 이와 같은 사실은 구상 선수 주위에 미소 기포가 공급되었을 때 기포의 이동 경로는 선저 방향으로 이어질 수 있는 것으로 판단되었다. 조사된 압력 분포에서도 압력 저하가 두드러지게 나타나는 곳이 존재하여 기포 공급에 소요되는 동력을 최소한으로 억제할 수 있는 적합한 위치를 선정할 수 있을 것으로 판단되었다.

선수 벌브에 미소한 구멍을 두고 기포를 공급하여 기포를 발생시켰을 때 저항의 변화를 계측하였으며 동시에 파형 해석을 실시하여 저항 변화의 원인을 알아보려고 하였다. 또한 발생된 기포를 관측하여 기포가 예측된 경로를 따라 이동하는지를 관측하였다. 공급된 기포가 선체 표면의 국부 전단 응력과 압력 저항에 미치는 영향을 계측함으로써 기포법으로 저항을 감축시킬 수 있는 가능성을 알아보려고 하였다.

2. 모형 시험

2.1 선형 선택

구상 선수가 붙여진 일반 상선 선형에서 기포 공급으로 저항의 감소 효과를 기대할 수 있는지를 확인하기 위하여 비교적 큰 구상 선수를 가지면서 선저 경사가 없는 선형인 4,300톤급 다목적 화물선을 실험 대상 선형으로 선택하였다. 서울

대학교에서 보유하고 있는 목재 모형선의 선수부를 9스테이션에서 절단하고 그 보다 앞쪽의 부분을 FRP로 제작하여 교체하였다. 선수부의 모형선 재질을 FRP로 바꾸어 좁으로서 압력 계측과 기포 발생 장치의 설치에 필요한 공간을 확보할 수 있었다. 또한 계측 구멍의 설치와 폐쇄가 용이하고 침수로 인한 모형선의 변형을 막을 수 있게 되었다. 실험에 사용한 모형선의 특성은 Table 1과 Fig. 1에 표기하였다.

Table 1 Principal characteristics

Item	Model	Ship
Scale Ratio	1/35	1
LBP(m)	2.6286	92.00
B(m)	0.4286	15.00
D(m)	0.2057	7.20
Volume(m ³)	0.14308	6,134.69
W.S.A(m ²)	1.6499	2,030.2
LCB(m) from midship	0.03254	1.139
LCF(m)	-0.03494	-1.223

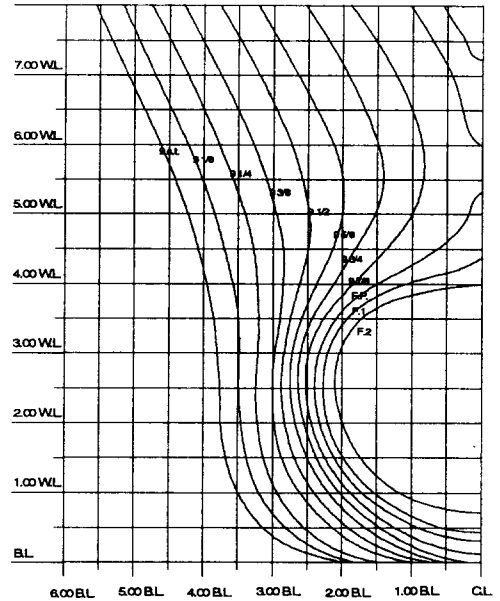


Fig. 1 Body plan of bulb part

2.2 구상 선수 주위의 유동장 조사

모형선을 설계 속도인 $Fn=0.223$ 에서 예인하며 유막법으로 한계 유선을 발생시키면 Photo. 1과 같은 결과가 얻어진다. 한계 유선을 관찰하면 사진에서와 같이 구상 선수 주위의 모든 유선들이 하향 곡선을 그리며 빌지를 지나 선저부로 향하고 있음이 확인되었다. 따라서 유동이 빌지부 등에서 박리 현상이 나타나지 않는 한 발생하는 기포의 상당량은 선저로 유입될 수 있을 것으로 기대되었다.

구상 선수 앞쪽 부분으로부터 발생한 유선을 관찰하여 구상 선수 주위의 유동 특징을 잘 나타내는 것으로 생각되는 11개의 유선을 대표 유선으로 선정하였다. 실험 계측하고자 하는 구상 선수부를 1/8스테이션 간격으로 나누어 새로운 종선을 설정

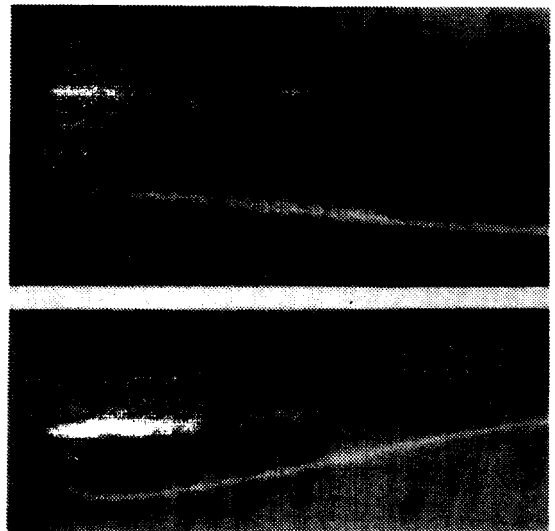


Photo. 1 Limiting streamlines at bow

하면 Fig. 2에 표시되는 것과 같이 대표 유선과 종선이 만나는 88개의 점을 얻을 수 있다. 이들 88개의 교차점에 구멍을 두어 압력 변화를 마노미터 장치로 전차 상에서 계측하도록 하였으며, 선정된 대표 한계 유선의 방향으로 Preston관을 설

치하고 예인 시험을 실시하여 Preston관내 압력 변화를 계측하였다.

선체 표면의 압력 계측공에서 계측된 압력으로 부터는 국부적인 압력 저항 성분을 확인할 수 있다[10]. 선체 표면에서 계측된 압력과 Preston관에서 계측된 압력을 함께 이용하면 동압을 얻을 수 있게 되고 선체 표면에 수직한 방향으로의 속도 변화는 Patel의 근사식으로 나타낼 수 있다고 가정하여 계산하면 표면에서의 마찰 저항을 나타내는 전단 응력을 구할 수 있게 된다[7]. 구상 선수 주위의 88개의 계측 점이 표시된 입체도형에 계측된 압력 저항 성분과 마찰 저항 성분을 나타내면 Fig. 2와 같다.

2.3 기포 발생 장치

구상 선수 주위의 압력을 조사하면 선수(F.P.)로부터 스테이션 간격의 1/8만큼 앞쪽에 놓여진 첫 번째 종선 위치인 F1스테이션에서 항주 중에 압력이 두드러지게 떨어지는 것으로 나타나며 이곳을 지나는 유선들이 선저로 향하고 있는 점에 착안하여 F1스테이션을 기포 분출 단면으로 결정하였다. 기포를 공급하여 마찰 저항의 감소 효과를 얻은 실험 결과들에서는 다공질의 소결 합금을 통하여 압축 공기를 불어넣어 미소 기포가 발생 되도록 하고 있으나 이와 같은 방법을 사용하는 경우에는 과도한 기포 공급 압력이 요구될 것으로 판단된다. 이 때문에 가공의 편의성을 생각하여 손쉽게 천공할 수 있는 최소의 치수의 드릴인 직경 0.3mm의 드릴로 기포 분출 단면에 1.5mm 간격으로 선체 표면에 수직하게 천공하였다. 모형선에서 압력을 계측한 결과에서는 93.5mm-WL보다 아래쪽 선저 부분은 압력 저하가 두드러지게 나타나고 있다. 이 점에 착안하여 93.5mm-WL보다 아래쪽 선저 부분은 기포 분출 구멍을 두 줄로 배치하여 기포 공급 효율을 높이고자 하였다.

기포 공급용 구멍이 완성된 후 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 선수 수선(F.P.) 위치에 FRP로 격벽을 설치하여 공기실이 형성되도록 하였다. 압축된 공기를 병렬로 연결된 3개의 압축 탱크에 저장하여

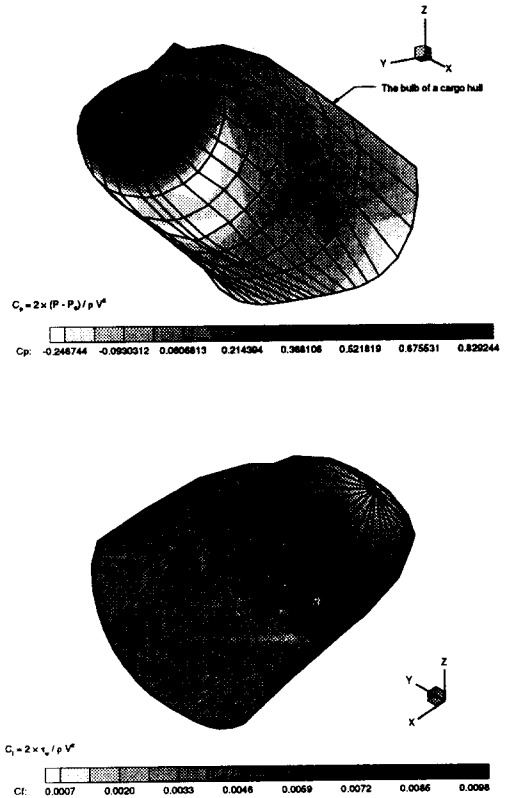


Fig. 2 Distribution of pressure coefficients and local skin friction coefficients at $F_n=0.223$ (perspective view)

기포를 공급하는 동안에도 압력 저하가 크게 나타나지 않도록 배려하였으며 압축 공기 탱크와 구상 선수부에 형성된 공기실 사이에 최대 용량이 2.00 kgf/cm²인 정밀 공기압 조절기를 두어 공기실에 일정한 압력(Pin)으로 공기가 공급되도록 하였다.

기포가 공급되는 영역이 어느 위치에 놓이는 것이 저항 면에서 유리한 지를 알아보기 위하여 기포 공급 구멍을 Table 2에서와 같이 3개의 구간으로 나누어 실험을 실시하였다.

2.4 정수 중 전 저항과 파형 저항

기포를 공급하였을 때 나타나는 전 저항의 변화

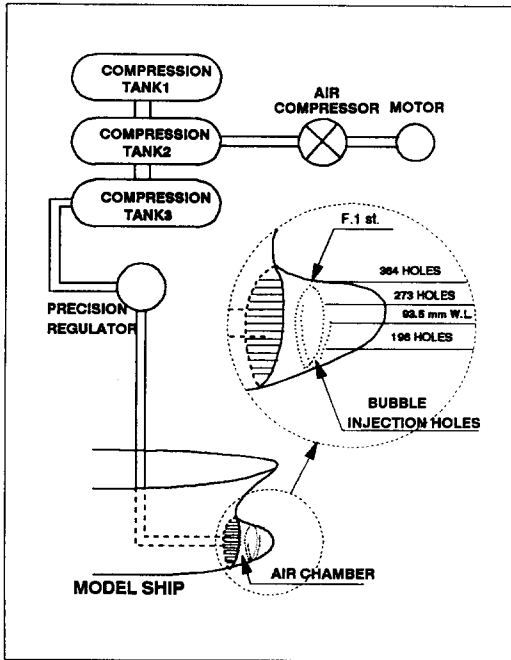


Fig. 3 Arrangement of bubble injection system

Table 2 Arrangements of bubble injection holes

Streamline No.	Height from Bottom	Numbers of Injection Holes
S5	54.6 mm	196
S7	112.5 mm	273
S11	116.0 mm	364

와 항주 자세의 변화를 알아보기 위하여 정수 중에서 저항 시험을 실시하였다. 설계 속도인 $Fn=0.223$ 을 관심 대상 속도로 선정하였으며 속도에 따른 저항 변화를 확인하기 위하여 $Fn=0.258$ 을 비교 시험 속도로 결정하였다. 기포 공급 압력은 0.05 kgf/cm^2 으로부터 0.40 kgf/cm^2 에 걸쳐 5가지로 바꾸어 가며 실험을 실시하였다. 또 기포 공급 위치에 따르는 영향도 실험으로 확인하고자 하였다.

기포를 공급하며 예인하였을 때 나타나는 저항 변화의 원인을 알아보기 위하여 y/LBP 가 0.240, 0.427, 0.613인 세 곳에 용량형 파고계를 설치하고 모형선의 예인 시험 중에 발생된 파형을 기록하여 종 절단면법(Longitudinal Cut Method)으로 파형 저항을 알아보려고 하였다. 파형 계측은 모형선의 중심 위치가 파고계에 1.777m 못 미친 곳에 도달되었을 때 시작하고 수조 벽에 의한 반사파가 나타나기 직전까지의 구간에서 실시하였으며 계측되지 않는 파형에 의한 저항 성분은 파형 저항 계산에서 누락 파형 보정(Truncation Correction)으로 고려하도록 하였다.[8]

2.5 기포 유동의 관측

기포 공급으로 형성된 기포가 선체 표면에 어떻게 분포하며 예상되던 경로로 이동하는지를 확인하기 위하여 예인 시험 중에 선체 표면 근처를 관측하는 것이 필요하게 된다. 이를 위하여 물 속에 설치된 반사경을 사용하여 실험 중에 전차 상에서 구상 선수 주위의 유동을 관측할 수 있도록 하였다. 모형 시험 수조의 관측창 위치에 500watt 수중 조명등 5개와 전차에 500watt 조명등 3개를 설치하고 모형선이 수조의 관측창 위치를 지나는 순간에 사진을 촬영하여 기포의 유동을 조사하였다.

2.6 기포 발생시 국부 전단 응력의 계측

선체 표면에 공급된 기포가 선체 표면을 따라 이동하면 그 위치의 국부 전단 응력이 변화하게 되어 마찰 저항 성분의 변화를 일으킬 것이다. 이를 확인하기 위하여 기포를 발생시키면서 정압과 동압을 계측하여 국부 전단 응력의 변화를 구하였다. 선수 수선(F.P.)보다 앞쪽에는 기포를 발생시키기 위한 공기실을 두었으므로 압력 계측 공을 설치할 수 없었다. 따라서 선수 수선으로부터 $9\frac{1}{2}$ 스테이션까지의 구간에서 계측공의 설치가 가능한 3개의 스테이션에 대하여 정압관과

Preston관을 이용한 압력 계측 실험을 실시하였다. $Fn=0.223$ 에서 공기 공급 압력이 0.10 kgf/cm^2 와 0.40 kgf/cm^2 일 때에 대하여 국부 전단 응력을 계측하여 기포 분출 장치를 설치하지 않았을 때와 비교하였다.

3. 실험 결과 및 해석

3.1 공기 공급 압력에 따른 저항 변화

3.1.1 전 저항의 변화

수평으로 놓여진 평판의 밑면에 기포를 공급하면 기포 층이 평판 바닥에 형성되고 물과 평판의 직접 접촉을 줄여 주게 되어 마찰 저항을 감소시켜 주는 것으로 알려져 있다. 구상 선수에 설치된 구멍으로부터 공급된 기포가 유선 관측으로부터 예측되던 바와 같이 선저로 유입되게 되면 저항의 감소 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다.

기포 공급 위치를 일정하게 하고, 공급 압력을 0.05 kgf/cm^2 에서 0.40 kgf/cm^2 까지 변화시키며 계측한 전 저항의 변화량을 Fig.4-6에 나타내었다. 이 결과에서는 기포를 공급하면 전 저항이 증가하는 것으로 나타나 있으나 기포 공급 압력이 일정 압력 이상이 되면 전 저항의 증가량이 다시금 줄어드는 경향을 보이고 있다. 실험적 확인이 필요하지만 계측 범위에서 얻어진 경향이 지속된다고 가정하면 기포 공급 압력을 높임으로서 저항이 줄어들게 될 것으로 생각된다.

3.1.2 파형 저항의 변화

일반적으로 선박의 저항은 자유 수면으로부터 방출되는 에너지에 의한 성분과 선박을 둘러싸는 연직 검사 면을 통하여 유출되는 에너지의 합으로 나타낼 수 있다. 자유 수면을 통하여 유출되는 에너지로 인한 저항은 파형 저항으로 불리며 종절단면법(Longitudinal Cut Method)으로 계측이 가능하다. 연직 검사 면을 통하여 유출되는 에너지로 인한 저항 성분은 반류 저항으로 불리며 선체 후방에서의 속도 변화를 계측함으로써 구할 수 있다.

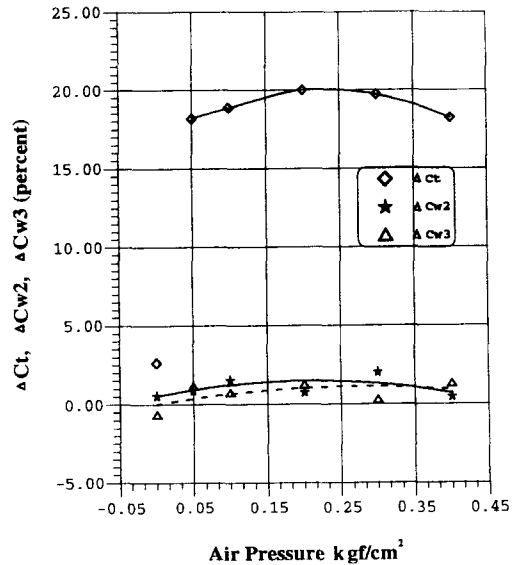


Fig. 4 Variation of Resistance coefficients with the air pressure (at $v=1.130\text{m/s}$, number of injection holes=364)

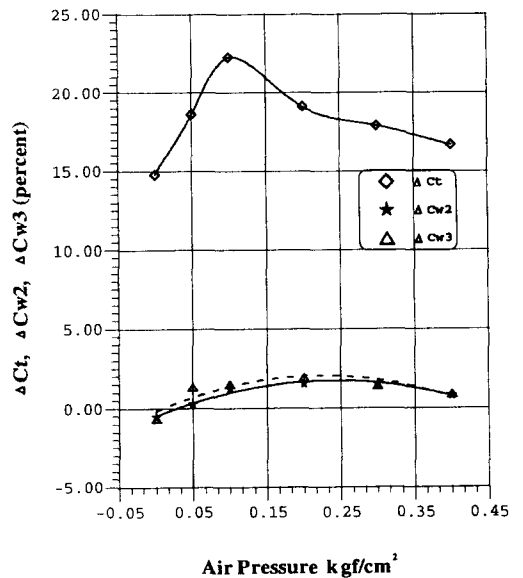


Fig. 5 Variation of Resistance coefficients with the air pressure (at $v=1.130\text{m/s}$, number of injection holes=273)

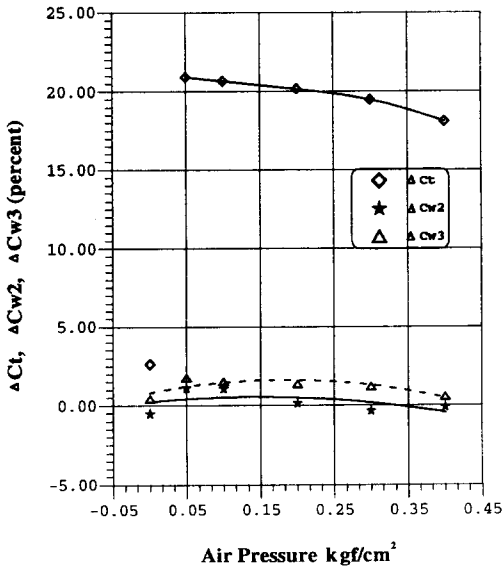


Fig. 6 Variation of Resistance coefficients with the air pressure (at $v=1.130\text{m/s}$, number of injection holes=196)

기포 공급 압력을 바꾸어 가며 전 저항을 측정하였으며 동시에 파고계로 측정 기록된 파형으로부터 파형 저항을 구하였다. 기포 공급 압력의 변화에 따라서 얻어진 파형 저항의 변화량을 전 저항의 변화량과 함께 Fig. 4-6에 나타내었다. 이에 의하면 기포 공급에 의하여 나타나는 파형 저항의 변화량은 전 저항의 변화량에 비하여 매우 작은 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 사실은 기포를 공급하였을 때 저항의 증가가 파형 저항의 변화보다 크게 나타났으므로 그 증가 원인은 주로 3차원 해석법으로 설명하면 형상 저항의 증가에 있는 것으로 판단된다. 그러나 이 해석에서는 전체 계측계에 공기 공급에 따르는 추가의 에너지 공급이 있었음이 고려되어 있지 못하다. 따라서 이를 고려하는 것이 필요하게 된다.

성격의 차이는 있으나 추진 동력 이외에 공기 공급을 하며 운항하는 ACV선에서는 공기 공급으로 운동량 변화가 이루어지고 공기가 선체 주위로 고르게 분출됨으로서 운동량의 변화가 저항으로 나타난다고 해석하고 있다. 또 유사한 경우로서

SES인 경우에는 공기 분출이 선미 방향으로만 분출되는 것으로 보아 공기 공급으로 인한 운동량 변화는 저항 성분에 넣지 않는 것으로 보는 대신에 운항중 침수 표면적을 실측하여 마찰저항으로 생각하고 있다.[11] 이때 발생하는 저항 증가는 잉여 저항에 포함되는 것으로 해석하고 있다.

이상의 두 가지 경우와 본 실험을 비교하면 공기 공급에 따르는 운동량 변화는 저항 성분이 되어 저항 증가를 일으키는 것으로 판단된다. 이는 앞으로 기포 공급에 따르는 반류 분포의 변화를 계속하고 저항 성분을 조사 분석함으로 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

3.2 기포 분출 위치와 예인 속도에 따른 저항의 변화

F1스테이션에 벌브의 표면을 따라 설치한 구멍으로부터 기포를 분출시키며 저항 시험을 실시하였다. 기포 분출 영역이 놓이는 위치에 따라서 저항에 어떤 영향이 미치는 지를 확인하기 위하여 기포 분출 구멍을 몇 개의 구획으로 나누고 기포 공급의 영역을 변화시키며 실험하였다. 공급 위치에 따른 영향은 파형 저항에서는 나타나지 않았으며 기포의 유동 경로를 관측한 결과에서는 비교적 위쪽에 놓여진 구멍도 선저로 유입되는 기포를 발생시키는 데에 유효함이 확인되었다.

$Fn=0.223$ 과 $Fn=0.258$ 의 두 속도에 대하여 기포 공급 압력을 0.3 kgf/cm^2 로 일정하게 하고 기포 공급 구멍의 수를 변화시키며 측정한 전 저항 값을 조사한 결과는 Fig. 7과 같다. 이에 의하면 선박의 전진 속도가 $Fn=0.223$ 일 때는 구멍 수의 변화가 저항 변화에 큰 영향을 주지 못하지만 $Fn=0.258$ 에서는 기포 공급 구멍의 수가 증가하면 저항 증가량은 현저하게 줄어드는 것으로 나타나고 있다. 낮은 속도에서 저항 증가량의 감소가 이루어지지 않은 것은 선체 주위의 선속에 따른 압력 변화가 선저로 유입되는 기포량에 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다. $Fn=0.258$ 에서 나타나는 성향은 기포 공급 압력이 변화하더라도 바뀌지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 사실로 보아 실

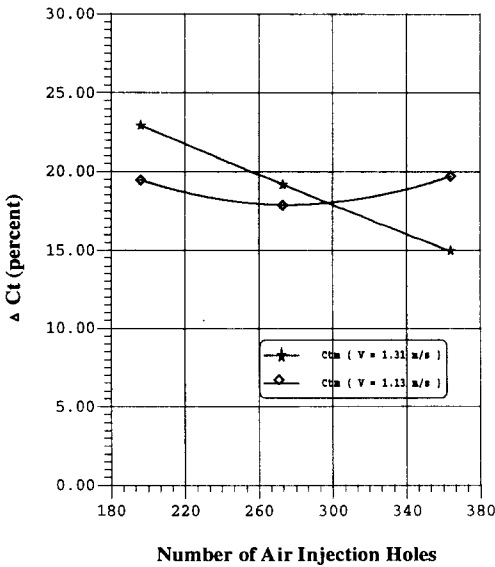


Fig. 7 Variation of resistance coefficients with the number of air injection holes (at air pressure=0.30kgf/cm²)

힘 속도가 증가하고 기포 공급 구멍이 많을 때 저항 감소에 효과가 있을 것으로 판단된다. 다만 앞으로 좀 더 확실한 원인을 알아보기 위하여서는 기포의 크기 변화에 대한 영향까지를 함께 조사할 필요가 있을 것으로 생각된다.

3.3 기포 유동의 관측 결과

구상 선수에 설치된 기포 공급 구멍으로부터 기포를 분출하며 항주할 때 공급된 기포가 선체 주변에 어떻게 분포되는지를 사진으로 촬영하여 조사하고자 하였다.

기포 공급 위치와 모형선의 속도를 동일하게 하고 공급 압력을 두 배로 증가시켰을 때 기포 유동 상태를 촬영하여 Photo. 2에 보이었다. 기포 공급 압력이 낮을 경우 더 넓은 영역에 기포가 분포하는 것으로 관측되었다. 이는 공급 압력이 높으면 기포의 크기가 증가하게 되어 부양력의 증가로 기포가 급히 떠오르게 되는데 있는 것으로 판단된다.

기포 공급을 기선으로부터 54.6mm-W.L. 사이

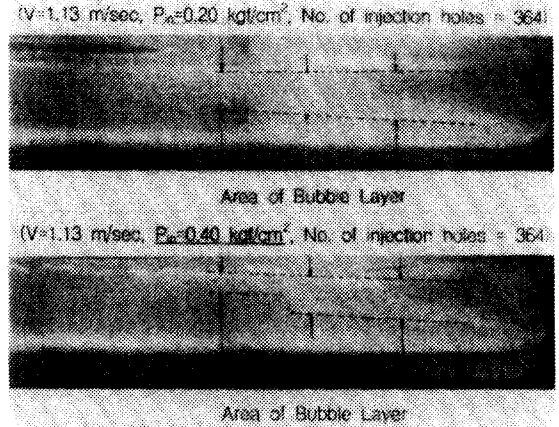


Photo. 2 Comparison of bubble form at different injection pressures

의 아래쪽 구간에 설치된 구멍만으로 하는 경우와 모든 구멍을 다 열어 놓고 기포를 공급한 경우를 Photo. 3에서 비교하였다. 아래쪽의 구멍만으로 기포를 공급한 경우 Photo. 3의 아래쪽 사진에 나타난 것처럼 공급된 기포가 급히 성장하여 수면으로 떠오르기 때문에 저항 감소에 기여하지 못한 것으로 나타나고 있다. 그러나 기포 공급 구멍을 구상 선수 들레에 분포시킨 경우에는 떠오르지 않고 선저로 유입된 기포량이 증가하여 선체 표면과 기포가 접하는 면적이 증가된 것으로 관측되고 있어서 후자의 경우에 저항이 적어진 것을 설명하고 있다. 모형선의 예인 속도를 변화시키며 기포 분포를 조사한 결과를 Photo. 4에 보이었다. 여기서는 높은 속도일수록 선저로 이동하는 기포량이 증가하는 것으로 확인되고 있다. 동시에 저항 값도 줄어드는 것으로 나타나고 있어서 선저로 유입되는 기포량의 증가와 연계하여 판단할 때 선속이 증가할수록 저항 감소에 효과적임을 나타내고 있다.

이상의 관측 결과를 종합하면 기포 공급 효과가 실험 조건의 범위 내에서는 저항 감소에 기여하지 못하고 오히려 저항을 증가시킨 것으로 나타나고 있다. 상당량의 기포가 공급되었음에도 불구하고 저항 감소가 나타나지 않은 것은 기포 층이 선체 주위에 존재하게 되어 마찰 저항의 감소시키는 효과보다는 선체 형상 저항을 증가시키는 영향이 컸던데 있다고 판단되었다.

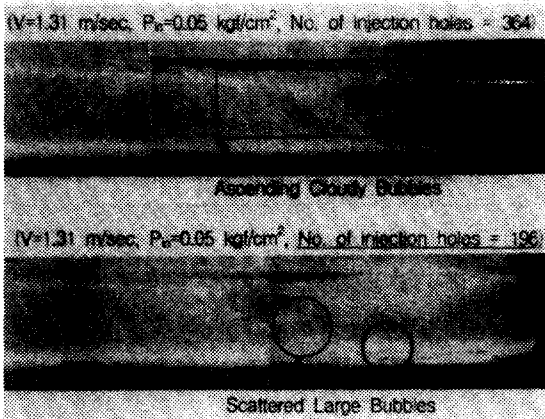


Photo. 3 Dependency of air injection region on bubble form

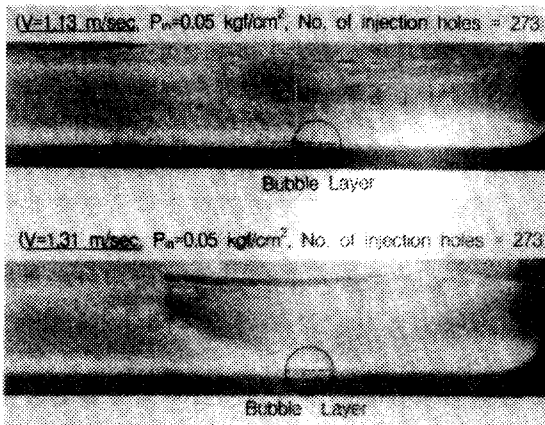


Photo. 4 Comparison of bubble form at different velocities

3.4 표면 요소에 작용하는 저항 성분의 변화

기포를 선체 표면에 공급하였을 때 선체 표면 요소에 작용하는 저항 성분에 어떠한 영향을 주는 지 확인하기 위하여 실험 계측이 가능한 33개의 위치에 대하여 $Fn=0.223$ 으로 항주하며 구상 선수로부터 기포를 공급하였을 때 표면 압력과 Preston관내의 압력을 계측하였다. 특정한 종선 위치에서 계측한 결과를 사용하여 그 위치의 선체 횡단면 요소의 압력 저항 성분과 마찰 저항 성분의 평균값을 구하여 이들이 기포 공급에 의하여

어떻게 달라지는지를 Fig.8과 Fig.9에 나타내었으며 각 계측 위치에서의 계측치의 변화를 Fig. 10과 Fig. 11에 보이었다.

구상 선수 주위에서 유동 정보를 계측할 수 있는 범위가 제한되어 있어서 국부적인 변동 현상으로부터 저항의 변화에 대한 확실한 정보를 얻기에는 부적합하다고 판단되지만 Fig.11의 계측 결과를 스테이션 별로 적분하고 평균값을 구하여 비교한 Fig. 9에서는 국부적인 마찰 저항 성분은 기포 공급에 따라서 감소하고 있음이 확인되었다. 이에 반하여, 선박이 항주하게 되면 계측되는 압력은 유속의 증가로 인하여 정지 상태의 압력보다 떨어지는 구간이 나타나게 되는데, 기포의 공급이 이루어지는 상태에서 이 구간의 압력을 계측하면 오히려 표면 요소에 국부적인 압력의 증가를 일으키는 것으로 계측되고 있다. 그로 인하여 선수부의 국부적 압력 저항의 증가가 나타나게 되는 것으로 판단된다.

표면 압력이 증가하면 조파 현상의 증가가 나타날 것으로 예상되나 파형 저항의 증가량은 그다지 크지 않으며 국부적 계측 결과에서 확인되는 바와 같이 계측 범위 내에 한정하여 생각할 때 40%에 가까운 마찰 저항의 감소가 나타나고 있다. 그럼에도 불구하고 전 저항이 증가하고 있는 것은 기포 공급으로 계측계에 주어지는 운동량의 변화가 새로운 저항 성분으로 나타나 저항을 증가시키는데 있는 것으로 판단된다. 또 기포 공급은 국부적으로 선체 주위의 유선을 변경시켜 형상 저항에도 영향을 줄 것으로 판단된다. 따라서 전 저항의 감소를 피하기 위하여서는 적합한 선형의 발견과 운동량 변화에 따른 손실을 최소화하는 기포 공급 조건의 선정에 관련된 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

일반 상선 선형의 구상 선수 주위에 기포를 공급함으로써 저항 성능에 어떠한 영향을 주는 지를 확인하기 위하여 구상 선수 주위의 유동을 실험적으로 조사하였다. 구상 선수 주위에는 항주시 압

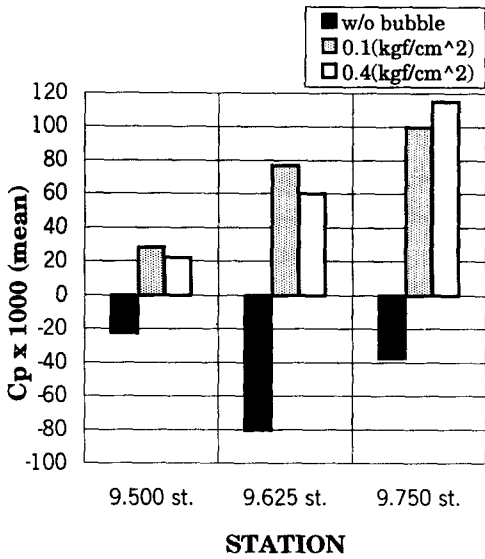


Fig. 8 Variation of mean pressure coefficients at $Fn=0.223$

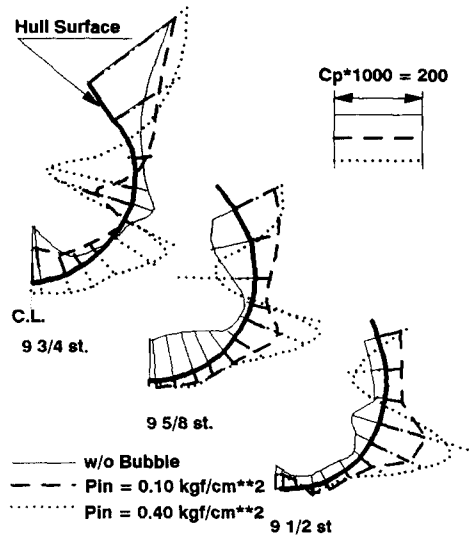


Fig. 10 Variation of local pressure coefficients at each station ($Fn=0.223$)

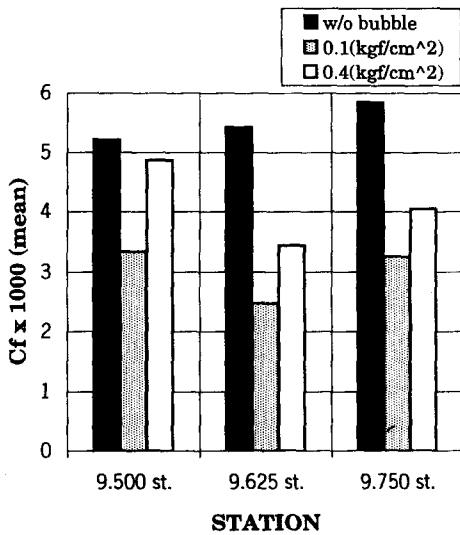


Fig. 9 Variation of mean skin friction coefficients at $Fn=0.223$

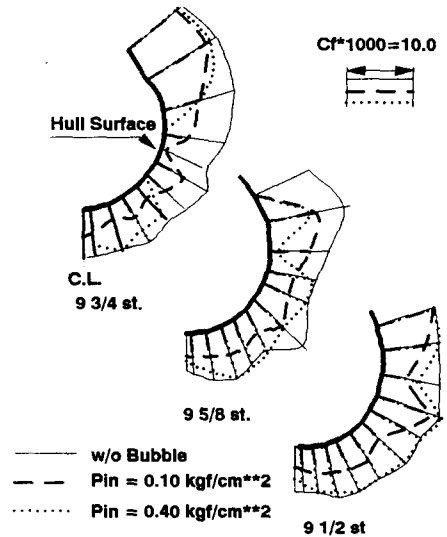


Fig. 11 Variation of local skin friction coefficients at each station ($Fn=0.223$)

력의 감소가 두드러지게 나타나는 점이 있어서 기포 공급에 비교적 유리한 위치가 존재하는 것이 확인되었다. 또한 한계 유선을 관측한 결과로부터 공급된 기포가 선저로 유입되어 저항 감소에 기여할 수 있을 것이 확인되었다.

기포를 분출시키며 실시한 실험 계측 결과에서는 공급된 기포의 상당량이 선저로 유입되는 것으로 확인되었으며 마찰 저항의 관점에서는 저항 감소에 유효한 것이 확인되었다. 그러나 공급된 기포는 조파 저항을 다소 증가시킬 뿐 아니라 기포 공급으로 소요되는 운동량 변화가 새로운 저항 성분이 되어 오히려 전 저항의 증가를 가져오게 되는 것이 확인되었다. 그러므로, 운동량 변화에 따르는 동력 손실을 최소한으로 억제하고 공급된 기포가 선저로 유입되어 저항 감소에 기여할 수 있도록 선형과 기포의 크기를 동시에 조절하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

실선에 적용하여 저항 감소 효과를 얻기 위하여서는 적합한 선형의 개발 연구를 기포 공급 위치의 발견과 기포량, 속도, 기포의 크기 등에 이르는 기포 공급 조건을 선정하는 연구와 연계하여 수행할 필요가 있다고 판단되었다. 또 기초적 연구로서 기포의 생성과 성장을 해석하여 상사 관계를 밝히는 것이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Bandyopadhyay, P.R., "Review-Mean Flow in Turbulent Boundary Layers Disturbed to Alter Skin Friction", J. of Fluid Engi., Vol. 108, pp.127-140, 1986
- [2] N.K. Madavan, S. Deutsch, and C.L. Merkle, "Reduction of Turbulent Skin Friction by Microbubbles", Physics of Fluids, Vol. 27, No. 2, pp.356-363, 1984
- [3] Yasuaki Doi, Kazu-hiro Mori, Takio Hotta, "Frictional Drag Reduction by Microbubbles", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 170, pp. 55-63, 1991
- [4] E.Y. Hsu, "The Measurement of Local Turbulent Skin Friction by Means of Surface Pitot Tubes", DTMB-Report 975, 1965
- [5] N.K. Madavan, S. Deutsch, and C.L. Merkle, "Measurement of local skin friction in a microbubble-modified turbulent boundary layer" J. Fluid Mechanics, Vol.156, pp.237-256, 1985
- [6] Keizo Tokunaga, "Reduction of Frictional Resistance of a Flat Plate by Microbubbles", Journal of the West-Japan Society of Naval Architects, Vol.73, pp. 79-82, 1986
- [7] 유재훈, "肥大船形の表面 摩擦抵抗 成分에 관한 實驗的 研究", 공학 석사 학위논문, 서울 대학교, 1990
- [8] 김우진, "拋物線船形の 造波抵抗", 공학 석사 학위논문, 서울 대학교, 1985
- [9] 이상홍, "船首에 附加된 핀이 造波抵抗에 미치는 影響", 공학 석사 학위논문, 서울 대학교, 1994
- [10] 부유덕, "비대 선형의 표면 압력 저항 성분에 관한 연구", 공학 석사 학위논문, 서울 대학교, 1990
- [11] 양승일, "特殊船의 水槽試驗", 水槽試驗委員會 第一 部會Symposium, p.263, 1983.2