

어구 모니터링 시스템 구축을 위한 해상 IoT 무선망 설계

Design of Marine IoT Wireless Network for Building Fishing Gear Monitoring System

곽재민¹ · 김세훈² · 이성렬^{1*}

¹목포해양대학교 항해정보시스템학부

²티앤아이(주) 연구소

Jae-Min Kwak¹ · Se-Hoon Kim² · Seong-Real Lee^{1*}

¹Division of Navigational Information System, Mokpo National Maritime University, Jeollanam-do, 58628, Korea

²Head of Research center, T&I Co. Ltd., Seoul, 08594, Korea

[요 약]

정부는 2016년 유실어구에 의한 피해를 최소화하기 위해 전자어구실명제 실행계획을 발표하였다. 어구의 과다사용 및 폐어구 저감을 위해 어구의 종류 및 위치, 사용자의 실명을 포함한 정보를 IoT 기반의 통신을 이용하여 어선 및 관제센터에 효율적으로 전송할 수 있는 기술이 필요하다. 이를 위해서는 육상의 기지국에서 식별가능한 다수 부이의 위치정보를 확인할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 해상 IoT 통신 시스템을 서비스하기 위해서 육상기지국과 해상에 존재하는 타겟들과의 링크버짓을 계산하여 서비스가 가능한 거리를 산출한다. 어구 모니터링 시스템 구축을 위한 해상 IoT 무선망 설계를 위해 1.8 GHz 주파수 대역을 사용하는 NB-IoT와 900 MHz 주파수 대역을 사용하는 LoRa 서비스에 대해 해상에서의 무선 서비스 최적화를 위한 링크 버짓을 계산한다. 또한, 육상기지국- 부이간 링크버짓과 육상기지국-어선간 링크버짓을 산출하여 그 결과를 분석한다.

[Abstract]

In order to prevent overusing the fishing gear and to reduce discarded fishing gear, there is a need for a technique that can efficiently transmit the information including the type and location of the fishing gear and the user's real name to the fishing boat and the control center using IoT-based communication. In order to do this, it is necessary to be able to confirm the position information of a plurality of buoys that can be identified by the base stations on the land. In this paper, in order to service the maritime IoT communication system, we calculate the link budget between the land base station and the targets on the sea to derive the service coverage. To design a marine IoT radio network for building a fishing gear monitoring system, we calculate link budget for wireless service optimization at sea for NB-IoT using 1.8 GHz frequency band and LoRa service using 900 MHz frequency band. In addition, the link budget between the land base station and buoy, the link budget between the land base station and fishing boat are calculated and the results are analyzed.

Key word : Fishing gear, NB-IoT, LoRa, Marine IoT, LPWA.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.2.76>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 20 March 2018; Revised 3 April 2018

Accepted (Publication) 24 April 2018 (30 April 2018)

*Corresponding Author; Seong-Real Lee

Tel: +82-61-240-7264

E-mail: reallee@mmu.ac.kr

I. 서 론

과도한 어획과 해양환경 오염에 따른 수산자원의 급격한 감소 및 고갈의 위험을 예방하기 위해서는 자원의 보존상태와 조화를 이룰 수 있도록 어업활동을 관리하여야 하고 해양생태계의 건전성을 유지 또는 개선시키기 위한 적극적인 노력이 필요하다[1]-[3].

1993년 FAO는 ‘책임 있는 수산업 규범’을 마련하기 위해 어구표식의 기술적인 권고안을 수립하였다. 우리나라는 2005년 7월 1일 ‘어업허가 및 신고 등에 관한 규칙’ 개정으로 근해어업, 연안어업, 구획어업 일부에 대해 어구실명제를 규정하였다. 어구실명제는 어구의 표시설치 기준을 정하여 어업의 운영상 나타난 일부 미비점을 개선·보완하려는 것으로서, 안강망, 자망, 통발어구를 사용하는 어업인들의 어업분쟁 심화, 경비의 과다 지출, 수산자원 남획 및 어업경영의 악화 등 악순환이 초래되어 어업구조의 개선을 위해 도입되었다. 어구실명제는 2005년 7월 1일 ‘어업허가 및 신고 등에 관한 규칙’ 개정으로 2006년 1월 1일부터 시행되게 되었으나 사용자의 규제 준응도는 저조한 것으로 평가되었으며, 사용자의 규제준응도가 낮아 어구실명을 위한 다양한 장비 도입의 필요성이 제기되었음에도 불구하고 예산지원은 미약한 실정이었다. 이에 해양수산부 어업정책과에서는 ‘생애주기별 어구관리 방안’을 2015년 10월 23일 발표하였고 2016년 어구관리법 제정을 추진하였다. ‘생애주기별 어구관리 방안’에서는 전자 어구실명제, 어구관리 시스템 구축, 폐어구 처리 기술, 폐어구 수거 기술에 대한 필요성을 기술한 바 있다[3].

정부는 2016년 유실어구에 의한 피해를 최소화하기 위해 전자어구실명제 실행계획 발표하였다. 전자어구 실명제를 위해서는 어구의 과다사용 및 폐어구 저감을 위해 어구의 종류 및 위치, 사용자의 실명을 포함한 정보를 IoT 기반의 통신을 이용하여 어선 및 관제센터에 효율적으로 전송할 수 있는 기술이 필요하다[4].

현재 어구 자동식별 부이는 우리나라를 비롯한 대부분의 국가에서 자기의 어구를 관리하는 어구를 효율적으로 운용하기 위하여 사용되고 있으며, 2 km 이내의 중거리 무선통신을 이용하여 해상에서 자기어선의 어구를 모니터링 하는 정도의 기술이 개발되고 있다. 어구 모니터링 및 관제 기술 체계를 구현하기 위해서는 어구관리, 어선 및 육상에서의 원격 모니터링 및 관제 기술 등의 자동화가 이루어져야 한다. 어구에 설치된 전자부이로 부터의 위치정보를 받아 어선의 GPS 플로터 상에 전신하는 기술은 상용화되어진 상태이나, 어구의 상태정보 및 자동식별 부이 등을 통한 어구 및 어장 정보를 종합적으로 제공하는 어구 모니터링 기술 및 어선을 위한 종합지원 모니터링 기술, 육상에서의 관제센터 운용 기술 등의 연구는 부족한 실정이다.

미국, 일본, EU, 노르웨이 등 해양 선진국에서는 어업 모니터링을 위한 강화된 노력을 통해 어업관리를 하고 있기 때문에

어구의 과다 사용을 방지하고 폐어구를 저감하여 해양사고를 예방하기 위한 어구 자동식별 부이의 사용에 비 적극적인 상황이다. 그러나 해양 선진국에서는 통신 및 항해 시스템 기술을 기반으로 자기어선의 어구상태 및 어획상황 등의 모니터링 및 통합 관리시스템 기술이 지속적으로 발전하고 있다. 특히, 노르웨이, 캐나다, 프랑스 등에서는 세계적인 어구 모니터링 및 통합 관리시스템이 상품화 되어 출시되어 시장을 점유하고 있는 실정이다. 선진 외국사에서는 어구 모니터링을 위하여 수중에 활용 가능한 각종 센서(어망 각도, 배열, 거리, 온도, 압력, 장력, 음향 등) 기술 및 수중 음향 통신 기술, 전자해도 기반의 통합관리어획량 모니터링 기술, 어업 관리 지원 시스템 기술 등이 제품으로 출시되어 있는 상황이다.

본 논문에서는 해상 IoT 통신 시스템을 기반으로 어구모니터링 서비스를 제공하기 위해 육상기지국과 해상에 존재하는 타겟들과의 링크버짓을 계산하여 서비스가 가능한 거리를 산출한다. 어구 모니터링 시스템 구축을 위한 해상 IoT 무선망 설계를 위해 1.8 GHz 주파수 대역을 사용하는 NB-IoT와 900 MHz 주파수 대역을 사용하는 LoRa 서비스에 대해 해상에서의 무선 서비스 최적화를 위한 링크 버짓, 육상기지국- 부이간 링크버짓과 육상기지국-어선간 링크버짓을 산출하여 그 결과를 분석한다.

본 논문의 주요 구성은 다음과 같다. 2장에서 해상에서의 NB-IoT와 LoRa 서비스 거리를 산출한다. 3장에서는 육상기지국과 부이간, 육상기지국과 어선간 링크버짓을 산출하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 해상에서의 서비스거리 산출

해상 IoT 통신 시스템을 서비스하기 위해 가장 먼저 육상기지국과 해상에 있는 target 단말과의 link budget 산출이 가장 먼저 실시되어야 한다. 본 장에서는 1.8 GHz 주파수 대역을 사용하는 NB-IoT와 900 MHz 주파수 대역을 사용하는 LoRa 시스템에서 해상에서의 무선 서비스 최적화를 위한 link budget을 계산한다. 지상에서 주로 사용하는 다양한 link budget 계산 방식은 장애물이 많은 환경에서 전파 손실과 fading 마진을 고려하여 산출되기 때문에 해상에서는 적합하지 않다. 해상에서는 장거리 전송이 필요하고 장애물이 없고 해수면 반사파만 고려하면 되기 때문에 자유공간 손실에서 ground multipath loss 를 적용한 link budget 계산 결과를 적용하고 fading 마진은 15 dB 이상으로 설정하여 무선망 설계를 진행 하였다.

NB-IoT는 KT 서비스 주파수 대역을 기반으로 수행하였다. KT의 NB-IoT 신호는 LTE의 resource block 하나를 사용하는 방식으로 대역 외 guard band 에 존재하거나 대역 내 하나의 resource block 을 사용한다. NB-IoT 하나의 채널은 200 kHz 대역폭을 갖고 guard band 에 위치하는 경우 main 신호와 245 kHz 떨어진 지점 좌우에 위치한다. KT는 우선 좌측에 할당하고 항

후 우측에 추가 할당 예정이며, 기지국 제조사에 따라 in-band/out-band 각각 다르게 위치한다. 무선망 설계에 적용한 주파수 대역은 1830 MHz로 KT LTE 서비스 대역의 down link 중심주파수를 의미한다.

LPWA 는 현재 SKT가 서비스를 제공하고 있는 900 MHz 대역 917 MHz 에서 923.4 MHz 까지 6.4 MHz 대역폭에 총 32 개 채널을 할당한다. 단말은 1 ~ 32번 채널 모두 사용가능 하지만 gateway는 20 ~ 32번 채널만 사용가능하며 gateway의 송출 전력은 최대 200 mW (23 dBm) 를 넘지 못한다. 무선망 설계는 LPWA 대역 중심 주파수인 920 MHz 를 사용하였다. LoRa서비스를 제공하는 LPWA 대역은 ISM band로 누구나 자유롭게 사용 가능하지만 송출 시간이 자유롭지 못하고 출력이 제한적인 단점을 갖는다.

NB-IoT는 통신사업자가 할당 받은 주파수를 사용하기 때문에 송출시간에 제한이 없고 출력 레벨 또한 제한이 없는 장점을 갖는다. 또한 기존 이동통신사업자의 LTE 기지국을 동일하게 사용하기 때문에 별도의 투자비가 필요 없는 추가 장점을 갖는다. 하지만 LoRa와 같이 누구나 사용할 수 없으며 통신사업자의 인증이 없으면 서비스가 불가능하고, back haul 이 있어야 하며, 단말에 USIM chip을 사용해야 하는 단점을 갖는다.

그림 1은 LoRa 서비스에 있어 자유공간 손실과 fade margin 만을 고려하여 25 km 서비스를 위한 link budget 계산 결과를 나타낸다. gateway 송출 전력을 20 dBm으로 설정하고 단말 수신 sensitivity를 -96 dBm으로 설정 후 수신 안테나 이득을 9 dBi로 낮추어 서비스해도 25 km 전송엔 문제가 없음을 의미한다.

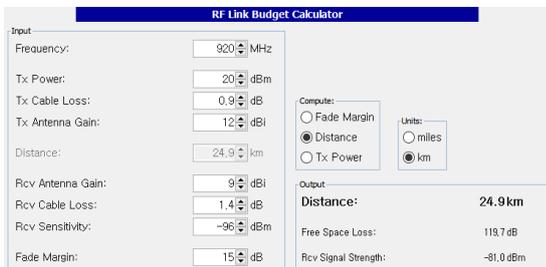


그림 1. LPWA 전송거리 25Km 서비스 조건
 Fig. 1. Service condition for transmission distance 25 km in LPWA system.

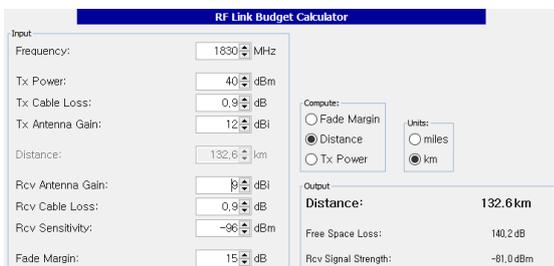


그림 2. NB-IoT 기지국 서비스 조건에 따르는 전송거리 산출
 Fig. 2. Derivation of transmission distance according to service condition of NB-IoT base station.

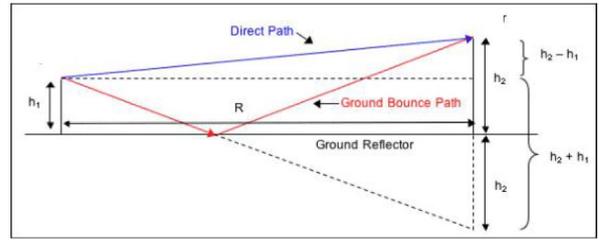


그림 3. 지면 다중경로 손실
 Fig. 3. Ground multipath loss.

그림 2는 NB-IoT 서비스에 있어 실제 육상기지국의 송출 전력과 안테나 이득을 고려하고 어선에서 수신하는 경우의 전송 가능 거리를 계산한 결과를 나타낸다.

LTE 서비스를 위해 기지국 송출전력을 10 W 이상으로 설정하기 때문에 그림 2와 같이 서비스 가능 거리는 132 km 가 가능하다. 또한 LTE는 voice 및 data 통신을 위해 Rx sensitivity를 높게 설정하지만 NB-IoT에서는 data rate 가 매우 작기 때문에 Rx sensitivity를 -96 dBm으로 설정하여도 무방하다.

해상에서 무선망 설계는 단순한 자유공간손실의 ground multipath loss 를 고려한 flat earth loss를 적용하여야 한다. 그림 3은 송신 안테나 높이와 수신 안테나 높이에 따르는 ground reflector와 ground bounce path에 따르는 반사파에 의한 fading 손실을 나타낸다. 그림 3은 MAXIM 사의 Application Note를 참조하였다. Ground multipath loss는 안테나의 높이가 매우 중요함을 나타낸다. 그림 3을 해상 IoT 망에 적용하였을 때 h1에 해당하는 부이 및 어선 안테나의 높이는 한계가 있기 때문에 h2에 해당하는 기지국 안테나 높이를 높게 할수록 ground multipath loss가 적음을 알 수 있다.

또한 지구는 둥글기 때문에 ground multipath loss 의 육상 기지국과 단말간 line of sight 확보를 위한 안테나 높이를 선정해야 한다. 25 km 전송을 위해 피타고라스의 정의를 이용하면, 지구 반지름 6,378,137 m를 b로 정의하고 서비스 거리를 c, 지구 반지름 + 안테나 높이를 a로 정의하는 경우 지구반지름 + 안테나높이의 제곱은 지구 반지름 6,378,137 m 제곱과 서비스거리의 제곱의 합과 동일하다.

서비스 거리 c를 25 km 정의하면 위 관계식에 의하여 안테나 높이(h)는 49 m가 되어야 한다. 그밖에도 안테나 높이를 30 m로 설치하면 최대 19.5 km까지 서비스가 가능하며 안테나 높이를 60 m로 설치하면 최대 27.7 km까지 서비스가 가능하다. 또한 안테나 높이를 10 m로 설치하면 11 km 거리까지 서비스가 가능하다.

III. 육상 기지국과 부이 및 어선 간 링크버짓

본 장에서는 2장에서 의 해상 링크버짓 분석을 위한 고려사항들을 반영하여, 2장의 그림 3과 안테나 높이에 따른 서비스

Ground Reflection Path Loss				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
TX height	h_{Tx}	m		80
RX height	h_{Rx}	m		0.5
Distance	d	m	25000	
Direct Path	d_1	m	$d_1 = (d^2 + (h_{Tx} - h_{Rx})^2)^{0.5}$	25000.1264
Reflection Path	d_2	m	$d_2 = (d^2 + (h_{Tx} + h_{Rx})^2)^{0.5}$	25000.1296
Reflection Path Δ	Δd	m	$\Delta d = d_2 - d_1$	0.003199984
Estimated Reflection Path Δ	Δd_e	m	$\Delta d_e = 2h_{Tx}h_{Rx}/d$	0.0032
Wavelength	λ	m	(from Link Budget sheet)	0.163821015
Normalized Ground Bounce Amplitude	a	none		1
Loss from Ground Bounce Cancellation	L_{GB}	dB	$L_{GB} = 10 \log_{10}(0.5(1 + a^2 - 2a \cos(2\pi \Delta d/\lambda)))$	-21.23659198
Free Space Loss	L_{FS}	dB	$L_{FS} = 10 \log_{10}(\lambda/4\pi d)^2$	-125.6556052
Flat Earth Loss	L_{FE}	dB	$L_{FE} = L_{GB} + L_{FS}$	-146.8921972

Ground Reflection Path Loss Approximation (for $d > 5(h_{Tx} + h_{Rx})$)				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Estimated Flat Earth Loss*	L_{FE}	dB	$L_{FE} = 10 \log_{10}(h_{Tx}^2 h_{Rx}^2 / 2d^4)$	-146.8867005
Estimated Ground Bounce Cancellation Loss	L_{GB}	dB	$L_{GB} = L_{FE} - L_{FS}$	-21.23109529

그림 4. NB-IoT ground reflection path loss 산출 (25 km 전송, 안테나 높이 80 m).

Fig. 4. Derivation of NB-IoT ground reflection path loss (25 km transmission, antenna height 80 m).

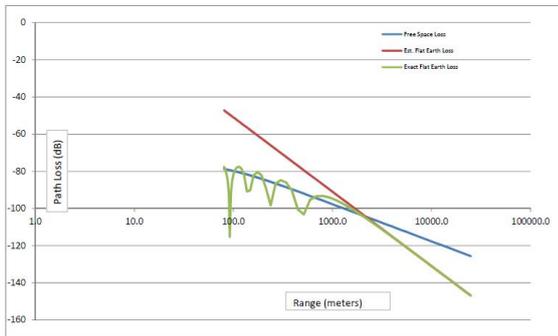


그림 5. NB-IoT 25 km 전송 시 안테나 높이 80 m에서 전송거리 별 상세 산출

Fig. 5. Detailed calculation for 25 km transmission in NB-IoT with antenna height 80 m.

MAXIM RF System (Link Budget) Calculations				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Frequency	f_0	MHz		1830
Speed of Light	c	m/s		299792458
Wavelength	λ	m	$\lambda = c/f_0$	0.163821015

Block	Variable	Units	Equation	Value
PA Power	P_{PA}	dBm		20
TX Match Loss	L_{Match}	dB		
TX source	P_{TX}	dBm		20
TX connector loss	L_{conT1}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX cable loss	L_{cableT}	dB	(from Cable Loss sheet)	-1
TX connector loss (remote antenna)	L_{conT2}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX power	P_T	dBm	$P_T = P_{TX}(C\&C \text{ Loss})$	17.86
TX antenna gain	G_T	dBi		12
Effective (Isotropic) Radiated Power	EIRP	dBm	$EIRP = P_T G_T$	29.86
Distance	d	m		25000
Channel Medium Loss Factor	L_0	dB	(from Medium Loss sheet)	0
Free Space Loss	L_{FS}	dB	$L_{FS} = (\lambda/4\pi d)^2$	-125.6556052
Power at RX Antenna, Free Space Path	$P_{ChaosFS}$	dB	$P_{ChaosFS} = L_{FS} EIRP$	-95.79560519
Flat Earth Loss (Includes Ground Bounce)	L_{FE}	dB	(from Ground Multipath sheet)	-146.8921972
Multipath Loss	L_{MP}	dB		
Obstruction Loss	$L_{Obs-Total}$	dB		0
Power at RX Antenna, Flat Earth Path	$P_{ChaosFE}$	dB	$P_{ChaosFE} = L_{FE} L_{MP} L_{Obs-Total} EIRP$	-117.0321972
RX antenna gain	G_R	dBi		4
RX connector loss	L_{conR1}	dB		-0.57
RX cable loss	L_{cableR}	dB		
RX connector loss (remote antenna)	L_{conR2}	dB		
RX power, Free Space Path	P_{RES}	dBm	$P_{RES} = P_{ChaosFS} G_R (C\&C \text{ Loss})$	-92.36560519
RX power, Flat Earth Path	P_{REF}	dBm	$P_{REF} = P_{ChaosFE} G_R (C\&C \text{ Loss})$	-113.6021972

그림 6. 25 km 전송 시 NB-IoT Link Budget 산출 (안테나 80 m)

Fig. 6. NB-IoT link budget for 25 km transmission (antenna height 80 m).

MAXIM RF System (Link Budget) Calculations				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Frequency	f_0	MHz		1830
Speed of Light	c	m/s		299792458
Wavelength	λ	m	$\lambda = c/f_0$	0.163821015

Block	Variable	Units	Equation	Value
PA Power	P_{PA}	dBm		40
TX Match Loss	L_{Match}	dB		
TX source	P_{TX}	dBm		40
TX connector loss	L_{conT1}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX cable loss	L_{cableT}	dB	(from Cable Loss sheet)	-1
TX connector loss (remote antenna)	L_{conT2}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX power	P_T	dBm	$P_T = P_{TX}(C\&C \text{ Loss})$	37.86
TX antenna gain	G_T	dBi		12
Effective (Isotropic) Radiated Power	EIRP	dBm	$EIRP = P_T G_T$	49.86
Distance	d	m		25000
Channel Medium Loss Factor	L_0	dB	(from Medium Loss sheet)	0
Free Space Loss	L_{FS}	dB	$L_{FS} = (\lambda/4\pi d)^2$	-125.6556052
Power at RX Antenna, Free Space Path	$P_{ChaosFS}$	dB	$P_{ChaosFS} = L_{FS} EIRP$	-75.79560519
Flat Earth Loss (Includes Ground Bounce)	L_{FE}	dB	(from Ground Multipath sheet)	-150.9712471
Multipath Loss	L_{MP}	dB		
Obstruction Loss	$L_{Obs-Total}$	dB		0
Power at RX Antenna, Flat Earth Path	$P_{ChaosFE}$	dB	$P_{ChaosFE} = L_{FE} L_{MP} L_{Obs-Total} EIRP$	-101.1112471
RX antenna gain	G_R	dBi		4
RX connector loss	L_{conR1}	dB		-0.57
RX cable loss	L_{cableR}	dB		
RX connector loss (remote antenna)	L_{conR2}	dB		
RX power, Free Space Path	P_{RES}	dBm	$P_{RES} = P_{ChaosFS} G_R (C\&C \text{ Loss})$	-72.36560519
RX power, Flat Earth Path	P_{REF}	dBm	$P_{REF} = P_{ChaosFE} G_R (C\&C \text{ Loss})$	-97.68124712

그림 7. 25 km 전송 시 NB-IoT Link Budget 산출 (안테나 50 m, PA 출력 40 dBm 설정)

Fig. 7. NB-IoT link budget for 25 km transmission (antenna height 50 m, PA output power 40 dBm).

거리계산식을 적용하고 육상 기지국과 해상에 위치한 부이, 어선, 관리 선박에 따르는 전송거리를 ground reflection path loss 및 자유공간 손실을 고려하여 산출한다. 부이는 해상에서 0.5 m ~ 1 m 높이에 부이용 안테나가 위치한다고 가정하여 적용하고 대형 어선은 보통 해상에서 20 m 이상의 높이에 안테나가 장착 되고 소형어선은 5 m 높이에 정도에 안테나가 장착된다. 무선 망 설계는 가장 열악한 환경에서 실시되어야 하므로 부이의 경우 안테나 높이를 0.5 m, 어선 및 관리 선박의 경우 안테나 높이를 5 m로 설정하였다.

3-1 육상 기지국과 부이 간 링크버지트 산출

육상 기지국과 부이의 NB-IoT 서비스에서 25 km 전송을 위한 link budget을 MAXIM link budget tool을 이용하여 계산해보면 그림4, 5, 6과 같다.

25 km 전송을 위해선 육상 안테나 높이가 80 m 이상이어야 부이 단말의 Rx sensitivity를 만족할 수 있는 link budget 이 계산된다. 지면의 제한으로 나타내지는 않았지만 부이 안테나 gain을 4 dBi에서 5 dBi로 1 dB 상승시켜 계산한 경우에는 안테나 높이를 70 m에 설치하여도 25 km 서비스가 가능한 결과를 나타내었다. 10 m 높이에 전송 손실이 1 dB 개선되기 때문에 안테나 품질이 매우 중요함을 알 수 있다.

그림 7은 NB-IoT 기지국 출력 신호레벨을 40 dBm으로 설정하는 경우의 link budget을 나타낸다. 부이의 안테나 이득을 4 dBi로 설정하고 25 km 전송 시 기지국 안테나 높이를 50 m로 설치하였을 경우 부이의 수신레벨은 -97.6 dB로 매우 양질의 서비스 제공이 가능하다.

LoRa 서비스에서의 link budget은 다음과 같다. LPWA LoRa

서비스 주파수에서의 link budget 산출은 부이의 안테나 높이는 0.5 m, 안테나 이득을 4 dBi 로 설정 한 상황에서 수행한다. LoRa 서비스 신호 25 km 전송을 위한 link budget 산출은 그림 8, 그림 9, 그림 10과 같다.

그림 8에서 LoRa 서비스 신호는 920MHz로 NB-IoT의 절반 주파수를 사용한다. 이로 인한 자유공간손실이 NB-IoT 대비 6dB 정도 이득이 있음을 알 수 있다. 하지만 주파수가 낮기 때문에 장거리 전송 시 ground reflection 이 높기 때문에 그림 8에서 loss from ground bounce cancellation 은 NB-IoT 대비 약 6 dB 상승하게 된다. 이러한 결과를 반영하여 link budget 을 수행한 결과 그림 10과 같이 NB-IoT 신호와 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있다. LoRa 에서도 NB-IoT 와 동일하게 안테나 높이 10m에 Rx sensitivity 개선 효과는 1 dB 수준이다. 즉 해상 IoT 통신망 구축에서는 NB-IoT나 LoRa 모두 공통으로 안테나 품질이 가장 중요한 요소가 된다.

3-2 육상기지국과 어선 간 링크버킷 산출

육상 기지국과 어선 간 link budget 설계는 육상 기지국과 단

Ground Reflection Path Loss				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
TX height	h_{tx}	m		80
RX height	h_{rx}	m		0.5
Distance	d	m	(from Link Budget sheet)	25000
Direct Path	d_1	m	$d_1 = (d^2 + (h_{tx} - h_{rx})^2)^{0.5}$	25000.1264
Reflection Path	d_2	m	$d_2 = (d^2 + (h_{tx} + h_{rx})^2)^{0.5}$	25000.1296
Reflection Path Δ	Δd	m	$\Delta d = d_2 - d_1$	0.003199984
Estimated Reflection Path Δ	Δd_e	m	$\Delta d_e = 2h_{tx}h_{rx}/d$	0.0032
Wavelength	λ	m	(from Link Budget sheet)	0.325861367
Normalized Ground Bounce Amplitude	a	none		1
Loss From Ground Bounce Cancellation	L_{gb}	dB	$L_{gb} = 10 \log_{10}(0.5(1 + a^2 - 2a \cos(2\pi \Delta d / \lambda)))$	-27.20578287
Free Space Loss	L_{fs}	dB	$L_{fs} = 10 \log_{10}(4\pi r^2 / \lambda^2)$	-119.6823399
Flat Earth Loss	L_{fe}	dB	$L_{fe} = L_{gb} + L_{fs}$	-146.8881228

Ground Reflection Path Loss Approximation (for $d > 5(h_{tx} + h_{rx})$)				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Estimated Flat Earth Loss*	L_{fe}	dB	$L_{fe} = 10 \log_{10}(h_{tx}^2 h_{rx}^2 / 2d^4)$	-146.8867005
Estimated Ground Bounce Cancellation Loss	L_{gbc}	dB	$L_{gbc} = L_{fe} - L_{fs}$	-27.20436053

그림 8. LoRa 지면 반사 경로손실 산출 (25 km 전송, 안테나 높이 80 m)

Fig. 8. LoRa Ground reflection path loss (25 km transmission, antenna height 80 m).

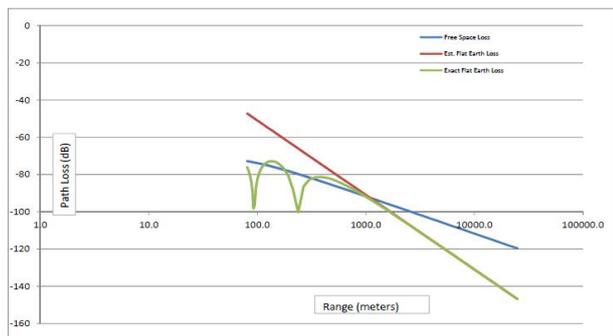


그림 9. LoRa 25 km 전송 시 안테나 높이 80 m에서 전송거리 별 상세 산출

Fig. 9. Detailed calculation for 25 km transmission in LoRa system with antenna height 80 m according to distance.

RF System (Link Budget) Calculations				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Frequency	f_0	MHz		920
Speed of Light	c	m/s		299792458
Wavelength	λ	m	$\lambda = c/f_0$	0.325861367

Block	Variable	Units	Equation	Value
PA Power	P_{pa}	dBm		20
TX Match Loss	L_{match}	dB		
TX source	P_{tx}	dBm		20
TX connector loss	L_{con1}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX cable loss	L_{cab1}	dB	(from Cable Loss sheet)	-1
TX connector loss (remote antenna)	L_{con2}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX power	P_t	dBm	$P_t = P_{tx} / (C\&C \text{ Loss})$	17.86
TX antenna gain	G_t	dBi		12
Effective (Isotropic) Radiated Power	EIRP	dBm	$EIRP = P_t G_t$	29.86
Distance	d	m		25000
Channel Medium Loss Factor	L_0	dB	(from Medium Loss sheet)	0
Free Space Loss	L_{fs}	dB	$L_{fs} = (4\pi r^2 / \lambda^2)$	-119.6823399
Power at RX Antenna, Free Space Path	P_{chanfs}	dBm	$P_{chanfs} = L_{fs} - L_0 - EIRP$	-89.82233994
Flat Earth Loss (Includes Ground Bounce)	L_{fe}	dB	(from Ground Multipath sheet)	-146.8881228
Multipath Loss	L_{mp}	dB		
Obstruction Loss	$L_{obs-total}$	dB		0
Power at RX Antenna, Flat Earth Path	P_{chanfe}	dBm	$P_{chanfe} = L_{fe} - L_0 - L_{mp} - L_{obs} - EIRP$	-117.0281228
RX antenna gain	G_r	dBi		4
RX connector loss	L_{conR}	dB		-0.57
RX cable loss	L_{cabR}	dB		
RX connector loss (remote antenna)	L_{conR2}	dB		
RX power, Free Space Path	P_{rfs}	dBm	$P_{rfs} = P_{chanfs} G_r / (C\&C \text{ Loss})$	-86.39233994
RX power, Flat Earth Path	P_{rfe}	dBm	$P_{rfe} = P_{chanfe} G_r / (C\&C \text{ Loss})$	-113.5981228

그림 10. 25 km 전송 시 LoRa link budget 산출 (안테나 높이 80 m)

Fig. 10. LoRa link budget calculation for 25 km transmission (antenna height 80 m).

말의 경우에서 해상의 수신단 안테나 높이가 더 높다는 점을 고려하여 진행한다. 부이는 최소 0.5 m 안테나 높이를 반영하여 산출하였지만 어선은 최저 5 m, 낚시선과 같은 소형 선박은 최저 3m를 반영하여 산출한다.

NB-IoT 1.8 GHz 주파수를 이용하여 25 km 전송 시 자유공간 손실은 125.65 dB 이며, 여기에 ground reflection path loss를 고려한 flat earth loss는 -139.87 dB가 된다. Estimated flat earth loss는 -139.84dB이며 estimated ground bounce cancellation loss는 -14.18 dB가 된다. 이러한 계산식을 이용하여 전송거리 별 free space loss, estimated flat earth loss, exact flat earth loss의 관계를 그림 11과 같이 나타낼 수 있다. 그림 29에서 제시하는 data들은 최대 전송거리를 25 km로 산출할 때 전송거리 50 m에서 25 km까지의 상기 3가지 경우의 전송 손실에 대한 특성을 알 수 있다.

그림 12는 앞에서 제시한 자유공간손실과 ground reflection path loss를 적용한 NB-IoT 서비스에서의 25 km 전송을 위한 link budget 설계 결과를 나타낸다. 부이와 어선의 또 다른 차이 점은 어선은 안테나 이득이 부이 보다 매우 높다는 점이다. 보통 어선에 사용하는 안테나를 patch나 panel 안테나를 사용하여 12 dBi를 기준으로 하여 link budget을 산출한다.

장비출력 기준 +20 dBm 출력 시 단말에서의 수신신호레벨은 flat earth loss를 감안하여 -98 dBm 이 된다. 자유공간손실을 고려한 수신레벨이 -84 dBm 이며 fade margin을 15 dB 적용하였을 경우와 매우 유사한 값이 계산됨을 알 수 있다. 또한, 부이와의 link budget 산출과 어선과의 link budget 산출에서 해상에 위치한 수신 부 안테나의 높이에 따라 상당히 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 해상 안테나 높이가 3 m인 경우 -98.6 dBm의 수신 레벨일 때 해상 안테나 높이가 0.5 m인 경우 수신 레벨은

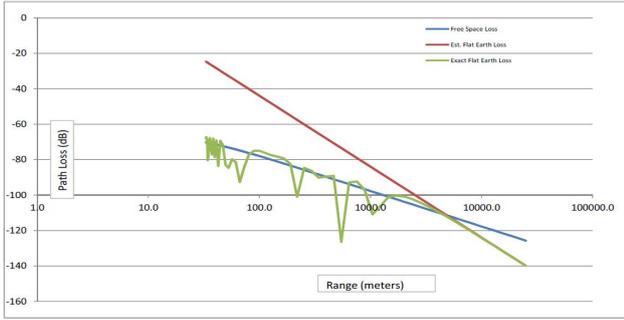


그림 11. 전송거리 별 NB-LoT 지면 반사 경로손실 상세 산출
 Fig. 11. Detailed calculation of ground reflection path loss in NB-LoT according to distance.

MAXIM RF System (Link Budget) Calculations				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Frequency	f_0	MHz		1830
Speed of Light	c	m/s		299792458
Wavelength	λ	m	$\lambda = c/f_0$	0.163821015

Block	Variable	Units	Equation	Value
PA Power	P_{PA}	dBm		20
TX Match Loss	L_{MATCH}	dB		20
TX source	P_{Tx}	dBm		-0.57
TX connector loss	L_{cable1}	dB	(from Connector Loss sheet)	-1
TX cable loss	L_{cable2}	dB	(from Cable Loss sheet)	-0.57
TX connector loss (remote antenna)	L_{cable2}	dB	(from Connector Loss sheet)	17.86
TX power	P_T	dBm	$P_T = P_{Tx}(C\&C\ Loss)$	-12
TX antenna gain	G_T	dB		29.96
Effective (Isotropic) Radiated Power	EIRP	dBm	$EIRP = P_T G_T$	25000
Distance	d	m		0
Channel Medium Loss Factor	L_0	dB	(from Medium Loss sheet)	-125.6556052
Free Space Loss	L_{FS}	dB	$L_{FS} = (4\pi d/\lambda)^2$	-95.79560519
Power at RX Antenna, Free Space Path	P_{CHANS}	dBm	$P_{CHANS} = L_{FS} EIRP$	-139.8706727
Flat Earth Loss (Includes Ground Bounce)	L_{FE}	dB	(from Ground Multipath sheet)	0
Multipath Loss	L_{MP}	dB		-110.0106727
Obstruction Loss	$L_{OB-TOTAL}$	dB		12
Power at RX Antenna, Flat Earth Path	P_{CHANCE}	dBm	$P_{CHANCE} = L_{FS} L_{MP} L_{OB-TOTAL} EIRP$	-0.57
RX antenna gain	G_R	dB		12
RX connector loss	L_{cable3}	dB		-0.57
RX cable loss	L_{cable4}	dB		0
RX connector loss (remote antenna)	L_{cable4}	dB		-84.36560519
RX power, Free Space Path	P_{FRS}	dBm	$P_{FRS} = P_{CHANS} G_R(C\&C\ Loss)$	-98.58067265
RX power, Flat Earth Path	P_{FE}	dBm	$P_{FE} = P_{CHANCE} G_R(C\&C\ Loss)$	

Receiver Sensitivity Calculations				
Variable	Units	Equation	Value	
RX Noise Figure	NF	dB	7	
Operating Temperature	T_0	K	290	
Effective Noise Temperature	T_e	K	$T_e = T_0(NF - 1)$ 1163.442978	
Boltzmann's constant	k	J/K	7.38E-22	
Receive Bandwidth	BW_{RX}	MHz	0.2	
Antenna Temperature	T_{ant}	K	300	
Noise Power (at RX)	P_n	dBm	$P_n = k(T_{ant} + T_0)BW_{RX}$ -113.9371511	
Signal to Noise Ratio	SNR_{RX}	dB	$SNR_{RX} = P_{RX}/P_n$ -0.062848871	

그림 12. MAXIM link budget Tool을 이용한 NB-LoT Coverage.
 Fig. 12. NB-LoT coverage using MAXIM link budget tool.

Ground Reflection Path Loss				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
TX height	h_{TX}	m		30
RX height	h_{RX}	m		3
Distance	d	m	(from Link Budget sheet)	25000
Direct Path	d_1	m	$d_1 = (d^2 + (h_{TX} - h_{RX})^2)^{1/2}$	25000.01458
Reflection Path	d_2	m	$d_2 = (d^2 + (h_{TX} + h_{RX})^2)^{1/2}$	25000.02178
Reflection Path Δ	Δd	m	$\Delta d = d_2 - d_1$	0.007199995
Estimated Reflection Path Δ	Δd_e	m	$\Delta d_e = 2h_{TX}h_{RX}/d$	0.0072
Wavelength	λ	m		0.325861367
Normalized Ground Bounce Amplitude	a	none		-1
Loss From Ground Bounce Cancellation	L_{GB}	dB	$L_{GB} = 10\log_{10}(0.5(1 + a^2 - 2a\cos(2\pi\Delta d/\lambda)))$	-20.16769289
Free Space Loss	L_{FS}	dB	$L_{FS} = 10\log_{10}(4\pi d/\lambda)^2$	-119.6823399
Flat Earth Loss	L_{FE}	dB	$L_{FE} = L_{GB} + L_{FS}$	-139.850328

Ground Reflection Path Loss Approximation (for $d > 5(h_{TX} + h_{RX})$)				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Estimated Flat Earth Loss*	L_{FE}	dB	$L_{FE} = 10\log_{10}(h_{TX}^2 h_{RX}^2 / 2d^4)$	-139.8430501
Estimated Ground Bounce Cancellation Loss	L_{GB}	dB	$L_{GB} = L_{FE} - L_{FS}$	-20.16071017

그림 13. LoRa Ground Reflection Path Loss 산출
 Fig. 13. Calculation of ground reflection path loss in LoRa.
 -114.1 dBm이 된다. 2.5 m 높이 차이에 수신 감도는 15.5 dB 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 지구의 ground가 둥글

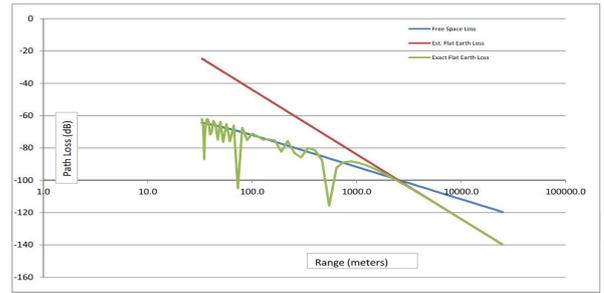


그림 14. LPWA(LoRa) Ground Reflection Path Loss 전송거리별 상세 산출
 Fig. 14. Detailed calculation of ground reflection path loss in LPWA(LoRa) according to distance.

어 line of sight 확보에서 수신 안테나 높이가 높을수록 유리하고 안테나가 높을수록 반사파의 영향이 작기 때문이다.

Tx 안테나와 Rx 안테나 높이를 고정하고 전송거리 25 km 로 설정 시 LoRa 서비스에서 ground reflection path loss 산출에 대한 계산치를 그림 13에 나타낸다. 900 MHz 주파수를 이용하여 25 km 전송 시 자유공간손실은 119.68 dB 이며, 여기에 ground reflection path loss를 고려한 flat earth loss는 -139.87 dB가 된다. Estimated flat earth loss는 -139.84 dB이며 estimated ground bounce cancellation loss 는 -14.18 dB가 된다. 이러한 그림 13의 계산식을 이용하여 전송거리 별 free space loss, estimated flat earth loss, exact flat earth loss는 data들은 최대 전송거리를 25 km로 산출할 때 전송거리 50 m 에서 25 km까지의 상기 3가지 경우의 전송 손실에 대한 특성을 알 수 있다.

그림 15는 앞에서 제시한 자유공간손실과 ground reflection path loss를 적용한 LoRa 서비스에서의 25 km 전송을 위한 link budget 설계 결과를 나타낸다.

장비출력 기준 +20 dBm 출력 시 단말에서의 수신신호레벨은 flat earth path loss 를 감안하여 -93.56 dBm 이 된다. 자유공간손실을 고려한 수신레벨이 -78.89 dBm 이며 fade margin을 15 dB 적용하였을 경우와 매우 유사한 값이 계산됨을 알 수 있다. 또한 주파수 별 자유공간 손실은 차이가 있지만 flat earth loss는 주파수에 상관없이 동일함을 알 수 있다. Flat earth loss 는 주파수 보다 안테나의 높이에 따라 크기가 결정된다.

이러한 link budget 을 적용한 25 km 전송에 대한 무선망 설계는 NB-LoT와 LPWA(LoRa) 공통으로 gateway 출력 +20 dBm 으로 gateway 안테나 이득은 +12 dBi, 어선용 단말용 안테나 이득도 +12 dBi 로 설정해야 서비스가 가능함을 알 수 있다. NB-LoT는 기지국 출력 레벨을 +40 dBm으로 설정할 수 있다. +40 dBm으로 설정하는 경우 20 dB의 수신감도가 개선된다.

2장에서 제시한 육상기지국과 어선과의 line of sight 관계를 고려하여 안테나 높이를 100 m까지 높게 설치하면 35 km까지 서비스가 가능하고 안테나 높이를 800 m 까지 높게 설치하면 100 km 까지 서비스가 가능해진다.

MAXIM RF System (Link Budget) Calculations				
System Variables	Variable	Units	Equation	Value
Frequency	f_0	MHz		920
Speed of Light	c	m/s		299792458
Wavelength	λ	m	$\lambda = c/f_0$	0.325861367

Block	Variable	Units	Equation	Value
PA Power	P_{PA}	dBm		20
TX Match Loss	L_{SM017}	dB		-13
TX source	P_{TX}	dBm		20
TX connector loss	L_{CON1}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX cable loss	L_{CAB}	dB	(from Cable Loss sheet)	-1
TX connector loss (remote antenna)	L_{CON2}	dB	(from Connector Loss sheet)	-0.57
TX power	P_T	dBm	$P_T = P_{TX}(C\&C \text{ Loss})$	17.86
TX antenna gain	G_T	dBi		12
Effective (Isotropic) Radiated Power	EIRP	dBm	$EIRP = P_T G_T$	29.56
Distance	d	m		25000
Channel Medium Loss Factor	L_d	dB	(from Medium Loss sheet)	0
Free Space Loss	L_{FS}	dB	$L_{FS} = (4\pi d/\lambda)^2$	-119.6823399
Power at RX Antenna, Free Space Path	P_{CHANS}	dB	$P_{CHANS} = L_{FS} L_d EIRP$	-89.82233994
Flat Earth Loss (Includes Ground Bounce)	L_{FE}	dB	(from Ground Multipath sheet)	-139.8500328
Multipath Loss	L_{MP}	dB		0
Obstruction Loss	L_{OBST}	dB		0
Power at RX Antenna, Flat Earth Path	P_{CHANE}	dB	$P_{CHANE} = L_{FS} L_{FE} L_{MP} L_{OBST} EIRP$	-109.9900328
RX antenna gain	G_R	dBi		12
RX connector loss	L_{CON3}	dB		-0.57
RX cable loss	L_{CAB}	dB		-1
RX connector loss (remote antenna)	L_{CON2}	dB		-0.57
RX power, Free Space Path	P_{RXS}	dBm	$P_{RXS} = P_{CHANS} G_R(C\&C \text{ Loss})$	-78.39233994
RX power, Flat Earth Path	P_{RFE}	dBm	$P_{RFE} = P_{CHANE} G_R(C\&C \text{ Loss})$	-98.56003283

Receiver Sensitivity Calculations				
Variable	Units	Equation	Value	
RX Noise Figure	NF	dB	7	
Operating Temperature	T_0	K	290	
Effective Noise Temperature	T_e	K	$T_e = T_0(NF - 1)$	1163.442978
Boltzmann's constant	k	J/K	1.38E-23	
Receive Bandwidth	BW_{RX}	MHz	0.2	
Antenna Temperature	T_{ant}	K	300	
Noise Power (at RX)	P_n	dBm	$P_n = k(T_{ant} + T_e)BW_{RX}$	-113.9371511
Signal to Noise Ratio	SNR _{RX}	dB	$SNR_{RX} = P_{RX}/P_n$	-0.062848871

그림 15. MAXIM link budget Tool을 이용한 LoRa Coverage
 Fig. 15. LoRa coverage using MAXIM link budget tool.

육상 기지국 안테나 높이가 800 m이고, 해상 어선 안테나의 높이가 3 m인 경우 100 km 전송 시 어선용 통신모듈에서 수신하는 수신레벨은 -95.4 dBm이 된다. 이때 기지국 출력은 +40dBm이며 양측 안테나 이득은 모두 12 dBi를 적용하는 경우에 해당한다. 이러한 link budget 설계에 의하여 해상 먼 바다 서비스를 위해 기지국은 높은 산에 설치하게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 어구 모니터링 시스템 구축을 위한 해상 IoT 무선망 설계를 위해 1.8 GHz 주파수 대역을 사용하는 NB-IoT와 900 MHz 주파수 대역을 사용하는 LoRa 서비스에 대해 해상에서의 무선 서비스 최적화를 위한 링크 버짓을 분석하였다. 육상기지국과 부이간, 육상기지국과 어선간 링크버짓을 산출하여 그 결과를 분석하였다. 분석 결과 해상 IoT 통신망 구축에서는 NB-IoT나 LoRa 모두 공통으로 안테나 품질이 가장 중요한 요소임을 확인하였고, 특히 육상기지국과 어선과의 25 km 전송에 대한 무선망 설계의 경우 NB-IoT와 LPWA(LoRa) 공통으로 gateway 출력 +20 dBm으로 gateway 안테나 이득은 +12 dBi, 어선용 단말용 안테나 이득도 +12 dBi 로 설정해야 서비스가 가능하다는 것을 확인하였다.

본 논문의 해상 IoT 무선망 설계 분석결과는 해상 IoT 기반의 통신 시스템, 어구식별 기술, 해상 운용에 최적화된 어구식별 부이설계 기술, 저전력 운용 부이설계 기술, 어구관리를 위한 모니터링 기술 등의 다양한 분야에 활용될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-01719, LPWA 기반 어구식별 부이 장착용 단말 및 어선용 게이트웨이 개발).

References

- [1] Ministry of Oceans and Fisheries. The management policy of fishing nets for life cycle (press release on 2015. 10. 25) [Internet]. Available: <http://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=9693&searchSelect=title&searchValue=%ED%8F%90%EC%96%B4%EA%B5%AC&boardKey=10&menuKey=376¤tPageNo=1>.
- [2] Ministry of Oceans and Fisheries. The environment enhancement plan for the littoral sea (press release on 2015.6. 2) [Internet]. Available: <http://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=8146&searchSelect=title&searchValue=%EC%88%98%EC%82%B0%EC%9E%90%EC%9B%90+%ED%9A%8C%EB%B3%B5&boardKey=10&menuKey=376¤tPageNo=1>.
- [3] Ministry of Oceans and Fisheries. The management policy of the fishing nets (press release on 2015. 11. 9) [Internet]. Available: <http://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=9829&searchSelect=title&searchValue=%EC%96%B4%EA%B5%AC%EA%B4%80%EB%A6%AC&boardKey=10&menuKey=376¤tPageNo=1>.
- [4] H. G. Hwang, B. S. Kim, Y. T. Woo, I. S. Shin, Y. H. Yu, and W. S. Baek, "A development of smartphone-connected fishing net tracking and management system," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp. 401-408, Feb. 2017.



곽재민 (Jaemin Kwak)

1998년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과(공학사), 1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(공학석사)
2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과(공학박사),
2002년 7월~2003년 7월 : 한국전자통신연구원 네트워크 연구소 (Post-doc.)
2003년 7월~2008년 2월 : 전자부품연구원 SoC 연구센터 책임연구원
2008년 3월~현재 : 목포해양대학교 항해정보시스템학부 부교수
※관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리



김세훈 (Sehoon Kim)

1993년 2월 : 한남대학교 전자공학과(공학사) 1995년 2월 : 한남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
2009년 6월 : 연세대학교 Intensive MBA 수료
1995년 1월~1999년 12월 : 성미전자(주) 기술연구소 선임연구원
2000년 1월~2012년 9월 : 동원시스템즈(주) 기술연구소 책임연구원
2016년 1월~현재 : 티앤아이(주) 기술연구소 수석연구원
※관심분야 : ICT Device 융합기술, 이동통신 시스템, 사물인터넷 및 근거리 통신 기술



이성렬 (Seong-Real Lee)

990년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사), 1992년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)
2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사), 2002년 6월~2004년 2월 : (주)에이티엔 기술연구소장
2004년 3월~현재 : 국립목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수
※관심분야 : WDM 전송 시스템, 광의 비선형 현상 분석, 광 솔리톤 전송, IoT 융합 기술