

지하 전력 구내에서 신호 전송 시스템의 실현에 관한 연구

(A Study on the Implementation of Signal Transmission System
Within Electric Culvert)

晉達福* · 吳象基** · 崔成周*** · 羅菜東****

(Dal-Bok Chin · Sang-Ki Oh · Sung-Ju Choi · Chae-Dong Na)

요 약

본 논문에서는 지하전력구 환경하에서 통신신뢰도가 높고 확장성이 용이하며 복합전송(음성+데이터+영상신호)이 가능한 누설동축케이블을 전송 매체로하여 지하전력구내 신호전송시스템을 설계 및 설치하였다.

그리고 시험시스템에서 각종 전송특성시험을 실시하여 성능을 평가하였다. 음성신호의 경우, 전송손실 특성은 설계치보다 5~10(dB)정도의 수신레벨이 향상되었으며 통화 품질평가시험에서 통화강도가 3(QSA 값), 명료도가 4(QRK 값)정도의 양호한 특성을 나타냈다. 또한 데이터 및 영상신호 전송특성에 대한 감시제어기능시험에서는 98[%]의 통신성공율을 확보할 수 있었다.

그리고 전송로 및 시스템의 전송특성 측정결과에 의해서 중계기 없이 전송범위를 6(km)까지 확대할 수 있는 LCX통신시스템을 전력구내 종합관리 시스템의 기본 구성방법으로 제시하였다.

Abstract

This paper describes design and implementation of signal transmission system using LCX as communication media, which has characteristics of high reliability easy for expansion and complex transmission of voice, data and video signal in Electric culvert. In this system, we estimated system performance as result of variable transmission characteristics test. In case of voice signal, transmission loss characteristics improved 5~10(dB) than designed Values in received signal level. In the test of speech quality estimation, we obtained satisfactory result as speech intensity=3(QSA value), speech articulation=4(QRK value).

As for data and video signal transmission, communication success rates were 98[%] in monitoring and control functional test.

As a result of transmission characteristics test in transmission line and system, transmission range by LCX communication system without repeater can reach in 6Km.

This paper presents basic construction method using LCX communication system for total management in Electric culvert.

* 正會員：圓光大學校 電子工學科

** 正會員：韓國電氣研究所 電力電子研究部

*** 正會員：韓國電力公社 全南支社

**** 正會員：大宥工業專門大學 電氣科

接受日字：1993年 3月 23日

1. 서 론

지하전력구는 지하의 특수 환경과 장거리 터널 구조로 인하여 전파 불감현상에 따른 통신 불능과 고온 다습의 열악한 환경조건으로 지하 전력구 운용을 위한 각종 설비들의 고장이 빈번하고 누수 및 유해가스 발생으로 출입자의 안전 및 유지보수 관리에 어려움이 따른다. 따라서, 이와 같이 여러가지 운용상의 문제점을 해결하기 위해서 전력구에서의 통신(전력구내 및 외간의 통화) 및 원방 감시제어(운용설비의 상태 감시 및 제어, 환경상태 감시, 출입자 통제 및 주요 시설물의 영상 감시 등)를 효과적으로 수행할 수 있는 종합 관리 시스템의 개발이 필요하게 되었다.

그러나, 현재 구축되어 있는 지하 전력구의 구조는 단면적이 협소하고 굴곡이 많으며 송전선로로부터 유도전압¹²⁾의 영향을 받기 쉽다. 또한 작업자의 작업 장소가 일정하지 않고 이동을 해야 하는 여러가지 제약이 있기 때문에 통신방식 및 전송로 선정이 시스템 구성의 기본이 된다.

지하 전력구와 같은 터널 구조에서의 통신 방식은 유선방식과 무선방식을 고려할 수 있는데 설치비용에 따른 경제성 등을 고려하면 유·무선 특성을 동시에 수행할 수 있는 개방형 전송로를 이용한 유·무선 복합방식이 효과적이다.^{1), 2)}

이러한 개방형 전송로는 원하는 지점까지 안테나 선로를 설치함으로써 터널 구조나 환경 등에 장애를 받지 않기 때문에 이미 지하철 및 철도, 도로터널, 탄광의 갱도 등에서 인원의 안전 확보 및 설비운용의 효율화 측면에서 설치운영 중에 있다.^{3), 4)}

이와같은 것을 배경으로 전력구내 각종 데이터의 전송 및 업무연락 등의 음성통화를 위한 전력구 종합 관리 시스템의 통신선로는 복합통신(음성+데이터+영상)이 가능하고 전자계 형식이 방사전자계로 거리에 따라 전송 손실이 완만하게 감쇠하는 누설 동축케이블이 적당하다.^{5), 6)} 본 논문에서는 개방형 전송로인 누설 동축케이블을 이용한 전력구내 신호전송 시스템 구성에 있어서 가장 기본이 되는 LCX의 기본 특성을 조사하고, 측정 분석하여 통신 Network을 설계하였다.

그리고, 현장 시험을 통하여 통신 신뢰도 평가를 위한 신호전송 특성과 성능 시험의 결과를 제시하였다.

2. 누설 동축케이블(LCX)의 기본 특성

2.1 LCX의 구조

누설 동축케이블(LCX)의 동축케이블의 외부 도체에 주기적으로 슬롯 등의 전파누설 기구를 설정한 것으로 전파 누설 기구에 따라 분류되며 이러한 슬롯의 형태는 사용주파수 대역과 공간 방사 방향에 따라 설계된다.

LCX는 그림 1과 같이 외부 도체에 Slot가 설치되어 외부에 전자계를 형성하는 개방형 전송로로서, 동축케이블과 안테나의 성질을 동시에 갖고 있다.^{7), 8)}

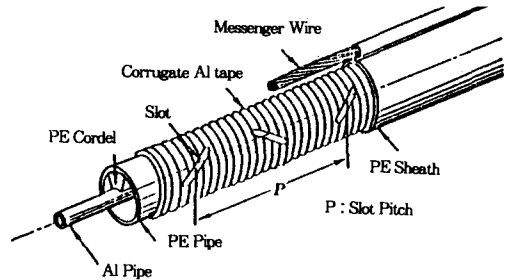


그림 1. LCX의 일반 구조
Fig. 1. Structure of LCX

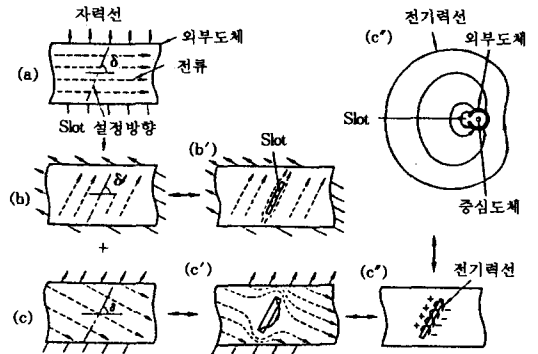


그림 2. LCX의 방사원리
Fig. 2. Radiating Principle of LCX

2.2 전파 방사 원리

LCX의 중심 도체와 외부 도체간에 신호 전압을 인가하면 각각의 도체에 전류가 흐르게 되는데, 외부 도체는 슬롯에 의해서 전류 분포 상태가 변화하여 전자계의 누설이 일어나게 된다. 그림 2에 방사 원리의 개념도를 나타냈다.⁸⁾

그림 2(a)의 전류와 자력선은 (b), (c)와 같이 슬롯 축방향과 이것에 직교하는 방향의 벡터(Vector)로 분해되는데, 이때 슬롯을 설정하면 (b), (c)에 대해서 전류 및 자력선의 분포는 (b'), (c')와 같이 된다. (b')의 경우 슬롯의 폭이 협소하기 때문에 전류는 슬롯에 의해 거의 흘러지지 않으며, 또한 도체 표면밀에 있는 자계는 표면에 거의 나타나지 않는다. 그러나 (c')의 경우 전류 분포는 큰 동요가 일어나며, 또한 자계가 슬롯의 축방향이기 때문에 도체면상에 누설이 일어나게 된다. 이때 도체에 흐르는 전류가 시간적으로 진동하고 있다면 도체면상에 누설된 자계에 의해서 (c'')와 같이 슬롯의 축방향과 직교하는 전계가 발생하게 된다. 이와 같은 원리에 의해 슬롯에 직교하는 전류성분은 슬롯면에서 전계와 자계를 발생시켜 케이블의 외부 공간에 전자장을 형성하는 파원이 된다. 그림 2(c'')에서는 케이블 단면내 E_θ성분의 분포를 전기력선으로 나타냈다.

2.3 결합 손실

LCX부근에 안테나가 있으면 케이블에서 방사된 전파를 수신할 수 있는데, 즉 LCX와 안테나의 결합이 생긴다. 이때 안테나에서 수신되는 전력을 P_r, 케이블내 전송 전력을 P_t라 하면 결합손실은 다음 식과 같다.

$$L_c = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

일반적으로 LCX에서 1.5(m)떨어진 곳에 위치한 반파장 표준 다이폴 안테나와 LCX간의 손실을 결합 손실이라 하고 있다. 자유공간에 직선으로 설치된 LCX의 방사파 전력 밀도는 LCX로부터 거리에 반비례한다.^{7), 9)} 그림 3에서 보면 42D LCX의 종류에 따라 결합손실은 50(dB)~80(dB)사이의 값을 갖는다.

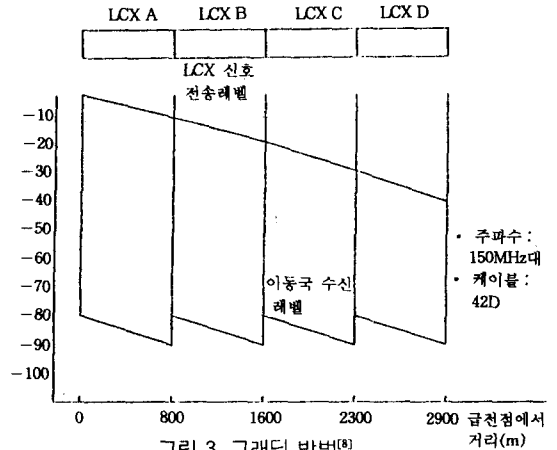


그림 3. 그래딩 방법⁸⁾
Fig. 3. Grading Method

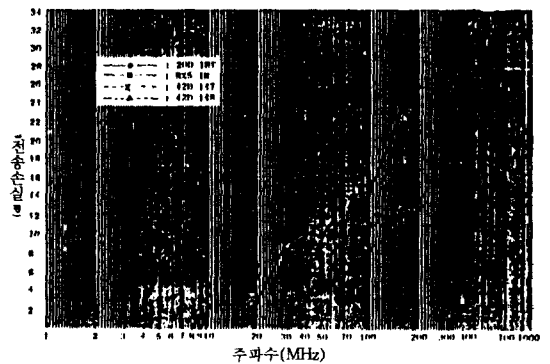


그림 4. LCX의 주파수별 전송손실
Fig. 4. Transmission Loss vs. Frequency

2.4 Grading

LCX의 한쪽 끝에서 신호 전력을 공급할 때 케이블과 일정한 간격을 갖는 안테나가 급전점에서 멀어지면 안테나에 수신되는 전력은 감소하게 되는데, 이것은 LCX의 전송손실에 의한 것으로 그림 3과 같이 결합 손실이 다른 케이블을 조합하여 전송 선로를 구성하면, 일정한 수신레벨을 유지하면서 전송구간을 확대할 수 있다.^{7), 8)}

3. 신호 전송 시스템 설계

3.1 주파수 선정^{11), 12)}

지하터널과 같은 전력구에 사용된 LCX 및 RCX 케이블도 일반 동축케이블과 같이 주파수에 따라 전송손실이 달라지기 때문에 음성, 데이

터 및 영상신호 등을 동시에 전송하는 복합통신 시스템을 설계하기 위하여 각종 개방형 전송로(42D-LCX, 20D-LCX, RX5-IR)의 주파수별 전송 손실을 측정하였다. 시험 캐리어 주파수는 1 [MHz]에서 1[GHz]까지로 향후 LCX 케이블을 지하 전력구내 각종 통신 시스템으로 사용할 경우에 시스템 설계 등의 참고 자료로 활용하기 위해 광범위한 주파수 대역에서 시험을 실시하였다. 여기서 측정치는 케이블 자체 뿐만이 아니고 포설 조건 등에 대한 손실까지를 포함한 것으로 그림 4는 각 개방형 전송로에 대한 주파수별 전송 손실을 나타냈다.

이러한 각종케이블에 대한 전송손실측정은 사용주파수에 대한 복합 통신시스템을 설계하기 위한 것으로 각종 정보에 대한 반송주파수는 다음과 같이 선정하였다.

음성신호전송에 있어서는 기존 VHF무전기 사용을 전제로 하였기때문에 160(MHz)대의 반송주파수가 선택되었으며 데이터 신호는 기존 데이터모뎀을 사용할 경우 사용주파수가 낮기 때문에 유도잡음전압에 의한 전송장애 등이 예상되므로 반송주파수가 높은 RF모뎀을 사용하는 것으로 하여 20~30(MHz)범위의 반송주파수를 선택하였다.

그리고, 영상신호에 있어서는 기존의 CCTV의 이용을 전제로하여 현재 CCTV에서 사용하는 각종기기 및 전송장치 규격에 의해 60(MHz)를 반송주파수로 선정하였다.

표 1은 이와같은 것을 근거로 전력구내의 신호 전송 시스템에서 전송해야될 각종정보(음성, 데이터, 영상신호)의 반송주파수 현황을 나타냈다.

3.2 전송로 구성

개방형 전송로인 LCX를 사용하여 안테나 선로를 구성하는 방법은 주어진 통신 구간에 단순히 LCX의 조합에 의해 구성하는 방법과 LCX안테나 선로의 일정 구간마다 양방향선로 증폭기를 사용하여 통화 영역을 확대하는 방법이 있다.^{8), 11)}

그러나 본 연구에서는 신호전송 시스템의 운영 결과를 토대로 향후 종합적인 전력구 정보 통신 시스템을 구축하기 위한 전송로 구성은 두가지방

법을 조합하였으며 케이블의 종류에 따라 2구간으로 구분하여 구성하였다. 그림 5는 이에 대한 구성도를 나타냈다. 그리고 본 신호전송 시스템에서는 국내 지하 전력구의 통신 시스템 시험운용이라는 측면에서 누설동축케이블을 사용하는 것을 기본으로 설계하였으나 일부 구간에서는 LCX전송로와 특성을 비교하기 위해 표면파형동축케이블(radiated coaxial cable : RCX)¹³⁾을 설치하였다.

표 1. 정보에 따른 반송 주파수

Table 1. Carrier Frequency vs. Informations

신호의 종류	기본주파수 대역	반송 주 파 수
음 성	0~3kHz	160MHz대
영 상	0~6MHz	60MHz
데 이 터	1200bps	25MHz, 30MHz

표 2. LCX회선 설계(기지국→휴대 이동국)

Table 2. Channel Design of LCX

구 간		기지국 →휴대이동국(A)	기지국 →휴대이동국(B)
기지국	송신기 출력 (10W)	+40dBm	+40dBm
	분배기삽입손실및기타	+8dB	+8dB
개방형 전송로 설	20D-18T LCX 입력	+32dBm	+32dBm
	20D-18T 및 RX5-IR	-49dB	-24dB
	42D-LCX(146, 147, 148)		-58dB
중계기	삽입 손실		-4dB
	중계기 이득		+27dB
결 합 손 실		-70dB	-60dB
휴대 이동국 수신 입력		-87dBm	-87dBm
수신기 최저 수신 감도		-113dBm	-113dBm
S / N 및 동작 이득 여유		26dB	26dB

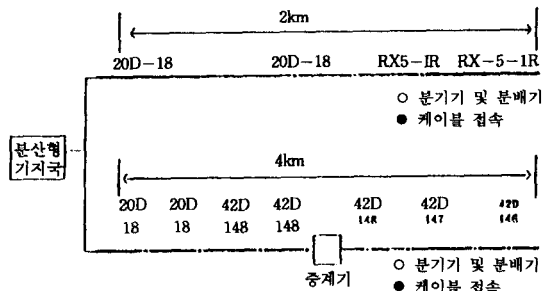


그림 5. 전송로 구성

Fig. 5. Constitution of Transmission Line

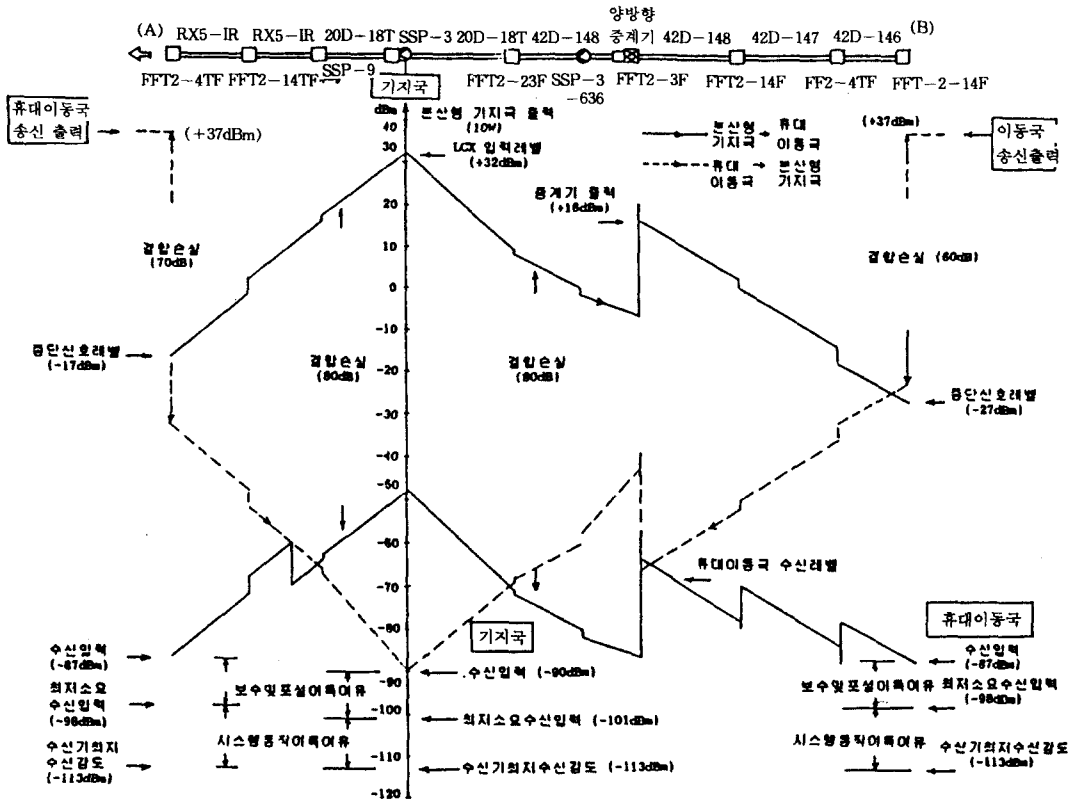


그림 6. LCX 전송시스템 구성 및 신호레벨 다이어그램
 Fig. 6. Constitution of LCX Transmission system and Signal level diagram

3.3 회선 설계

전력구내 통신은 고정 통신과 같은 정도의 회선 품질을 요구할 수는 없지만 전력구내 사고시 긴급 연락, 인명의 안전, 재산 보호 등의 측면에서 고려할 때 전력구내 통화 시스템을 중요한 연락 수단으로서 통신 불능 지역을 최소화시키고 통화 S/N비를 향상시켜야 하는데 시스템 설계에서는 최저 20(dB) 이상의 S/N비가 요구된다.^{(10),(11)}

이와같은 것을 배경으로 본 논문에서는 음성신호에 대한 기지국에서 휴대 이동국간의 무선회선 설계를 중심으로 하였으나, 데이터나 영상신호의 경우도 무선회선 설계와 같이 각종 기기 및 케이블의 전송손실 등의 파라미터를 고려하여 회선설계를 하게 된다.

표 2는 기지국에서 휴대 이동국 방향의 무선회선 설계로서 기지국 출력(+40(dBm))(10W)에 공용기 및 필터 등의 고주파부 손실, 분배기 삽

입손실 및 LCX까지 배선된 연결선 손실 등을 고려하면 LCX의 입력 레벨은 +32(dBm)이다. 그리고 LCX손실 및 중계기 이득 등을 고려하면 휴대 이동국 수신입력은 RX5-IR 및 LCX구간에서 모두 -87(dBm)이상이 된다.

그리고, 반대방향인 휴대 이동국에서 기지국간의 회선 설계도 표 2와 같은 절차에 의해 설계가 되며 휴대 이동국의 송신기 출력(+37(dBm))(5W))에 LCX 및 RX5-IR의 결합손실 및 전송손실과 중계기 이득 등을 고려하면 분산형 기지국의 수신기 입력은 -90(dBm)이상이 된다.

이상과 같이 설계한 전력구내 시험 통화 시스템의 설계 표준 레벨 다이어그램은 그림 6과 같다.

3.4 시스템 구성

전력구 통신 시스템 구성에 있어서는 복합 전송이 가능한 누설 동축케이블(LCX)을 사용하여

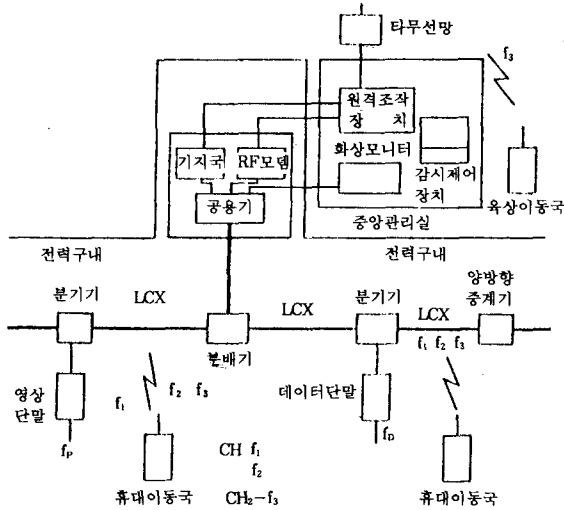


그림 7. 전력구 복합 통신 시스템의 기본 구성도
 Fig 7. Basic Constitution of Integrated Communication System Within Electric Culvert

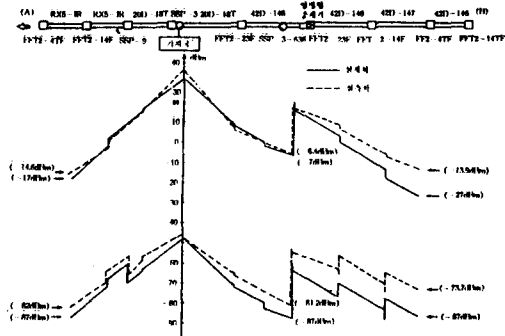


그림 8. 설계치와 실측치의 비교
 Fig 8. The Comparison of Design Value and Measuring Value

감시 제어에 필요한 데이터 신호, 출입자 감시를 위한 영상 신호 및 음성신호를 전송할 수 있도록 구성하였는데 그림 7은 이에 대한 구성도이다.

4. 시험 측정 및 결과

4.1 음성신호

음성신호 전송에 대한 기본적인 특성은 개방형 전송로의 전송손실과 휴대 이동국과의 결합손실로서 이 특성 시험에서는 음성신호 주파수인 169.610(MHz)에 대한 기본특성을 측정하였다.

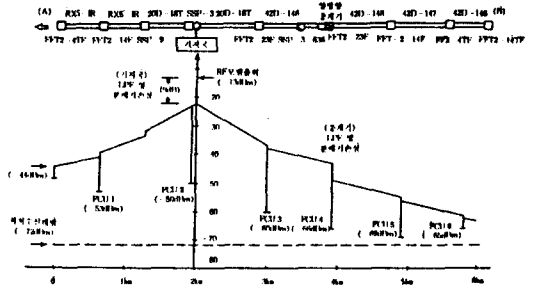


그림 9. 데이터 신호 전송 레벨 다이어그램
 Fig 9. Level Diagram of Data Signal

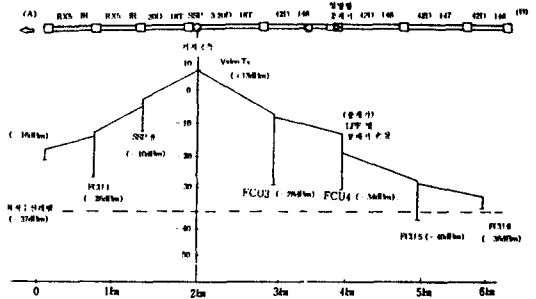


그림 10. 영상신호 전송레벨 다이어그램
 Fig 10. Level Diagram of Video Signal

그림 8은 표 2와 같이 기지국 출력이 40 (dBm)(10W)이고, 중계기 이득이 30(dB)인 중계기를 사용하여 회선설계를 했을 때 개방형 전송로 및 휴대 이동국간의 음성신호 전송레벨과 시험 시스템구간에서 전송손실 및 결합손실을 포함한 신호레벨을 전계강도 측정기로 측정한 레벨 다이어그램을 나타냈다.

그림 8에서 회선설계치(실선)와 실측치(점선)을 비교해 보면 최종 수신단에서 신호레벨이 설계치보다 +5(dBm), +13(dBm)정도 높게 수신된다.

4.2 데이터 신호

개방형 전송로(LCX 및 RCX)에 감시 및 제어 데이터를 전송하기 위해서 분산형 기지국에 RF모뎀을 설치하여 30(MHz)대 반송 주파수로 전이중(Full duplex) 통신을 하는 데이터 전송 시스템을 구성하여 각 제어단말장치 구간에서 데이터 전송 레벨을 측정하였다. 그림 9는 시험 시스템에서 출력 레벨이 -13(dBm)인 RF모뎀을 사용

표 3. 정보 종류별 개방형 전송로의 전송손실 (dB/km)
Table 3. Transmission Loss of Open type Transmission Line

종류	RX5-1R	20D-18T	42D-147
음성신호 (170MHz)	19.5	23	13
영상신호 (60MHz)	12	12	7
제어데이터 (30MHz)	8	10	6

했을 때 개방형 전송로 상의 신호 레벨과 각 제어단말장치를 설치하기 위해 사용한 신호분배기의 삽입손실을 고려한 신호 레벨 다이어그램을 나타냈다.

4.3 영상 신호

전력구내 출입자 감시를 위해 설치한 감시용 카메라의 영상신호를 개방형 전송로로 전송하기 위해서는 영상 변조기가 사용된다. 영상 변조기 출력 레벨을 120(dB) μ V(+13(dBm))이고, 출력 주파수는 54~300(MHz)중에서 선택할 수 있는데 실증 시험 시스템에서는 60(MHz)를 영상신호 반송 주파수로 선택하였다.

그림 10은 실증 시험 선로에서 +13(dBm)출력을 갖는 신호 발생기를 사용하여 각 제어단말장치 설치점에서 측정된 영상신호 수신레벨을 나타냈다.

4.4 측정 결과 및 분석

4.4.1 개방형 전송로 특성 시험

개방형 전송로의 특성 시험은 신호전송 시스템의 효율적 이용과 향후 전력구 종합 정보 통신 시스템의 구성이라는 전제하에 실시하였는데 각 반송 주파수에 대한 전송손실 측정 결과는 표 3과 같다.

설치 환경이 복잡하고 주위에 금속체 등이 설치되어 있는 전력구내에서는 표면파 전송 형태를 갖는 RX5-1R 케이블의 사용에 많은 제약을 받는다. 그리고 LCX케이블 중에서 20D-LCX는 전송손실 등이 커서 시스템 구성시 선로 증폭기 등을 많이 사용하여야 하는 문제점이 있다. 그래서 향후 시스템을 확장할 때는 시스템 구성면에서 유

리한 42D-LCX 케이블을 사용하는 것이 바람직하다.

4.4. 시험 시스템의 전송 특성

시험 시스템의 전송특성 측정은 음성신호, 데이터 신호 및 영상신호의 반송 주파수에 대한 전송손실을 측정하였는데 측정결과를 분석하면 다음과 같다.

(1) 음성신호

개방형 전송로의 전송손실은 설계치보다 LCX 구간에서 13(dB)이상, RCX구간에서 2(dB)이상 향상되었으며, 결합손실을 포함한 휴대형 수신기의 수신신호 레벨은 LCX구간에서 13(dB), RCX구간에서 5(dB)정도 향상되었다.

(2) 데이터 신호

데이터 신호의 전송에 있어서는 최저수신레벨이 -72(dBm)인 제어단말장치를 사용하기 때문에 거의 일정 범위의 수신신호를 유지하기 위해 개방형 전송로상에 부등 분배기를 설치하였다. 이와 같이 부등분배기의 출력단에서 측정한 결과에 의하면 4km정도까지는 중계기 없이 전송이 가능하나 통신신뢰도 등을 향상시키기 위해서 일정한 S/N비를 유지시킬 경우에는 전송범위가 약 3km정도 제한된다.

(3) 영상신호

영상신호는 최저수신레벨이 -37(dBm)인 영상처리 단말장치를 사용하였기 때문에 이것을 근거로 각 분배기의 수신레벨을 측정한 결과 1개소에서 최저 수신레벨이 하가 되었다. 이 경우는 분배기의 삽입손실이 적은 것을 사용하면 수신가능하나 일정한 S/N비를 유지할 경우에는 전송범위가 3km이하로 축소된다.

이상과 같은 측정결과를 종합하면 음성신호의 경우 LCX케이블과 이득이 30(dB)인 중계기를 사용하면 전송거리는 4(km)까지 가능하며 데이터 영상신호의 경우는 일정한 S/N비를 고려할 경우 전송거리는 약 3(km)정도임을 알 수 있었다.

본 논문에서 실시한 시험측정을 단일 LCX케이블에 각종 정보를 복합하여, 동시에 전달하기 위한 전력구 종합관리 시스템의 구축방안을 제시하기 위한 것으로 각종 데이터를 분석한 결과, 데이터 및 영상신호의 전송거리가 중계기 없이 3(km)로 제한되기 때문에 음성신호의 경우에도

중계기를 사용하지 않고 일정한 수신레벨변동(10dB)을 유지할 수 있도록 42D-LCX 케이블을 사용해 Grading방법으로 전송 시스템을 구성하면 약 3(km)까지 전송거리를 확보할 수 있다.

그래서 향후 전력구내에서 복합전송을 하기 위한 종합관리 시스템의 전송범위는 6(km)구간을 기본단위로 하여 구성하는 것이 경제적이고 음성통화의 고품질화를 유지할 수 있다.

5. 결 론

지하 전력구내에서 LCX 케이블을 사용한 통신 시스템은 케이블 자체의 방사특성을 이용하여 방사대역에서는 음성신호를 전송하고 비방사 대역에서는 데이터 신호를 전송하는 복합 전송이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 그리고 시험 시스템의 측정 결과에 의하면 음성신호의 경우 6(km)정도, 데이터 신호의 경우 중계기 없이 6(km)정도의 전송구간을 확보할 수 있었다. 그러나 포설조건 및 주위 환경 등에 의해 특성이 변화될 수 있기 때문에 시스템의 설계시에는 세심한 검토가 요구된다.

시험시스템을 설치하여 성능시험을 실시한 결과를 종합하면 다음과 같다.

i) LCX케이블의 전송특성에서 음성신호의 경우 42D-LCX케이블의 전송손실이 -13dB/km 로 다른 LCX케이블보다 낮아서 전송시스템 구성에 유리하다.

ii) 시스템의 전송특성에서 음성신호의 경우 최종단의 휴대용 수신기의 수신신호레벨이 설계치보다 5(dB), 13(dB)향상되어 휴대국 상호간의 강도 및 명료도가 양종단을 제외하고는 3/4(통화 강도/명료도)로서 양호한 특성을 나타냈다. 그러나, 표면과 특성을 갖는 RCX케이블 종단에서는 전력구내 구조물등의 영향때문에 수신기 감도가 저하되는 특성을 나타냈다.

iii) 데이터 및 영상신호에 관련한 감시제어 기능시험에서는 초기설치시 오결선 및 대상 설비의 오동작을 제외하면 98(%)이상의 통신 성공율을 갖어 왔다.

iv) 그리고 각종 데이터 측정분석 및 결과에

의해서 향후 지하전력구 종합관리 시스템은 음성통화의 고품질화와 경제적인 측면에서 중계기를 사용하지 않고 전송범위를 6(km)까지 확대할 수 있는 42D-LCX케이블을 사용한 시스템 구성이 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

향후, 지하전력구와 같은 장소가 협소하고 긴 터널구조인 유사환경(열차 및 도로터널통신구)에 있어서 업무연락 및 감시제어 데이터를 전송하기 위한 통신시스템을 구성할 경우에 이와같은 LCX방식의 적용을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 倉内憲孝 “開放形線路 とその 應用”住友電氣(株)資料.
- 2) Koichi Mikoshiba, “Open Type Transmission Lines and Their Applications to Portabel Wireless Radio and TV-Transmission” Hitachi Cable Co., Ltd. Technical Report. 1972.
- 3) 吉澤昭南 外 “東武鐵道列車無線 LCX” 古河電工時報 第67號 pp. 211~215.
- 4) Toshio Suzuki, Tetsuro Hanazawa, “Design of a Tunnel Relay System with a Leaky Coaxial Cable in an 800-MHz Band Land Mobile Telephone System” IEEE Transactions on Vehicular Technology VOL. VT-29, NO. 3. pp. 305~316, August 1980.
- 5) 新谷建 外, “廣帶域漏 えい 同軸 ケーブル”大日本電線時報 第47號 pp. 1~10, 1971.
- 6) 秋守一 外, “長大 トンネルにおける 漏洩同軸 ケーブル 布設工事” 昭和電線 レビュー VOL. 26, NO. 2, pp. 30~38, 1976.
- 7) 進藤俊光 外, “漏 えい 同軸 ケーブル의 特性” 大日本電線時報 第60號 pp. 1~9, 1975.
- 8) 岸本利彦 外, “LCX 通信 システム” 電子通信學會編, 1985.
- 9) 渡邊壽夫 “新幹線 の 電子制御通信 システム” 電子通信學會編, 1982.
- 10) 福住和夫 外. “自動車電話 トンネル 内不感地對策方式 設計” 通研實用化報告 第28券 第3號 pp. 517~535, 1979.
- 11) 尾岐昌也 外, “洞道監視 システム の 研究” 中部電力技術研究報告書 情報制御(研) NO. 11, 1987.
- 12) 이범석, 오상기 외 “지하 전력구 보안통신 및 감시제어 시스템 개발 연구” 한국전력 및 전기연구소 공동 연구 보고서, 1989.
- 13) Andrew Corp, “RADIAX Slotted Coaxial Cable” Andrew Caralog pp. 258~261, 1988.