

외해 가두리 양식장용 무선 영상 감시 시스템 구축 방안에 대한 연구

오진석† · 곽준호* · 정성재** · 함연재***

(원고접수일 : 2008년 3월 14일, 원고수정일 : 2008년 8월 12일, 심사완료일 : 2008년 9월 5일)

A Study of Method for Construction of Wireless Vision Monitoring System for Fish-cage in Open Sea

Jin-Seok Oh† · Jun-Ho Kwak* · Sung-Jae Jung** · Yeon-Jae Ham***

Abstract : Recently, a few types of fish-cage in open sea are researched. This fish-cage has to operate monitoring system for keeping an optimum living condition for fish. The most efficient monitoring system is WVMS(Wireless Vision Monitoring System) for fish-cage in open sea. WVMS should be able to transmit video signal and communicate with each controller. So, it needs to be based on WLAN(Wireless LAN) which has characteristic of higher transfer-rate. In this paper, we propose a structure of WVMS using WLAN equipments for maritime environment and prove its effectiveness. We present the propagation loss model of WVMS's communication channel, measured by field test, and discuss its validity compared with the predictive value based on the Friss propagation model and Plane earth reflection model. We present the number of frames that is received from WLAN modem connecting with underwater-camera in field test spots. As a result, we confirmed that proposed WVMS is suitable for maritime environment and it is possible to be applied to fish-cage in open sea on 'seogwipo'.

Key words : Wireless vision monitoring system(무선영상감시시스템), Wireless communication (무선통신), Open sea(외해), Fish-cage(가두리), Wireless LAN(무선랜)

1. 서 론

최근 국내·외에서 외해 가두리 양식장의 필요성이 대두됨에 따라 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이와 더불어 외해 가두리 양식장의 원격 모니터링 시스템의 필요성도 크게 대두되고 있다. 현재 국내

에서 외해 가두리 양식장 시스템에 대한 연구는 국립수산과학원을 중심으로 활발하게 진행되고 있으나 원격 모니터링 시스템 부분은 CDMA를 이용하는 위성통신 부분이나 VHF/UHF를 이용한 무선 통신 방법이 주를 이루고 있다^{[1]-[3]}. 그러나 국외에서는 외해 가두리 양식장에 수중카메라 시스템을

† 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계 교수, E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4283)

* 한국해양대학교 대학원 박사과정

** 국립수산과학원 수산공학팀

*** 동현씨스텍 대표이사

도입하고 WLAN 등을 이용한 영상 감시가 가능한 모니터링 시스템 구축을 시도하고 있는 추세이다 (4)-(5).

그러므로 본 논문에서는 일반 환경 데이터 모니터링 뿐만 아니라 영상 감시 시스템을 함께 연동할 수 있는 모니터링 체계를 구축하기 위한 방법에 대하여 조사하고, 현재 제주도 해상에 설치, 운영 중인 외해 가두리 양식장에 적용하기 위한 예비 실험을 수행하였다.

영상 감시 시스템을 무선으로 전송하기 위해서는 많은 양의 데이터를 빠르게 전송할 수 있어야 하고, 실제 외해 가두리 양식장에 적용하여 유지·관리가 용이하여야 한다. 이러한 요구 조건을 만족하기 위해서는 WLAN을 이용하는 방법이 가장 효과적이다. 그러나 육상용으로 연구, 개발되어 사용 중인 대부분의 무선 영상 감시 시스템은 시스템 구성 단가가 높고, 해상에서의 통신이 검증되지 않았으므로, 이를 보완하기 위한 연구가 필요하다 (6)-(8).

본 논문에서는 기존에 연구된 방법보다 저가의 구성요소를 사용하여 시스템 구성 단가를 낮추는 방안을 제시하며, 이를 위한 WLAN 장치의 전파 손실에 대하여 이론적으로 검토하고 실제 실험을 수행하여 결과를 비교해 보았다. 또한 해상에서의 통신이 원활하게 이루어짐을 실험을 통하여 검증함으로써, 실제 제주도 남단 외해 가두리 양식장에 적용할 수 있도록 하였다.

2. 전파 손실 모델링

전파 손실의 예측은 무선 통신 시스템을 설계함에 있어서 가장 기본적으로 수행되어야 하는 작업으로, 이를 통하여 무선 통신 링크의 통신 가능 거리 산출 및 송수신기의 중요 사양이 결정되게 된다. 전파 손실은 통신 환경 하에서 전자파가 전파될 수 있는 모든 조건을 고려하여 계산할 경우 정확한 예측이 가능하지만, 실제로 전자파는 수많은 경로를 통하여 송신기에서 수신기로 전파되므로 현실적으로 전파 손실을 정확하게 예측하는 것은 불가능하다고 할 수 있다⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾. 그러나 본 논문의

연구 대상인 제주도 남단 외해 가두리 양식장은 육지의 해안선으로부터 약 2[km] 떨어진 곳에 위치하고 있으며, 구조적 장애물이 없는 가시거리 상의 무선 통신이므로 다음과 같은 자유공간에서의 전파 손실을 예상할 수 있다.

2.1 Friss의 자유공간 전파 모델

Friss의 자유공간 손실 공식은 무선 통신시스템의 설계와 해석에 일반적으로 적용되며, 자유공간에서 전파가 전송될 때 전파의 전력을 기준으로 모델링 된다. 이 모델은 송수신 전력과 안테나 사이의 거리, 사용파장, 송수신안테나 이득과의 관계를 알 수 있으므로 WLAN 모델 선정에 좋은 자료가 될 수 있다. Friss 모델은 다음의 (1)과 같이 나타낸다.

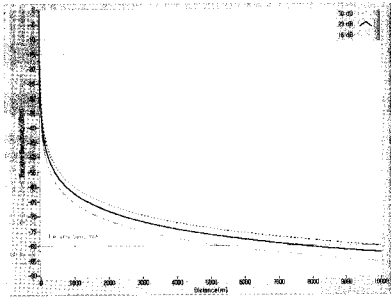
$$P_r = \left(\frac{\lambda}{4 \times \pi d}\right)^2 \times G_t \times G_r \times P_t \quad (1)$$

여기서 P_r 은 수신전력[W], λ 는 이용 파장[m], d 는 송수신점간의 거리[m], G_t 는 송신안테나의 전력이득[dBi], G_r 는 수신안테나의 전력이득[dBi], P_t 는 송신전력[W]을 나타낸다. 실험에 적용한 WLAN 모델의 사양을 다음의 Table 1에 나타내었다.

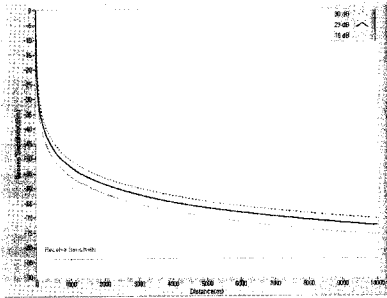
Table 1 Specifications of Wireless LAN Modems

Item	Modem A	Modem B
IEEE No.	802.11a	802.11b
Frequency[GHz]	5.725 ~ 5.825	2.412 ~ 2.462
Modulation	OFDM	DSSS
Output Power	18dBm @ 36Mbps	20dBm @ 11Mbps
Receive Sensitivity	-80dBm @ 36Mbps	-84dBm @ 11Mbps

다음의 Fig. 1은 모델 A, B에 30[dBi], 23[dBi], 16[dBi] 세 가지 종류의 이득을 가지는 안테나를 사용하는 경우에 자유공간 전파 손실 모델을 나타낸 것이다.



(a) Modem A's receive sensitivity versus distance



(b) Modem B's receive sensitivity versus distance

Fig. 1 Power loss of distance according to Friss model equation

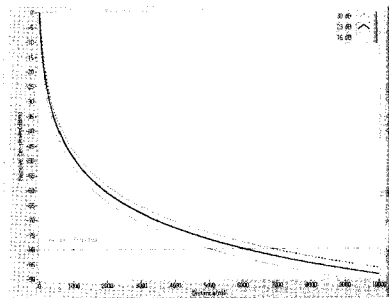
Fig. 1에 나타나듯이 가두리 양식장이 설치되는 2[km] 부근까지 이론적으로 충분히 데이터 송수신이 가능한 것을 알 수 있다.

2.2 Plane earth 전파 모델

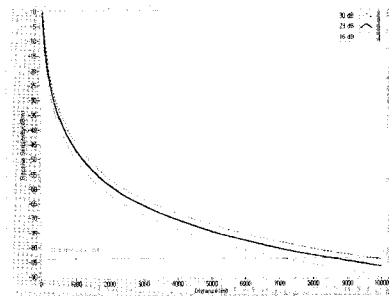
실제 해상 환경에서 통신이 이루어지는 경우에는 해면 반사로 인한 경로가 수신 신호의 세기에 상대적으로 가장 큰 영향을 미치게 되므로, 송수신기간의 직접 경로를 통한 직접파와 해면 반사파만을 고려하여 무선 통신 환경을 모델링 할 수 있다^{[9]-[11]}. 외해 가두리 양식장에서 육상의 모니터링 위치까지의 거리는 지구의 반지름과 비교하여 볼 때 매우 짧은 값이므로 지구의 곡률을 무시하고 평면으로 가정할 수 있다. 그러므로 다음의 (2)와 같은 Plane earth 전파 모델을 사용하여 전파 손실을 예측할 수 있다.

$$P_r = G_t \times G_r \times \left(\frac{h_t - h_r}{d} \right)^2 \times P_t \quad (2)$$

여기서 h_t 는 기지국의 높이[m], h_r 은 이동국의 높이[m]를 나타내며 각각 20[m], 0[m]로 가정하였다. Fig. 2에 Fig. 1과 동일한 조건의 모델별 수신감도를 나타내었다. Fig. 2에 나타난 결과는 Fig. 1과 비교하여 상대적으로 수신감도가 거리에 따라 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 해상 환경에서의 수신측에는 직접 경로를 통한 직접파와 해수면 반사 경로를 통한 반사파가 동시에 도달하게 되는데, 직접파와 간섭파 간에는 위상 및 진폭의 차이가 발생하게 되므로 상호 간섭이 발생하게 되기 때문이다^[12].



(a) Modem A's receive sensitivity versus distance



(b) Modem B's receive sensitivity versus distance

Fig. 2 Power loss of distance according to plane earth model equation

3. 무선 영상 감시 시스템

3.1 육상의 무선 영상 감시 시스템

육상에서의 무선 영상 감시 시스템은 주로 CCTV 관리 시스템을 대상으로 하여 기술개발이

진행되어 있으며, 그 구성은 일반적으로 다음의 Fig. 3과 같은 형태로 되어있다. Fig. 3의 (a)는 TCP/IP 방식을 이용하여 데이터를 전송하는 IP 카메라(웹 카메라)와 NVS(Network Video recorder System)를 사용하는 경우의 구성을 나타내고 있으며, (b)는 NTSC 출력 방식의 카메라와 DVR(Digital Video Recorder)을 사용하는 경우의 구성을 나타내고 있다. DVR은 NTSC나 PAL 출력 방식의 아날로그 카메라에서 제공되는 아날로그 스트림을 녹화하여 별도의 변환 장치를 이용하여 Mpeg-4 형태의 디지털 파일로 저장하는 반면, NVS은 카메라에서 이미 Mpeg-4 등의 디지털 방식으로 인코딩된 비디오 스트림을 녹화하는 것이 가장 큰 차이점이다. 이러한 NVS 시스템은 DVR에 비하여 카메라의 확장이 용이하고 영상의 녹화 등이 DVR에 비하여 자유로울 뿐만 아니라 시스템 구성 단계에서도 큰 차이를 보인다. 그러나 상대적으로 저가인 NVS 방식의 IP 카메라는 외해 가두리 양식장에 사용하기에는 적합하지 않다. IP 카메라를 외해 가두리 양식장에 적용하기 위해서는 IP 카메라뿐만 아니라 최소 수심 30(m) 이상의 수압(3(kg/cm²))을 견디는 하우징 장치와 최소한의 조명 장치, 카메라 제어 신호 모듈 등을 별도로 제작하여 첨가 하여야 하기 때문이다.

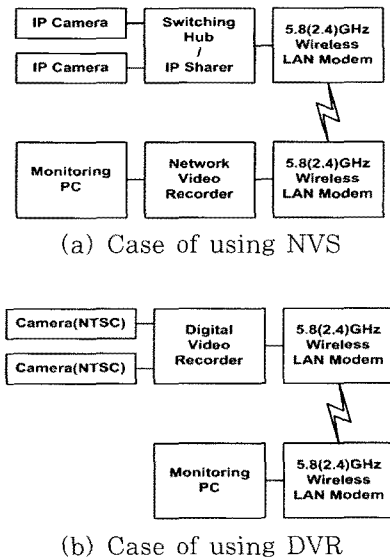


Fig. 3 Wireless vision monitoring system on the ground

3.2 수중 카메라

저가의 IP 카메라를 사용할 수 없는 외해 가두리 양식장의 현장을 영상으로 취득하기 위하여 특수 제작된 수중카메라를 사용하였다. 사용된 수중카메라의 제원은 다음의 Table 2 와 같다. 수중카메라에는 수중 촬영이 용이하도록 48개의 고휘도 LED 가 부착되어 있으며, 별도의 제어를 통하여 조명 조절 및 PTZ(Pan/Tilt/Zoom) 제어가 가능하다.

Table 2 Specification of underwater camera

CCD	1/4" SONY Super HAD CCD
Pixel	410K
TV System	NTSC, Pal
Frame Rate	30 frames/sec
Illumination	-0 Lux
Lamp Lifetime	Max. 50,000 Hour
Case	Stainless Steel (Sus 316L)
Pressure	30 kg/cm ²

3.3 해상의 무선 영상 감시 시스템

NTSC 출력 방식의 아날로그 수중 카메라를 사용하기 때문에 영상 신호를 수집하기 위해서는 DVR과 같은 장치가 필요하다. 그러나 저장장치를 비롯한 다양한 기능을 포함하고 있는 DVR은 외해 가두리 양식장과 같은 해상 환경에서 설치 및 관리가 매우 까다로우며, 장비의 단가가 매우 고가인 단점이 있다 따라서 본 논문에서는 NTSC 출력방식의 카메라 신호를 Mpeg-4로 변환하여 주는 비디오서버를 사용하여 Fig. 4와 같은 시스템 구조를 제안한다.

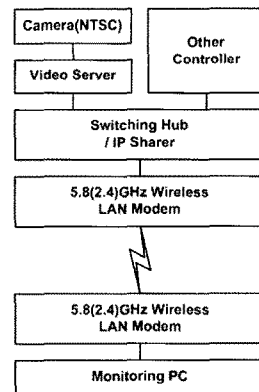


Fig. 4 Wireless vision monitoring system on the sea

제안하는 구조는 스위칭 허브의 포트에 따라 수중 카메라와 다른 제어 장치의 연결이 가능하도록 하여 영상 신호 뿐만 아니라 다른 종류의 데이터 통신이 용이하도록 하였으며, 육상의 모니터링 컴퓨터를 사용하여 원격의 영상 신호 및 데이터를 수집·저장할 수 있도록 하였다. Table 3에 사용된 비디오서버의 사양을 나타내었다

Table 3 Specification of video server

Video Size	720x480, 640x480, 320x240
Codec	Mpeg4/DivX5.0
Transfer Speed	30 frames/sec(720x480)
Protocol	TCP/IP, HTTP, FTP, DHCP

4. 실험 및 결과

제안된 구조를 이용한 WLAN 기반의 영상 시스템 실험에는 Table 1에 제시한 모델을 사용하였으며, 사용된 안테나의 사양을 Table 4에 나타내었다. 실험은 한국해양대학교 부근에서 이루어졌으며 육상의 모니터링 위치는 한국해양대학교 해사대학관 옥상이고, 가능한 해상에서 통신이 이루어지도록 직선거리상 바다 위를 지나는 위치에서 실험을 수행하였다.

Table 4 Specification of antenna

Item	Antenna A	Antenna B
Frequency Range	2400~2483 MHz	5150~5850 MHz
Gain	16 dBi	23 dBi
Hor. Beam width	27°	11°
Ver. Beam width	27°	11°
F/B Ratio	≥ 25 dB	≥ 25 dB
Impedance	50 Ω	50 Ω

Fig. 4에 제안한 방법으로 시스템을 구성하여 영상 신호와 일반 데이터의 전송 실험을 동시에 실시하였다. 영상 신호 측의 실험을 위하여 시계를 수중 카메라 렌즈 앞에 설치하여 영상이 정확히 전달되는지 육안으로 확인 가능하도록 하였으며, 일

반 데이터 전송에는 초당 1[kbyte]의 데이터를 송신하는 모듈을 사용하여 실험을 수행하였다. 실험은 안테나 위치 설정 후 일정 시간 동안 통신 모델의 수신감도 변화를 측정하는 것과 실제 데이터가 어떻게 수신되는지 알아보는 것으로 진행되었다. 데이터의 수신이 어떻게 변화하는지 알아보기 위하여 초당 수신하는 영상 프레임 수와 텍스트 데이터 량을 기준으로 하여 수신율(%)을 계산하였다. 실험을 수행한 장소는 다음의 Fig. 5에 표시된 세 곳이다.

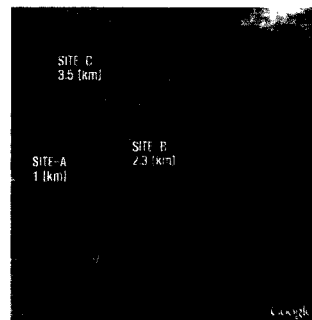


Fig. 5 Test sites on the map(ref. google earth)

다음의 실험 결과는 데이터 수집이 시작된 후, 직선거리상 선박 등의 장애물이 없었던 30분 동안의 데이터를 추출하여 분석한 것이다. 먼저 Site A ~ Site C에 대한 전파 손실 모델링의 결과와 실제 실험을 통한 수신이득을 Table 5에 나타내었으며 모델과 안테나에 따라 측정된 수신이득의 그래프를 Fig. 6에 나타내었다.

Table 5 Receive sensitivities of each modelling/test

Site	Model 16(dBi)(2.4GHz) / Unit (dBm)		
	Friss	Plane	Test(avg.)
A (1.0km)	-56.00	-49.88	-50.4562
B (2.3km)	-63.24	-64.36	-65.1200
C (3.5km)	-66.89	-71.65	-77.4139
Site	Model 23(dBi)(5.8GHz) / Unit (dBm)		
	Friss	Plane	Test(avg.)
A (1.0km)	-62.35	-48.73	-49.5171
B (2.3km)	-69.59	-63.21	-64.1357
C (3.5km)	-73.24	-70.50	-71.5251

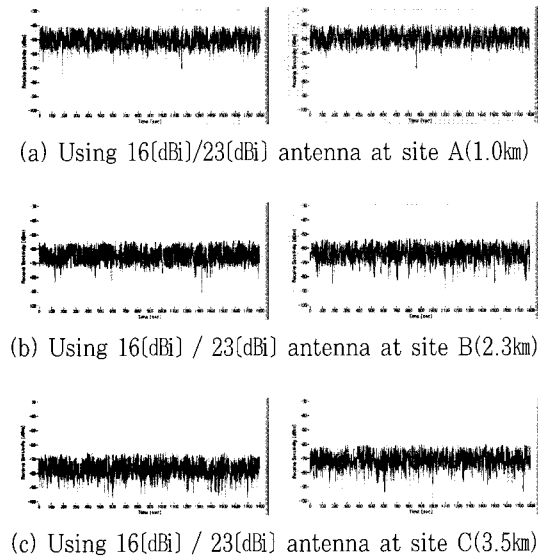


Fig. 6 Receive sensitivity at each site

Fig. 6에서 알 수 있듯이 수신감도는 측정 시마다 변화하지만, 전체적인 평균 수신감도는 크게 변화하지 않음을 알 수 있다. 측정된 수신감도와 모델링 한 값을 비교하기 위하여 (1), (2)에 감쇠계수(A)를 추가하여 다음의 (3), (4)를 유도하였으며, 각 실험값에 대한 감쇠계수를 Table 6에 나타내었다.

$$P_r' = A \times \left(\frac{\lambda}{4 \times \pi d}\right)^2 \times G_t \times G_r \times P_t \quad (3)$$

$$P_r' = A \times G_t \times G_r \times \left(\frac{h_t - h_r}{d^2}\right)^2 \times P_t \quad (4)$$

Table 6 Comparison of Attenuation coefficient(A)

Site	16(dBi) (2.4GHz)		23(dBi) (5.8GHz)	
	Eq. (3)	Eq. (4)	Eq. (3)	Eq. (4)
A (1.0km)	3.5826	0.8757	19.2172	0.8337
B (2.3km)	0.6483	0.8392	3.5138	0.8074
C (3.5km)	0.0886	0.2655	1.4847	0.7902

Table 6에서 plane earth 모델이 실제 실험결과와 유사한 것을 알 수 있다. 16(dBi) 안테나를 사용하는 경우에 (4) - Site C에서 감쇠계수가 급

격히 떨어지는 것은 일반적으로 16(dBi) 안테나의 권장 사용 거리가 3[km] 이내이기 때문으로 판단된다. 23(dBi) 안테나의 경우 권장 사용 거리는 4[km] 이내 이므로 (4)의 감쇠계수는 크게 감소하지 않음을 알 수 있다.

다음의 Table 7과 Fig. 7에는 거리와 안테나에 따른 영상 데이터와 텍스트 데이터의 수신율의 실험 결과를 비교하여 나타내었다.

Table 7 Percentage of receive rate at each site

Site \ Antenna	16(dBi) (2.4GHz)		23(dBi) (5.8GHz)	
	Frame [%]	Text [%]	Frame [%]	Text [%]
A(1.0km)	99.6556	99.8880	99.9167	99.9878
B(2.3km)	98.9574	99.5137	98.9926	99.4954
C(3.5km)	91.7481	93.7390	96.9296	97.8955

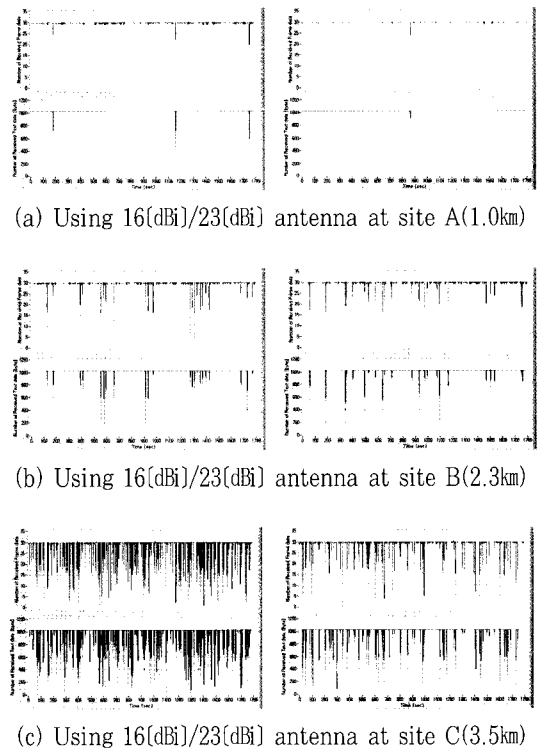


Fig. 7 Number of receive frames / text data at each site

측정 거리가 멀어질수록 데이터 수신율이 감소하

나, 전반적으로 90(%) 이상을 유지하는 것을 알 수 있다. 이처럼 비교적 양호한 수신율을 보여주고 있으므로 본 논문에서 제안한 방식으로 외해 가두리 양식장용 WLAN 기반의 영상 신호 전송 시스템을 구축하여도 무난할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 해상에서 사용가능한 무선 영상 시스템 구조를 실험을 통하여 검증하였으며 만족할 만한 성능을 얻을 수 있었다. 이러한 무선 영상 시스템 구조는 외해 가두리 양식장뿐만 아니라 많은 데이터 전송량을 요구하는 다른 해상 부유 시설물의 원격 모니터링 시스템에도 응용될 수 있다.

또한 해상에서의 수 [km] 이내의 전파 모델링은 plane earth 전파 모델과 감쇠계수를 이용하여 시뮬레이션 할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였으며, 이를 통하여 해상 무선 통신망 구성의 핵심인 WLAN 모델의 선정 기준을 확보할 수 있다.

추가로 실험 중 습득한 원도우 기반의 영상 모니터링 프로그램 설계 기술은 첨단 외해 가두리 양식장 감시 체계를 구축할 수 있는 기반을 확보한 것이라 판단된다.

앞으로 실제 제주도에 설치·운영 중인 외해 가두리 양식장에 적용하여 제안한 해상용 무선 영상 모니터링 시스템의 효용성 검증이 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 2008년도 수산특정연구개발사업의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

[1] 정중식, 김병욱, 장동원, 안광, 최성용, "해상 무선 통신 시스템의 적용에 관한 국제동향 연구", 해양환경안전학회 학술발표대회 논문집, 2006-05, pp.177-183, 2006.
 [2] 오진석, 박준호, 정성재, "외해 가두리 양식장

데이터 분석 및 원격 감시 시스템 개발", 한국마린엔지니어링학회지, 제32권, 제1호, pp.153-161, 2008.
 [3] 김철승, 정중식, 박성현, "양식어장 보호를 위한 원격감시시스템의 구축방안에 관한 연구", 해양환경안전학회, 제10권, 제2호, pp.55-60, 2004.
 [4] Stigebrandt, A, Aure, J, Ervik, A, Hansen, P.K., "Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming - III.A model for estimation of the holding capacity in the Modelling - Ongrowing fish farm Monitoring system", Elsevier Scientific Pub.Co, Vol.234, No.1/4, pp.239-261, 2004.
 [5] Froyso, K.G., "Environmental fish farm monitoring, with examples from Scottish and Norwegian rules", OCEANS, 2004. MTS/ IEEE TECHNO-OCEAN '04, Vol.2004.1, pp.453-460, 2004.
 [6] 임요왕, 임준홍, "무선 통신 모듈을 이용한 영상 전송에 관한 연구", 대한전자공학회, 제26권, 제1호, pp.2823-2826, 2003.
 [7] 문성림, 정석재, 이윤석, 강경관, 김동윤, "무선 인터넷 기반의 의료 영상 처리 게이트웨이 서버 및 서비스 구축", 한국정보과학회, 제32권, 제2호, pp.922-924, 2005.
 [8] 고중식, 정세훈, 박후근, 정규식, "무선 공유기를 이용한 가정용 CCTV 시스템 구현", 한국정보과학회, 제34권, 제2호, pp.195-200, 2007.
 [9] 서정욱, 정규식, "이동통신공학", 대한전자공학회, 2001.
 [10] Robert E0.Collin, "Antennas and Radio-wave Propagation", McGraw-Hill, 1985
 [11] R.M. Schmalenberger, M.G. Edrich, "Channel modelling for wideband data communication in a maritime mobile

environment". IEEE/AFCEA, pp.150-154, May 2000.

- [12] 김균희, 탁윤도, 신석현, "장거리 해상 통신 환경에서의 UHF 대역 전파 손실 측정", 한국전자과학회논문지 제17권 제5호 pp. 490-499, 2006.

저 자 소 개



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업.공학박사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 전임강사, 조교수, 학과장. 1996년~현재 한국해양대 전임강사, 조교수, 부교수, 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교환교수. 2002년~현재 산학연컨소시엄 사업단장. 2002년~2004년 한국마린엔지니어링학회 편집위원. 2002년~현재 한국산학연논문집 편집위원. 2003년~2006 영국 K.O.Tech 연구원, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장



박준호(郭俊浩)

1980년 7월생. 2003년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어전공 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 현재 동대학원 박사과정, 수중운동체특화연구센터 연구원.



정성재(鄭成才)

1967년 2월생. 부산대학교 조선해양공학(공학사), 부산대학교 대학원(공학석사), 2003년 베를린공대 조선해양공학과(공학박사), 2003년~현재 국립수산과학원 수산공학팀 해양수산연구사.



함연재(咸然宰)

1963년 1월생. 1990년 한국해양대학교 선박기계공학과 졸업(공학사) 1990년~1994년 국방과학연구소 연구원. 1994년~2000년 삼성중공업 중앙연구소 선임연구원. 2002년~현재 동현씨스텍 대표