

# ERMES 시스템의 수신 처리 회로 설계와 그의 성능 평가

## Receiver processing circuit design and its performance evaluation of the ERMES system

鄭 垠 澤\*, 李 相 坤\*, 尹 起 厚\*\*, 柳 興 均\*

(Eun-Taek Jeoung, Sang-Gon Lee, Ki-Hoo Yoon, Heunggyoon Ryu)

---

이 연구는 1993년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임. 과제번호 : 931-0900-057-2

---

### 要 約

유럽형 라디오 메시지 시스템(ERMES : European Radio MESSAGE System)은 페이징 시스템으로 주파수범위는 169.4125MHz~169.8125MHz이고 채널당 25KHz 간격 주파수로 할당된 16개의 채널로 구성되어 있으며, 4-PAM/FM 변조방식을 사용하고 있는 디지털 정보 통신의 새로운 형태이다. 본 논문에서는 ETSI(European Telecommunication Standards Institute)의 규격에 의거하여 이중에러까지 정정할 수 있는 에러정정 회로를 갖춘 ERMES 수신 시스템을 설계하였다. 설계한 ERMES 수신 시스템의 오차 성능을 평가하여 4-PAM/FM 방식으로 변조하는 다중 신호에 대한 성능을 분석하였다. 그런데 RF 채널상에서 여러개의 라디오 수신기를 동시에 동작시킴으로써 신호 성분들 사이의 진폭 불균형이 시스템 성능을 떨어뜨릴 수 있으므로 시스템 전개를 위한 최적의 파라미터를 결정하였다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 송신된 데이터의 복원과정과 전송로상에서 발생할 수 있는 에러가 2비트까지 정정됨을 확인하였다.

### ABSTRACT

The pan-european paging system European Radio MESSAGE System (ERMES), a new system of digital information communication, has 16 channels with 25KHz channel spacing. The ERMES modulation format is 4-PAM/FM. The ERMES operates in the frequency range 169.4125MHz~169.8125MHz. In this paper, an ERMES receiving system according to the European Telecommunication Standard Institute(ETSI) specification with a double error correction capability is designed.

The ERMES receiver system is designed with the conventional circuit and its error performance for multiple signal modulated by the 4-PAM/FM method are analyzed.

Since amplitude imbalance among the signal components can impair the system performance when several receivers are operated on the same RF channel simultaneously, the optimal parameters are obtained in designing the radio system.

Performance of the proposed receiver system is verified via computer simulation for processing procedure.

---

\*충북대학교 전자공학과

\*\*주성전문대학 전자과

접수일자 : 1994년 4월 29일

I. 서 론

페이징 시스템의 발달과 시행은 오늘날 특정 영역 내에서의 진보가 다른 영역의 균형있는 발전에 얼마나 많이 의존하고 있는가를 보여주는 전형적인 보기이다. 고객에게 장소, 시간, 거리에 상관없이 통신할 수 있는 수단을 제공해 줄 수 있는 통신 시스템은 사회적, 경제적으로 잇점을 제공해준다. 그러나 전세계가 이러한 능력을 갖추고 있는 것은 아니다. 신호체계를 갖춘 유선 통신망을 이용하고 있는 1세대 페이징 시스템의 성공은 50년대 초에 이루어진 것이며 그 뒤 전자회로의 소형화에 따라 무선 페이징을 이용한 새로운 페이징 시스템이 대두되었다. 새로운 범유럽 페이징 시스템은 1989년에 ETSI의 기술 위원회에 의해 고안되었고, ERMES이라는 이름으로 불리어졌다. ERMES 시스템의 연구 시발점에서 위원회는 유럽 대부분의 거주 지역에서 예상되는 트래픽 제어용량을 충족하기 위해서 POCSSAG 시스템에서 사용한 512나 1200 bits/s 이상의 비트율이 필요하였다. 이 기술 위원회는 연구결과 6250bits/s(3125 baud symbol rate)의 비트율을 갖도록 구성하고 변조방법으로는 4-PAM/FM 변조방식을 사용하기로 결정하였다. 유럽 대부분의 국가에서 주파수가 169.4MHz에서 169.8 MHz내의 자료 전송 코딩체계는 ERMES의 표준에 따르고 있으며, 이는 또한 국제적으로 전파되어 가고 있다.

이 논문에서는 송신된 데이터를 수신처리하여 서비스를 제공하기 위한 ERMES 수신 시스템을 설계하였다. 먼저 6250bps 속도로 다중화된 라디오 데이터 신호를 복원하는 수신 시스템의 복조기를 구성하고, 전송 과정에서 발생할 수 있는 에러를 2비트 에러까지 정정 가능한 에러 정정 회로를 설계하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 정확히 데이터가 복원됨을 확인하였다. 페이딩을 고려하여 여러개의 라디오 수신기 사이에서 신호 성분들 사이 진폭 불균형을 위한 최적의 파라미터를 결정하였다. 또한 설계한 ERMES 수신 시스템의 데이터의 오차 성능을 분석하여 수신성능을 평가하였다.

II. 라오 데이터 전송 신호

1. 채널 할당

ERMES는 169.4125 MHz에서 169.8125 MHz의 주파수 대역을 점유하고 있으며 25KHz의 채널 간격으로 16개의 채널로 구성된 시스템이다. 채널주파수와 채널 수는 다음 식에 의해 정의된다.

$$f_n = 169.4125 \text{ MHz} + (n \times 0.025 \text{ MHz}) \quad (1)$$

여기서, n은 채널 수이며 0에서 15의 값을 갖는다.

각 채널주파수의 RF(Radio Frequency) 대역 스펙트럼은 그림 1과 같다.

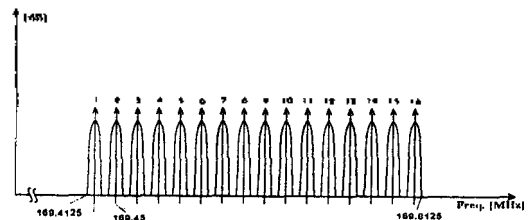


그림 1. 채널주파수의 RF 대역 스펙트럼  
Fig 1. RF band spectrum of channel frequency

2. 변 조

4-PAM/FM 변조방식을 사용하여 4가지의 신호 주파수 중 하나의 주파수를 전송함으로써 두개의 데이터 비트가 전송된다. 데이터열의 연속적인 위상 일치와 전변조 펄스 성형으로 전송된 RF 스펙트럼을 얻는다. 비트 에러를 최소화하기 위해서는 디지털 심볼과 신호 주파수 사이의 그레이(Gray) 코드 성형이

표 1. 신호의 심볼 매핑  
Table 1. Signal of symbol mapping

Norminal Frequency	Symbol
$f_n + 4687.5 \text{ Hz}$	10
$f_n + 1562.5 \text{ Hz}$	11
$f_n - 1562.5 \text{ Hz}$	01
$f_n - 4687.5 \text{ Hz}$	00

사용된다. 비트 에러를 최소화하기 위하여 사용된 심볼 도표은 표 1과 같다.

ERMES에 사용된 4-PAM/FM 변조기의 구성도는 그림 2와 같다.

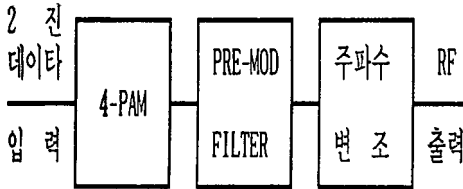


그림 2. 4-PAM/FM 변조기의 구성도  
Fig 2. Block diagram of 4-PAM/FM modulation

① 4-PAM 신호의 모델링

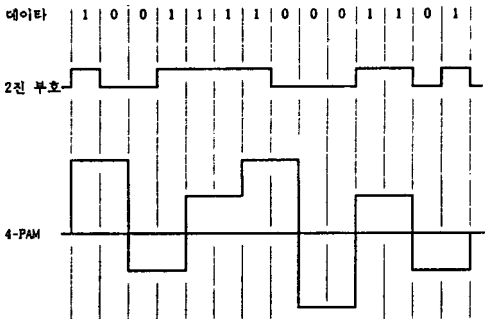


그림 3. 4-PAM 신호레벨  
Fig 3. Signal level of 4-PAM

대역폭이 제한되어 있으므로 보다 고속의 정보 전송 속도가 필요한 경우에는 동일한 신호속도를 유지하면서 레벨의 수를 증가시켜 전송용량을 높일 수 있다. 이와 같은 정보 전송속도 R은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$R = 2B \log_2 M = 1/T \log_2 (bps) \quad (2)$$

여기서 B는 대역폭,

M는 레벨수,

1/T는 심볼속도이다.

4 PAM/FM방식은 동일한 에러확률과 대역폭의 조건에서 신호대 잡음비를 크게하면 보다 큰 정보 전송

속도를 얻을 수 있다.

② 전변조 펄스 성형

전변조 펄스 성형은 그림 4에 도시된 것과 같이 진폭과 그림 지연 마스크(mask)에 의해 규정된다. 이 마스크의 목적은 전변조 필터를 3.9KHz의 3dB 대역폭을 가지는 10차 저역 통과 베셀(low pass Bessel) 필터에 근접되도록 설계하였다.

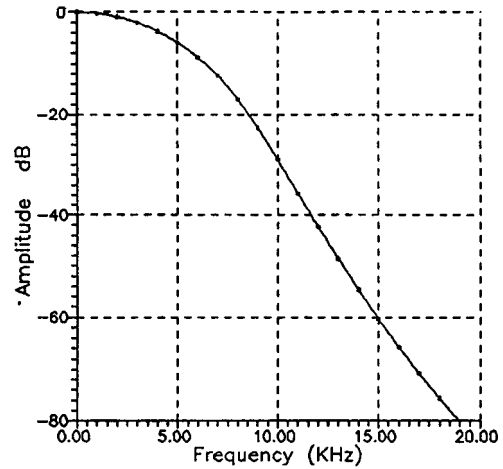


그림 4. 전변조 펄스 성형  
Fig 4. Pulse shaping of premodulation

③ 변조 신호

입력된 데이터의 각 심볼에 해당하는 4가지 레벨을 다음 그림 5와 같은 주파수 형태로 변화한다.

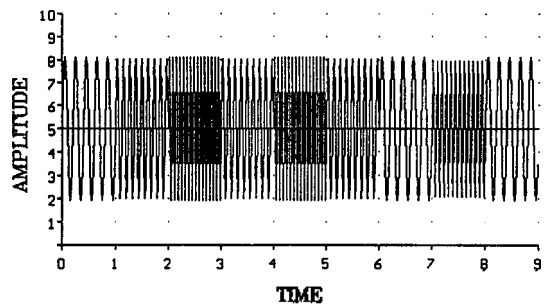


그림 5. 4-PAM/FM 변조신호  
Fig 5. 4-PAM/FM modulated signal

### Ⅲ. 라디오 데이터 수신 신호 처리회로 설계

#### 1. 수신 시스템

수신단에서는 RF대역에 있는 라디오 데이터 신호를 10KHz 주파수 대역으로 천이시키고, 이 신호에서 변조된 라디오 데이터 신호를 분리한 뒤에 복조기를 이용하여 디지털 데이터를 추정하게 된다. 다음 그림 4는 설계된 ERMES 수신 시스템의 구성도이다.

라디오 데이터 복원과정은 먼저 FM수신기에 입력된 신호에서  $f_0 + 10\text{KHz}$ 의 주파수를 곱한 다음 10KHz 대역의 중간 주파수로 이동시킨 뒤 저역통과 여파기를 사용하여 신호의 고주파 및 고주파 잡음을 제거하였다. 저역필터를 통과한 펄스파형은 4개의 대역 통과 필터를 거치면서 각 신호의 대역 주파수를 통과하여 포락선 검파기로 입력된다. 여기에서 다이오드가 동작(ON)하는 동안은 다이오드의 순방향 저항의 값은 매우 낮으나, 다이오드가 저지(OFF)상태가 되면 역방향 저항의 값은 매우 크므로 반응과의 양(+) 음(-)값에 따라 빠른 충전시간과 느린 방전시간을 갖는다. 방전시간은 축전기와 병렬로 연결된 저항에 의하여 결정되므로 시정수  $T=CR$ 에 따라 포락선의 모양이 결정된다. 검출된 신호는 부호 복호기의 논리 게이트를 통하여 디지털 라디오 데이터를 복원하게 된다.

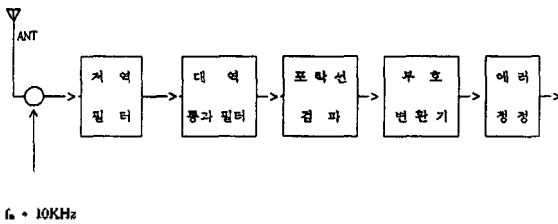


그림 6. ERMES 수신 시스템 구성도  
Fig 6. Block diagram of ERMES receiver

#### 2. 부호 변환기

포락선 검파기를 통과한 신호는 먼저 입력된 값부터 각 상태의 신호 재생기를 통하여 송신단에서 전송한 대역주파수에 해당하는 심볼의 값으로 전환됨으로써 정확한 라디오 데이터를 복원하게 된다.

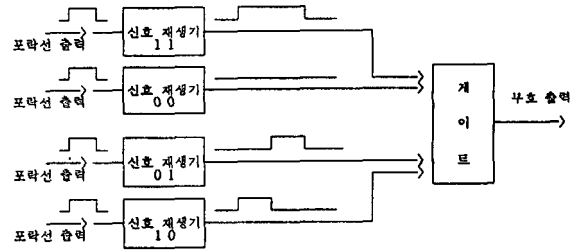


그림 7. 부호 변환기  
Fig 7. Code converter

#### 3. 이중에러 정정

에러 정정을 위한 블록도는 그림 8과 같이 나타낼 수 있다.



그림 8. 복호기의 블록 다이어그램  
Fig 8. Block diagram of decoder

위 회로의 복호과정을 살펴보면 다음과 같다. 수신어  $r(x)$ 로부터 신드롬  $s = (s_0, s_1, s_2, \dots, s_{2n})$ 를 계산한 다음 반복 알고리즘을 이용하여 신드롬  $s$ 로부터 에러위치다항식  $\sigma(x)$ 의 계수  $\sigma_i$ 를 결정한다.  $\sigma(x)$ 의 근을 구함으로써 에러위치번호를 결정하고 결정된 에러형태  $e(x)$ 로부터  $c(x) = r(x) + e(x)$ 에 의해 에러를 정정하게 된다.

### Ⅳ. 수신기의 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

#### 1. 수신 회로의 시뮬레이션 결과

##### ① 신호복호

전송된 신호는 저역필터와 4개의 대역통과 필터를 거치면서 각 대역에 해당하는 신호를 출력한다. 출력된 신호는 관별기에 입력되어 각 주파수에 해당하는 심볼의 값으로 변환된 뒤 게이트를 통해 일렬로 출력되게 된다. 이 시뮬레이션의 트레이스 출력단에서 정확히 복원된 데이터의 심볼이 출력됨을 확인할 수 있다.

데이터의 복원 과정은 그림 9와 같다. 그림 9은 전송된 데이터에 잡음이 부가되지 않았을 경우, 입력 데이터중 10인 신호만 검출하는 보기를 보여주고 있다. 이렇게 검출된 신호는 다음 단의 신호 변환기에 의해 원래의 데이터(10)의 형태로 변환한다.

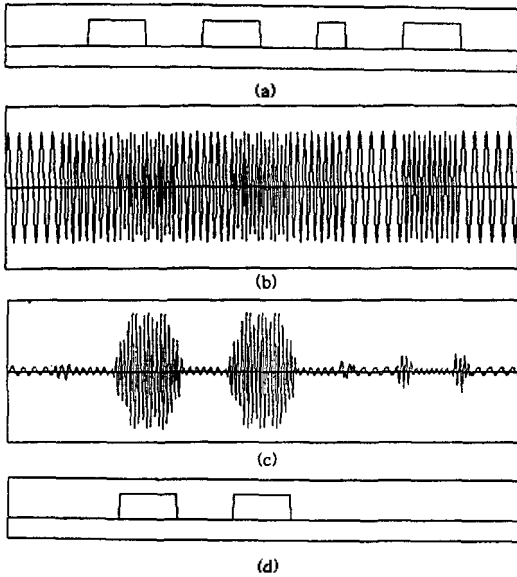


그림 9. 수신 시스템의 데이터 복원  
 (a) 입력 데이터 (b) 전송된 신호  
 (c) 대역통과 필터의 출력  
 (d) 복원된 신호  
 Fig 9. Data recovery of the receiver system  
 (a) Input data (b) received signal  
 (c) Output signal of bandpass filter  
 (d) Recovered signal

잡음으로 오염된 데이터의 복원과정은 그림 10과 같다. 그림 10은 10의 데이터 복원과정에서 잡음으로 인하여 두개의 10신호중에서 첫번째 10의 데이터가 손실됨을 보이고 있다. 이것은 에러의 원인이 된다. 발생한 에러는 뒷단의 에러정정 회로에 의해 정정된다.

②부호변환기

부호변환기에서는 그림 9와 그림 10에서 (d)의 결과를 부호변환기의 입력 A, B, C, D중 하나에 입력 되면 각 코드에 대한 데이터가 출력되게 된다. 만약 그림 10에서 (d)의 결과는 C에 입력되고 데이터 값

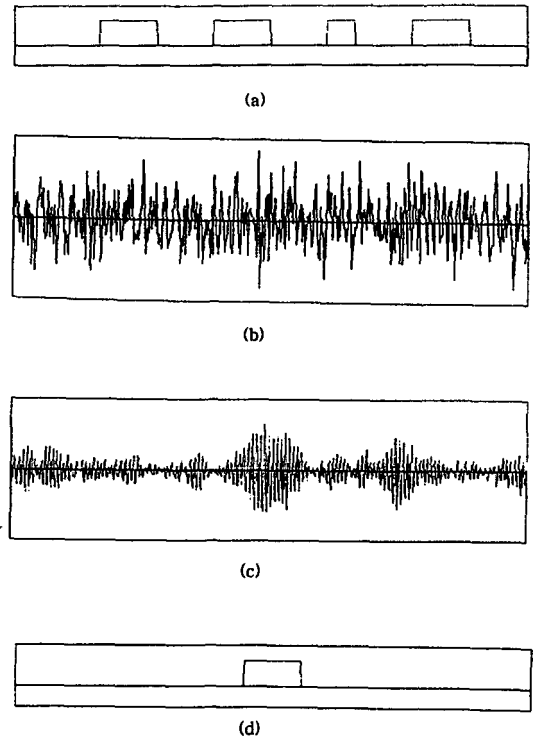


그림 10. 에러가 있는 신호의 복원  
 (a) 입력 데이터 (b) 전송된 신호  
 (c) 대역통과 필터의 출력  
 (d) 복원된 신호

Fig 10. Recovery signal corrupted by noise  
 (a) Input data (b) received signal  
 (c) Output signal of bandpass filter  
 (d) Recovered signal

은 결국 10을 출력하게 된다. 그림 12는 A, B, C, D 에 여러가지 데이터를 입력하였을 경우의 출력 시물레이션 결과이다.

③이중에러 정정

구성한 회로에 입력 데이터를 2진수로 01000010100001000의 18비트 정보어와 12비트의 검사어(110001101001)를 첨가하여 형성된 데이터를 전송되는 과정에서 그림 13은 전송된 데이터에 에러가 발생했을 때 정확한 데이터를 복원하기 위한 에러 정정 회로도이다. 그림 14은 2비트 에러(11000010101001000)가 발생 했을때 에러정정 회로에 의해 본래의 신호가 복원되는 과정을 확인할 수 있다.

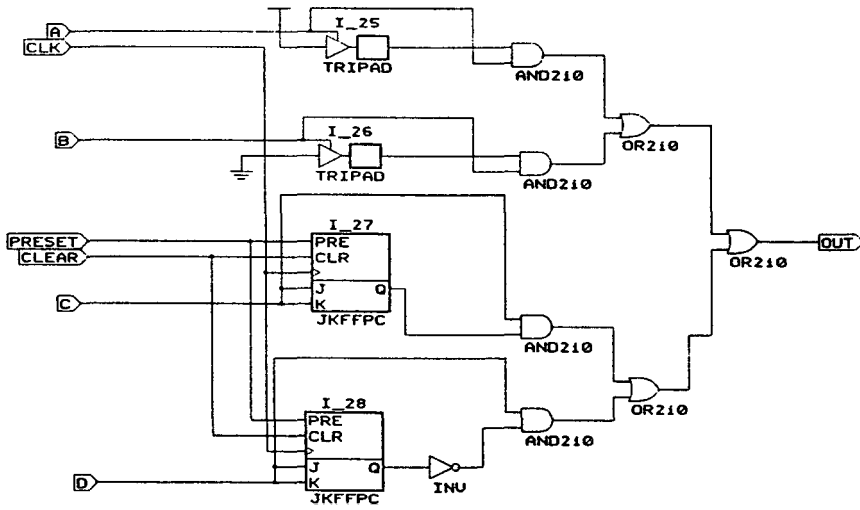


그림 11. 부호 변환기 회로  
Fig 11. Code Converter Circuit

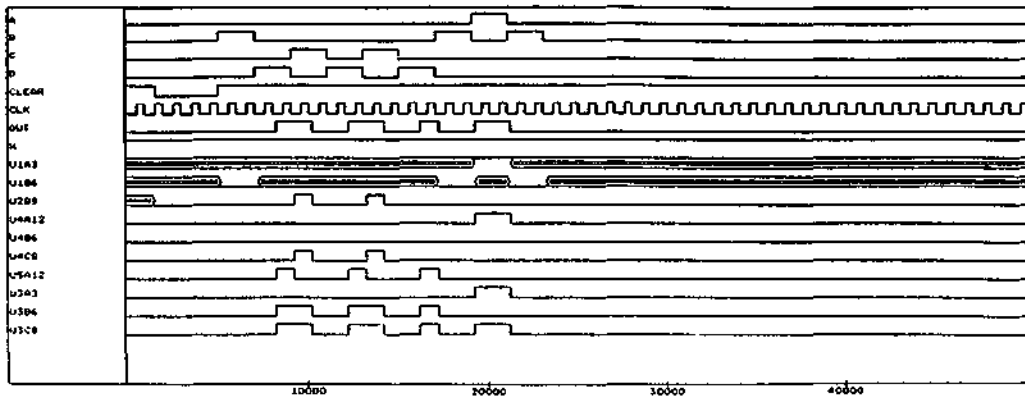


그림 12. 복원한 데이터의 시뮬레이션 결과  
Fig 12. Simulation result of detected data

2. 성능분석

① 진폭 불균형의 확률

ERMES 서비스 영역은 일반적으로 매우 넓기 때문에, 동시에 동일한 RF 채널상에서 여러개의 라디오 송신기를 동작시킴으로써 서비스를 적절하게 제공할 수 있다. 비록 각 송신기의 주파수가 미소한 허용 오차로 제한되어 있다. 작지만 원하지 않는 페이저 수신기에서 신호 성분들 사이의 진폭 불균형 등이 시스템 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 라디오 부시스템을

설계할 때의 중요한 점은 최적의 시스템 파라미터를 결정하는 것이다. 그림 15는 실험한 유효범위 설계를 도시하였는데, 여기서 반경 R의 기준 원 영역은 동일한 전방향성 안테나가 설치되었다고 가정한 서비스 영역이다. 이 논문에서는 7개 기지국들이 원형의 서비스 영역을 담당한다는 가정에서 일었다.

반경 R안의 어떤 지점에서든지 페이저 수신기는 모든 7개 기지국에서 신호를 받는다(그림 15). 섀도우 페이딩을 고려하였을때, i번째 기지국에서 수신된

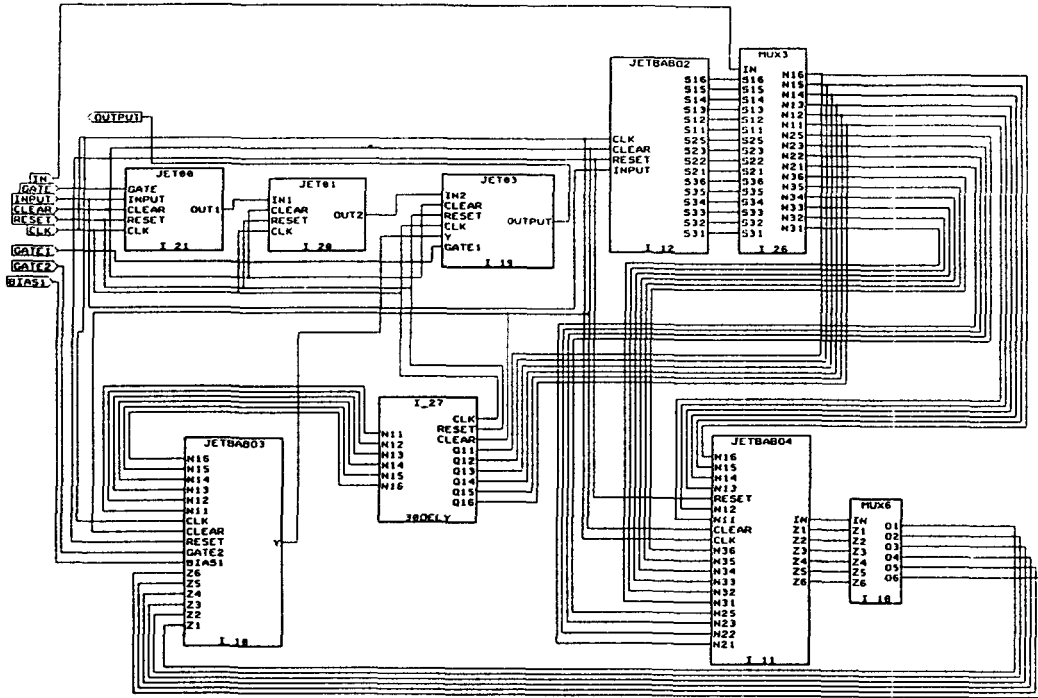


그림 13. 이중오류 정정회로  
Fig 13. Double error correction circuit

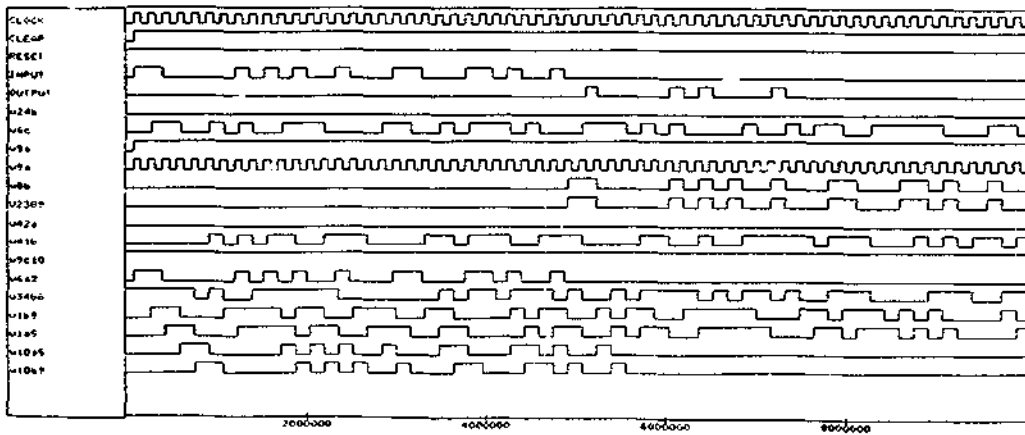


그림 14. 이중오류 정정의 시뮬레이션 결과  
Fig 14. Simulation result of double error correction

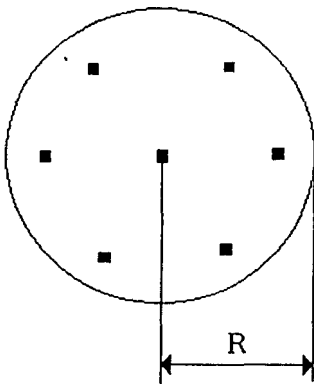
신호 전력은 지수함수적으로 분포된 확률 변수로 취급할 수 있으므로, 만약 데시벨로 표현한다면 수신된 신호의 확률밀도함수는 다음 식(3)과 같이 표현된다.

$$W_c(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(C-\bar{C}_c)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (3)$$

여기서  $\sigma$ 는 표준 편차이고 ERMES시스템과 같은 평균값캐리어 주파수(169MHz)에서는, 4~6dB(옥외 전파) 범위 혹은 9~11dB(옥내 전파) 범위에서 변한다. 반면  $\bar{C}_c$ 는 평균값으로 전파 경로 손실에 영향을 받고 잘 알려진  $1/r^{\gamma}$  법칙에 따라 계산된다. 여기서  $r$ 는 송·수신기 사이의 거리이고  $\gamma$ 는 전파 지수이다.

페이지에 수신된 가장 강력한 두개의 신호들간의 불균형 분포를 평가하기 위해서는, 다음과 같은 동작을 고려하여야 한다.

- ◇그림 15의 기준 영역내에 주어진 페이지 위치에 대해, 위식의 통계치를 고려하여, 각 기지국으로부터 수신된 신호들의 샘플 크기를 계산한다( $\sigma$ 와  $\gamma$ 는 입력 값).
- ◇두개의 가장 높은 샘플을 얻어 절대값의 차이를 데시벨로 구한다.
- ◇균등 분포라는 가정에서, 반경 R안에서 페이지의 1000개 위치에 관하여 위의 2가지 단계를 반복한다.



■ : 기지국

그림 15. 7개 기지국을 갖는 기준 배치  
Fig 15. Reference coverage layout with seven base stations

얻어진 결과는 인터페이스에 기인한 가장 강한 신호와 높은 신호 사이에 어떤 진폭 불균형을 가질 확률의 누적 분포 함수를 유도하기 위해 사용된다. 또한 진폭불균형의 확률은 신호들간의 부가성 백색 가우시안 잡음 환경에서 전파지수와 채널우 페이딩의 표준편차의 변화량의 관계를 얻기 위한 실행하였다. 그림 16에 결과를 보인 옥외 전파에 관계가 있는 보기를 보였는데, 이것은 3.5의 전파 지수와 채널우 페이딩의 표준 편차가 5dB이라고 가정하여 계산하였다. 1dB 이하의 진폭 불균형 확률은 6%, 3dB 이하의 진폭 불균형 확률은 20%라는 것을 알 수 있다.

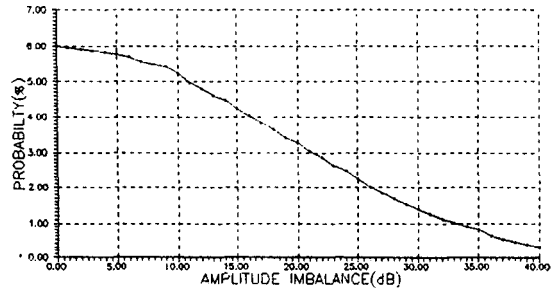


그림 16. 두개의 강한 수신 신호들사이의 진폭 불균형 확률  
Fig 16. Probability of the amplitude imbalance between the two strongest received signals

②수신 오차 성능분석

신호를 전송하는 과정에서는 반드시 원하지 않는 신호가 섞여 들어오게 마련이다. 이러한 현상은 어떠한 방법으로 전송하여도 완벽히 피할 수 없다. 이 수신 시스템에도 송신된 신호는 채널을 통하여 전송하는 동안 여러가지 전파환경에 의해 잡음의 영향을 받게 된다. 이때의 잡음을 부가성 백색 정규 잡음으로 가정하였다. 오염된 데이터 신호는 그림 17와 같다.

전송비트에 대한 에러확률은 식(4)과 같다.

$$P_{(Bit)} = \frac{N_{error}}{N} \quad (4)$$

여기서 N : 수신된 전체 비트수

$N_{error}$  : 발생된 에러 비트수

시뮬레이션은 선형회귀 분석법으로 식(4)를 이용하여 수행하였다. 비트에러확률을 구하기 위하여 200,000번을 반복적으로 실행하였으며, 출력신호와



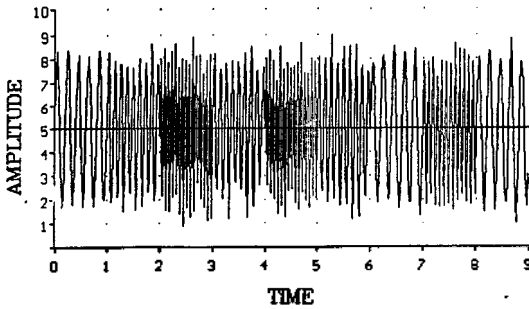


그림 17. 부가성 백색 정규 잡음에 오염된 신호

Fig. 17. Signal corrupted by additive white Gaussian noise

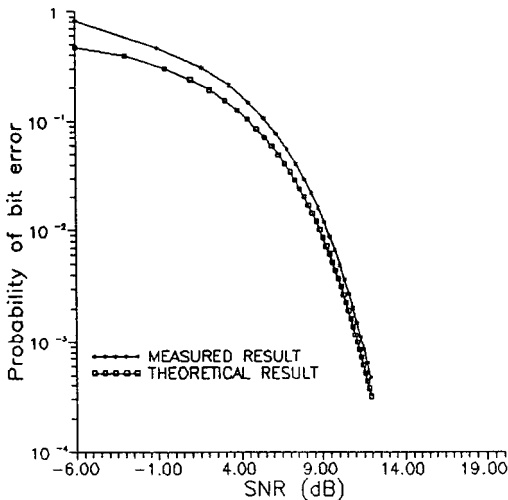


그림 18. 수신 시스템의 비트 에러 확률

Fig. 18. Bit error probability of receiver system

원천 데이터를 비교하여 분석하였다.

그림 18에서, 구현한 시스템이  $10^{-3}$ 의 비트에러 확률을 갖기 위해서는 7[dB]의 SNR이 요구되며, 낮은 SNR에서는 시뮬레이션 결과가 이론 결과 보다 약간 높은 비트 에러가 발생하지만, 7[dB]이상의 SNR에서는 이론 결과와 거의 동가의 성능을 보임으로써, 수신 시스템의 타당성을 확인하였다.

## V. 결 론

이 논문에서는 유럽에서 새롭게 시행하고 있는 ERMES라는 메시지 전송 방식의 수신기를 ETSI의

규격에 의거하여 수신 시스템의 회로를 설계하고, 설계한 수신기를 가지고 데이터의 수신처리 과정을 통하여 정확히 데이터를 복원됨을 확인하였다. 데이터의 전송시 채널상에 에러가 발생하였을 때 이중 에러까지 정정할 수 있는 에러 정정 회로를 설계하였다. 다중신호에 의한 에러확률은 일정한 에러확률에 대한  $E_b/N_0$ 의 값을 M의 증가에 따라 감소하지만 소요대역폭은 M의 증가에 따라 증가하므로 송수신기의 구조도 M의 증가에 따라 복잡해진다는 단점이 있다. 상이한 기지국에 의해 전송된 신호들이 어떤 진폭 불균형으로 페이저에 전달될 확률의 누적 분포 함수를 계산하기 위한 통계적 접근을 다루었다. 시뮬레이션 결과로 1dB 이하의 진폭 불균형 확률은 6%, 3dB 이하의 진폭 불균형 확률은 20%라는 것을 알 수 있다.

또한 데이터 비트에 대한 오차성능을 분석한 결과 구현한 시스템이 낮은 SNR에서는 시뮬레이션 결과가 이론 결과 보다 약간 높은 비트 에러가 발생하지만, 7[dB]이상의 SNR에서는 이론 결과와 거의 동가의 성능을 갖음을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. "General aspects," European Telecommunication Standard 300 133-1, 1991.
2. "Service aspects," European Telecommunication Standard 300 133-2, 1991.
3. "Network aspects," European Telecommunication Standard 300 133-3, 1991.
4. "Air interface specification," European Telecommunication Standard 300 133-4, 1991.
5. "Receiver conformance specification," European Telecommunication Standard 300 133-5, 1991.
6. Berlekamp, E. R., "On Decoding Binary Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Codes," *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. IT-11, pp. 577-580, Oct. 1965.
7. Chien, R. T., "Cyclic Decoding procedures for Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Codes," *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. IT-10, pp. 357-363, Oct. 1964.
8. 유흥균, 정은택, 정기호, 금홍식 "ERMES 수신 시스템의 이중 오류정정을 위한 복호기 구성," 한국통신학회 하계종합 학술논문집, pp. 134-138. 원광대학교, 1993년 7월.

▲鄭 根 澤(Eun Taek Jeong) 1967년 12월 23일생



1992년 2월 : 대전공업대학 전자공학과(공학사)  
1993년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정

※주관심분야: 데이터 통신 및 이동통신, 부호이론, 무선통신, 신호처리, 시스템 설계 및 이용분야

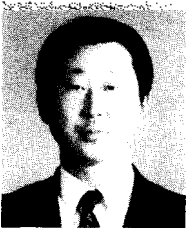
▲李 相 坤(Sang Gon Lee) 1967년 10월 23일생



1992년 2월 : 충북대학교 전자공학과(공학사)  
1993년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정

※주관심분야: 데이터 통신 및 이동통신, 통신소자, 신호처리, 시스템 설계 및 이용분야

▲尹 起 厚(Ki-Hoo Yoon) 1959년 3월 10일생



1979년 2월 : 충북대학교 전기공학과(공학사)  
1982년 2월 : 성균관대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1989년 10월 ~ 1992년 2월 : 순천공업전문대학 전자과 전임강사

1992년 3월 ~ 현재 : 주성전문대학 전자과 조교수

※주관심분야: 전자회로 설계 및 이동통신, 전기 소자, 신호처리

▲柳 興 均(Heung Gyoon Ryu) 1959년 7월 10일생



1982년 2월 : 서울대학교 電子工學科(B.S)

1984년 2월 : 서울대학교 大學院 電子工學科(M.S)

1989년 2월 : 서울대학교 大學院 電子工學科(Ph.D)

1983년 1월 ~ 1983년 10월 : 韓國 電子通信研究所 委囑研究員

1988년 2월 ~ 現在 : 忠北大學校 電子工學科 副教授

※主關心分野: 通信工學, 光通信, 信號處理 等