



시스템 제어는 중앙제어소의 컴퓨터에서 시작된다. 이 제어에는 개폐기 상태감시 및 제어등을 운전원이 직접 명령하거나 혹은 스케줄로 된 자동 처리 기능등으로 수행할 수 있으며 또한 원격단말기에서 전송되어온 데이터를 컴퓨터의 주메모리 혹은 자기 디스크나 테이프에 기록한다.

컴퓨터에서 나온 명령은 통신선을 통해 변전소의 반송통신 제어장치(CCU)로 보내지며 CCU는 PCA를 통해 이 명령데이터를 DLC 방식으로 원격단말기와 송수신한다 반송로에 실린 명령은 단말기 주소, 기능코드, BCH 오류 검출코드등을 포함하는 2진 메시지이다. BCH코드는 오류 없는 데이터 전달을 위해 송수신 메시지에 모두에 사용된다 중앙제어소와 단말장치간 통신제원을 표1에 나타냈다.

표 1. 중앙제어소와 단말장치간 통신제원  
Table 1. Communication spec. of C/S to unit

구분	구간	C/S-통신제어장치	통신제어장치-단말장치
통신매체		통신케이블	배전선
통신방법		Full, Half Duplex	Half Duplex
통신속도		300 Baud	72.8 Buad
반송주파수		송신: 2,125±100 Hz 수신: 1,170±100 Hz	9.615 KHz
메시지 길이		송신: 10 Bit 수신: 8 Bit	30 Bit, 52 Bit
변조방법		FSK	CPSK
에러체크		Parity & BCH	BCH

### 3. 전송특성시험

ADS의 원활한 운용을 위해서는 정확하고 신속한 데이터 통신에 의한 자료수집과 제어 정보의 전달이 매우 중요하다. 변전소와 각 단말장치사이의 통신매체는 배전선 반송(DLC)통신방식을 이용하여 배전선을 통신선로로 사용하게 된다. 그러나 배전 계통은 다양한 부하 형태와 시간, 계절에 따르는 심한 부하변동으로 인하여 전송특성이 변하기 때문에 신뢰성 높은 통신장치가 필요하다.

따라서 배전선 반송 전송로의 신호 전송 특성 및 잡음 특성등의 제반사항을 장기적으로 측정하여 최적 신호주파수와 임피던스정합을 유지하며 장차 국내환경에 부합되는 시스템을 개발하기 위한 기본자료로 이용하고자 한다.

시험설비는 그림 2에 나타난 계통도의 전송 선로를 대상으로하고 요구되는 원방감시 제어기능의 원활한 통신 특성을 보장하기 위해 실시되었으며 표2와 같은 시험 항목을 4회에 걸쳐 시행하였다.(표 3)

표2. 시험항목  
Table2. Field Testing Item

구분	항 목	비 고
배전선반송 특성시험	임피던스 특성 신호전송 특성 잡음 특성	월,계절에 따른 변화
지중배전반송 특성시험	신호전송 특성 잡음특성	지중에서의 특성

표3. 전송특성 시험일정  
Table3. Field Testing Schedule

항 목	일정(1988)	시험장소
배전선 특성	2.22-2.26	경기지사 관내
지중배전특성	3.28-4.4	여의도 변전소 관내
배전선 특성	5.17-5.20	경기지사 관내
배전선 특성	8.1-8.5	경기지사 관내

### 3.1 임피던스측정시험

임피던스의 측정 시험은 선로의 임피던스를 측정하여 CCU출력과 선로의 임피던스를 정합하기 위한 것이다. 본 시험에서는 배전선 반송 통신 전송로의 1차측 선로 임피던스를 그림3에서와 같이 측정회로를 구성하여 측정하였으며 그림 4에는 88년 8월초에 측정한 주파수대별 임피던스값을 나타냈다. 임피던스의 부하 변동에 따른 변화량을 파악 하기 위해 오후(16시~17시)와 저녁(21시~22시) 두번 측정 하였고 그림4의 "EAST"는 등수원 변전소에서 측정된 값을 의미하며 그외는 서수원 변전소내 Bus 번호를 나타내고 있다. 대부분 9.6 KHz 반송 주파수에서의 측정임피던스 값은 대략 30 ~ 40Ω 정도이지만 표 4와 같이 부하가 많은 계절에는 임피던스가 감소 하게 되고 부하가 적은 계절에는 임피던스가 증가하게 된다.

본 실증시험 시스템이 설치되어 있는 계통의 임피던스 변화량은 비록 두 계절치를 측정하였지만 시스템의 원활한 운용과 신뢰성 보장을 위해 적어도 분기에 한번씩은 실시되어야 한다고 판단되며, 이에따른 SCU Tap 조정이 병행되어야 한다.

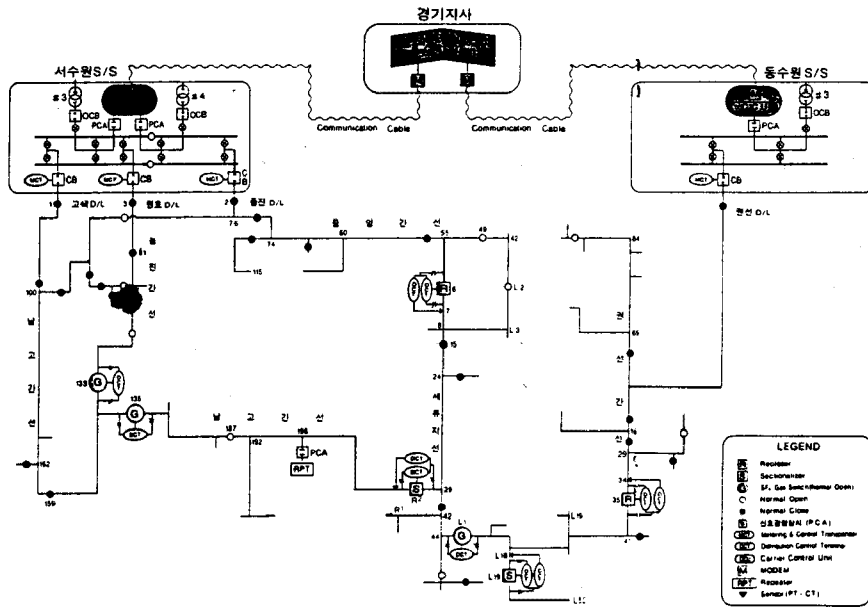


그림2. 시험 계통도  
Figure 2. Configuration of Field Test System

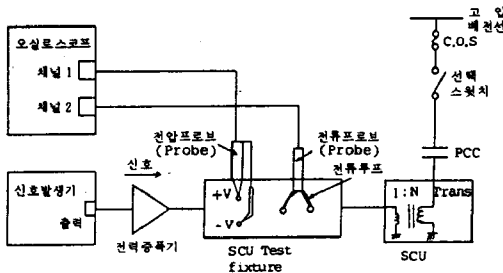


그림3. 임피던스 측정 회로 구성도  
Figure 3. Impedance Testing Block Diagram

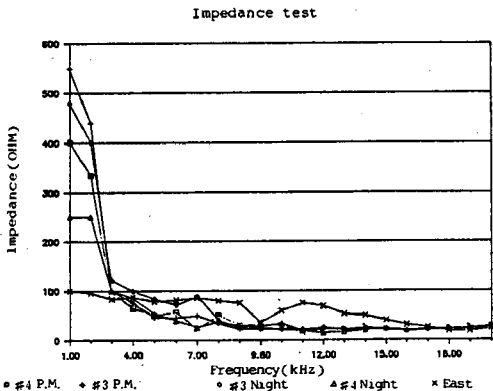


그림4. 주파수대별 선로 임피던스 값  
Figure 4. Impedance Value of Frequency Band

표4. 계절별 임피던스 변화량  
Table 4. Impedance Value of Season

계절	구분	서수원 S/S	동수원 S/S
봄(5월)		44 Ω	64 Ω
여름(8월)		30 Ω	37 Ω

### 3.2 배전선로 주파수 특성 시험

시험 대상 선로의 주파수 전송 특성을 측정하기 위한 시험 방법은 그림 5 와 같다. 신호발생기에서 전력증폭기를 통해 주입된 정현파의 출력은  $30 V_r$ 이다. 정현파의 출력 이 SCU의 정합트랜스 Tap 8번 (1 : 0.97)으로 주입되면 신호성분은 고압 캐패시터를 경유하여 고압 배전선에 전송된다.

반송주파수 1KHz에서 15 KHz 까지 주입된 신호레벨 ( $V_r$ )과 변전소에서 8km 떨어진 RPT 위치에서의 수신레벨 ( $V_R$ )을 Spectrum analyzer로 측정하였다. 측정된 배전선 반송의 주파수별 전송특성은 그림 6 과 같다.

그림 6에서 송신레벨  $V_r$ 는 주파수가 증가할수록 임피던스 부정합특성에 의해 점차 주입 신호레벨이 감소되고 있으며 수신레벨  $V_R$ 은 5KHz까지 거의 변화가 없으나 5KHz이상에서 파곡선형태로 비교적 큰 감쇄특성을 보이고 있다. 또한 주파수에 따른 잡음특성을 보면 주파수가 증가할수록 잡음이 적어지는 경향을 보이고 있다. 이러한 배전선 반송의 전형적인 특성은 반송 신호 주파수와 수신여유이득을 얻는데 중요한 데이터로서 활용될 수 있으며, 배전계통의 특성에 따라 차이가 있을 수 있다.

본 실증시험결과, 5KHz이상에서 S/N 비가 10dB 이상 확보되고 있으며, 15KHz 이상까지 배전 반송용 주파수대로 활용할 수 있음을 보이고 있다.

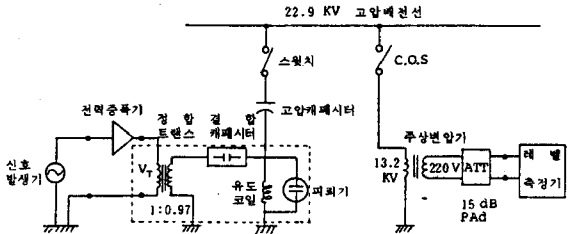
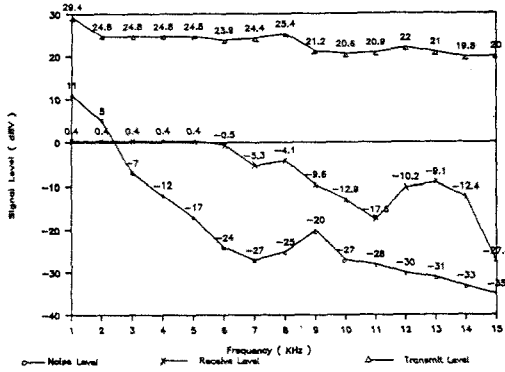


그림5. 신호전송 특성 측정회로  
Figure 5. Signal Characteristic Testing Block Diagram



1. 측정장소: 서수원 S/S # 3 Bank (변전소구내) 와 남고간선 196호 (RPT설치장소)

그림6. 주파수별 전송특성  
Figure6. Transmission Characteristic of Frequencies

### 3.3 9.6KHz 반송주파수 송수신 신호레벨 측정

실증시험 시스템은 9.6KHz의 반송주파수를 사용하고 있다. 9.6KHz 반송주파수의 송신출력은 그림 5의 신호 발생기 대신 CCU의 출력을 직접 접속하고 수신측에서 측정하였다. 그림 7은 CCU의 정상적인 출력 신호레벨을 보인 것이다. 스펙트럼상에 9.6KHz 마커 (marker)는 29.4 dBV이므로 측정기보호를 위해 사용된 15 dB 감쇄기 (PAD)의 값을 보상하면 44.4dB(166V)이다.

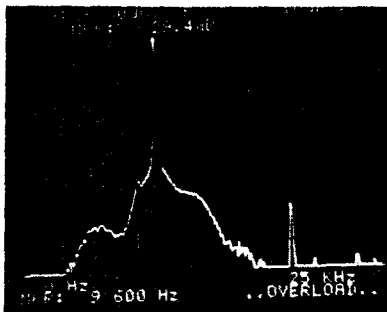


그림7. CCU 출력신호 레벨  
Figure7. CCU Power Signal Level

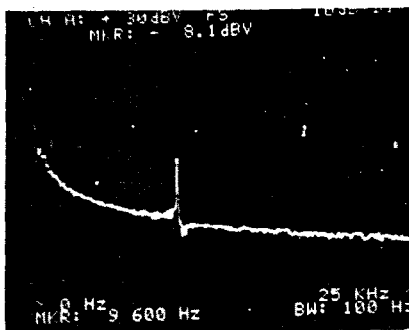


그림8. 단말장치 수신레벨(남고196호RPT)  
Figure8. RTU Receiving Level (NK196 RPT)

또한 배전선로측 단말장치 연결점의 수신레벨을 그림 8에 보였다. 단말장치 지점에서의 수신레벨인 -8.1 dBV는

실제적으로 감쇄기를 보상하면 6.9 dBV로서 송신과 수신 레벨의 신호감쇄범위는 31.5dB로 나타나고 있다. PSK 반송주파수의 측정오차가 2dB를 감안하고 그림 6의 특성과 비교하면 약 4dB의 차를 보이고 있으나, 이것은 각 장치의 결합손실이나 측정시간의 차이에서 기인하는 것으로 판정할 수 있다. 한편 배전 변압기의 손실을 30dB로 하면 7.5dB가 실제 선로상에서 손실값을 나타낸다. 이것은 km 당 0.9dB 정도의 손실을 나타내고 있으며, 변전소 인출부측의 지중케이블 결합손실을 감안하면 단일 가공 배전선로에서는 이보다 적은값을 가지게 된다.

### 3.4 잡음특성 측정

잡음 특성의 측정은 신호전송 특성시험과 동일한 방법 (그림 5)으로 시행하며, SCU 유기 잡음 특성은 SCU의 출력단자에 감쇄기를 연결하여 측정하였다. 실제 측정된 대표적인 잡음 스펙트럼은 그림 9와 같다. 그림 9에서 보이는 바와같이 저주파부근은 잡음 레벨이 높고 고주파 부근일수록 잡음이 적어진다. 이러한 현상은 부하단에서도 같은 특성을 보이는데 전원측의 고주파 성분 등에 의한 잡음과 대규모 공장지역의 특수 환경에서의 잡음이 복합되어 나타나는 현상으로 추정된다.



그림9. 잡음 분포  
Figure9. Noise

한편, 부하단측의 잡음분포 스펙트럼은 그림 10과 같다. 일반적으로 부하단측은 상대적으로 잡음레벨이 높은 것으로 되어 있으나 본 시험측정에서는 오히려 적은 레벨을 보이고 있다. 이러한 원인은 동일 시간대를 비교하여야 정확하게 판단할 수 있지만, 서수원 변전소부근의 대전력 고압수용가 영향이 전원단측으로 파급되는 영향으로 추측된다.

계절별 잡음특성을 보면 여름 (7월), 겨울 (2월), 봄 (5월)의 순으로 약간씩 차이를 보이고 있으며 특히 상가와 사무실이 밀집되어 있는 서수원 # 4 계통의 잡음분포가 큰 레벨을 나타냈다. 표5는 계절별로 측정된 9.6 KHz 대의 잡음 분포 평균값이다.

이와같은 잡음분포특성은 부하특성에 따라 종속적으로 변화되는 특성을 가지고 있다. 그러므로 임피던스 특성과 함께 S/N 비 유지를 위해서 장기적인 (1년이상) 측정 분석이 계속되어야 한다.

주파수 스펙트럼상에서 나타나는 레벨을 비교하여 보면 9.6KHz 부근보다는 12.5 KHz 대에서 더 적은 값을 갖는데 차후 반송주파수 선정시 검토해 볼 필요가 있다.

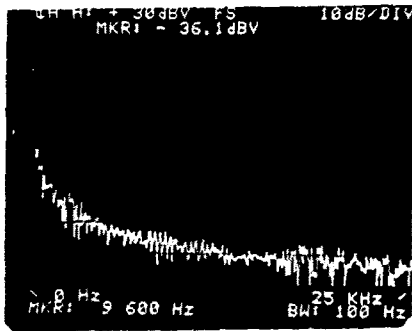


그림10. 부하단측 잡음분포(세류6호)  
Figure10. RTU Noise (SL No.6)

표5. 계절별 잡음 특성(9.6KHz)  
Table5. Noise Level of Season (단위: dBV)

측정계절	서수원#3	서수원#4	동수원#3	부하단
2월	-23	-24	6.2	-39
5월	-25	-19	2	-41
8월	-21	-17	0	-36

### 3.5 지중배전선로특성시험

지중선로 특성 시험을 위한 시험 계통도를 그림 11에 나타냈다. 지중케이블은 차폐케이블로서 정전용량의 증가로 인한 손실이 크게 된다. 이러한 특성을 비교하기 위해 전력용 차폐케이블의 특성을 고찰하였다. 주파수에 따른 감쇄특성을 그림 12에 나타냈고, 정전용량은 약 0.2μF/mile의 경우이며, 이 값들은 주파수가 0~100 KHz까지의 대역내에서 선로장이가 약 3 km인 조건하에 측정된 값들이다. 정전용량은 가공에서 사용할 때보다 약 8NF/mile 증가된 값이고 51Ω으로 종단된 상태에서 정재파의 최적 방사효과를 가지며, 위상 지연 특성은 주파수에 따라 선형적으로 비례하게 된다. 또한 그림13에 상대접지 (phase to ground) 감쇄와 Surge 임피던스 특성을 나타냈다.

주파수대역 (30~90 KHz)에서의 감쇄가 선형적으로 감소하기 때문에 DLC 방식의 반송주파수 9.6 KHz에서는 대략 손실이 0.5dB/mile 정도로 유추할 수 있다. 특히 서지 (Surge) 임피던스 ( $Z_0$ )는 약 25Ω정도이므로 동축케이블의 저항 (50~70Ω)은 변압기를 이용하여 정합시켜야 하며, 결합 콘덴서가 큰 값을 가질 경우 결합손실과 동조임피던스를 최소화하도록 한다. 결합손실은 단일 주파 동조장치에서는 약 3~5dB 정도를 갖게 된다.

시험선로에 적용된 지중 전력 케이블의 제원은 표6과 같으며, 9.6KHz 배전 반송주파수에 따른 측정데이터 값은 표7과 같다. 그림 14는 여의도 국민은행 체육관에서 측정된 단말기의 수신신호 레벨이다.

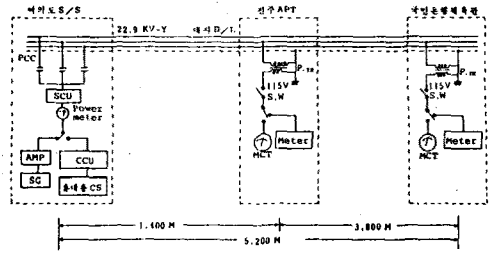


그림11. 여의도 변전소 시험 계통도  
Figure11. Underground Cable Field Testing System

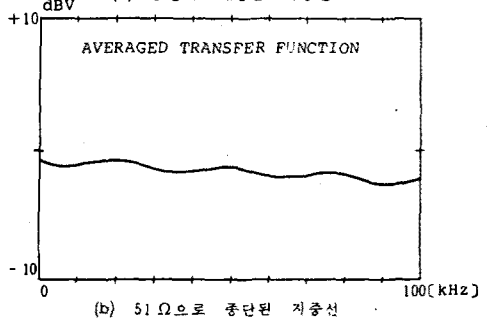
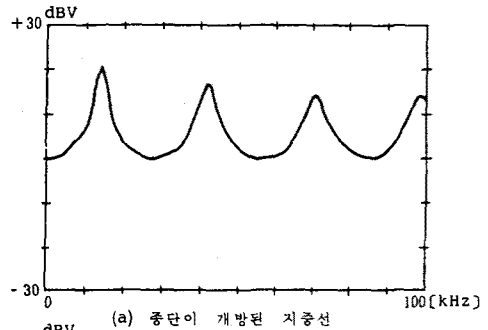


그림12. 주파수별 감쇄 특성  
Figure12. Attenuation of Frequency Band

표 6. 지중선로 특성  
Table 6. Underground cable Spec.

구분	내역
사용선종	22.9KV-Y(CN/CV)
공칭단면적	325 mm <sup>2</sup>
도체저항	0.0565 Ω/Km
정전용량	0.38 μF/Km
절연저항	1,500 MΩ/Km

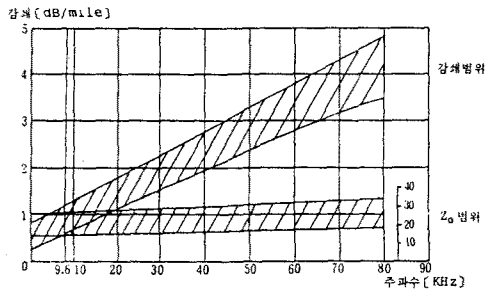


그림13. 상대접지간 감쇠와 Surge Impedance  
Figure13. Phase to Ground Attenuation and Surge Impedance

지중 전력케이블에서는 케이블의 정전용량 때문에 가공선로보다 단위길이당 자체손실이 크다. 앞에서 기술된 바와 같은 유사한 전력케이블과 비교하여 볼 때 단일선로에서 측정 한 값은 0.3dB/Km로 나타나 있으나, 반송시스템으로 구성된 전송로 손실은 이값에 비해 아주 큰값을 보이게 된다.

표 7 에서 km 당 선로손실값은 5dB 정도로 나타나고 있으나, 이값은 분기손실, 결합손실, 그리고 측정오차를 포함한 값으로서 자체 선로손실보다 10배 이상의 선로 손실을 갖게 되며 앞의 가공 배전선로보다는 5배 이상의 큰 값을 가지나, 잡음 분포특성이 가공보다 평균적으로 20dB 이하를 보이고 있다. 따라서 동등한 출력조건으로 S/N 비 유지가 가공보다 훨씬 유리하고 수신여유가 있으므로 시험계통과 같은 한정된 지역의 지중구간에서 충분한 실용화능력을 갖고 있다.

표7. 지중선 시험 데이터  
Table7. Result of the Field Test

항 목	여의도	진주	국민은행	비 고
선로 공장	-	1.4 Km	5.2Km	변전소 간선길이
선로 손실	-	7.5dB	24.5dB	9.6KHz 기준
단말기조작시험	-	양호	양호	MCT-250
단말기송신출력	28.5 dBv	14.2dBv	-1.7dBv	선로접속
잡음특성	-37.9dBv	-36.9dBv	-41dBv	변압기 2차측

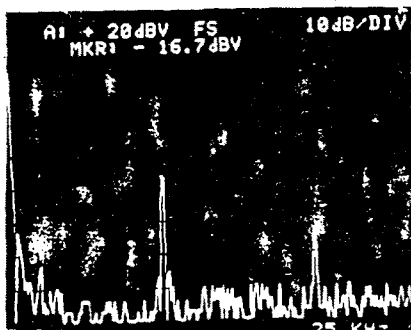


그림14. 지중에서의 수신레벨(국민은행)  
Figure14. Receiving Level of Underground Cable (bank)

#### 4. 결 론

배전선 반송로에 대한 전송특성 시험이 본연구전예의해 처음 시도 되었다.

ADS의 효율적인 운용을 위해서는 변전소내의 SCU 탭을 분기에 한번씩 조정해 임피던스 정합을 유지해야 하고 반송 주파수 대역은 국내 법규 문제로 10 KHz 이하로 운용하고 있지만 서술하였듯이 15 KHz 대역까지는 양호한 S/N 비를 유지 할 수 있으므로 앞으로 활용성이 충분하다고 판단되며 지중에서는 한정된 지역에 사용가능함을 알 수 있다. 차후에는 진폭, 위상, 군지연에 대한 주파수 특성과 펄스 응답 특성 또는 채널 성능을 평가하기 위한 Eye diagram 에 대한 시험뿐만 아니라 저출력송신과 잡음에 강하고 전송속도를 높이는 새로운 통신시스템에 대한 연구가 계속 되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 1) "Field Demonstration of Communication Systems for Distribution Automation Volume 3", EPRI EL--1860, Vol.3, Project 850--30/31, Final Report, June, 1981.
- 2) "Field Demonstration of Communication Systems for Distribution Automation--phase 2", EPRI EL--3727, Project 850--32, Final Report, Nov., 1984.
- 3) "EMETCON TM 42--6000A, 6003A, 6004A, 6005A", Westinghouse, Oct., 1983.
- 4) W. E. Blair, V. T. Rhyne, "Communication Systems for Distribution Automation and Load Management Result of EPRI/DOE Research", IEEE. PAS-102, No. 7, July, 1982.
- 5) S. Kato, T. Naito, H. Kohno, H. Kanwa and T. Shoji, "Computer-Based Distribution Automation", IEEE. Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 1, PP. 265-271, Jan., 1986.
- 6) Akira Miyahara, Atsumi Watanabe, "Development and Field Test on A Distribution Line Carrier Communication System", IEEE. Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 3, PP. 28-34, July, 1986.
- 7) Fumil Aoki, Masahiro Noda, "Distribution Line Carrier System for Section Switch Telecontrol", IEEE/PES, 86 WM 229-9, Feb., 1986.
- 8) P. Burrascano, S. Cristine, "Digital Signal Transmission on Power Line Carrier Channels : An Introduction", IEEE/PES, 86SM377-6, July, 1986
- 9) R. C. Hemminger, L. J. Gale, J. B. O'Neal, "Signal Propagation Single Phase Power Distribution Lines at Power Line Carrier Frequencies", IEEE/PES, 86WM230-7, Feb., 1986
- 10) "배전계통자동화를 위한 원방감시제어 연구", 한국 전기연구소, 한전기술연구원 공동연구보고서, 1988,10.