한국시뮬레이션학회 논문지
Vol. 21, No. 1, pp. 35-43 (2012. 3)

중량 특성이 다른 2종류 운동체의 수중거동 해석 연구

안진형[1] · 정찬희[1†]

A Study on the Analysis of Underwater Behaviors of Two Bodies Having Different Weight Characteristics

Jin-Hyeong Ahn · Chan-Hee Jung

ABSTRACT

In this study, underwater behaviors of negative buoyant body and positive buoyant body, which are ejected from a platform, are compared through eject test and simulation. CFD(Computational Fluid Dynamics) method is used to calculate the hydrodynamic derivatives of negative buoyant body with varied hull. Hydrodynamic derivatives that cannot be calculated with CFD are used with the same values of base shape. The pitch angles of test data are much bigger than those of simulated data, and the reason is supposed to be the trailing air effect. A more accurate simulation is possible via modified force modeling which reflects this phenomenon. The underwater behaviors of positive buoyant body and negative buoyant body are somewhat different with each other at the same eject condition, but it may not be a problem in the view of operation.

Key words : Underwater Behavior, Positive Buoyant Body, Negative Buoyant Body, Trailing Air Effect

요 약

본 연구에서는 수중에서 사출되는 양성부력체와 음성부력체의 수중거동을 사출시험 및 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 다양한 형상을 갖는 음성부력체의 동유체력 계수는 전산유체역학(CFD: Computatioanl Fluid Dynamics) 기법을 이용하여 계산하였으며, CFD에 의해 계산될 수 없는 계수는 기본형과 같은 값을 적용하였다. 종동요각의 시험 값은 시뮬레이션 값보다 훨씬 크게 나타났는데, 이는 추종공기 효과로 추정하였으며, 이 현상을 반영하여 외력 모델링을 수정함으로써 더욱 정확한 시뮬레이션이 가능하였다. 양성부력체와 음성부력체의 수중거동은 같은 사출 조건에서 다소 차이를 보이지만, 운용의 관점에서는 별다른 문제가 없는 것으로 판단하였다.

주요어 : 수중거동, 양성부력체, 음성부력체, 추종공기 효과

1. 서 론

일반적으로 수중환경에서 운용되는 실전용 운동체는 임무 특성 상 음성부력을 가져서 해저에 가라앉도록 설계된다. 그러나 평시에 수행하는 훈련에서는 고가의 실전용 운동체를 사용하기에 비용 부담이 매우 크므로 별도의 훈련용 운동체를 사용하기 마련이다.

훈련용 운동체는 회수 및 재사용이 가능하도록 임무 종료 후 수면으로 부상할 수 있는 능력을 가지도록 해야 한다. 이를 위해 운동체가 초기에는 실전용과 동일한 음성부력을 가지지만 임무 종료 후 양성부력을 얻도록 설계하는 방법과 처음부터 양성부력을 가지도록 설계하는 방법을 고려할 수 있다. 세계적으로 널리 운용되고 있는 어뢰와 같이 비교적 작은 음성부력을 갖는 무기체계에 대응하는 시험용 또는 훈련용 운동체는 양성부력을 지니거나 수면부상을 위한 장치를 내장하고 있다(김원제 등, 2001).

훈련용 운동체를 실전용과 동일한 형상 및 중량 특성을 지닌 음성부력체로 설계하면 초기 사출거동을 실전용 운동체와 유사하게 재현할 수 있다는 장점이 있는 반면에

접수일(2011년 11월 6일), 심사일(1차 : 2011년 12월 22일), 게재 확정일(2012년 1월 30일)
[1] 국방과학연구소
주 저 자 : 안진형
교신저자 : 정찬희
E-mail; jchdream@hanmail.net

임무 종료 후 양성부력을 얻도록 하기 위하여 별도의 부가 장치를 장착하여야 하므로 설계 및 운용 과정이 복잡해진다는 단점이 있다. 한편, 훈련용 운동체를 양성부력체로 설계하는 경우는 별도의 장치 없이 이를 수면으로 부상시킬 수 있지만, 이것의 초기 사출거동이 실전용과 동일하다는 것을 보장할 수 없으며 따라서 훈련의 실효성이 떨어질 우려가 있으므로 이에 대한 검증 과정이 필요하다. 본 연구에서는 두 경우 모두 훈련용으로 사용될 수 있다는 전제 하에 음성부력체와 양성부력체를 각각 설계한 후 사출시험과 시뮬레이션을 통해 이들의 수중거동을 해석하였다.

음성부력체는 초기 상태에서 비교적 큰 음성부력을 갖고 있다가 사출된 후 플랫폼에서 일정 거리만큼 떨어졌을 때 외부에 장착된 중량물을 분리함으로써 양성부력을 얻도록 설계하였다. 중량물이 분리된 이후의 유체동역학적 특성은 분리 이전과 달라지므로 CFD 계산을 통해 이를 해석하였으며 시뮬레이션 모델링에 이 결과를 적용하였다. 양성부력체의 경우 실전용과 외형이 같으므로 유체동역학적 특성은 변하지 않지만 중량 특성의 차이로 인해 초기 사출거동이 음성부력체의 경우와 달라질 수 있기 때문에 시험결과 분석을 통해 이를 확인하였다.

2. 음성부력체 수중거동 해석

2.1 운동방정식

본 연구에서 사용한 운동방정식은 식 (1) ~ (6)과 같으며 방정식 도출을 위해 사용한 좌표계는 z-축의 양의 방향이 지구 중심을 향하는 직교우수좌표계이다. 방정식 유도 시 일반적인 수중운동체 운동 모델링 방법을 적용하였으며, 원점을 무게 중심에 잡음으로써 원심력 항을 제거하였다(박성희 등, 1990; Lewis, 1988). 운동방정식 구성에 필요한 모든 동유체력 계수는 PMM(planar motion mechanism) 시험과 RA(rotating arm) 시험 등의 구속모형시험을 통해서 획득하였다(신용구 등, 1999; 신지환 등, 2011).

$$m(\dot{u}+qw-rv)=X_{|u|u}|u|u+X_{\dot{u}}\dot{u}+X_{vv}vv+X_{vr}vr+X_{rr}r^2+X_{ww}w^2+X_{wq}wq+X_{qq}q^2-(W-B)\sin\theta \quad (1)$$

$$m(\dot{v}+ur-pw)=Y_{\dot{v}}\dot{v}+Y_{\dot{p}}\dot{p}+Y_{\dot{r}}\dot{r}+Y_{v}v+Y_{p}p+Y_{r}r+Y_{wp}up+Y_{pq}pq+Y_{vvv}v^3+Y_{vvr}vvr+Y_{rrr}r^3+(W-B)\sin\phi \quad (2)$$

$$m(\dot{w}-uq+vp)=Z_{\dot{w}}\dot{w}+Z_{\dot{q}}\dot{q}+Z_{w}w+Z_{q}q+Z_{www}w^3+Z_{wwq}wwq+Z_{wqq}wqq+Z_{qqq}q^3+Z_{vp}vp+Z_{pr}pr+(W-B)\cos\theta\cos\phi \quad (3)$$

$$I_x\dot{p}+(I_z-I_y)qr=K_{\dot{v}}\dot{v}+K_{\dot{p}}\dot{p}+K_{\dot{r}}\dot{r}+K_{v}v+K_{p}p+K_{r}r+(z_B\sin\phi-y_B\cos\phi)B\cos\theta \quad (4)$$

$$I_y\dot{q}+(I_x-I_z)rp=M_{\dot{w}}\dot{w}+M_{\dot{q}}\dot{q}+M_{w}w+M_{q}q+M_{www}w^3+M_{vp}vp+M_{pr}pr+M_{wwq}wwq+M_{wqq}wqq+M_{qqq}q^3+x_B B\cos\theta\cos\phi+z_B B\sin\theta \quad (5)$$

$$I_z\dot{r}+(I_y-I_x)pq=N_{\dot{v}}\dot{v}+N_{\dot{p}}\dot{p}+N_{\dot{r}}\dot{r}+N_{v}v+N_{p}p+N_{r}r+N_{wp}wp+N_{pq}pq+N_{vvv}v^3+N_{vvr}vvr+N_{vrr}vrr+N_{rrr}r^3-x_B B\cos\theta\sin\phi-y_B B\sin\theta \quad (6)$$

이 때 각 기호가 가리키는 내용은 다음과 같다.

$X,\ Y,\ Z$	: x-, y-, z-축 방향 동유체력
K,M,N	: x-, y-, z-축 방향 동유체 모멘트
m	: 수중운동체 질량
I	: 수중운동체 질량 관성 모멘트
ρ	: 해수 밀도
W	: 수중운동체 무게
B	: 수중운동체에 작용하는 부력
x_B, y_B, z_B	: 부력 중심 좌표
$u,\ v,\ w$	: 물체고정좌표계에서의 선형속도 성분
$p,\ q,\ r$	: 물체고정좌표계에서의 회전속도 성분
$\dot{u},\ \dot{v},\ \dot{w}$	: 물체고정좌표계에서의 선형가속도 성분
$\dot{p},\ \dot{q},\ \dot{r}$	: 물체고정좌표계에서의 회전가속도 성분

2.2 형상 및 중량 변화에 따른 설계

음성부력체는 중량물을 분리한 후 완만한 거동을 보이며 수면으로 부상하여야 한다. 이는 중량물 분리 후 얻어진 양성부력이 지나치게 클 경우 수면 근처에서 과도한 운동이 발생하여 운동체에 충격이 가해져 내부 장비가 손상될 수 있기 때문이다. 그 반면에 임무 종료 후 운동체 회수 시간을 최소화하기 위한 측면에서는 운동체가 가능한 한 빨리, 큰 자세각을 유지한 채 수면까지 부상하는 것이 바람직하다(김원제 등, 2001). 그러므로 이 두 조건을 만족시키는 중량물의 형상 및 적정 중량 특성을 도출하는 것이 필요하다. 음성부력체의 개념설계 단계에서 고려한 중량물 형상은 그림 1에 나타낸 바와 같다. 각 형상에 대한 유체역학적 및 운용상의 장단점을 분석한 결과 (d)와

같은 형태가 가장 적합한 것으로 판단되었다.

중량물 분리 후의 운동체의 부력 중심과 무게 중심은 중량물의 부착 위치, 즉 운동체에 파인 부분의 위치에 따라 달라지며 이에 따라 수중 궤적, 수면 부상 시까지의 시간이 달라진다. 선택된 중량물의 적정 중량 특성을 결정하기 위해서 무게 중심 차이에 따른 종동요각(pitch angle)

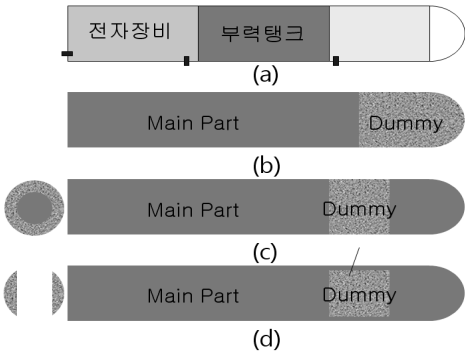

그림 1. 음성부력체의 중량물 배치 대안

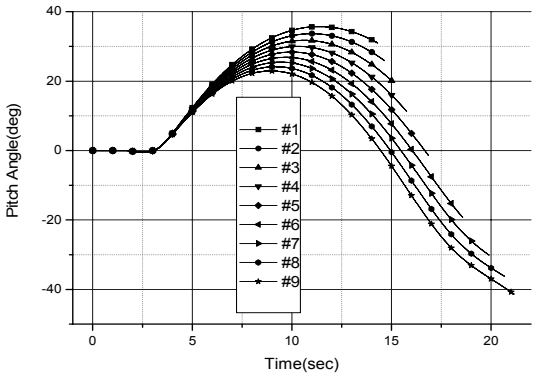

그림 2. 무게 중심 변화에 따른 종동요각 변화

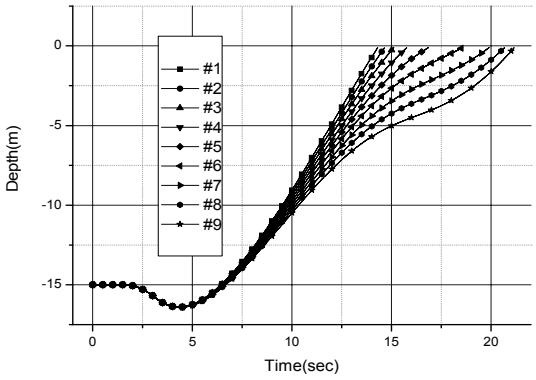

그림 3. 무게 중심 변화에 따른 심도 변화

및 심도에 대해 그림 2 및 그림 3과 같은 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 중량물 분리 후의 동유체력 계수는 중량물 분리 이전과 같다고 가정을 하였다.

두 그림에서 #1은 무게 중심이 가장 뒤에 있을 때이고 #9는 무게 중심이 가장 앞에 있는 경우이며 두 경우의 무게 중심 차이는 25 mm에 불과하다. 미세한 무게 중심 변화에 의해서도 시간에 따른 종동요각과 심도 변화가 크게 달라지며 부상 시간이 7초 가까이 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

한편, 무게 중심이 상대적으로 앞에 있는 경우에는 종동요각이 음의 값을 갖는 현상, 즉 부상할 때 운동체의 후미부가 먼저 떠오르는 현상이 나타났다.

2.3 CFD 계산에 의한 동유체력 계수 도출

중량물 분리 후 운동체의 동유체력 계수는 분리 이전과 달라지기 마련이므로 정확한 수중운동 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 새로운 형상에 대한 모든 동유체력 계수를 다시 구해야만 한다. 이를 위해서 모형시험을 수행하는 것은 개발 시간과 비용 대비 효과 측면에서 바람직하지 않으므로 수조 시험 대신 CFD 계산 결과를 사용하기로 했다(김민재, 2010).

음성부력체가 수직방향 운동만 한다고 가정할 때 관련된 운동방정식은 식 (1), (3), (5)이며, 좌우동요(sway), 선수동요(yaw) 및 횡동요(roll) 운동과 관련된 계수들은 0으로 놓을 수 있다(Fossen, 1994). 여기서 CFD를 이용해서 구할 수 있는 값은 Z_w, Z_{www},, M_w, M_{www} 등과 같은 선형운동(linear motion) 관련 성분이며, q에 관련된 미분량과 같이 회전운동(rotational motion) 성분이 포함된 동유체력 계수는 현 단계에서 추정하기 어렵다(김민재, 2010). 수중거동과 관련하여 이 계수들의 민감도는 선형 운동 관련 계수들에 비해 낮은 것으로 알려져 있으므로 원래 형상에 대한 값을 사용하기로 하였다(Santhankumar, 2009).

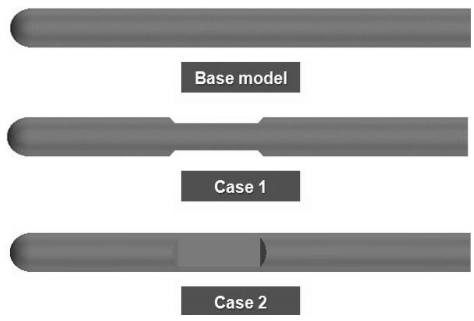

그림 4. CFD 계산용 형상

CFD 계산에 사용된 형상들은 그림 4와 같다. 우선 중량물이 분리되기 전인 기본 형상에 대해서 계산을 수행한 뒤에 중량물 분리 후 운동체가 x-축을 기준으로 90도 회전한 경우와 0도 회전한 경우에 대한 계산을 각각 수행하였으며 이를 각각 Case 1과 Case 2로 나타내었다.

CFD 계산은 아래 조건에 따라 영각을 0도부터 18도까지 3도 간격으로 나누어 수행하였다.

- 유동 속도: 2.2 m/s
- 난류모델 및 수치해석방법: SST(Menter) K-Omega
- 격자수: 1,900,000개의 3차원 볼륨 격자
- 사용 소프트웨어: STAR-CCM+

CFD 계산 결과로부터 얻은 z-축 방향 힘과 y-축에 관한 모멘트는 그림 5 ~ 그림 6에 나타냈다. 이 때 z-축 방향 힘은 $1/2\rho V^2 A$로, y-축 방향 모멘트는 $1/2\rho V^2 Al$로 무차원화 하였으며 V는 유동 속도를, A는 모형의 단면적을, l은 모형의 길이를 나타낸다. z-축 방향 힘의 크기는 Case 1과 Case 2 형상 모두 Base 형상에 비해서 크게 나타났으며 영각(angle of attack)이 9도 이상인 경우는 그 차이가 더 커지는 것을 확인할 수 있다. 모멘트는 Base 형상과 Case 1 형상의 계산 결과에 큰 차이가 없으나 Case 2 형상의 경우 이들보다 기울기가 작게 나타나며 이는 유동에 투영되는 면적 차이에서 기인하는 것으로 추정되었다.

음성부력체는 일반적으로 사출 초기 횡동요각이 0도이고 y-방향 무게 중심은 0에 가까우며 사출 후에는 중량물이 운동체의 좌우에서 동시에 분리된 상태로 수면까지 부상하므로 3자유도 운동을 가정할 수 있다. 따라서 시뮬레이션 수행 시 Case 2에 해당하는 동유체력 계수 집합만을 사용하기로 하였다.

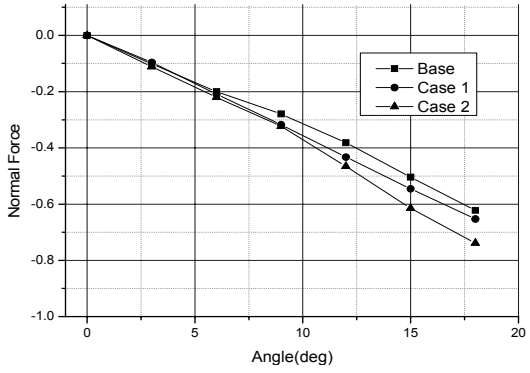

그림 5. CFD 계산 결과 - Normal Forc

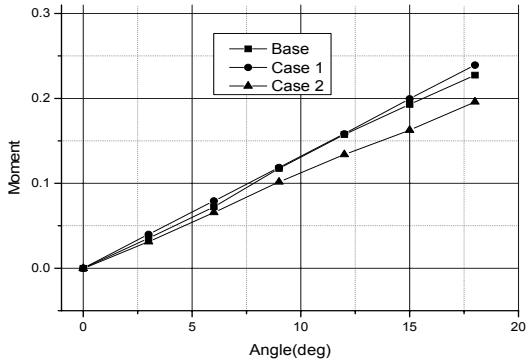

그림 6. CFD 계산 결과 - Moment

2.4 사출초기 거동 해석 및 종동요각 모델링

음성부력체가 플랫폼에서 사출된 후 중량물을 분리하기까지의 사출초기 거동은 시뮬레이션 결과 전체에 영향을 미치므로 정확히 예측할 수 있어야 한다. 그러므로 전 영역에 걸친 시뮬레이션을 수행하기 전에 사출초기 거동에 대해서 시뮬레이션 결과와 시험결과를 비교하여 모델링 정확성 여부를 검증하는 것이 필요하다. 실제 상황에서 음성부력체는 플랫폼이 특정 속도 구간에서 움직일 때 사출되기 때문에 이를 위해 동일한 음성부력체에 대해 표 1과 같이 초기 조건을 달리해서 시험과 시뮬레이션을 병행한 후 결과를 그림 7 ~ 그림 9에 나타냈다.

이 때 #1과 #2의 결과는 수정 전 모델 확인용으로 사

표 1. 수학 모델 검증용 음성부력체 사출 조건

순번	#1	#2	#3
플랫폼 이동속도(m/s)	2.56	2.83	2.82
이탈 시 목표 상대속도(m/s)	12.50	10.50	10.50
초기 자세각(deg)	-0.75	-0.18	-0.17

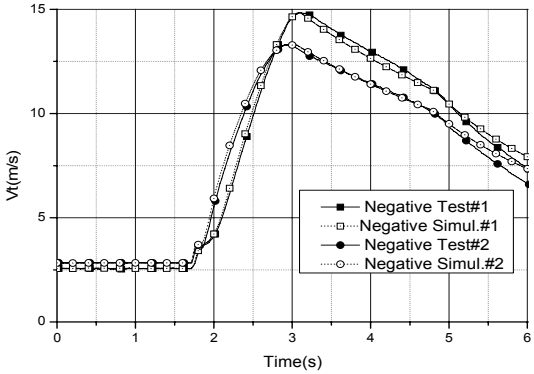

그림 7. 음성부력체 초기 속도 비교

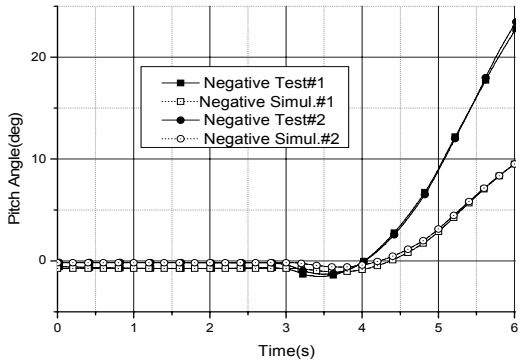

그림 8. 음성부력체 초기 종동요각 비교

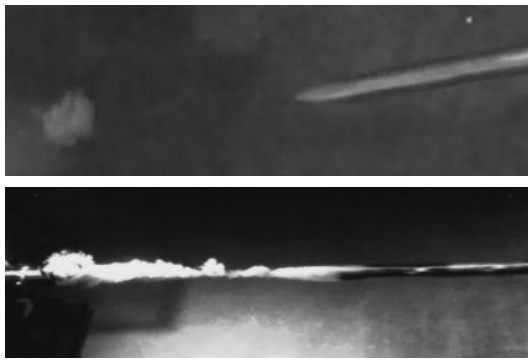

그림 10. 추종공기 유무 확인 시험

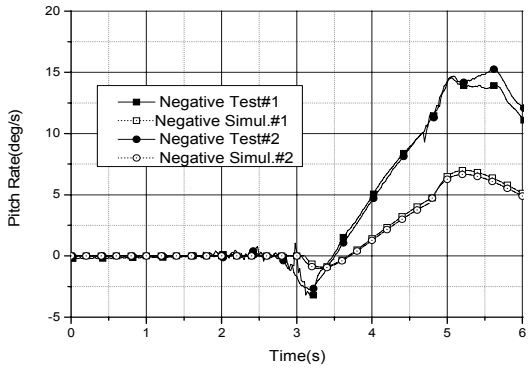

그림 9. 음성부력체 초기 종동요각 변화율 비교

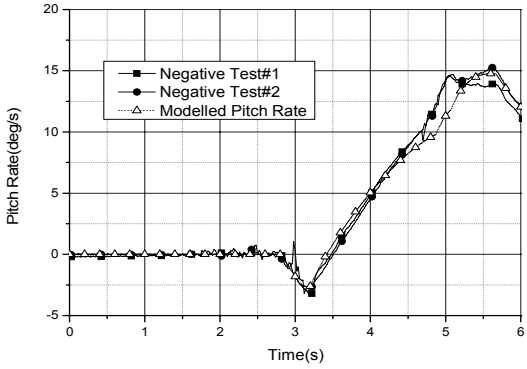

그림 11. 음성부력체 종동요각 변화율 모델링

용하였으며 #3의 결과는 수정된 모델 검증용으로 사용하였다.

그림 7은 동일한 음성부력체에 대해서 플랫폼 이동속도와 플랫폼 이탈 시 목표 상대속도 및 자세각을 달리했을 경우에 대한 시험결과와 시뮬레이션 결과에서 속도를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 시험결과와 시뮬레이션 결과가 서로 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 따라서 적절한 모델링이 이루어진 것으로 판단하였다.

한편, 그림 8은 종동요각 비교를 나타낸다. 음성부력체가 플랫폼을 이탈한 후 약 3초 만에 종동요각 차이가 10도를 넘어서는 것을 알 수 있으며 이렇게 큰 오차가 나타나는 이유는 구속모형시험 시 계측할 수 없었으며, 따라서 시뮬레이션의 종동요각 모델링에 반영되지 않는 외력 성분이 있기 때문인 것으로 추정되었다. 오차 원인 분석을 위해 그림 9와 같이 종동요각 변화율을 비교하였다.

종동요각 변화율 비교 결과, 시험결과는 시뮬레이션 결과와 몇 가지 측면에서 다른 양상을 보인다. 우선, 플랫폼 이탈 직전에 음의 종동요각 변화율이 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 음성부력체가 플랫폼을 완전히 이탈하기 전에, 즉 몸체의 뒷부분은 플랫폼에 끼어 있고 앞부분이 머리를 내민 상황에서 몸체에 작용하는 음성부력에 의해 나타난 현상으로 파악되었다.

다음으로, 플랫폼 이탈 후부터 중량물 분리 이전까지 매우 큰 종동요각 변화가 일어나는 것을 알 수 있다. 이는 후미부가 무딘 형상(blunt shape)인 운동체의 경우 사출에 사용된 공기가 자연스럽게 확산되지 않고 일부가 후미부에 매달려 뒤따라가는 현상, 즉 추종공기에 의한 영향인 것으로 파악되었다. 이는 그림 10에 나타낸 비교 모형실험에 의해 확인할 수 있다. 두 모형은 후미부를 제외한 모든 형상이 동일하며, 위 그림은 후미부가 매끈한 형상이고 그림 10은 무딘 형상인 모형이 압축공기에 의해서 사출되는 모습이다. 매끈한 형상의 경우는 추종공기가 전혀 없으며 무딘 형상의 경우는 많은 양의 공기가 후미에 붙어서 상당 시간 동안 쫓아가는 현상이 나타났다.

추종공기에 의한 유동 교란 현상을 해석하는 것은 2상 유동 문제를 해석하는 문제로 귀결되므로 본 연구에서는

해상시험결과를 근사할 수 있는 단순 수학 모델을 시뮬레이션 모델에 추가하는 것으로써 이를 대신하였다(Dyment, 1998). 추종공기 영향은 물체가 수면에 도달할 때까지 지속된다고 가정하였으며 이 과정을 거쳐 얻어진 종동요각 변화율 모델링 결과는 그림 11과 같다. 수정된 종동요각 모델링에는 플랫폼 이탈 직전의 종동요각 감소 현상도 포함되어 있다.

2.5 시험결과와 시뮬레이션 결과 비교

CFD 계산을 통해 구한 계수와 추종공기 영향 모델링을 반영한 프로그램을 개발한 후 이를 이용한 시뮬레이션 결과를 동일한 음성부력체에 대한 새로운 시험결과와 비교하였으며 이를 그림 12 ~ 그림 14에 나타내었다. 이 때 사용한 초기 조건은 표 1의 #3과 같다.

시뮬레이션을 수행한 결과 그림 12의 속도는 약간의 오차를 보이는 반면에 그림 13의 종동요각, 그림 14의 심도는 비교적 정확한 예측이 가능함을 확인할 수 있었다.

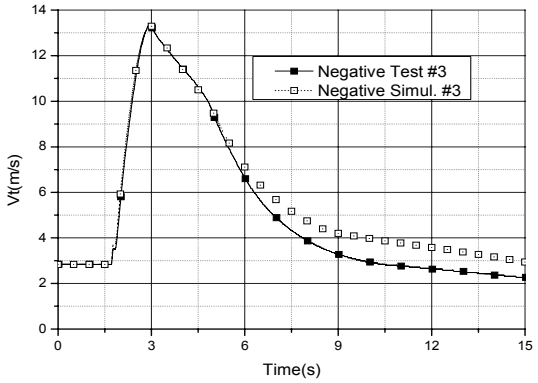

그림 12. 음성부력체 속도 예측

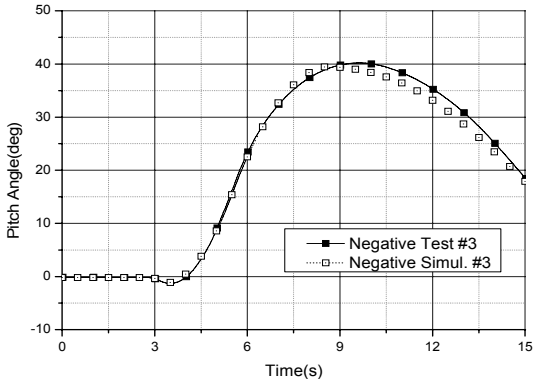

그림 13. 음성부력체 종동요각 예측

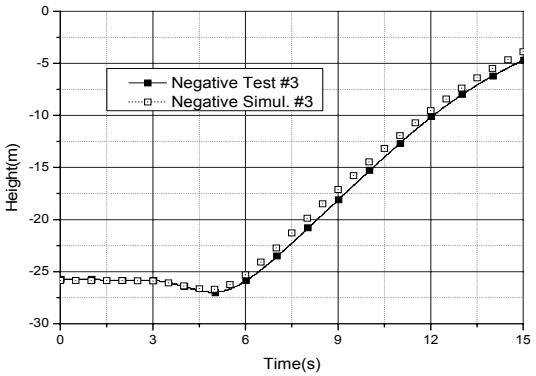

그림 14. 음성부력체 심도 예측

속도 예측에 오차가 생기는 이유는 형상 변화에 따른 저항계수 모델링을 별도로 하지 않고 기존 모델을 사용한 데에서 기인하는 것으로 판단된다.

3. 양성부력체 수중거동 해석

3.1 사출초기 거동 해석 및 종동요각 모델링

양성부력체의 수중거동, 특히 사출초기 거동에 대한 해석은 이것을 음성부력체 대신 훈련용으로 사용할 수 있다는 측면에서 중요하다. 음성부력체의 수중운동 예측에 사용했던 모델이 양성부력체에 대해서도 사용 가능한지 여부를 확인하기 위해서 표 2와 같은 초기 조건을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 이 때 사용한 양성부력체의 중량은 음성부력체 중량의 80% 값을 가진다.

그림 15는 양성부력체 사출조건 #1에 대한 시험결과와 시뮬레이션 결과의 속도 값 비교를 나타낸다. 음성부력체에서는 일정 오차를 수반했던 속도 모델링이 양성부력체에 대해서는 정확한 추정을 하는 것을 확인할 수 있다.

한편, 종동요각 변화율은 그림 16에서 알 수 있는 것처럼 사출 후 일정 시간 동안 양의 값을 유지하는데, 음성부력체와는 달리 종동요각이 음수 값을 가지는 현상, 즉 운동체의 머리 부분이 일시적으로 아래로 향하는 현상은 나타나지 않는 것으로 확인되었다. 또한, 음성부력체의 경우는 종동요각 변화율이 사출 조건에 큰 영향을 받지 않고 일관된 경향을 보였던 반면에 양성부력체의 경우는 변화폭이 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

따라서 이 경우는 각각의 사출 조건에 맞는 종동요각 모델이 필요할 것으로 판단되지만 한정된 시험회수로 인하여 사출조건과 종동요각변화율 사이의 상관관계를 정확히 도출하기에는 한계가 있다. 그러므로 추종공기 영향

표 2. 수학 모델 검증용 양성부력체 사출 조건

순번	#1	#2	#3
플랫폼 이동속도(m/s)	4.27	2.14	2.11
이탈 시 희망 상대속도(m/s)	10.50	13.00	13.00
초기 자세각(deg)	0.58	-0.05	0.11

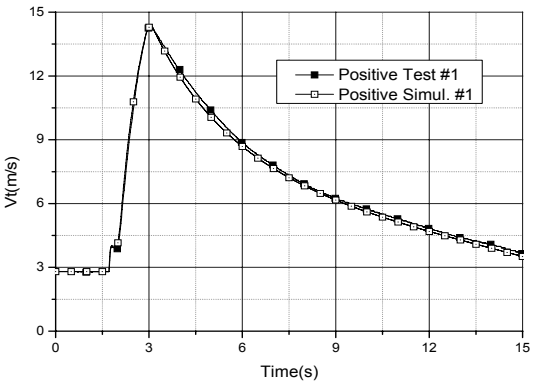

그림 15. 양성부력체 속도 예측

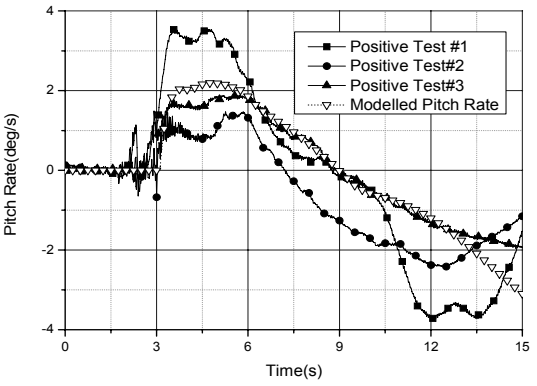

그림 16. 양성부력체 종동요각 모델링

모델링에 음성부력체의 경우처럼 단일 모델을 이용하기로 하였으며 이 결과를 그림 16에 시험결과와 같이 표시하였다.

3.2 시험결과와 시뮬레이션 결과 비교

앞 절에서 얻은 모델링 결과를 적용하여 사출조건 #1에 대한 시뮬레이션을 다시 수행하였으며 이 결과를 그림 17과 그림 18에 나타내었다.

심도 변화에 대해서는 비교적 정확한 예측을 하고 있는 데 반해서 종동요각 변화에 대해서는 비교적 큰 예측

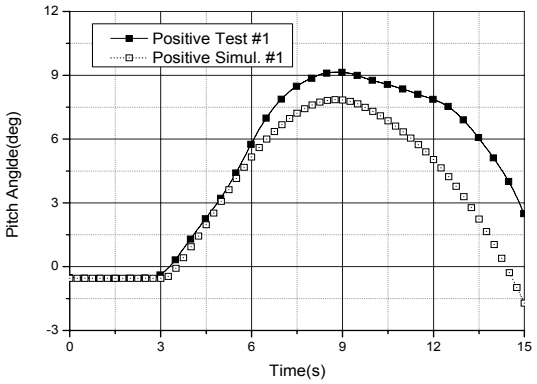

그림 17. 양성부력체 종동요각 예측

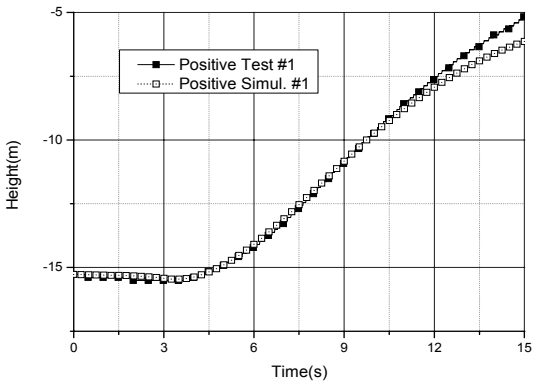

그림 18. 양성부력체 심도 예측

오차를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 세 차례 수행된 사출시험결과에서 서로 경향과 크기가 다른 추종공기 영향을 하나의 수학 모델로 모델링한 점에 기인하는 것이며, 정확한 모델링을 위해서는 추가 연구가 필요한 것으로 나타났다.

3.3 음성부력체와 양성부력체의 거동 비교

앞의 결과를 바탕으로 동일 사출 조건에서의 양성부력체와 음성부력체의 결과를 비교하였다. 이 때 사출속도를 서로 같게 하기 위해서 음성부력체에 사용했던 사출압력 데이터에 적정한 인자를 곱한 데이터를 양성부력체의 사출압력으로 사용했다. 플랫폼 이동속도는 2.0m/s로, 초기 자세각은 0도로 가정하였다.

시뮬레이션 결과, 그림 19에 나타난 것처럼 중량물이 분리되는 시점 이후부터 속도 차이가 커지게 되는데 이는 임무 종료 후 음성부력체와 양성부력체의 형상이 달라지는 데에서 기인하는 것으로 판단된다. 한편, 수면 부상 시

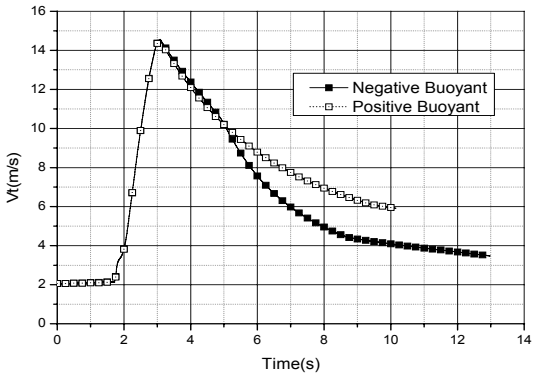

그림 19. 음성-양성부력체 속도 비교

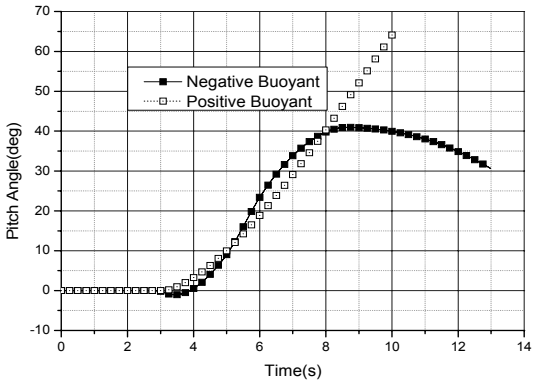

그림 20. 음성-양성부력체 종동요각 비교

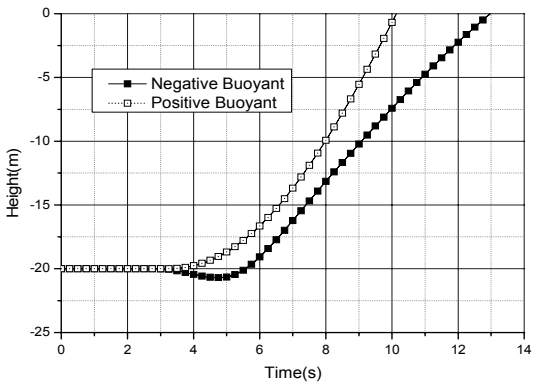

그림 21. 음성-양성부력체 심도 비교

종동요각은 그림 20으로부터 약 35도의 차이를 보여주는 것을 알 수 있으며 부상 시간은 그림 21과 같이 해당 수심에서 3초 정도 차이를 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 각각 음성, 양성부력을 갖는 두 종류의 운동체가 수중에서 사출된 이후 수면에 부상할 때까지의 수중거동에 대한 해석을 수행하였다. 음성부력체에 형상변화가 생긴 경우 기존의 운동방정식에서 일부 계수만을 새로운 형상에 대한 것으로 교체했을 때의 시뮬레이션 결과를 시험결과와 비교 검증하였다. 수학적 모델링으로는 한계가 있는 사출 초기 거동에 대해서는 시험결과를 바탕으로 한 모델링을 추가함으로써 시뮬레이션의 정확도를 높였다. 분석 결과 양성부력체의 수중거동은 음성부력체의 그것과 어느 정도 차이를 보였다. 훈련이 끝난 후 회수가 중요하다는 운용 측면에서 봤을 때, 종동요각 차이와 부상 속도 차이는 큰 문제가 되지 않을 것으로 나타났다. 그러나 사출 초기 거동은 두 운동체가 확연하게 다르므로 운용 목적에 따라 두 종류의 운동체를 선택적으로 사용하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김민재(2010), "기저부를 갖는 축대칭 수중운동체의 저항 예측에 관한 수치적 연구", *한국군사과학기술학회지*, 제3권, 제3호, pp. 372-377.
2. 김원제, 신용재(2001), *국내개발 부양장치 정비 및 시험*, NSDC-519-010615, 국방과학연구소, pp. 1-2.
3. 박성희, 김찬기(1990), *수중유도무기에 대한 운동방정식과 좌표*, NSRD-513-90377, 국방과학연구소, pp. 14-15.
4. 신용구, 김선영(1999), *몰수체에 대한 회전팔 시험*, NSDC-513-991075, 국방과학연구소, pp. 13-15.
5. 신지환, 김동훈, 김찬기(2011), "강제선회시험을 통한 수중운동체 유체력 계수 추정", *2011 한국군사과학기술학회 종합학술대회지*, pp. 2164-2167.
6. Dyment, A., Flodrops, J.P., Paquet, J.B. and Marchand, D.(1998), "Gaseous cavity at the base of an underwater projectile", *Aerospace Science Technology*, Vol. 2, Issue 8, pp. 489-504.
7. Fossen, T. I. (1994), *Guidance and Control of Ocean Vehicles*, John Wiley & Sons Ltd., New York, pp.48-50.
8. Fossen, T. I. (2002), *Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles*, Marine Cybernetics AS, Trondheim, pp.57-62.
9. Lewis, E.V., Ed. (1988), *Principles of Naval Architecture vol III: Motions in Waves and Controllability. third ed.*, Society of Naval Architecture and Marine Engineers, New York, pp.193-194.

10. Santhakumar, M., Asokan, T. and Sreeram, T. R. (2009), "Analysis of Parameter Sensitivity Using Robust Design Techniques for a Flatfish Type Autonomous Underwater Vehicle", *International Journal of Quality, Statistics, and Reliability*, Volume 2009, pp.1-10.

안 진 형 (posthvn@hanmail.net)

1990 서울대학교 조선해양공학과 학사
1992 서울대학교 조선해양공학과 석사
2005 서울대학교 조선해양공학과 공학박사
2006～현재 국방과학연구소 연구원

관심분야 : 모델링&시뮬레이션

정 찬 희 (jchdream@gamil.com)

1989 전남대학교 기계공학과 학사
1999 부산대학교 정밀기계공학과 석사
1990～현재 국방과학연구소 연구원

관심분야 : 모델링&시뮬레이션