

# 외해 가두리 양식장용 먹이공급시스템

† 오진석

† 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수

## Feed supply system for Fish farm in Ocean Sea

† Jin-Seok, Oh

† Professor, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 근해의 어족자원 고갈 및 수질오염은 수산양식 산업에 큰 영향을 미친다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 근해에서 외해로 양식장이 이동하고 있다. 외해 양식장은 근해보다 해상환경에 강인하게 개발되어야 하며, 안정적인 양식장 운영을 위해 원격 자동먹이 공급장치가 필요하다. 본 논문은 해상의 양식장에 적합한 원격 먹이공급시스템에 관하여 기술하고자 한다. 어류는 수온 및 어체 중량에 따라 먹이를 먹는 양이 변화한다. 해상 양식장의 경우 육상에 비하여 온도 변화가 크게 일어난다. 본 논문은 수온 및 어체 중량에 따라 먹이량을 계산하고 자동으로 먹이를 공급하는 시스템을 연구하였다. 모형을 활용한 먹이 공급 장치의 성능을 실험하였다.

**핵심용어** : 외해, 가두리 양식장, 먹이공급시스템, 먹이량

**Abstract** : The depleting fishes resource and water pollution in coast has a decisive effect on the fish farm and fisheries. For solving these problems the fish farms are moving to the offshore. The fish farms in offshore have to design the strong mechanism as compared with cost's fish farm, and operate by the remote feeding system and monitoring system for safety and management.. This paper describes a remote feeding system for fish farms in offshore. The amount of feed is depending on temperature and fish weight. The fish farm temperature is changed extremely in offshore than on land side. This paper described that the feed amount is calculated automatically according to temperature and fish weight, and the remote feed system. The performance of remote feed system is tested with model.

**Key words** : Open sea, Fish farm, Remote feed supply system. Water temperature, Feed quantity

## 1. 서 론

근해의 해상환경이 급속히 악화되면서 양식장 공간을 확보하는 것이 매우 어려운 상황이며 수산업은 세계적으로 잡는 어업에서 기르는 어업으로 변화하고 있다.

현재 외해가두리 양식장에 적용되고 있는 먹이공급시스템은 부력체에 의하여 부양된 상태이므로 해상에서 분무 혹은 투기의 방식으로 먹이를 뿌려주는 형태가 대부분이다. 이 방식의 단점은 일단 투여된 먹이는 자중에 의하여 해중(海中)에서 일정시간 부유하다가 흡수되면서 해저로 침착하는 형태로서 어류가 먹지 않고 유실되는 양이 많게 되고, 그 만큼 필요 이상의 먹이를 공급하여야 하며, 특히 이들이 오염의 근본 원인이 되고 있다.(국립 수산과학원, 2007)

다른 방식으로는 해상 부유물에 밸브, 도관, 펌프 등을 이용하여 일정한 주기와 양으로 먹이를 해저 면에 공급되도록 하는 자동 먹이공급시스템이 있다. 그러나 이러한 방법은 원거리에서 먹이의 공급량 및 공급시간을 제어하기가 어렵다는 단점이 있다. 또한 해중에 설치된 가두리의 경우에는 필요한 먹이를 잠수부에 의하여 공급하여야 하므로 생산원가를 증가시키는 요인이 된다.(김, 2007)

그러므로 먹이가 해저에 침착되어 어류가 먹지 않게 되어 수질이 오염되는 문제와 원거리에서 먹이 공급량과 공급시간을 제어 할 수 있는 외해 가두리 양식장 관리 시스템의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결한 부이식 외해 가두리양식장에 적합한 원격 먹이공급시스템 연구결과를 기술하고자 한다.

## 2. 먹이공급시스템 구성

외해 가두리 양식장은 독립된 전력계통을 확보해야 하며, 육상의 관리센터와(수 Km~ 수십 Km) 떨어진 곳에 위치한 양식장의 먹이공급시스템을 원격으로 제어 및 관리하기 위해서는 무선 방식의 원격 제어 및 관리가 가능해야 한다.

먹이공급시스템은 기상 및 고기의 생육상태에 따라 적절하게 공급할 수 있도록 대량의 먹이를 부이 형태의 구조물에 보유할 수 있도록 구성된다. Fig. 1은 외해 가두리 양식장용 먹이공급시스템 구성도이다. (오, 2008)

† 교신저자 : 종신회원, ojs@hhu.ac.kr 051)410-4283

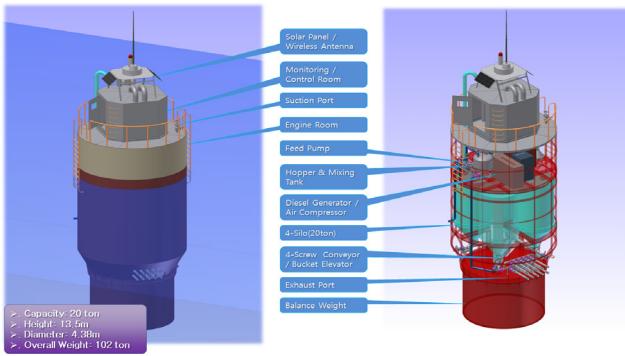


Fig. 1 Concept of food supply buoy

Fig. 1의 먹이공급시스템 구성품 및 기능은 Table 1과 같다. 먹이공급시스템이 최적의 제어 및 안정성을 갖도록 하기 위하여 제어체계는 정량제어를 위한 플렉시블 스크루, 파이프 내 먹이배송을 위한 해수 펌프, 먹이공급시스템을 제어하는 제어기, 각종 제어 상태를 관찰하는 모니터링 부분으로 구성되어 있다.

Table 1 Configuration of the food supply system

구성품	기능	수량
태양 전지판	무선 통신 장치 전원 공급	2
해상용 발전기	먹이공급장치 시스템 전원 공급	1
보조 연료탱크	발전기용 연료 탱크	1
축전지	비상시 시스템 전원 공급 및 무선 통신 전원 공급	1
충전장치	발전기 구동시 축전지에 충전을 위한 장치	1
사일로	먹이를 보관하는 통(습기제거를 위한 히터 포함)	4
먹이 이송라인	스크루 형태의 공급관을 통하여 사일로에 먹이를 호퍼로 이송시키는 장치(모터를 이용하여 먹이의 양을 조절)	4
호퍼	사일로에 이송되어진 먹이를 일시 저장하는 공간	1
압력 탱크	먹이와 해수를 섞어 배출하기 위한 공간	1
해수 펌프	먹이 공급을 위한 해수를 공급하는 펌프	1
공기 압축기	압력 탱크의 해수를 배출하거나 각종 밸브를 구동하기 위한 압축공기를 생성하는 장치	1
밸브	각각의 유로에서 유체의 흐름을 적절하게 제어하기 위한 장치	14
온도 센서	사일로 및 압력 탱크 등의 온도를 측정하여 현재 상태를 파악하기 위한	5

구성품	기능	수량
압력 센서	압력 탱크 및 압축 공기/해수 라인의 압력을 모니터링하여 먹이 공급 장치의 운전 상태를 파악하기 위함	4
레벨 센서	사일로에 설치된 레벨 센서는 각각의 사료량을 모니터링 하며, 연료 탱크의 레벨을 감시하여 시스템 안전성을 확보함	5
제어기	먹이공급장치의 각 구성품을 운영 알고리즘에 따라 적절히 동작시키는 장치	1
무선 모듈	원격지의 관리소에서 송출되는 데이터를 수신하여 먹이 공급장치를 구동하기 위한 장치	1

먹이공급시스템의 핵심적인 기계적인 메카니즘은 먹이공급장치, 계측장치, 먹이이송용 해수시스템 등으로 되어 있다. 메카니즘을 기상 및 고기의 생육상태에 따라 최적으로 관리하기 위하여 제어알고리즘, 제어기, 감시시스템을 구성해야 한다. 또한 신호처리를 위한 통신시스템을 RF 기반으로 구축하여 연구에 활용하였다. Fig. 2는 먹이공급시스템의 밸브 계통도를 도시한 것이다.(오, 2009)

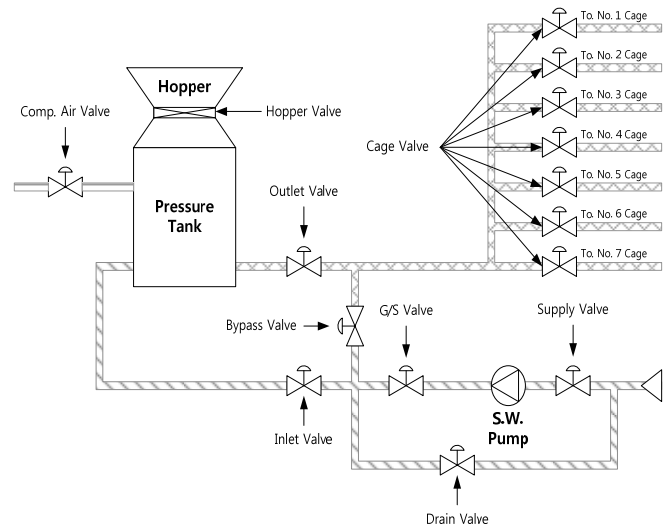


Fig. 2 Schematic diagram of value system for food supply system

먹이공급시스템에서 공급하는 먹이량은 고기의 중량 및 수온에 따라 조정하게 된다. 고기가 성장함에 따라 먹는 먹이량이 변하고 수온이 낮아지면 어류의 신진 대사량이 줄어들기 때문에 먹이공급시스템에서 공급하는 먹이량은 고기의 중량 및 수온에 따라 조정되어야 한다. Fig. 2의 먹이공급시스템을 구성하고 있는 밸브는 양식의 환경(수온, 어류생육상태 등)에 따라 자동으로 제어 및 관리되어야 하므로 먹이공급시스템은 Fig. 3의 동작 타임차트에 따라 제어된다. 먹이 공급량은 hopper value와 supply value의 시간에 따라 정해지게 되며 이 시간은 필요 먹이량에 따라 변화한다.

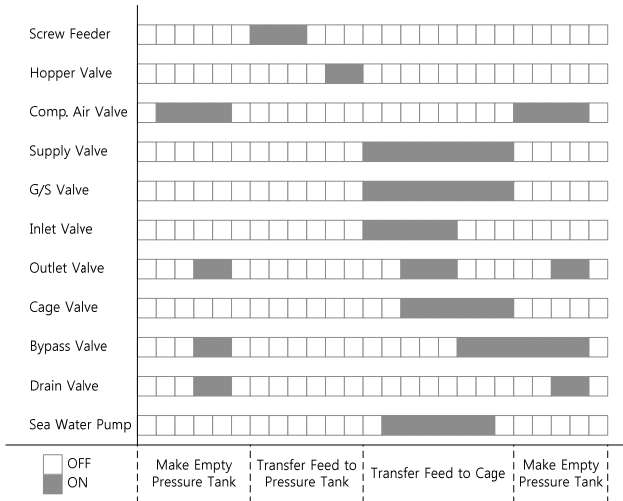


Fig. 3 Flowchart of food supply system

### 3. 먹이공급 메카니즘

외해 가두리 양식장에 활용되기 위한 먹이공급시스템은 육상의 양식장 관리자가 원하는 위치에서 기상 및 고기의 생육 상태 등의 환경요소에 적합하게 운용할수 있어야 한다. 따라서 먹이공급시스템은 원격 및 로컬에서 제어 및 감시가 가능한 메카니즘을 가져야 한다. 원격 먹이공급시스템은 제어장치와 로컬 제어장치는 주기적으로 무선 통신을 통하여 시간을 동기화 하고, 제어알고리즘에 따라 먹이공급 일정을 정해진 과정에 따라 체계적으로 수행할 수 있어야 한다.

#### 3.1 먹이공급 알고리즘

일반적으로 가두리 양식장의 먹이공급시스템은 예약, 공급

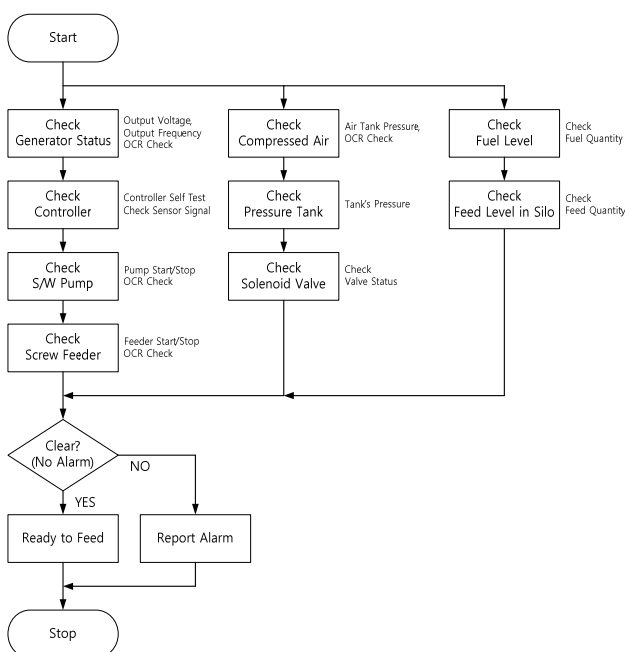


Fig. 4 Initialization algorithm for food supply system

시간, 공급패턴, 먹이공급주기 등 다양한 요구사항을 반영하여 구성해야 한다. 그러므로 먹이공급시스템은 먹이공급의 예약 일정을 설정하거나 1회성 동작 등을 명령할 수 있어야 하며, 로컬 제어장치에서는 1회성 동작 명령이나 먹이 공급 장치의 하드웨어 구성요소들에 대한 초기화 작업을 할 수 있도록 한다. Fig. 4는 먹이공급시스템의 초기화 알고리즘 계통도를 도시한 것이다.

#### 3.2 먹이 공급량 알고리즘

어류는 수온 및 어류의 성장 상태에 따라서 먹이를 먹는 량이 변화하게 된다. 수온이 떨어지게 되면 어류의 활동량이 줄어들어 먹이를 먹지 않게 되고 수온이 너무 올라가면 어류가 스트레스를 받아서 먹이를 먹지 않는다. 또한 어류의 성장 크기에 따라 먹이를 먹는 량이 변화한다. 그러므로 고기중량 및 수온에 따른 사료량을 정리하면 Table 2와 같다.

사료량은 여러 가지 환경요소에 따라 변화하지만 Table 2의 먹이상수 값을 이용하여 식 (1)에 따라 결정된다.

$$S = \frac{F \times 100}{G_{fish}} \times N \quad (1)$$

식 (1)에서 S는 먹이 공급량이고 F는 Table 2에서의 먹이상수,  $G_{fish}$ 는 어체 중량, N은 어류의 개체수를 나타낸 것이다. (국립수산과학원, 2007, Aynimelch Y.J 1994) Table 2는 수조에서 실험을 통하여 얻은 최적 값이다. Table 2에 정립되지 않은 값은 Table 2사이의 값을 비례적으로 보고 값을 계산하면 무리 없이 산정이 가능하다.

Table 2 Fish weight and water temperature due to the constant feeding of a single fish(flatfish)

Water temperature	Fish weight												
	3	10	20	50	100	200	300	400	500	600	700	800	1000
15	4	2.5	2	1.5	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
16	5	3	2.3	1.7	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
17	6	3	2.5	1.8	1.2	1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
18	7	4	3	2	1.3	1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4
19	7	4	3	2	1.5	1.1	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4
20	8	5	3.5	2.3	1.6	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
21	8	6	4	2.5	1.7	1.2	1.1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4
22	0	7	4.5	2.8	1.8	1.3	1.2	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5
23	0	8	5	3	1.8	1.3	1.2	1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5

본 연구에서는 측정된 온도값 및 어체의 중량에 따른 먹이값을 산정(오,2008)하여 식 (1)에 대입하여 먹이 공급량을 결정한다. 결정된 먹이 값(량)을 전동기 직류회전수 제어를 통하여 일정량을 공급한다.

먹이공급시스템에서 먹이공급용 압력탱크에 일정 먹이량을 공급하기 위하여 직류전동기 회전수 제어를 통하여 호퍼(hooper)에 공급되는 먹이량을 조절한다. 식 (2)는 호퍼에 목표한 먹이공급량을 탑재하기 위하여 사용한 직류전동기 회전수 제어에 필요한 식을 나타낸다.

$$n = \frac{1}{k_G} \cdot \frac{V - I_a R_a}{\Phi} \quad (2)$$

여기서  $k_G$ 는 상수,  $\Phi$ 는 자속,  $V$ 는 단자 전압,  $I_a$ 는 전기자 전류,  $R_a$ 는 저항이다. 각각 전기자 전류 및 저항이다. 가두리에 사료를 공급하는 압력탱크에 목표한 먹이량은 식 (3)에 의해 결정된다.

$$W = n \cdot W_R \quad (3)$$

여기서  $W_R$ 은 회전당 이송되는 먹이량 이다.

제어시스템의 핵심인 제어기는 LabVIEW 및 PIC 기반으로 구성하였다. 본 연구에서 구축한 제어시스템은 Fig. 5와 같다.(이, 1992, Tacon, 1985)

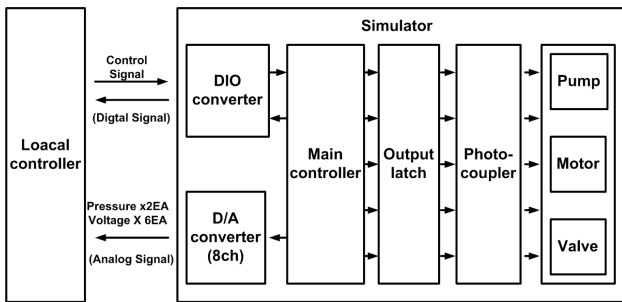


Fig. 5 Flowchart of control signal for food supply system

제어기능은 화면상에서 운용이 가능하도록 구성하였다. Fig. 5에서 로컬 제어 시스템은 실제 해상에 설치되고 원격제어 시스템은 육상에 설치된다. 두 개의 시스템은 무선 통신을 통하여 제어 및 관리를 수행하도록 시스템을 구축하였다. Fig. 5에서 정량의 사료를 공급을 위하여 Fig. 2의 플렉시벌 스크루의 정밀제어가 요구된다. 플렉시벌 스크루는 정밀한 제작을 통하여 1회전에 20g의 사료가 토출되도록 제작하였다. 플렉시벌 스크루는 양식장 전원 특성을 고려하여 직류전동기에 연결하여 제어한다. 그러므로 직류전동기를 정밀하게 제어하는 것이 중요하다. Fig. 6는 사료공급용 스크루 제어를 위한 직류전동기를 제어하기 위한 블록선도이다.

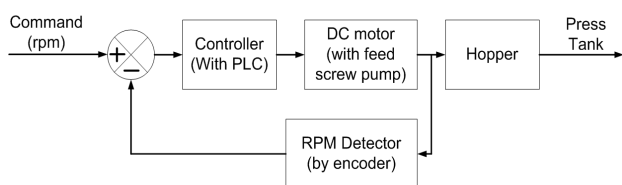


Fig. 6 Block diagram of feeding pump

정량의 사료공급 및 공급 속도를 제어하기 위하여 토크에 비례하는 전류를 제어하기 위하여 식 (4)을 이용하여 사료공급 스크루를 제어한다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + K_E w = V(t) \quad (4)$$

여기서  $R$ 은 전기자 저항,  $L$ 은 인덕턴스,  $K_E$ 는 역기전력 상수,  $w$ 는 각속도이다. 정량의 사료를 공급하기 위해서는 우수한 감속제어 기능을 갖추어야 한다. 목표치의 사료를 탑재하기 위해 식 (5)를 이용하였다.

$$W_R = (2 \cdot q_e \cdot r)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

여기서  $q_e$ 는 오차이고,  $r$ 은 감속비이다.

#### 4. 실험 및 고찰

먹이 공급 장치의 수온을 측정하여 수온 값 변화에 따라 양식장용 자동 먹이 공급 장치가 정상 동작하는 지를 실험을 통하여 알아보았다. 실험은 제어 시스템을 제외한 부분은 시뮬레이션을 통하여 실험하였다.

제어 시스템은 최대 8개의 수조를 제어 할 수 있도록 구성하였다. Fig. 7은 먹이 공급 장치 로컬 제어 시스템을 나타낸 것이다. 제어 시스템은 터치 스크린 형태로 구성되어 있으며 로컬에서 플렉시벌 스크루 펌프, 먹이 투여 밸브, 해수 펌프 등을 제어한다.

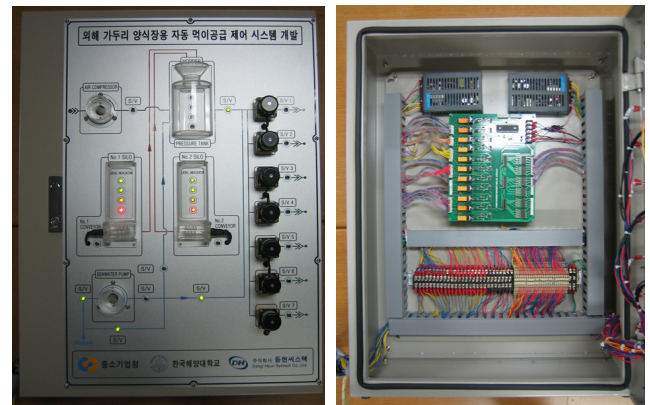


Fig. 7 Photograph of simulator of food supply system

Fig. 8은 원격 제어 프로그램 화면을 나타낸 것이다. 먹이공급 장치의 현재 상태와 각 수조의 상태를 확인 할 수 있도록 구성하였다.

먹이 공급 장치에서의 수온에 따른 먹이량의 계산 및 실제 플렉시벌 스크루 펌프를 이용했을 때의 먹이 공급량을 나타낸 것이다. 수온 따라 먹이량을 변화 하면서 공급하는 것을 알 수 있다. Fig. 9는 먹이량을 계산한 것과 실제 먹이 투여량을 나타낸 것이다.



Fig. 8 Photograph of monitoring program

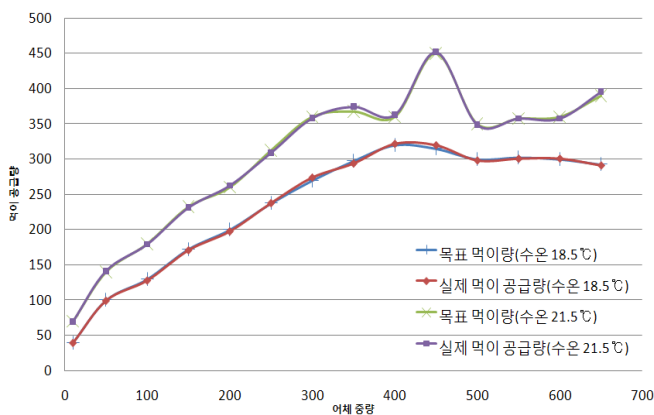


Fig. 9 Waveform of objectives and actual amount of food feed

실험 결과 온도에 따라 먹이 공급량이 변화하고 먹이 공급량에 일정한 오차 범위 5% 안으로 먹이를 공급하는 것을 알 수 있다. 먹이 공급량의 오차는 스크루 펌프에서의 먹이량의 떨어짐의 오차로 판단된다. 이 정도의 오차는 정량 공급 범위 오차에 있으므로 정상투여 된다고 판단 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 외해 양식장에서 사용되는 자동 먹이 공급 장치 시스템을 구성하고 수온 및 어체 중량에 따른 먹이 공급량을 계산하여 실제로 정량의 먹이가 공급되는지 실험을 통하여 확인하였다. 실험 결과 일정한 범위 내에서 계산된 먹이량을 투여 할 수 있음을 알 수 있다.

또한 무선 원격 제어를 통하여 해상에 사람이 가지 않고 자동으로 먹이 투여 및 먹이량을 조절할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 먹이공급장치는 수온 및 어체 중량에 따라 적절한 먹이량을 계산하고 자동으로 먹이를 투여할 수 있는 기능을 갖도록 하였다

앞으로 실제 해상에 먹이 공급 시스템을 구축하여 해상환경에서의 적용성 및 실용화에 대한 연구가 필요할 것이다

This paper is based on 'a development of hybrid power generation system for ocean facility' supported by Ministry of Land, Transport and Maritime affairs of Korea.

## 참고 문헌

- [1] 국립 수산과학원, 양식 사료용 연구 센터(2007), 넙치양식 지침서 표준안.
- [2] 김경민(2007) “외해가두리를 이용한 돌돔 시험 양식과 적정사료공급을 위한 기반 연구”, 부경대학교 대학원 박사학위 논문
- [3] 오진석, 곽준호, 정성재, 함연재, 이지영(2008) “ 외해 가두리 양식장 데이터 분석 및 원격 감시 시스템 개발”, 한국마린엔지니어링 학회지 제 32권 제 1호, pp153-161
- [4] 오진석, 조관준(2009), “양식장용 자동 먹이 공급시스템 설계”, 한국해양학회지 제 33권 제 10호, pp709-713
- [5] 이강현, 메카트로닉스를 위한 모터제어기술, 성안당, 1992
- [6] Avnimelch, Y, M. Kochva, and S. Dia (1994), “Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio”, Israel Journal of aquaculture-bamidgeh 46, pp119-131
- [7] Tacon, A. and Jackson, A. J.(1985) In Nutrition and Feeding in Fish (eds Cowey, C.B., Mackie, A. M. and Bell, J. G.), Academic Press, London, 1985, pp. 119-145.

원고접수일 : 2010년 9월 14일  
 심사완료일 : 2010년 12월 7일  
 원고채택일 : 2010년 12월 7일