

---

# DVB-RCS Next Generation을 위한 Third-dimension Turbo Code 분석

박태두\* · 김민혁\* · 정지원\*\*

Analysis Third-dimension Turbo Code for DVB-RCS Next Generation

Tae-Doo Park\* · Min-Hyuk Kim\* · Ji-Won Jung\*\*

---

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD070054AD)  
본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로  
수행되었음.(NIPA-2009-C1090-0903-0007)

---

## 요 약

차세대 무선통신에서는 현재 서비스 되고 있는 성능보다 높은 BER(Bit Error Rate)의 성능을 요구한다. 기존의 DVB-RCS(Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite)에서 사용중인 이진 터보 코드(Double binary Turbo code)는 높은 SNR(에서 오류마루 현상이 발생하여 차세대 무선통신에서 사용하기가 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 DVB-RCS NG에 적합한 부호화 방식으로 3D-터보 코드(Third-dimension Turbo code)의 부복호화기의 구조를 분석하고 성능분석 하였다. 3D-터보 코드는 기존의 DVB-RCS 방식에 rate-1인 post-encoder를 첨가시켜 오류마루 현상을 보완한 부호화기이다. 3D-터보 코드는 post-encoder의 형태, 인터리빙 기법,  $\lambda$ 값의 변화에 따라 성능이 달라지므로 본 논문에서는 각 파라메타에 대한 최적의 값을 제시하였다. 전체적으로 3D-터보 코드가 기존의 DVB-RCS 터보 코드에 비해 성능이 우수하고 기존의 문제점인 오류마루 현상을 해결할 수 있음을 알 수 있다.

## ABSTRACT

The next generation wireless communication systems are required high BER performance better than present performance. Double binary Turbo code have error floor at high SNR, so it cannot be used in next generation wireless communication system. Therefore, many methods are proposed for overcome error floor at DVB-RCS NG(next generation). In this paper, we analysis structure of third-dimension Turbo code(3D-turbo code). 3D-Turbo code overcomes error flow by additive post-encoder in conventional DVB-RCS Turbo code. Performance of 3D-Turbo code is changed by post-encoder form, interleaving method, value of  $\lambda$ . So we are simulated by those parameter and proposed optimal form. By a result, performance of 3D-Turbo is better than conventional DVB-RCS Turbo code and it overcome error floor of conventional DVB-RCS Turbo code.

## 키워드

3D-터보 코드, 인터리빙, 부호화기, DVB-RCS NG

## Key word

DVB-RCS, DVB-RCS NG(Next Generation), Third-dimension Turbo Code(3D-Turbo code), Golden interleaver

---

\* 정회원 : 한국해양대학교 전파공학과  
\*\* 종신회원 : 한국해양대학교 전파공학과 (jwjung@hhu.ac.kr)

접수일자 : 2010. 06. 11  
심사완료일자 : 2010. 07. 29

## I. 서론

최근 무선이동 통신시스템에서는 제한된 대역폭과 전력을 가지고 데이터를 높은 신뢰도로 고속 전송을 요구하고 있다. 이에 터보 코드는 Shannon limit에 근접하는 매우 낮은 BER(Bit Error Rates)을 가지는 채널 부호화 방식으로 쓰이고 있다. 현재 DVB-RCS, 802.16a WiMAX 등에서 8-state encoder를 사용하여 표준으로 채택되고 있다. 하지만 8-state encoder를 사용하였을 때 BER=10<sup>-5</sup>에서 poor minimum hamming distance(MHD)로 인하여 오류 마루 현상이 발생하는 것이 밝혀졌다.[1][2]

그러나 차세대 통신시스템에서는 실시간 방송 시스템과 더 많은 데이터 서비스가 요구되어 짐에 따라 BER=10<sup>-8</sup>에 해당하는 오류율(error rates)를 요구할 것으로 예상된다. 그러므로 BER=10<sup>-5</sup>에서 MHD가 발생하는 8-state encoder를 사용하는 터보 코드는 적합하지 못하다. 따라서 저 복잡도를 가지는 더욱 성능이 좋은 부호화 방식이 요구되고 있다.

본 논문에서는 기존의 이진 터보 코드를 이용하면서 새로운 rate-1인 post-encoder를 첨가시킨 3D-터보 코드의 구조를 분석하였다.

3D-터보 코드의 부호화율은 기존의 터보 코드와 같은 rate-1을 가지면서 오류마루 현상을 제거 하기위해 제안된 방법으로써 본 논문에서는 post-encoder의 형태, 그리고 그에 따른 CRSC의 post-encoder의 인터리빙 기법, λ값의 변화에 따른 성능 분석을 통하여 각 파라메타에 따른 최적의 방안을 제시하였다.

## II. Third-dimension 터보 코드 부호화

### 2.1 부호화기 구조

3D-터보 코드의 부호화기(encoder) 구조는 기존의 DVB-RCS 규격의 이진 터보 코드의 2개의 부호화기와 제안하는 third dimension 부호화기를 연결하는 구조이다. 그리고 성능의 향상을 위해 third dimension 부호화기 앞 단에 새로운 permutation을 사용하는 구조이다. 다음 그림 1은 3D-터보 코드의 부호화기 구조를 나타낸다.

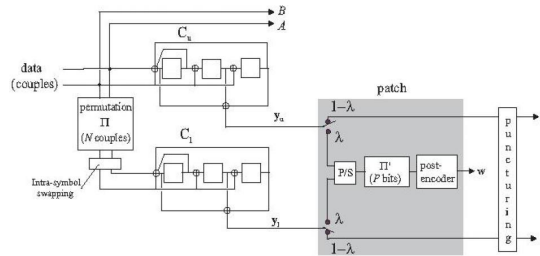


그림 1. 3D-터보 코드의 부호화기 구조  
Fig. 1. 3D-Turbo code Encoder Structure

그림 1에서 볼 수 있듯이 3D-터보 코드의 부호화기는 기존의 DVB-RCS 규격의 터보 코드 부호화기에 post-permutation과 post-encoder가 결합된 형태이다. 여기서 C<sub>u</sub>는 두 개의 부호화기에서 위쪽을 말하고 C<sub>l</sub>은 아래쪽 부호화기를 말한다. 또한 permutation π를 거친 데이터는 N=k/2(k=length of sequence)개의 심볼로 생성되어 아래쪽 부호화기로 입력된다. Permutation π에 대한 index를 구하는 방법은 기존의 이진 터보 코드와 같다. 그리고 y<sub>u</sub>와 y<sub>l</sub>은 부호화기에서 생성된 패리티 비트 (parity bit)이다.

이와 같이 기존의 이진 터보 코드에서는 systematic information A/B와 y<sub>u</sub>, y<sub>l</sub>로써 부호화율은 R=1/2이 된다. 기존의 2개의 부호화기로 부터 나온 y<sub>u</sub>와 y<sub>l</sub>은 third dimension 부호화기로 상수 λ에 따라서 입력된다. λ는 (0 ≤ λ ≤ 1)을 만족하는 상수로써 convergence loss와 요구하는 MHD의 값에 따라 선택된다. 만약에 λ가 0.25라는 값을 가지게 되면 각각의 y<sub>u</sub>와 y<sub>l</sub>의 bits 중 ‘1000’의 패턴을 가지고 패리티 비트 중에 1/4이 post-encoder로 입력된다. 이러한 post-encoder로 입력되는 비트의 수 P는 식(1)로 정의된다.

$$P = 2\lambda N = \lambda k \quad (1)$$

N은 전송하고자 하는 2비트의 데이터 심볼 수이고, k는 전송하고자 하는 데이터의 총 비트 수를 의미한다. 그리고 post-encoder로 입력되지 않는 나머지 3/4개의 패리티 비트는 바로 전송하거나 puncturing 후 전송하게 된다. 기존의 이진 터보 코드에서 third dimension 부호화기를 연결하기 위해 추가적으로 구성된 부분을 패치(patch)라

고 정의하고 패치는 다음 3개로 구성된다.  $y_u$ 와  $y_l$ 로부터 third dimension 부호화기로 P개의 비트의 입력을 위한 parallel to serial(P/S) multiplexer, 잡음의 분산을 위해 기존의 permutation 방식과는 다른 permutation  $\pi'$ , 그리고 출력 값  $w$ 를 가지는 부호화율 R=1인 post-encoder로 구성된다.[3]

**2.2 최적의 성능을 위한 Post-Encoder 종류**

Third dimension 부호화기의 선택에 따라 BER 성능은 많은 영향을 받는다. 그러므로 post-encoder의 선택을 하기 위해서는 다음 사항을 고려하여야 한다.[4]

- (1) 기존의 복호기 구조와 비교하여 post-encoder에 대한 복호기의 구조가 간단하며 복잡도가 적어야 한다.
- (2) Post-encoder는 homogeneous block code를 사용하여야 한다. Rate-1인 부호화기를 사용하여 기존의 부호화율과 같게 만들어야 한다.
- (3) 처음 iteration에서 post-decoder에서 출력된 값이 오류율이 높으면 기존의 복호기로 입력하여 복호할 때 성능에 큰 영향을 미치므로 오류율이 낮은 것을 선택하여야 한다.

(1)에 따른 요구사항을 만족하기 위하여 2개의 메모리를 가지는 post-encoder의 종류는 그림 2와 같다.[4]

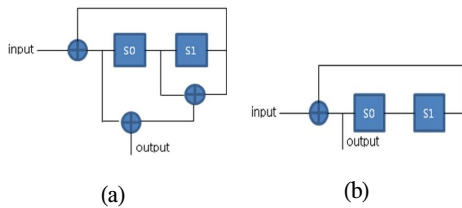


그림 2. 2개의 메모리를 가지는 linear post-encoder  
Fig. 2. Linear post-encoder with two memories

**2.3 Post-encoder에서의 CRCS**

(2)의 요구사항을 만족하기 위해 CRSC(Circular Recursive Systematic Convolutional)를 이용하여 추가의 태일 비트(tail bit)없이 초기 state와 마지막 state를 같게 한다. CRSC를 위해 부호화기의 초기 값을 구하는 방법은 다음과 같다. CRSC는 전송하고자 하는 데이터를 처

음 encoding 후에 마지막 부호화기 메모리의 state에 따라 부호화기 메모리를 초기화 시켜 re-encoding을 하는 방법이다.

표 1은 그림 2의 post-encoder에서의 CRCS를 수행하기 위한 값이다.

표 1. 그림 6.2(b) post-encoder에서의 CRCS  
Table 1. CRCS of post-encoder(b)

P odd		P even	
$s_p^0$	$s^c$	$s_p^0$	$s^c$
0	0	0	0
1	1	1	3
2	3	2	1
3	2	3	2

**III. Permutation algorithms**

그림 1의 post-encoder에서 적용될 수 있는 permutation 방식으로 Random, Prime, Golden permutation 방식을 적용하였다.

Prime permutation을 적용하는 방법은 아래와 식 (2)와 같다[4].

$$i = \Pi'(j) = (P_0 j + i_0) \text{ mod } P \tag{2}$$

위 식에서  $i(1 \leq i \leq P)$ 와  $j(1 \leq j \leq P)$ 는 각각 post-permutation index, post-permutation address이고 P는 post-encoder의 size라 정의한다.

식(2)에서의  $i_0$ 와  $P_0$ 에 대해 살펴보면  $P_0$ 와 P의 관계는  $\text{mod}(P_0, P)=1$ 로 설명이 된다. 이와 같이  $P_0$ 와 P의 관계는 서로소 관계로써  $P_0$ 값으로는 P의 약수들 중 소수들이 선택된다. 이와 같은 관계를 이용하여  $P_0$ 를 구한 후 각각의  $P_0$ 들 중 BER 성능이 가장 좋은  $P_0$ 선택하였다. 그 결과는 아래의 그림 3과 같다.

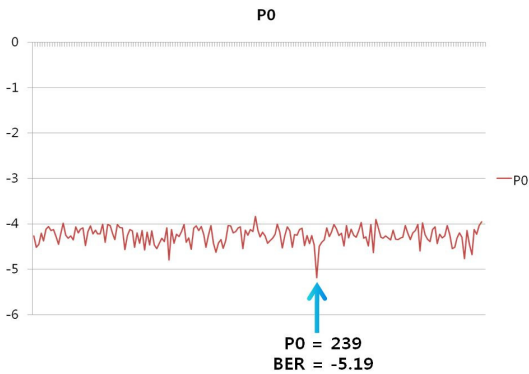


그림 3. P<sub>0</sub>에 따른 성능  
Fig. 3. Performance of P<sub>0</sub>

$i_0$ 란 stating index로써 식(2)에서 먼저 구한  $P_0$ 값을 대입한 후 범위 P만큼의 data들을 모두 시뮬레이션 한 후  $P_0$ 값과 마찬가지로 BER 성능이 가장 좋은  $i_0$ 값을 선택하였다. 그 결과는 다음 그림 4와 같다. 따라서 prime permutation 을 이용하여 치환을 할 때, 식(2)에서  $P_0 = 239, i_0=184$ 를 대입하여 시뮬레이션을 하였다.

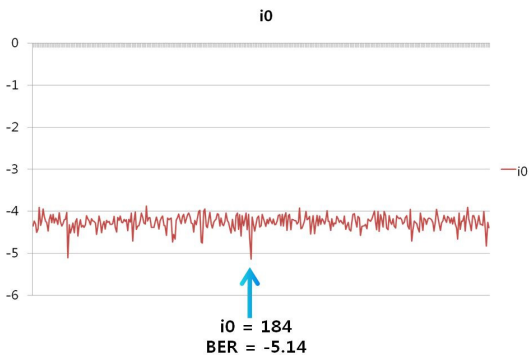


그림 4.  $i_0$ 에 따른 성능  
Fig. 4. Performance of  $i_0$

Golden permutation은 길이가 1인 한 선이 주어진다면, 이 선을 두 구간으로 나누는데 전체길이 1과 나누어진 두 개의 구간 중 긴 구간인  $g$ 의 비율이 긴 구간  $g$ 와 짧은 구간  $1-g$ 와의 비율과 같게 되는 그때의 구간을 golden section이라 한다. 즉,  $\frac{g}{1} = \frac{1-g}{g}$  이다.

$$c = N(g^m + j) / r \quad (3)$$

여기서,  $g$ 는 golden section value이며,  $m$ 은 0보다 큰 임의의 정수,  $r$ 은 근처의 원소 중 가장 효과적으로 분산시키는 index,  $j$ 는  $r$ 로 module 된 임의의 정수이다.  $M$ 은 대체로 1이나 2이며, 일반적인 구현에서 인접 원소들이 최고의 분산을 가질 때  $j$ 는 0,  $r$ 은 1이다.

Golden interleaver는 정수형 relative prime 과 정수형 module계산을 사용하지 않고 golden section으로부터 유도되는 실수 값의 정렬을 기반으로 한다. 첫 단계는 golden section 값  $g$ 를 계산하는 것이고, 두 번째 단계는 앞의 식(3)에서 정의된 실수형 증가분  $c$ 를 계산한다. 세 번째 단계는 실수형 golden vector  $v$ 를 생성한다.  $v$ 의 원소는 식(4)에 의해 계산된다.

$$v(n) = (s + nc) \bmod N, n = 0 \dots N-1 \quad (4)$$

여기서  $s$ 는 실수형 시작값이다.

다음 단계는 golden vector  $v$ 를 정렬하고 여기서 정의되는 index vector  $z$ 를 찾는 것이다.

$$a(n) = v(z(n)), n = 0 \dots N-1, \text{ where } a = \text{sort}(v) \quad (5)$$

Golden interleaver index는 다음 식(6)과 같이 주어진다.

$$i(z(n)) = n, n = 0 \dots N-1 \quad (6)$$

#### IV. Simulation 결과 및 성능분석

##### 4.1 Post-encoder의 종류에 따른 BER 성능

시뮬레이션에서 사용된 post-encoder 종류는 그림 2에서의 (a), (b)를 이용하였을 때의 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다.

시뮬레이션에 사용된 이진 터보 코드는 DVB-RCS 규격의 N size=752(188bytes), 부호화율 R=1/2을 사용하였다. 채널 환경은 AWGN 채널을 이용하였고 총 데이터 크기를 15040000 비트에 따라 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 따른 BER 성능은 그림 5와 같다.

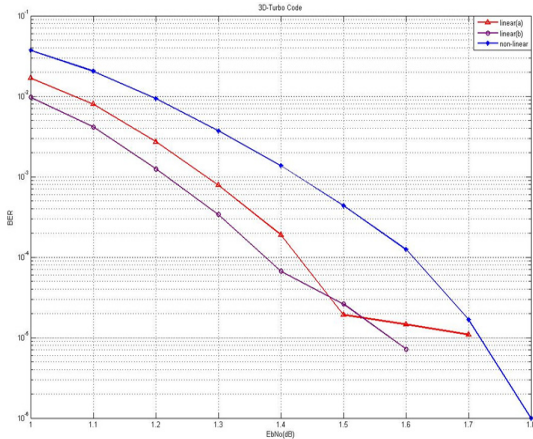


그림 5. Post-encoder의 종류에 따른 BER 성능  
Fig. 5. BER performance by post-encoder kind

그림 5에서 non-linear 부호화기의 성능은 linear 부호화기를 이용한 성능보다 BER=10<sup>-4</sup> 약 0.1~0.3dB의 성능 열화가 있음을 알 수가 있다. 그리고 2개의 부호화기 종류에서 그림 2.(b) 부호화기를 post-encoder로 사용하였을 때 성능이 가장 좋음을 알 수가 있다.

#### 4.2 인터리빙에 따른 성능분석

그림 6은 post-encoder의 종류에 따른 성능 중 인터리빙 기법에 따른 3D-터보 코드의 성능분석을 나타내었다. 성능분석은 post-permutation에 permutation을 한 방법 중 random interleaver를 사용한 방법과 식(2)에서 제안한 P<sub>0</sub>, i<sub>0</sub>값을 이용하여 post-permutation을 한 prime interleaver를 사용한 방법 그리고 golden interleaver를 사용한 방법을 비교하였다.

그림 6에서 BER=10<sup>-4</sup>지점에서는 세 가지 방법 모두의 성능이 거의 비슷함을 알 수 있다. 하지만 Eb/N<sub>0</sub>가 1.6dB가 되는 지점에서는 post-permutation으로 prime interleaver를 사용한 방법과 golden interleaver를 사용한 방법이 random interleaver를 사용한 방법보다 BER면에서 더 효율적인 성능을 가짐을 확인 할 수 있다.

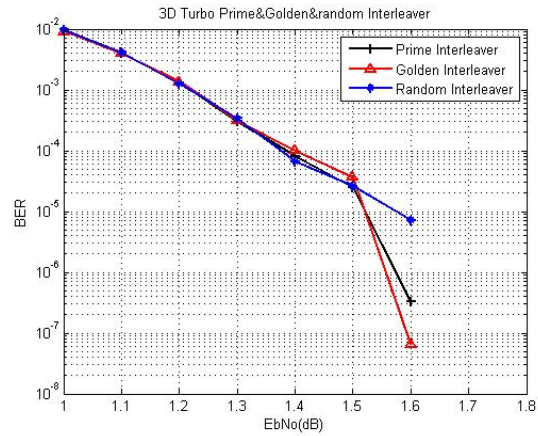


그림 6. 인터리빙 기법에 따른 3D-Turbo 성능 (R=1/2, 그림 2.(b) model)  
Fig. 6. Performance of 3D-Turbo by interleaving method(R=1/2, Fig. 2.(b) model)

#### 4.3 λ에 따른 성능 분석

그림 7은 3D-터보 코드의 λ에 따른 성능 분석을 나타내었다. λ는 25%(1/4), 50%(1/2), 75%(3/4)로 총 세 가지 경우로 분류하였다. 여기서 25%는 앞서 말했듯이 ‘1000’의 패턴을 가지고 parity bits 중 1/4이 post-encoder로 입력되고 50%는 ‘1010’의 패턴을 가지고 parity bits 중 1/2이 post-encoder로 입력된다.

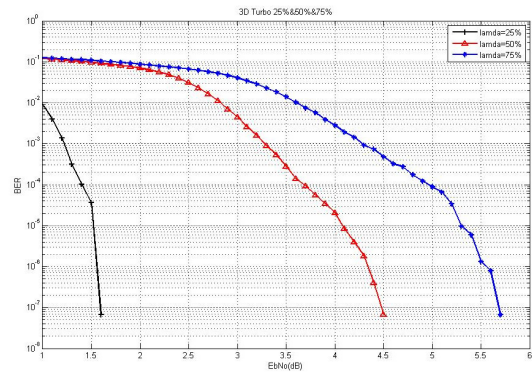


그림 7. λ(Lamda)의 변화에 따른 3D-Turbo code 성능(R=1/2, 그림 2.2(b) model)  
Fig. 7. Performance of 3D-Turbo code by λ (R=1/2, Fig. 2.(b) model)

그림 7에서 볼 수 있듯이  $\lambda$ 가 25%(1/4)일 때의 성능이 가장 좋고  $\lambda$ 가 50%(1/2), 75%(3/4)의 성능은  $\lambda$ 가 25%(1/4)일 때의 성능과 비교하여 각각 2.9dB, 4.1dB의 성능열화를 보이는 것을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 DVB-RCS NG에서 요구하는 BER= $10^{-8}$ 에서 발생하는 오류마루 현상을 제거하는 방안으로 효율적인 3D-터보 코드의 부호 및 인터리버 기법 연구를 하였다.

3D-터보 코드의 부호화 방식에서 post-encoder의 형태에 대해 세 가지 구성을 시뮬레이션 하였으며, 이에 대해 최적의 post-encoder를 제시하여 성능 분석하였다. 또한 post-encoder에 따른 circular state를 제시하였다.

성능 분석결과 non-linear 부호화기의 성능은 linear 부호화기를 이용한 성능보다 BER= $10^{-4}$ 약 0.1~0.3dB의 성능 열화가 있음을 알 수 있었다.

Permutation 기법의 변화에 대한 성능은 BER= $10^{-4}$ 지점에서는 세 가지 방법 모두의 성능이 거의 비슷함을 알 수 있었다. 하지만 Eb/NO가 1.6dB가 되는 지점에서는 post-permutation으로 prime permutation을 사용한 방법과 golden permutation을 사용한 방법이 random permutation을 사용한 방법보다 BER면에서 더 효율적인 성능을 가짐을 확인 할 수 있었다. 또한 사이즈의 제한 없이 golden permutation을 사용한 방법이 가장 성능이 좋음을 알 수 있었다.

기존의 방식에 비해 부호화를 1/4일 때의 성능이 1/2일 때보다 부호화 이득으로 인하여 성능이 0.6dB 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 부호화를 1/4일 때의 기존의 DVB-RCS 터보 코드에서 발생하는 문제점인 오류마루 현상이 제거됨을 알 수 있었다.

전체적으로 3D-터보 코드가 기존의 DVB-RCS 터보 코드에 비해 성능이 우수하고 오류마루 현상을 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD070054AD)

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.(NIPA-2009-C1090-0903-0007)

### 참고문헌

- [1] "Satellite Broadcasting System of Integrated Service Digital Broadcasting", ITU-R BO.1227-2
- [2] C.Berrou, A.Glavieux, and P.Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo-Codes," in Proc. ICC93, 1993.
- [3] S.Crozier, and P.Guinand, "High-performance Low-memory Interleaver Banks for Turbo-codes,"in Proc. 54th IEEE Vehic. Tech. Conf. (VCT'01), pp.2394-2398, Oct. 2001.
- [4] C. Berrou, A. Graell i Amat, Y. Ould-Cheikh-Mouhamedou, C. Douillard, and Y. Saouter, "Adding a rate-1 third dimension to turbo codes," in Proc. IEEE Inform. Theory Workshop, Lake Tahoe, CA, Sep. , pp. 156 - 161.,2007.
- [5] S. Crozier, J. Lodge, P.Guinand, and A. Hunt, "Performance of Turbo-codes with relative prime and golden interleaving strategies," in Proc. Sixth Intern. Mobile Satellite Conf. (IMSC '99), Ottawa, Canada, June 1999, pp. 268-275.



**박태두(Tae Doo Park)**

2008년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과(공학사)  
2010년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과(공학석사)

2010년 2월~현재: 한국해양대학교 전파공학과  
박사과정

※ 관심분야: 위성통신, 이동통신, 변·복조기술,  
채널코딩, FPGA 기술 등



**김민혁(Min Hyuk Kim)**

2006년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과(공학사)  
2008년 2월: 한국해양대학교  
전파공학과(공학석사)

2008년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과  
박사과정

※ 관심분야: 위성통신, 이동통신, 변·복조기술,  
채널코딩, FPGA 기술 등



**정지원(Ji-Won Jung)**

1989년 2월: 성균관대학교  
전자공학과(공학사)  
1991년 2월: 성균관대학교  
전자공학과(공학석사)

1995년 2월: 성균관대학교 정보공학과(공학박사)  
1991년 1월~1992년 2월: LG 정보통신연구소 연구원  
1995년 9월~1996년 8월: 한국통신 위성통신연구실  
선임연구원  
1997년 3월~1998년 12월: 한국전자통신연구원 초빙  
연구원  
1996년 9월~현재: 한국해양대학교 전파공학과  
정교수  
2001년 8월~2002년 8월: 캐나다 NSERC Fellowship  
(Communication Research Center 근무)

※ 관심분야: 위성통신, 이동통신, 변·복조기술,  
채널코딩, FPGA 기술 등