

논문 2008-45TC-1-4

지하공간에서의 이동통신 셀 설계에 관한 연구

(Optimized Design of Mobile Communication Antenna In the Underground Area)

오 성 균*

(Sung-Kyun, Oh)

요 약

전파가 도달하지 않는 지하 공간에서는 전파를 증계해주는 증계기가 필요하고, 전파를 방사하기 위한 안테나가 필요하다. 지하공간에서 방사 형태에 따라 안테나 방식과 LCX (Leakage Coaxial Cable) 방식 또는 RCX(Radiax Coaxial cable)의 두 종류가 있으며, 설치환경 및 주파수 등 용도에 따라 선택이 틀려질 수 있다. 일반적으로 이동통신에서 주로 많이 사용되고 있는 주파수가 비교적 높은 (500MHz대역이상)에서는 안테나 방식을 적용하고, FM, T-DMB, 소방무선, 지하철 자가통신망 등 주파수가 낮은 대역(500MHz이하)에서는 LCX방식을 적용하는 것이 효율적이라고 볼 수 있다. 증계망의 설계는 자유공간손실, LCX의 결합/전송 손실의 이론 바탕에서 셀 설계를 할 수 있으며, 무엇보다 필드에서의 실측 실험치의 데이터에 의하여 셀 설계가 가장 현실에 적용하기 적합한 방법이라고 할 수 있다.

Abstract

In the signals-shadowed areas, In order to providing the suitable signals reception level repeaters are used for relay the signals. Repeater receives the weak signals and amplifies it up to required power level, The amplified signals get radiated by the various methods. Both antenna distribution and LCX (Leakage Coaxial Cable) are typical methods in the repeater and BTS signals radiation. Their applications are depended on the environment condition and frequency band. Generally the antenna distribution are used for the mobile telecommunication networks which use the higher frequency band than 500MHz. On the other side, LCX distribution is suitable to the frequency band under 500MHz. The network plan of repeater in FM, T-DMB, Fire Radio and Internal subway communication network are the typical LCX application fields. Cell planning with repeaters are based on the free space loss, LCX connection loss and actual field data. The actual field data can be the most important factor to design the network planning.

Keywords : LCX (Leakage Coaxial Cable), RCX(Radiax Coaxial cable),T-DMB(Terristrial - DMB)

I. 서 론

지하공간(지하철, 터널, 인 빌딩 등)에서는 지상과 달리 전파가 도달하지 않기 때문에 전파를 증계해주는 증계기가 필요하고, 증계기에 연결되어 전파를 복사하는 안테나가 설치된다.

안테나는 복사패턴에 따라 야기(Yagi), 옴니(Omni), 패치(Patch) 등으로 분류할 수 있고, 안테나 매체에 따라 안테나 방식과 LCX(Leakage Coaxial Cable) 또는 RCX (Radiax Coaxial Cable)으로 분류할 수 있다. 안테나 방식과 LCX방식은 주파수 및 설치환경 등에 따라서 장, 단점을 가지고 있으나 명확하게 사용용도에 따라서 정의 되어 있지 않다. 또한 안테나의 전송손실은 이론적으로 오크라 모델, 하타모델 등 공식으로 이론화 되어 있지만 정확하게 환경에 적합하지는 않다. LCX에 의한 전송 솔루션 또한 LCX의 규격화된 전송손실, 커플링 손실에 대한 규격만 정의 되어 있고 설계에 대한

*정회원, 고려대학교 컴퓨터정보통신대학원
(Korea University ,Computer Communication of Graduate school)
한국전파기지국 기술연구소
(Krtnet R&D Center)

접수일자: 2007년12월5일, 수정완료일: 2008년1월15일

방법과 이론은 정의 되어 있지 않다. 본 논문은 지하공간에서의 안테나와 LCX에 의한 솔루션을 어떻게 선택하고 어떻게 셀 설계를 하는것이 실제 환경에 가장 근접한 설계인지를 이론화 해보고자 한다. 안테나 방식은 복사공간이 충분하게 열려있는 환경에서 많이 사용되며, LCX 방식은 케이블 자체의 슬롯(slot)에서 수평/수직으로 전파가 누설되어 복사되기 때문에 비교적 복사공간이 좁은 환경에서 적합하게 많이 사용된다. 지하공간에서 안테나 방식은 거의 모든 이동통신에서 사용하는 방식으로 셀룰라, PCS, WCDMA, 와이브로 등의 파장이 짧고 높은 주파수에서 사용하고 있으며, FM, 소방무선, TRS, 지하 자가망 등의 저주파 대역에서는 LCX 방식을 많이 적용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 지하공간에서 이동통신 중계망 최적화 설계를 위한 안테나의 종류와 구조에 대해서 소개하고, 중계망의 설계 및 최적화 시 필요한 설계방법에 관하여 제안한다.

본론의 II절에서는 안테나 방식과 LCX 방식을 비교하여 설명하고, 지하철에서의 T-DMB 서비스 설계를 위한 전파시험으로 방식의 결정을 하는 예를 들어 설명한다. III절에서는 LCX(또는 RCX)의 구조, 규격, 복사패턴, 시험방법, 시험결과에 대해서 정리하였으며, IV절에서는 지하철에서의 LCX를 안테나 매개체로 하는 통신서비스 시설현황을 소개하고자 한다. V절에서는 LCX(또는 RCX)에 의한 지하 중계망을 설계하는 방법을 예를 들어 지하 중계망의 최적화에 필요한 설계를 정의한다.

II. 본 론

LCX는 영문해석 그대로 케이블에서 전파가 누설되어 복사하는 케이블 형태의 안테나를 말하며, Radiax Cable이라고 하기도 한다.

2.1. LCX의 구조 및 복사패턴

[그림 1],[그림2],[그림3] 와 같이 표면 내부 절연체안의 Inner Conductor에서 Outer Conductor 슬롯으로 전파가 표면의 수평으로 방사되는 구조를 가지고 있다

LCX의 가장 큰 장점은 터널 등의 굴곡이 심한 환경에서 가장 효율적으로 전파를 복사할 수있다는 것이다. [그림 4]의 위 그림에서와 같이 굴곡이 심한 터널에서 안테나는 고르게 전파를 복사하기 어려워 더욱 수신 전계강도가 위치마다 상이하여 수신감도가 좋지 못할 수 있다.

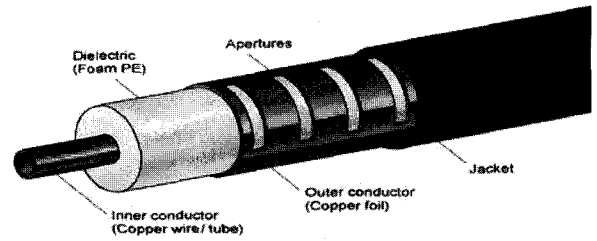


그림 1. LCX(Radiax) 케이블의 구조
Fig. 1. Structure Of LCX(Radiax).

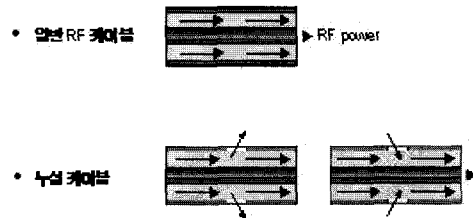
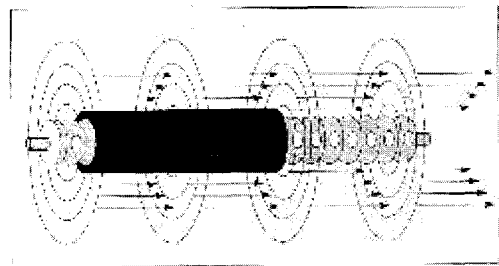


그림 2. LCX(Radiax) 케이블의 전파 복사
Fig. 2. Radio Wave Radiation of LCX



그리 3. LCX(Radiax) 케이블의 전파 복사패턴
Fig. 3. Radio Wave Radiation pattern of LCX

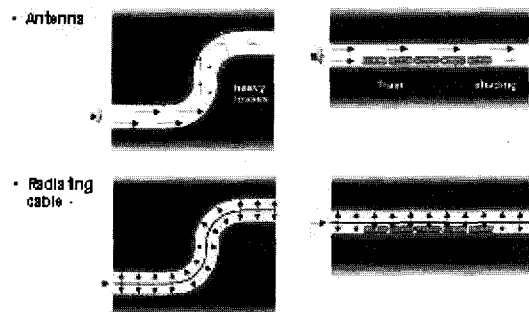


그림 4. 안테나 방식과 LCX 방식에서의 터널 전파 복사
Fig. 4. Radio Wave Radiation of LCX and Antenna in Tunnel.

그러나 [그림 4]의 아래그림에서와 같이 굴곡이 심한 터널에서 LCX는 고르게 전파를 복사하여 수신감도가 매우 좋게 느껴질 수 있다.

2.2. LCX의 손실규격

LCX에서의 손실의 정의는 멀어질수록 감쇄가 늘어나는 감쇄손실 즉, 전송손실 (Transmission Loss)과 표

표 1. LCX의 전송손실 및 결합손실의 특성 표의 예

Table 1. Example table of lcx transmission and coupling loss

주파수[MHz]	전송손실	결합손실 (50%/90%)
75	1.25	55/66
150	1.80	66/75
450	3.30	75/66
800	4.60	73/63
900	5.00	73/83
1900	9.00	70/61
2200	9.70	70/61
2400	10.1	66/60

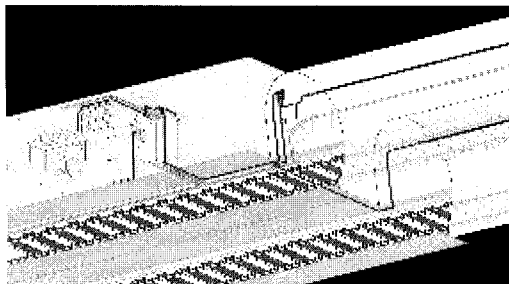


그림 5. 터널에서의 LCX(Radiax)사용 예
Fig. 5. Example of LCX in tunnel.

에서 멀어질수록 감쇄가 늘어나는 표면손실 즉, Coupling Loss 두 가지가 있으며, 이 손실에 의하여 LCX를 구축 시 이 두 가지 기준으로 설계를 한다. [표 1]은 LCX의 RFS(社)의 LCX규격표의 예를 설명한다. LCX는 저주파부터 GHz대의 고주파 대역까지 광대역으로 사용이 가능한 장점이 있어 통신의 공용화인프라를 시설하기에 가장 적합한 솔루션이 되며, 주파수가 높을수록 전송손실 및 결합손실이 높아진다.

또한, 전송손실과 결합손실은 상호 반비례적으로써 각 제품의 특성마다 상이하나 전송손실의 특성이 좋을 때는 반대로 결합손실의 특성이 덜 좋을 수 있으므로, LCX제품의 굵기 및 특성을 면밀히 검토하여 제품을 선정해야한다

[그림 5]와 같이 대부분의 터널 및 지하철에서 LCX로 서비스를 할 때 열차의 유리창 높이에 벽면 양측에 LCX를 설치하거나, 기둥에 설치하여 전파를 열차 유리창사이로 복사한다.

2.3. LCX의 손실측정방법

지상으로부터 2m, 케이블로부터 2m 이격된 측정안

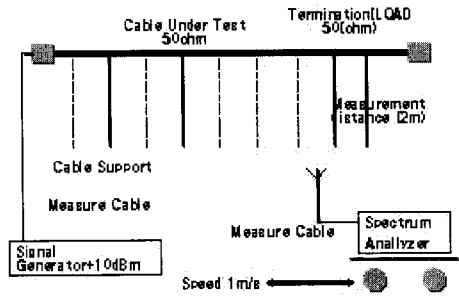


그림 6. LCX의 커플링 손실측정 구성도
Fig. 6. estimation of LCX coupling loss.

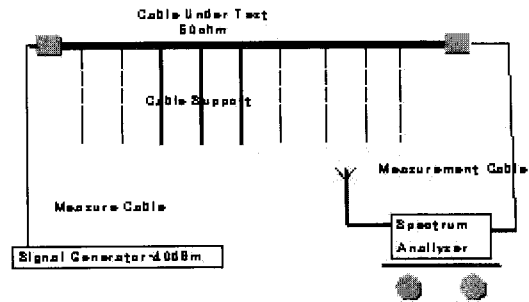


그림 7. LCX의 전송손실 측정 구성도
Fig. 7. Estimation of LCX transmission loss.

테나 기준은 지하철역의 외부 정거장이나 개활지의 경우 같은 최악의 경우에 해당되며, 보통의 경우 닫힌 터널의 경우 커플링손실은 터널의 벽면반사로 인해 더 양호하게 나타난다.

터널벽체 재질 및 운용주파수에 따라 흡수율이 결정된다. 주파수가 높을수록 일반적으로 터널이득이 줄어들게 되나 (벽체 흡수율이 높아짐) 실제 정확한 커플링 손실치를 예측하기는 어렵다. 벽체 재질 및 벽체의 크기형태가 손실값에 영향을 미치게 된다.

실제 측정에 있어서는 실제터널환경 내에서 실제 전파전파를 측정하는 것이 가장 정확하다.

[그림 6]와 같이 LCX 입력측에는 Signal Generator를 이용하여 +10dBm을 입력하고 LCX의 표면에서 2M 떨어진 지점에서의 air 상의 RF 수신 전계강도를 측정한다.

[그림 7]과 같이 LCX 입력측에 신호 발생기를 이용하여 -40dBm을 입력하고 LCX의 종단에서 스펙트럼 분석기로 출력을 측정한다.

2.4. 지하철 통신환경 및 현황

지하철에서는 셀룰라, PCS, 와이브로, WCDMA, 위성 DMB, 지상파DMB 등과 같은 이동통신 이외에 FM 방송, 경찰청 무선, 지하철의 자가통신, TRS, 소방무선 등 지하중계망의 모든 인프라가 모두 설치되어 있다.수

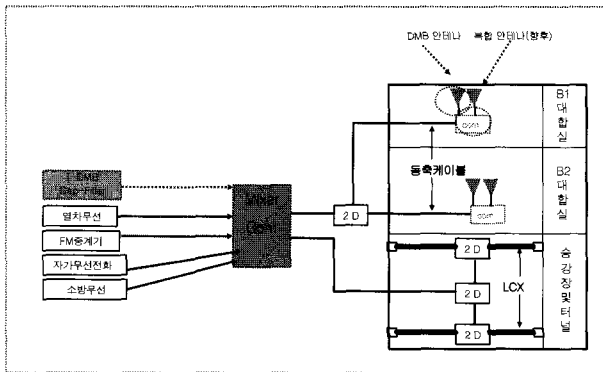


그림 8. 지하철LCX를 이용한 통신서비스 공용화
Fig. 8. Unification of Multi-carriers' telecommunication equipment by LCX.

표 2. 지하철에서의 통신시설 현황의 예
Table 2. example of communication infra in subway

구분		주파수 Tx[MHz]	인프라
자가망	열차무선	기지국	LCX별도 포설
		이동국	
이동전화	셀룰라	SKT 824~849	안테나 방식
	WCDMA	KTF, SKT 2110~2170	
	PCS	KTF, LGT 1840~1870	
자가망	무선전화기	자가망 914.012~914.987	안테나 방식
소방무선	소방용무선	소방방재청 449.325~449.725	LCX 공용화
		경찰무선망 806~815	
TRIS	KT파워텔	KT파워텔 856.0125~865.9875	
		휴대용위키 216~223	
자가망	FM	자가망 88~108	
		T-DMB 6개방송사 184-210	
이동방송	S-DMB	TU 2.630~2.665	안테나 방식

도권의 지하철 하루 유동인구가 800만 이상 인것을 감안하면, 지하철에서의 통신서비스는 지상의 통신서비스보다도 더 다양하고 품질 좋은 서비스를 제공하고 있다.

[그림 8]은 소방무선, FM, T-DMB의 중계장치 신호를 믹서 콤파이너로 신호를 묶어 대합실의 안테나와 본선터널의 LCX에 전파를 묶어서 복사하는 공용화 시스템을 보여주고 있으며, 지하철에서는 여러 가지 통신서비스를 인프라 LCX로 공용화하여 시설 및 운용비용을 절감할 수 있다.

[표 2]와 같이 지하철에서는 이동통신은 비교적 주파

수가 높아 안테나 방식을 적용하고 있으며, FM, 자가망, 소방무선, 경찰청, T-DMB 등은 하나의 LCX 인프라로 통합하여 구축하였다. 위성DMB는 2GHz대역으로 파장이 짧아 열차와 벽사이가 좁은 공간에 복사하기에 적합한 안테나 방식이 적합하다

(1) 지하철에서의 LCX 셀 설계

앞에서 언급한 바와 같이 LCX에 의한 지하 중계망의 셀 설계는 전송손실과 결합손실에 의해서 전송거리를 산출하는 방법으로 설계를 한다. 장비의 출력과 케이블손실, 분배기 손실, 결합 손실을 합산해서 단말기 요구수신감도와 비교하여 그 마진을 LCX의 전송손실 규격에 의하여 역으로 전송거리를 구하는 방식이다. 아래와 같은 조건에 의하여 전송거리를 산출해보기로 한다.

- LCX

- 커플링 손실 : 65dB (6m떨어진 표면손실)
 - 전송손실 : 14.0 dB /100m (1,700MHz대)
 - 주파수 : PCS 1,800MHz대역
 - 분배기 손실 : 3.5dB
 - 동축케이블 손실 : 10dB/100m
 - 중계기 출력 : 30dBm/fa
 - 터널내의 지형환경 : Box복선 터널 (30dB감쇄)
- (여기서의 지형 및 차량투과의 손실은 수차례의 경험치에 의하여 축적된 평균데이터의 상수로 정할수 있음)
- 단말기 요구 수신감도 : -85 dBm

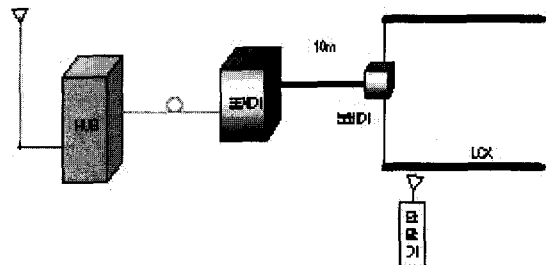


그림 9. 중계기와 연결된 LCX 구성의 예
Fig. 9. Example of connection repeater by lcX.

표 3. LCX의 셀 설계(전송거리)표
Table 3. table of linkbudget by lcX.

항목	출력	손실 (dB)					전송
		동축	접속	분배	결합	지형	
손실		1	1.5	3.5	70	30	X
출력	30	29	27.5	24	-46	-76	-85

[그림 9]의 시설환경에서 조건들을 [표 3]로 나타내었으며, 여기서 전송거리의 마진을 X라고 놓으면

$$x = -71 - (-85) = 9\text{dB}$$

그러므로 LCX의 전송손실이 9dB/100m 이므로, 전송손실의 거리는100m가 되어, 결국 1W(30dBm)으로 출력을 복사할 때, 100m의 커버리지가 산출이 된다.

III. 실험

1997년 3개 PCS 사업자(KT프리텔, 한솔 PCS, LG텔레콤)가 선정이 되고, 이동통신의 서비스는 중흥을 이루기 시작하였다. 지상 및 지하음영지역은 PCS, 셀룰러와의 경쟁과 더불어 급속하게 해소되기 시작하였으며, 지하철에서도 대합실뿐만이 아닌 본선터널구간 등 모든 지하철에서도 통화가 가능하게 되었다. 지하철의 본선터널을 서비스하기 위해서 LCX케이블 및 중계기를 터널에 설치하여 모든 지하철구간에서 가입자는 이동전화를 사용할 수 있게 되었으나, LCX방식에서 한쪽방향 약 500m가 연결된 중계기 및 연결된 커넥터 등의 고장은 음영지역을 발생시키고, 열차가 다니지 않는 새벽에서야 A/S가 이루어지기 때문에 지하철에서의 LCX 방식은 치명적인 약점을 안고 있었다.

이에 2002년에는 전국의 모든 지하철의 LCX 방식을 안테나 방식으로 전면 교체하였으며, 결과적으로 통화품질 및 품질통계는 현저하게 개선될 수 있었다. 안테나 방식은 1개소가 고장이 발생하더라도 양측에서의 전파가 합성되어 신호가 약해지긴 하나 통화불능지역이 발생되지 않아 통화가 끊기지는 않는다. 물론, 안테나 방식이 LCX 방식보다 모든 면에서 우수한 것은 아니며, 각 장,단점이 있어 주파수와 설치환경에 따라서 다르게 적용되고 있다.

3.1 안테나 방식과 LCX 방식의 장단점 비교

LCX 방식은 케이블의 표면 slot에서 고르게 표면을 따라 전파가 복사되므로, 복사공간이 좁은 지하철 및 터널 등의 열차와 벽사이의 틈에 설치되어 사용되기도 하며, 일반 인 빌딩의 주차장에 FM, 소방무선용도로 포설되어 널리 사용되기도 한다. 안테나 방식은 이동통신에서 복사형태에 따라 한쪽방향성을 가진 야기(Yagi) 및 패치(Patch), 등방향성을 가진 옴니(Omni), 위성신호를 수신하는 파라볼라(Parabola) 등이 있으며, 이동통신에서 대부분 일반적으로 적용하고 있다.

표 4. 안테나방식과 LCX 방식의 장단점 비교
Table 4. Comparison of antenna and LCX.

구분	LCX 방식	안테나 방식	비고
시설비용	매우 과다	저렴	
운용측면	불리	유리	장애 시 통화불능
서비스 품질	매우 양호	양호	균일하게 전파가 복사되는 LCX가 우월
장점	균일한 전파방사	끊김 없는 통화에 유리	안테나 방식은 1개소 불량에도 통화는 연속
단점	장애 시 통화불량 구간 발생	불균형한 전파 복사	
서비스 반경	넓음	좁음	주파수에 따라 상이
적용서비스	FM, TRS 소방무선 등	이동통신	

(1) 안테나 방식

아래 그림 10의 T-DMB 주파수 (200MHz대)에서 지하철의 본선터널을 서비스하는 안테나 방식은 1W로 복사 시 100m의 커버리지가 안 되는 결과를 도출한다. 특히, T-DMB의 주파수는 지하철 환경에서 차량의 차폐손실이 30dB 정도로 차량의 차폐에 감쇄가 심하였다.

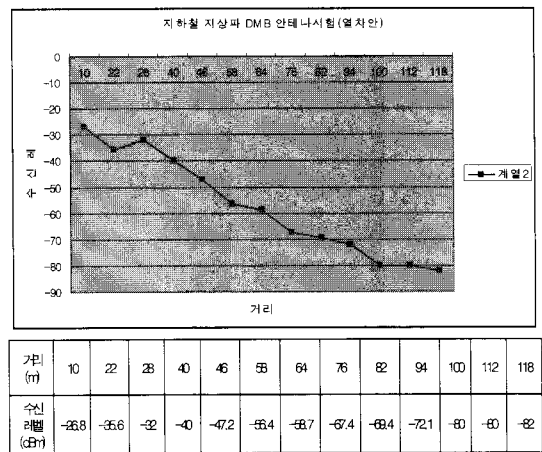


그림 10. 지하철에서의 안테나 방식 전송거리
Fig. 10. T-DMB transmission range of Antenna solution in subway.

(2) LCX 방식

[그림 11]는 열차에 탑승하여 수신레벨을 측정하는 것을 보여준다. 이 때 1W의 출력을 내도록AMP와 연결하고 LCX에 복사한다[표 2]의 결과와 같이 포설이 되어있는 구간내(98m: 약 12초)는 전구간 양호한 수신레벨을 유지하며, -70dBm 이상의 수신레벨을 유지하였다

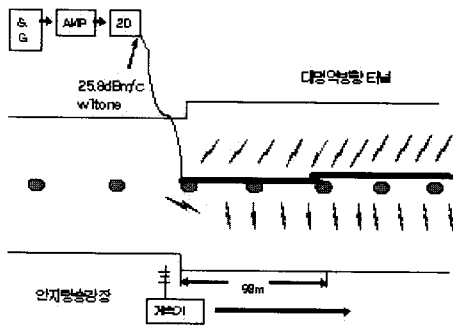


그림 11. 지하철에서의 LCX 방식 전송거리 시험구성도
 Fig. 11. examination map of transmission range LCX solution.

표 5. LCX 방식의 시험결과
 Table 5. Result of transmission range by LCX.

구분	열차 진입	열차 승차	승차 후 5초	승차후 10초	승차후 15초	승차후 20초
안지랑->대명 1차시험	-82.9	-79.7	-65.5	-56.1	-92.7	x
안지랑->대명 2차시험		-88.6	-74.5	-65.8	-69.5	-103

3.2 시험결론

[그림 12]는 지하철에서의 LCX 및 안테나 방식 전송 방식은 열차와 벽사이의 거리가 30cm가 안되는 복사공간이며, 200MHz대의 T-DMB의 경우에는 파장으로 환산할 경우 파장의 길이가 1.5m로 열차와 벽사이의 30cm공간에서 복사해야하는 환경에 적합하지 않다.

그러나 200MHz대에서의 LCX 방식의 경우 균일하게 전파가 복사되어 포설구간내의 영역에서는 균일하고 안정적인 수신레벨을 보였으며, 열차의 차폐손실도 안테나 방식에 비하여 우수한 성능의 결과를 나타냈다.

위의 두 가지 시험에서 보는 바와 같이 전송매체에

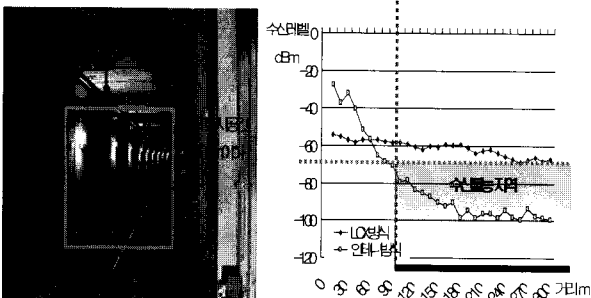


그림 12. 지하철에서의 T-DMB LCX 설치 구성 예
 Fig. 12. T-DMB test result map of antenna and LCX solution in subway.

다른 중계방식은 주파수 및 설치환경에 따라 좌우되며 전파시험을 통하여 적합한 중계방식을 선택해야 한다.

IV. 결론

주파수 및 설치환경 등에 따라서 안테나 방식, LCX 방식을 전파 실측시험에 의하여 결정할 수 있으며, 안테나 방식은 복사공간이 넓고 비교적 주파수가 높은 대역에서 더욱 적합하며, LCX방식은 광대역 주파수대역을 공용화할 때와 터널, 지하철 등의 굴곡이 심한 터널 등에서 가장 적합한 솔루션을 제공할 수 있다. 지하 중계망의 설계는 전파시험 및 시험 데이터를 근거로 한 방식의 결정과 전송거리를 산출하여 중계기 및 안테나 배치를 어떻게 하느냐에 따라 셀의 최적화 설계를 좌우한다고 할 수 있으며, LCX 방식은 결합손실 및 전송손실 Factor에 의하여 비교적 안테나 방식보다 셀 설계를 용이하게 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] RFS Company product Introduction, 2006. 8. P15, 26~28
- [2] 『수도권 지상파 DMB 지하철 중계망 구축/운영 사업제안서』 2005. PT 자료 18~21P
- [3] 인천 지하철 1호선 통신시설 현황 주파수 배분표, 2004. 5. 인천지하철 공사 자료 참조
- [4] NK Cables Company LCX측정방법에 대한 고찰, 2007. 5. 3~8P.

— 저 자 소 개 —



오 성 균(정회원)
 1997년 서울산업대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2007년 현재 고려대학교 컴퓨터정보통신대학원 전파공학과 5학기 논문과정 (2008년 졸업예정)
 1997년 1월~현재 한국전파기지국 기술연구소 <주관심분야 : 공용기지국, 중계기, T-DMB, ITS>