

부양체 수중 위치제어에 관한 연구

Study on the Position Control System of the Float Chamber using Air Control

허정규 · 김태호 · 양경욱

J. G. Hur, T. H. Kim and K. U. Yang

Key Words: Air Control(공기 제어), Floating Fish Cage(부유식 가두리 양식장), Bond graph(본드 선도), Reference Model(기준 모델)

Abstract: The paper is that study method to reduce bad influence that act to the floating fish cage by effect of environment in sea. Fish cage is controlled buoyancy using air control. According to marine environment, it is descend automatically to set-up depth and rise on the surface of the sea. The paper is the preceding research for a practical application. The fish cage simplified with the spherical float body. Then a control algorithm and a program developed by the experiment. And we did modelling by bond graph technique, and controlled by the practical reference model for PID control.

1. 서론

해양에서 선박이나 기타 부유 시설물을 운영하거나 건조하는데 가장 중요하게 고려되어야 할 요소는 부력이다. 부력은 중력에 반하는 힘으로 밀도 차이로 인해 발생하게 된다. 이러한 부력을 이용하여 수산계통에서는 가두리라는 양식 시스템을 해상에 설치하여 각종 어패류를 양식하거나 증식을 한다. 이 양식 시스템을 수면에 유지시키기 위한 방법으로 스티로폼, 목재 등을 이용하거나 내부가 비어있는 밀폐 플라스틱 재질의 원형이나 사각박스를 사용하여 부력을 유지한다. 하지만 이런 양식 시스템은 해양 환경의 영향에 능동적으로 대처하지 못하고 악천후시 많은 피해를 초래하게 된다.

이 연구에서는 가두리 양식 시스템이 외부환경에 능동적으로 대처하도록 하기 위한 방법으로 압축공기를 이용하여 자동으로 침하·상승하는 가두리 양식 시스템을 개발하고자 한다.

이러한 시스템을 개발하는데 중요한 요소는 부력을 제어하는 것이다. 이미 외국의 경우^{1~5)}에는 압축공기를 이용하여 부침식 가두리 시스템을 개발하여 상용화하고 있지만 우리나라의 경우⁶⁾는 아직까지 개

발 단계에 있는 것이 현실이다. 하지만 외국의 경우에서 보더라도 아직까지 자동으로 부침을 하지 못하고 환경의 영향이 예상되면 작업자가 직접 어장에 도착하여 가두리 시설을 수동으로 침하시켜야 하는 불편한 점이 있기 때문에 우리나라에서도 이런 시스템을 이전하여 실용화하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 해상에서 환경의 영향에 의해 가두리 시설에 작용하는 악영향을 경감시키는 방법으로 수면에 설치된 가두리 시설을 해상 환경의 영향이 작은 일정 수심까지 침하시켜 시설물 및 양식 어류를 보호하고 다시 원래의 수면까지 부양시킬 수 있는 부침식 가두리 시설을 개발하고자 한다.

이 연구는 자동 부침식 가두리 시설을 개발하기 위한 선행 연구로서 가두리 시설을 구형 부유체로 단순화하여 이것의 자동 침하 및 상승 관련 제어 알고리즘 및 프로그램을 개발하고 이것을 연구기반으로 하여 실물에 적용하고자 한다. 그리고 구형 부유체의 실내 수조 실험을 통해 그 유용성을 검증하고 그 결과를 기존연구⁷⁾에서 제안한 수치 모델 결과와 비교 분석하였다.

2. 실험 장치 및 제어기 구성

실험 장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 구형 부유체로 주입되는 압축 공기는 3way 밸브, 배출되는 압축 공기는 2way 밸브를 이용한다. 2way 밸브는 공기압축기와 연결이 되며 각각의 밸브는 컴퓨터의 제어프로

접수일: 2010년 6월 1일

허정규(발표자): 전남대학교 해양기술학부 기관시스템공학전공

양경욱, 김태호: 전남대학교 해양기술학부

E-mail: yangku@chonnam.ac.kr, Tel: 061-659-3134

그램으로 제어하게 된다.

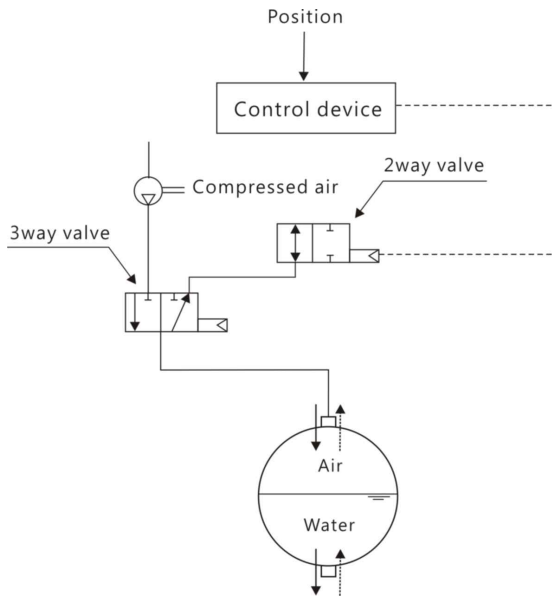


Fig. 1 Automatic submersible float system

구형 부유체의 내부는 물과 공기가 혼입되어 있고 각각의 밸브는 구형 부유체의 내부로 공기를 주입하고 배출하는 역할을 하게 된다. 즉, 3way 밸브를 통과한 공기는 구형 부유체 내부의 압력을 형성하고 2way 밸브에서 압축된 공기를 배출하게 된다. 이것은 내부의 압력 변화를 이용하여 해수량을 조절하는 것이다. 이때, 해수량의 변화로 인하여 구형 부유체의 무게가 변화하게 되고 자체가 가지고 있는 부력과 상관관계에 의해 구형 부유체가 상승 또는 하강하게 된다. 또한 밸브의 조절은 펄스폭(PWM) 제어 방식을 사용하여 단순 개폐형태로 만들어지는 밸브의 개구면적을 조정하여 어느 정도 안정된 결과를 얻도록 하였으며, 제어방법으로는 실용적인 기준모델 제안방법⁸⁾을 이용하여 만족한 제어결과를 얻을 수 있었다. 또한 밸브에 인가되는 제어 신호는 외부에서 관측되는 위치센서 신호를 이용하여 제어기를 운영하게 된다.

2-1. 시스템 모델링

전체 시스템을 제어하기 위한 선행적 과제는 대상이 되는 시스템을 수학적으로 표현해야 한다. 이 과정을 모델링 작업이라고 하는데 모델링 방법은 시스템을 구성하는 각 요소들에 관한 관련식이나 관계식을 구성함으로써 전체 시스템을 수학적 관계식으로 표현하게 된다. 이 연구에서는 시스템에서 고려되는 변수들을 알기 쉽게 표현하고 무엇보다도 1차형태의

상태방정식으로 전체 시스템을 나타낼 수 있는 분도 선도 기법⁹⁾을 사용하여 시스템을 모델링 하였다.

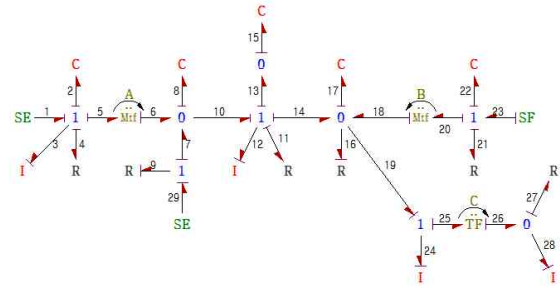


Fig. 2 Bond graph of Automatic submersible float system

Fig. 2는 모형실험의 전체 시스템을 분도선도로 모델링 한 것이다. 각 부위의 C, I, R과 같은 변수는 Capacitor, Inertia, Resistor를 나타내는 것으로 시스템의 성격(기계, 유체, 전기 등)에 따라 각각 다른 형태의 관계식으로 변수를 표현하게 된다. SE, SF는 Supply Effort, Supply Flow를 나타내는 것으로 입력되는 전기신호와 같은 신호입력이나 힘, 속도, 에너지 등과 같은 공급되는 양을 나타내는 변수이다.

Fig. 2는 하나의 가지 형태로 표현되어 있지만 6개의 시스템을 포함하고 있다. 제어 밸브 내의 역학 관계를 표시하는 노드 1~5, 구형 부유체에 공급되는 압축 공기의 변화를 나타내는 노드 6~10, 밸브에서 구형 부유체까지 위치한 관로의 영향을 나타내는 노드 10~14, 구형 부유체 내부 압축 공기의 변화를 나타내는 노드 15~18, 압축 공기가 구형 부유체로 들어오고 나가는 해수량의 변화를 나타내는 노드 20~23, 구형 부유체 내에 공존하고 있는 압축 공기와 해수의 상호 반응에 의하여 가두리 시설의 부침을 나타내는 노드 24~28과 같이 나타낼 수 있다.

노드 1~5에서 노드 1(SE)은 전기신호의 입력을 나타내고, 노드 2의 C변수는 밸브의 스프링 계수, 노드 3의 I변수는 밸브 스톱의 관성, 노드 4의 R변수는 밸브내의 마찰이나 손실저항을 표현한 것이다. 노드 6~10에서 노드 8의 C변수는 밸브내의 체적탄성계수를 나타내고, 노드 9의 R변수는 노드 29(SE)에서 공급되는 공기에 의해 밸브 입구측에서의 관로 저항을 나타낸다. 노드 10~14는 밸브에서 구형 부유체까지의 관로와 관련부분으로 노드 11의 I변수는 관로내의 공기의 저항을 나타내고, 노드 12의 I변수는 관로내의 공기의 체적탄성계수이고, 노드 15의 C변수는 관로의 압력을 나타낸다. 노드 14~18, 14~25는 구형 부유체 내의 공기의 변화를 나타내는

$$\begin{bmatrix}
 R27/M28 & R27*C/M24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 C*R27/M28 & -(C^2*R27/M24) & 0 & 0 & 0 & K17 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -(R11/M12) & 0 & 0 & -K17 & -K15 & K8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -(R4/M3) & 0 & 0 & -(A*K8) & -K2 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -(1/M24) & 1/M12 & 0 & 0 & -(1/R16)*K17 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1/M12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1/M12 & A/M3 & 0 & 0 & 0 & (1/R9)*K8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & M3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 \\
 0 & B & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1/R9 \\
 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 SE1 \\
 SF23 \\
 SE29
 \end{bmatrix}
 \quad (1)$$

것으로 노드 16은 구형 부유체 내의 공기저항을 나타내고 노드 17은 구형 부유체 내의 공기의 압력을 나타내고, 노드 24는 구형 부유체 내로의 공기의 흐름을 나타낸다. 노드 18~23은 구형 부유체 내의 해수의 변화를 나타내는 것으로 노드 23(SE)는 구형 부유체 내로 유입되는 해수의 공급량을 나타내고, 노드 21은 해수의 유체저항, 노드 22는 해수의 체적탄성계수를 나타낸다. 노드 25부분은 구형 부유체 자체의 상하운동을 나타내는 것으로 노드 27은 구형 부유체가 운동할 때, 수면 아래에서의 유체저항을 나타내고, 노드 28은 구형 부유체의 관성을 나타낸다. 그림의 특정 부분에서 A, B, C의 MTF(Motional Transformer)와 TF는 변환계수로써 유체특성이 기계적 특성으로 변환하거나 기계적 특성이 유체특성으로 변환될 때, 혹은 각각의 시스템 특성이 전기적 특성으로 변환될 경우나 그 반대의 경우에 사용되는 변수이다. 여기에서는 밸브의 작동에 의해 공기의 양이 조절되는 상관관계, 즉 기계적 특성이 유체특성으로 변화되는 것을 나타내는 부분인 노드 5와 6에서 A변환계수를 사용하였고, 구형 부유체 내로 공기의 유출입에 의해 해수의 유출입이 이뤄지는 특성, 즉 기계특성에 의해 유체특성으로 변환되는 부분인 노드 18과 20에서 B변환계수를, 공기양의 조절에 따라 모형가두리가 부상과 침하하는 상관관계를 나타내는 부분, 즉 기계특성이 기계적 특성으로 변환되는 부분인 노드 25와 26에서 C변환계수를 사용하였다. 에너지 공급을 표시하는 노드 1, 23 및 29는 밸브에 인가되는 신호, 밸브에 공급되는 압축 공기의 압력 및 구형 부유체에 작용하는 해수의 양을 표시한다.

이 본드 선도를 이용하여 자동 구형 부유체 구성 장치의 상태 방정식을 구하게 되면, 시스템 행렬, 입력 행렬과 입력은 식 (1)과 같다.

2-2. 제어기 구성

구형 부유체의 위치 제어 시스템에 관한 모델식과 단위 계단 응답의 최대 오버슈트량, 최대값 시간 등을 이용하여 미지의 파라미터들을 추정한다. 그리고 이 연구에서 제안한 실용적 기준 모델을 이용한 PID

제어기⁸⁾를 이용하여 구형 부유체의 위치 상승과 하강할 수 있는 시스템을 설계하고 그 응답 특성을 평가한다. 나아가 구형 부유체 실험을 통해 제안한 제어기의 안정성과 유효성을 평가한다.

또한 컴퓨터와 구형 부유체 시스템 사이를 유기적으로 결합시키기 위하여 연결 장치(interface, A/D-D/A card)를 설치하고, 컴퓨터를 이용하여 계측 제어하는 연결 장치는 구형 부유체에 설치한 수압계(P310A-02, SSK Co., 용량: 19.61kPa)와 구동기(3way 밸브, 2way 밸브를 조정하는 스위칭 보드)를 컴퓨터와 접속시켜 상호 정보가 전달되도록 하였다. 여기에서 얻어진 계측량으로 이 연구에서 제안한 제어 알고리즘을 이용하여 구형 부유체의 현재 상태를 파악한 후 원하는 제어 입력을 출력하여 기준 입력에 도달하도록 설계하였다. 이러한 점들을 감안하여 Fig. 3에서와 같이 구형 부유체의 자동 하강 및 상승에 관한 제어 시스템을 구성하였다.

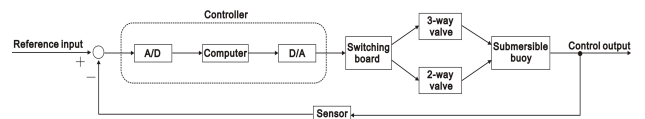


Fig. 3 Control system of automatic submersible float

2-3. 제어 프로그램 작성

이 연구의 목표인 외부 환경 변화에 따라 구형 부유체의 하강 및 상승이 자동으로 수행되도록 하는 제어 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 구성은 크게 센서에서 나오는 신호를 계측하는 프로그램, 원하는 구형 부유체의 위치를 설정하는 프로그램, 설정된 위치에 구형 부유체가 최적으로 위치하도록 계산하는 프로그램, 구형 부유체가 어느 위치에 유지하도록 구동부에 신호를 보내는 프로그램, 제어시 구형 부유체의 상태를 모니터링 및 데이터를 저장할 수 있는 프로그램으로 구성되어 있다.

이 연구에서 제안한 구형 부유체의 특징은 앞에서 언급한 바와 같이 구형 부유체가 하강할 경우에는 그것안의 공기의 압력을 제거하여 해수가 안으로 들

어오게 하고, 상승할 경우에는 반대로 공기가 들어오도록 하는 것이다. 그 결과 구형 부유체에 무게의 변화가 발생하여 부자의 위치 변화가 발생하게 된다. 이 경우 제어 방법은 수압계를 이용하여 구형 부유체의 위치를 실시간으로 계측하고, 이 신호를 처리한 후 수심 제어 프로그램에서 적절한 제어 입력 신호를 구동부인 밸브에 인가하여 공기의 양을 제어하게 된다. 그리고 구형 부유체의 외부 환경이 급격히 변화하는 경우에는 구형 부유체가 원하는 수심의 위치까지 자동으로 하강 또는 상승되도록 시나리오를 작성하였다. 한편, 프로그램 중 설정된 위치에 구형 부유체가 위치하도록 계산하는 로직의 순서도를 Fig. 4에 나타내었다.

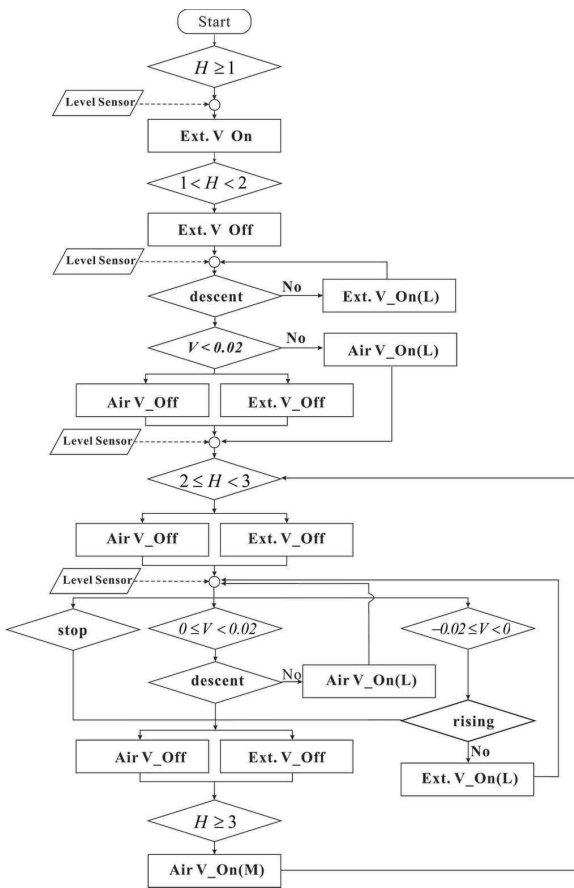


Fig. 4 Control logic of automatic submersible float

2-4. 실험 방법

자동 구형 부유체의 부침 성능을 파악하기 위해 Fig. 5에서와 같이 실내에 설치된 원통형 수조 (Ø0.98m×1.2m)에서 구형 부유체에 관한 실험을 수행하였다.

이 경우 구형 부유체의 형태는 Fig. 6과 같이 구형

이며 크기는 지름이 0.38m이다. 실험을 하기 전에 구형 부유체의 윗부분은 공기 호스로 연결하였으며, 호스는 3way 밸브(HDA 032S-3) 출구 측에 연결하고 3way의 밸브 다른 출구 측에는 호스를 통해 2way 밸브(HDA 032S-2)를 연결하였다. 그리고 3way 밸브의 입구 측에는 공기 압축기(압력: 0~800kPa, 유량: 130L/min, DARE)를 연결하였다. 한편, 구형 부유체의 아랫부분에는 주배수구가 부착되어 있으며, 부자의 중심에는 침하 수심 측정을 위해 수압계(P310A-02, SSK Co., 용량: 19.61kPa)를 부착하였다.

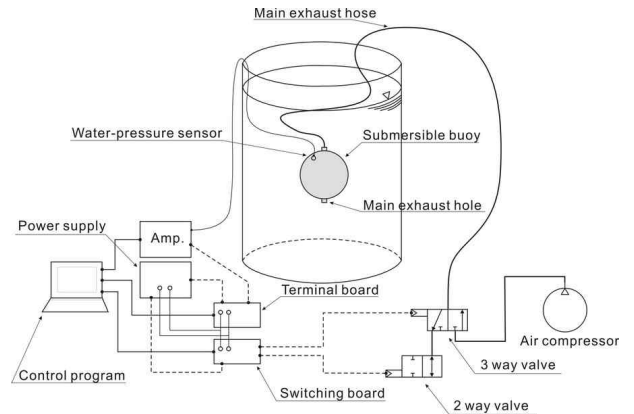


Fig. 5 Experimental setup of automatic submersible float.

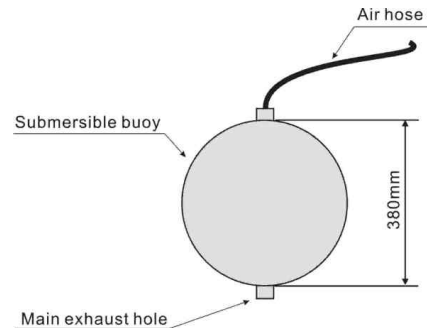


Fig. 6 Structure of automatic submersible float.

실험에서는 먼저 제어 프로그램을 통하여 원하는 구형 부유체의 침하 위치를 결정하였으며, 3way 밸브에 연결된 공기 호스를 통해 구형 부유체내의 공기를 외부로 배출시키고, 공기의 양은 2way 밸브를 통하여 조절하였다. 그리고 구형 부유체가 원하는 위치에 도달하면 3way 밸브와 2way 밸브의 개구 면적을 조절하여 일정 수심이 유지되도록 하였으며, 구형 부유체가 수직으로 이동하면 실시간으로 수심 센서의 신호를 받아들여 계측하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 7은 구형 부유체의 자동 침하 및 부상 과정을 나타낸 것이다. 이것에서 보는 바와 같이 구형 부유체가 일정 위치까지 수직으로 자동 침하되었다가 일정 시간이 경과한 후 원래의 위치까지 부상되고 있다.

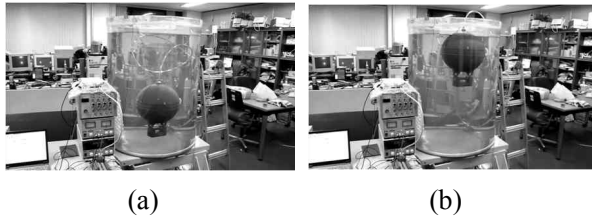


Fig. 7 Submersible float during lowering(a) and rising(b) by automatic control system

Fig. 8은 시간의 경과에 따른 구형 부유체가 목표 수심으로 설정한 0.3m까지 자동으로 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상한 것을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 구형 부유체는 목표 수심인 0.3m까지 자동으로 침하되는데 약 25초가 소요되었으며, 약 135초 후에 원래의 위치까지 자동으로 부상하였다. 이와 같은 결과는 기존연구⁷⁾에서 제안한 수치 모델을 적용하여 계산한 결과와도 잘 일치하고 있다.

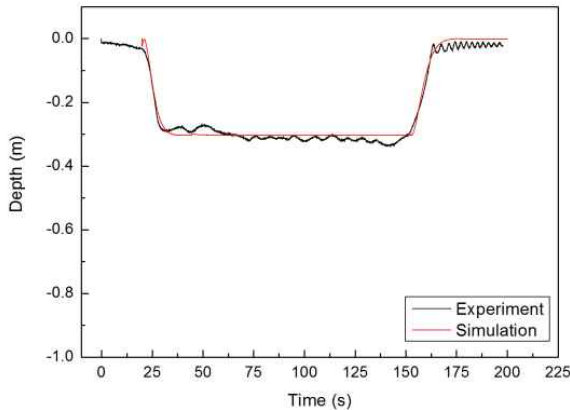


Fig. 8 Time history for lowering to 0.3m and rising to the surface of automatic submersible float by experiment and numerical model.

Fig. 9는 시간의 경과에 따른 구형 부유체가 자동으로 목표 수심으로 설정한 0.8m까지 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상된 것을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 구형 부유체는 목표 수심인 0.8m까지 자동으로 침하되는데 약 50초가 소요되었으며, 약

125초 후에 원래의 위치까지 자동으로 부상하였다. 이상에서와 같이 구형 부유체에 대한 자동 부침 기능 재현 여부에 대한 실험을 수행한 결과, 구형 부유체가 자동으로 목표 수심까지 침하 및 원래 위치까지 부상이 성공적으로 이루어졌으며, 이 결과는 수치 해석에서 구한 것과 거의 일치하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 자동 부침 관련 알고리즘과 제어가 유용하다는 것을 확인할 수 있었다.

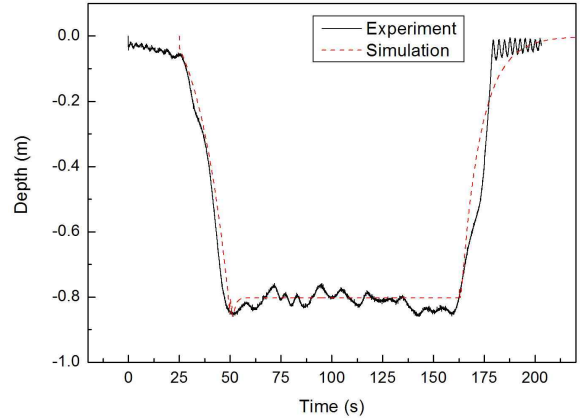


Fig. 9 Time history for lowering to 0.8m and rising to the surface of automatic submersible float by experiment and numerical model.

4. 결론

이 연구에서는 자동 부침식 가두리 시설을 개발하기 위해 가두리 시설을 구형 부유체로 단순화하여 이것의 자동 침하 및 상승 관련 제어 알고리즘 및 프로그램을 개발하고, 실내 수조 실험을 통해 그 유용성을 확인하였다. 또한 기존 연구 결과의 수치와도 비교 분석함으로써 그 유용성을 재확인하게 되었다.

한편으로는 실물 실험에 대한 선행연구의 기반이 되는 많은 변수들과 부력에 대한 매커니즘을 구명하게 되었으며, 이는 실물실험에 적용하는데 있어 중요한 요소로 작용될 것이다. 결국 이러한 단순화된 구형 부유체에 대한 부력 실험은 실험환경의 특성상, 가볍고 단순구조에 따른 민감한 상하운동과 수조의 낮은 수위에도 불구하고 정밀한 제어를 가능토록 했다는 점에서 의미가 있으며, 실물에 적용될 경우 가두리 시설의 대형화로 인해 상대적으로 중량 구조물 형태를 띠게 됨으로써 비교적 낮은 반응속도로 쉽게 제어가 가능하리라 사료된다.

참고 문헌

- 1) M. Beveridge, "Cage aquaculture", 3rd ed. Blackwell Publishing, London, pp. 291~298, 2004.
- 2) J. DeCew, D. W. Fredriksson, L. Bugrov, M. R. Swift, O. Eroshkin and B. Celikkol, "A case study of a modified gravity type cage and mooring system using numerical and physical models", IEEE J. of Ocean. Eng., 30(1), pp. 47~58, 2005.
- 3) D. W. Fredriksson, M. R. Swift, O. Eroshkin, I. Tsukrov, J. D. Irish and B. Celikkol, "Moored fish cage dynamics in waves and currents", IEEE J. of Ocean. Eng., 30(1), pp. 28~36, 2005.
- 4) C. C. Huang, H. J. Tang and J. Y. Liu, "Dynamical analysis of net cage structures for marine aquaculture: Numerical simulation and model testing", Aqua. Eng., 35, pp. 258~270, 2006.
- 5) D. S. Jeffrey, N. H. Kim and C. Niezrecki, "Numerical modeling and design of inflatable structures application to open ocean aquaculture cages", Aqua. Eng., 33, pp. 285~303, 2005.
- 6) T. H. Kim, D. W. Fredriksson and J. DeCew, "Hydrodynamics of submersible aquaculture cage system using numerical model", J. Kor. Soc. Fish. Tech., 44(1), pp. 46~56, 2008.
- 7) T. H. Kim, K. U. Yang, D. J. Jang and D. W. Fredriksson, "The submerging characteristics of a submersible fish cage system operated by compressed air", Marine Technology Society Journal, 44(1), pp. 57~68, 2010.
- 8) J. G. Hur. and K. U. Yang, "Proposal of Practical Reference-Model and It's Performance Improvement for PID Control", J. Kor. Soc. Power system engineering, 11(3), pp. 66~72, 2007.
- 9) D. C. Karnopp and D. L. Margolis, "System Dynamics", John Wiley & Sons, Inc., pp. 12~252, 2000.