

압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 특성에 대한 수치해석

김태호 · 양경욱*

전남대학교 해양기술학부

Numerical analysis on the submerging characteristics of submersible fish cage system operated by compressed air

Tae-Ho KIM and Kyong-Uk YANG*

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Jeonnam 550-749, Korea

Numerical modeling was used to evaluate the submerging characteristics of the submersible fish cage system operated by compressed air. The submerging characteristics calculated by numerical analysis as the cage was moved up and down were nearly identical to existing experiment results. Thus, the numerical model proposed in this study could be very useful in analyzing various parameters required for optimizing the design of a submersible fish cage system operated by compressed air.

Key words : Submersible fish cage system, Submerging characteristics, Compressed air, Numerical analysis

서 론

최근 양식 시설의 연안역 집중에 따른 해역의 생태·어장 환경적 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 대안의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 내만에 집중적으로 시설되어 있는 해면 어류 양식 시설은 수질 조건이 비교적 양호하여 높은 생산성이 기대되는 외해역으로 이동이 점차 이루어지고 있다.

그러나 기존 가두리 양식 시설은 대부분 목재로 제작된 사각형 프레임 아래에 스티로폼 뜬을

묶어서 부력을 유지하는 뗏목형 구조에 우리형 그물이 설치되었기 때문에 태풍이나 높은 파도에 매우 취약하여 외해용 시설로는 부적합하다.

따라서 외해에서 고품질 어류 해면 어류를 지속적으로 생산하기 위해서는 파도와 강한 조류 등의 해상 조건에서도 어류를 안전하게 양식할 수 있는 새로운 가두리 시설의 개발이 필요하다.

외해에서 파랑에 의해 가두리 시설에 작용하는 힘을 경감시키는 방법의 하나로서 표면에 시설된 가두리 시설을 파랑의 영향이 작은 수층까

*Corresponding author: yangku@chonnam.ac.kr Tel: 82-61-659-3134 Fax: 82-61-659-3139

지 침하시켜 시설물 및 양식 어류를 보호하고 다시 원래의 수면까지 부양시킬 수 있는 부침식 가두리 시설의 개발에 관한 연구가 양식 선진국에서 활발하게 수행되었다(Beveridge, 2004). 그 결과 일본, 노르웨이, 스웨덴 등에서는 압축공기의 배기와 주입에 의해 시설물의 하강(침하)과 상승(부양)이 이루어지는 부침식 가두리 시설이 개발되어 실용화 되었다. 그리고 우리나라에서도 이 시설의 개발을 위해 Kim and Shin(1996)과 Kim et al.(1998, 1999)이 압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능에 대한 연구를 수행하였으나, 모형 및 실물을 대상으로 해상에서 현장 실험을 실시하였기 때문에 실험 여건 상 하강 및 상승 시 소요되는 시간 외에 이 시설의 설계에 필요한 부침 기능의 다른 특성은 거의 규명할 수가 없었다.

따라서 이 연구에서는 압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 수치해석을 위해 모델링 식을 제안하여 그 유용성을 확인하고 기존 실험 결과에서 측정된 값과 비교하여 수치해석 프로그램의 정확도를 판단하고자 한다. 또한 현장 실험에서 측정하지 못한 이 시설의 부침 특성을 조사하고, 그 원인들에 대해 고찰하고자 한다.

재료 및 방법

부침식 가두리 시설의 구조

이 연구에서 대상으로 하는 부침식 가두리 시설은 압축공기의 배기와 주입에 의해 시설물의 침하 및 부양(Kim et al., 1998; 1999)이 이루어지는 것으로서, 그것의 구조와 압축공기의 주입 시스템은 Fig. 1과 같다. 즉 부침식 가두리 시설은 프레임, 그물, 천장그물(cover net) 예비부력 뜬과 부침 뜬, 압축공기를 발생시키는 동력 발생장치, 압축공기의 유량을 조절하는 밸브, 압축공기를 이송하는 관로 등으로 구성된다. 특히 정사각형 사다리꼴의 프레임 아래쪽에 고강도 PVC로 된 원통형 예비부력 뜬과 부침 뜬을 각 변에 1개씩 서로 대칭되게 시설하여 가두리 시설이 균

형 있게 부침할 수 있도록 되어 있다. 또한 부침 뜬은 Fig. 2와 같이 상부에는 주배기 호스가, 하부에는 주배수관이 부착되어 있기 때문에 공기 압축기에 의해서 생성된 압축공기가 주배기 호스를 통해 뜬의 내부로 주입되어 충입되면 부력을 갖게 되고, 압축공기를 배기하면 주배수관을 통해 해수가 유입되어 가두리 시설에 중력(침강력)이 발생하게 된다. 한편 수치해석에 사용된 부침식 가두리 시설은 모형 및 실물의 2종류로서, 모형은 그 크기가 가로 3m, 세로 3m 및 그물의 깊이가 6m이며, 실물은 가로 8m, 세로 8m 및 그물의 깊이가 6m이다. 또한 부침식 가두리 시설이 수중으로 하강 시 모형과 실물의 침하 목표 수심은 각각 3.5m와 6.2m이며, 이들 가두리 시

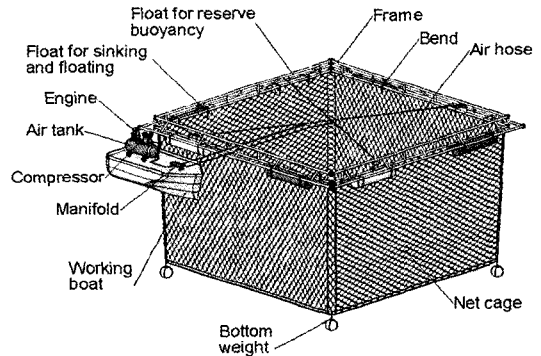


Fig. 1. Submersible fish cage system and the air supplier used in the numerical analysis(Kim et al., 1998).

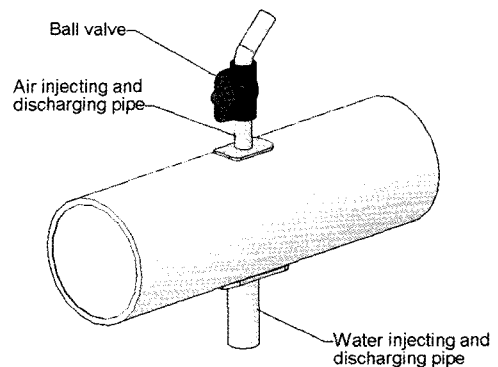


Fig. 2. Structure of float used for sinking and floating (Kim and Shin, 1996).

설과 주변 장치의 치수 및 사양은 Kim et al.(1998, 1999)이 실험한 것과 동일하다.

수치해석의 가정

앞에서 언급한 바와 같이 이 연구에서 대상으로 하는 부침식 가두리 시설은 해상에서 수직 방향으로 자유롭게 이동할 수 있는 구조로서, 본체에 작용하는 중력과 여기에 작용하는 부력의 차이에 의하여 수직 방향으로 이동된다. 즉, 수면에 부상 중인 가두리 시설이 수중으로 하강하는 경우에는 부침 뜸 안에 있던 압축 공기를 배출시킴과 동시에 해수가 들어오며, 이로 인해 가두리 시설의 무게가 증가되어 부력보다 중력 방향의 힘이 커짐으로 인해 하강하게 된다. 반면, 수중에 있는 가두리 시설이 수면 쪽으로 상승하는 경우에는 부침 뜸에 압축공기를 공급하면 그것에 채워져 있던 해수를 배출시켜 무게를 감소시킴으로써 가두리 시설에 작용하는 중력 방향의 힘보다 부력을 크게 할 수가 있다.

이와 같은 가두리 시설의 작동 원리를 고려하면 가두리 시설에 작용하는 중력과 부력에 영향을 미치는 요소는 크게 압축공기의 공급 압력, 밸브를 통과하는 유량, 가두리 시설 자체의 무게, 예비 부력 뜸과 부침 뜸의 형상 및 부침 뜸의 수직 위치에 따른 해수와 압축공기의 압력차 등이 있다.

따라서 압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능에 대한 수치해석을 수행하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다.

- ① 압축공기의 공급 압력은 일정하다. 즉, 부침 뜸 내의 해수와 공기 압력의 압력차에 관계없이 공급압력은 항상 일정하다.
- ② 압축공기의 공급원과 부침 뜸까지 관로에서 발생하는 압력 강하는 무시한다.
- ③ 압축공기의 온도는 항상 일정하다.
- ④ 가두리 시설의 동적 반응 속도에 비하여 밸브의 작동 시간이 매우 빠르므로, 밸브의 동적 특성은 무시한다.

⑤ 가두리 시설의 상승 및 하강 속도가 그다지 빠르지 않으므로 그것에 부착된 부품의 형상에 대한 항력계수의 영향은 작은 것으로 간주한다.

⑥ 가두리 시설에 작용하는 파랑, 흐름 등에 의한 수평 및 수직 방향의 힘은 무시한다.

부침 뜸에 작용하는 부력

부침식 가두리 시설의 부침 뜸에서 발생하는 수직 방향의 힘은 부침 뜸 내 해수의 양과 압축 공기의 양 사이의 상호 작용에 의하여 발생된다. 즉, 부침 뜸 내 해수의 높이와 압축공기의 높이에 의해 무게가 변화함으로써 중력 및 부력이 변화하며, 부침 뜸의 단면 모양이 둥근 원이므로 그 반원의 단면적 $A_{cir}(m^2)$ 은 다음 식으로 구할 수가 있다.

$$A_{cir} = \frac{D^2(\pi \times \theta / 180 - \sin \theta)}{8} \quad (1)$$

여기서, $D(m)$ 는 부침 뜸 단면의 지름이며 $\theta(deg)$ 는 부침 뜸 단면의 중심에서 호의 높이에 따른 각도를 의미한다. 그리고 반원 이상의 면적을 구할 때는 (1)식의 계산 결과를 역순하여 구하였다.

또한 부침 뜸을 일정한 깊이까지 유지하는데 필요한 힘은 압축공기 부분의 부력과 같으므로, 부력 $F_{cir}(N)$ 은

$$F_{cir} = \gamma h \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

이며, $\gamma(N/m^3)$ 는 공기의 비중량, $h(m)$ 는 물속에서의 부침 뜸의 깊이이다.

그리고 부침 뜸 안에 있는 공기는 등온변화하므로 대기압을 $P_{am}(N/m^2)$, 부침 뜸의 높이를, h_{cir} , 부침 뜸 내 압축공기의 높이와 압력을 각각 $h_{air}(m)$, $P_{supply}(N/m^2)$ 라 하면 (2)식은

$$P_{am} \frac{\pi D^2}{4} h_{cir} = P_{supply} \frac{\pi D^2}{4} h_{air} \quad (3)$$

으로 변환된다. 따라서 부침 뜸 내 압축된 공기

의 압력 P_{supply} 는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{supply} = P_{am} + \gamma[h - (h_{cir} - h_{air})] \quad (4)$$

또한, (2), (3) 및 (4)식에서 P_{supply} 와 h_{air} 를 소거하고 정리하면, 부침 틈을 일정한 깊이로 유지할 수 있는 부력은 (5)식으로 구할 수 있다.

$$F_{cir} = \frac{\pi D^2}{8} [-\{P_{am} + \gamma(h - h_{cir})\} + \sqrt{\{P_{am} + \gamma(h - h_{cir})\}^2 + 4\gamma P_{am} h_{cir}}] \quad (5)$$

부침 틈에 공급되는 압축공기의 양

오리피스나 교축에 흐르는 유량은 그 상류 측과 하류 측의 압력 관계와 유로의 크기로서 결정된다. 그리고 오리피스나 교축의 공기 유동 능력은 유효 단면적으로 표시되는데, 이 연구에서는 관로의 단면적을 사용하고자 한다. 특히 공기가 유효 단면적을 가진 기기를 지날 때, 상류 측과 하류 측의 압력 관계 변화에 의해서 공기 흐름이 달라진다. 따라서 밸브를 통과하는 공기 유속이 음속과 아음속 흐름으로 구별하여 나타내어야 한다.

일반적으로 음속과 아음속 흐름의 임계 압력비는 아래의 식(Frank, 1990)으로 나타내며,

$$\frac{P_{low}}{P_{high}} = 0.528 \quad (6)$$

압력비가 임계압력비보다 클 경우에는 음속 흐름이 되고, 작을 경우에는 아음속 흐름이 된다. 따라서 밸브를 지나는 공기의 유량은 다음 식(Frank, 1990)으로 나타낼 수 있다.

$$Q = 11.1 \cdot A_{valve} \cdot P_{high} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (7)$$

이며, 아음속 흐름일 경우에는

$$Q = 22.2 \cdot A_{valve} \cdot \sqrt{(P_{high} - P_{low})P_{low}} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (8)$$

이다. 여기서, $P_{high}(m^3/min)$ 는 체적 유량, (N/m^2) 는 상류 측의 절대압력, $P_{low}(N/m^2)$ 는 하류 측의 절대압력, (m^2) 는 밸브의 유효 단면적, (K) 는 공기의 절대온도를 나타낸다.

부침식 가두리 시설의 운동 방정식

앞에서 기술한 바와 같이 부침식 가두리 시설의 부침 틈에 공급되어지는 압축공기의 유량과 압력에 의하여 가두리 시설의 수직 방향과 속도가 결정되어진다. 따라서 밸브를 통과한 공기 유량 (7) 및 (8)식은 부침 틈 내에서 아래와 같이 변환(Herbert, 1967)될 수 있다.

$$Q = \frac{dV}{dt} + \frac{V}{\beta_{air}} \frac{dP_{supply}}{dt} \quad (9)$$

여기서, $V(m^3)$ 는 부침 틈 내 체적, $\beta_{air}(N/m^2)$ 는 공기의 체적 탄성 계수이다. 그리고 (9)식을 적분하면 부침 틈 내에 작용하는 압축공기의 압력을 구할 수가 있다.

한편, 압축공기의 공급과 배출에 따라 부침 틈 내 해수가 배출되거나 그곳으로 공급되는데, 이때 해수의 유량은 압축공기와 가두리 시설의 수직 위치에 따른 해수 압력의 변화로써 아래와 같이 계산할 수 있다(Herbert, 1967).

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P \quad (10)$$

여기서, $r(m)$ 과 $L(m)$ 은 배출 관로의 반지름과 길이, $\mu(Ns/m^2)$ 는 해수의 점성계수, $\Delta P(N/m^2)$ 는 압축공기와 해수 압력차의 변화를 나타낸다.

그런데, 가두리 시설이 수직 상승 및 하강할 때에는 그것의 형상에 따라 항력이 다르기 때문에, 이 연구에서는 아래의 식(John et al., 1960)을 이용하여 가두리 시설의 항력을 계산하였다. 이 경우 항력계수는 수치해석을 통해 시행착오적으로 조정하면서 최적의 값을 선택하였다.

$$F_d = C_d A_{cir} \frac{\rho_{water} v^2}{2} \quad (11)$$

여기서, C_d 는 항력계수, $A_{cir}(m^2)$ 은 부침 뜬의 투영 면적, $\rho_{water}(kg/m^3)$ 는 해수의 밀도, $v(m/s)$ 는 가두리 시설의 수직 상승 및 하강 속도이다.

결국, 압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 운동 방정식은 압축공기의 공급에 따른 부침 뜬의 무게 변화에 의하여 중력과 부력의 차이가 발생한다. 그 결과, 가두리 시설이 수직적으로 상승 및 하강 운동을 하게 됨으로 이것의 운동 방정식은 다음과 같은 식으로 표현하였다.

$$M_{total} \frac{dv}{dt} = -M_{total} \cdot G + \rho_{water} \cdot V \cdot G \pm C_d \cdot A_{cir} \cdot \frac{\rho_{water} v^2}{2} \quad (12)$$

여기서, $M_{total}(kg)$ 은 가두리의 전체 질량, $G(m/s^2)$ 는 중력 가속도를 나타낸다. 그런데 오른쪽 항 중 제3항의 항력은 방향을 고려하여 가두리 시설이 하강하는 경우에는 양(+), 상승하는 경우에는 음(-)의 방향으로 선택된다. 또한 가두리 시설의 전체 질량은 밸브를 통과한 압축공기와 해수의 입·출력에 의해 항상 변화하기 때문에 이 시설의 동특성에 크게 영향을 미친다.

부침식 가두리 시설의 수치해석

수치해석에 사용된 각 계수들은 Kim et al.

(1998, 1999)이 실측에서 얻은 것을 그대로 사용하였으며, 실측에서 얻을 수 없는 계수 값들은 계산 결과를 근거로 하여 시행착오적 방법으로 구하였다. 그리고 식(12)의 미분 방정식은 Runge-Kutta 4계 방법(Steven and Raymond, 1988)에 의해 계산되었다. 또한 모형 및 실물 부침식 가두리 시설의 침하 및 부양 시 공기탱크의 초기 공기압은 각각 1274.87kPa와 882.60kPa로 Kim et al.(1998, 1999)이 수행한 해상 실험의 그것과 동일하게 하였다.

결과 및 고찰

Fig. 3은 모형 부침식 가두리 시설의 침하 및 부양 시 시간에 따른 가두리 시설의 하강 및 상승 깊이를 나타낸 것이다. 이것에서 보면, 수치해석에 의해 구해진 부침식 가두리 시설의 침하 및 부양에 소요된 시간이 Kim et al.(1998)이 실험에서 구한 값과 매우 근사하게 나타난 것을 알 수 있다. 먼저 가두리 시설이 수중으로 하강하는 경우 5-10초 사이에서 하강 깊이의 변곡점을 확인할 수 있다. 이와 같은 현상은 침하식 가두리 시설의 하강 속도를 나타낸 Fig. 4(a)에서도 잘 나타나 있다. 이것에서 보면, 5-10초 사이에는 하강 속도의 특이점이 있으나, 그 이후에는

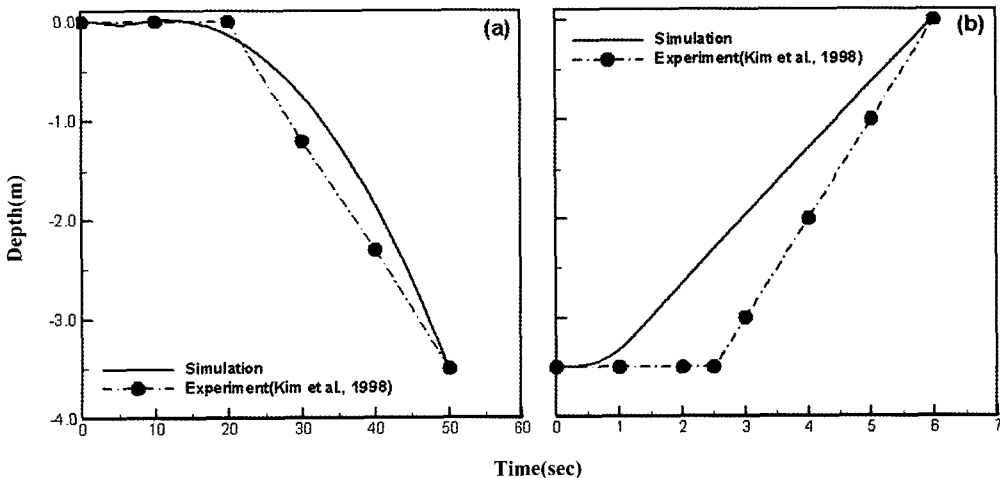


Fig. 3. Time required for lowering to 3.5m(a) and raising to surface(b) in the model submersible fish cage.

하강 속도가 증가하고 있다. 그리고 (12)식에서 확인한 바와 같이, 이 연구에서 사용된 부침식 가두리 시스템은 전체적으로 1차 지연 요소로 볼 수 있으며, 이것은 실험과 수치해석의 결과로써 확인할 수가 있다. 즉, 압축 공기가 부침 뜰에서 배출되어도 약 20초까지는 가두리 시설에 작용하는 부력이 중력보다 크므로 가두리 시설이 수면 위에 그대로 위치해 있으나, 그 이후에는 서서히 중력이 커져서 약 30초 경과 후에 그것은 침하 목표 지점인 3.5m에 도달한다. 그런데 이

과정에서 초기에 약간의 흔들림 현상이 발생하였는데, 이것은 압축공기의 체적 탄성계수에 의해 압축이 해제되면서 순간적으로 해수가 급격히 유입되기 때문이라고 생각된다. 이것은 Fig. 4(a)의 가두리 시설의 초기 속도 변화와 Fig. 5(a)의 압축 공기의 초기 압력 변화에서도 확인할 수가 있다. 그리고 침하된 부침식 가두리 시설이 수중에서 수면으로 상승하는 경우, Fig. 4(b)에서 그것의 상승 속도가 약 1.5초 이후에 일정한 값을 유지하고 있는데, 이것은 가두리 시설 자체의

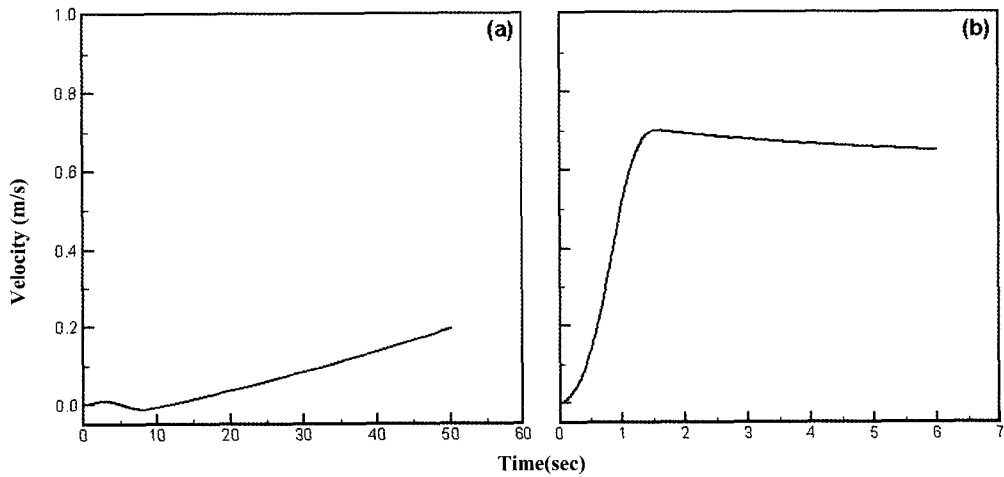


Fig. 4. Time history of velocity for the model submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

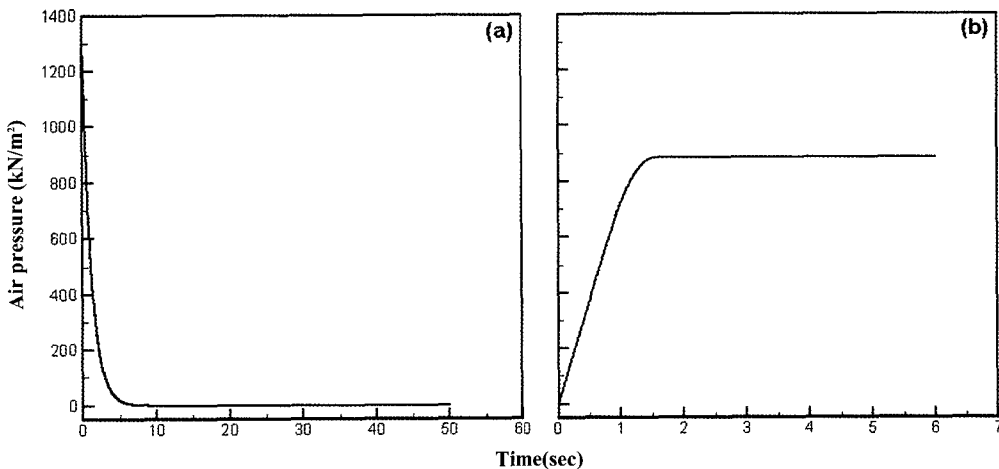


Fig. 5. Time history of air pressure for the model submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

역학적 힘의 평형에 의해 상승되기 때문이라고 판단된다. 즉, 부침 뜬에 들어가는 공기의 유량과 빠져 나오는 해수의 유량을 표시한 Fig. 6(b)와 Fig. 7(b)를 보면 약 1.5초 이내에 부침 뜬에 가해지는 공기와 해수 유량의 교환이 이루어지는 것을 확인할 수가 있다.

Fig. 5는 모형 부침식 가두리 시설의 하강 및 상승 시의 공기 압력을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보면, 부침 뜬의 공기 압력 상승 변화가 하강 시의 그것보다 완만한 경사를 이루고 있는데, 이것은 부침 뜬 내 해수의 압력이 존재하여 배압이 발생되고 이로 인해 유량이 상대적으로 급격히 들어 갈 수 없기 때문이라고 사료된다.

Fig. 6의 부침 뜬에서 빠져나오는 압축 공기의 양과 Fig. 7의 부침 뜬으로 들어가는 해수의 양을 비교해 보면, 초기의 3초 정도까지는 해수가 부침 뜬으로 유입되지 못하는 현상이 발생하고 있다. 그 이유는 압축공기의 압축률에 의해 벨브가 열리는 동시에 압력이 떨어지지 않기 때문이다. 이와 같이 압축 공기의 배출 시간과 해수의 유입 시간이 차이가 나는 것은 압축 공기의 배출에 비해 해수의 유입이 늦어지기 때문이며, 해수 유입관의 지름을 보다 크게 하면 이 시간 차이를 짧게 할 수 있을 것으로 사료된다. 다만, 해수 유

입관의 지름이 너무 크면 압축 공기와 해수의 압력 차이가 짧아져 부침식 가두리 시설이 수면으로 상승할 때 급격한 속도 변화가 예상된다. 한편, 해수의 흡입량은 압축공기의 압력 변화보다는 흡입관의 지름에 보다 직접적으로 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. Fig. 6(b)에서 부침 뜬에 들어가는 공기의 유량이 초기에 일정한 것은 부침 뜬의 체적에 비하여 공급되어지는 압축 공기의 압력과 관로의 지름이 작기 때문이다. 따라서 압축 공기의 공급 압력과 배관의 지름에 의해 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 상승 속도가 좌우되므로 이것을 설계하는 과정에서 이를 신중히 검토해야 것으로 사료된다.

Fig. 7은 모형 부침식 가두리 시설의 부침 뜬에서 해수가 배출되는 유량을 나타낸 것이다. 이것에서 보면, 가두리 시설의 하강 시 배출되는 유량에 비해 해수가 빠른 속도로 빠져나가는 것을 알 수 있는데, 이것은 해수와 압축 공기의 압력 차에 의하여 진행되기 때문이다. Fig. 7(a)에서 보면, 부침 뜬에 들어오는 해수의 양이 약 6초를 중심으로 양쪽에서 서로 평형을 이루는 것을 볼 수 있는데, 이것은 부침 뜬에 들어오는 해수의 양이 일정하나 부침 뜬의 단면적 변화에 의하여 중심에는 단위 시간에 따라 면적이 크고, 중심을

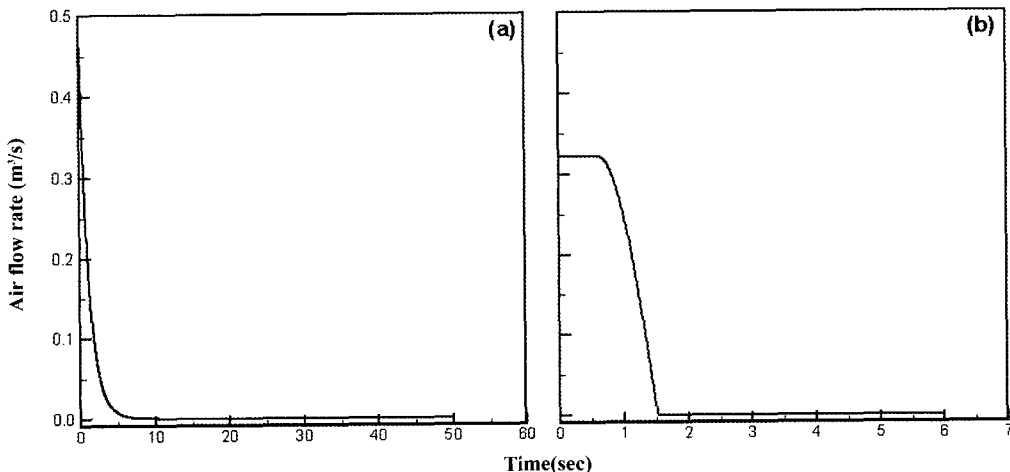


Fig. 6. Time history of air flow rate for the model submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

벗어남에 따라 단위 시간에 따른 면적이 작아지기 때문이다. 따라서 부침 뜸의 단면 모양을 사각형으로 할 경우에는 단위 시간당 해수의 유입을 일정하게 할 수 있을 것으로 예상된다.

따라서 가두리 시설이 수면으로 상승할 때는 수중으로 하강할 때보다 차압에 의해 부침 뜸 내 해수와 압축 공기의 교환에 더욱 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며, 부침식 가두리 시설의 설계 시 시설물의 상승과 하강의 경우 압축 공기의 압력과 해수 배출관 지름의 크기를 다르게 해야 할

것으로 사료된다. 결국, 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 수직 하강에 크게 좌우되는 요소는 유입되는 해수의 양과 부침 뜸에 공급되는 압축 공기 압력의 영향에 의해 좌우될 것으로 판단된다.

Fig. 8은 실물 부침식 가두리 시설의 침하 및 부양 시 시간에 따른 하강 및 상승 깊이를 나타낸 것이다. 이것에서 보면, 수치해석의 결과와 실험 결과(Kim et al., 1999)가 거의 같게 나타난 것을 알 수 있다. 먼저 가두리 시설이 수면에서

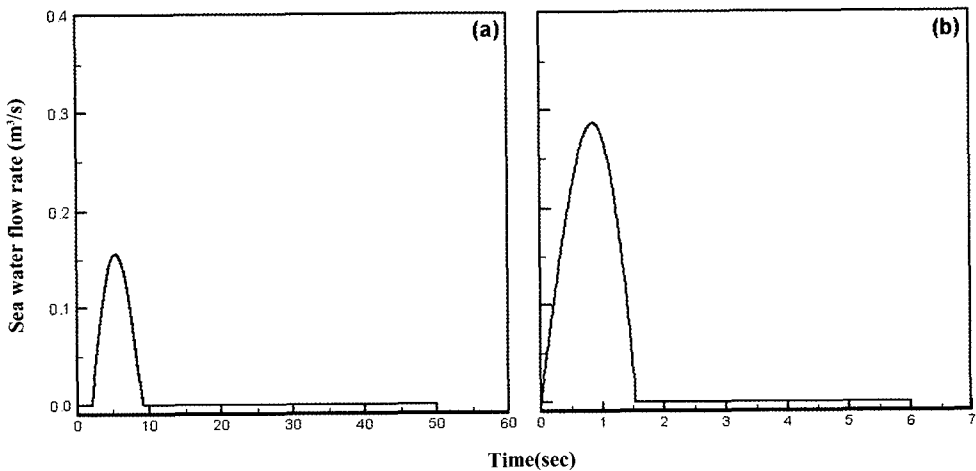


Fig. 7. Time history of sea water flow rate for the model submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

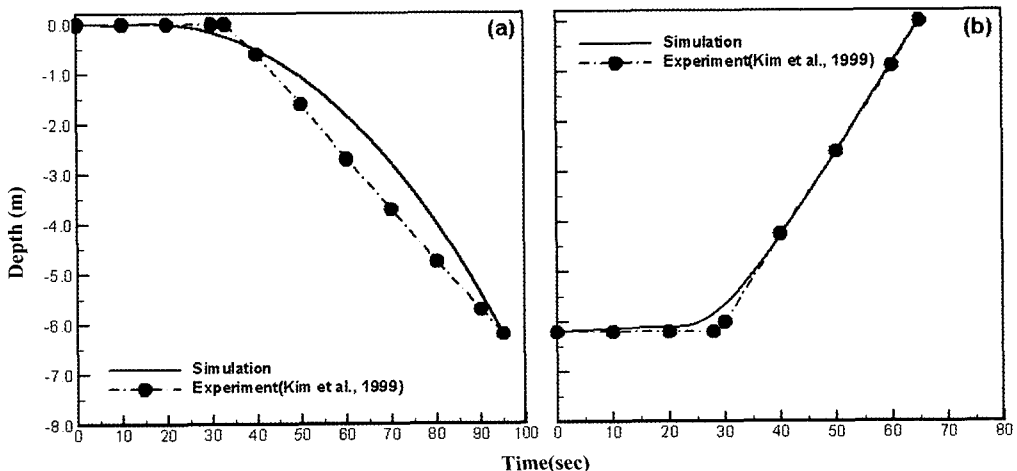


Fig. 8. Time required for lowering to 6.2m(a) and raising to surface(b) in the full-scale submersible fish cage.

수중으로 하강하는 경우, 약 30초까지는 그것에 작용하는 부력이 중력보다 크므로 수면 위에 그대로 위치해 있으며, 그 이후에 서서히 중력이 커져서 약 90초 경과 후에 가두리 시설이 침하 목표 지점인 6.2m에 도달한다. 한편, 수중에서 수면까지 상승하는 경우, 4개의 부침 뜬에 압축 공기를 동시에 주입하여 부력과 중력이 평형을 이룰 때까지 약 25초 동안 수심 6.2m에서 침하된 상태로 유지되었으며, 전체 부력이 중력보다 크게 되는 순간부터 상승하기 시작하여 약 65초 경

과 후에는 표층까지 부상되었다.

Fig. 9에서 보면, 실물 부침식 가두리 시설의 상승 및 부상 시의 속도는 하강 속도의 경우 앞에서 설명한 모형의 결과와 거의 유사하게 나타났는데 비해, 상승 속도의 경우 20초 정도까지는 채팅(Chatting)현상이 발생하였다.

Fig. 10과 Fig. 11의 공기압력 및 공기량은 모형에서 나타난 결과와 거의 유사하게 나타났다.

Fig. 12는 실물 가두리 시설의 부침 뜬에서 해수가 배출되는 유량을 나타낸 것이다. 이것에서

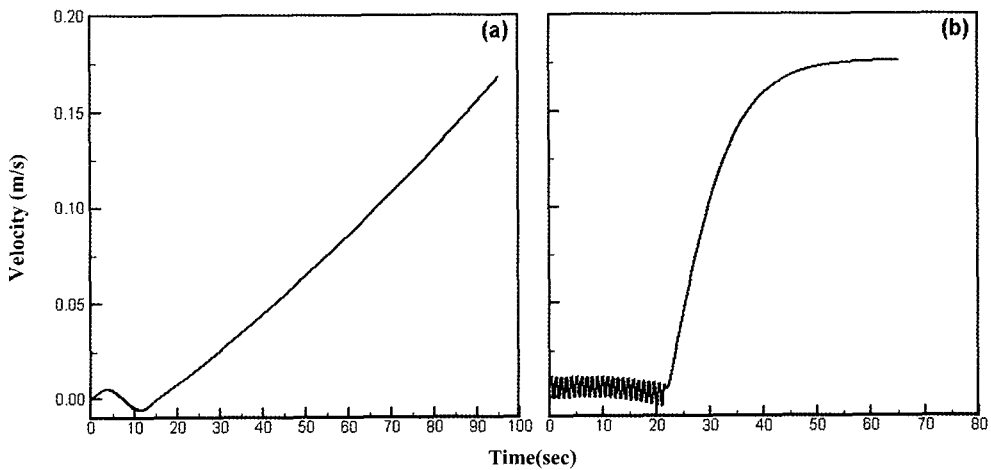


Fig. 9. Time history of velocity for the full-scale submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

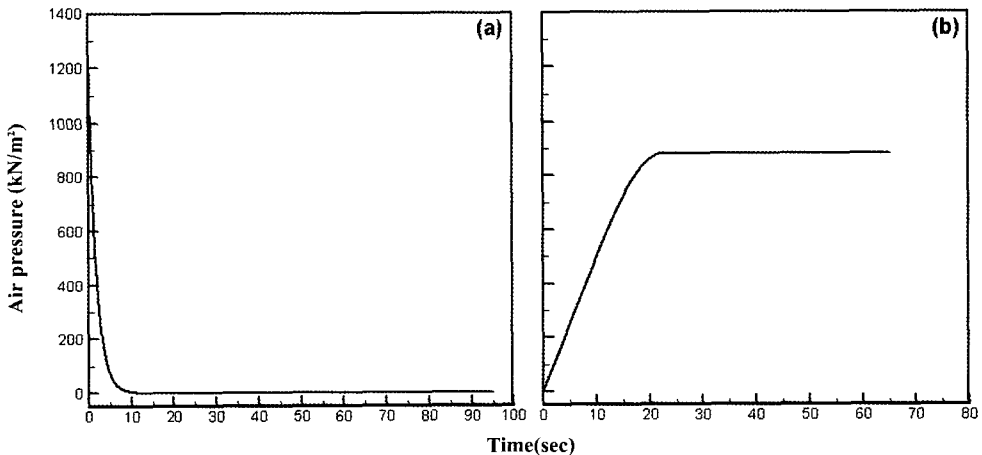


Fig. 10. Time history of air pressure for the full scale submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

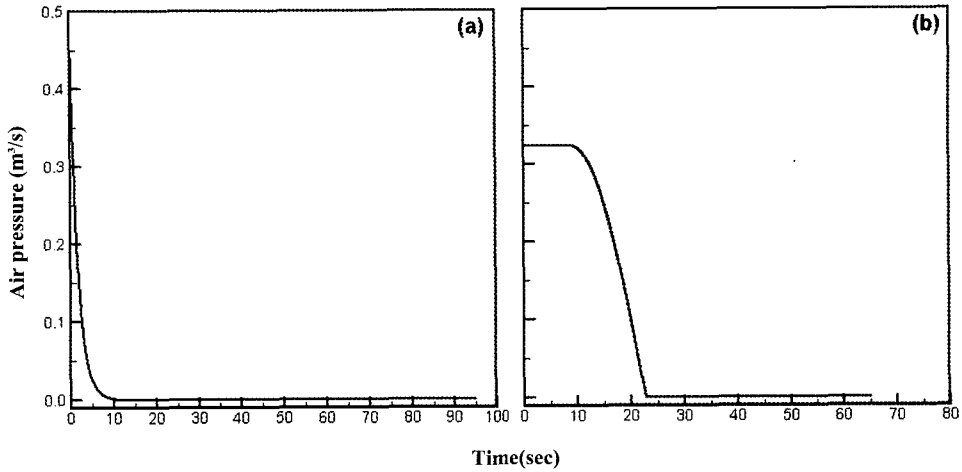


Fig. 11. Time history of air flow rate for the full-scale submersible fish cage during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

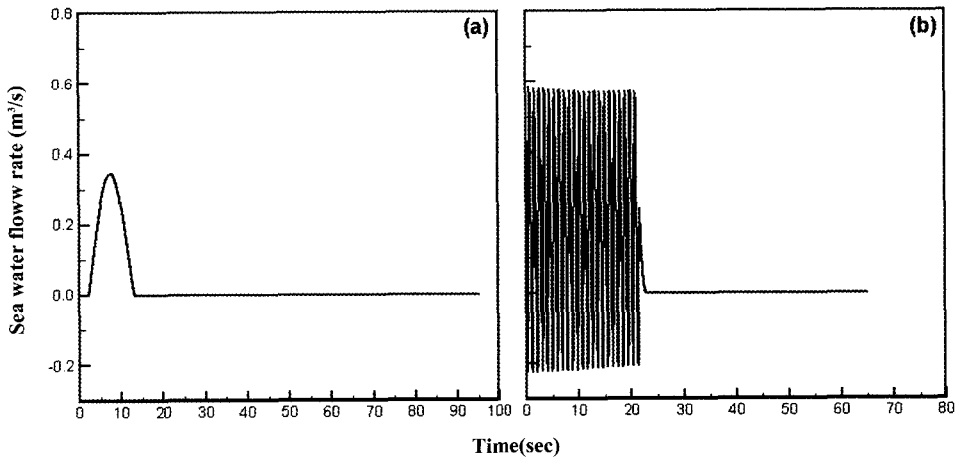


Fig. 12. Time history of sea water flow rate for the full-scale submersible fish cage time during lowering(a) and raising(b) as determined by numerical analysis.

보면, 가두리 시설의 상승 시 부침 뜰에서 배출되는 해수의 동특성에 채팅 현상이 발생하였다. 이것은 부침 뜰에 공급되어지는 압축 공기의 압력과 해수의 압력과의 차이가 경미하고 부침 뜰의 체적이 커짐에 따라 압축 공기의 체적 탄성계수가 상승하여 부침 뜰 내부의 압력 변화가 심하기 때문에 일어나는 현상으로 여겨진다. 따라서 부침 뜰의 체적과 침수 깊이가 커지면 커질수록 부침 뜰에 공급되어지는 압력을 높여주고 해수

배출관의 지름을 크게 하면 채팅 현상을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

결론

압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 최적 설계를 위해 부침 기능의 동적 특성에 대한 수치해석을 실시하였다. 또한 수치해석에서 얻은 결과를 기존의 실험 결과와 비교하여 이 연구에서 제안한 모델링 식의 유용성을 확인하고 그

정확도를 파악하고자 하였다. 이 연구에서 제안한 수치 모델에 의해 구한 부침 특성과 기존의 실험 결과가 매우 잘 일치하고 있음을 확인하였다. 따라서 이 모델 식을 이용하여 부침식 가두리 시설의 부침 특성에 대한 정량적인 값과 각 장치들의 상호 관계 및 각종 파라미터들의 거동을 쉽게 구할 수 있으므로 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Beveridge, M., 2004. Cage aquaculture. Third edition. Blackwell Publishing, London, pp. 291-298.
- Frank, Y., 1990. Fluid power design handbook, Marcel Dekker, Inc., pp 478.
- Herbert E.M, 1967. Hydraulic control system, John wiley & Sons, Inc., pp. 34-53.
- John, F.B., Gerhard R. and Lowen, S., 1960, Fluid power control, The M.I.T. Press, pp. 103.
- Kim, J.O., H.I. Shin, 1996. Studies on the compressed air submersible fish cage system- I. Dynamic characteristics of the submersible fish cage-. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 32(2), 117-124.
- Kim, J.O., T.H. Kim, H.K. Oh and E.C. Jeong, 1998. Studies on the development of the submersible fish cage I - Characteristics of submergence and motion -. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst, 54, 149-155.
- Kim, J.O., T.H. Kim, H.K. Oh and E.C. Jeong, 1999. Studies on the development of the submersible fish cage II - Submergence function of cage facility and behaviour response by the noise of fishes farmed -. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Inst, 55, 17-24.
- Steven, C.C and P.C. Raymond, 1988. Numerical methods for engineers, McGraw-Hill, pp. 663-674.

2006년 10월 9일 접수

2006년 12월 20일 수리