

---

# 해상 VHF 모뎀의 송신전력 모니터링을 위한 결합기 및 정류회로 설계

김승근\* · 성소영\* · 임용곤\* · 박동국\*\*

Design of Coupling and Rectifying Circuit for Monitoring of Transmitting Power of Maritime VHF Modem

Seung-Geun Kim\* · Soyoung Sung\* · Young-Kon Lim\* · Dong-kook Park\*\*

---

이 논문은 국토해양부 “해양 RF기반 선박용 Ad-hoc 네트워크 개발” 사업의 결과중 일부임

---

## 요 약

본 논문은 해상용 VHF 디지털 모뎀의 구성요소 중 하나인 방향성 결합기 및 정류회로의 설계에 관한 것이다. 모뎀을 통해 송신되는 전력을 모니터링하기 위해, 송신 신호의 일부를 추출하는 방향성 결합기와, 결합된 RF 신호에 비례하는 DC 전압을 만들어내는 정류회로를 설계 제작하였다. 160 MHz 대역에서 25 dB 이상의 지향성을 갖는 평행 결합 선로 결합기를 구현하여, 모뎀 송신 전력이 1 W ~ 25 W로 변할 때 정류회로의 출력 전압이 약 0.85 V ~ 1.6 V로 선형적으로 변하는 것을 확인하였다. 제안된 결합기 및 정류회로는 해상용 VHF 디지털 모뎀에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

## ABSTRACT

The design of coupling and rectifying circuits for the maritime VHF digital modem is investigated in this paper. To monitor the transmitting power of the modem, a directional coupler which is used to extract a small fraction of the transmitter signal power, and a rectifying circuit which make DC voltage proportional to the coupled rf power are designed and fabricated. The parallel-coupled line coupler with directivity of above 25 dB at 160 MHz bands is designed and it is shown that the output voltage of the rectifying circuit is linearly changing from 0.85 V to 1.6 V when the transmitting power of the modem is varying from 1 W to 25 W. The proposed coupler and rectifying circuits are expected to be suitable for maritime VHF digital modem.

## 키워드

방향성 결합기, 평행결합선로 결합기, 해상 VHF 모뎀, 정류회로

## Key word

Directional coupler, Parallel-coupled line coupler, Maritime VHF modem, Rectifying circuit

---

\* 한국해양연구원

\*\* 한국해양대학교 (교신저자, dkpark@hhu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 09. 29

심사완료일자 : 2010. 10. 13

## I. 서 론

선박에 설치된 다양한 해상 통신장비 대부분은 선박의 안전운항 및 해난사고 또는 조난사고 발생시 신속한 대응을 위해 음성통신을 중심으로 사용되고 있다[1]. 최근들어 해상에서도 육상에서와 같이 저비용으로 e-mail, SMS, 팩스 전송뿐만 아니라 인터넷 연결 서비스 등 디지털 데이터 통신에 대한 요구가 꾸준히 증가하고 있으며, 또한, 선박의 안전하고 경제적인 운항을 육상에서 원격 지원하고, 육상에서 선박을 모니터링 하고 위기대응 등에 적용하기 위한 해양통신장치에 대한 요구가 증대하고 있다[2]. 이러한 요구에 부응하여 해상이동업무에 분배된 초단파 주파수대(VHF)를 사용하여 해상 통신 장비에 새로운 디지털 기술을 도입하기 위한 협의가 ITU-R 5 연구반을 중심으로 진행되어 왔으며, 이러한 활동을 통해 ITU-R M.1842 및 ITU-R M.1842-1 와 같은 국제 권고안이 제정 공표되었다[3][4].

이와 같이 해양 디지털 통신 장치에 대한 관심이 높아지면서 이러한 시스템 개발에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며[5], 요구 조건을 만족하는 VHF 대역 디지털 통신 모뎀의 개발은 이러한 통신 장비의 개발에서 가장 중요한 부분이라 할 수 있다.

본 논문에서는 해상용 VHF 대역 디지털 통신 모뎀의 구성 요소 중의 하나로서 송신 출력신호를 모니터링 하는 회로를 제안한다. 즉, 해상용 VHF 모뎀의 경우 155~163.5 MHz 주파수 대역에서 송신 전력이 1W에서 25W까지 변하게 되므로, 이러한 송신 전력을 모니터링 하기 위해서는 송신 전력에 비례하는 회로가 필요하다. 본 논문에서는 결합기와 정류회로를 사용하여 160MHz 대역에서 1~25W의 전력에 비례하는 DC 전압을 만들어내는 회로를 제안하고 실험한 결과를 기술하고자 한다.

## II. 결합 및 정류회로부 설계

방향성 결합기는 초고주파 시스템에서 필터, 전력분배기 및 합성기 등 많은 응용분야에서 사용되고 있는 수동소자 중 하나이다[6][7]. 본 논문에서는 해상 VHF 모뎀 대역 신호의 전력을 모니터링하기 위해 송신 신호의

일부를 결합시키기 위한 결합기와 결합된 RF 신호의 전력 측정을 위한 정류회로부를 설계 제작하고자 한다.

해상용 VHF 모뎀의 경우 155~163.5 MHz 주파수 대역에서 송신 전력이 1W에서 25W까지 변하게 되므로, 개발하려는 결합기는 결합되는 신호의 크기가 송신되는 신호에 영향을 주지 않도록 작은 양이 결합되면서, 1W에서 25W까지 변하는 송신신호의 크기에 대해 결합되는 양이 선형적으로 변해야 한다. 본 논문에서는 이러한 특성을 감안하여 결합도가 낮은 평행결합선로 방향성 결합기를 사용하였다.

또한 정류회로로는 결합기를 통해 전달되는 160MHz 대역의 신호 전력에 비례하는 DC 전압을 나타낼 수 있도록 정류회로의 동작범위를 조절하여, 해상용 VHF 모뎀에 적합하도록 설계를 되어야 한다. 본 논문에서는 하나의 다이오드만 사용하여 회로의 구성이 간단한 반파 정류회로를 제안하였다. 방향성결합기에서 결합된 RF 신호를 반파 정류 회로로 전달하기 위해 임피던스 정합회로의 설계가 필요하며, 정류된 DC 신호를 모뎀의 제어부에 전달하기 위해 버퍼 회로도 필요하다.

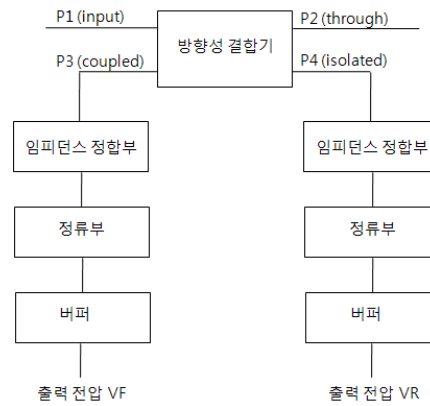


그림 1. 제안하는 결합 및 정류회로의 블록도  
Fig. 1 Block diagram of the proposed coupling and rectifying circuits

따라서 본 논문에서 제안하는 결합기 및 정류회로부의 전체 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 방향성 결합기의 결합도와 격리도를 함께 측정할 수 있도록 방향성 결합기의 3번 단자(P3)과 4번 단자(P4)에 각각 정류회로부가 존재한다.

2-1 평행결합선로 방향성결합기의 설계

본 논문에서 제안하는 평행결합선로 방향성결합기의 모양을 그림 2에 나타내었다. 결합선로에 부착되는 소자의 실장 위치 및 PCB 크기를 고려하여 Type A와 Type B의 2가지 구조를 제시하였다. Type A와 Type B의 구조는 단자 3과 4에서의 구조적 차이를 제외하고는 모두 같으며, 모두 각 단자는 50 Ω 전송선로로 연결되어 있다.

평행결합선로의 결합선로의 길이(L) 및 간격(S)을 설계 파라미터로 하여, 2가지 형태의 결합기에 대해 결합도, 격리도 및 지향성 등의 특성 변화를 시뮬레이션해 보았다. 결합선로의 선폭은 50 Ω 전송선로의 선폭(약 2 mm)을 고려하여 3 mm로 고정하여 시뮬레이션을 하였다.

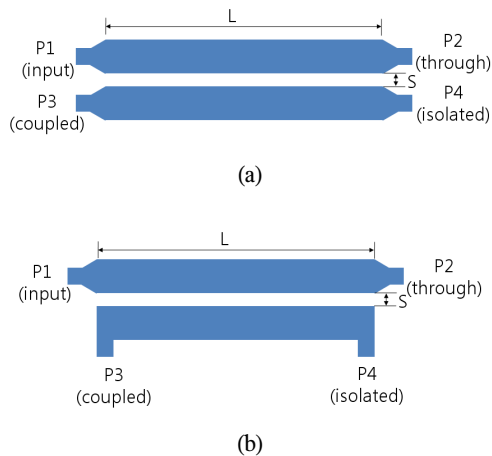


그림 2. 제안된 2가지 종류의 평행선로 방향성 결합기 (a) A형 (b) B형  
 Fig. 2. The proposed 2 types of directional coupler (a) Type A (b) Type B

그림 2의 평행선로 결합기의 단자 1(P1)에 실효전압 1 V가 인가되는 경우, 각 단자에 유기되는 전압은 다음과 같다[8][9].

$$V_1 = 1 \tag{1-1}$$

$$V_2 = \frac{\sqrt{1 - C^2}}{\sqrt{1 - C^2} \cos\theta + j \sin\theta} \tag{1-2}$$

$$V_3 = \frac{j C \sin\theta}{\sqrt{1 - C^2} \cos\theta + j \sin\theta} \tag{1-3}$$

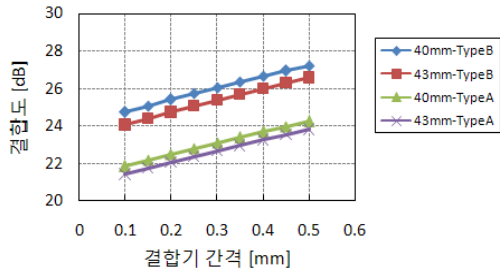
$$V_4 = 0 \tag{1-4}$$

여기서,  $\theta$ 는 결합선로의 전기적인 길이를 나타내며,  $C$ 는 결합도  $C = \frac{Z_{0e} - Z_{0o}}{Z_{0e} + Z_{0o}}$ 로서,  $Z_{0e}$ 는 짝모드 여진에 대한 결합선로의 특성 임피던스이고,  $Z_{0o}$ 는 홀모드 여진에 대한 결합선로의 특성 임피던스를 나타낸다. 식 (1-3)으로부터 전기적인 길이  $\theta$ 에 따라 결합되는 양이 차이가 생기는 것을 알 수 있으며,  $\theta = \pi/2$  rad 일 때  $V_3 = C$ 로서 최대 결합이 생기는 것을 알 수 있다.

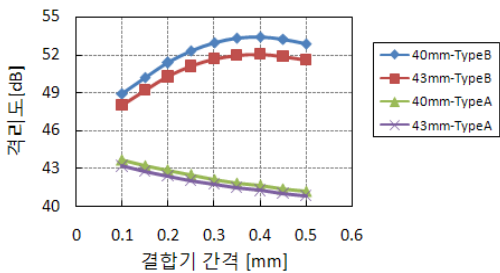
본 논문에서는 해상용 VHF 디지털 통신대역 구간중 하나인 160 MHz에서 결합도의 양이 약 25 dB 정도를 갖도록 시뮬레이션을 하여 결합기를 설계하였다. 두께 1.6t의 FR-4 기판을 사용하고, 결합선로의 선폭은 50 Ω 마이크로스트립 선로의 선폭보다 두꺼운 3mm로 고정하여 시뮬레이션을 하였다.

그림 3에 결합기의 간격 변화에 따라 2 종류의 방향성 결합기의 특성의 변화를 결합선로의 길이가 40 mm와 43 mm인 경우에 대하여 시뮬레이션한 결과를 나타내었다.

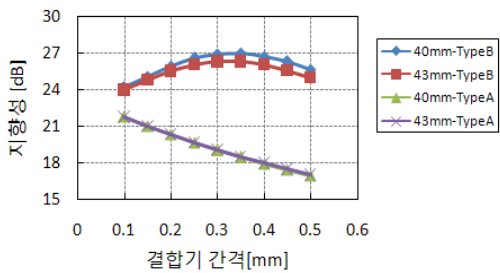
그림 3.(a)에서 보면, 두 형태의 결합기의 결합도는 결합간격(S)이 0.1 mm ~ 0.5 mm로 증가함에 따라 dB 단위상에서 선형적으로 결합도가 증가함을 함을 볼 수 있으며, 두 형태 모두 비슷한 기울기를 가지고 있으며 3 dB 이내의 차이가 있음을 볼 수 있다. 그러나 그림 3.(b)에서 보듯이 Type A의 격리도는 결합기 간격이 증가함에 따라 dB 단위상에서 선형적으로 감소하는 특성을 보이고, Type B의 격리도는 결합기 간격이 증가함에 따라 격리도가 증가하다 0.4 mm에서 최고값을 갖고 이후에는 다시 감소하는 특성을 보인다. 또한, Type A와 Type B의 결합기에서 동일한 결합기 간격에 대하여 격리도 차이가 약 6 dB ~ 12 dB 정도로 그 차이가 크다. 그림 3.(c)에 나타난 지향성 특성은 Type A의 경우 dB 단위상에서 결합기 간격이 증가함에 따라 선형적으로 감소하고, Type B의 경우 결합기 간격이 증가함에 따라 증가하다 감소하는 형태를 갖는다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 방향성 결합기의 시뮬레이션 특성  
Fig. 3 The simulation characteristics of directional coupler

그림 4에는 결합선로의 길이 변화에 따른 지향성 변화를 나타내었다. 그림 4에서 보면, Type A 결합기의 경우 결합선로 길이가 증가함에 따라 지향성이 증가하다 결합선로 길이 40 mm에서 지향성이 약 20 dB에서 더 이상 증가하지 않음을 볼 수 있으며, Type B 결합기의 경우 결합선로의 길이가 증가함에 따라 지향성도 증가하고, 30 mm에 최고값을 가지며 이보다 길어지는 경우에는 지향성이 줄어드는 특성을 보인다.

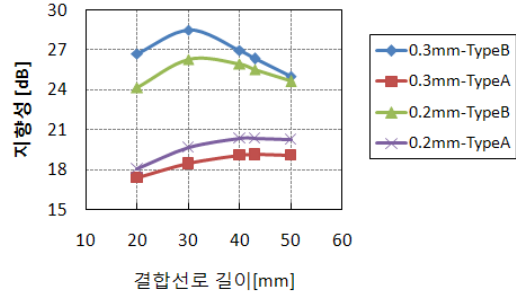


그림 4. 결합선로 길이에 따른 지향성  
Fig. 4 The directivity of coupler versus coupling length.

그림 3과 그림 4를 통해 결합기 간격이 0.2 ~ 0.5 mm이며, 선로의 길이가 25 ~ 45 mm 범위에서 Type B 구조의 방향성 결합기가 25 dB 이상의 높은 지향성을 가지므로, 해상용 VHF 디지털 통신용으로는 Type B가 Type A에 비해 적합한 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있다.

## 2-2 정류부 설계

160 MHz RF 입력신호의 전력을 측정하기 위하여 그림 5와 같은 반파 정류회로를 구성하였다. 방향성 결합기와 반파 정류회로와의 임피던스 정합을 위해 정합회로를 설계하였고, 정류된 DC 전압을 VHF 모뎀의 제어부로 전달하기 위해 전압 폴로워 형태의 버퍼 회로를 설계하였다.

반파 정류용으로 MA3J728 다이오드를 사용하였고, 임피던스 정합회로는 저항을 이용한 손실 매칭 방법을 사용하여 구현하였고, 버퍼(buffer)는 OPA2141을 사용하였다.

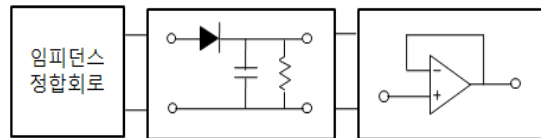


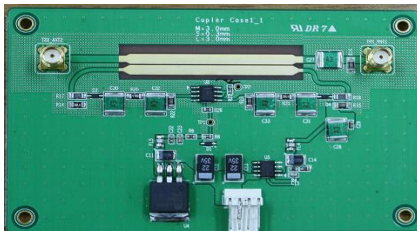
그림 5. 정류회로 블록도  
Fig. 5 Block diagram of rectifying circuit

### III. 실험 및 검토

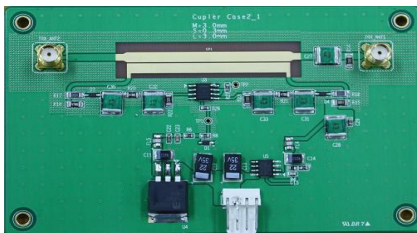
앞 장에서 살펴본 시뮬레이션 결과를 바탕으로 두께 1.6t 의 FR-4 기판을 사용하여 평행선로 방향성 결합기 및 정류회로를 제작하였다. 표 1에 제작한 방향성 결합기의 결합선로의 구조 및 치수를 정리하여 나타내었고 그림 6에 결합기 1과 5를 적용하여 제작된 PCB를 나타내었다.

표 1. 제작한 8종의 결합기의 파라미터  
Table. 1 Parameters of fabricated 8 couplers

coupler 명칭	결합 선로 선폭 [mm]	결합 포트 위치 모양	결합 선로 길이 [mm]	결합 선로 간격 [mm]
결합기 1	3	Type A	43	0.3
결합기 2	3	Type A	43	0.2
결합기 3	3	Type A	40	0.3
결합기 4	3	Type A	40	0.2
결합기 5	3	Type B	43	0.3
결합기 6	3	Type B	43	0.2
결합기 7	3	Type B	40	0.3
결합기 8	3	Type B	40	0.2



(a)

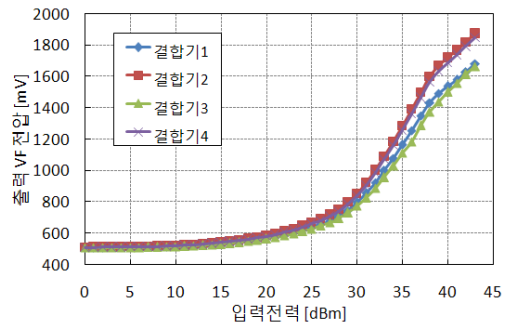


(b)

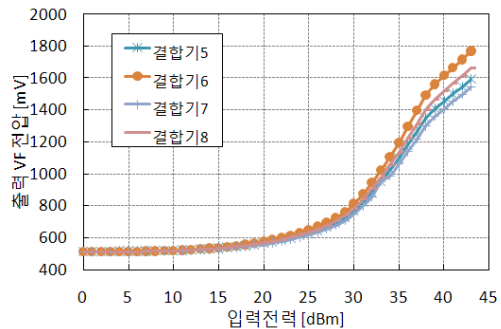
그림 6. 제작한 결합 및 정류회로 PCB  
(a) A형 (b) B형

Fig. 6 Fabricated coupling and rectifying PCB circuit  
(a) Type A (b) Type B

해상국용 VHF 모뎀의 경우 Tx 출력단에서 결합기에 입력되는 신호는 25 W이하로 제한되므로[3][4], 입력 신호 전력을 0 dBm ~ 43 dBm 까지 변화시키면서 그림 1의 출력전압 VF와 VB를 측정하였다. VF 단자로 출력되는 전압을 그림 7에 나타내었다. 그림 7을 보면 결합기의 종류에 따라 다른 값을 갖지만 평균적으로 30 dBm의 경우 약 0.7 V ~ 0.9 V, 40 dBm의 경우 약 1.4 V ~ 1.7 V 정도의 값을 가지며, 결합기의 종류에 상관없이 출력 VF 전압이 거의 선형적으로 변하고 있음을 확인할 수 있다. 그림 7에서 결합기 2, 4, 6, 8의 경우는 평행결합 선로의 간격이 0.2 mm로 선로의 간격이 0.3 mm인 결합기 1, 3, 5, 7에 비해 DC 출력 전압이 크게 나타난다. 또한 Type A 형의 결합기가 Type B 형의 결합기에 비해 DC 전압이 크게 나타남을 알 수 있다. 이것은 그림 3.(a)의 시뮬레이션 결과와도 동일하다.



(a)

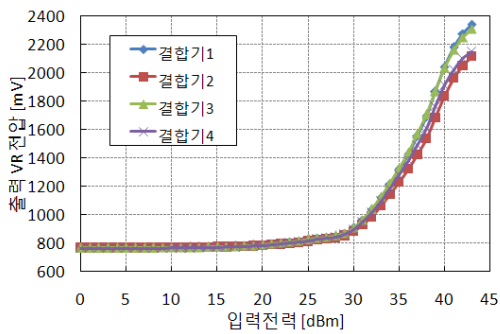


(b)

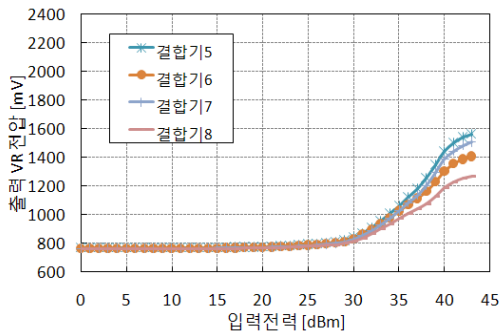
그림 7. VF 단자로 출력되는 DC 전압  
(a) A형 (b) B형

Fig. 7 DC output voltage at VF port  
(a) Type A (b) Type B

결합기의 격리단자(VF 단자)로 출력되는 전압을 측정하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 전압 레벨이 그림 7의 결합단자 전압 레벨 보다 높은 것은 격리 단자에 DC offset 전압이 인가되고 있기 때문이다. 그림 8을 보면 결합기의 종류에 따라 다른 값을 갖지만 평균적으로 입력 전력이 30 dBm ~ 43 dBm 사이의 값에서 출력 VR 전압이 결합기의 종류에 상관없이 거의 선형적으로 변하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 그림 8을 보면 Type A 형의 결합기 1, 2, 3, 4의 경우가 Type B 형의 결합기 5, 6, 7, 8에 비해 출력 VR 전압이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것으로부터 Type B 형의 결합기가 격리도 특성이 우수하다는 것을 알 수 있으며, 이것은 그림 3(b)의 시뮬레이션과 동일한 결과를 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 8. VR 단자로 출력되는 DC 전압  
(a) A형 (b) B형

Fig. 8 DC output voltage at VR port  
(a) Type A (b) Type B

#### IV. 결 론

본 논문에서는 해상 VHF용 디지털 모뎀의 구성요소 중의 하나인 방향성 결합기 및 정류회로의 설계 및 구현에 관한 연구 결과를 제시하였다. 먼저 평행선로결합 방식의 방향성결합기 설계를 결합선로의 길이와 선로간의 간격을 변수로 하여 시뮬레이션 한 후 몇 가지 경우에 대해 실험을 통해 결과를 검증하였다. 또한 결합된 RF 신호에 비례하는 DC 전압신호를 만들어내는 회로를 설계하여 모뎀의 제어부에서 전압 측정을 통해 출력되는 RF신호의 크기를 모니터링 할 수 있도록 하였다.

결합기 설계 및 실험을 통해 선로의 선폭을 3 mm 로 하는 경우 선로간의 간격을 0.3 mm, 선로의 길이를 약 40 mm 정도로 하는 경우, 25 dB 이상의 높은 지향성을 가지며, 입력이 30 dBm ~ 43 dBm에서 변할 때 출력 VF 신호 전압은 약 0.85 V ~ 1.6 V로 선형적으로 변하고 있는 방향성 결합기를 개발하였다. 또한, 본 논문에서 제안한 두 가지 형태의 결합기 중에서 Type B 형이 비록 결합도는 약 3dB 정도 떨어지나 격리도가 우수하여 해상 VHF 디지털 모뎀에 보다 적합함을 알 수 있었다.

이러한 실험 결과들은 해상용 VHF 모뎀의 송신 전력을 모니터링하는 회로의 설계 및 제작에 매우 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] IMO, *GMDSS Manual*, IMO IC970E, 4th Edi., 2007.
- [2] DRAFT, "Liaison statement to ITU : VHF radio system and equipment for the exchange of data and e-mail on maritime appendix 18 channels under WRC-07 Agenda item 1.14", 2003
- [3] ITR-R, "Characteristics of VHF radio system and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR appendix 18 channels", Recommendation ITU-R M.1842, 2008.
- [4] ITU-R, "Characteristics of VHF radio systems and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR appendix 18 channels", Recommendation ITU-R M.1842-1, 2009.



- [5] Chang-Ho Yun, A-Ra Cho, Seung-Geun Kim, Jong-Won Park and Young-Kon Lim, "Design of multiband maritime network for ships and its applications," J. of KIMICS, vol. 7, no. 3, pp. 314-322, Sept. 2009.
- [6] 김철수, 임종식, 김동주, 안달, "개선된 지향성을 갖는 마이크로스트립 방향성 결합기 설계," 한국전자과학기술논문지, 제15권, 제6호, pp. 548-553, 2004
- [7] 문승찬, "복합 유전체 기판상에 비대칭 결합 마이크로스트립 방향성 결합기의 설계," 한국통신학회논문지, 제22권, 제9호, pp. 1949-1956, 1997.
- [8] 진년강, 마이크로파공학의 기초, 청문각, pp.334, 2005.
- [9] 지일구, 정정화, "높은 지향성을 갖는 방향성 결합기 설계에 관한 연구," 한국통신학회논문지, 제28권, 제11A호, pp. 921-928, 2003.

저자소개



김승근(Seung-Geun Kim)

1995년 인하대학교  
전자공학과(공학사)  
1997년 광주과학기술원  
정보통신공학과(공학석사)

2002년 광주과학기술원 정보통신공학과(공학박사)  
2002년 ~ 현재 : 한국해양연구원 선임연구원  
※ 관심분야: 통신시스템 설계 · 제작, 수중음향통신 시스템, 해상무선통신 시스템



성소영(Soyoung Sung)

2001년 충남대학교  
전기공학과(공학석사)  
2007년~현재 충남대학교  
전기공학과(박사과정)

2002년 ~ 2004년 한터기술(주) 주임연구원  
2004년 ~ 2007년 산재의료관리원 재활공학연구소  
선임연구원  
2007년 ~ 2009년 한국기계연구원 연구원  
2009년 ~ 현재 한국해양연구원 연구원  
※ 관심분야: DSP 시스템, 전력제어, 통신시스템



임용곤(Young-Kon Lim)

1979년 충남대학교  
전기공학과(공학사)  
1984년 충남대학교  
전력전자공학과(공학석사)

1994년 아주대학교 전자공학과(공학박사)  
1980년~ 현재 한국해양연구원 책임연구원  
2008년~ 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
소장  
※주관심분야: 네트워크 프로토콜, 수중음향 통신  
시스템 및 네트워크



박동국(Dong-Kook Park)

1987년 부산대학교  
전자공학과(공학사)  
1989년 한국과학기술원 전기및  
전자공학과(공학석사)

1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학박사)  
1994년 ~ 1996년 LG전자 선임연구원  
1996년 ~ 현재 한국해양대학교 부교수  
2000년 ~ 2001년 미국 UCLA 전기공학과 방문교수  
※ 관심분야: 안테나, 이동통신부품, 무선전력전송