

양식장용 자동 먹이공급시스템 설계

오진석†, 조관준*

† 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수, *한국해양대학교 대학원

Design of Auto Feed Supply System for Fish Farm

Jin-Seok, Oh†, Kwan-Jun, Jo*

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

* Division of Mechatronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 근해의 수질오염은 수산양식 산업에 큰 영향을 미친다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 근해에서 외해로 양식장이 이동하고 있다. 외해 양식장의 구축을 위해서는 자동먹이 공급장치 및 원격 관리 시스템이 필요하다. 본 논문은 해상의 양식장에서의 자동 먹이 공급 시스템에 관하여 설명하고자 한다. 어류는 수온 및 어체 중량에 따라 먹이를 먹는 양이 변화하며, 해상 양식장의 경우 육상에 비하여 온도 변화가 크게 일어난다. 본 논문은 수온 및 어체 중량에 따라 먹이량을 계산하고 자동으로 먹이를 공급하는 시스템을 연구하였으며 모형 실험을 통하여 먹이 공급 장치의 성능을 검증하였다.

핵심용어 : 양식장, 자동 먹이 공급장치, 수온, 어체 중량, 외해

Abstract : Water pollution of coast has a significant impact on the fish farm and fisheries. For solving the water pollution problems the fish farms are moving to the open sea. The fish farms in open sea have to operate by the automatic feeding system and remote monitoring system for safety and management. This paper describes an automatic feeding system for fish farms in open sea. Water temperature and fish weight will change depending on the amount of feed. And the fish farm temperature is changed extremely in open sea than on land side. This paper described that the feed amount is calculated automatically according to temperature, fish weight, and the automatic feed system. And the performance of automatic feed system is verified with test model for operation test.

Key words : Fish farm, Auto feed supply system, Water temperature, Fish weight, Open sea

1. 서 론

세계적으로 잡는 어업에서 기르는 어업으로 수산업이 변화하고 있으며, 수질문제를 극복하기 위하여 근해에서 외해로 양식장 위치를 이동하고 있다. 최근의 양식산업 변화는 관리성, 경제성 및 안전성 측면에서 새로운 문제를 야기하고 있다. 일정한 시간 간격으로 지속적으로 관리를 해야하는 양식산업의 특성상 가장 중요한 것이 기상상태 및 생육상태에 따라 정량의 먹이를 공급하는 것이다.(김, 2007)

우수한 관리성 및 경제성을 확보하기 위해서는 육상의 관리자가 육상에서 원격으로 편리하게 먹이공급시스템을 자동으로 제어, 감시 할 수 있어야 한다. 해상에 설치된 가두리 양식장에서 이루어지는 먹이공급 동작이 원활하게 수행될 수 있도록 하기 위하여 간결하면서도 완전한 동작이 가능하도록 하드웨어를 구성하고, 이에 따른 최적의 구동 알고리즘을 구축해야 한다. 자동먹이공급시스템을 통하여 확보되는 DB 등은 양식 어종에 대한 기반 자료로 활용될 수 있도록 지속적으로 연구를 수행할 계획이다.(오, 2008, Tacon, 1985)

본 연구에서는 정량제어가 가능하도록 하드웨어를 구성하고, 수온 및 어체 중량에 따라 공급되는 먹이량 계산하였으며 실제 투여량을 실험을 통하여 알아보았다. 실험 결과를 바탕으로 실제 원양의 가두리 양식장에 자동으로 먹이를 공급하는 장치를 연구 하고자 한다.

2. 먹이 공급 시스템

지금까지 양식장 먹이공급은 분무 혹은 투기의 방식으로 먹이를 뿌려주는 형태가 대부분이다. 이 방식의 단점은 일단 투여된 먹이는 자중에 의하여 해중(海中)에서 일정시간 부유하다가 해저로 침착하는 형태로서 어류가 먹지 않고 유실되는 양이 많게 되고 그 만큼 필요 이상의 먹이를 공급하여야 하며, 특히 이들이 모두 해수오염의 근본 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 국내외 현황을 고려하여 약 10 km 내외에 위치한 양식장 모델에 대하여 연구하고자 한다.

먹이공급시스템은 기상 및 고기의 생육상태에 따라 적절하게 공급할 수 있도록 대량의 먹이를 부이 형태의 구조물에 보유할

† 교신저자 : 오진석(중신회원), ojs@hhu.ac.kr 051)410-4283

* 조관준(정회원), 119sky1004@naver.com 051)410-4866

수 있도록 구성된다. Fig. 1은 먹이공급 개념도이다.

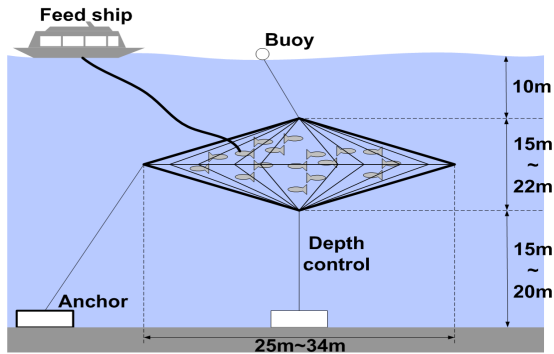


Fig. 1 Concept of food supply

먹이공급시스템의 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위하여 먹이 제어체계는 정량제어를 위한 플렉시블 screw, 파이프 내 먹이 배송을 위한 해수 펌프, 먹이공급시스템을 제어하는 제어기, 각종 제어 상태를 관찰하는 모니터링 부분으로 구성되어 있다. 모니터링 부분은 먹이 공급 장치를 통하여 공급된 먹이량을 육상의 관리소로 전송하여 육상의 관리소에서는 보다 효과적으로 어종 육성에 관한 데이터를 DB화 할 수 있도록 한다.

먹이공급시스템의 기계메카니즘은 먹이공급장치, 계측장치, 먹이이송용 해수시스템이 핵심 구성이다. 기계적메카니즘을 기상 및 고기의 생육상태에 따라 최적으로 관리하기 위하여 제어 알고리즘, 제어기, 감시시스템을 구성해야 한다. 또한 신호처리를 위한 통신시스템을 RF 기반으로 구축하여 연구에 활용하였다. Fig. 2는 먹이공급시스템 계통도를 도시한 것이다.(오, 2008)

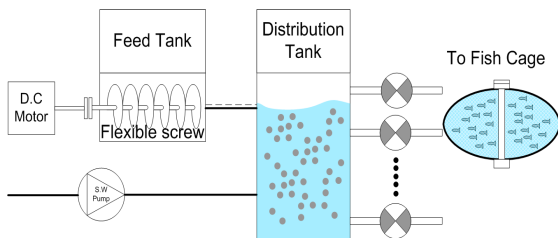


Fig. 2 Schematic diagram of food supply system.

어류에 공급 하는 먹이량은 고기의 중량 및 수온에 따라 변화하게 된다. 어체가 성장함에 따라 먹는 먹이양이 변화하게 된다. 어류는 변온 동물이기 때문에 수온이 낮아지면 어류의 신진대사량이 줄어든다. 수온에 따라 먹이를 먹는 양이 변화하게 된다. 자동 먹이 공급 장치 시스템은 이러한 수온과 어체 중량을 계측하여 적절한 먹이를 공급하여야 한다.

3. 제어 및 감시 시스템

먹이공급시스템은 양식장 관리자가 원하는 위치에서 기상 및

고기의 생육상태 등의 환경요소에 적합하게 운용되어야 한다. 먹이공급시스템은 원격 및 로컬에서 제어 및 감시가 가능해야 하며, 원격 제어장치는 육상의 관리소에 위치하게 되며, 로컬 제어장치는 해상의 먹이공급시스템 내부에 설치된다. 원격 제어장치와 로컬 제어장치는 주기적으로 무선 통신을 통하여 시간을 동기화 하고, 제어알고리즘에 따라 먹이공급일정을 체계적으로 수행할 수 있어야 한다.

3.1 먹이 공급량 제어 알고리즘

먹이공급시스템은 예약, 공급시간, 공급패턴, 먹이공급주기 등 다양한 요구사항을 반영하여 구성해야 한다. 원격 제어장치에서는 먹이 공급의 예약 일정을 설정하거나 1회성 동작 등을 명령할 수 있으며, 로컬 제어장치에서는 1회성 동작 명령이나 먹이 공급 장치의 하드웨어 구성요소들에 대한 초기화 작업을 할 수 있도록 한다. Fig. 3은 전체 제어알고리즘의 계통도를 도시한 것이다.

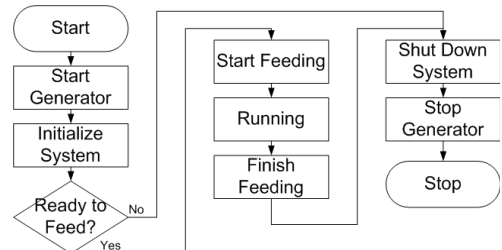


Fig. 3 Control algorithm of food supply system.

3.3 먹이 공급량 결정 알고리즘

어류는 수온 및 어류의 성장 상태에 따라서 먹이를 먹는 양이 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 양이 변화한다. 이러한 먹이 공급량을 정리 하면 Table 1과 같다.

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

어체 중량 (g) \ 수온 (°C)	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	0.41	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
24	0	0	5	3	1.8	1.4	1.3	1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.5
25	0	0	4	2.5	1.7	1.3	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0
26	0	0	0	2	1.5	1.2	1.1	0.9	0.8	0.6	0.5	0	0
27	0	0	0	2	1.4	1.1	1	0.8	0.7	0.5	0	0	0

사료 투입량은 어체 중량과 수온등에 따라 Table 1에서 먹이 값을 찾는다. 이렇게 얻은 먹이양을 식(1)을 통하여 사료 공급량을 결정한다.

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

식(1)에서 S는 먹이 공급량이고 F는 Table 1에서의 먹이 상수이고 G_{fish} 는 어체 중량이고 N은 어류의 개체수를 나타낸 것이다. (국립수산과학원, 2007, Aynimelch Y.J 1994) 테이블은 수조에서 실험을 통하여 얻은 최적 값이다. 하지만 온도는 1도 마다 변화하지 않으며 어체 중량 또한 차이가 크다. Table 1에 없는 먹이 값을 찾기 위하여 Table 1 사이의 값을 비례적으로 보고 값을 계산하였다.

Fig. 4는 먹이 값을 계산하는 방식을 나타낸 것이다. 사각형은 Table 1에 있는 값이고 삼각형은 측정된 수온과 어체 중량을 나타낸 것이다. Table 1에 없는 값은 온도와 어체 중량에 비례한다고 가정하고 다음과 같은 식으로 먹이 값을 계산한다. 측정된 온도 값을 M_t , 측정된 어체 중량을 M_g 라고 하고 M_t 값에서 올림 한 값을 t_2 내림한 값을 t_1 으로 한다. M_g 값을 Table 1에서 어체 중량의 상하 값을 찾아 그 값을 G_1, G_2 라고 한다.

온도 t_1 에서 어체 중량 G_1 일 때의 먹이 값을 a, 어체 중량 G_2 일 때의 먹이 값을 b라고 한다. 그리고 온도 t_2 에서 어체 중량 G_1 일 때의 먹이 값을 c, 어체 중량 G_2 일 때의 먹이 값을 d라고 한다. a, b, c, d 값은 Table 1에서 찾는다. 이 값을 바탕으로 식(2)와 (3)을 통하여 어체 중량 G_1 과 G_2 에서의 측정 온도 값에 따른 먹이량 V_1 과 V_2 를 구한다.

어체 중량 \ 수온	200 G_1	250 M_g	300 G_2
21 t_1	1.2 a		1.1 b
21.5 M_t	1.25 V_1	1.2 F	1.15 V_2
22 t_2	1.3 c		1.2 d

Fig. 4 Calculation of the constant feeding

$$V_1 = (c - a) \left(\frac{M_t - t_1}{t_2 - t_1} \right) + a \quad (3)$$

$$V_2 = (d - b) \left(\frac{M_t - t_1}{t_2 - t_1} \right) + b \quad (4)$$

식(3)과 (4)에서 V_1 과 V_2 의 먹이 값을 어체 중량 M_g 값으로 찾기 위하여 식(5)로 계산한다.

$$F = (V_2 - V_1) \left(\frac{M_g - G_1}{G_2 - G_1} \right) + V_1 \quad (5)$$

식(5)에서 얻은 값을 식(1)에 대입하여 먹이 공급량을 결정하고 결정된 먹이 값을 목표로 screw 제어를 통하여 먹이를 공급한다.

3.2 제어 및 감시 시스템

제어시스템의 핵심인 제어기는 LabVIEW 및 PIC 기반으로 구성하였다. 본 연구에서 구축한 제어시스템은 Fig. 5와 같다. 제어기능은 화면상에서 운용이 가능하도록 구성하였다. Fig. 5에서 로컬 제어 시스템은 실제 해상에 설치되고 리모트 제어 시스템은 육상에 제어소에 설치된다. 두 개의 시스템은 무선 통신을 통하여 제어 및 관리를 수행하도록 시스템을 구축하였다. 통신 시스템은 무선 LAN형태의 통신 장비를 이용하여 최대 10km의 통신 거리를 갖는 제어 시스템으로 구성하였다.

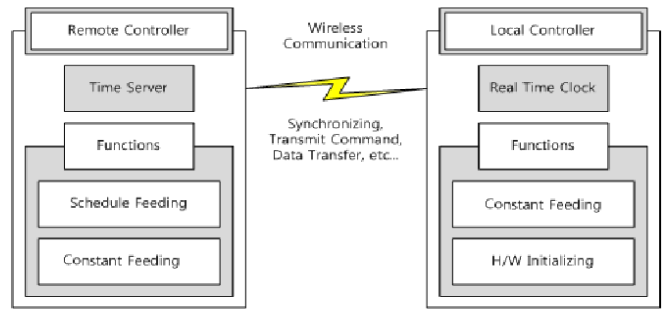


Fig. 5 Structure of control system

Fig. 5에서 정량의 사료의 공급을 위하여 Fig. 2의 플렉시벌 screw의 정밀제어가 요구된다. 플렉시벌 screw는 정밀한 제어를 통하여 1회전에 20g의 사료가 토출되도록 제작하였다. 플렉시벌 screw는 양식장 전원 특성을 고려하여 직류전동기에 연결하여 제어한다. 그러므로 직류전동기를 정밀하게 제어하는 것이 중요하다. Fig. 6는 사료공급용 screw 제어를 위한 직류전동기 제어를 위한 블록선도이다.

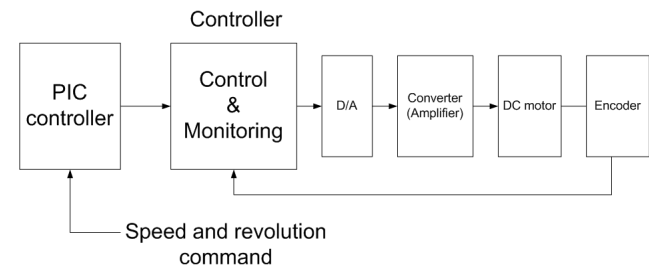


Fig. 6 Block diagram of feeding pump

정량의 사료공급 및 공급속도를 제어하기 위하여 토크에 비례하는 전류를 제어하기 위하여 식(6)을 이용하여 사료공급 screw를 제어한다.

$$L \frac{di}{dt} + Ri + K_E v = V(t) \quad (6)$$

여기서 R은 전기저항, L은 인덕턴스, K_E는 역기전력 상수이다. 정량의 사료를 공급하기 위해서는 우수한 감속제어 기능을 갖추어야 한다. 목표치의 사료를 탑재하기 위해 식(7)을 이용하였다.

$$W_R = (2 \cdot q_e \cdot r)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

여기서 q_e는 오차이고, r은 감속비이다. (이, 2009)

4. 실험 및 고찰

먹이 공급 장치가 수온을 측정하여 수온 값 변화에 따라 양식장용 자동 먹이 공급 장치가 정상 동작 하는 지를 실험을 통하여 알아보았다. 수온에 따라 먹이 투입량이 변화하는지 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 플렉스벨 screw 펌프, 먹이 투입 밸브, 해수 펌프 등을 제어 한다.



Fig. 7 Photograph of Auto feed control system.

Fig. 8은 원격 제어 프로그램 화면을 나타낸 것이다. 먹이 공급 장치의 현재 상태와 각 수조의 상태를 확인 할 수 있도록 구성되어 있다.



Fig. 8 Photograph of remote control program

수온에 따른 먹이양의 계산 및 실제 플렉시벨 screw 펌프를 이용했을 때의 먹이 공급량을 나타낸 것으로, 수온에 따라 먹이 양을 변화 하면서 공급하는 것을 알 수 있다. Fig. 9와 표 2는 먹이량을 계산한 것과 실제 먹이 투입량을 나타낸 것이다.

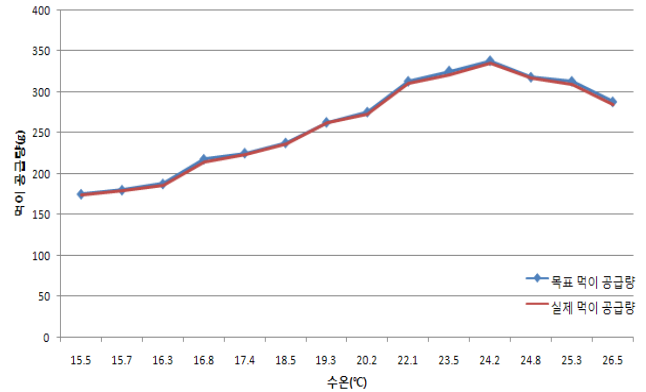


Fig. 9 Waveform of objectives feed amount and feem amount actually feed

Table 3 Objectives feed amount and feed amount actually fed

수온 (°C)	어체 중량 (g)	개체수 (마리)	목표 먹이 공급량(g)	실제 먹이 공급량(g)
15.5	250	100	175	173.8
15.7	250	100	180	179.1
16.3	250	100	187.5	185.1
16.8	250	100	217.5	214.2
17.4	250	100	225	223.2
18.5	250	100	237.5	236.1
19.3	250	100	262.5	262.1
20.2	250	100	275	272.5
22.1	250	100	312.5	309.8
23.5	250	100	325	320.5
24.2	250	100	337.5	334.5
24.8	250	100	317.5	315.8
25.3	250	100	312.5	308.5
26.5	250	100	287.5	283.8

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

5. 결론

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 투입

할 수 있음을 알 수 있다.

또한 무선 원격 제어를 통한 제어를 통하여 해상에 사람이 가지 않고 자동으로 먹이 투여 시간 및 먹이양을 자유롭게 조절하여 먹이를 투여 할 수 있다. 또한 수온에 따라 먹이양을 조절하여 적절한 양의 먹이를 투여 할 수 있는 기술을 확보하였다.

앞으로 실제 해상에 적용하여 본 시스템의 해상 환경에서의 적용성 및 실용화에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 산학 공동기술 개발 지원 사업의 “외해 가두리 양식장용 자동먹이공급 제어 시스템 개발”과 국토해양부의 “해양 시설물용 Hybrid 전력 생산 시스템 개발”의 일부로 수행 되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- [1] 김경민(2007) “외해가두리를 이용한 돌돔 시험 양식과 적정 사료공급을 위한 기반 연구”, 부경대학교 대학원 박사학위 논문.
- [2] 국립 수산과학원 (2007), 양식 사료용 연구 센터, 넙치양식 지침서 표준안.
- [3] 이강현(1992) 메카트로닉스를 위한 모터제어기술, 성안당.
- [4] Avnimelch, Y., Kochva, M., and Dia, S. (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.
- [5] Oh, J. S., Kwak, J. H., Jung, S. J., Ham, Y. J., and Lee, J. Y. (2008), “A data analysis and RMS Development for fish-cage in open sea”, Journal of the korean society of marine engineering, pp153-161.
- [6] 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 : 2009년 10월 27일

심사완료일 : 2009년 12월 13일

원고채택일 : 2009년 12월 15일