

해양양식전진기지 개념설계

고유봉* , 최영찬* , 김성근* , 박노식** , 이상무***

*제주대학교 해양과학대학

**울산대학교 수송시스템 공학부

***동양대학교 컴퓨터 제어공학과

An Aquaculture System Concept for Ocean Application

YU-BONG GO* · YOUNG-CHAN CHOI*

SEOUNG-GUN KIM* · RO-SIK PARK** · SANG-MOO LEE***

*College of Ocean Science, Cheju National University

**School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan

***Department of Computer Control Engineering, Dongyang University

KEY WORDS: Aquaculture(해양양식), mooring line(계류선), automatic feeding(자동급이), drift force(표류력)

ABSTRACT: An aquaculture system for feeding the caged fishes in the open water is suggested for ocean application. Survival and operation conditions are defined at the conceptual design. Wave and current drag forces are discussed to determine the proper dimension of the aquaculture system and the related mooring system. Second order wave drift force at the survival condition is the dominant force, which be reduced by minimizing the superstructure open to the surface. Automation in feeding, sorting, cleaning is introduced to use the ongoing technology for quality product. The suggested system has advantage compared to onshore culturing, but not to shallow water culturing system. There is room for real application in future by the countries, such as Korea and Japan, which are in short of fish supply and have willingness to venture towards the ocean aquaculture.

1. 서언

현재 국내의 어업 현황은 대부분이 어선을 이용한 잡는 어업의 형태이며 일부 연안의 가두리 양식과 육상 수조식 양식으로 구성되어 있다. 그러나 최근 국제적인 어업협정으로 인해 잡는 어업은 그 규모가 날로 축소되어가고 있으며 주변국과의 분쟁을 유발하고 있는 어려운 실정에 처해있다. 또한, 연안일대에서 행하여지고 있는 종래의 양식은 과밀 경향을 띠고 있어 그로 인하여 양식어의 성장을 저하, 어병 발생, 적조 발생 등 양식과 관련된 많은 문제가 야기되고 있고, 이른바 환경오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있다. 육상의 수조식 양식은 그 규모 면에서 줄어들고 있어서 잡는 어업을 대체하기에는 역부족이며 연안오염 문제 또한 심각한 수준에 와 있는 형편이다. 따라서, 양식에 적합한 연안일대에 새로운 양식시설을 증가시키는 것이 어렵게 되고 있어 보다 효율적인 환경친화형 양식시설 개발이 불가피한 상태이다.

이와 같은 어업의 현안 문제를 극복할 수 있는 방법 중에 가장 가능성이 큰 것이 연안의 가두리 개념을 뛰어 넘는 대규모의 해양 전진기지를 개발하는 것이라 할 수 있다. 노르웨이 등 일부 해양 선진국들은 이미 다양한 해양 양식 시스템을 개발하여 운용 중에 있으나 국내에는 아직 체계적인 연구개발이 이루어지지 못하고 있는 상황이다. 따라서 날로 악화되어 가는 어업 환

경을 개선하기 위해서는 국가적인 차원에서 기르는 어업으로의 획기적인 방향 전환을 시급히 시도할 필요가 있다.

이 논문에서는 근해에 설치한 해상전진기지에 개념설계와 해양공학적 문제, 그리고 설치되는 시스템에 대한 문제를 요약하여 다룬다. 생존조건에 대한 안정성 확보문제, 관련 해석, 안정성 확보를 위한 계류시스템 해석, 그리고 설치되는 설비에 대한 기본적인 소개를 실는다.

2. 설계고려사항

어업전진기지를 설계함에 있어 전반적으로 고려되어야할 사항은 우선 제주해협이나 남해안 근해에 설치해서 구조적으로 안정성을 확보할 수 있는지의 문제이고, 두 번째는 운영이 가능하고 양식을 해낼 수 있는지, 그리고 그것이 경제성이 있는지의 문제로 축약된다. 여기에 더하여 부수적으로 환경적 측면과 법적적인 보장의 문제가 같이 검토되어야 한다. 이러한 관점은 모든 설계와 설치작업 진행과정에서 문제해석의 좌표로써 활용되어야한다.

2.1 안정성 확보의 문제

동북아시아에 위치한 제주해협에는 매년 4~5회의 태풍이 불어온다. 그리고 겨울철에 강한 북서 계절풍이 불어온다. 조류는 강한 편에 속하고 방향이 일정하지 않다. 어업전진기지는 이러

한 환경에서 위치확보와 작업성 확보, 필요한 경우에 단기간의 거주성 확보가 수반되어야한다.

적정한 계류시스템으로 생존조건에서 전진기지 본체의 최소한의 손상을 허용하며 위치안전을 확보하는 것이 중요하다. 이에 더하여 복원안정성과 손상시 안정성에 대한 해석도 중요하다. 나아가서 안정성에 대한 문제는 부식이나 방제, 환경보전에 까지 확장되어야할 필요가 있다.

2.2 양식가능성의 문제

근해에 설치됨으로 말미암아 사람이 전진기지에 지속적으로 거주하면서 관리하기가 어렵다. 그에 따라 짧은 시간에 필요한 작업이 진행될 수 있으려면 급이나 선별, 관리 등이 자동화가 되어야 하고 또 작업이 용이하게 이루어지도록 설계되어 있어야한다. 도난 방지를 위한 안전시설, 상어나 일반 부유물 등에 의한 충격에서도 어류의 안전 확보가 필요하다. 살아있는 생명체를 기르는 양식업의 특성상 이 관리문제는 결정인 영향을 줄 수 있다.

어류는 어종에 따라 다른 성질을 보이며, 표면근처에만 회유하는 어종이 있는 반면에 수심 깊은 곳까지 내려가는 어종이 있고, 또 육식성으로 포악한 어종이 있으며, 같은 수조에서 이종 어종과 같이 양식이 가능한 어종과 그렇지 못한 어종이 있다. 밀집하여 양식될 때 어병이 출몰할 가능성이 커지는 등등의 근해양식 가능성에 대한 면밀한 실험 연구가 먼저 선행되는 것이 필요하다.

생존조건에서 어업전진기지는 해면에서 수중으로 상하20미터를 이동할 수 있으며, 이동시 발생할 수 있는 어류의 부레에 미치는 영향과 시스템 상부에 대한 처리가 고려되어야한다.

생산성을 높이기 위한 관리 문제로서 본체 설계시에 반영되어야할 것들은 본체의 설계시에 어류의 생태를 고려한 유체역학적 설계, 구조학적 설계가 필요하다. 사료의 급이 방식, 입출하시 선별방법, 효율적인 망 청소 방안, 어류의 모니터링 시스템 등이 요구된다.

표 1 어업전진기지의 주요 촌법

항목	촌법
길이 L	100m
폭 B	40m
깊이 D	15m
건현 f	5m
잠수 체적	80000m ³
공적률	0.3
자체 질량	2400ton
깊이 D	15m
건현 d	10m

2.3경제성의 문제

육상에서 설치위치까지 거리가 있으므로 사료의 공급이나 관리적인 문제점이 야기되며, 그러한 부대비용을 고려하면, 일정규모 이상이 되어야한다. 규모가 크면, 태풍에 대한 안정성을 키울 수 있으므로 유리한 점으로 작용한다. 현재 어패류 자급률은 30프로 내외로서, 식량 안보면에서 대처가 필요하고, 또 경제적

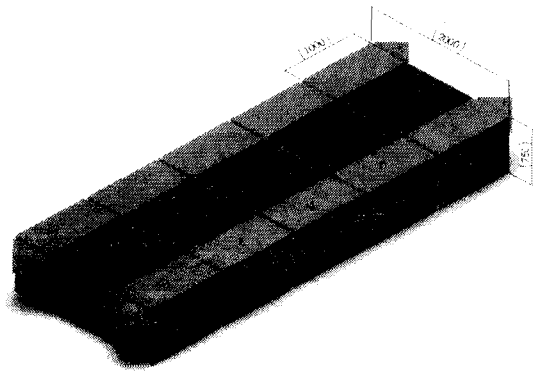


Fig. 2 Schematic drawing of the aquaculture System

의 발달과 함께 어패류 소비량은 계속적으로 늘어갈 것으로 기대되며, 국가 식량의 대안으로 역할을 한다. 어업전진기지는 그 자체로 수익성이 있으며, 여기에 더하여 미래에 국민식량의 대안이기도 하다.

3. 본체 설계

일반 선박이나 해양구조물의 설계방식에 따라 설계를 진행해 나가고 있으며, 개념설계에서 주어진 해역조건을 도출하고 주요 설계변수를 정했다. 이에 근거하여 초기설계를 진행하고, 이론 계산과 수조실험으로 설계변수의 적정여부를 판단해 나가고 있다.

3.1 설계조건

설계조건은 두 가지로 나뉜다. 기능이 정지되고 일정량 파손을 예상하는 생존조건과 사람이 승선하여 작업을 진행할 수 있는 조건인 작업조건이다. 수질이 청정한 제주도의 근해를 상정하여 진행하였다. 생존조건은 태풍이 불 때의 파고조건으로 13미터 파고, 주기 12-14초, 조류 3노트이다. 또한 작업조건은 근해 해상 5미터의 파고이다. 스펙트럼은 관측된 파고 자료를 샘플로 설정하여 설계를 진행한다. 수상 구조물이 적으므로 풍력은 고려하지 않는다.

3.2 본체의 개념설계

경제성 있는 생산이 가능하기 위한 구조물은 용량 4만톤이 적정규모로 파악되었다. 본체는 100m x 40m x 10m(수면적 약 10,000평)의 직육면체 형상이다. 외부의 각 면은 이중 철망으로 구성된다. 수면의 좌우 바깥쪽에 길이 방향으로 구획이 된 부력실이 배치되며, 이 부력실에 의해 복원력이 제공된다. 부력실은 횡요의 복원성능을 최대로 확보하기 위하여 바깥쪽으로 위치한다. 내부는 수면을 확보하고 있으며, 철망을 통하여 해수가 유동할 수 있고 양식어류를 관찰할 수 있다.

본체에 작용하는 외력조건으로 조류 속도 3knots의해서 작용하는 표류력, 그리고 파랑에 의한 일차 하중과 파랑 제공에 비례하는 파랑표류력, 그리고 장주기 운동에 기인하는 장주기 운동력을 주요 외력으로 간주하였다. 설계된 본체에 작용하는 파랑

외력은

$$F_c = \frac{1}{2} C_D \rho A v_c^2 \quad (1)$$

의 식으로 추정되었다. 여기서 C_D 는 저항계수이고, ρ 는 해수밀도, 그리고 A 는 단면적, v_c 는 조류속도이다. 이 식으로부터 선측과 선수 방향의 조류력을 계산했으며, 선수방향으로 450kN, 선측방향으로 1200kN으로 추정되었다. 여기서 단면적 A 는 투영면적으로 적용하였으며, 철망에 의한 공극효과는 저항계수 C_D 에 반영하였다. 개념설계에서는 개략적인 추정만이 필요하지만, 이 저항계수의 변화에 따라 설계값은 크게 변화하므로 지속적인 개선이 수반되어야 한다. 설계의 어느 단계에서나 이 값은 그 단위가 어느 정도인가를 파악하는 것이 필요하다.

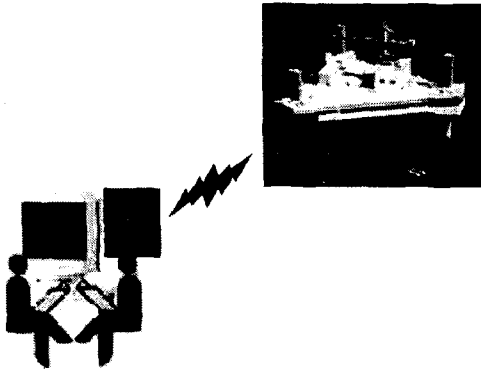


Fig. 3 The monitoring system.

파랑표류력은 이차원 벽면에서 반사될 때 파랑표류력의 최대값

$$F_w^{(2)} = \frac{1}{2} C_{DW} \rho g l \zeta_a^2 \quad (2)$$

로 주어진다. 여기서 l 은 투영단면의 수선면 길이이며, ζ_a 는 파진폭, C_{DW} 는 파랑표류력 계수를 의미한다. 이 식에 의하면 선측 방향으로 49000kN, 선수방향으로 6000kN의 파랑표류력이 작용하는 것으로 추정된다. 이 값은 철망의 투과율을 고려하지 않은 것으로 투과율을 고려하면 훨씬 감소할 것으로 보고 있다.

파랑력은 일차함수로 표현되는 값이 있으나, 초기설계단계에서 계류시스템의 완충역할에 기대하여 중요하게 취급하지 않는다. 이후 구조해석이 진행되기 시작하면 이에 대한 분석과 추정이 진행되어야 한다.

파랑표류력과 조류표류력이 합쳐져서 작용하는 경우에 파랑표류력이 비중이 크며, 이를 줄이기 위한 노력이 필요한 것으로 판단되고 있다.

4. 계류시스템

계류시스템의 목적은 부유체의 위치확보인데, 계류계에 작용하는 조류력과 파랑외력, 그리고 운동에 의해서 유기되는 변동력이 복합적으로 연성되어 나타나는 작용력에 대해서 반작용력을 제공하는 것이 계류시스템이다. 계류시스템의 해석에 의하면 계류시스템의 운동성을 결정하는 주요요소는 계류계의 유연성(flexibility)이다. 이 유연성은 강성의 역수로 표시되며 계류계의 특성상 비선형성을 지닌다.

유연성에 의해서 본체와 계류선은 계류시스템을 이루며 파랑의 2차수 힘에 의해 유기되는 장주기 운동계를 형성한다. 따라서 계류시스템은 파랑에 의한 일차수 변동력, 평균적으로 작용하는 2차수 표류력, 그리고 장주기 운동으로 유기되는 장주기 표류력이 복합되어 계류선에 전달된다. 계류선은 이렇게 연성되는 힘에 견뎌야하고, 유효하게 앵커로 전달해야 한다.

어업전진기지는 석유시추선과 달리 일정지점 확보가 중요하지 않으므로 위치조건이 까다롭지는 않다. 따라서 앵커된 선박처럼 넓은 범위를 움직일 수 있어도 손상과 망실을 막을 수 있지만 하다면, 어떤 계류방식이든지 이용될 수 있다. 따라서 가장 간단한 일점계류계를 유념해둔 유연한 계류계를 설계할 수도 있으나, 이때 유기되는 장주기 운동이 커질 수 있으므로 정밀한 분석을 필요로 하며, 실험적 검증이 수반되어야 한다.

피해야 하는 상황은 일차수 힘과 표류력, 그리고 장주기 운동이 복합적으로 작용하는 순간이다. 이러한 상황을 피하기 위해

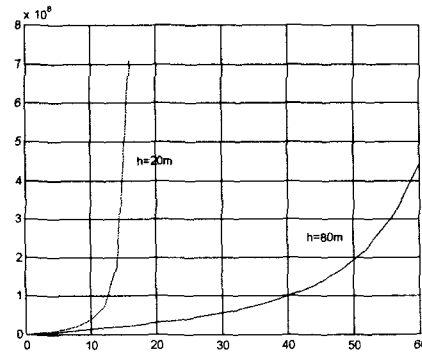


Fig 4 horizontal excursion vs horizontal forces

서는 장주기 운동의 진폭을 줄이는 것이 필요하며, 이를 위하여 계류선의 완충에너지 수용력을 키우는 방안이 마련되어야 하고, 또한 장주기 운동의 감쇠계수로 작용하는 감쇠력의 증진 방안도 아울러 강구되어야 한다. 이러한 이유로 수심이 깊은 쪽을 택하여 설계되었다.(Fig.2)

검토된 계류계는 1) 일점 계류계로 suction 방식과 weight 방식, 2)다점 계류계로 4점 계류계 방식이었다.

5. 관리 및 자동화

관리 및 자동화 시스템은 모니터링 시스템, 먹이급이 시스템, 분류시스템, 청소시스템이다.

5.1 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 기상조건에 관계없이 원격감시를 가능케 하고, 해양환경을 관측할 수 있게 하는 것이다. 온도와 염분 등의 해양환경을 수집하고 시스템 작동상황을 화상으로 전달받고, 무선으로 실시간 통신을 구축하여, 필요한 작업을 자동화로 지시할 수 있게 함으로써 사람이 상주하지 않아도 모니터링이 가능하도록 한다.

동력은 충전식 배터리와 자가발전, 풍력과 태양력을 이용한 방법들이 검토된다. 거리에 따라서 방식을 바꿀 수 있으며 AUV와 ROV를 이용한 감시 시스템도 이용 가능하다.

5.2 자동급이 시스템

해상노동조건을 완화하고 생산성 증대를 위해 사용된다. 사료는 생사료와 배합사료가 사용될 수 있으며, 생사료인 경우 급이장치에 부착되어 질병 유발의 가능성이 있으므로 이에 대한 대책, 그리고 경제성 검토가 진행되어야 하고, 저효율 및 신뢰성 문제가 제기된다. 배합사료는 안전성은 있지만, 가격이 비싸고 급이가 용이한 측면이 있다. 급이방식으로는 양식장내 부이를 사용하거나, 구조물 상부에서 이동형, 상시 급이장치를 고정적으로 설치하거나 급이선을 이용하는 방법이 있는데, 내구성과 경제성, 신뢰성을 고려하여 선택될 예정이다.

5.3 선별시스템

어류의 고품질화 및 노동력 절감을 위한 것이며, 격자별 탈착식에 의한 수집법, 작업선의 포집망에 의한 수집법, 기타 상시 포집장치를 설치하는 방법이 검토되고 있고, 수작업과 자동화법도 고려되고 있는데, 작업 발생확률이 작으므로 수작업도 고려될 수 있지만, 고른 분류와 적합한 분류를 위해서 자동화 필요성이 제기된다. 화상정보에 의해 분류하는 시스템과 증량에 의한 선별방식도 아울러 모색되고 있다.

5.4 청소시스템

항시 해양에 부유해 있는 상태에서 청소가 이루어져야 되므로 작업조건이 까다롭고 잠수부의 도움이 필요하게 된다. 이를 자동화하는 것은 양식장의 고품질 유지와 직결된다. 칸막이 설치에 의한 교체방식, 청소용 작업선 이용방식, 청소전용시설 설치방안이 강구되고 있고, 바닥청소를 위해서는 자동화에 의한 고압 분사식과 청소용로봇(ROV, AUV)을 활용하여 어업전진기지의 외부를 청소하는 방안, 그리고 청소용 작업선 활용방안도 검토되고 있다.

6. 토론 및 결론

해양에 설치하여 운영할 수 있는 해양어업전진기지 방안을 제안하고 그에 대한 해양공학적인 기술을 제시하였다. 어업전진기지는 태풍이 빈번하게 발생하는 제주해협을 대상으로 검토하였다. 결론적으로 무엇보다 생존조건에서 손실을 최소화하는 위치 확보가 중요하며, 여기에 실질적으로 양식이 가능케 할 자동화된 유지 관리능력이 수반되어야만 실제적 적용이 가능한 것으로 판단된다. 경제성 문제는 일반 육상양식장 보다는 유리하며, 연해 양식장보다는 비용이 많이 소요되는 것으로 파악된다.

그러나 연해 양식장은 어장의 노후화로 미래가 불투명하다. 따라서 해상양식전진기지에 대한 연구는 대안으로서도 연구가 필요한 실정이다.

시스템은 구조적 안정성을 갖도록 시설될 수 있으며, 설계에서부터 최근에 발달된 자동화시스템을 활용함으로써 자동화된 급이시설, 선별시설, 청소시설로 사람에게 안전하고 신뢰도 높고 고품질의 어류양식이 가능할 것이다.

참고문헌

Dean, R. G. and Dalrymple, R. A., (1984) "Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists", Prentice Hall Inc., New Jersey.

Bowers, E. C. et al. (1982) *Offshore Moorings*, Thomas Telford Limited.

近藤敩郎 and 竹田英章, (1983) *波浪構造物*, 森北出版株式會社.

부록 A

고정된 박스형구조물의 파반사계수와 투과계수는

$$K_R = \frac{1}{\sqrt{1+y_B^2}} \quad (A-1)$$

$$K_T = \frac{y_B}{\sqrt{1+y_B^2}} \quad (A-2)$$

$$y_B = -\frac{g}{\sigma^2 l} \frac{k(h-d)}{n} f_B^2 \quad (A-3)$$

$$f_B = \frac{\sinh k(h-d)}{k(h-d) \cosh kh} \quad (A-4)$$

$$n = \frac{c_g}{c} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right] \quad (A-5)$$

와 같이 주어진다. 여기서 h는 수심, d는 홀수, l은 길이, g는 중력가속도, k는 파수, σ 는 원진동수를 나타낸다. 이 식은 평균 파랑표류력을 구하는데 사용되었다. 수평운동이 가능한 본체는 여기서 예측되는 값보다 적은 값의 파 반사계수를 가질 것으로 예측되면, 그에 따라 여기에 제시된 평균파랑표류력의 값은 현실보다 크게 예측됨으로 보다 안정한 값을 주고 있다.

2003년 5월 12일 원고 접수

2003년 5월 13일 최종 수정본 채택