

# ITU-R M.1842-1 Annex1 $\pi/4$ -DQPSK VHF 대역 해상 디지털 통신모뎀의 시뮬레이션 연구

## Simulation Study of VHF band $\pi/4$ -DQPSK Maritime Digital Communication Modem According to ITU-R M.1842-1 Annex1

곽재민\*

Jae-Min Kwak\*

### 요 약

본 논문에서는 ITU-R M.1842-1 표준 권고안 Annex1에 따르는  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀에 대해 분석하고 시뮬레이션을 수행하였다. 우선 VHF 대역의 해상 이동통신에 대한 표준 및 기술동향을 소개하였다. Annex1에 제시된  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀은 25KHz의 대역폭에서 28.8Kbps 비트전송률을 제공하도록 제시되어 있다. 송수신기에서 RRC 필터를 채용하는  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀의 시뮬레이션 프로세스에 대해 설명하고, 다양한 시뮬레이션 결과(시간영역 신호파형, 성좌도, 롤오프 팩터에 따른 전력스펙트럼밀도, Eye 다이어그램)들과 모뎀의 BER 성능을 제시하였다. 시뮬레이션 결과로부터, RRC 필터의 롤오프 팩터에 의해서 SNR에 따른 BER 성능에 미치는 영향이 있음을 확인하였고, 설계한 시뮬레이션 모델이 ITU-R M.1842-1 권고안에 제시된 스펙트럼 마스크 요구사항을 만족함을 알 수 있었다.

### Abstract

In this paper,  $\pi/4$ -DQPSK modem according to ITU-R M.1842-1 recommendation Annex1 is investigated and simulated. At first, standardization and technical trend of VHF maritime mobile communication are introduced. The  $\pi/4$ -DQPSK modem defined in the Annex1 should support 28.8Kbps bit transmission rate within 25KHz frequency bandwidth. We describe the system model and simulation process of  $\pi/4$ -DQPSK modem transmitter and receiver design with RRC(Root Raised Cosine) transmitter and receiver filter. Then we suggest various graphical simulation results(time domain signals, constellation, power spectral density according to roll-off factor, eye diagram), and show simulated BER performance of the modem. From the simulation results, it is shown that roll-off factor of RRC filter affects to BER performance according to SNR and the designed simulation model meets the spectrum mask requirement suggested in ITU-R M.1842-1 recommendation.

Key words :  $\pi/4$ -DQPSK, RRC filter, BER, ITU-R M.1842-1

### I. 서 론

최근의 해상 이동통신 서비스는 기존의 아날로그 방식에서 디지털방식으로 전환되어가고 있다. IMO

\* 목포해양대학교 해양정보통신공학과(Department of Information and Communication Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 곽재민 (Jae-Min Kwak, tel : +82-61-240-7268, email : kjm@mmu.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 10월 18일 · 심사(수정)일자 : 2013년 10월 18일 (수정일자 : 2013년 12월 11일) · 게재일자 : 2013년 12월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.6.693>

(International Maritime Organization)의 SOLAS (Safety of Life at Sea) 조약이 1990년대 말에 체결됨에 따라 300톤 이상의 모든 선박에 GMDSS(Global Maritime Distress & Safety System)를 탑재하도록 하여 전세계의 해상 선박의 조난 및 안전을 위한 통합 통신시스템의 기반을 마련하였다[1]. IMO는 또한 최근 GMDSS를 발전시키고 해상이동통신 서비스에서 음성과 데이터를 더욱 효율적으로 전송하고 보다 체계적인 해상조난안전을 위한 e-Navigation의 개발을 주도하고 있다. e-Navigation이란 선박의 안전 및 보안과 해양환경보호와 관련된 서비스를 개선하기 위해 선상이나 육상에서 해상정보의 수집, 통합, 교환, 표현 및 분석을 전자적으로 융합하고 통일된 포맷으로 보여주는 자동화된 전자항법체계이다[2].

e-Navigation에서의 VHF대역 디지털 통신방식은 ITU-R의 연구반에서 연구를 담당하고 있다. ITU-R은 2007년 WP8B회의에서 Recommendation ITU-R M.1842-1을 승인하여 VHF 대역의 디지털 통신방식을 Annex1~4로 제안하였다. 특히, Annex1에서는 25KHz의 주파수 대역에서  $\pi/4$ -DQPSK 변조방식을 사용하여 28.8Kbps의 비트율, 또는  $\pi/8$ -DQPSK 변조방식을 사용하여 43.2Kbps의 비트율을 제공하도록 정의되어 있다[3].

$\pi/4$ -DQPSK 변조방식은 육상통신에서 기존에 IS-54 표준에 사용되었던 방식으로, 차동검파 방식을 적용하므로 페이딩 환경에서 우수하고 구현의 복잡도가 낮다는 장점이 있으며, 기존의 QPSK 방식보다 스펙트럼 효율이 높은 점이 특징이다.

본 논문에서는 ITU-R M.1842-1에 제안된 Annex1의 28.8Kbps급 VHF대역 해상 디지털통신용  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀설계를 위한 선행연구로 모뎀에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 송신파형, 성좌도, Eye 다이어그램, 펄스성형 필터 영향, BER 성능 등을 분석하여 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서 ITU-R M.1842-1 표준권고안의 모뎀기본 스펙에 대해 설명하고, III장에서는 특히 표준권고안의 Annex1에 제시된  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀의 시스템 모델 및 구현 알고리즘 등에 대해 검토한다. IV장에서 III장에 정의한 시스템 모델에 기반한 다양한 컴퓨터 시뮬레이션 결

과에 대해 논의하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. ITU-R M.1842-1 VHF 대역 디지털 통신 모뎀 표준 권고안

본 장에서는 ITU-R M.1842-1 권고안에 제시된 4가지 Annex의 변복조 및 제한 조건 등을 간단히 요약한다.

① Annex1 : 단일 25KHz 협대역 채널에서 동작하도록 설계되며 28.8Kbps 전송률은  $\pi/4$ -DQPSK 변조방식을, 43.2Kbps 전송률은  $\pi/8$ -DQPSK 변조방식을 사용하며, -70dB ACPR(Adjacent Channel Power Ratio)을 만족해야 하고, BER 10-3 기준의 수신기 감도는 -107dBm보다 작아야 함

② Annex2 : Annex1과 동일하게 25KHz의 단일 대역에서 동작하며 21.1Kbps의 전송률을 달성하기 위해 4-Level GMSK 변조방식을 채택하고, -70dB ACPR, BER10-3 기준 -107dBm 수신감도를 만족해야 함

③ Annex3 : 이 시스템은 RR Appendix 18의 2개의 인접한 25KHz채널을 사용하여 50KHz의 광대역을 사용하도록하고 있으며, 16개의 각 부반송파에 16QAM변조를 하도록 하는 OFDM방식을 채택하여 153.6Kbps를 달성할 수 있도록 함. 수신기 감도레벨은 해안국에 대해서는 -106dBm, 선박국에 대해서는 -103dBm을 요구함

④ Annex4 : RR Appendix 18의 4개의 인접한 25KHz 채널을 이용하여 100KHz의 광대역 채널을 활용도록 하며, 32개의 부반송파에 16QAM을 적용하는 OFDM방식으로 307.2Kbps 전송률을 달성하도록 함. 수신기 감도레벨은 Annex3과 동일하게 설정됨

## III. ITU-R M.1842-1 Annex1 $\pi/4$ -DQPSK 시스템 모델

$\pi/4$  천이된 DQPSK 디지털 변조는 DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying)의 특별한

경우에 해당된다. 이러한 차동 기법을 사용하는 변조 방식에서는 정보비트들이 절대적인 위상 값에 반영되는 것이 아니라 위상 천이에 반영된다. 이러한 방식의 차동 인코딩은 동기검파 방식을 사용하는 PSK 계열의 시스템에서 발생하는 위상모호성(Phase ambiguity) 문제를 극복할 수 있다. 또한 QPSK 변조에서는 위상천이가  $\pm 90$ 도 또는  $\pm 180$ 도인 반면에  $\pi/4$ -DQPSK 변조에서는 최대 위상 천이가  $\pm 135$ 도로 제한되어 있어서 QPSK 시스템에 비해서 정진폭 위상 특성이 우수하여, 스펙트럼 효율 특성이 좋다[4-5].

그림 1에  $\pi/4$ -DQPSK 변복조시스템의 모델을 보인다.  $\pi/4$ -DQPSK에서 동위상성분(I)과 직교위상성분(Q)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} I(i) &= I(i-1)\cos(\Delta\theta_i) - Q(i-1)\sin(\Delta\theta_i) \quad (1) \\ Q(i) &= I(i-1)\sin(\Delta\theta_i) + Q(i-1)\cos(\Delta\theta_i) \end{aligned}$$

$i$ 번째 변조심볼은 다음 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$S(i) = S(i-1) \times e^{j\Delta\theta_i} \quad (2)$$

여기서,  $I(i)$ 와  $Q(i)$ 는  $\pi/4$ -DQPSK 변조된  $i$ 번째 심볼 구간의 동위상성분과 직교위상성분을 나타내며,  $\Delta\theta_i$ 는  $i-1$ 번째 심볼과  $i$ 번째 심볼의 위상차를 낸다.

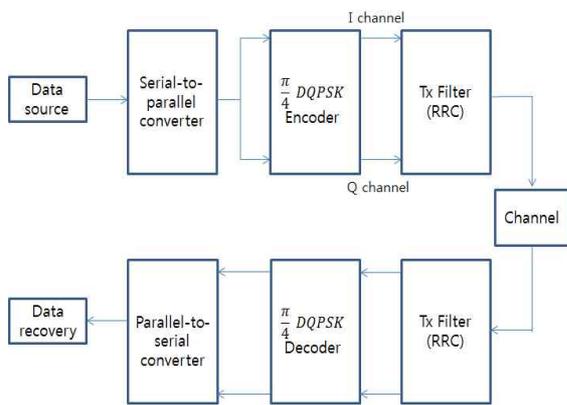


그림 1.  $\pi/4$ -DQPSK 변복조 시스템 기저대역 시뮬레이션 모델

Fig. 1. Simulation model of  $\pi/4$ -DQPSK modem system

표 1.  $\pi/4$ -DQPSK에서의 차동 위상 시프트

Table 1. Differential phase shift in  $\pi/4$ -DQPSK

정보심볼들 $b_{i1}$ $b_{i2}$	차동위상시프트 $\Delta\theta_i$
0 0	$\pi/4$
0 1	$3\pi/4$
1 0	$-\pi/4$
1 1	$-3\pi/4$

위상천이  $\Delta\theta_i$ 는  $\pi/4$ -DQPSK 인코더의 입력심볼  $d_i = 00, 01, 10, 11$ 에 의해 결정된다. 결국은 입력심볼  $d_i$ 를 구성하는 정보비트들( $b_{i1} b_{i2}$ )이 표 1과 같이 4개의 가능한 위상천이 중의 하나로 인코딩된다.

인코딩된 심볼들은 RRC(Root Raised Cosine) 송신 필터를 통해 펄스형성되어 적절한 주파수 대역으로 옮겨져 채널로 전송되고, 채널을 통과한 신호는 수신기에 도달하여 다운컨버전된 후 수신기 RRC 필터를 통과한 후, 연속된 심볼들 간의 위상차 값을 계산하여에 의해 송신부에서의 인코딩 테이블에 대응되는 정보신호를 복원해낸다.

여기서, 송수신기에 적용되는 ISI를 최소화 시키기 위한 RRC 필터의 주파수 응답과 임펄스 응답은 다음과 같다[6-8].

$$G(f) =$$

$$\begin{cases} T, & 0 \leq |f| \leq \frac{(1-\alpha)}{2T} \\ T\sqrt{\frac{1}{2}\left\{1 - \sin\left[\pi\frac{T}{\alpha}\left(|f| - \frac{1}{2T}\right)\right]\right\}}, & \frac{(1-\alpha)}{2T} \leq |f| \leq \frac{(1+\alpha)}{2T} \\ 0, & |f| > \frac{(1+\alpha)}{2T} \end{cases} \quad (3)$$

$$g(t) =$$

$$\begin{cases} 1 - \alpha + 4\frac{\alpha}{\pi}, & t = 0 \\ \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \left[ \left(1 + \frac{2}{\pi}\right) \sin\left(\frac{\pi}{4\alpha}\right) + \left(1 - \frac{2}{\pi}\right) \cos\left(\frac{\pi}{4\alpha}\right) \right], & t = \pm \frac{t}{4\alpha} \\ \frac{\sin\left[\pi(1-\alpha)\frac{t}{T}\right] + 4\alpha\frac{t}{T}\cos\left[\pi(1+\alpha)\frac{t}{T}\right]}{\pi\frac{t}{T}\left[1 - \left(4\alpha\frac{t}{T}\right)^2\right]}, & \text{for all other } t \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $\alpha$ 는 롤오프 팩터를 나타내며 T는 심볼시간폭을 나타낸다

수신기에서 디코딩을 위해서는 식 (5)와 같이 우선 수신된 심볼의 위상을 계산하고 이전 심볼과의 위상 차이를 계산해야 한다.

$$\Delta\theta_k = \angle S_k - \angle S_{k-1} \quad (5)$$

이전 심볼과의 위상차를 구하면 식 (6)과 같은 간단한 계산식을 이용하여  $\pi/4$ -DQPSK의 판정식으로 사용할 수 있다.

$$b_{1k} = (\sin\Delta\theta_k < 0), \quad b_{2k} = (\cos\Delta\theta_k < 0) \quad (6)$$

여기서,  $b_{1k}, b_{2k}$ 는 각각 복원된 홀수비트와 짝수비트를 나타낸다. 식에 따라 홀수비트는  $\sin\Delta\theta_k$ 가 0보다 크면 1이고 작으면 0, 짝수비트는  $\cos\Delta\theta_k$ 가 0보다 크면 1이고 작으면 0이 된다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 기저대역 시뮬레이션을 통해  $\pi/4$ -DQPSK 변복조 시스템의 성좌도, 필터를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우의 IQ 신호 파형, 송신 신호의 전력스펙트럼 밀도, Eye 다이어그램, BER 성능 등을 도출한다.

표2에는 본 논문에서의 시뮬레이션 파라미터 및 조건들을 나타내었다. AWGN 채널을 고려하여  $\pi/4$ -DQPSK 시스템을 가정하였고, 비트당 SNR은 0dB~9dB, 각각의  $E_b/N_0$ 당 BER 시뮬레이션은 10000개의 비트열을 발생시켜 50회 반복하여 수행하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation parameters

파라미터	설명
변조방식	$\pi/4$ -DQPSK
비트전송률	28.8Kbps
전송대역폭	25KHz
$E_b/N_0$	0dB~10dB
채널환경	AWGN
비트열 개수/반복횟수	10000/50
RRC 필터 길이	49Tap
롤오프 팩터	0~1

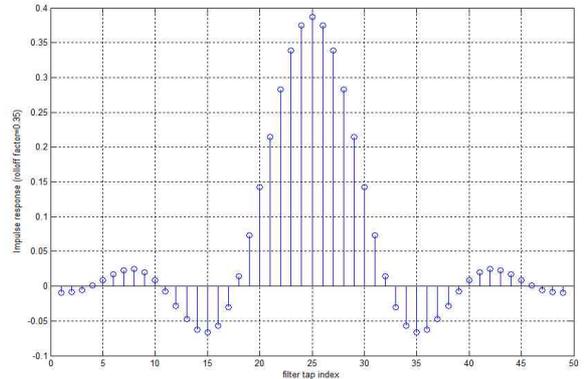


그림 2. RRC filter의 임펄스응답(롤오프 팩터 0.35)  
Fig. 2. Impulse response of RRC filter(rolloff factor 0.35)

RRC 필터의 필터길이는 49 Tap FIR필터 를 선택 하였다. 롤오프팩터 0.35인 RRC필터의 임펄스 응답은 그림 2을 통해 확인할 수 있다.

그림3은  $\pi/4$ -DQPSK 송신신호의 성좌도 궤적을 보여준다. 8개의 성좌점을 가지고 있으며 이로부터 송신신호의 위상편이가 최대  $\pm 135$ 도를 넘지 않으며 QPSK 방식에서의 원점을 지나는 궤적이 발생하지 않음을 알 수 있다. 이러한 특성으로 주파수 스펙트럼상의 고주파성분들이 억제될 것을 예상할 수 있다.

그림4는  $\pi/4$ -DQPSK 변조신호의 I채널과 Q채널의 송신필터 통과 후의 시간 파형을 보여준다. I와 Q 채널에 개략적으로 3개의 레벨을 가지고 시간파형이 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이는 8개의 성좌점을 가진다는 것으로부터 예상될 수 있는 결과이다.

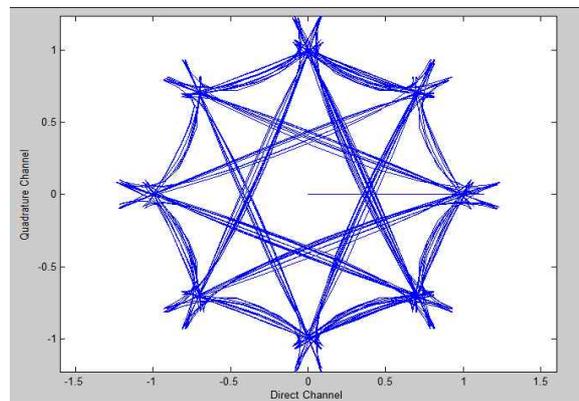


그림 3.  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 성좌도  
Fig. 3. Constellation of  $\pi/4$ -DQPSK modulated signal

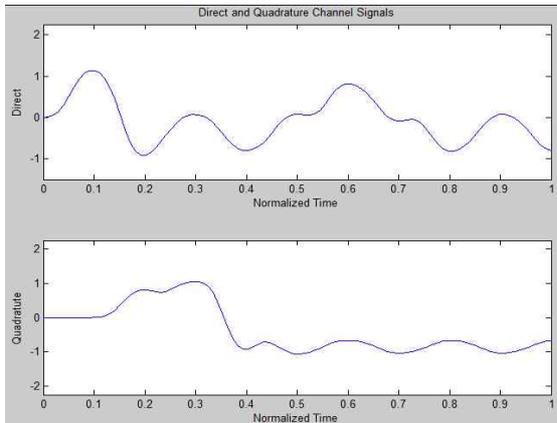


그림 4.  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 시간파형 (위 : I 채널, 아래 : Q채널)

Fig. 4.  $\pi/4$ -DQPSK modulated signal waveform in time domain (upper : I channel, lower : Q channel)

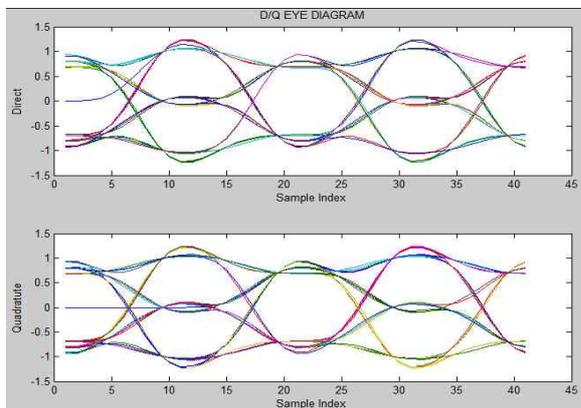


그림 5.  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 Eye 다이어그램

Fig. 5. Eye diagram of  $\pi/4$ -DQPSK modulated signal

그림 5는 I, Q채널 각각에 대한 Eye 다이어그램을 나타내고 있으며, 역시 각각의 채널에서 3개의 레벨을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이는  $\pi/4$ -DQPSK 변조신호의 성좌도가 8개의 포인트에서 나타나는 것으로 부터로도 예상 가능한 결과이다.

그림 6~8은 각각 롤오프 팩터가 0.1, 0.35, 1.0인 경우  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 전력스펙트럼 밀도를 예측하여 나타낸 결과이다. 그림들로부터 대략 롤오프 팩터 0.35이하인 경우, ITU-R M.1842-1 권고안에 제시된 스펙트럼 마스크를 만족시킬 수 있을 것으로 예상된다.

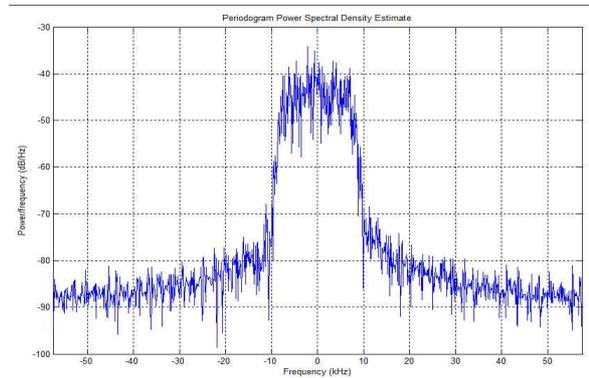


그림 6.  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 전력스펙트럼밀도 (RRC 필터 롤오프 팩터 0.1)

Fig. 6. Power spectral density of  $\pi/4$ -DQPSK modulated signal (roll-off factor of RRC filter 0.1)

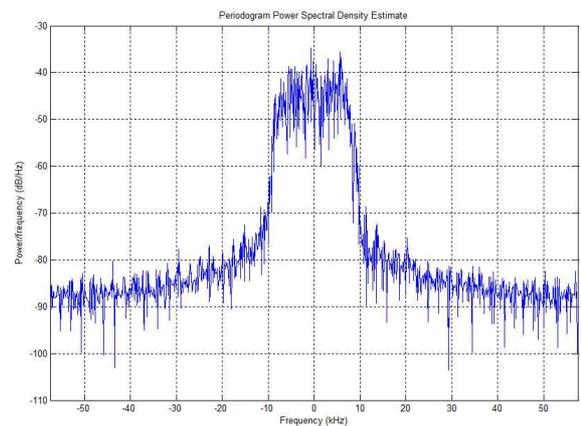


그림 7.  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 전력스펙트럼밀도 (RRC 필터 롤오프 팩터 0.35)

Fig. 7. Power spectral density of  $\pi/4$ -DQPSK modulated signal (roll-off factor of RRC filter 0.35)

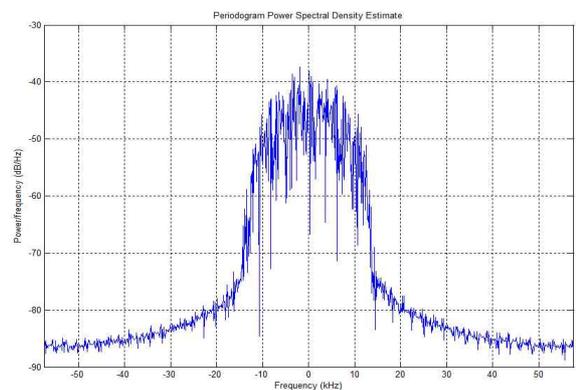


그림 8.  $\pi/4$ -DQPSK 변조 신호의 전력스펙트럼밀도 (RRC 필터 롤오프 팩터 1.0)

Fig. 8. Power spectral density of  $\pi/4$ -DQPSK modulated signal (roll-off factor of RRC filter 1.0)

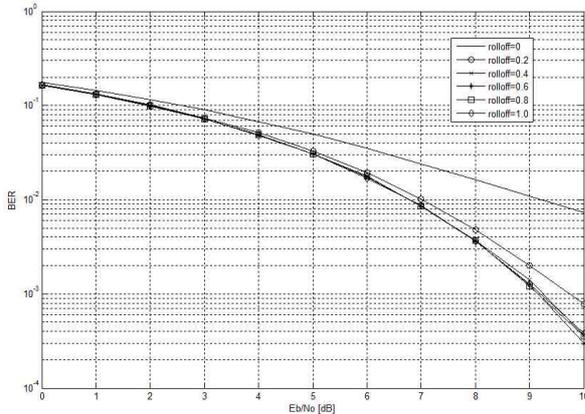


그림 9. AWGN채널에서  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀의 BER 성능 (RRC 필터 롤오프 팩터 0~1)

Fig. 9. BER performance of  $\pi/4$ -DQPSK modem in AWGN channel (roll-off factor of RRC filter 0~1)

그림 9는  $\pi/4$ -DQPSK 신호가 AWGN 채널을 통과 후 수신기에서 차동검파를 수행한 후 논문에서 제시한 결정법을 통해 복원한 정보비트들을 송신정보비트들과 비교하여 몬테카를로 시뮬레이션을 통해  $E_b/N_0$  대 BER 성능을 구하였다. 10-3기준으로 살펴 보았다. 시뮬레이션 결과 RRC 필터의 롤오프 팩터에 따라 BER 성능에 차이가 있음을 알 수 있다.

롤오프 팩터가 0.4~1.0사이인 경우에는 별다른 BER 성능의 차이가 없었으나 롤오프 팩터가 0.4미만인 경우에는  $E_b/N_0$ 가 증가함에 따라 BER 성능격차가 눈에 띄게 차이가 났으며 특히 롤오프 팩터가 0인 경우는 다른 경우에 비해 BER 성능 열화가 심하였다. 따라서 BER 성능을 유지하면서 스펙트럼 마스크조건을 만족시키려면, 0.2를 초과하는 롤오프 팩터를 갖는 RRC 필터를 사용해야 할 것이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 차세대 VHF대역 해상통신의 표준 권고안 ITU-R M.1842-1의 Annex 1~4에 대해 검토하고 특히 Annex1의 28.8Kbps급  $\pi/4$ -DQPSK 모뎀을 구현하기 위해 시뮬레이션을 통해 성좌도 특성, 시간과 형, Eye 다이어그램, 전력스펙트럼밀도, BER 성능 등을 도출해내었다. 시뮬레이션 결과로부터 RRC 필터의 롤오프 팩터에 의해서  $E_b/N_0$ 에 따라 BER 성능에 미치는 영향이 다름을 확인하였고, 설계한 시뮬레이

션 모델에서 롤오프 팩터가 0.35값 이하가 되어야 ITU-R M.1842-1 권고안에 제시된 스펙트럼 마스크 요구사항을 만족하면서 BER 성능이 우수하게 나타나게 됨을 알 수 있었다. 본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 디코딩 알고리즘과 설계 파라미터들을 참고하면 국제 표준 권고안의 해상 VHF 대역 디지털 통신시스템의 구현시 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

향후, Annex1의 43.2Kbps급  $\pi/8$ -DQPSK에 대한 연구, 해상 채널 모델에 대한 연구, 모뎀 FPGA H/W 구현을 위한 연구를 보완 진행할 계획이다.

## Reference

- [1] O. S. Park and D. H. Kim "Technical trends in maritime radio communications for e-Navigation," *Electronics and Telecommunication Trends*, vol. 27, no. 2, 2012.
- [2] IALA, "IALA Maritime Radio Communications Plan," 2011. ([www.iala-aism.org](http://www.iala-aism.org))
- [3] ITU-R M.1842-1, Characteristics of VHF radio systems and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR Appendix 18 channels, 2009.
- [4] Sampei, Application of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications, Feher/Prentice Hall, 1997.
- [5] Feher, Wireless Digital Communications, Feher/Prentice Hall, 1995.
- [6] V. Prapulla, A. Mitra, R. Bhattacharjee and S. Nandi, "A simplified adaptive decision feedback equalization technique for  $\pi/4$ -DQPSK signals," *World Academy of Science, Engineering and Technology* 24, pp. 500~507, 2008.
- [7] S. Chennakeshu and G. J. Saulnier, "Differential detection of  $\pi/4$ -shifted-DQPSK for digital cellular radio," *IEEE Transaction on vehicular technology*, vol.42, no.1 feb., 1993.
- [8] J. G. Proakis, Digital Communications, 4th ed. NY: McGraw Hill, 2000.

곽재민 (Jae-Min Kwak)



1998년 2월 : 한국항공대학교 통신  
정보공학과(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 해양정보통신공학과  
조교수

관심분야 : 디지털 통신 시스템, 유무선 통신신호처리