

논문 2005-42TE-3-7

5-ary 주파수 천이 키잉 방식을 이용한 전력선 캐리어 모뎀 구현에 관한 연구

(A Study on Implementation of Powerline Carrier Modem using 5-ary
Frequency Shift Keying Method)

박 성 욱*, 박 종 욱**

(Sung-Wook Park and Jong-Wook, Park)

요 약

본 논문에서는 건설한 전력선 통신을 위한 5-ary 주파수 편이 키잉 방식을 사용하였다. 5-ary 캐리어중 3 캐리어는 데이터를 송신하기 위해서 사용하는 주파수이며, 115kHz, 120kHz, 125kHz으로, 각각 0.33ms의 송신시간을 할당해 총 영교차점을 기준으로 하여 1ms를 송신을 한다. 수신측에서는 채널 상태를 파악할 수 있는 더미 캐리어를 50kHz, 350kHz를 각각 0.5ms씩 총 1ms를 추가하였다. 실험 결과 칩 방식과 비교해 볼 때 영 교차점에서의 주파수 천이 키잉 방식이 용량성 부하에 대해 적은 송신 전력으로 더 나은 성능을 가진다.

Abstract

In this paper, we use the 5-ary frequency shift keying method for robust powerline communication. To transmit the data by the 3-ary carriers among 5-ary carriers and three carriers are 115kHz, 120kHz and 125kHz. Each time of three carriers is 0.33ms and total transmitting time duration from zero crossing point has 1ms. We use the dummy carriers which are 50kHz and 350kHz for monitoring the powerline channel state, dummy signal duration is received during 1ms. Experimentation result is shown that the implemented PLC transceiver has better than chirp transceiver at the capacitive load testing in spite of low transmission power.

Keywords : Powerline, Powerline Carrier Modem, 5-ary Frequency Shift Keying

I. 서 론

최근 홈 내에서 데이터 통신을 목적으로 한 인터넷 망은 급속도로 성장을 하고 있으며, 데이터 네트워크에 의한 삶의 질의 변화가 홈 내에서 삶의 기준을 변화시키고 있다. 이런 변화는 환경적인 요인으로서 정보화 사회를 다지는 기초적인 역할을 하였고, 또한 고령화 사회, 여가 활용의 증대 등 가정 내에서 환경적인 요인

이 지능형 홈에 대한 고객들의 요구가 점점 더 커지고 있다. 이런 변화는 통신 기술, 네트워크 기술, 인프라등과 같이 종합적인 솔루션을 요구하게 된다. 홈 네트워크 기술은 유무선 통합 네트워크 통신 기술의 종체적인 집합체의 장이 될 것으로 전망한다. 이 기술은 센서 기술, 통신 기술, 소프트웨어 기술, 운영 기술 등 다양한 기술들이 복합적이고 유기적인 연결 관계를 가지고 개발 되어져야 한다. 홈 네트워크에서 통신 시장은 데이터 통신을 목적으로 이미 인터넷 서비스를 통해 기술 개발, 운용성 등이 이미 검증된 상태이다. 홈 네트워킹은 이미 1970년대 말부터 태동했다. 최초의 구상은 가정에 가설되어 있는 전력선을 통신매체로 활용하고자 하는 발상에서 출발했다. 이런 발상은 1979년 X-10이라는 전력선을 이용한 통신방법이 등장하면서 구체화되기

* 정회원, 인하공업전문대학 디지털전자정보과
(Dept. of Digital Elec. & Info., Inha Tech. College)

** 정회원, 인천대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Eng., University of Incheon)

※ 본 연구는 산업자원부, 한국산업기술평가원 지정 인천대학교 멀티미디어연구센터의 지원에 의한 것입니다.
접수일자: 2005년1월14일, 수정완료일: 2005년8월31일

시작하였다. 비록 60bps라는 저속의 통신방법이지만 전력선을 이용함으로써 추가적인 배선 없이도 통신이 가능한 혁신적인 방법이었고, 가전기기를 제어하기에는 고속 통신이 필요 없었기 때문에 가전기기의 자동 및 원격제어, 가정에 쓰이는 에너지(전기·가스 등)의 효율적 이용, 각종 방법 등의 목적에 이용되었다. 이러한 기술을 가정 자동화 (Home Automation)라고 불렀다. 그러나 X-10 기술은 저속이기 때문에 가전기기의 세부적인 제어보다는 열고 닫거나 끄고 켜는 정도의 제어 정도로 쓸 수밖에 없었고, 전문가의 개입 없이는 설치나 변경이 불가능하였으며 너무 많은 비용을 요구하였기 때문에 일반인들 속으로는 파고들지 못하였다. 최근에 홈 네트워크에 대한 기술개발이 활발하게 국내외적으로 이미 개발되어졌고 상용화를 두고 있다. 저속 분야의 기술들로는 X10의 단일 주파수 ASK방식이 있다. 그리고 Adaptive Network는 PN 코드를 이용한 방식으로 접근을 했고, Data Linc Group의 경우 FSK 방식의 두 개의 캐리어를 사용해 접근 하고 있다. Echelon의 경우 두개의 캐리어를 적용한 BPSK과 DSSS 방식을 쓰고 있고, ITRAN의 경우 자체 기술인 DCSK과 확산 통신을 사용하고 있다. 그리고 중속의 경우 Adaptive Network는 BPSK, DSSS Intellon은 FSK, ITRAN은 DCSK 사용되었다^[1-5]. 본 논문에서는 여러 기술 중에서 가장 많이 사용되고 있는 Chirp 대역 확산 기법과 제안된 기술과 비교 실험을 하였다^[6-10]. 제안된 기법은 FSK 기법에 바탕을 두고 있으며, 5 레벨의 주파수를 사용하였다. 3개의 캐리어는 신호를 송수신하기 위한 캐리어로 사용하고 나머지 두 캐리어는 더미 캐리어로서 채널의 상태를 파악하기 위한 캐리어로서 사용하고 있다.

제 II장에서는 5-ary 주파수 천이 키잉에 대한 트랜시버 구현 내용을 서술 하였다. 제 III장에서는 용량성 부하 실험을 통하여 성능을 검증하였다. 마지막으로 결론을 내리고자 한다.

II. 5-ary FSK PLC 모델

전력선 채널과 같은 주파수 선택적 채널하에서 건설한 통신을 전력선 통신 모델을 구현하기 위하여 본 논문에서는 5-ary 주파수 천이 키잉을 변조 방식을 이용한 전력선 모델 트랜시버를 설계하였다. 우선, 일반적인 FSK의 개념에 대하여 살펴보고자 한다. FSK의 심볼은 다음 식(1)과 같은 형태로 나타난다.

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(w_i t + \phi) \quad (1)$$

where $i = 1, 2, 3 \dots, M$

식(1)과 같이 주파수를 변화시키면서 데이터를 변조하여 송신하고자 하였다. 아래 그림과 같이 서로 다른 세 개의 주파수 성분으로 변화시킨 형태이다.

본 논문에서는 FSK 방식으로 전력선에 적합하도록 5-ary를 가지도록 5개의 주파수 성분을 선택하였다. 즉, $f_i=50, 115, 120, 125, 350\text{kHz}$ 이다. 선택된 5-ary 주파수 성분중 세 개의 주파수는 데이터를 실제적으로 실리는 부분의 주파수 성분이다. 즉, 115, 120, 125 kHz이다. 또한 전력선 채널의 변화가 자주 발생하기 때문에 이를 극복하기 위해서 제로 크로싱 포인트를 이용하고자 하였다. 이에 제로 크로싱 포인트로부터 총 1ms 신호 동안 전송하고자 하는 데이터를 보내고 나머지 1ms 동안 수신 효율성을 두기 위해서 더미 주파수 성분으로 작용하는 성분으로 전송한다. 즉, $f_i=115\text{kHz}, 120\text{kHz}, 125\text{kHz}$ 의 키잉 시간은 $T=0.33\text{ms}$ 로 설정하였고, $f_i=50\text{kHz}, 350\text{kHz}$ 는 각각 $T=0.5\text{ms}$ 로 설정하였다. 본 논문에서 사용된 변조 방식의 심볼 신호가 다음 그림 1과 같으며, 그림 2는 출력 신호의 시간 영역 신호와 스펙트럼이 나타나있다.

송신기의 출력 신호는 그림 2와 같은 신호를 송신 신호로 사용하였다. 이 신호는 실제로 AC 라인에 실

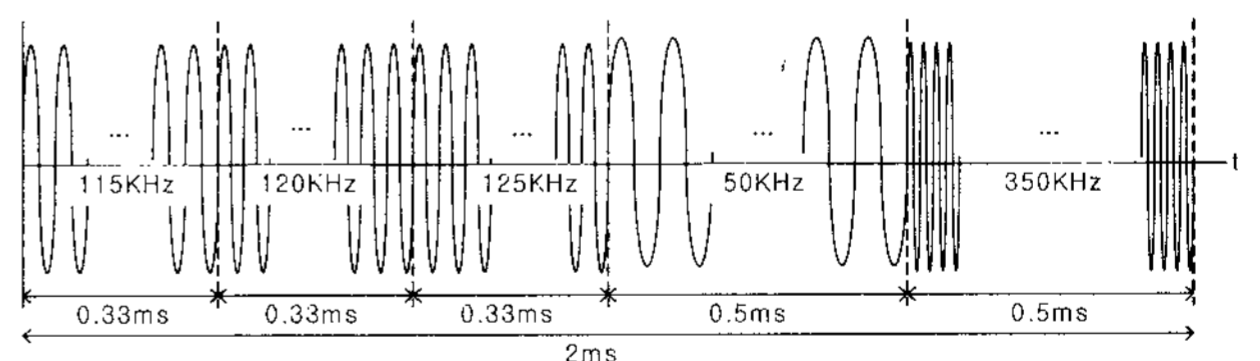


그림 1. 5-ary 주파수 천이 키잉 변조

Fig. 1. 5-ary frequency shifting keying modulation.

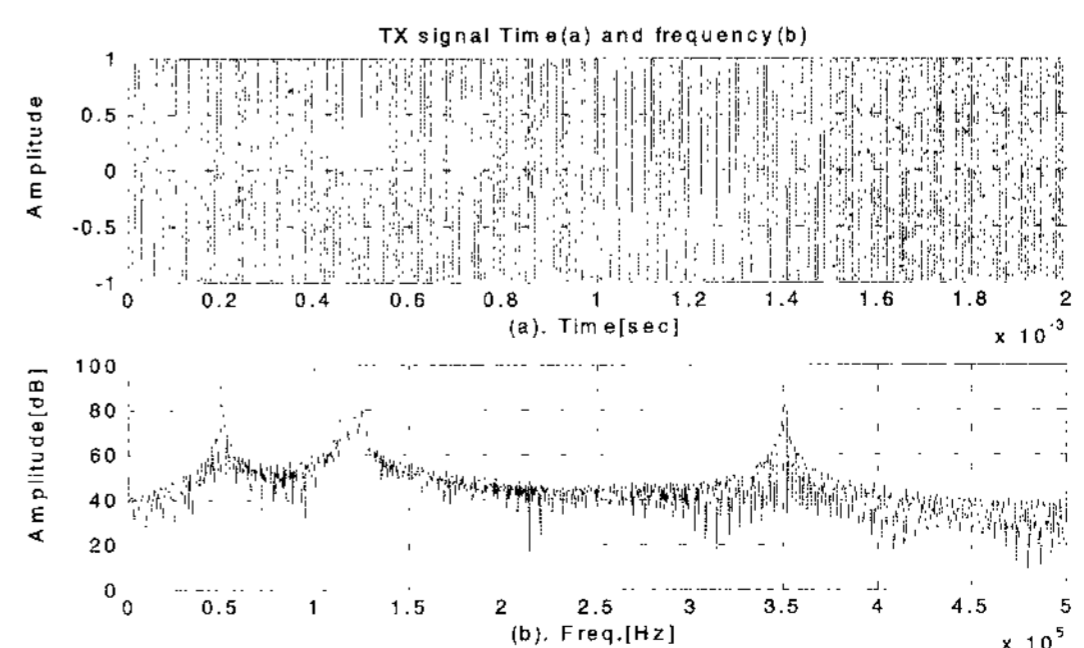


그림 2. 5-ary FSK의 스펙트럼

Fig. 2. 5-ary FSK spectrum.

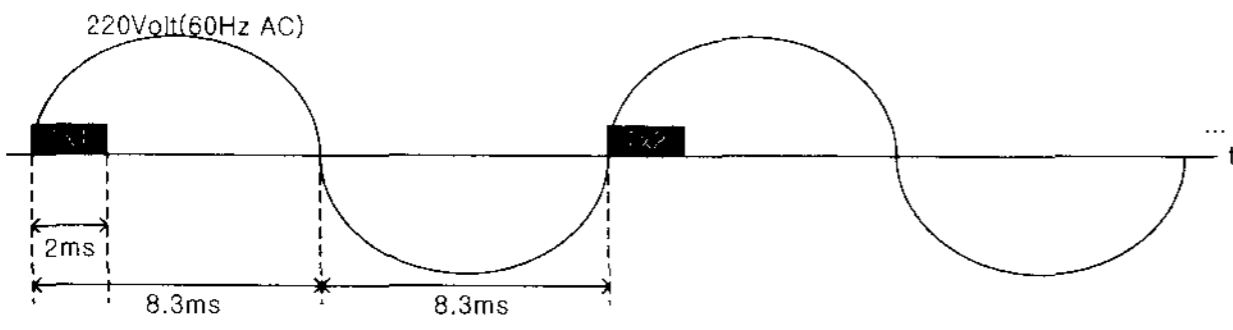


그림 3. 전력선에 실린 송신 신호
Fig. 3. Transmitting signal over AC powerline.

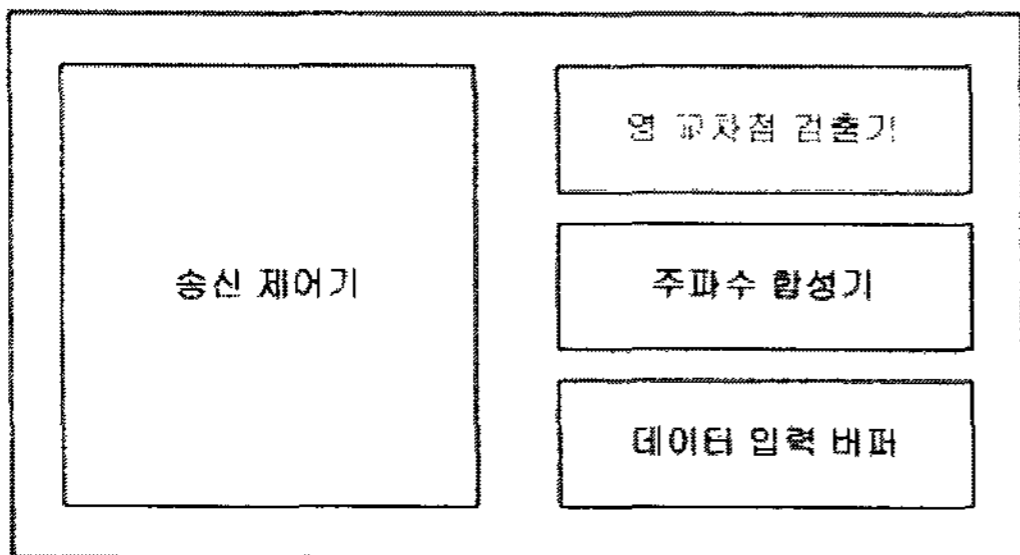


그림 4. 송신기 내부 블록도
Fig. 4. The block diagram of transmitter.

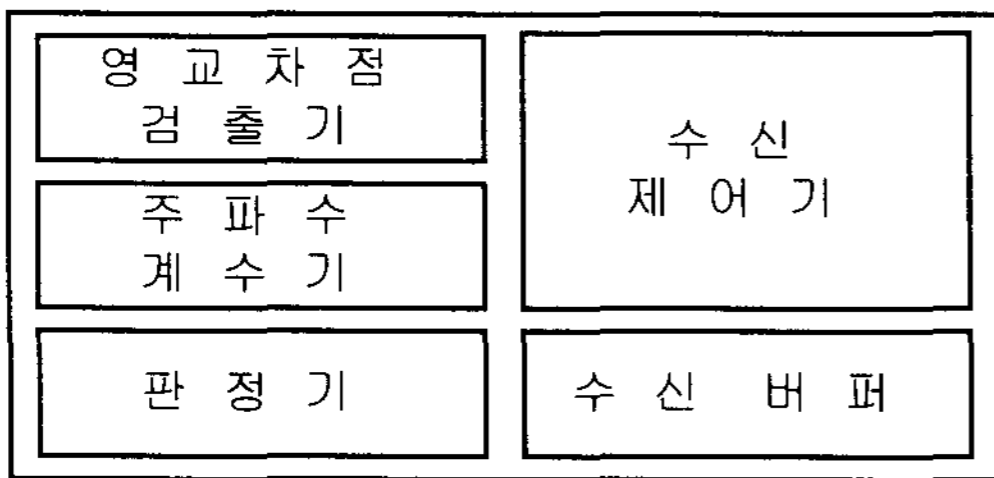


그림 5. 수신부의 내부 블록
Fig. 5. The block diagram of receiver.

리기 때문에 저주파 신호의 AC라인에 대하여 고주파 성분의 신호가 더하여진다. 60 hz 전력선 선로에 더하여진 송신 신호는 다음 그림 3과 같다.

실제적인 신호는 그림 3의 Tx1, Tx2와 같이 전력선에 실린다. 이를 실제 FPGA 상에서 구현하였다. 이 신호를 발생하기 위한 송신기의 내부 블록도의 구조가 그림 4와 같다.

송신부에서 송신 신호는 영교차점 검출기를 통해 영교차점이 나타나는 지점을 기준으로 전력선 채널에 실린다. 수신부의 내부 블록도는 그림 5와 같다.

수신부는 일반적인 PLL을 사용하지 않고, 이에 상응한 주파수 계수기를 사용하였다. 동기는 전력선의 특성인 영교차점을 이용하였다. 실제 동작은 일차적으로 영교차점으로부터 동기를 맞추고, 그 후 그림 1과 같은 수신 신호의 검출을 시작한다. 검출된 신호는 각 버퍼에 그 값이 저장되고, 약속된 검출시간이 종료되면 검출된 버퍼의 값을 115, 120, 125 kHz에 관련된 신호의 총합과 50kHz, 350kHz와 관련된 신호 총합을 구한다. 그 후 각 신호의 차를 이용해 실제 신호인지의 여부를 판정하도록 되어있다. 즉 그림 1에서 송신 신호

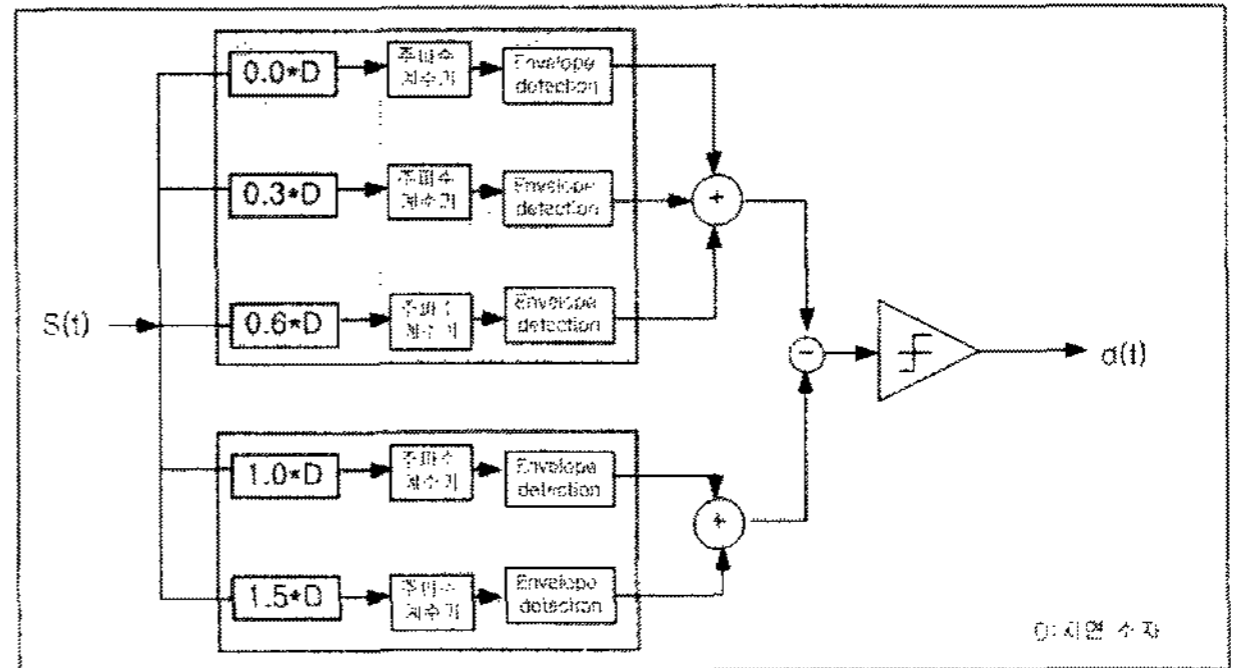


그림 6. 수신기 구조
Fig. 6. The structure of receiver.

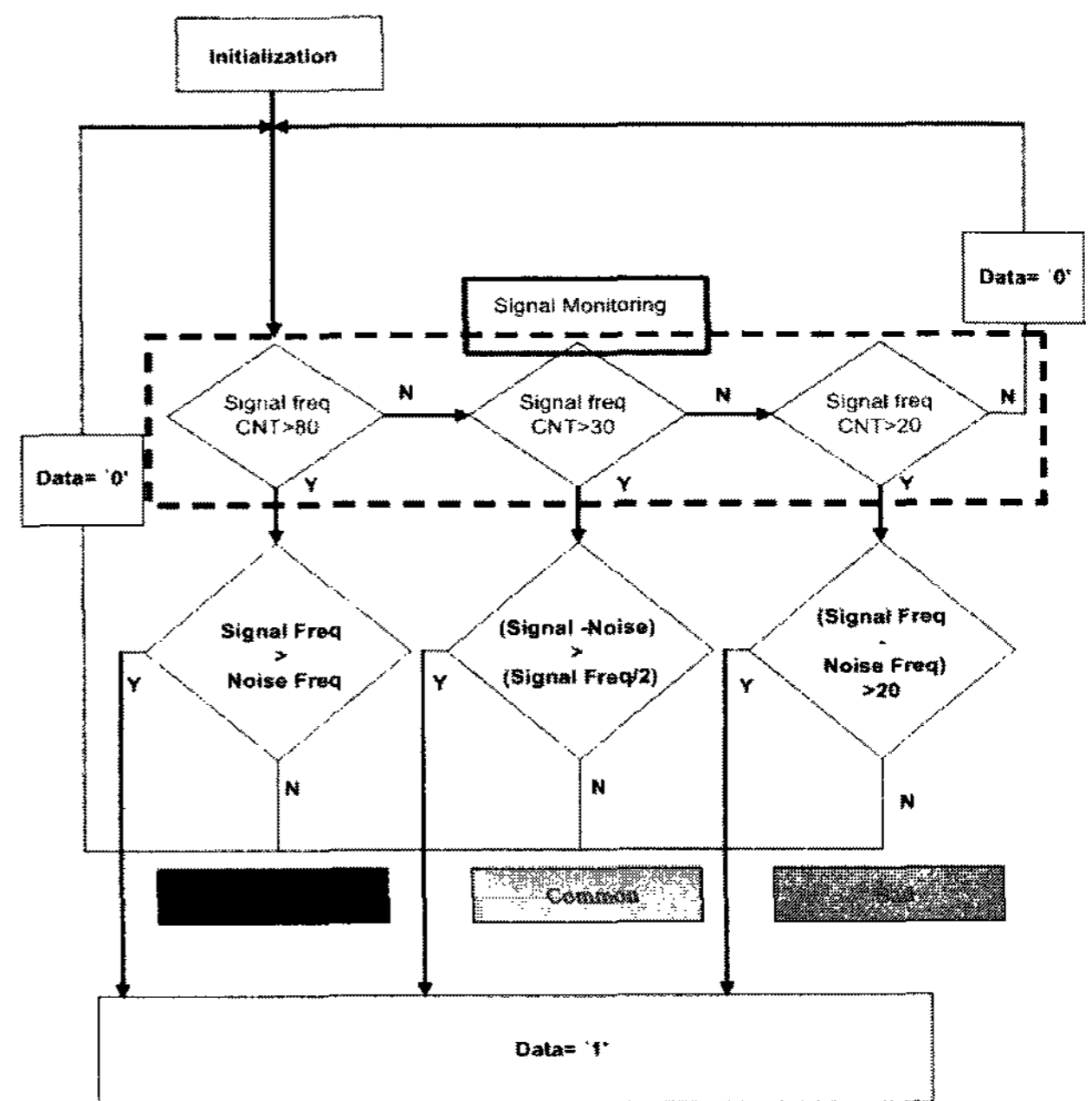


그림 7. 검출 알고리즘
Fig. 7. Detection algorithm.

115kHz, 120kHz, 125kHz는 신호로 보고 50kHz, 350kHz는 잡음으로 보도록 해 설계하였다. 그림 6과 같은 구성을 갖도록 하였고, 이와 같은 구조를 선택함으로써 별도의 대역 통과 필터의 필요성이 사라져 하드웨어의 복잡성이 낮아졌다. 데이터를 판정하기 위한 수신 알고리즘이 그림 7에 나타나 있다.

III. 성능 검증

3.1 시뮬레이션 검증

제안된 방식을 VHDL 언어를 사용하여 송신부와 수신부를 구현하였다. 구현된 방식을 시뮬레이션을 통하여 송신부와 수신부를 검증하였다. 시뮬레이션 결과를 다음 그림 8에 나타내었다.

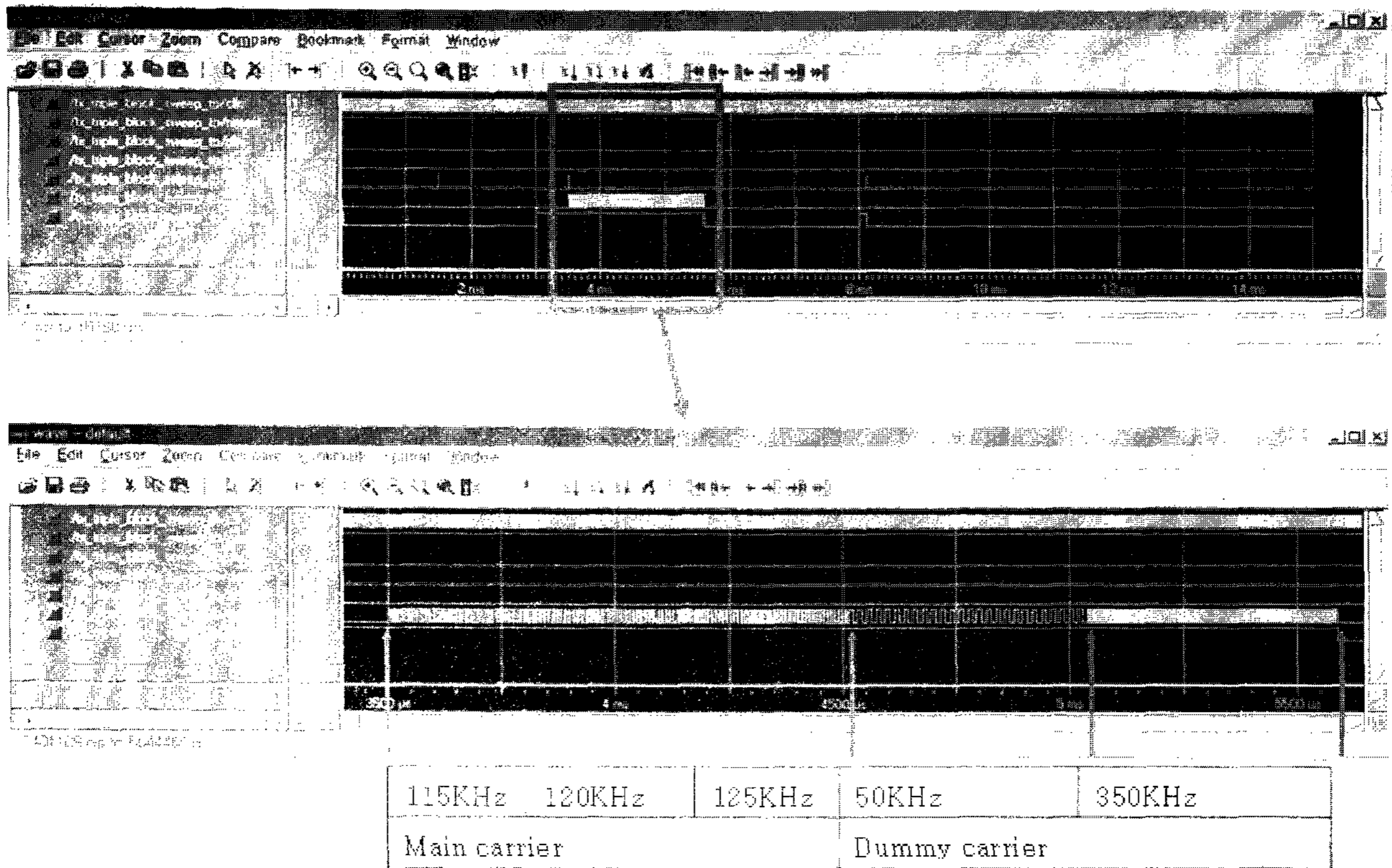


그림 8. 송신부 시뮬레이션
Fig. 8. Transmitter simulation.

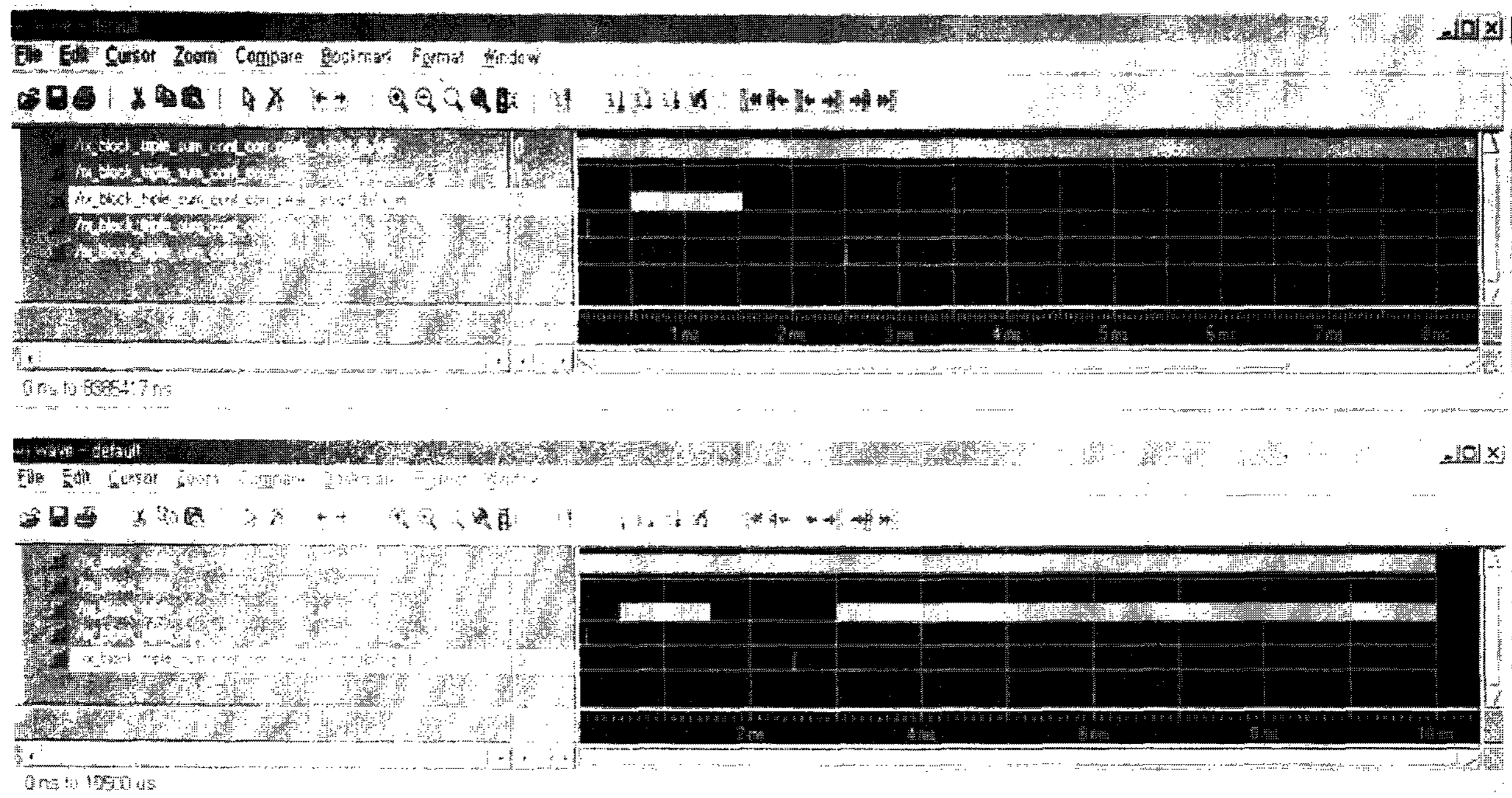


그림 9. 수신부 시뮬레이션
Fig. 9. Receiver simulation.

그리고 수신부의 120 kHz 주파수 검출 시뮬레이션 결과를 다음 그림 9에 나타내었다.

3.2 용량성 부하 실험

전력선에서 모뎀은 부하에 의해서 성능의 많은 영향을 받고 있다. 본 논문에서 전력선 모뎀의 성능을 평가하기 위해서 그림 10과 같은 실험 환경을 구성하여 용량성 부하 실험을 하였다.

표 1. 부하 실험 결과

Table 1. The results of experiment.

거리 부하	방식	인가된 부하(uF)				측정결과							
		0m	15m	30m	50m	0u	0.5u	1u	1.5u	2u	2.5u	3u	3.5u
단일 부하 인가 시	FSK	0051/1.52/253/35				0	0	0	0	0	0	0	0
			0051/1.52/253/35			0	0	0	0	0	0	0	0
				0051/1.52/253/35		0	0	0	0	0	0	0	0
					0051/1.52/253/35	0	0	0	0	0	0	0	0
2개 부하 인가 시	FSK	051/1.52			0051/1.52/253/35	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	000X
			051/1.52		0051/1.52/253/35	0000	0000	0000	0000	000X	00XX	0XXX	0XXX
				051/1.52	0051/1.52/253/35	0000	0000	0000	0000	000X	00XX	0XXX	0XXX
					0051/1.52/253/35	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
3개 이상의 부하 인가 시	FSK	051/1.52	051/1.52	051/1.52	0051/1.52/253/35	000X	000X	00XX	00XX	0XXX	0XXX	0XXX	0XXX
		051/1.5	051/1.5	051/1.5	0051/1.52/253/35	000	00X	0XX	0XX	0XX	0XX	0XX	0XX
		051/1.52	051/1.52	051/1.52	0051/1.52/253/35	X000	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
		051/1.5	051/1.5	051/1.5	0051/1.52/253/35	0000	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
3개 이상의 부하 인가 시	Chirp	051/1.52	051/1.52	051/1.52	0051/1.52/253/35	X000	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
		051/1.52	051/1.52	051/1.52	0051/1.52/253/35	0000	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
		051/1.5	051/1.5	051/1.5	0051/1.52/253/35	X00	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
		051/1.5	051/1.5	051/1.5	0051/1.52/253/35	X00	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

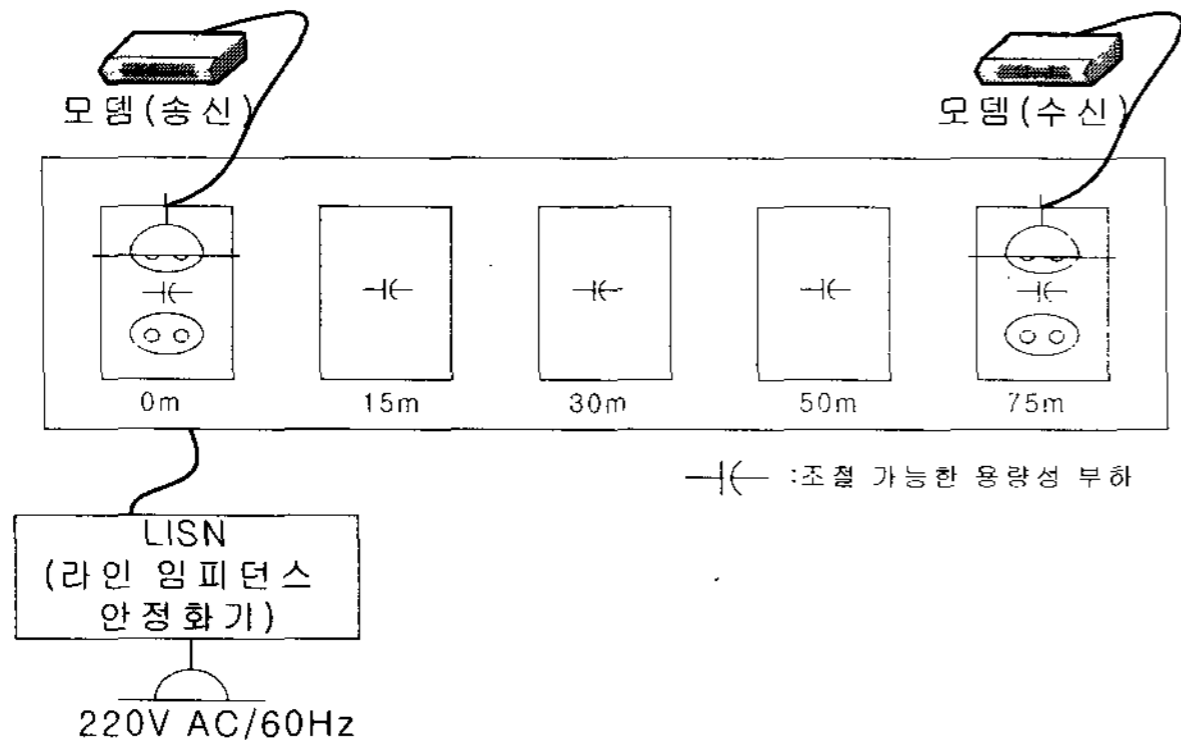


그림 10. 실험 환경

Fig. 10. Experimental environment.

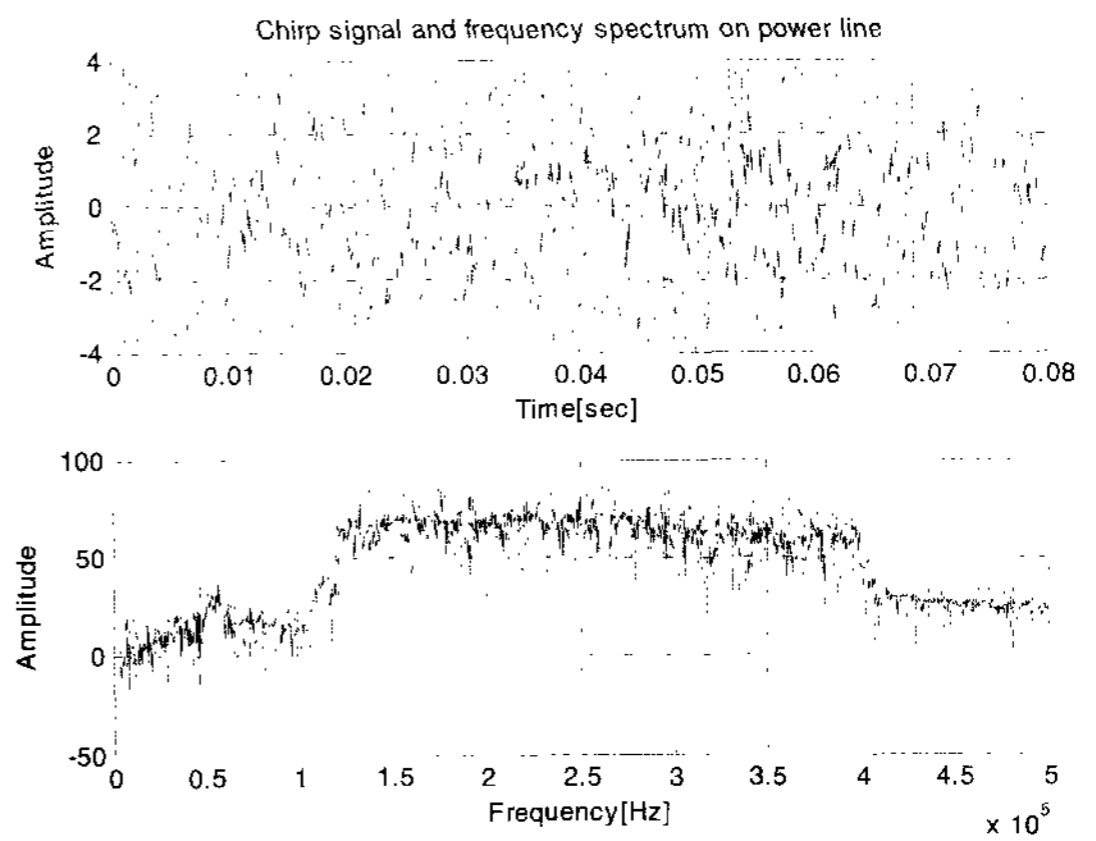


그림 12. Chirp 송신 신호와 스펙트럼

Fig. 12. Chirp transmission signal and spectrum.

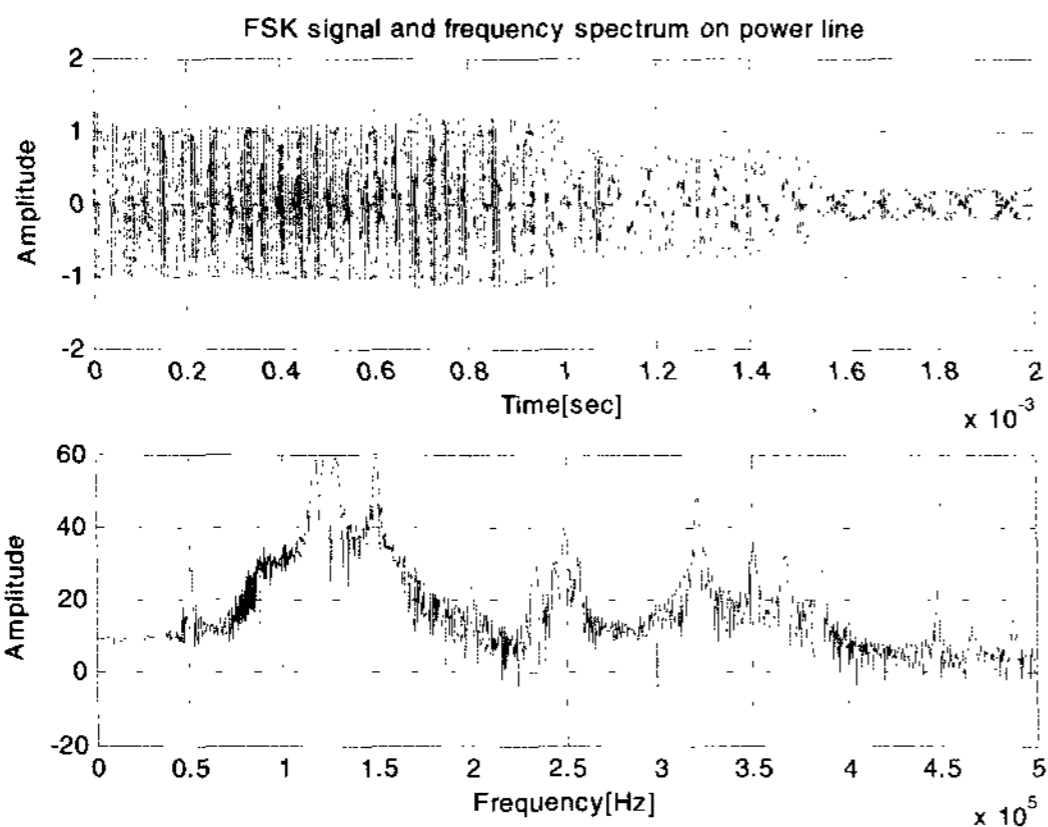


그림 11. FSK 송신 신호와 스펙트럼

Fig. 11. FSK transmission signal and spectrum.

표 2. 부하에 대한 통신 성공 횟수

Table 2. The number of communication success rate about loads.

부하 개수	거리(m)	Chirp	FSK	총 횟수
1	0	8	8	8
	15	8	8	8
	30	8	8	8
	50	8	8	8
2	0/50	32	31	32
	15/50	32	23	32
	30/50	32	23	32
3	15/30/50	7	14	32
	0/15/50	10	20	32
4	0/15/30/50	2	11	24

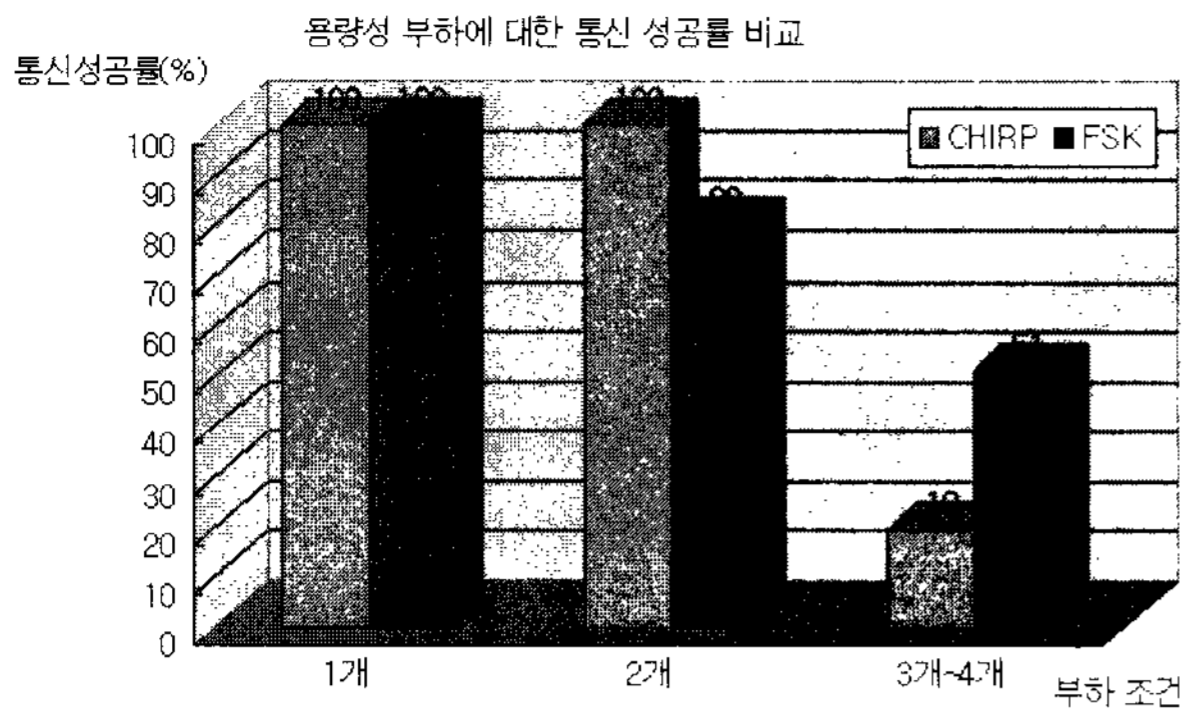


그림 13. 용량성 부하에 대한 통신 성공률
Fig. 13. Communication success rate about capacitance loader.

제안된 방식의 성능을 검증하기 위해서 chirp 대역확산 기법을 사용하는 모델과 비교하였다.

다음 그림 11과 12는 두 모델의 전력선 상의 출력 신호와 스펙트럼을 나타내었다.

다음 표 1에 용량성 부하 실험 결과를 첨부하였다. 용량성 부하가 트랜시버 사이 한 지점에 인가됐을 경우, 본 FSK방식과 비교 대상인 혼합 칩 방식 모두 완벽한 통신 성공률 나타내었다. 하지만 각기 다른 두 지점에 용량성 부하가 발생했을 경우 주파수 천이 방식의 성능이 혼합 칩 방식보다 낮은 통신 성공률을 가졌다. 하지만 각기 다른 3지점 이상에서 용량성 부하가 인가될 경우 그림 14와 같이 주파수 천이 방식이 chirp 방식보다 더 좋은 통신 성능을 나타냈다. 또한 그 구조적 복잡도 면에서도 주파수 천이 방식이 더 경제적임을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

5-ary FSK 전력선 모델은 신호와 더미 형태로 이루어진 출력 신호를 사용하여, 영교차점으로부터 2msec 동안 정보 신호를 이용한 모델을 구현하였다.

실제 비교 실험 결과 영 교차점에서의 주파수 천이 방식이 칩 방식보다 용량성 부하에 있어 더 높은 통신 성공률을 보였다. 송신 전력 또한 영교차점에서의 주파수 천이 키잉 방식이 칩 방식보다 더 적게 소모됨을 확인할 수 있었다. 따라서 전력선의 용량성 부하에 대한 전력선 통신 방식은 영 교차점을 이용한 FSK방식이 더 효과적일 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 김 기두, 이 종성, "전력선 통신 기술 개요", 전자공학회지 제 28권 제11호 pp 1232, 2001.
- [2] Bernard Sklar, "Digital Communications", Prentice Hall, 1988.
- [3] Rade Petrovic and Andreas F. Molisch, "Multipath Effects of FSK with Frequency-Discriminator Detection", IEEE Trans. Veh. Tech, Vol. 49, pp 856-861, 2000.
- [4] Lie-Liang Yang, Lajos Hanzo, "Overlapping M-ary Frequency Shift Keying Spread Spectrum Multiple-Access Systems Using Random Signature Sequences " IEEE Trans. Veh. Tech., VOL. 48, pp 1984-1995, 1999.
- [5] A.J. Han Vinck , Goran Lindell , "Summary of Contributions at ISPLC 1997-2001"
- [6] D. Raphaeli, "Spread Spectrum communication system utilizing differential code shift keying", US Pat., 2000.
- [7] Dahlhaus, "Chirp Modulation", Chapter in Wiley Encyclopedia of Telecommunications, J. Proakis (ed.), Vol. 1, pp. 440-448, 2003.
- [8] Grayson Evans, CEBus Demystified The ANSI/EIA 600 User's Guide, McGraw-Hill, 2001.
- [9] Klaus Dostert, Powerline Communications, Perntice Hall, 2001.
- [10] Gerd Bumiller, Markus, "Complete Power line Narrow band System for Urban-wide communication", ISPLC 2001.

저 자 소 개

박 성 욱(정회원)
대한전자공학회 논문지 제36권 S편 제6호 참조

박 종 욱(정회원)
대한전자공학회 논문지제36권 S편 제6호 참조