

---

# 부하변동을 수반하는 전송 채널에서의 CSK 신호의 전송 특성

오 경 석\*, 주 창 복\*\*

## CSK Signal Transmission Characteristics at the Load Variation Channel

Kyung-Seak Oh\*, Chang-Bok Joo\*\*

### 요 약

주파수 응답 특성이 부하 변동에 따라 변화되는 채널에서의 고속, 고신뢰의 데이터 전송을 위하여 CSK 방식의 신호전송 특성을 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 통하여 알아 보았다.

특히, 간단한 구조의 Roll-off 필터를 등화기로 사용하므로써 극히 낮은  $S/(I+N)$  환경하에서도 BER을 크게 향상시키는 결과를 얻었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과  $S/I=2$ ,  $S/N=2$  즉,  $S/(I+N) = 1$ 에서 에러없는 데이터 전송이 이루어지는 것을 확인하였다.

### Abstract

For the purpose of high speed and reliable data transmission through the frequency response variation channel by load fluctuation, we present CSK signal transmission characteristics by computer simulation.

Also using the simple structure of Roll-off filter at the CSK receiving system, the exact synchronization tracking and data detection without error at the worst case of  $S/I=2$  and  $S/N=2$  were achieved.

---

\* 경남대학교 전자공학과 박사과정 수료

\*\* 경남대학교 전기전자공학부 교수

접수일자 : 1999년 7월 18일

### 1. 서론

본 논문은 부하 변동에 의해 채널의 주파수 응답 특성이 변화하는 채널에서의 CSK 신호의 전송 특성을 알아 본 것이다.

이러한 채널중의 하나로서 전압 배전 선로인 전력선을 들 수 있다. 전력선은 여기에 부하되는 각종 전기·전자기기에 의해 선로의 임피던스가 변화 될 뿐만 아니라 각종 기기에서 발생하는 고유 잡음등에 의해 통신신호에 장애를 주게 된다.

전압 배전선로인 전력선과 같이 부하 변동에 따르는 임피던스의 변화에 의해 주파수 선택적 신호 대역의 손상을 극복할 수 있는 데이터 전송 방식으로써 대역확산(SS: Spread Spect-rum) 통신방식에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다[1,2,3].

특히 전원 주파수에 동기해서 신호의 위상 특성이 빠르고, 크게 변동할 수 있는 전력선을 통신 채널로 이용하는 경우 동기 제어를 사용하는 SS 통신 방식에서는 이러한 전송로의 문제점으로 인하여 동기 획득과 추적이 안정적으로 수행될 수 없기 때문에 데이터 복조가 정상적으로 이루어지지 않는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 특성이 있는 전송 채널에서 고속, 고신뢰의 데이터 전송을 위하여 부하 변동에 의한 임피던스 변화에 따른 채널 특성의 변화나 강한 임펄스성의 버스트 잡음과 랜덤 가우시

안 잡음하에서의 CSK 방식의 신호전송 특성을 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 통하여 알아보았다.

특히, CSK(Code Shift Keying) 방식은 전송로의 위상 특성 변동에 크게 영향을 받지 않는 전송 방식으로 알려져 있다[4]. 한편 디지털 통신에서 동기 추적 루우프로 사용되는 DLL(delay locked loop)은 위상 특성의 급격한 변동에 약하므로 동기 점이 동기 루우프의 로크레인을 벗어나기 쉽다. 따라서 안정한 동기 검출과 추적이 기대하기 힘들어진다.

본 논문에서는 CSK의 송·수신에서 동기 문제를 해결하기 위하여 정합필터에 의한 상관함수의 최대값을 찾고 이 상관 최대값의 위치점을 중심으로하는 윈도우(observing window)를 설정하는 방식에 의한 동기 추적과 신호 검출 방식을 사용하였다.

또한 채널의 주파수 응답 특성의 변화나 저 S/N 비 환경하에서도 높은 신호 검출의 신뢰성을 보장하는 간단한 구조의 Roll-off 필터의 사용을 제안한다.

### II. CSK 방식의 동기추적과 복조

그림 1은 윈도우 설정방식을 채용한 CSK(Code Shift Keying) 방식의 전송 시스템 모델을 보인 것이다.

CSK 변조는 데이터의 “1”과 “0”에 대응하는

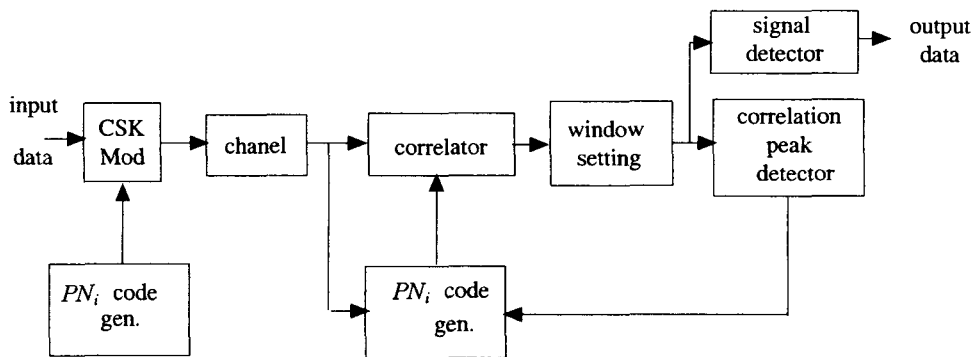


그림 1. CSK 전송 시스템

Fig. 1. CSK transmission system

$PN_1$  과  $PN_0$  코드를 발생시키는 방식이다.

수신에서는 각각에 대한 상관 출력을 비교하여 높은 상관치에 대응하는 데이터로 복조한다.

디지털 정합필터로 구성되는 상관기에서는 수신  $PN_i$  부호( $i=0$  또는 1)의 1주기마다 상관 함수 전체를 알 수 있으므로 1주기 범위에서의 동기제어가 가능하다. 송·수신 사이의 클럭이 변화하는 요인으로, 하나는 동기점의 이동이 시간의 변화에 따라 비교적 서서히 일어나는 것으로 이것은 DLL에 의한 동기 추적으로 충분히 대응할 수 있다. 다른 하나는 잡음의 영향 또는 부하 변동 등에 의해 채널 특성이 변화하는 것으로 DLL에서도 동기 어긋남을 일으키고 만다.

PN코드의 동기과정은 상관피크치 검출부의 피크값이 설정 임계값을 초과하게 되면 DLL의 동기추적부가 작동하게 되고 이 동기추적부의 작동에 의하여 상관피크값의 위치는 1/2의 칩시간(칩시간은 PN코드의 1펄스 시간을 말함) 이내의 동기상태를 지속하게 된다.

그러나 잡음등의 영향에 의해 상관피크치의 위치가 변화하게 되어 동기점의 범위를 벗어나게 되면 동기추적부의 동작은 멈추고 다시 동기점을 포착(설정)하는 상기의 과정으로 돌아가게 되고 따라서 이

러한 과정기간의 수신신호는 비동기상태에 있게 되므로 신호검출부에서 에러로 검출되게 된다.

그래서 본 논문에서는 잡음 등의 영향에 의해 변동될 수 있는 상관피크치 위치의 유동폭을 고려하여 초기 상관피크치의 위치를 중심으로  $n$ 칩시간( $n$ 은 상관피크치의 유동시간폭을 고려한 임의의 정수임)에 해당하는 윈도우를 설정하는 방법을 사용하였다.

이 윈도우설정방법에 의해 상관피크치의 위치가 설정 윈도우의 범위를 벗어나지 않는 한 동기추적 상태는 지속되고 또한 DLL의 동기추적부에서는 윈도우내의 상관피크치의 위치 변화과정을 관찰할 수 있게 되므로 동기보정도 가능하게 된다.

즉, DLL에서의 동기 추적상의 문제점을 해결할 수 있게 하기 위하여 초기 상관피크점  $t_0$ 를 중심으로 임의의 시간 유동폭  $T_a$  만큼의 윈도우 즉,  $t_0 \pm T_a/2$ 의 윈도우를 설정하고 최대상관치(최대 상관치의 위치는 동기점에 대응)가 이 윈도우 내에 있지만 하면 DLL은 동기추적 상태에 있게 된다.

이때 최대상관치가 설정 윈도우중  $t_0 \sim t_0 + T_a/2$ 의 구간에서  $m$ 회 연속으로 나타나는 경우에는  $t_0$ 를  $T_a/4$  만큼 지연시켜 동기점을 보정하

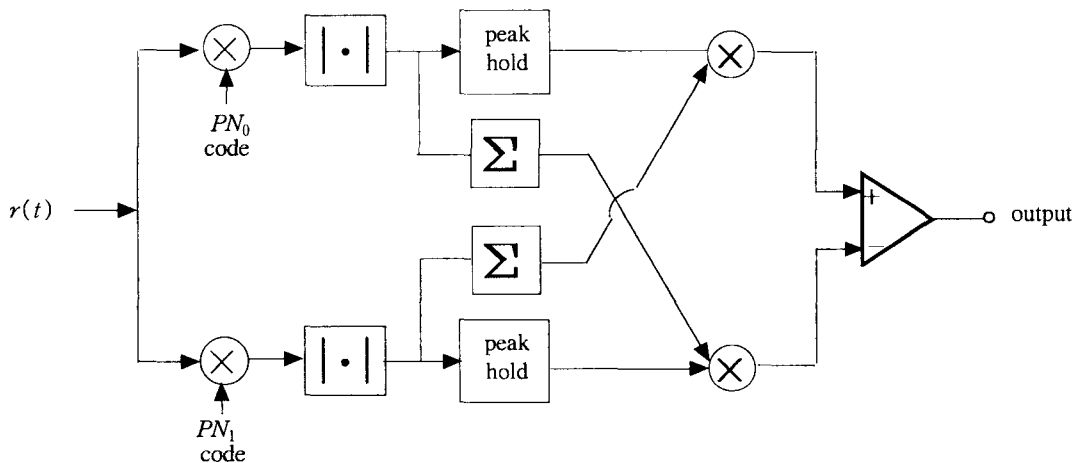


그림 2. CSK 신호 검출기  
Fig. 2 CSK signal detector

고 반대로  $t_0 - T_a/2 \sim t_0$ 의 구간에서  $m$ 회 연속으로 나타나는 경우에는  $t_0$ 를  $T_a/4$  만큼 전상시켜 동기점이 항상  $t_0$ 근방에 있도록 동기추적 상태가 제어되도록 하였다.

이러한 윈도우설정방식에 의해 기존의 수신상관과 신호검출기[5]를 변형하여 그림 2와 같이 CSK 신호검출기를 구성하였다.

그림 2에서와 같이 수신 신호에 대한  $PN_0$  및  $PN_1$  상관기의 출력을 한 주기내에서 윈도우  $W$ 의 피크치 유지회로의 피크값  $P_{0,w}$ ,  $P_{1,w}$ 를 검출하고 합회로를 통하여 윈도우 구간외의 E부분의 상관값의 합  $S_{0,E}$ 와  $S_{1,E}$ 를 구한다음 곱회로를 통하여  $P_{0,w} \cdot S_{1,E}$  및  $P_{1,w} \cdot S_{0,E}$ 를 계산하고 이들을 비교기에 입력시켜  $sgn(P_{0,w} \cdot S_{1,E} - P_{1,w} \cdot S_{0,E})$ 의 부호판정에 의하여 데이터를 복조 한다. 여기서,  $sgn(x)$ 는 다음과 같다.

$$sgn(x) = \begin{cases} 0 & x > 0 \\ 1 & x < 0 \end{cases}$$

즉, 그림 3에서와 같이 "0"에 해당하는  $PN_0$ 가 수신되었다면  $PN_0$  상관기에 피크치  $P_{0,w}$ 가 존재하게 되고  $PN_1$ 의 상관기에는 자기 신호가 아니므로 상관 피크치는 나타나지 않는다. 이 상관피크치  $P_{0,w}$ 는 설정 윈도우  $W$ 내에 존재하게 되고 비트시간 슬롯의 나머지 시간구간  $E(=T-W)$ 에서는 잡음 등의 영향에 의해 작은 상관값으로 나타난다.

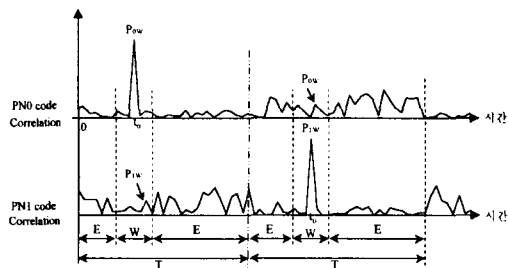
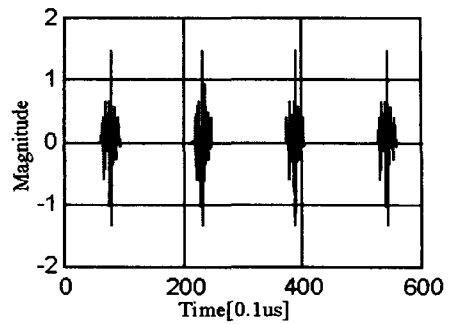
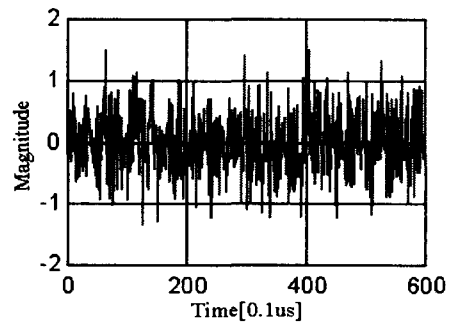


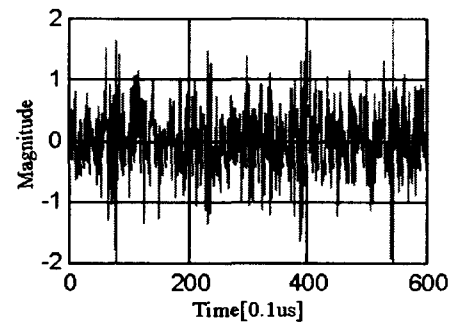
그림 3. 설정 윈도우를 갖는 각 코드 상관의 결과  
Fig. 3 Correlation results of each code with setting window



(a) Impulsive burst noise



(b) Random gaussian noise



(c) Power line noise model(a+b)

그림 4. 등가 잡음 모델

Fig. 4 Equivalent noise model

한편  $PN_1$  상관기는 수신코드  $PN_0$ 에 대해 자기 코드가 아닌 잡음으로 간주되므로 윈도우  $W$ 에서의 상관값은 윈도우 밖  $E$ 에서의 상관값 보다 오히려 작아지게 된다. 이것은 잡음에 의한 상관의 결과와 같고 윈도우  $W$ 에서의 상관 피크치  $P_{1,w}$ 는

$P_{1w} < P_{0w}$  로 된다. 또한 윈도우 밖 E에서의 상관치는 잡음신호에 대한 상관으로 되어  $S_{1E} > S_{0E}$  로 된다.

결과적으로 이들의 곱의 결과를 비교하면  $P_{0w} \cdot S_{1E} \gg P_{1w} \cdot S_{0E}$  로 되어 큰값과의 곱은 더욱 커지고 작은값과의 곱은 더욱 작아지게 되어 그만큼 신호검출기에서의 부호의 비교판정이 보다 명확해지므로 복조의 신뢰성이 높아지게 되어 데이터의 검출 어려움이 낮아지게 된다.

### III. 잡음과 전력선 채널 모델

전력선상에서의 잡음은 주로 전력선에 접속되어 있는 전자기에 의해서 발생하며 이들 잡음에 대한 전력 스펙트럼, 크기, 펄스폭 등에 관한 것은 잘 알려져 있다[6,7,8].

또한, 전력선상의 잡음 전력스펙트럼은 전원 주파수의 정수배의 주파수에서 크게 나타나는 것으로 되어 있다[6]. 이러한 것으로부터 전력선상의 잡음은 주기적 특성을 갖는 잡음으로 예측된다.

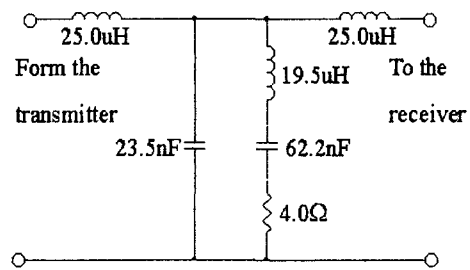
이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 랜덤 가우시안 잡음을 배경 잡음으로 가정하고, 여기에 주기적인 임펄스성 버스트 잡음을 부가하여 전력선상의 등가 잡음 모델을 그림 4와 같이 나타내었다.

한편, 전력선 전송로의 특성은 여기에 접속되어 있는 전자기나 이들의 조합에 의해 결정되어 진다.

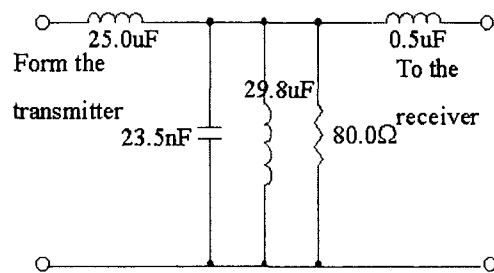
그림 5는 TV 동작시의 임피던스 측정에 의해 나타낸 등가 RLC 임피던스 모델이며[2], 전송 채널은 이들 임피던스 모델을 서로 랜덤하게 접속시키는 방법으로 모델링 하였다. 모델링한 전력선 전송 채널의 주파수 응답 함수는 그림 6과 같다.

그림 6(a)에서와 같이 전력선 채널 특성으로 볼 때 접속되는 전자기기의 종류나 그들의 ON-OFF에 따라 전송로 특성의 변화가 크게 일어 날 수 있다.

또한, 본 논문에서는 이러한 전송로의 주파수 응답의 변화 특성을 등화할 수 있는 등화 회로로서  $\rho=0.5$  의 Roll-Off 필터에 의한 등화 채널의 특성과 데이터 전송 특성에 관한 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다



(a) ON time model



(b) OFF time model

그림 5. TV 부하시 전력선 채널의 RLC 등가 임피던스 모델

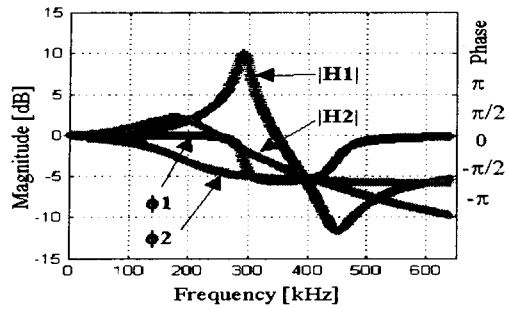
Fig. 5 Power line channel equivalent RLC impedance model in case TV loading

### III. 시뮬레이션

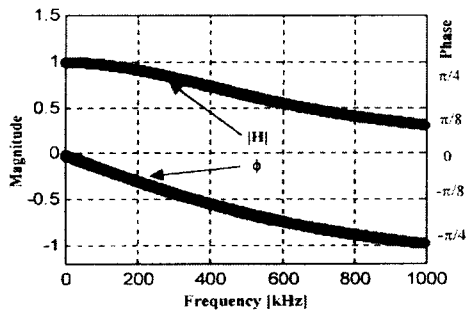
컴퓨터 시뮬레이션에서는 모델링한 전송 채널에 9.6kbps의 데이터를 주기 p=31의 M계열 PN코드로 대역 확산시킨 CSK 신호의 전송 특성을 실험하였다.

CSK 신호에서 부호 1은 귀환탭 (5,4,3,1)과 (1,1,1,0,1)의 초기치를 갖는 PN1발생기에 대응시키고 부호 0는 귀환탭 (5,2) 및 (1,1,1,1,1)의 초기치를 갖는 PNO발생기에 대응시킨다.

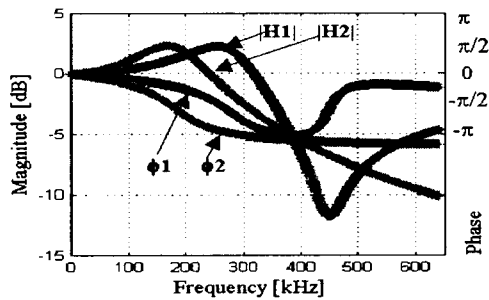
컴퓨터 시뮬레이션에서는 또한 CSK 신호를 1칩과 2칩 지연시켜 간섭파로 하였다. 또한 두가지 잡음 환경하에서 시뮬레이션을 행하였다. 하나는 주기적인 임펄스성의 버스트 잡음과 랜덤 가우시안 잡음의 합성잡음이고 다른 하나는 비주기적인 버스트 잡음과 랜덤 가우시안 잡음의 합성 잡음이다.



(a) Channel



(b) Roll-off filter



(c) Equalized Channel by (b)

그림 6. 그림 5의 채널 주파수 응답 특성  
Fig. 6 Channel frequency response characteristics of Fig. 5

신호 대 간섭파비  $S/I=2$ , 신호 대 잡음비  $S/N=2$  까지 실험하였다.

### 3.1 비등화 채널 모델의 전송 특성

그림 7은 그림 5의 등가모델을 ON-OFF-ON의 순서로 랜덤하게 종속 접속시킬 때, 그림 4의 잡음 하에서 8칩 지연된 CSK 신호의 전송 특성에 관한 시뮬레이션 결과를 보인 것이다.

그림 7(f)의 경우 세로축은 검출 피크치의 위치(칩수)를 나타내며 가로축은 데이터 비트 수를 나타낸다. 이 그림에서와 같이 설정 잡음 환경하에서 상관기 출력의 피크치의 위치가 크게 변동하고 있으며, 따라서 설정 윈도우 범위를 벗어나게 되므로 동기 추적 범위도 벗어나고 이 때 데이터 검출에 어려가 일어난다.

### 3.2 등화 채널 모델

3.1절에서 행한 시뮬레이션의 조건을 Roll-Off 필터를 채널 등화로 적용한 경우의 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다.

간단한 구조의 등화 필터를 사용하였음에도 불구하고, 그림 8은 그림 7과 달리 상관 출력의 피크치의 위치가 설정 윈도우 범위에서 나타나고 있어 정확한 동기 추적이 이루어지고 있을 뿐만 아니라 이 때 데이터의 검출에 어려는 일어나지 않는다. 그림 8(f)에서 세로축은 피크치의 위치(칩 수)를 나타내고, 가로축은 데이터 비트 수를 나타낸다.

그림 9는 컴퓨터 시뮬레이션 관계상 1000개의 데이터 비트 전송시에 대한 BER 특성을 구한 것이다. 채널 잡음은 랜덤 가우시안 잡음을 배경 잡음으로 하고 여기에 임펄스성 주기 또는 비주기성 버스트 잡음을 가하고, 1칩과 2칩 지연된 간섭 신호를 부가시키는 경우에 채널 등화 필터를 사용하는 경우와 사용하지 않은 경우의 BER 특성은 임펄스성 버스트 잡음의 출현이 크게 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 이 경우 그림 9에서와 같이 Roll-off 필터를 사용한 등화 채널의 경우 기존의 검출 방식에서는  $S/I=2$ ,  $S/N=2$ , 즉  $\gamma=10\log(S/(I+N)) = 2[\text{dB}]$  이상부터는 에러가 발생되지 않았으며, 윈도우 설정 방식에서는  $\gamma=0[\text{dB}]$ 에서부터 에러가 전혀 발생되지 않았다.

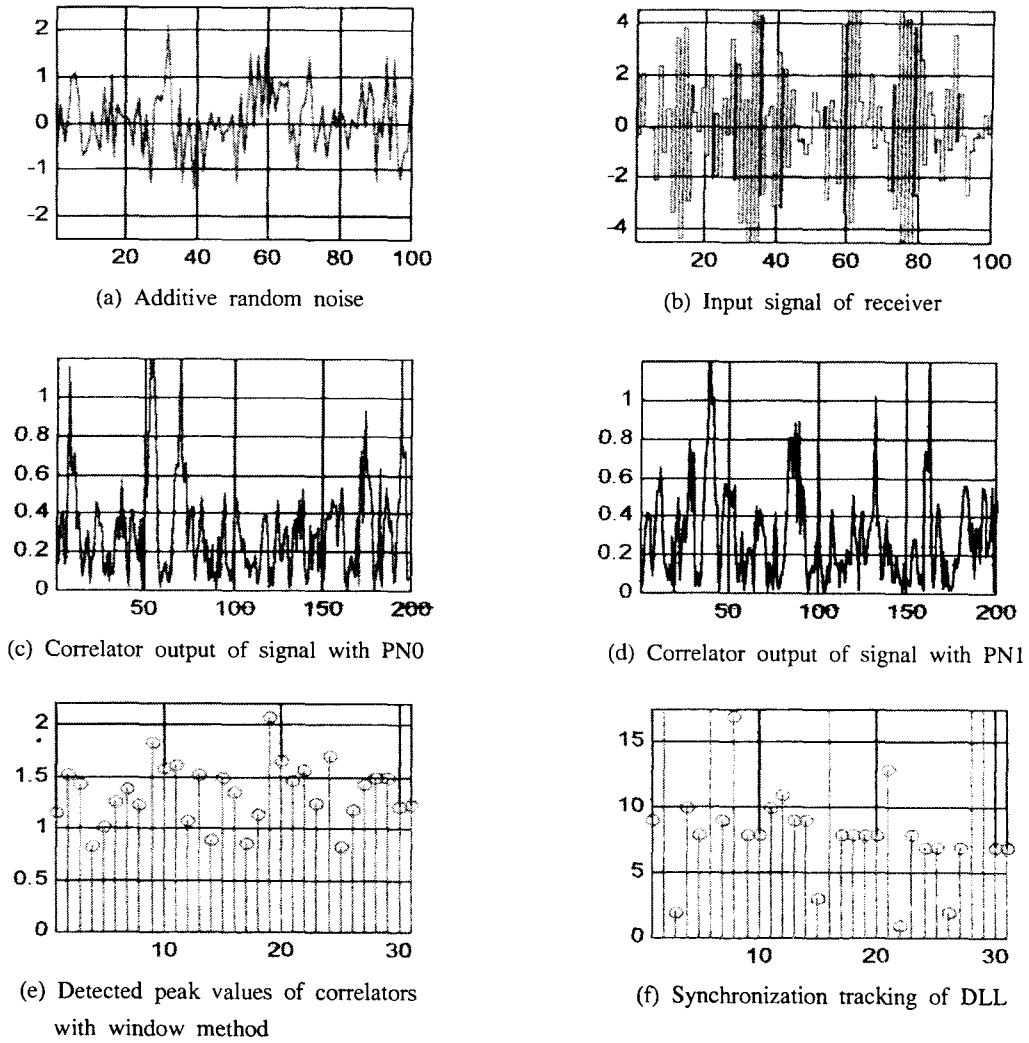
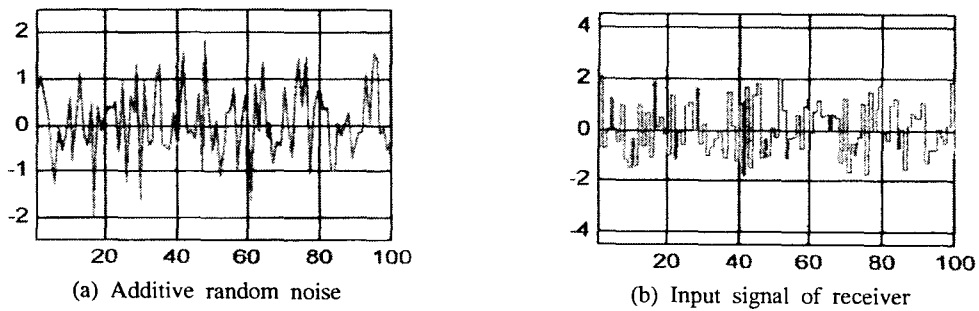


그림 7. 비등화 채널 모델의 시뮬레이션 결과

Fig. 7 Simulation result of nonequalization channel model



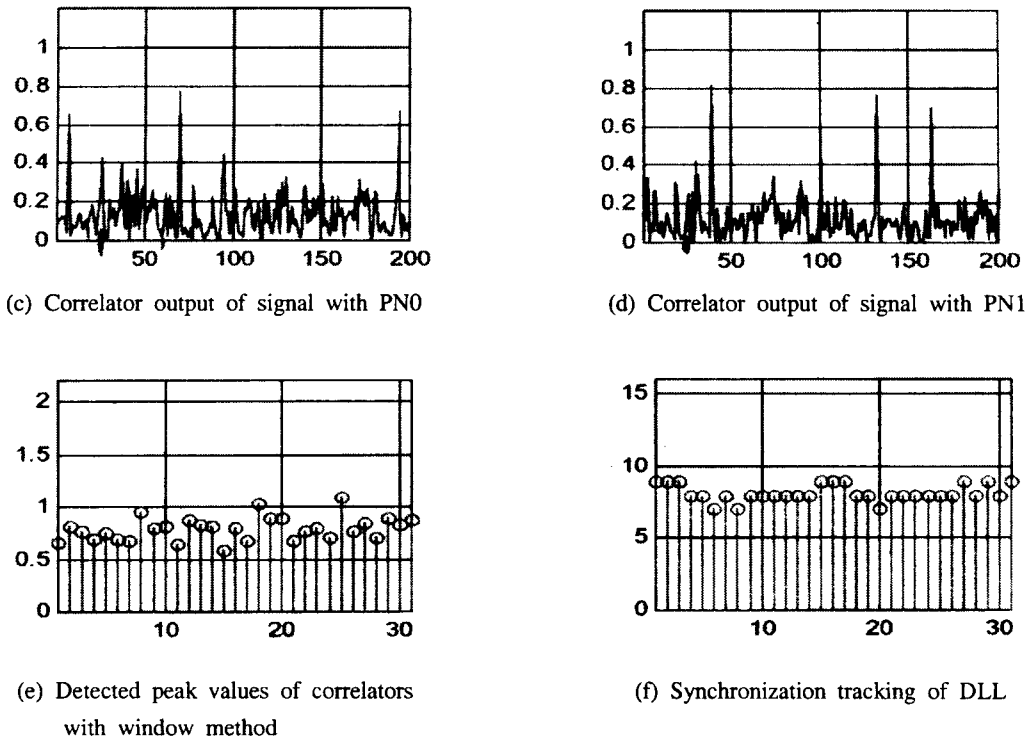
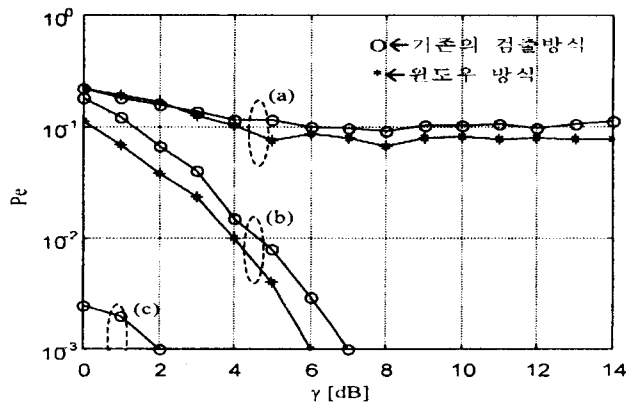


그림 8. 등화 채널 모델의 시뮬레이션 결과  
Fig. 8 Simulation result of equalization channel model



(a) random noise + impulsive burst noise + delay interference signal + signal(in case of nonequalization)  
(b) random noise + delay interference signal + signal(in case of nonequalization)  
(c) BER for (a) in case of Equalization

그림 9. BER 특성의 비교  
Fig. 9 Comparison of BER characteristics for each condition



#### IV. 결 론

본 논문에서는 전력선과 같이 부하변동에 의한 채널의 주파수 응답 특성의 변화가 심한 열악한 채널 환경하에서 정확한 동기 추적이 가능하고 송신 데이터를 에러없이 검출할 수 있는 윈도우 설정 방식의 동기 추적 방식의 채용과 함께 간단한 구조의 Roll-off 필터의 사용을 제안하였다.

랜덤 가우시안 잡음을 채널의 배경 잡음으로 하고 여기에 임펄스성 주기 버스트 잡음이나 임펄스성 비주기 버스트 잡음이 있는 경우 CSK 신호의 크기를 1/2로하여 1칩과 2칩 지연시킨 신호를 간섭파로 하여 채널의 주파수 응답 특성을 변화시키면서 컴퓨터 시뮬레이션을 한 결과 윈도우 설정 방식을 채용함으로써 기존의 상관 검출 방식에 비하여  $\gamma=2[\text{dB}]$ 의 이득을 발생하고 있음을 볼 수 있다.

특히, 간단한 구조의 Roll-off 필터를 등화 필터로 수신기 전단에 사용함으로써 BER 특성이 크게 향상되어  $\gamma=0[\text{dB}]$ 에서도 검출 데이터에 에러가 발생되지 않았다. 이러한 결과는 배전 선로인 전력선과 같이 부하 작용에 따른 선로의 임피던스 변화 즉, 주파수 응답 특성이 변화하는 채널에서의 고속, 고신뢰의 데이터 전송에 매우 적합할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

[1] Behnaam Aazhang and H. Vincent Poor. "Performance of DS/SSMA communication in impulsive channels-part I: Linear correlation receiver." IEEE Trans. Vol. COM-35, No.11. pp1179-1185 Nov. 1987

[2] Shin-ichi Tachikawa and Gen Marubayashi. "Direct sequence/spread spectrum communication system sending with reference PN sequence for power line data transmission." IEICE Vol. J74-B-II No.5 pp225-233. May. 1991

[3] Kaoru Endo, Tadashi NaKamura, Soichi Tsumura and Shichiro Tsuruta. "Spread

Spectrum communication method for power line." IEICE Vol. 74 B-II. No.5 pp234-243. 1991

[4] Hummer A. and Schaefer D. J. "performance analysis of M-ary code shift keying in CDMA system" International conference on communication June in philadelphia, 7F. 2. 1, 1982

[5] I. A. Glover, P.M. Grant. "Digital communications" prentice-hall 1998.

[6] Roger M. Vines, H. Joel Trussell, Louis J. Gale, J. Ben O'Neal, Jr. "Noise on residential power distribution circuits." IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol. EMC-26, No.4 pp161-168 Nov. 1984

[7] Morgan H. L. Chan, Robert W. Donaldson. "Amplitude, width and interarrival distribution for noise impulses on intrabuilding power line communication networks." IEEE Trans. Electromagn. Compat., Vol.31, No.3. pp320-323. Aug. 1989

[8] Osamu Ohno, Musaaki Katayama, Takaya Yamazato and Akira Ogawa. "A modeling of the noise for power line communication systems." Technical report of IEICE SST 97-21 pp7-12



오 경 석(Kyung-Seak Oh)

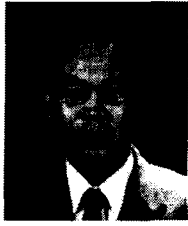
1967년 12월 2일생

1993년 2월 경남대학교 전자공학과 학사 졸업

1996년 2월 경남대학교 전자공학과 석사 졸업

1999년 2월 경남대학교 전자공학과 박사 수료

\*주관심분야: 이동통신, 디지털통신알고리즘, 인텔리전트통신신호처리시스템



주 참 복(Chang-Bok Joo)

1951년 10월 5일생

1975년 2월 한국 항공대학교 전자공학과졸업(공학사)

1977년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1987년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

1981년 3월~현재 경남대학교 전기전자공학부교수

1989년 일본 상지대 전기전자공학과 연구교수

1992년 미국 일리노이주립대학시카고고교전기전자 및 컴퓨터공학과 객원교수

\*주관심분야: 디지털통신알고리즘, 인텔리전트통신 신호처리시스템