

수치해석을 이용한 부양실 설계변수에 관한 연구

전 창 수*¹

A Parametric Study on Design Variables of Lifting Chamber Using Numerical Simulation

Chang Soo Jeon*¹

Numerical simulations on the flowfield of lifting chamber for Wing-In-Ground vehicle were performed using Fluent/UNS 4.2 software. The trend of lifting force in lifting chamber and parametric study of geometric and fluid variables were primarily investigated. Selected parameters for investigation are inlet velocity, height between chamber and water level, depth of the skirt, location of inlet, variation of height at bow and stern. Also, air capturing capabilities from downstream of the propeller were evaluated at the air inlet. The lifting force was increased linearly with the increase of inlet velocity and nonlinearly with the decrease of height between the chamber and water level. As for the variation in depth of the skirt, the lifting force was increased with increased depth. It turned out to have very minor effect on lifting force to change the location of air inlet for lifting chamber, installed on top surface. Tilting the vehicle when it was lifted, the lifting forces, generated in each case, showed no appreciable changes.

Key Words : 부양실 설계(Lifting-Chamber Design), 부양력(Lifting forces), 3차원 정상유동(3-D Steady flow), 수치해석(Numerical analysis).

1. 서 론

과학기술의 발달로 인하여 이미 전 세계는 경제뿐만이 아니라 사회,문화적으로도 일일 생활권을 형성하고 있으며 국가간의 거리를 더욱 좁히기 위하여 안전하고 더욱 빠른 운송수단들을 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되었다. 특히 근래 항공기와는 대조적으로 대규모 이,착륙 시설이 필요없는 해상 운송수단의 개발이 활발히 진행되었으며 1)이러한 연구 결

과로 수중익선과 공기 부양선이 개발 되었다 {1}.

그러나 이 수중익선이나 공기 부양선은 선박에 비하여 고속 운항이 가능하기는 하지만 수중익선의 경우 수중익에 발생하는 공동현상에 의해서, 공기 부양선의 경우에는 고속에서 운동 안정성이 좋지 못한 이유로 속도가 100knots를 넘기가 어렵다. 이러한 속도의 한계를 극복하고 고속운항을 보장하기 위해서는 다른 새로운 개념의 운송수단 개발이 필요하게 되었고 이러한 새로운 개념의 일환으로 지면 효과를 이용한 해면효과익선의 개발에 대한 연구가 진행 되었다. 이 해면효과익선은 수중익선과 공기 부양선의 개념을 응용하여 항공기의 단점인 이,착륙에 필요한 대규모의 활

1 한국항공대학교 기계설계학과

주시설과 선박의 단점인 hump drag로 인한 저속성을 보완하고 각각의 장점을 활용한 것으로서 수면위에서 직접 이착륙 할수 있고 수륙양용으로 사용 할수 있는 수면위를 나는 고속의 비행체이다(2,3,4).

해면효과익선은 해수면 위를 2-3m 정도 떠서 운행하기 때문에 해수면의 효과를 이용하여 적은 동력으로도 충분한 양력을 얻을수 있도록 설계되었기 때문에 수중익선이나 공기 부양실에 비해서 고속인 300km/h로 고속 비행할수 있어 21세기 차세대 해상 물류 및 여객수송 수단으로 부각되고 있고 각 나라들에서 요즘 들어 많은 연구가 진행되고 있다.

세계적으로 중형 해면효과익 여객선은 아직 상용화 되지 않은 상태이며 세계적인 기술 동향을 살펴보면 1960년대 구소련에서 처음으로 개발 했으며 수면위를 낮게 비행하여(약 3미터) 레이다에 노출되지 않는 특징 때문에 군사적인 목적으로 활용되어 왔다. 중국도 2인승 시험선 개발 완료이후 XTW-1,XTW-2를 개발 하였으며 일본의 경우 현재 요소 기술개발동 기초단계에 있고 선박 연구소에서 개념설계한 승객수송용 WISES를 개발중에 있다. 그리고 조선 선진국인 독일에서는 정부의 도움을 받아 Fischer Flugmechanik에서 Hoverwing 80을 개발하기 앞서 2인승으로 축소한 모델 Hoverwing 2-VT를 개발하여 1997년 발틱해와 네덜란드에서 시험 비행 하였다. 호주에서도 Rada Corporation에서 Rada Craft G-35를 건조 하였다. 국내의 연구 동향을 살펴보면 20인승급 소형 해면효과익 여객선 개념 설계 및 축소모형 시험을 추진중에 있고 300km/h, 200인승 제품 개발을 상용화 시키기 위한 목적으로 연구가 진행중에 있다[5,6,7,8].

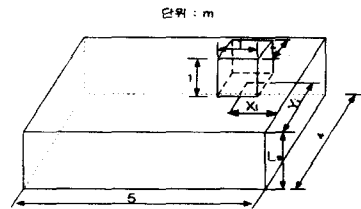
지금까지 연구개발중에 있는 중형 해면효과익 여객선은 모두 기존 개념보다 탁월한 부양력을 요구하게 되어 부양실내에서의 부양능력이 중요한 설계요소가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 해면 효과익선의 부양에 필요한 부양력을 확보하기 위해 갖추어야 할 부양실 기본설계에 자료를 확보하고자 한다. 이를 위해서는 우선 가장 기본적인 형태의 부양실 모델을 이용하여 부양실내의 유동현상과 부양력 변화를 연구하고자 한다. 본 연구에서는 수치해석으로 상용 프로그램을 사용하여 수행 하였다. 해석 수행을 간단화 하기 위하여 유동이 부양실 입구로 일정한 속도로 유입된다고 가정하였으며 해수면을 평판으로 가정하여 해석

을 수행하였다.

2. 부양실 내의 유동해석 방법

2.1 부양실내의 수치해석 모델

4인승 모델 해면효과익선의 개념설계에서 도출된 개략적인 부양실의 크기를 기준으로 하여 부양실의 형상은 단순화하여 Fig. 1과 같은 직육면체형상을 기본형상으로 정하였다. 추진/부양 시스템의 개념설계에서 제시된 개념들이 공통적으로 공기 혹은 연소가스를 부양실에 공급하여 부양력을 확보하는 개념이므로 본 부양실 내의 유동해석에서는 보다 타당성에 있어서 가능성이 높은 프로펠러 후류의 일부를 포획하여 부양에 사용하고 추진도 담당하는 개념에 근거하여 모델을 구상하였다. 프로펠러 후류를 이용한 부양/추진 개념에서는 해면효과익선 선체 뒷부분에 추진계통이 위치하게 됨으로 부양실로 유입되는 공기 흡입구는 부양실 후방에 위치시켰다. 실제로 해석한 유동장은 부양실 근처의 영역을 포함하여 해석함으로 부양실 주위의 유동을 같이 해석하였다.



- X_i : 선체후방에서 공기 흡입구 중심까지의 x 좌표거리
- Y_i : 선체후방에서 공기 흡입구 중심까지의 y 좌표거리
- L_s : 선체 부양실 skirt의 길이

Fig. 1 Lifting-chamber geometric model

유동장 해석에 사용된 수치해석의 수학적 모델과 경계조건들은 다음과 같다. 지배방정식으로는 난류유동을 해석하기 위해서 질량보존, 모멘텀보존, 에너지보존에 Reynolds 평균과정을 적용하여 얻어지는 방정식들과 closure model로써 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하였다. 그

리고 정상상태, 비압축성유동으로 가정하였다. 유동해석 프로그램은 Fluent/UNS V4.4를 사용하였고 유동해석을 하기 위한 격자형성은 GeoMesh를 사용하여 정렬격자로 구성하였다. 유동장 해석은 주어진 모델 형상이 대칭형이므로 메모리와 계산시간의 절약을 위하여 전체 유동장 영역의 반만을 해석하였고 이를 위해 주어진 경계조건은 Fig. 2.에 나타내었다.

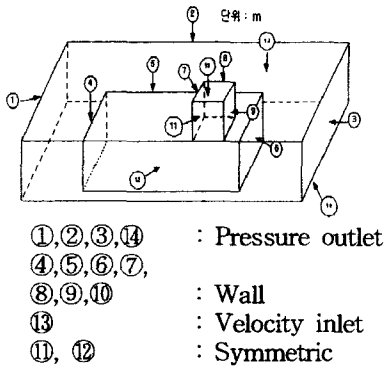


Fig. 2 Boundary conditions of half-domain for computations

부양실 내의 유동시뮬레이션을 위해 유동장에 영향을 미치는 변수들을 선정하여 이러한 변수들이 부양실에서 발생하는 부양력에 미치는 영향을 고찰하였다. Table 1은 유동장 변화 및 부양력 변화를 살펴보기 위해 계산한 경우들에 대한 형상변수와 유동조건 변수들에 대한 설정값을 보여주고 있다.

2.2 수치해석에 대한 수렴성과 정확성

먼저 선정한 계산영역에 대해 격자생성수에 따른 해의 변화를 고찰하여 수렴성 시험을 하였다. 격자수 변화의 영향을 살펴보기 위해서 선택한 부양실형상과 유동조건은 skirt높이가 1.5m이고 부양실과 수면의 높이는 0.1m, 유입되는 공기 속도는 70m/s의 경우를 선정하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 격자수가 증가하면서 해가 어느 정도 수렴값으로 가고 있음을 알 수 있었고 메모리/하드웨어의 제한으로 130,000개 이상의 격자수로 증가시키는 것은 어려웠다.

본 계산은 Pentium II-266MHz, 128M 메모리 컴퓨터에 windows NT 환경아래에서 계산

되었고, 계산 시간으로 볼 때에 80,000개의 격

Table 1. Test matrix for design parameters

Case	공기흡입구 가로x세로x 높이	부양실 skirt 길이 L_s	h_b :수면과 부양실 선두사이의 높이 h_s :수면과 부양실 선미사이의 높이	속도 m/s
Case 1	1x1x1	1	$h_b = h_s = 0.1$	50, 70
Case 2	1x1x1	1	$h_b = h_s = 0.2$	50, 70
Case 3	1x1x1	1	$h_b = h_s = 0.15$	70
Case 4	1x1x1	1.5	$h_b = h_s = 0.1$	70
Case 5	1x1x1	1	$h_b = 0.15, h_s = 0.1$	70
Case 6	1x1x1	1	$h_b = 0.1, h_s = 0.15$	70
Case 7	4x0.25x0.1	1	$h_b = h_s = 0.1$	70
Case 8	4x0.25x0.1	1	$h_b = h_s = 0.1$	70
Case 9	4x0.25x0.1	1	$h_b = h_s = 0.1$	70
Case 10	1x1x1	0.5	$h_b = h_s = 0.1$	70
Case 11	2x0.5x0.1	1	$h_b = h_s = 0.1$	70
Case 12	1x1x1	1	$h_b = h_s = 0.1$	70

자수를 사용한 경우에 3시간정도 소요되었으나 130,000개의 격자 경우에는 2배가 넘는 7시간 이상이 소요되었다. 그리고, 정확도에서 살펴보면 현재의 유동장 영역의 크기에서 약 80,000개의 격자수로 얻어지는 해의 결과는 130,000개 격자수로 얻은 해의 95%정도가 됨을 알 수 있었다. 다른 경우의 결과에 있어서도 오차범위가 유사할 것으로 판단된다.

또한 같은 격자수에서 일정간격의 격자생성

을 사용한 경우와 유동장 값의 변화가 클 것으로 예상되는 영역에 격자를 밀집시키는 격자생성을 사용한 경우에 있어서 해를 비교해 본 결과 같은 격자수에서 10%정도 수렴된 해를 얻었다. 따라서, 해의 수렴성을 효율적으로

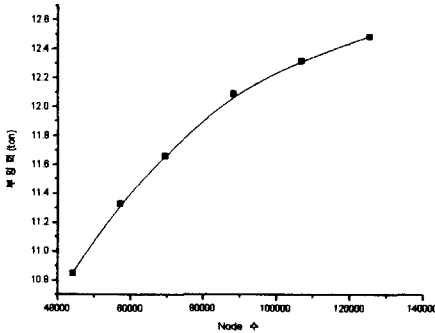


Fig. 3 Convergence test with increased numbers of mesh ($L_s=1.5m$, $h_b=h_s=0.1m$, $X_i=1m$, $Y_i=2m$, $V_{in}=70m/s$)

높이기 위해서는 유동장 값의 변화가 큰 곳에 격자를 밀집시키는 격자생성이 필요함을 확인하였다(Table 2.). 본 수치해석결과에서 계산한 부양력은 부양실 상판에 걸리는 압력분포에 의한 부양력만을 고려하였다. 부양실과 수면사이로 빠져나가는 속도벡터의 부양력방향 성분을 계산하기가 어려웠고 여기서는 부양력 값 자체의 의미보다는 부양력이 발생하는 경향과 부양력에 영향을 미치는 변수의 민감도에 보다 중점을 두고 연구하였다. 그리고 모멘텀 변화에 의한 부양력은 크지 않은 것으로 판단된다.

Table 2. Effects on solutions due to uniform meshes and clustered meshes

수렴해	평균압력(kPa)	부양(ton)
격자수		
88320(밀집 격자)	107.912	12.09
88320(일정한격 격자)	107.247	10.88

이는 적은 수의 격자수를 가지고도 유동장 변화가 심한 곳에 밀집된 격자생성을 이용하면 격자수가 증가한 일정간격의 격자생성을 이용한 해와 같은 정확도를 갖는 해를 구할 수 있음을 말해준다.

따라서 본 연구에서 수행한 모든 수치해석에서는 격자수로 80,000를 기준으로 삼았고, 모든 경우에서 유동장 값의 변화가 큰 곳에 격자수를 밀집시키는 격자생성을 사용하였다. 따라서, 계산하여야 할 유동장 크기가 경우에 따라서 조금씩 변화함에 따라 격자수의 증가가 있으나, 비교의 신뢰성을 높이기 위해 가능하면 모든 경우의 계산에서 유동장 값의 변화율이 민감할 것으로 예상되는 주위에 있는 격자 크기는 동일한 크기가 되도록 격자를 구성하였다.

3. 수치해석 결과 및 고찰

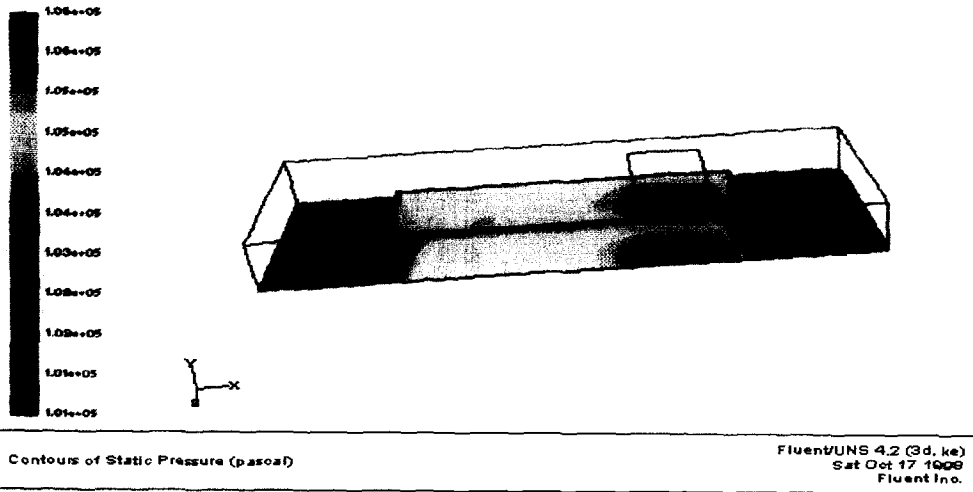
3.1 공기 흡입구 속도(유량)와 부양 높이 변화에 따른 부양력 변화

유동장 해석에서 살펴본 변수들은 공기 흡입구의 위치, 부양실로 유입되는 공기 속도의 증가에 따라 부양실내의 평균압력이 증가되고 따라서 부양력이 증가하였다. 대표적인 계산 결과의 예로 부양실 공기 흡입구 속도, $V_{in}=50m/s$, skirt 높이, $L_s=1m$, 부양높이, $h_b=h_s=0.1m$ 인 경우에 발생하는 부양실내의 압력분포도와 대칭면에서의 속도벡터에 대한 결과들 Fig. 4(a), (b)에 나타내었다. 공기 흡입구 속도와 skirt높이 변화에 따른 부양력과 부양실 내의 윗면에 작용하는 평균압력분포에 대한 결과를 Table 3.에 작성하였다. 부양실과 수면의 높이가 같으면서 부양실로 유입되는 공기속도가 증가하면서 부양력이 증가하는 경향이 있다는 것을 확인하였고 이렇게 증가하는 비례관계는 거의 유체의 동압에 직접 비례하는 경향을 보여주었다. 즉 부양실내의부양력

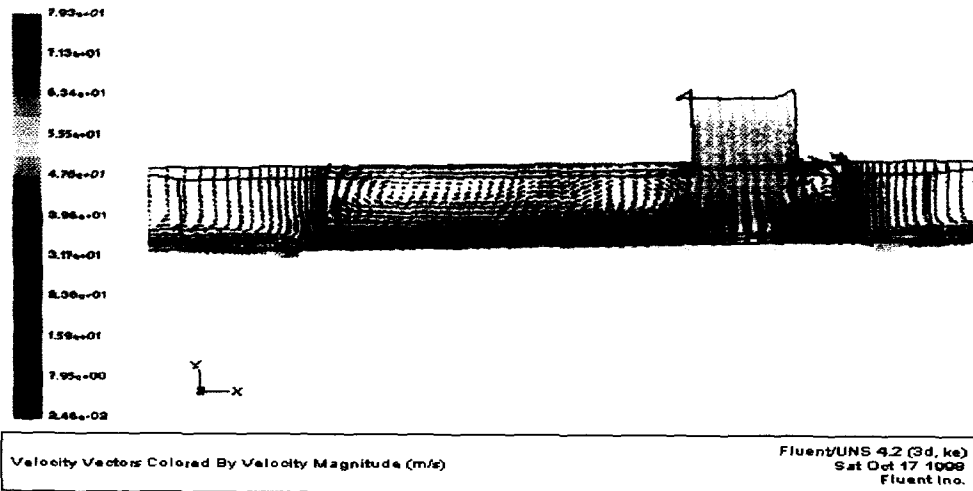
을 F_b 라고하면 $(F_b)_2 \approx (F_b)_1 \times \left(\frac{(V_{in})_2}{(V_{in})_1} \right)^2$ 의 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 부양실의 높이가 증가되면서는 급격히 부양력이 감소하고 있으며 이는 입구면적 크기에 대한 출구의 면적의 상대적 증가가 원인인 것으로 판단된다. 참고로 입구면적은 $2m^2$ 로 모든 경우가

같고 수면과 부양실 높이, h 가 0.1일 때가 출구면적이 1.8 m^2 이고, h 가 이보다 커지면서는 출구면적이 입구면적보다 커지게 되는 경우가

구면적에 대한 출구면적비가 1보다 작아야 함을 알 수 있었다. 즉, 충분한 부양력 확보를 위해서는 부양높이에 대한 제한을 제시한다면,



(a) Pressure distributions



(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 4 Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
 ($V_{in}=50\text{m/s}$, $L_s=1\text{m}$, $h_b=h_s=0.1\text{m}$, $X_i=1\text{m}$, $Y_i=2\text{m}$)

된다. 따라서, 부양력을 어느 일정 유량으로 충분히 확보할 수 있는 선체의 부양높이는 입

근사적으로 $h \leq (A_{inlet}/P)$ 라고 할수 있고, 여기서 P 는 선체하단의 둘레길이를 의미한다.

부양실 공기 흡입구 속도는 같을 경우에 부양높이가 변화하는 경우를 출구/입구면적비의 함수로 보면 이들의 상관관계를 살펴볼 수 있다. 이에 대한 고찰을 위해 공기흡입구 속도는 70 m/s로 고정하고 부양높이가 변화하는 경우에 이를 출구/입구면적비의 함수로 고쳐서 자료를 정리하여 Table 4에 나타내고 이에 대한 경향을 Fig. 5에 표현하였다. 출구/입구면적비가 증가하면서 부양력이 감소하는 경향은 비선형으로 나타나고 있다.

Table 3. Effects of inlet velocity and lifting height.

	평균압력(kPa)	부양력 (ton)
v=70m/s, h=0.1	108.055	12.36
v=70m/s, h=0.15	103.517	4.026
v=70m/s, h=0.2	101.909	1.19
v=50m/s, h=0.1	104.587	5.99
v=50m/s, h=0.2	101.573	0.53

Table 4. Effect of outlet/inlet area ratio.

	출구/입구 면적비	평균압력 (kPa)	부양력 (ton)
h=0.05	0.45	130.457	53.5
h=0.07	0.63	116.141	27.21
h=0.1	0.9	108.055	12.36
h=0.15	1.35	103.517	4.026
h=0.2	1.8	101.909	1.19

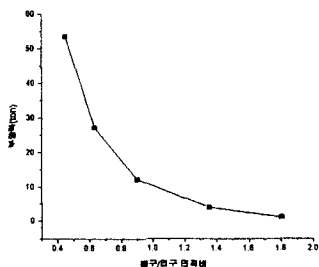


Fig. 5 출구/입구면적비에 따른 부양력변화

3.2 부양실 Skirt 길이의 영향

부양실의 skirt 길이도 부양실 내부 유동장에 변화를 주어 부양실 윗면에 걸리는 압력분포가 달라지게 된다. Fig. 6(a), (b)는 부양실의 skirt 길이가 1.5m로 높은 경우이다. Fig. 4 부양실 skirt 길이가 1m인 경우와 비교해 보면 우선 부양실 윗면에 걸리는 압력분포에 있어서 Fig. 6(a)에서 평균압력이 Fig. 4(a) 경우보다 대체적으로 높게 나타나고 있다. 이는 같은 조건에서 부양실 내의 체적이 skirt 길이의 증가로 증가됨에 따라 부양실 내에서 확산이 더 이루어지게 되어(Fig. 4(b)와 Fig. 6(b) 참조) 이것이 압력에너지로 보다 많이 변화가 되었기 때문으로 분석된다.

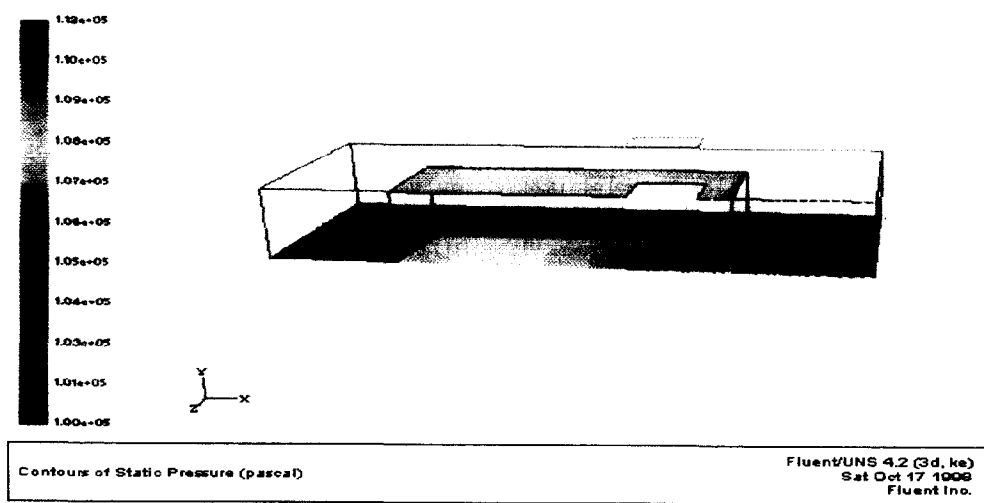
부양실 skirt 길이 변화에 따른 부양력 변화의 결과는 Table 5에 도표화 하였다. 부양실 skirt 길이가 0.5m, 1m, 1.5m까지 증가하면서 대체적으로 약 2.6% 내외의 부양력 증가가 발생되었다.

Table 5. Effects of skirt length

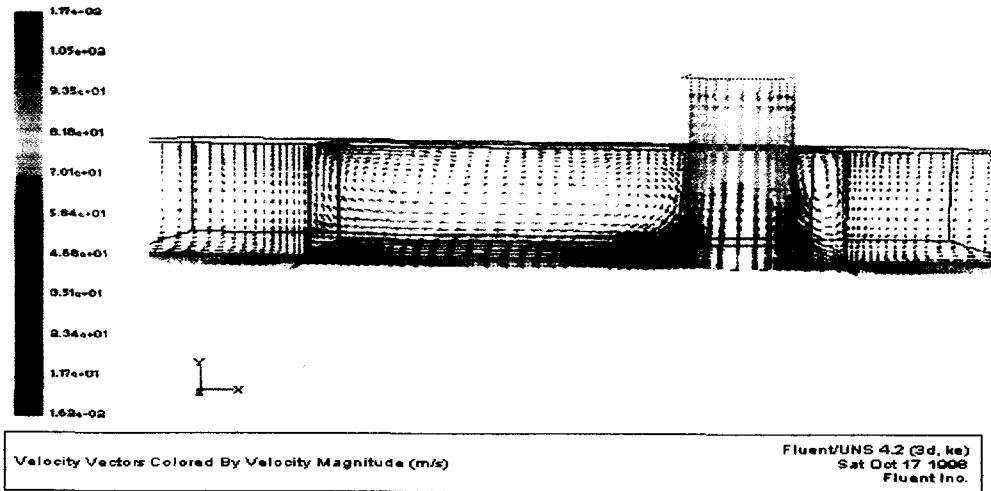
	평균 압력(kPa)	부양력 (ton)
Skirt 높이 0.5m	107.879	12.038
Skirt 높이 1.0m	108.055	12.36
Skirt 높이 1.5m	108.200	12.62

3.3 공기흡입구 위치에 따른 영향

기준으로 정한 공기 흡입구의 위치는 일차적인 개념설계 단계에서 도출된 프로펠러 후류의 유동을 선체 후방에서 포획하게 됨으로 선정된 위치이다. 이러한 위치는 부양/추진 통합 시스템의 확정과 선체형상의 결정, 그리고 선체의 안정성에 따라 변화가 될 수도 있으므로 거기에 따라서 공기 흡입구의 위치도 경우에 따라서 유동적이 될 수도 있다. 그러므로 후에 생길 수도 있는 공기 흡입구의 위치변화가 부양력에는 얼마나 영향을 미치는 가 살펴볼 필요가 있다고 생각된다. 공기 흡입구 위치가 전방에 위치될 가능성은 거의 없고 후 있다고 하더라도 대칭성을 생각하면 후방에 있는 경우와 같다고 할 수 있으므로 공기 흡입구 위치에 대한 변화 가능성에 대한 또 다른 경우로 중앙에 위치한 경우를 고려하여 유동장을 계산하여 보았다. 결과를 이용하여 부양



(a) Pressure distributions



(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 6 Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
 ($V_{in}=70\text{m/s}$, $L_s=1.5\text{m}$, $h_b=h_s=0.1\text{m}$, $X_f=1\text{m}$, $Y_f=2\text{m}$)

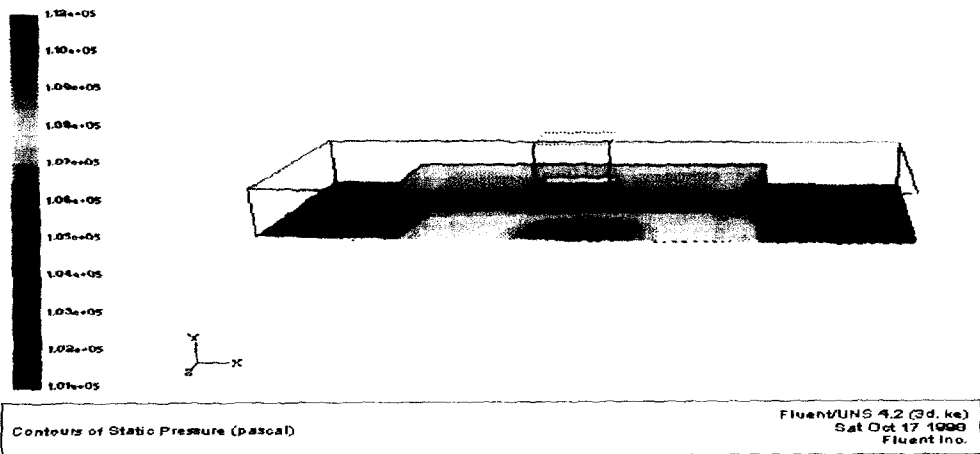
실 상판에 작용하는 평균압력과 발생하는 부양력을 후방에 위치한 경우와 비교한 표를 Table 6.에 정리하였고 계산 결과에 대한 유동장의 압력분포와 대칭면에서의 속도벡터를 Fig. 7(a), (b)에 보여주고 있다. 유동장의 결

과와 계산된 부양력에서 알수 있듯이 공기 흡입구가 부양실 위에 위치하는 경우에 있어서는 중간에 위치하나 전, 후방에 편중되어 위치하나 전체적인 부양성능에는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 두 번째로 공기 흡입구

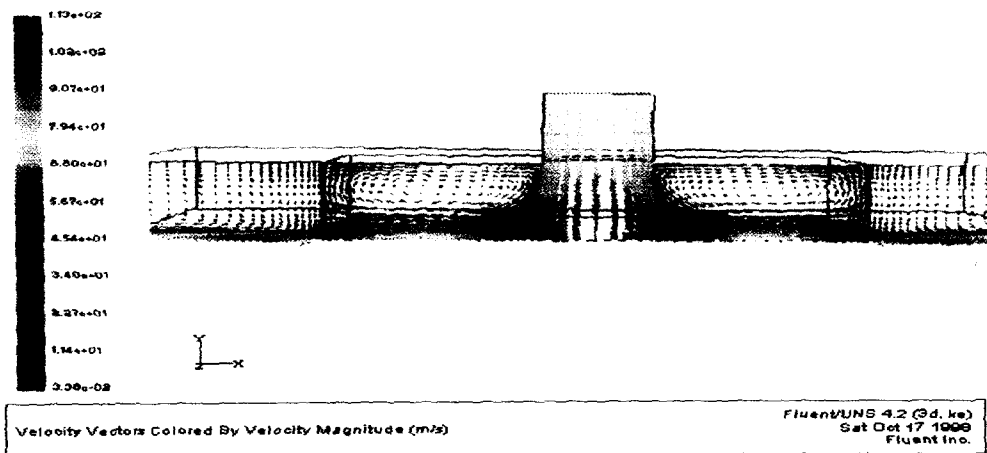
면적은 동일하게 유지를 시키고 위치를 부양실 양쪽 측면에 설치하여 공기를 주입하는 경우에 대한 계산 결과, 모든 경우에 있어서 부양력이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이런 결과의 첫 번째 이유는 부양력이 발생하는 방향으로 유입되는 모멘텀이 없어짐으로 나타난 결과이다. 이런 모멘텀 효과를 고려하더라도 공기흡입구가 측면에 위치한 경우에 부양력은 윗면에 위치한 경우보다 약 15%정도 증가하는 것으로 나타났다.

Table 6. Effects of air inlet location

	평균압력 (kPa)	부양력 (ton)
$X_i = 1m$ (후방) $Y_i = 2m$	108.055	12.36
$X_i = 2.5m$ (가운데) $Y_i = 2m$	107.872	12.03
양쪽 측면 (Case7, Table 1)	109.738	17.17



(a) Pressure distributions



(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 7 Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
($V_m = 70m/s$, $L_s = 1.0m$, $h_b = h_s = 0.1m$, $X_i = 2.5m$, $Y_i = 2m$)

부양실의 공기 흡입구가 측면에 설치되는 경우에 있어서 입구형상 변수에 관한 고찰을 하였다. 여기서 선정된 설계변수로는 공기흡입구의 종횡비와 측면 공기흡입구의 위치에 관한 변수로 공기 흡입구 중심과 부양실 윗면 사이의 거리에 대하여 결과를 비교 검토하였다. 결과적으로 종횡비가 작을수록 같은 조건에서 부양력 효과가 조금씩 증가함을 알 수 있었다. 계산한 결과는 Table 7에 정리하여 보여주고 있으며, 종횡비 4인 경우가 종횡비가 16인 경우보다 약 7% 증가된 부양력이 얻어졌다.

Table 7. Effect of aspect ratio in case of side inlet(air velocity=70m/s)

	종횡비	평균 압력 (kPa)	부양력 (ton)
4*0.25m (가로*세로)	16	109.738	17.17
2.5*0.4 (가로*세로)	6.25	110.087	17.88
2*0.5 (가로*세로)	4	110.339	18.4

그리고, 공기 흡입구 중심 위치와 부양실 윗면사이 거리에 대한 부양력의 변화는 오차 한도내에서 큰 변화가 없는 것으로 판단된다 (Table 8). 대표적인 계산 결과에 대한 부양실의 압력분포와 속도벡터는 Fig. 8과 같다.

Table 8. Effect of lift force due to changes in distance between lifting chamber upper surface and inlet centerline.

	평균 압력 (kPa)	부양력 (ton)
d = 0.05m	109.645	16.97
d = 0.1m	109.738	17.17
d = 0.15m	109.888	17.47
d = 0.3m	109.727	17.14
d = 0.4m	109.503	16.69

따라서, 공기 흡입구 형상의 주요 설계변수로는 종횡비를 생각할 수 있고 이러한 종횡비는 적은 값(주어진 부양실의 기하학적 크기를 고려한 범위내에서)을 선정하는 것이 좋은 것

으로 나타났다.

3.4 부양실이 기울어진 경우

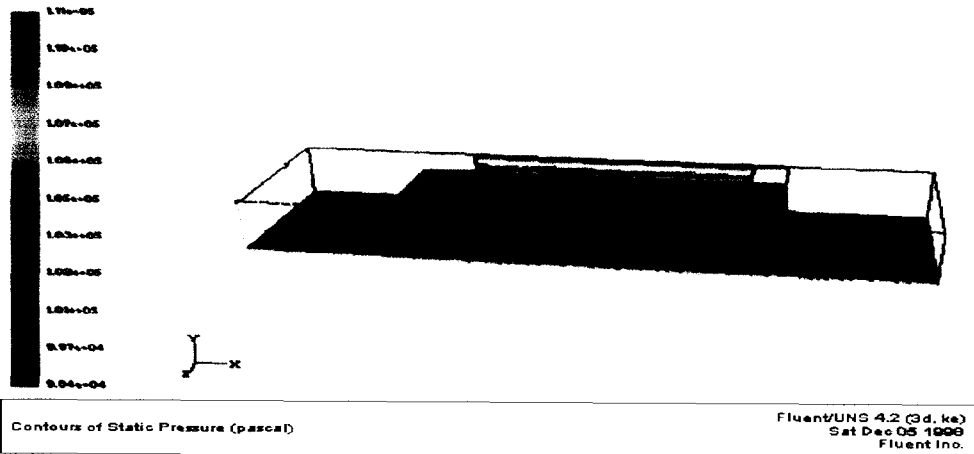
경우에 따라서 부양을 하게 되었을 때에 선체가 기울어진 상태에서 부양이 될 경우도 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수면과 부양실 선두 높이와 선미높이에 차이가 있을 경우에 부양력이 어떻게 변화하는지를 살펴보았다. 결과에 대한 도표는 Table 9과 같다. 선미가 낮아진 경우나 선두가 낮아진 경우의 결과에 대한 차이는 거의 없다고 할 수 있고 선체가 수평인 경우보다 선체가 기울어지게 되면 부양능력에 있어서 약간은 감소가 됨을 알 수 있었다. 그러나, 부양실이 수평인 경우에 있어서 출구면적은 기울어진 경우보다 작으므로 정량적 비교를 하는데 문제는 있는 것으로 보인다. 유동장에 대한 결과는 Fig. 9(a), (b)에 보여주고 있다.

Table 9. Effects of the inclined lifting chamber

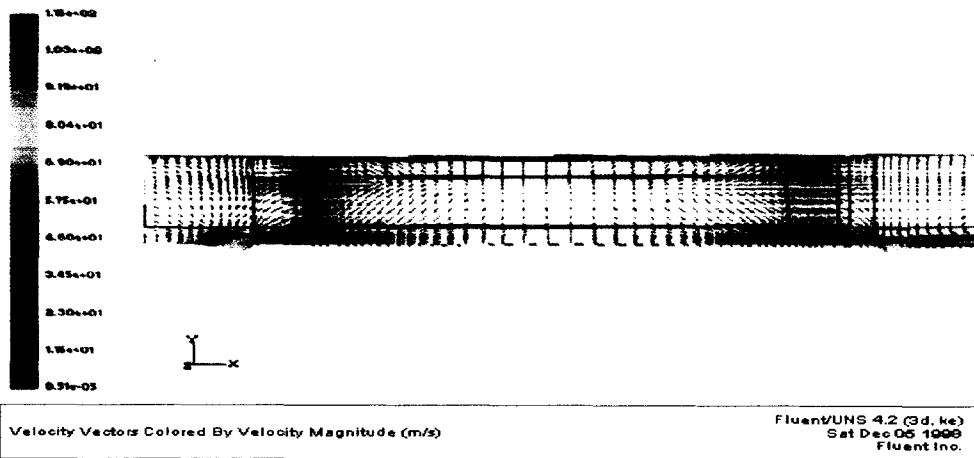
	평균 압력 (kPa)	부양력 (ton)
$h_b = h_s = 0.1m$	107.039	10.50
$h_b = 0.15m, h_s = 0.1m$	105.021	6.79
$h_b = 0.1m, h_s = 0.15m$	104.939	6.64
$h_b = h_s = 0.2m$	101.386	1.04

3.5 프로펠러 후류에 의한 부양력

부양실에 공기를 공급하는 공급원으로 프로펠러 후류를 생각하는 경우에 대한 유동해석을 하였다. 우선 프로펠러 후류와 공기 흡입구 사이에 거리가 있어야 하며, 공기흡입구의 입구조건을 균일장으로 볼 수 없다. 따라서, 프로펠러가 있는 위치에 공기 유동조건을 일정 속도로 놓고 공기흡입구로 포획되는 공기량과 이로 인한 부양력에 대하여 계산을 수행하였다. 계산한 결과는 Table 10과 같고 대표적인 경우의 부양실 내의 압력과 속도벡터 결과를 Fig. 10에 보여주고 있다.



(a) Pressure distributions



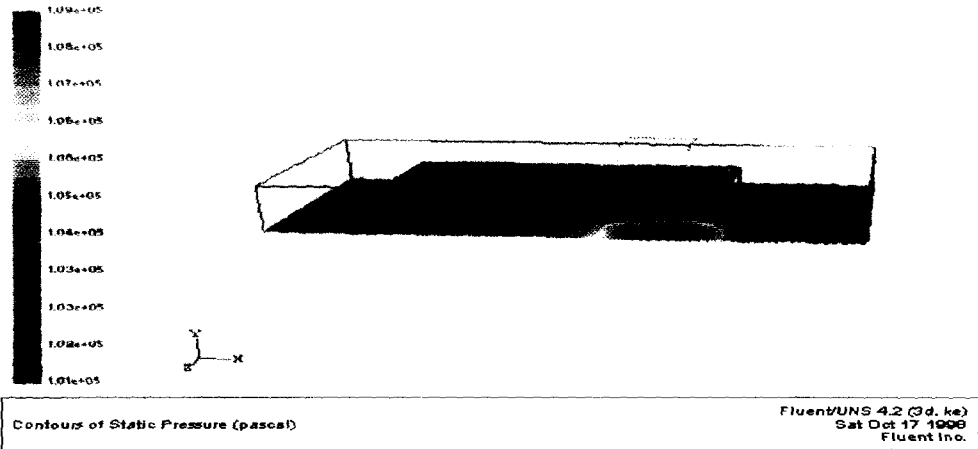
(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 8. Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
($V_{in}=70m/s, inlet-side, aspect\ ratio 16$)

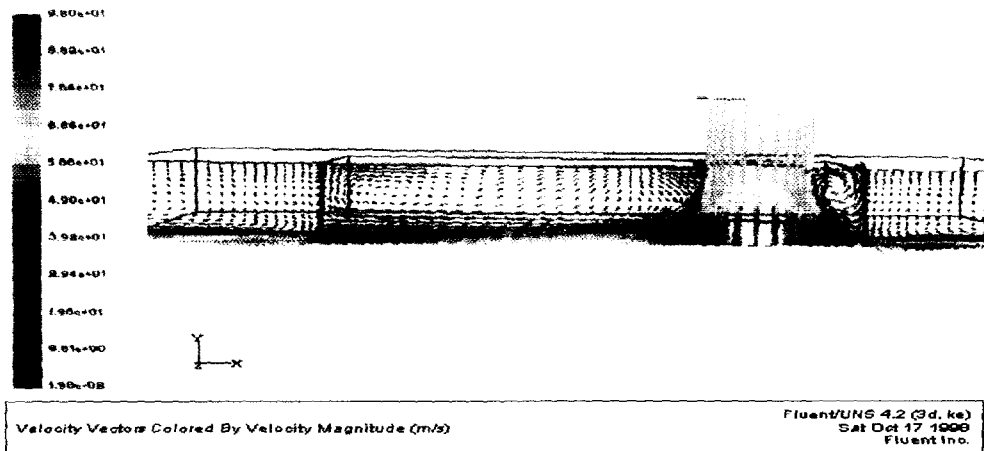
Table 10. Lift force using propeller downstream

	평균압력 (kPa)	부양력 (ton)	공기 누출율(%)
$v = 50m/sec$	103.619	4.21	49.3%
$v = 70m/sec$	105.752	8.13	48.76
$v = 100m/sec$	110.118	16.15	48.28%

앞서의 결과와 비교해 보면 부양력이 감소하는 것을 알 수 있다. 원인으로서는 우선 포획되는 유량이 감소함으로 인해 일어나고, 유동입구가 원형에서 사각으로 연결되면서 유동손실이 발생하기 때문으로 보인다. 실제 원형의 유동입구를 통해서 70m/s로 들어오는 질량유량은 131.2292kg/s이지만 덕트를 통해서 유입되는 질량유량은 이보다 48.76% 감소한 67.23kg/s



(a) Pressure distributions



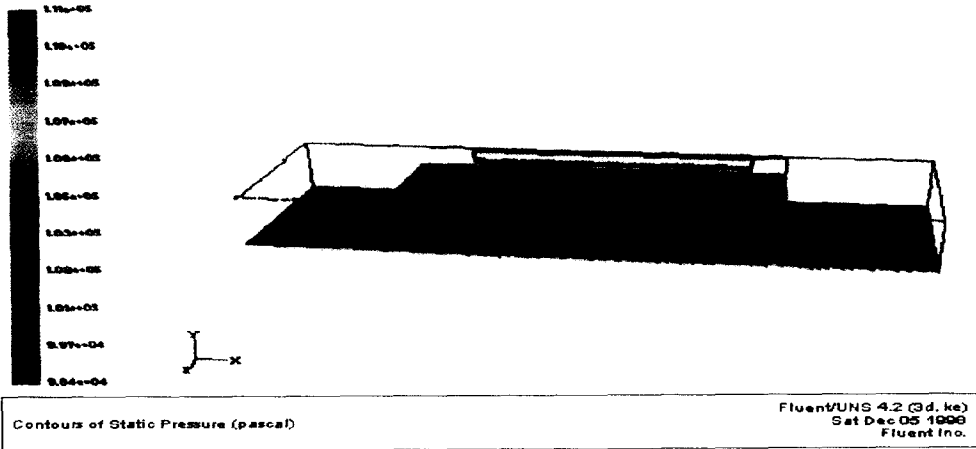
(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 9 Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber

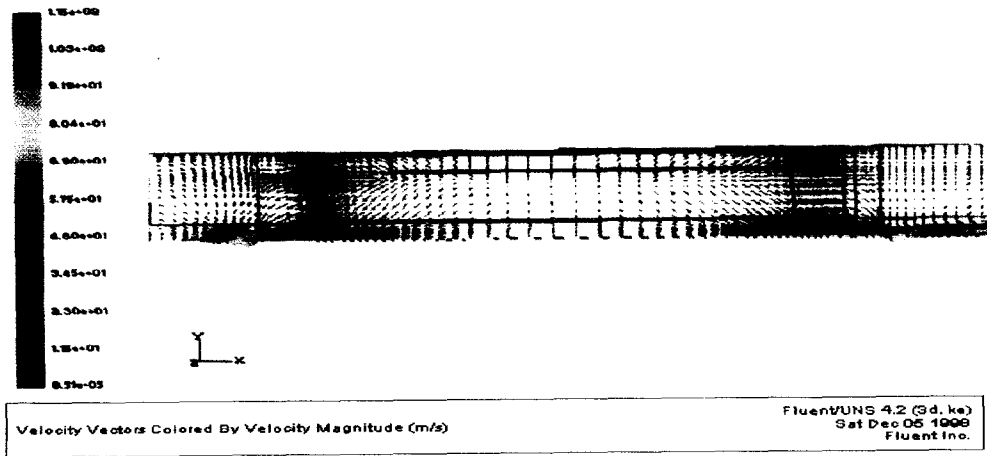
($V_{in}=70\text{m/s}$, $L_s=1.0\text{m}$, $h_b=0.15\text{m}$, $h_s=0.1\text{m}$, $X_f=2.5\text{m}$, $Y_f=2\text{m}$)

이다. 그리고 사각덕트가 90도로 곡관을 형성하기 때문에 생기는 압력손실도 발생하기 때문에 실제 부양실 상부벽면에 작용하는 부양력이 다른 앞의 경우보다 감소하는 것이다. 속도가 증가함에 따라 덕트로 들어오는 공기의 질량유량은 조금씩 증가하는 경향을 보이고

있다. 대체적으로 프로펠러 후류의 50%정도가 부양실로 포획이 되며, 얻어지는 부양력은 일정 속도로 가정한 경우에 비하여 같은 조건의 경우에 약 20%의 감소를 보여주고 있다. 설계시에 프로펠러 후류를 이용한 부양개념의 경우에는 이만한 정도의 부양력 감소를 보정하



(a) Pressure distributions



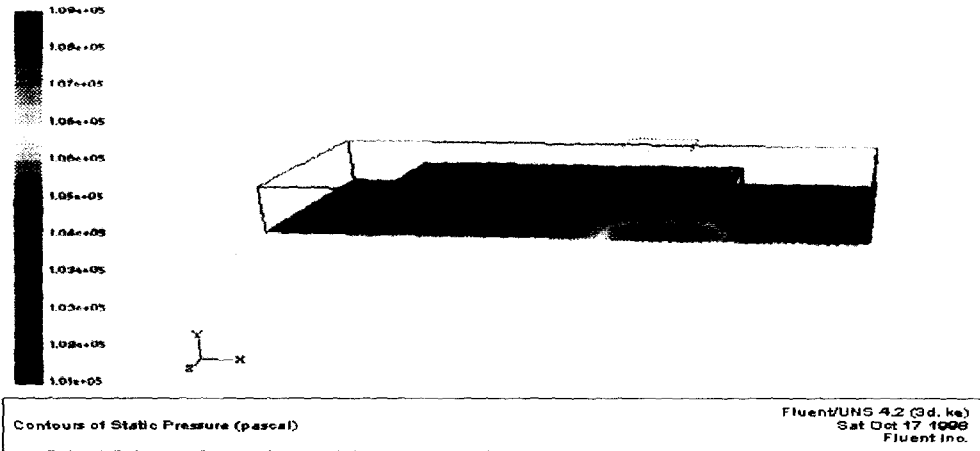
(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 8. Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
($V_{in}=70m/s$,inlet-side,aspect ratio16)

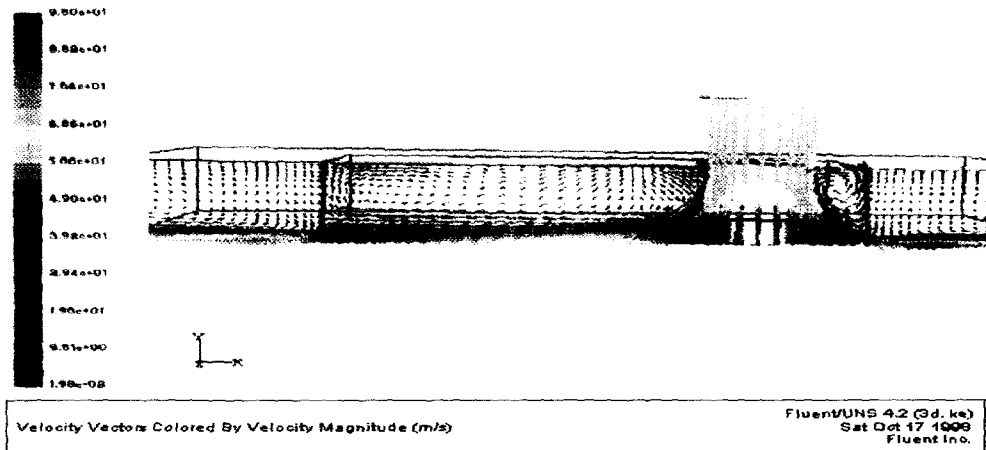
Table 10. Lift force using propeller downstream

	평균압력 (kPa)	부양력 (ton)	공기 누출율(%)
v = 50m/sec	103.619	4.21	49.3%
v = 70m/sec	105.752	8.13	48.76
v = 100m/sec	110.118	16.15	48.28%

앞서의 결과와 비교해 보면 부양력이 감소하는 것을 알 수 있다. 원인은 우선 포획되는 유량이 감소함으로 인해 일어나고, 유동입구가 원형에서 사각으로 연결되면서 유동손실이 발생하기 때문으로 보인다. 실제 원형의 유동입구를 통해서 70m/s로 들어오는 질량유량은 131.2292kg/s이지만 덕트를 통해서 유입되는 질량유량은 이보다 48.76% 감소한 67.23kg/s



(a) Pressure distributions

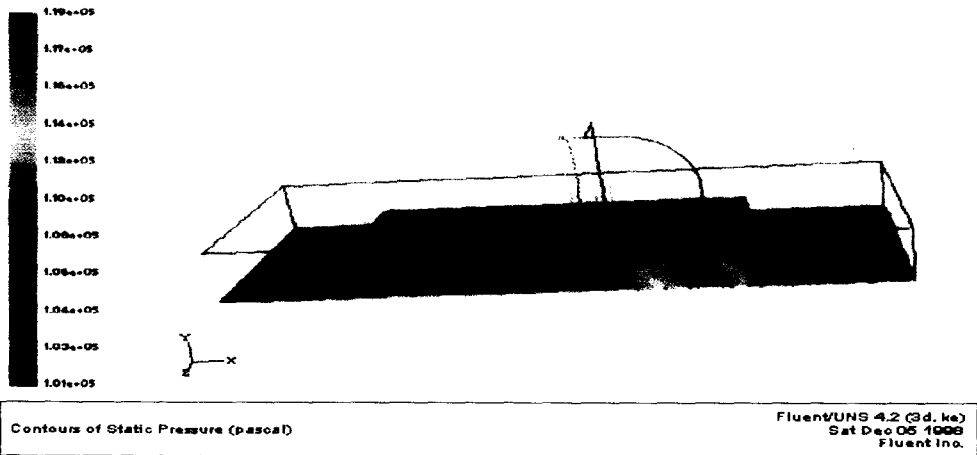


(b) Velocity vectors at symmetry

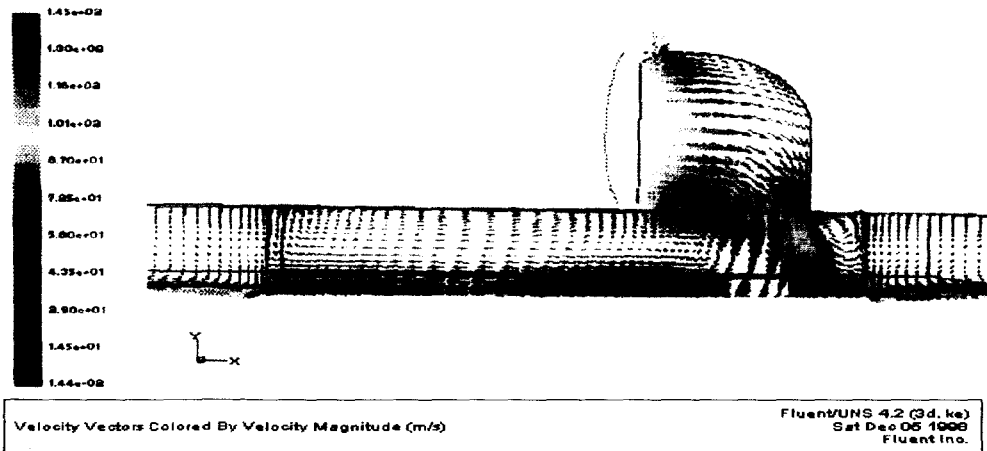
Fig. 9 Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
 ($V_{in}=70\text{m/s}$, $L_s=1.0\text{m}$, $h_b=0.15\text{m}$, $h_s=0.1\text{m}$, $X_f=2.5\text{m}$, $Y_f=2\text{m}$)

이다. 그리고 사각덕트가 90도로 곡관을 형성하기 때문에 생기는 압력손실도 발생하기 때문에 실제 부양실 상부벽면에 작용하는 부양력이 다른 앞의 경우보다 감소하는 것이다. 속도가 증가함에 따라 덕트로 들어오는 공기의 질량유량은 조금씩 증가하는 경향을 보이고

있다. 대체적으로 프로펠러 후류의 50%정도가 부양실로 포획이 되며, 얻어지는 부양력은 일정 속도로 가정한 경우에 비하여 같은 조건의 경우에 약 20%의 감소를 보여주고 있다. 설계시에 프로펠러 후류를 이용한 부양개념의 경우에는 이만한 정도의 부양력 감소를 보정하



(a) Pressure distributions



(b) Velocity vectors at symmetry

Fig. 10 Pressure distribution and velocity vector inside the lifting chamber
($V_{in}=100\text{m/s}$, $L_s=1.0\text{m}$)

여 부양실을 결정하여야 한다. 하지만 현재 계산된 조건은 컴퓨터 하드웨어의 제약으로 인하여 주위의 유동장에 의한 영향이 고려되지 못한 경우이므로 이런 수치를 적용하기에는 아직도 미흡한 점이 많다고 판단된다. 계산 영역을 보다 넓게 적용하고 여러 가지 변수들에 대한 경우를 고려하여야 할 것으로 본다.

4. 결론

해석 모델에서 부양력에 영향을 미치는 변수들을 변화 시키면서 부양실내의 유동을 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1) 동일한 조건에서 공기 흡입구에서의 유동 속도가 증가함에 따라 부양력은 유체의 동압

에 직접적으로 비례하여 증가하게 된다. 그러면 이때에 $(F_b)_2 \approx F_b)_1 * \frac{(V_m)_2}{(V_m)_1}$ 의

상관관계가 있음을 보여주고 있다. 그리고 부양실과 수면사이의 높이가 증가함에 따라서 부양력은 급격히 감소한다.

2) 동일한 조건에서 skirt의 길이가 증가함에 따라 부양실내의 부양력은 거의 선형적으로 증가한다. 이는 skirt 길이의 증가로 인해 부양실의 체적이 증가하게 되어 모멘텀의 확산이 더 이루어지게 되어 이것이 압력에너지로 더 많이 변화 되었기 때문으로 분석된다.

3) 공기 흡입구의 위치가 선두나 선미에 위치할 경우와 선체의 중심에 위치할 경우 부양력의 변화는 거의 없으며 공기 흡입구가 선체의 상판이 아니라 옆 측면에 위치할 경우에는 상판에 위치할 경우보다 부양력이 약 15% 정도 증가한다. 공기 흡입구가 옆 측면에 위치할 경우가 상판에 위치한 경우보다 부양실내 유동 흐름이 부양력에 양호한 방향으로 형성됨을 알 수 있다.

4) 선체가 기울어져 부양할 경우 선미가 낮아진 경우와 선두가 낮아진 경우의 부양력의 차이는 거의 없었다.

5) 공기 흡입구를 부양실 측면에 설치하는 경우에는 부양실 전체의 기하학적 형상을 고려하여 가능하면 작은 중횡비를 갖는 공기 흡입구를 만들어 주는 것이 부양력에 있어서 잇점이 있음을 알 수 있었다.

6) 프로펠러 후류를 이용한 부양력 개념의 경우에는 대략적으로 50%만의 후류가 공기 흡입구를 통하여 부양실로 들어오며, 이로 인한 부양력은 같은 조건의 경우, 공기 흡입구가 부양실 윗면에 위치한 경우보다 부양력이 20% 정도 감소한다.

Propulsor Test Programme", Society of Automotive Engineers, SAE paper 770457, 1977.

[4] Maltan, L.V., "Scaling Considerations for the Model Testing of Power Augmented Ram Vehicles", Wright Patterson AFB, 1978.

[5] Gallington, R.W., "Power Augmentation of Wing in Ground Effect Craft", HPMV 92, ITERSOCIETY High Performance Marine Vehicle Conference and Exhibit, Arlington, Va, 24-27 June 1992, pp.WS9-WS16.

[6] 박일룡, 정광효, 전호환, 신명수, '3차원 해면효과익의 수치적 및 실험적 연구', 초고속선 Workshop 논문집, 대전 선박해양연구센터, 1996. 8, pp208~222.

[7] 정광효, 이준, 장종희, 김동훈, 김정민, 박정민, 전호환, '해면효과익의 실험적 연구와 Parwing선의 설계 및 제작', 1995년도 추계 대한조선학회 연구발표회 논문집, pp239~244, 충남대학교, 1995. 11.

[8] Kubo, S., Matsubara, T., Matsuoka, T. and Kawamura, T., "A Production Model of WIG as a High Speed Marine Craft: Marine Slider; sky-2", FAST 91, Proceedings of the first International Conference on Fast Sea Transportation, 17-21 June, 1991.

참고문헌

- [1] 전호환, '초고속선의 수요와 전망', 제2차 초고속 수송연구회 Workshop 논문집, 조선대학교, 1995. 2.
- [2] Krause. F.H., "Parametric Investigation of a Power Augmented Ram Wing over Water", ASED TM 16-76-95, 1976.
- [3] Davis, D.G.M. and Kemp, J.D., "Experimental Results of a Ducted