

논문 2013-50-8-2

협대역 통신 환경에서 Dual-band FSK 변조 방식을 이용한 주파수 오프셋 감쇄 기법

(Frequency Offset Reduction scheme using Dual-band FSK Modulation
for Narrowband communications)

이 용 옥*, 강 동 훈*, 오 왕 록**

(Yongwook Lee, Donghoon Kang, and Wangrok Oh[©])

요 약

본 논문에서는 UHF (ultra high frequency) 대역에서 협대역 통신 시스템을 설계할 경우 필연적으로 겪게 되는 주파수 오프셋 (offset)의 영향을 감쇄시킬 수 있는 dual-band FSK (frequency shift keying) 변조 방식을 제안한다. 협대역 통신 시스템의 경우 광대역 통신 시스템에 비하여 주파수 오프셋에 의한 성능 열화가 상대적으로 큰 단점이 있으며 이로 인하여 버스트 모드 (burst mode)로 동작하는 협대역 통신 시스템의 경우 신호 검출 및 초기 동기 획득이 용이치 않은 문제가 있다. 본 논문에서 제안하는 dual-band FSK 변복조 방식은 버스트 모드 협대역 통신 시스템에서 초기 주파수 오프셋이 큰 경우에도 안정적으로 동작할 뿐만 아니라 주파수 다이버시티 (frequency diversity)를 얻을 수 있어 통신 시스템의 높은 신뢰도가 요구되는 긴급 통신망 설계 등에 활용될 수 있다.

Abstract

In narrowband communication systems operating in VHF and UHF bands, the performance degradation due to a frequency offset is inevitable. In this paper, we propose a frequency offset reduction scheme using the dual-band FSK modulation for narrowband communications. The proposed scheme not only offer a relatively reliable performance under a severe frequency offsets, but also can obtain a frequency diversity gain in Rayleigh fading channel.

Keywords : frequency offset reduction, dual-band FSK, narrowband communication

I. 서 론

최근 들어 급격히 증가한 무선 통신 시스템에 대한 수요로 인하여 주파수 자원의 고갈 문제가 심각하게 대두되고 있으며 특히 우수한 통신 환경을 제공할 수 있는 낮은 주파수 대역에는 신규 무선 통신 시스템을 도입할 여분의 주파수가 거의 없는 상황이다. 이와 같은

주파수 고갈 문제의 해결을 위하여 유휴 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 인지 통신 (cognitive radio, CR) 기술이 많은 관심을 끌고 있으나 재난 망과 같은 높은 통신 신뢰도가 요구되는 경우에는 활용하기 힘든 단점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 기존에 도입된 통신 시스템들 간 상호 간섭을 방지하기 위하여 배정되어 있는 보호대역 (guard band)에 협대역 통신 시스템을 신규로 도입하여 저속 데이터 서비스를 제공할 수 있다. 한편 최근 들어 다수의 가입자에게 재난 정보를 효과적으로 전달할 수 있는 재난 망에 대한 요구가 급증하고 있다^[1]. 이와 같은 재난 망을 설계하기 위해서는 높은 통신 신뢰도가 요구되는 송수신 기법을 사

* 학생회원, ** 정회원, 충남대학교 정보통신공학과
(Department of Information Communications
Engineering, Chungnam National University)

© Corresponding Author(E-mail: kingrock@cnu.ac.kr)
접수일자: 2013년2월26일, 수정완료일: 2013년7월24일

용하여야 하며 광범위한 지역에 분포되어 있는 가입자에게 신속하고 정확하게 재난 정보를 전파하기 위하여 전파 도달 거리가 상대적으로 큰 VHF (very high frequency) / UHF (ultra high frequency) 대역을 사용하는 것이 효과적이다. UHF 대역에서 기존에 도입되어 사용되고 있는 통신 시스템들 간 보호 대역에 협대역 통신 시스템을 신규로 도입할 경우 기존 통신 시스템의 성능 열화를 야기하지 않아야 하므로 최소한의 주파수 대역을 활용할 수 있도록 신규 통신 시스템을 설계하여야 한다^[2~5]. 그러나 UHF 대역에서 주파수 대역이 좁은 통신 시스템을 설계할 경우 필연적으로 주파수 옵셋으로 인한 성능 열화를 겪게 되어 높은 통신 신뢰도를 확보하는데 문제가 있다.

본 논문에서는 UHF 주파수 대역에 이미 도입되어 사용되고 있는 통신 시스템 간 보호대역을 이용하여 재난 정보를 효율적으로 전송할 수 있는 버스트 모드 데이터 모델에 적합한 dual-band FSK 변복조 방식을 제안한다. 제안하는 기법은 초기 주파수 옵셋이 큰 경우에도 안정적으로 동작할 뿐만 아니라 주파수 다이버시티를 얻을 수 있어 통신 시스템의 높은 신뢰도를 확보할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 협대역 데이터 통신의 시스템 모델 및 제안하는 기법을 기술하고, III장에서는 전산실험을 통하여 제안하는 dual-band FSK 시스템의 성능을 확인한다. IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 보호대역을 이용한 협대역 데이터 통신

그림 1은 UHF 주파수 영역에서 기존에 도입된 시스템들 간의 보호대역을 이용한 협대역 데이터 통신 시스템의 시행 예를 나타낸 것이다. 보호대역에 협대역 데이터 통신을 위한 신호를 삽입하였을 경우 기존에 도입된 시스템 (DTV 방송 신호)에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 그림 2의 구조도와 같이 실험을 진행하였다.

최초의 협대역 신호 채널 전력을 DTV 신호의 전력과 동일하게 설정 후 협대역 신호의 채널 전력을 대역폭 별로 가변하면서 DTV 신호의 ToV (threshold of visibility)를 관찰하여 DTV 수신신호에 영향을 주지 않는 협대역 신호의 최대 채널 전력을 살펴보았다. 표 1

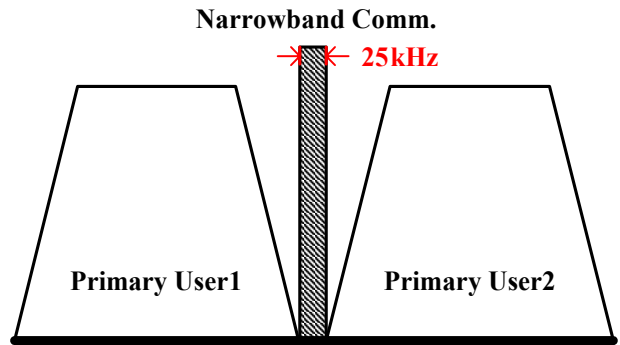


그림 1. 보호대역을 이용한 협대역 데이터 통신 시스템
Fig. 1. Narrowband data communication using guard band.

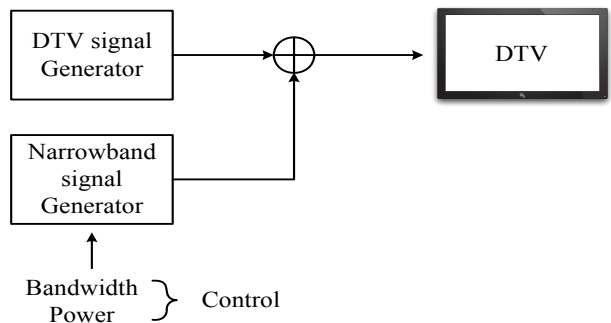


그림 2. DTV 신호에 대한 협대역 신호의 간섭량 테스트
Fig. 2. The amount of interference test of narrowband signal for DTV signal.

표 1. 협대역 신호 전력에 따른 DTV 신호의 ToV 관찰 결과
Table 1. The results of ToV observation versus narrowband signal power.

대역폭	25 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz
최대전력(dBm)	-38	-40	-41	-43

은 협대역 신호의 사용 주파수 대역을 476 MHz, DTV 신호 전력을 -50 dBm으로 가정하였을 때의 실험 결과를 나타낸다.

표 1을 살펴보면 협대역 신호의 대역폭이 25 kHz인 경우 송신 신호의 최대 전력을 DTV 신호 보다 약 12 dB 높게 송출해도 DTV 신호에 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 기존에 도입된 시스템(DTV 방송)의 보호대역을 이용한 협대역 신호 전송이 가능함을 확인할 수 있다.

한편, 협대역 신호 전송을 위하여 사용하는 주파수 대역을 476 MHz의 UHF 대역과 25 kHz의 신호 대역폭 그리고 송수신기 간 주파수 발진기 오차를 20 ppm으로

가정한다면 최대 주파수 오프셋은 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다^[6].

$$f_{offset}^{max} = 476\text{MHz} \times (\pm 20\text{ppm}) = \pm 9.52\text{kHz} \quad (1)$$

협대역 데이터 전송을 위한 대역폭을 25 kHz로 가정하였을 때 $\pm 9.52\text{kHz}$ 의 주파수 오프셋은 전체 대역의 1/3을 넘어서는 수치이며 이로 인하여 빠른 신호 검출 및 주파수 / 타이밍 동기 획득이 필수적인 버스트 모드 통신 시스템을 구현하는데 문제가 있다.

2. Dual-band FSK 변조 기법

본 절에서는 1절에서 살펴본 협대역 통신 환경에서 주파수 오프셋의 영향이 클 때 이를 감쇄시킬 수 있는 기법을 제안한다. 그림 3은 제안하는 Dual-band 협대역 데이터 통신 시스템의 시행 예이다.

세 개의 primary user 사이에 25 kHz의 대역폭을 갖고 각각의 반송파 주파수가 $f_c + f_1$, $f_c + f_2$ 인 협대역 데이터 신호를 삽입하여 전송한다. Dual-band 신호는

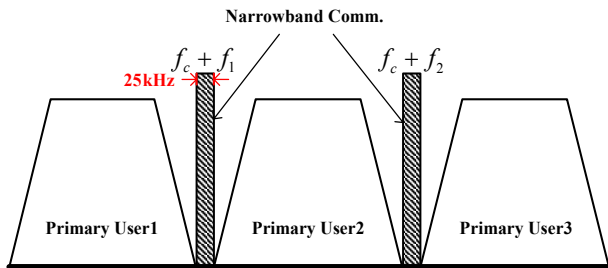


그림 3. Dual-band를 이용한 협대역 데이터 통신 시스템

Fig. 3. Narrowband data communication using dual-band.

FSK 변조과정을 거치며 기존 기법과의 비교를 위하여 각각의 협대역 신호는 기존 기법에서 사용하는 송신 전력을 절반씩 나눠 사용하는 것을 가정하였다. 다음의 그림 4는 제안하는 dual-band FSK 변조 기법의 송수신기 구조를 나타낸 것이다.

송신 이진 비트는 각각의 반송파 주파수 별로 다른 변조과정을 거친다. 반송파 주파수 $f_c + f_1$ 의 경우 송신되는 이진 비트는 FSK 변조과정을 거친 후 반송파 주파수 $f_c + f_1$ 로 천이되고, 반송파 주파수 $f_c + f_2$ 의 경우 송신 이진 비트는 반전된 후 FSK 변조과정을 거쳐 반송파 주파수 $f_c + f_2$ 로 천이된다. 이렇게 구성된 두 개의 협대역 신호는 서로 더해져 송신 신호 $s(t)$ 를 구성한다. 송신 신호 $s(t)$ 는 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sqrt{\frac{E_b}{T}} \text{Re}\left\{\exp(-j2\pi(f_c + f_1 \pm f_i)t)\right\} + \sqrt{\frac{E_b}{T}} \text{Re}\left\{\exp(-j2\pi(f_c + f_2 \mp f_i)t)\right\} \quad (2)$$

여기서 E_b 는 송신되는 이진 비트 당 에너지를 나타내고 T 는 이진 비트의 심볼 간격을 나타낸다. 그리고 f_i 은 FSK 변조방식에서 사용하는 주파수 천이의 양이며 $f_i = \frac{1}{2T}$ 이다.

채널을 통과하여 수신된 신호 $y(t)$ 는 각각의 반송파 주파수에 해당하는 로컬 캐리어 (local carrier)에 의해 기저대역으로 천이되고 저역통과필터 (low pass filter, LPF)에서 대역 제한된 후 각각 $y_1(t)$ 와 $y_2(t)$ 를 생성하게 된다. $y_2(t)$ 신호는 complex conjugate 된 후

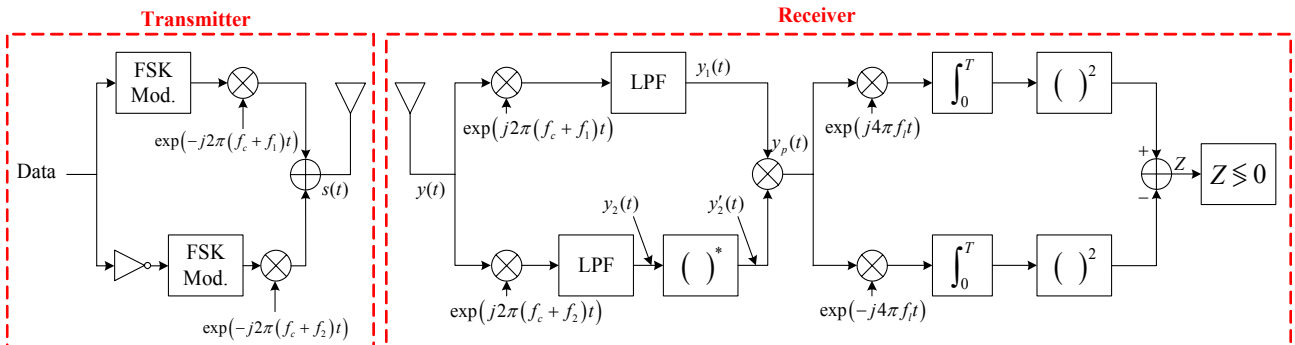


그림 4. 제안하는 Dual-band FSK 변조 기법의 송수신기 구조도

Fig. 4. Block diagram of proposed Dual-band FSK modulation scheme.

$y'_2(t)$ 를 생성하고 최종적으로 $y_1(t)$ 와 $y'_2(t)$ 가 곱해져서 $y_p(t)$ 를 생성한다. 다음의 식 (3)~(5)는 $y_1(t)$, $y_2(t)$ 그리고 $y_p(t)$ 를 나타낸 것이다.

$$y_1(t) = \underbrace{\sqrt{\frac{E_b}{T}} h_1(t) \exp(-j2\pi(\pm f_i)t) \exp(-j2\pi\Delta f_1 t) + n_1}_{y_1^d} \quad (3)$$

$$y_2(t) = \underbrace{\sqrt{\frac{E_b}{T}} h_2(t) \exp(-j2\pi(\mp f_i)t) \exp(-j2\pi\Delta f_2 t) + n_2}_{y_2^d} \quad (4)$$

$$y_p(t) = y_1 y_2^* = \frac{E_b}{T} h_1(t) h_2^*(t) \exp(\mp j4\pi f_i t) \exp(j2\pi(\Delta f_2 - \Delta f_1)t) + y_1^d n_2^* + y_2^d n_1 + n_1 n_2^* \quad (5)$$

여기서 $h_i(t)$, Δf_i , n_i , $i = 1, 2$ 는 각각 채널의 페이딩 함수, 반송파 주파수에 따른 주파수 오프셋 그리고 평균이 0이고 σ^2 의 분산을 갖는 AWGN (additive white gaussian noise)을 나타내며 (*)는 complex conjugate를 나타낸다.

수신기에서는 $y_p(t)$ 를 기반으로 FSK 복조를 수행하는데 식 (5)에서 볼 수 있듯이 FSK 복조에 사용하는 주파수 천이의 양은 $2f_i$ 이 된다. 또한, 식 (5)에서 확인할 수 있는 바와 같이 기존 시스템과 달리 두 반송파 주파수의 차이($f_2 - f_1$)에 의해서 잔류 주파수 오프셋이 결정되며 두 반송파 주파수의 차이가 6MHz, 발진기의 정밀도를 20ppm이라고 가정한다면 잔여 주파수 오프셋은 아래의 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{\text{offset}}^{\text{residual}} = \Delta f_2 - \Delta f_1 = 6 \text{ MHz} \times 20 \text{ ppm} = 120 \text{ Hz} \quad (6)$$

이것은 식 (1)에서 살펴본 9.52 kHz와 비교하면 주파수 오프셋이 약 1/80로 줄어든 수치로써 25 kHz 대역의 협대역 통신 환경에서 초기 동기 획득이 가능하다.

III. 전산실험 결과

본 장에서는 제안하는 dual-band FSK 변복조 방식을 이용한 주파수 오프셋 감쇄 기법의 성능을 기존 방식과의 비교를 통하여 확인한다.

그림 5는 제안하는 방식의 BER 성능을 나타낸 것이다. 여기서 W_n 은 LPF의 3dB cutoff 주파수를 나타내고 F_o 는 주파수 오프셋의 양을 나타낸다.

이론적인 noncoherent BFSK 성능은 E_b/N_0 가 약 13.5dB에서 10^{-5} 의 BER을 달성한다. 그러나 만일 10ppm의 주파수 오프셋이 존재한다면 BFSK 변조 방식의 성능이 급격히 나빠지는 것을 확인할 수 있다 (그림 5의 conventional BFSK 성능). 반면 제안하는 기법은 20ppm에 해당하는 주파수 오프셋이 존재하더라도 이론적인 성능(주파수 오프셋이 없는 경우)보다 약 4dB 정도의 손실만이 나타나는 것을 확인할 수 있으며 주파수 오프셋이

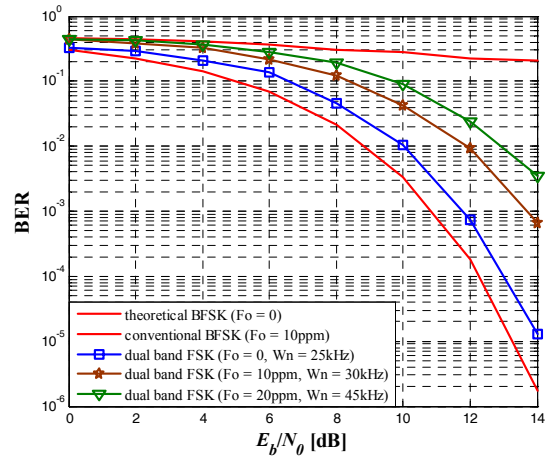


그림 5. 제안하는 기법의 BER 성능 (AWGN)
Fig. 5. BER performances of proposed scheme (AWGN).

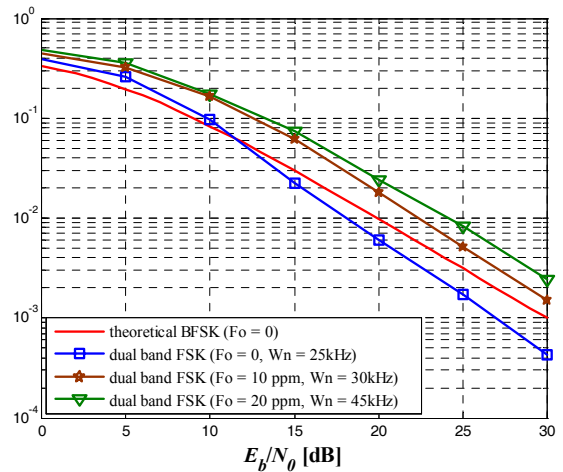


그림 6. 제안하는 기법의 BER 성능 (Rayleigh Fading)
Fig. 6. BER performances of proposed scheme (Rayleigh Fading).

10 ppm인 경우에는 3 dB 정도의 손실이 나타남을 확인할 수 있다. 주파수 오프셋이 없는 경우(그림 5의 $F_0 = 0$, $W_n = 25$ kHz) 제안하는 기법의 성능은 이론적인 BFSK의 성능보다 약 0.7 dB 정도의 손실이 있는 것을 확인할 수 있다.

제안하는 기법은 비록 주파수 오프셋이 없는 경우 기존 기법에 비해 0.7 dB 정도의 성능 손실이 존재하지만 주파수 오프셋이 존재하는 경우 기존 기법에서는 복조가 불가능한 신호를 복조할 수 있다.

그림 5에서는 F_0 에 따라 W_n 의 값이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 이는 F_0 의 값에 따라 LPF의 cutoff 주파수를 최적화할 필요가 있기 때문이다. 즉, 주파수 오프셋이 클 경우 LPF의 cutoff 주파수를 키워서 수신신호 중 일부가 잘려 나가는 것을 방지하기 위함이다.

그림 6은 Rayleigh 페이딩 채널환경에서 제안하는 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 시뮬레이션 환경은 각각의 dual-band에서 서로 다른 페이딩을 겪는 주파수 선택적 페이딩 (frequency selective fading) 채널을 가정하였다. 제안하는 기법의 성능은 주파수 오프셋이 없는 경우 주파수 다이버시티 이득으로 인하여 기존 기법에 비해 더 좋은 성능을 보이며 주파수 오프셋이 있는 경우에도 안정적인 성능을 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 VHF 및 UHF 주파수 대역에 이미 도입되어 사용되고 있는 통신 시스템 간 보호대역을 이용하여 재난 정보를 효율적으로 전송할 수 있는 버스트 모드 데이터 모뎀에 적합한 dual-band FSK 변복조 방식을 제안하였다. 제안하는 기법은 협대역 통신 환경에서 주파수 오프셋 문제를 해결하기 위하여 일정 주파수 간격이상 떨어진 두 개의 FSK 변조 방식을 사용함으로써 기존의 FSK 방식에 비하여 하드웨어 복잡도가 다소 증가하고 오프셋이 없는 경우 0.7 dB 정도의 성능 손실이 존재하지만 주파수 오프셋이 큰 경우에는 기존 기법대비 안정적인 성능을 얻을 수 있으며 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 주파수 다이버시티를 통하여 성능 이득을 얻을 수 있다.

REFERENCES

- [1] 이남경, 김호겸, 오덕길, “공공안전 국가재난 재해통신,” 전자통신동향분석, 제 21권, 제 4호, 2006년 8월
- [2] FCC(2007), “Initial Evaluation of the Performance of Prototype TV-Band White Space Devices,” OET Report 07-TR-1006, July 2007.
- [3] 고광진, 박창현, 송명선, 엄중선, 유성진, 임선민, 정희윤, 황성현, “TV White Spaces에서의 CR 기술 동향,” 전자통신동향분석, 제 24권, 제 3호, 2009년 6월
- [4] 최성웅, 조상인, 강규민, 홍헌진, 정병장, 박승근, “TV 화이트 스페이스 이용 기술기준 동향,” 전자통신동향분석, 제 26권, 제 4호, 2011년 8월
- [5] 구재일, 정찬형, 남원모, 유현용, 이소영, 민경령, “TV 유휴대역(White Space) 활용 및 서비스 활성화 방안 연구,” 방송통신위원회, 11-진흥-나-14, 2011년 12월
- [6] ATSC, “ATSC Digital Television Standard - Part2: RF/Transmission System Characteristics,” Advanced Television Systems Committee, Dec. 2011.

저 자 소 개



이 용 욱(학생회원)
 2008년 충남대학교 전기정보통신
 공학부 학사
 2010년 충남대학교 전자전파정보
 통신공학과 석사
 2010년~2011년 삼성전자 연구원
 2011년~현재 충남대학교 정보통
 신공학과 박사과정

<주관심분야 : 송수신기 동기, 협력통신>



강 동 훈(학생회원)
 2009년 충남대학교 전기정보통신
 공학부 학사
 2009년~현재 충남대학교 정보통
 신공학과 석박사통합과정
 <주관심분야 : 오류정정부호, 디
 지털 통신>



오 왕 록(정회원)-교신저자
 1994년 포항공과대학교
 전자전기공학과 학사
 1997년 포항공과대학교
 정보통신학과 석사
 2003년 포항공과대학교
 전기전자공학과 박사

1994년~1995년 스탠더드텔레콤 연구원
 1997년~2000년 포항공과대학교 정보통신연구소
 전임연구원

2003년~2006년 포항공과대학교 정보통신연구소
 전임연구원

2006년~2010년 충남대학교 정보통신공학과
 조교수

2010년~현재 충남대학교 정보통신공학과 부교수
 <주관심분야 : 통신시스템 설계 및 구현, 오류정
 정부호, MIMO 시스템>