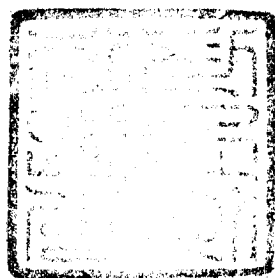


YRL 2160
84-09

1989년 12월

열 차 무 선 공 중 전 화 방 식 연 구



주 관 연 구 기 관 : 전 파 연 구 소

한 국 통 신 학 회

제 출 문

전파연구소장 귀하

본 보고서를 “열차무선공중전화 방식에 관한 연구” 사업의
연구보고서로 제출합니다.

1989 12.30

연구책임자 : 박 한 규

연구 원 : 정 신 교

은 재 정

길 상 근

연구보조원 : 김 우 정

황 종 택

김 정 희

김 동 욱

요 약 문

1. 제 목

열차무선공중전화방식 연구

2. 연구의 목적 및 필요성

오늘날 사회가 정보화 사회로 점차 진전됨에 따라 다양한 전기통신 서비스가 요구되고 있으며, 특히 국민의 활동 영역의 확대 및 업무의 증가로 이동체 통신에 대한 수요가 크게 증가되고 있다. 이에 따라 기존의 이동체 통신 서비스에 대한 통신시설의 확장과 다양한 이동체 통신 서비스 요구에 부응하는 새로운 서비스의 공급이 필요하다.

현재 국내에서는 자동차무선공중전화, 무선폭출 등의 일부 이동 무선통신 서비스가 시행되고 있으나 중요 교통수단인 철도 이용시 사용할수 있는 기존 공중통신망과 연계된 통신 시스템의 구축이 요구된다.

이를 위하여 철도 이용자의 전화공급을 위한 열차무선전화의 전파 이용 측면에서의 연구와 아울러 통신방식, 통신망 구성, 터널내 통신대책 등 국내에 적합한 열차무선공중전화 방식을 제시하고자 한다.

3. 연구의 내용 및 범위

(1) 국내외 열차무선공중전화 운용실태 및 전망조사

- 일본, 미국, 유럽 등

(2) 열차무선 통신방식 연구

- 안테나 방사방식
- 누설동축케이블(LCX) 방사방식

(3) 통신망 구성방식 연구

- 기존 철도 통신망 이용방식
- 누설 동축 케이블 이용방식
- 자동차 전화 통신망 이용방식

(4) 터널내 통신대책 방안 연구

(5) 방식별 전파이용 실태 비교

(6) 전파 유효 활용 방안 연구

(7) 통신 범위 확장

- 채널의 가용성
- 타 이동통신 범위로의 확장
- 주파수 간섭 영향

4. 연구 결과

(1) 국내외 열차무선 공중전화 운용현황 조사

(2) 열차 무선 통신 방식 검토 및 분석

- 안테나 방사방식
- 누설동축케이블 방사방식

(3) 통신망 구성방식 검토 및 분석

- 기존 철도 통신망 이용방식
- 누설동축케이블 이용방식
- 자동차 전화 통신망 이용방식

(4) 터널내 통신대책 방안 검토 및 분석

- 터널내에서의 전자파 전파특성
- 터널에서의 방사 시스템 종류
- 터널에서의 LCX 특성

(5) 방식별 전파이용 실태 비교 연구

(6) 전파 유효 활용 방안 연구

- 주파수 유효 활용 방법
- 주파수 할당 방법

(7) 주파수 간섭 및 영향 분석

(8) 통신 서비스 구역 선정

(9) 이동통신 통합 운용 방안 검토

5. 연구의 기대성과 및 활용방안

- 철도 승객 서비스 증진
- 열차 무선 공중전화 연구 방향 제시
- 열차 공중전화 통신방식 및 통신망 구성방식 제안
- 터널내 통신대책 방안 수립
- 사용 주파수대 선정 및 유효 활용 방안
- 전파 자원 이용의 증대
- 이동통신 사업 규모 확대
- 종합정보 통신망에의 활용

6. 계획과 실적의 대비표

구	분										연	구	일	정	진	도
세부연구내용	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(%)						
자료수집 및 분석										100						
외국의 운용실태 및 전망조사										〃						
통신망 구성방식 분석										〃						
LCX 방식과 안테 나 방식 비교검토										〃						
방식별 전파이용 실태 비교검토										〃						
중간보고서 제출										〃						
사용주파수대 선 정 및 유효활용 방안 수립										〃						
통신서비스 구역 선정										〃						
터널내 통신대책 방안										〃						
기존 무선국과의 주파수 영향 조사										〃						
통합이동 무선통신 방식 활용 검토										〃						
최종 보고서 제출										〃						

-----: 당초계획

————: 진 도

목 차

제 1 장	서 론	-----	(1)
-------	-----	-------	-----

제 2 장	국내외 열차무선전화 운용 현황 및 전망	-----	(3)
-------	-----------------------	-------	-----

제 3 장	열차무선전화 통신 방식	-----	(7)
-------	--------------	-------	-----

제 3-1 절	누설동축케이블 (LCX) 방사 방식	-----	(7)
---------	---------------------	-------	-----

제 3-2 절	안테나 방사 방식	-----	(17)
---------	-----------	-------	------

제 3-3 절	LCX 방식과 안테나 방식의 비교	-----	(30)
---------	--------------------	-------	------

제 4 장	열차무선전화 통신망 구성방식	-----	(33)
-------	-----------------	-------	------

제 4-1 절	기존 철도 통신망 이용방식	-----	(33)
---------	----------------	-------	------

제 4-2 절	누설동축케이블 이용방식	-----	(34)
---------	--------------	-------	------

제 4-3 절	자동차전화 통신망 이용방식	-----	(36)
---------	----------------	-------	------

제 4-4 절	열차무선전화 통신망 구성방식의 비교	-----	(37)
---------	---------------------	-------	------

제 5 장	터널내 통신대책 방안	-----	(50)
-------	-------------	-------	------

제 5-1 절	터널내에서의 전자파 전파 특성	-----	(50)
---------	------------------	-------	------

제 5-2 절	터널내에서의 방사시스템 종류	-----	(55)
---------	-----------------	-------	------

제 5-3 절	사각형 터널에서의 전자파 전파 특성	-----	(64)
---------	---------------------	-------	------

제 5-4 절	터널내 통신대책 방안	-----	(72)
---------	-------------	-------	------

제 6 장	방식별 이동통신 주파수 이용 실태	——(74)
-------	--------------------	--------

제 7 장	사용 주파수대 유효 활용 방안	————(78)
-------	------------------	----------

제 8 장	주파수 간섭 및 영향	————(82)
-------	-------------	----------

제 8-1 절	동채널 간섭 및 영향	————(82)
---------	-------------	----------

제 8-2 절	타채널 간섭 및 영향	————(83)
---------	-------------	----------

제 9 장	통신 서비스 구역 선정	————(87)
-------	--------------	----------

제 10 장	이동 통신 통합 운용 방안	————(103)
--------	----------------	-----------

제 11 장	결 론	————(108)
--------	-----	-----------

참 고 문 헌		
---------	--	--

제 1 장 서 론

오늘날 인간 활동영역의 증대와 산업 구조의 변화는 막대한 정보량의 신속한 처리 및 자동화의 요구로 인하여 무선 통신에 의한 다양한 서비스 요구가 점점 증가하고 있다. 이러한 무선 통신의 수요는 시간과 공간에 구애받지 않고 신속하고 원활한 정보 교환이 가능한 이동체에 대한 무선 통신 시설의 신설 및 확장을 필요로 하고 있다. 이동통신은 이동중에 일반 가입자와 직접 연결하는 차량전화, 열차전화, 선박전화, 항공기전화 와 무선폭출, 코드레스전화 등 일반 국민에게 다양한 통신 서비스를 제공함으로써 인간의 통신 생활 영역 확대 및 국민생활의 편의 증진을 도모한다는 점에서 주목을 받고 있다.

현재 국내에서는 자동차 무선전화, 무선 호출 등의 일부 이동체 무선 통신 서비스가 운용중에 있으나, 육상에서의 중요 교통 수단인 철도 이용시 기존 통신망과 연계 가능한 열차 무선 전화가 설치되어 있지 않다. 따라서 다가오는 2000년대는 고도의 정보사회로써 다양한 이동체 통신 서비스를 만족시키기 위해 열차 무선전화 서비스는 실시되어야 하며 특히 매년 국내 철도를 이용하는 인구가 증가함에 따라 이 서비스의 조기 실현이 바람직하다고 사료된다.

따라서 본 과제는 열차 무선 전화의 여러가지 방식을 비교 검토하여 국내에 적합한 열차무선공중전화 방식을 제안하고자 한다.

본 보고서에서는 제 2 장에서 열차무선전화에 대한 각국의 운용 현황 및 전망을 조사하였으며, 제 3 장과 제 4 장에서 열차무선전화 통신방식 및 통신망 구성방식에 대하여 각각 비교하였다. 제 5 장에서는 터널내 통신대책 방안에 대하여 연구 비교하였다. 제 6 장에서는 방식별 이동통신 주파수 이용 실태를 조사하였으며, 제 7 장에서는 사용 주파수대 유효 활용 방안, 제 8 장에서는 주파수 간섭 및 영향에 대하여 연구하였다. 제 9 장에서 열차무선공중전화의 통신 서비스 구역 설정 및, 제 10 장에서 이동통신 통합 운용 방안에 대하여 기술하였다. 마지막으로 제 11 장 결론에서는 앞에서 연구한 열차무선공중전화방식을 비교 검토하여 국내에 적합한 열차무선공중전화방식을 제안하였다.

제 2 장 국내외 열차무선전화 운용현황 및 전망

1. 국내

현재 국내 열차무선전화는 열차 운행 목적상 통신망을 운용하고 있으며 열차공중전화는 시설이 안되어 있다.

- 열차 지령 통신망

경부간의 무선 시설 통합 운용 : 16회선 (8개 중개소)

- 철도 유지보수용 통신망 : VHF 단방향 통신 (156대)

역소와 열차간 및 열차 상호간 통신

표 2-1. 국내 기존철도 통신 방식

항 목	방 식
사용 주파수대	M/W 및 UHF : 철도 업무용 VHF(150 MHz) : 열차운행용 (단신방식)
채널 간격	30 KHz
채널 수	4CH
송신 출력	15 W (역용), 45 W (이동용)
기지국 영역	역과 역간
교환 시설	없음

2. 일본

(1) 운용 현황

1957년 1월 근철의 특급열차 일부 구간에서 제한된 철도 무선 공중전화 서비스가 개시되었으나 1965년 Tohoku - Sanyo 신간선 및 1982년 Tohoku - Joetsu 신간선 열차에서 본격적으로 개시되어 운영중에 있으며 이 두 신간선의 열차무선공중전화를 비교하면 다음과 같다.

표 2-2. 신간선 열차무선공중전화 현황

구 분	동해도, 산양 신간선	동북, 상월 신간선
서비스 개시년도	1965	1982
통신 방식	LCX	ANTENNA
주 파 수	400 MHz	400 MHz
서비스 구역	전 국	철도주변 25개 도시
사용 전화기 종 류	- M F C - 동전 사용 - 자동 접속	- NO Dialing - 동전 사용 - 수동 접속
채 널 수	24	10
전화기수/열차	2	2
설 비	- 기지국수 : 25 - 제어국수 : 4	- 기지국수 : 14 - 제어국수 : 4
사용횟수 / 일	평균 1500 회	

* 무선구역의 변동을 제어국이 감지하여 통화로를 변경, 연결

(2) 전 망

장래 일본의 이동체 통신 서비스 계획은 통합 이동 통신망으로써 현재 제공되고 있는 자동차통신, 열차무선통신 및 선박통신 외에 항공기 공중전화, 이동위성통신 및 휴대용 전화 서비스를 추가할 예정이며 통신방식도 대용량화, 디지털화로 추진될 전망이다.

3. 미국

(1) 운용 현황

1989년 Pan - central 철도와 Metro - Liner (워싱턴 - 뉴욕)에 개시되었으며 400 MHz대를 사용한 자동접속방식으로 신용카드, 동전 및 수신자 부담 등으로 제공되고 있다.

(2) 전망

FCC (Federal Communications Commission)는 현재 지속적인 증가 추세에 있는 이동체 통신 서비스를 정부 차원에서 통합 이동 통신망을 구성하여 효과적으로 운용할 예정이다.

4. 영국

1984년 런던과 스완간을 운행하는 Inter - city 열차에 무선 공중전화 서비스를 개시하였으며 전국통화가 가능하다.

- 열차무선주파수

* VHF : 70 - 88 MHz, 155 - 220 MHz

* UHF : 420 - 470 MHz (채널간격 : 12.5 KHz)

- BR (British Railway) 통신망 현황

- o 영국 철도 통신망은 국내는 물론 다수의 유럽 각국의 철도와 음성 통신 및 자료 교환 가능
- o 열차 송신 출력 : 25 W
- o Coaxial cable 및 광섬유 사용
 - * Coaxial cable : 960 채널
 - * 광 섬유 : 2,880 채널
- o 터널내 통신
 - * 짧은 터널 : 수평 편광 Yagi Antenna 사용
 - * 긴 터널 : LCX 사용

5. 프랑스

1959년 파리 - 릴 간 열차에 서비스를 개시하였으나 1974년 이용감소로 중단하였다. 1989년 9월 파리 - 브레스트 및 파리 - 상라제르 간 TGV 열차 개통과 함께 다시 개시하였고 국내 및 세계 각국 국제통화가 가능하다.

6. 서독

국제열차 (TEE)나 도시간 특급열차 (IC)의 일부 열차에서 열차무선 공중전화 서비스 (국제통화가능)를 제공하고 있다.

7. 스위스

1985년 제네바 - 로사흐 간 열차에 서비스를 개시하였으며 유럽 각국 통화가 가능하다.

제 3 장 열차무선전화 통신방식

통신방식에는 크게 누설동축케이블 방식과 안테나 방사방식으로 나뉘어진다. 누설동축케이블 방식은 안테나 방사방식을 사용했을 때보다 통화품질의 향상, 터널 및 지형에 의한 제한이 없으며 채널 수를 증가시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.

안테나 방사방식은 넓은 통신영역과 고속으로 달리는 열차의 특성 때문에 열차전화를 사용하는 통화자에게 채널간섭에 의한 통화품질 저하로 불편감을 주지 않도록하기 위해 열차가 지나가고 있는 기지국에서 앞으로 4기지국, 뒤로 3기지국 정도를 현재 통화중인 채널을 사용하지 못하도록 하거나 통화채널을 자동적으로 빈 채널(idle channel)로 선택하도록 하는 다중채널 접속 방법을 위한 고도의 제어기술을 이용하여야 한다.

제 3-1 절 누설동축케이블(LCX) 방사방식

누설동축케이블 방사방식은 그림 3-1 과 같이 열차선로를 따라 누설동축케이블(LCX: Leaky Coaxial Cable)을 포설하여 케이블내에 전송되는 전자파의 누설을 이용하여 무선통신을 하는 방식이다.

산이나 건물등에 막혀 전파된 신호가 약해지는 곳이 있는데 이러한 지역 즉 난청지역등에 구애됨이 없이 누설동축케이블 방사방식은 중단없는 통신을 제공할 수 있다. 특히 터널등과 같은 감쇄가 심한 지역에서는 더욱 효과적인 방식이다.

이러한 무선통신을 제공하는 누설동축케이블은 일반의 동축케이블과 안테나 특성을 동시에 갖는 케이블 구조로 외부 도체상에 전자파를 방사하는 슬롯(slot)를 가지고 있다. 이 슬롯트를 통하여 누설동축케이블내에 전

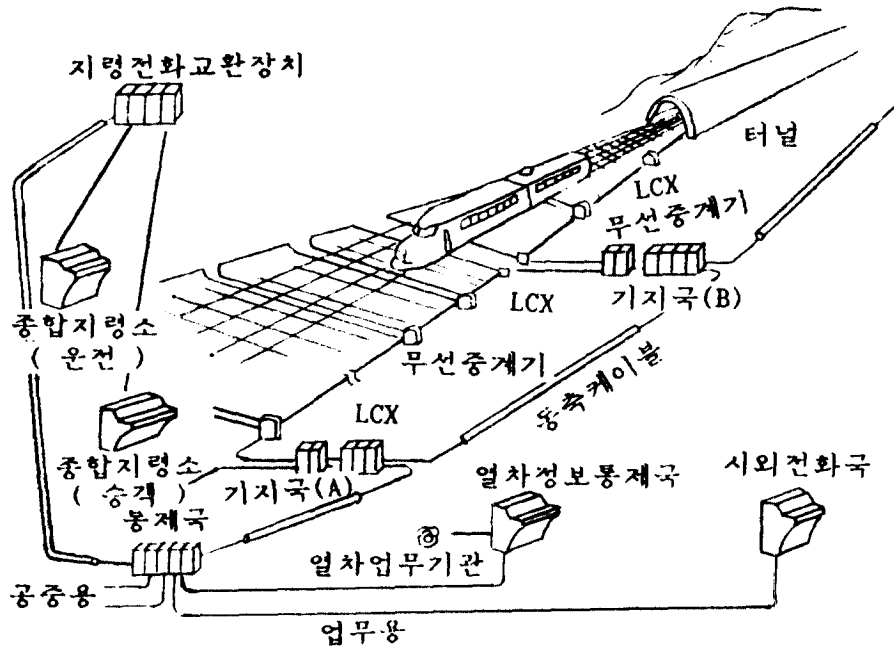


그림 3-1. LCX 방사방식

송되는 전자파의 일부가 방사되어 케이블 축을 따라서 밀도 높은 전자계가 형성되므로 이동체 및 이동체와 고정국간의 신뢰성 있는 무선통신을 제공하게 된다. 그 구조는 그림 3-2 와 같다.

누설동축케이블 선정시 고려해야할 사항은
첫째, 케이블 감쇄손실이 가능한 작아야 하며
둘째, 수신 안테나의 거리,이득에 균형을 이루도록 방사손실 및 효율이 충분하여야 한다.

또한 누설동축케이블은 새로운 전파 및 방사매체로서 다음과 같은 특징이 있다.

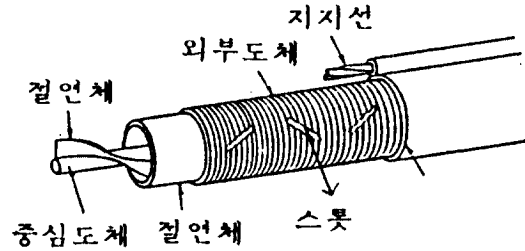


그림 3-2. LCX 구조

1. 결합손실

누설동축케이블의 결합손실은 그림 3-3 과 같이 시스템 손실과 관계있다.

즉 결합손실은 $L_s = P_r - P_m = L_f + L_t + L_c$ 이고

여기서 L_s : 시스템 손실(dB)

L_f : 급전손실(dB)

L_t : 케이블 전송전력 손실(dB)

L_c : LCX - 안테나 결합손실(dB)

$L_c = L_{co} + L_r$

$L_t = Z$

L_{co} : 표준 결합손실(dB)

L_r : 수평전력 감쇄(dB)

α : 케이블 전송전력 손실(dB)

Z : 케이블 길이(Km) 을 나타낸다.

그림 3-3 은 누설동축케이블의 결합구조를 나타내고, 여기서 표준결합손실(L_{co})은 누설동축케이블로부터 표준 다이폴 안테나를 1.5m 이격시켰을 때 누설동축케이블의 입력측의 전송전력과 수신전력의 차로 정의한다.

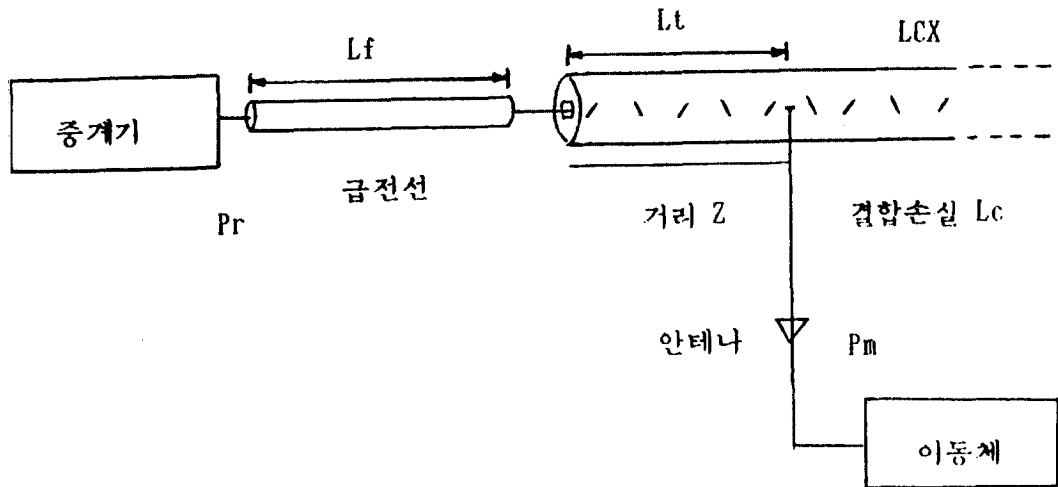


그림 3-3. 누설동축케이블의 결합구조

일반적으로 그 값은 50dB 에서 80dB 이다.

표준결합손실이 80dB 를 넘게 되면 매우 엄격한 스폿트의 허용치 때문에 누설동축케이블을 제작하기가 어렵다. 한가지 예로 800MHz 에서 누설동축케이블을 사용하여 결합손실이 50dB 를 넘지 못하면 전송손실이 너무 커서 터널내에서 사용할 수 없다.

800MHz 대에서 사용한 누설동축케이블의 특성은 표 3-1 과 같다.

2. Grading 기술

그림 3-4 와 같이 케이블의 전송손실에 의한 수신레벨의 저하폭을 적게 하기 위하여 결합손실이 다른 누설동축케이블을 단계적으로 접속한 것을 Grading 기술이라 한다. 이 기술을 이용하면 단일 결합손실만을 갖는 누설동축케이블을 이용하여 구성한 것보다 서비스영역을 더욱 확장할 수 있다.

표준 결합 손실 (L_{ca} : dB)	80	75	70	65	60	55
전송 전력 손실 (dB/km)	35	35	36	41	56	100

표 3-1. 누설동축케이블

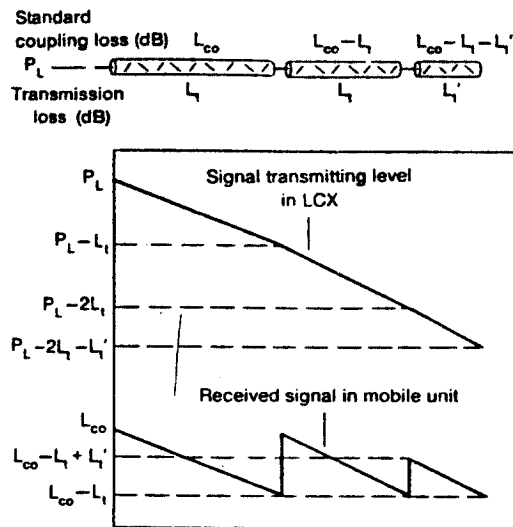


그림 3-4. Grading 기술

3. 특성 임피던스

케이블 길이가 12ft(3.65m), 특성 임피던스가 50.3 ohm 인 누설동축케이블에 특성 임피던스 49.6 ohm 인 Lead-in 케이블과 50.0 ohm 인 부하를 연결하였을 때 특성 임피던스 변화는 그림 3-5 와 같이 나타난다.

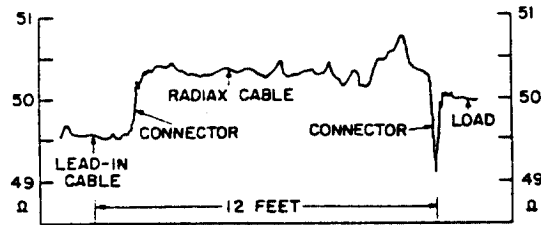
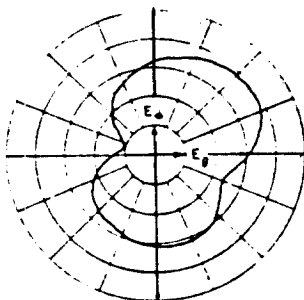


그림 3-5. LCX 의 특성 임피던스 변화

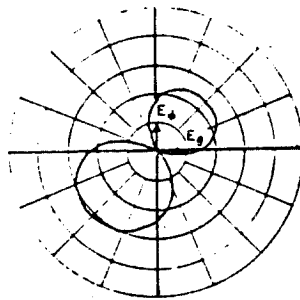
4. 편파(Polarization) 특성

누설동축케이블 중간에 회전할 수 있는 다이폴 안테나를 slot을 마주보도록 위치시킨 후 평행 및 수직 방향으로 회전시키면서 편파에 의한 누설동축케이블의 방사패턴을 측정한 결과가 그림 3-6 에 표시되었다. 그림에서 화살표 E_{θ} 방향은 다이폴 안테나를 누설동축케이블과 평행하게 설치한 경우이고 E_{ϕ} 방향은 다이폴 안테나를 누설동축케이블과 수직되게 설치한 경우이다.

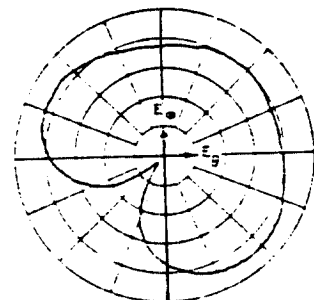
한 서클당 2dB 를 나타내며 편파의 특성은 E_{θ} 보다 E_{ϕ} 에 의해 좌우된다는 것을 알 수 있다.



DISTANCE=1ft
CENTER=0dB



DISTANCE=2ft
CENTER=0dB



DISTANCE=3ft
CENTER=-10dB

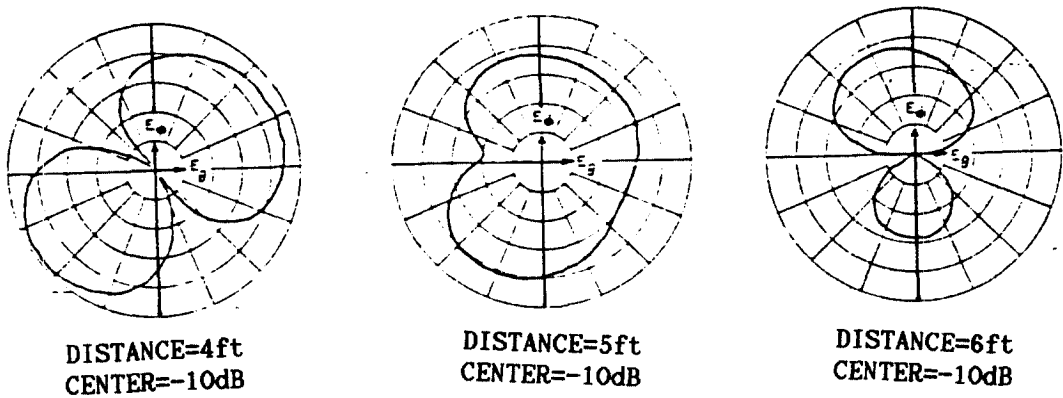


그림 3-6. 누설동축케이블의 편파특성 ($f=900\text{MHz}$)

5. 안테나 - 누설동축케이블 결합특성

그림 3-7 은 누설동축케이블과 안테나 수평거리에 따른 E_θ , E_ϕ 성분의 결합이득을 나타낸다. 결합이득은 수평거리가 증가함에 따라 이득이 감소한다는 것을 알 수 있다.

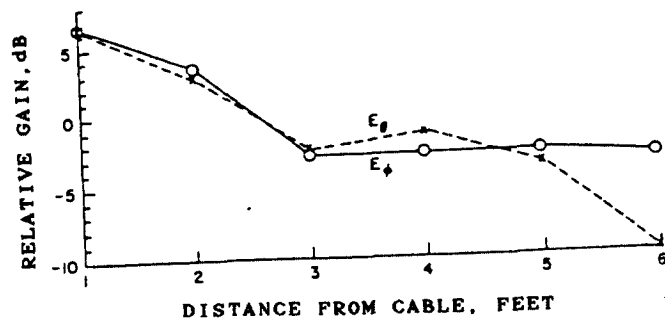


그림 3-7. 누설동축케이블 - 안테나 E_θ 및 E_ϕ 결합이득

그림 3-8 은 길이 300 ft 인 누설동축케이블을 따라 누설동축케이블로부터 5 ft 인 거리에서 수직 다이폴 안테나를 사용하여 신호의 세기를 측정한 결과이다. 그림에서 진폭의 변화는 각 slot 에서 방사된 신호들의 위상관계 및 터널내부에서의 반사에 의해 생기며 , 비교적 큰 진폭의 변화는 변조기법 및 하드웨어의 기술에 의해 극복할 수 있다.

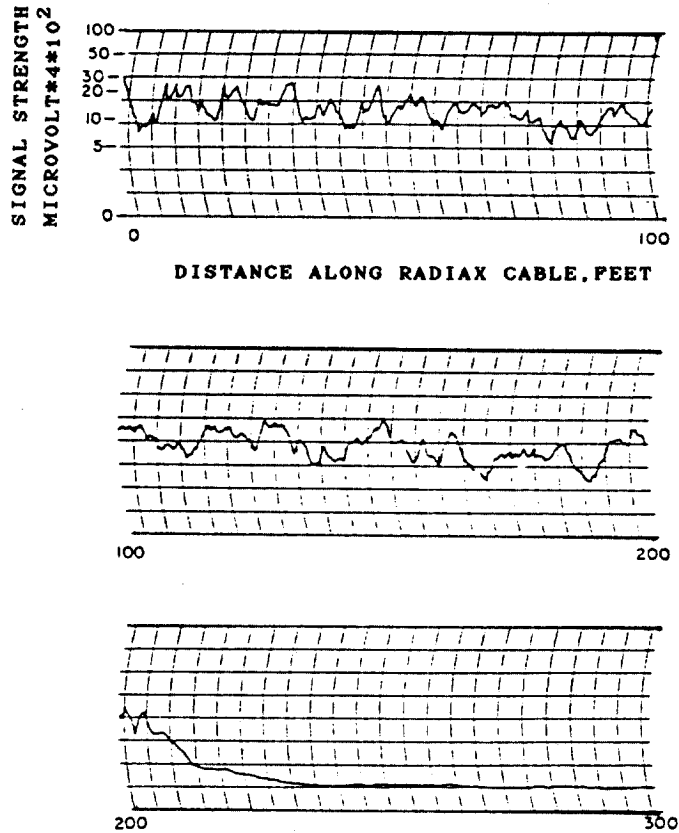


그림 3-8. LCX로 부터 5ft 떨어진 수직 안테나에서 측정한 신호의 세기

그림 3-9. 는 같은 방법으로 20ft의 거리에서 측정한 신호의 세기를 나타낸다.

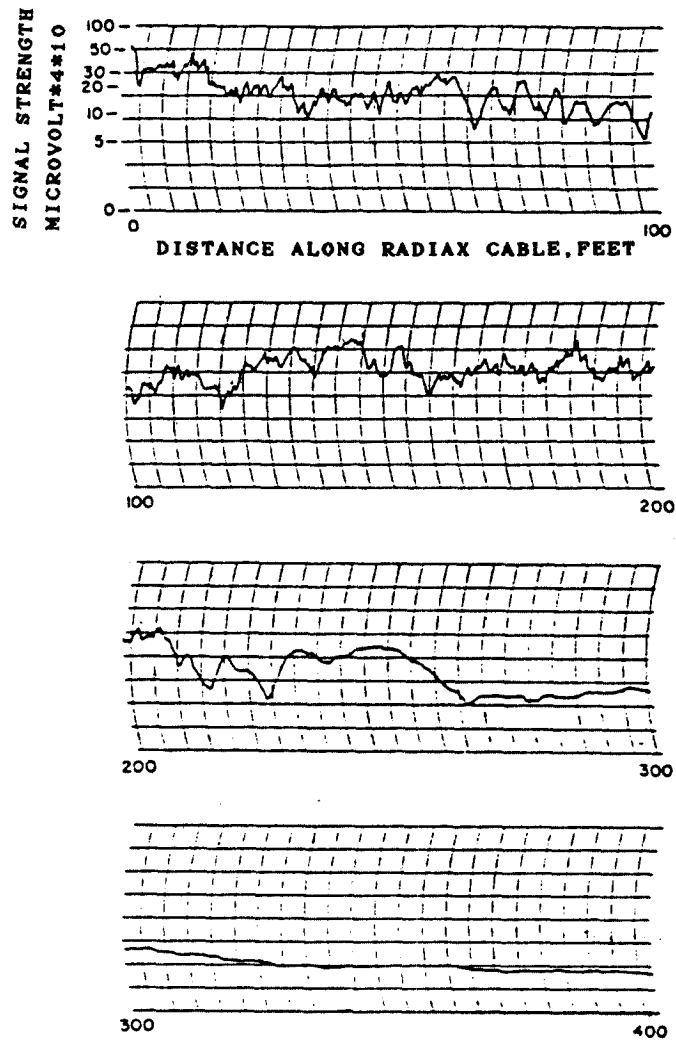


그림 3-9 LCX로 부터 20ft 떨어진 수직 안테나에서 측정한 신호의 세기

6. 전파상수(Propagation Constant)

전파상수는 감쇄상수와 위상상수의 합으로 표시할 수 있으며 이상적인 경우 감쇄상수는 모든 주파수대에서 일정하며 위상정수는 주파수에 직선적으로 변한다. 그림 3-10 은 200ft 길이의 누설동축케이블에 대한 두 상수의 측정치를 나타낸다. 그림에서 주파수가 증가함에 따라 감쇄는 증가

하며 위상정수는 감소한다는 것을 알 수 있다. 따라서 감쇄를 일정한 수준으로 유지하기 위해 누설동축케이블 사용시 중간증폭기가 필요함을 알 수 있다.

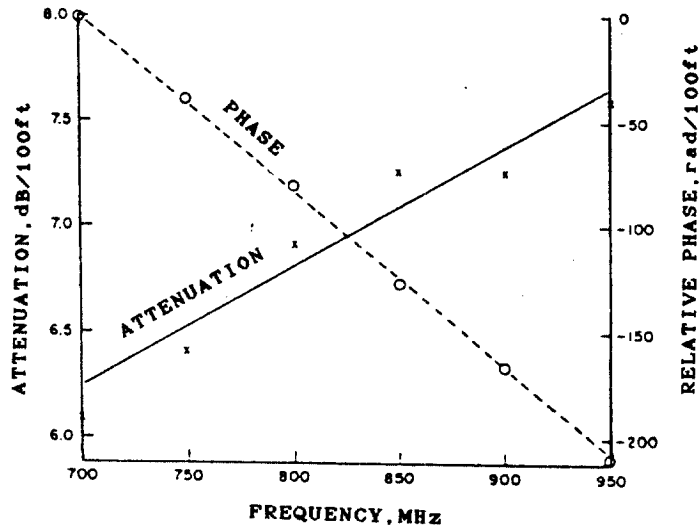


그림 3-10. LCX의 전파상수

7. 외부 환경에 의한 누설동축케이블의 특성

(1) 비에 의한 영향

전자파가 비가 오는 대기를 전파할 경우 비에 의한 산란으로 인하여 에너지가 흡수되어 열로 변환된다. 빗방울이 작을 경우 에너지의 흡수는 빗방울의 크기에 좌우되지 않고 단위체적당 전체 빗물의 양에 비례하며 빗방울이 클 경우 흡수되는 에너지의 양은 증가한다. 그러나 파장의 길이가 30 cm 이상(주파수 1GHz 이하)인 경우 또는 안테나와 누설동축케이블과의 거리가 불과 수ft인 경우 감쇄는 매우 작다.

(2) 열팽창에 의한 영향

주기적으로 결합된 누설동축케이블은 열팽창으로 인하여 AM 및 FM 변조를 일으킨다. AM 변조는 안테나와 누설동축케이블간 결합거리의 변화로 기인되며 FM 변조는 안테나와 누설동축케이블간의 결합거리가 변화할때 도플러 주파수 천이로 인해 발생된다. 이러한 현상은 이동체의 속도가 느리고 낮은 캐리어 주파수인 경우 무시할 수 있다.

(3) 알칼리성 부식에 의한 영향

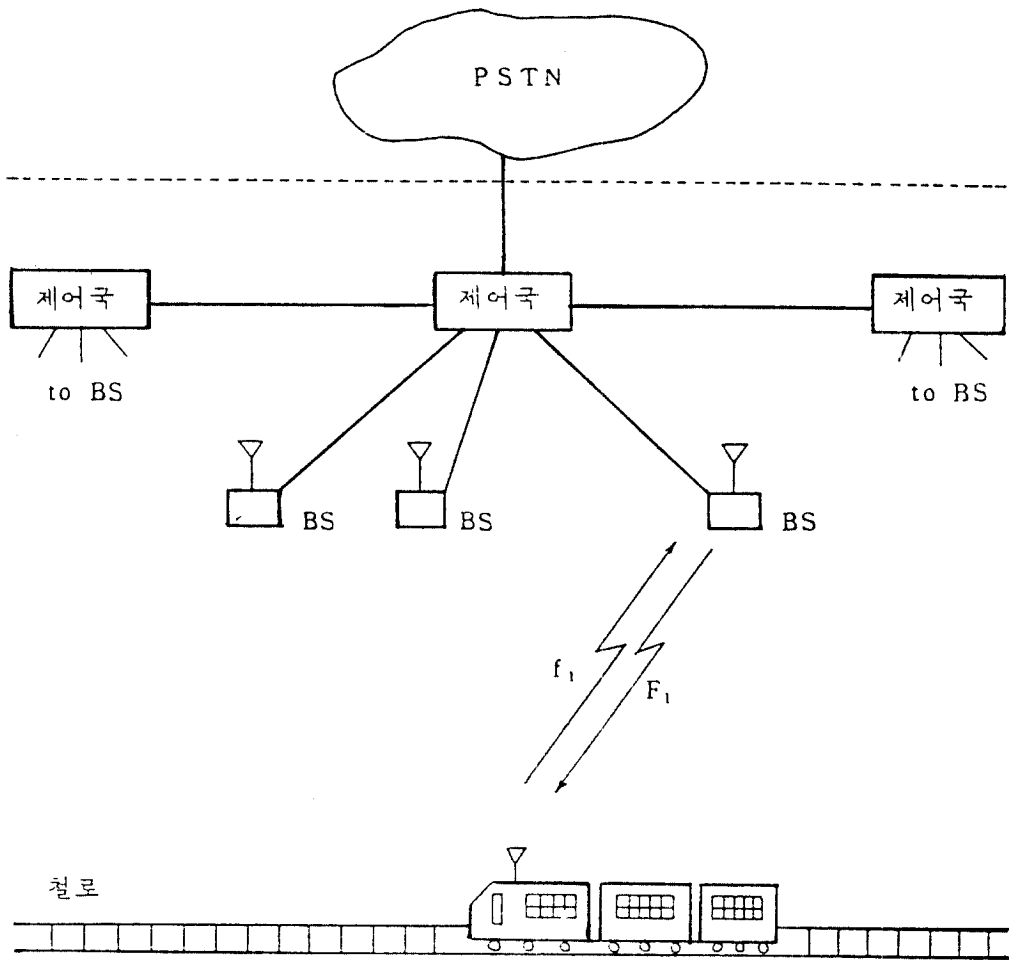
석고성분이 있는 환경에서의 누설동축케이블의 부식정도는 누설동축케이블에 있는 수분의 양에 비례하며, 석고성분이 용해되어 전해질이 된 상태에서 서로 다른 금속과 접촉할 경우 부식정도는 더욱 심해진다.

누설동축케이블에서 산화에 의한 부식은 중요하지 않으며 부식을 방지하기 위해 도체의 접속 지점에 내부적으로 부식 방지용 물질을 넣어야 한다. 또한 터널 내부의 먼지의 영향은 누설동축케이블의 성능에 커다란 영향을 미치므로 틈틈이 청소해주어야 한다.

제 3-2 절 안테나 방사방식

안테나 방사방식은 안테나 방사 패턴이 철도 주변만을 향하게 하여 구성하는 구성하는 방식으로 그 개략도는 그림 3-11 과 같다. 현재 국내에서 자동차 전화통신망으로 이용되고 있는 셀룰라 방식이 이 방식에 속한다.

안테나 방사방식은 전파가 주위 환경의 특징에 의해 방해받고 감쇄한다는 특징을 갖고 있다. 따라서 안테나 방식을 이용하고자할 때는 다음과 같은 감쇄에 대한 영향을 고려해야 한다.



BS : Base Station

그림 3-11. 안테나 방사방식

1. 강우탕에 의한 감쇄

그림 3-12 는 주파수에 따라 강우탕에 의한 감쇄를 나타낸다.

1GHz 이하의 주파수는 비 또는 대기 수분에 의한 영향을 받지 않는 반면에 10GHz 이상의 주파수는 영향을 크게 받는다. 일반적인 법칙은 낮

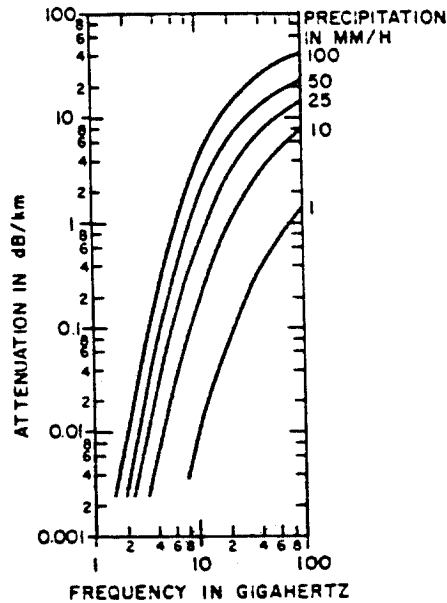


그림 3-12. 강우량과 주파수와의 관계

은 주파수일수록 보다 큰 투과력을 지니며 전파가 더 멀리 간다. 반면에 주파수가 높을수록 감쇄가 크고 전송기에 더 많은 전력(power)을 필요로 하며 효과적인 전달 범위의 반경이 좁아진다.

2. Shadowing

전형적인 이동통신 주파수(150-900MHz)에서 가장 중요한 감쇄 영향은 shadowing 이며 빌딩과 언덕들이 radio shadow 를 일으킨다.

실험적인 예로

- 교외지역이 빌딩이 많은 도심지역보다 수신된 신호 강도가 10dB 높다
- 확 트인 시골지역이 교외지역보다 수신된 신호 강도가 20dB 더 높다.

- 모든 조건이 같을때 이동무선 신호는 시골지역이 도심지역보다 더 멀리 전파된다.
- 나뭇잎이 울창한 여름철보다 겨울철에 신호강도가 더 높다.

3. 다경로(Multipath)에 의한 감쇄

일반적으로 통신에서 복잡한 채널에서의 문제점은 채널이 불규칙하게 시간적으로 변화한다는 것이다. 채널의 시간적인 변화는 전리층의 불규칙한 이동, 매질내에서의 구조물등 통신 매개체가 끊임없이 물리적으로 변화하는데에서 기인된다. 즉 무선파는 언덕, 빌딩, 자동차, 비행기 또는 대기의 불연속층에 의해 반사되어 다경로 전파를 하며 보통 경로가 많으면 많을수록 채널당 평균전력이 감소한다.

한편, 다경로 전파는 몇몇 어려운 문제를 야기시키는데 세가지 중요한 다경로의 문제점은 다음과 같다.

첫째, 수신된 신호의 지연범위(delay spread)

둘째, Rayleigh fading 으로 알려진 신호강도에 있어서 빠른 유동성을 일으키는 무작위 위상천이(random phase shift)

셋째, 다른 경로들에 의한 다른 도플러 천이들에 기인된 무작위 주파수 변조 (random frequency shift)

이들은 안테나 방식을 이용한 이동통신에서 시스템 설계자가 고려해야 할 중요한 사항이다.

4. 안테나 방식의 전송신호 감쇄량 예측

(1) 도심지역에서의 전송신호 감쇄량 예측

다음은 도심 지역에서의 기지국과 이동체 단말간의 신호 감쇄량을 나타낸 식이다.

$$L_c = L_o + A_m(f,d) - H_b(h_b,d) - H_m(h_m,f) \quad (\text{식 3-1})$$

여기서 L_c : 도심지역에서의 전송신호 예측 감쇄량(dB)

L_o : 자유공간 신호 감쇄량(dB)

A_m : 기지국 안테나의 실효 높이가 200m 이고 이동국 안테나의 실효 높이가 3m 일때 도심 지역에서의 평균 추가 감쇄량(dB)

$H_b(h_b,d)$: 도심 지역에서의 기지국 안테나 높이 200m 에 대한 기지국 안테나 상대높이 이득(dB)

$H_m(h_m,f)$: 도심 지역에서의 이동국 안테나높이 3m 에 대한 이동국 안테나의 높이 이득(dB)

을 나타낸다.

(가) 자유공간 신호 감쇄량

자유공간 신호 감쇄량 L_o 의 계산식은 다음과 같다.

$$L_o = (\lambda / (4 * \pi * d))^2 \quad (\text{식 3-2})$$

이 식을 간략화(단위: dB) 하면

$$L_o = 92.4 + 20 * \text{LOG}(d) + 20 * \text{LOG}(f) \quad (\text{식 3-3})$$

가 된다.

여기서, d : 송수신간 거리(기지국 및 이동국간 거리(Km))

f : 송수신 신호의 주파수(GHz)

λ : 송수신 신호의 파장을 표시한다.

(나) 도심지역 평균 추가 감쇄량

기지국 안테나 높이가 200m 이고 이동국 안테나 높이가 3m 일 경우

자유공간 신호 감쇄량의 도심지역 평균 추가 감쇄량을 주파수와 송수신 거리에 따라 그림 3-13 에 나타냈다.

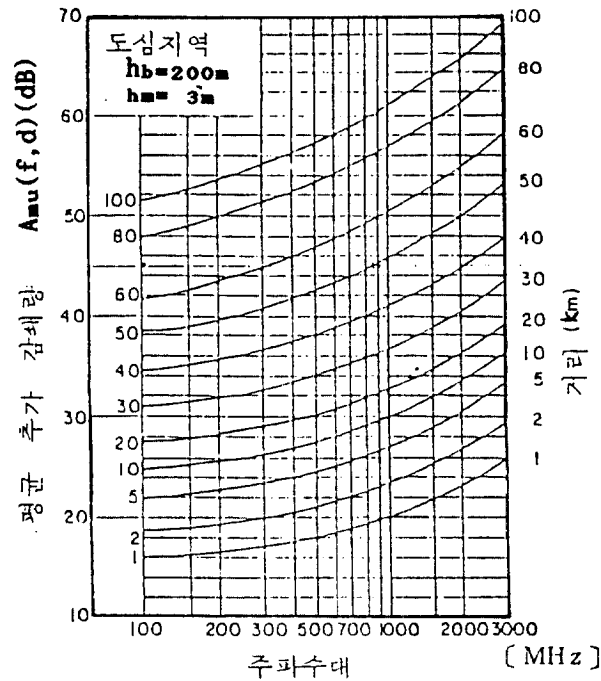


그림 3-13. 도심지역 추가 감쇄량

(다) 기지국 안테나 상대높이 이득

실제 기지국 안테나의 높이가 도심지역의 추가 감쇄량 계산시 기지국 안테나 높이 200m 보다 높을 경우에는 상대이득을 가지며 200m 보다 낮을 경우에는 상대적으로 추가 감쇄가 있다.

그림 3-14 는 기지국과 열차간의 거리 별로 기지국 안테나 높이에 따른 상대이득값을 나타낸 것이다.

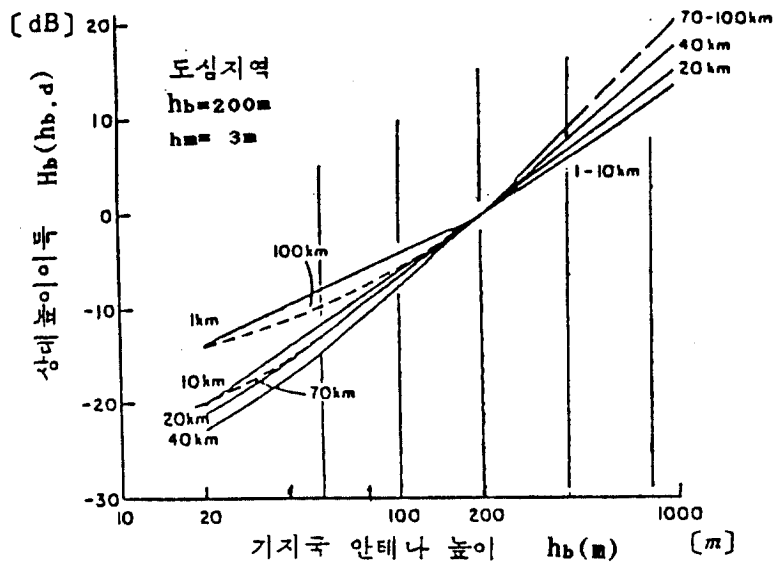


그림 3-14. 기지국 안테나의 상대높이 이득

(라) 이동국 안테나 상대높이 이득

실제 고려 대상의 이동국 안테나 높이가 도심지역의 추가 감쇄량 계산 시에 설정한 3m 아닌 경우 대도시와 중소도시별로 이동국 안테나에 따른 상대높이 이득을 그림 3-15 에 나타냈다.

(2) 임의 지형에서의 전송신호 감쇄량 예측

도심의 지형 형태로 가정한 “goasi - smooth” 지형이 아닌 교외 지역, 평활 지역, 경사지역, 구릉 지역등 임의 지형에서의 신호 감쇄량 예측을 위해서는 도심 지역의 신호 감쇄량을 예측시에 다음과 같은 수정 factor 들을 추가해야 한다.

$$L_t = L_c - K_{so} - K_{sp} - K_{ter} \quad (\text{식 3-4})$$

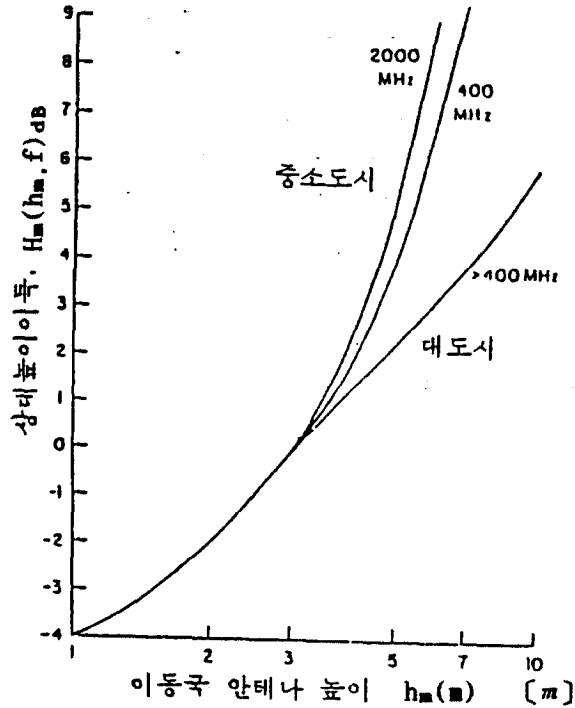


그림 3-15. 이동국 안테나의 상대높이 이득

여기서 L_t : 임의 지형에서의 예상 신호 감쇄량(dB)

L_o : 도심 지역에서의 예상 신호 감쇄량(dB)

K_{so} : 교외 지역 및 평활 지역에서의 수정 factor(dB)

K_{sp} : 경사 지역에서의 수정 factor(dB)

K_{ter} : 구릉 지역에서의 수정 factor(dB)

를 나타낸다.

(가) 교외 지역 및 평활 지역에서의 수정 factor

건물이 거의 없는 교외 지역과 논들과 같은 평활지역에서는 도심지역에서의 전송신호 감쇄량에 주파수에 따라 그림 3-16 과 같이 보상 수정 하여야 한다.

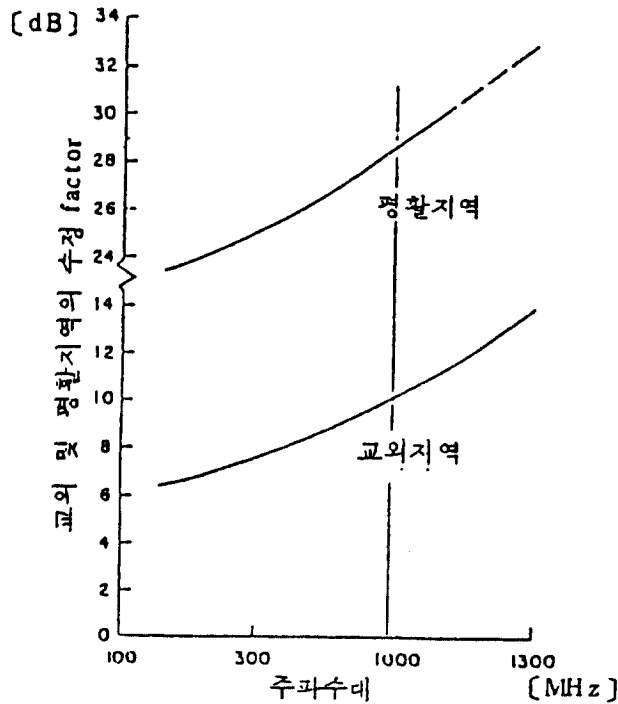


그림 3-16. 교외 및 평활 지역의 수정 factor

(나) 경사지역에서의 수정 factor

그림 3-17 과 같이 평균지면 높이에 대해 5 - 10 Km 의 경사를 갖는 지형에서는 수정 factor 가 고려된다.

전파 방향으로 높아지는 경사 지형의 경사각을 + θ_m 으로, 전파 방향으로 낮아지는 경사 지형의 경사각을 - θ_m 으로 표시한다. 다음 식은 경사지형에서의 수정 factor 값을 계산하는 식 이다.

$$d \geq 60 \text{ Km} ; K_{sp} = - 0.009411 \theta_m^2 + 0.7620 \theta_m + 0.22$$

$$d = 30 \text{ Km} ; K_{sp} = - 0.01340 \theta_m^2 + 0.6313 \theta_m - 0.63$$

$$d \leq 10 \text{ Km} ; K_{sp} = 0.002394 \theta_m^2 + 0.2057 \theta_m + 0.12$$

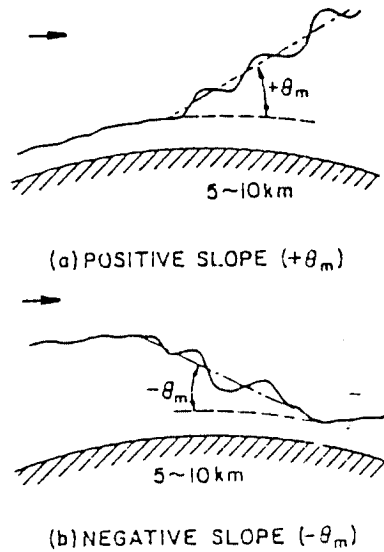


그림 3-17. 경사지역의 수정 factor

여기서 d : 기지국과 이동국간의 안테나 거리

K_{sp} : 수정 factor 값 (dB)

θ_m : 경사 지형의 평균 경사각 (mrad)

을 나타낸다.

이 식을 계산하여 그림 3-18 에 나타냈다.

(다) 구릉 지역에서의 수정 값

구릉 지역에서의 수정값을 그림 3-19 에 나타냈으며 지형 형태에 따른 h 의 값을 다음 표에 나타냈다.

계산식

$$K_h = - 5.180(\log \Delta h)^2 + 3.538(\log \Delta h) + 3.105$$

* K_h : 보정치 (dB)

Δh : 지형기복고 (m)

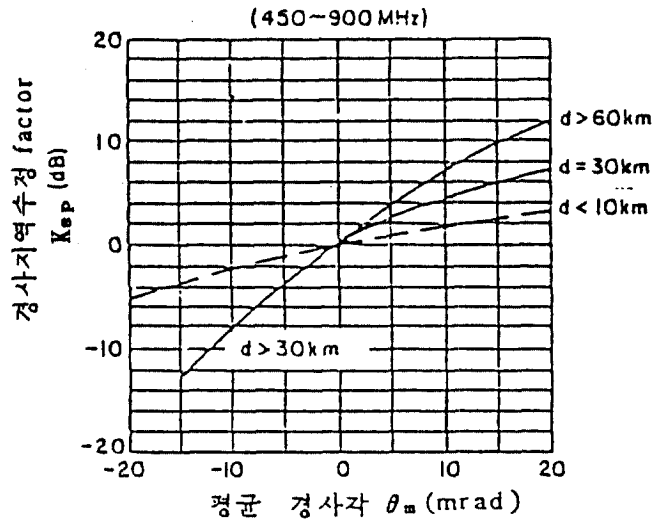


그림 3-18. 경사 지역의 수정 factor

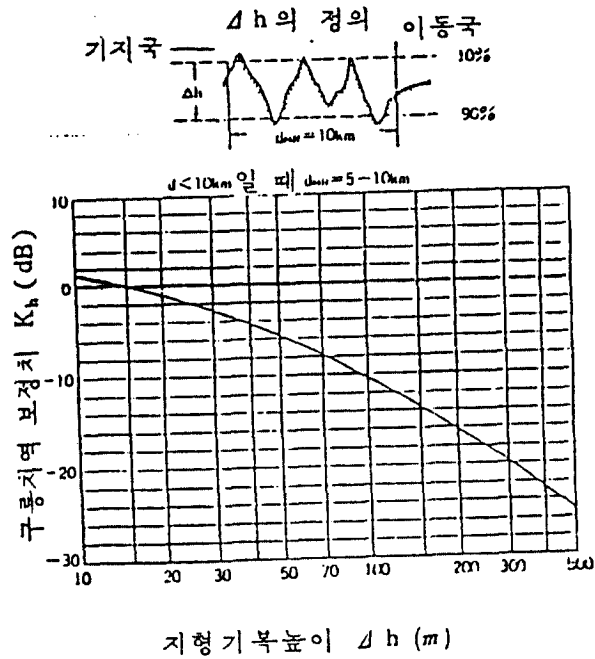


그림 3 - 19. 구릉 지역에서의 보정치

지 형 형 태	Δh (meters)
Water or very smooth plains	0 - 5
Smooth plains	5 - 20
Slightly rolling plains	20 - 40
Rolling plains	40 - 80
Hills	80 - 150
Mountains	150 - 300
Rugged mountains	300 - 700
Extremely rugged mountains	>700

그림 3-19 에 나타난 수정값을 구배 지형에서 이동국이 평균중앙높이 (50%선)에 위치하는 경우로서 이동국이 구배지형의 중앙선 상단에 위치할 경우에는 신호감쇄량은 더욱 커진다. 구배지형에서의 이동국 위치에 따른 신호감쇄량을 예측하기 위해서는 그림 3-20 에 나타난 구배지형의 이동국위치 보상값을 고려해야 한다.

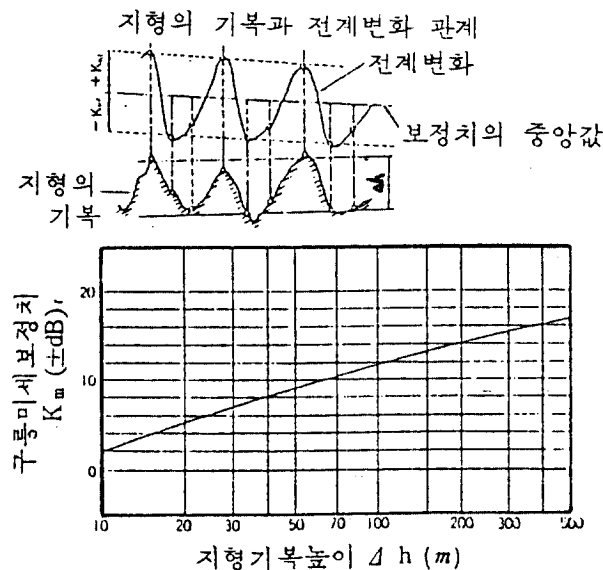


그림 3-20. 구배지형의 이동국위치 보상값

(라) 고립 산악지역에서의 보정값

그림 3-21 은 고립 산악지역에서의 보정값을 나타낸 것이다.

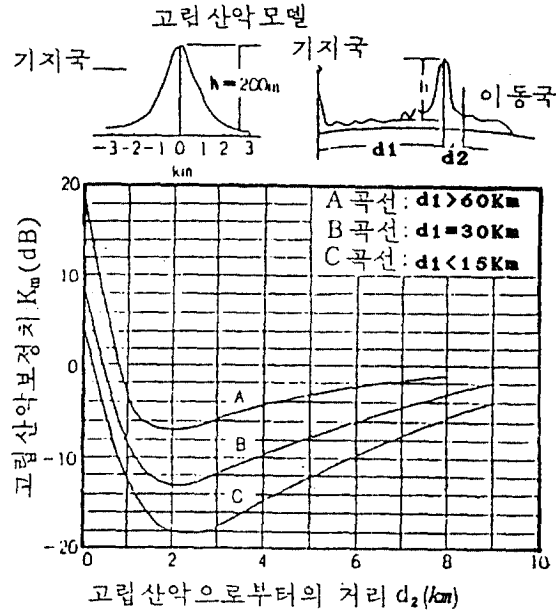


그림 3-21. 고립 산악지역에서의 보정값

계산식

A. $d_1 \geq 60\text{Km}$

$$K_{1m} = 0.08492d_2^4 - 1.63d_2^3 + 11.47d_2^2 - 30.41d_2 + 119.45 \quad (\text{식 3-7})$$

B. $d_1 = 30\text{Km}$

$$K_{1m} = 0.06259d_2^4 - 1.280d_2^3 + 9.184d_2^2 - 25.19d_2 + 9.79 \quad (\text{식 3-8})$$

C. $d_1 \leq 15\text{Km}$

$$K_{1m} = 0.04980d_2^4 - 1.065d_2^3 + 8.102d_2^2 - 23.33d_2 + 4.07 \quad (\text{식 3-9})$$

여기서 K_{im} : 보정치(dB)

d_2 : 고립 산악으로부터의 거리(Km)

d_1 : 기지국으로부터 고립산악까지 거리(Km)

를 표시한다.

기지국 높이가 200m가 아닌 경우에는 그림 3-22 와 같이 기지국 높이에 따라 보상계수를 구해 앞에서 구한 $K_{im}(dB)$ 에 α 배 한다.

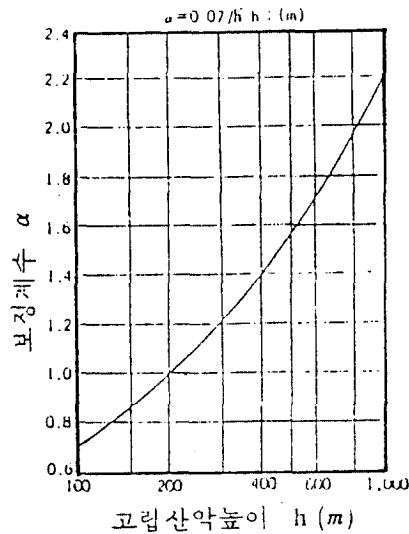


그림 3-22. 보정계수와 산악높이와의 관계

제 3-3 절 LCX방식과 안테나 방식의 비교

이상 앞절에서 누설동축케이블과 안테나 방식의 방사특성과 특징에 관해 기술하였다. 이들 방식에 대한 장, 단점을 비교하면 표 3-2 와 같다.

표 3-2. 안테나 방식과 LCX 방식의 장, 단점비교

구 분	장 점	단 점	적용국가
안테나 방사방식	-초기 투자비 감소 -설치 용이	-채널간 간섭으로 보호채널 증가 (앞:4개, 뒤:3개) -Fading현상발생 -기상의 영향을 받음 -방사전력 증가 -터널내 통신대책 필요 -지형지물의 영향이 많음	일 본 스위스
LCX 방식	-전파 전파범위의 최소화 -지형지물에 의한 감쇄없음 -무선채널 효율 증가 -무선구역의 보호채 널을 줄일수 있음 -S/N 비 향상 -방사전력 감소가능	-시설 및 투자비 증가 -시설 유지비 증가	일 본 미 국 영 국

현재 우리나라에서는 일부 구간에 누설동축케이블이 포설되어 있으나 일본의 신간선처럼 운용단계에 있지 않다. 한편 기존철도 통신망과 자동차 전화 통신망은 안테나 방식을 사용하고 있고, 안테나 방식을 사용하고 있는 국내 열차무선통신방식은 표 2-1 과 같이 정리된다.

앞으로 운용하게 될 국내에 적합한 열차무선전화에 대한 방식은 제4장

열차무선전화 통신망 구성방식과 제5장 터널내 통신대책 방안을 언급한 후에 제11장 결론 부분에서 제안하겠다.

제 4 장 열차무선전화 통신망 구성방식

열차무선전화 통신망 구성방식에는 기존철도 통신망 이용방식, 누설동축케이블(LCX) 이용방식 및 자동차 전화 통신망 이용방식 등 크게 3가지가 있다.

제 4-1 절 기존철도 통신망 이용방식

현재 우리나라의 기존 철도 통신망은 열차의 안전운행을 보장하기 위하여 역소(465 기지국 설치)와 열차상호간의 통신링크(VHF 4채널)로 사용되고 있으며 철도업무 전화외에도 철도시설 건설 및 보수업무 등에 이용되고 있다.

(표 2-1 참조)

만약 열차공중전화를 기존철도 통신망에 연결하여 사용한다면, 이 방안은 현 기지국 설비의 활용이 가능하다는 점에서 새로운 망을 계획할 필요성이 없어 초기 투자비용이 적고 건설기간이 단축된다는 장점을 지니고 있다. 그러나 열차 운행용 VHF 채널과 구분되는 열차공중전화 또는 열차운행 및 공중전화 검용채널(4-6개 채널이상)의 증설이 필요하며 현재 사용중인 150MHz대는 폭주 주파수대로 간주되어 주파수 증설이 어렵다는 문제점이 있다.

또한 시설 투자면에서 열차공중전화를 일반전화망과 연결하기 위한 교환국 및 제어국만을 신설하고 안테나와 기지국설비는 현 시설을 이용할 수 있으나 현 시설은 장차 노후화로 경제적으로 큰 잇점이 없다.

그러므로 새로운 주파수대를 사용한 열차운행과 열차공중전화 서비스 등을 검용한 새로운 시스템을 도입하여야 할 것이다.

그림 4-1 은 기존 철도 통신망을 응용한 열차공중전화 설비 개략도로써 각 역에 기지국을 설치하여 약 10개의 기지국을 통괄하는 제어국을 둔다. 제어국은 통화채널을 갖는 열차의 위치를 등록시키고 통화중 위치가 변경될 때 그 변화를 탐지하여 다른 기지국으로 절체(Hand-off)시킴으로써 일정한 통화로를 유지시켜 준다. 또한 열차공중전화로부터 호출된 전화를 시외전화국과 연결시켜 일반전화 가입자와 통화할수 있도록 한다.

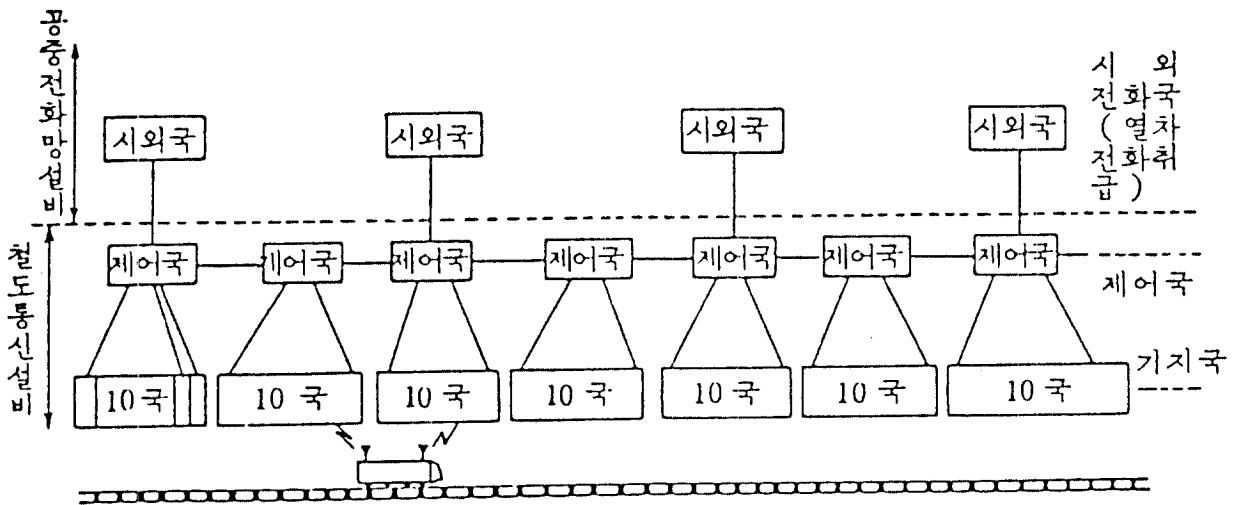


그림 4-1. 기존열차 통신방식에 의한 열차공중전화망 구성도

제 4-2 절 누설동축케이블 이용방식

누설동축케이블 이용방식은 열차와 기지국 사이의 무선선로를 이루기 위하여 철로를 따라 누설동축케이블을 설치하여 새로운 단독망을 구성하는 방식으로 열차통신망 구성도는 그림 3-1 과 그림 4-2 와 같다.

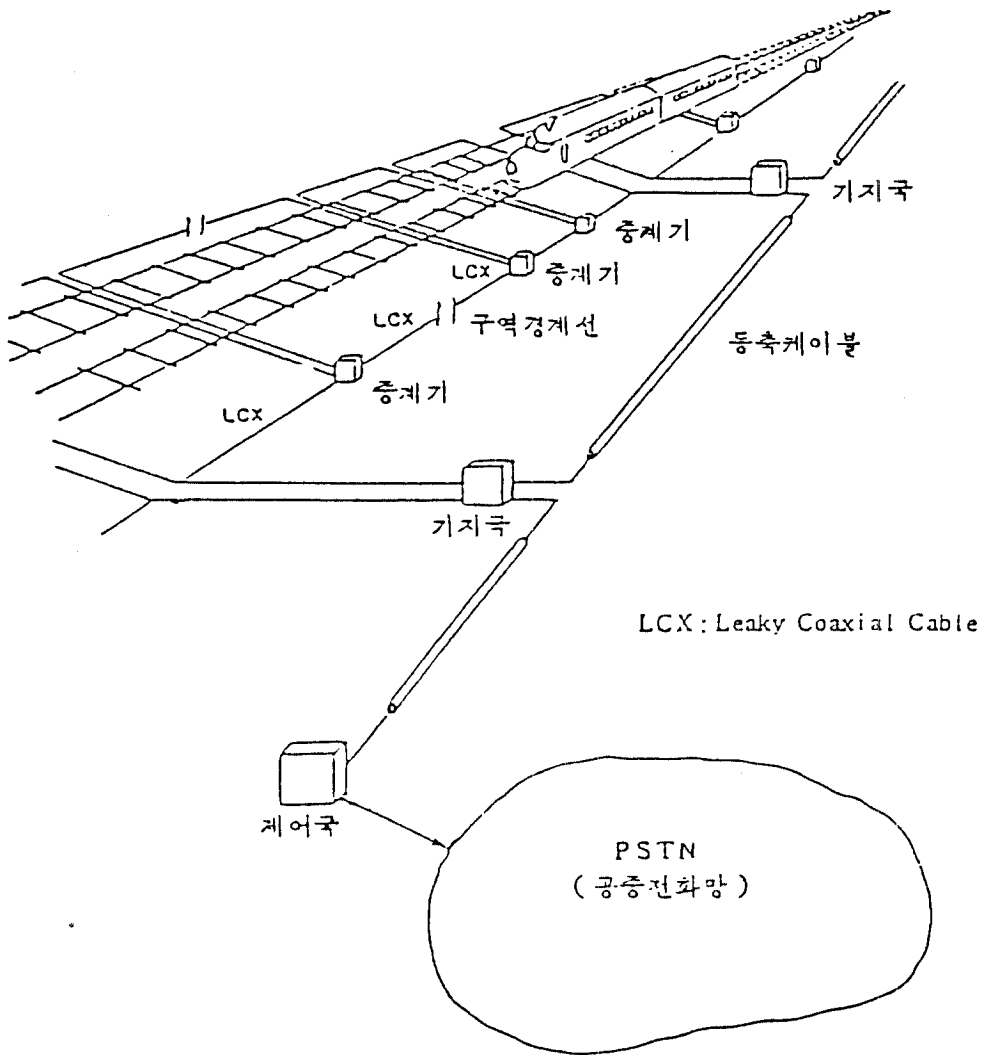


그림 4-2. 누설동축케이블을 이용한 열차공중전화망 구성도

이와같이 누설동축케이블을 이용하여 열차통신망을 구성할 경우 타 방식보다 시설투자비 및 유지보수비등 비용이 훨씬 많이 들지만 다음과 같은 장점이 있다.

- 전파의 전파범위를 최소화 가능
- 지형지물 등에 의한 전파감쇄 고려 불필요
- 무선 채널수 증가 가능
- 무선구역(radio zone)의 보호 채널수를 줄일 수 있음
- 통화량 출고율(Traffic throughout) 증가
- 음질 향상

특히 누설동축케이블을 사용할 경우 500Khz 부터 900Mhz 중 어느 주파수도 사용할 수 있으나 일반적으로 VHF 대의 주파수가 시스템 설계시에 더욱 효과적이다. 그러나 다음과 같은 운용 주파수의 사용에 영향을 미치는 요인들은 고려해야 한다.(제 3-1 절 참조)

- 채널의 가용성
- 터널의 구조와 크기에 따른 영향
- 타 이동통신 범위로의 확장여부

제 4-3 절 자동차전화 통신망 이용방식

현재 계속 확장되어가는 국내 자동차전화 통신망(800MHz대, Cellular방식)을 열차공중전화에 확장, 이용하는 방식으로 열차 여행중 승객들이 지상의 일반 전화 가입자나 자동차전화 가입자에게 통화하고자 할 때는 현재 열차가 지나가고 있는 자동차전화 통신망의 기지국 채널을 이용하는 방식이다.

이 방식의 자동차전화 통신망과 열차공중전화 통신망을 공용한 통신망의 구성도는 그림 4-3 과 같다.

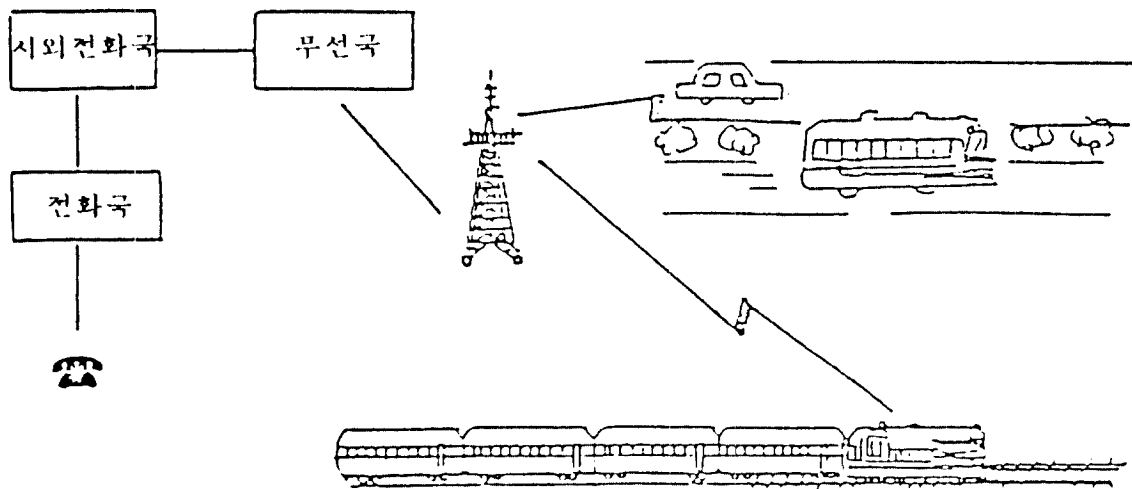


그림 4-3. 자동차전화망과 열차공중전화망을 공용한 통신망도

특히 이 방식으로 열차통신망을 구성할 경우, 기존의 자동차전화 통신망이 구성되어 있으므로 열차공중전화를 위해 요구되는 시설투자비, 운용인력, 유지보수비 등이 타 방식에 비해 가장 경제적이다.

그러나 설계시 고속도로와 철도가 공히 서비스 지역에 들도록 세심한 배려를 해야 하며 이에 대한 Cellular방식의 Cell반경을 고려해야 한다. 특히 산악지형이 많은 우리나라에서 지형지물에 의한 신호감쇄도 고려해야 한다.

또한 자동차전화 통신망은 전국망 확대시 단지 각 기지국의 RF채널수를 4회선으로 계획하고 있어 열차공중전화와 공용할 경우 회선 증설이 요구된다.

제 4-4 절 열차무선전화 통신망 구성방식의 비교

열차무선전화 통신망 구성방식에 대해 요약하면 표 4-1 과 표 4-2 와 같다.

표 4-1. 열차공중전화 통신망 구성방식 비교

방 식	내 용
기존철도 통신망 이용방식	- 기존철도 통신망 : 열차운행용, 철도업무, 철도 시설 건설 및 보수업무에 사용 - 안테나 방사 방식 : 도심지역에서의 기지국과 열차 간의 신호감쇄 큼 - 도심지역에서 기지국 안테나 높이 증대 필요 - 운행중인 열차주변지형 영향 받음
LCX 이용방식	- 철도를 따라 누설동축케이블 설치 - 광대역 사용가능 : 500-900 MHz - 선로를 따라 밀도높은 전자계 형성 : 신뢰성 있는 통신 제공 - 국내 기존철도 LCX 설치현황 : 경부선 일부 터널 (2-3곳)
자동차 통신망 이용방식	- 국내자동차 통신망 (800 MHz, cellular 방식)을 열차공중전화에 확장, 이용 - 자동차전화 통신망의 기지국 채널 이용, 통화 - 안테나 방사 방식 : 도심지역에서의 기지국과 열차간의 신호감쇄 큼 - 도심지역에서 기지국 안테나 높이 증대 필요 - 열차 주변지형의 영향 및 터널 내부 통신 대책 방안 고려

표 4-2. 열차공중전화 통신망 구성방식의 장, 단점

방 식	장 점	단 점
기존철도 통신망 이용방식	- 현 기지국 설비의 활용가능 - 초기투자비용이 적음 - 건설 기간 단축	- 채널증설(4-6)필요 - 150 MHz 대는 폭주주파수대로 주파수 증설 불가 - 교환국 및 제어국 신설 불가피 - 신장비 도입 불가피 - 터널내부 통신대책 방안 강구
LCX 이용방식	- 전파의 전파범위를 최소화 - 지형지물 고려 불필요 - 무선채널수 증가 가능 - 음질향상	- 시설투자비, 유지보수비 및 운용인력 과다소요
자동차 통신망 이용방식	- 시설투자비, 유지보수비 및 운용인력 절감	- 회선 증설 필요 - 서비스구역 설계시 주의요망 - 시골지역 및 산악지역 서비스 제공가능 의문시

다음은 통신망 구성방식에 따라 예상되는 시설투자비, 운용인력, 연간 유지 보수비로 한국전자통신연구소의 “중장기 이동체통신 종합계획수립에 관한 연구”보고서(1985년)를 참조로 하였다.

1. 통신망 구성방식에 따른 예상 시설 투자비

(1) 기존 철도 통신망 이용시

* 기준단가

(단위 : 천원)

항 목	단 가	항 목	단 가
기지국 설비	20,000/기	단 말 기	1,500
L C X	25/m	R F 장 치	2,750
케 이 블	2/m	안테나 등	1,500
제 어 설 비	100,000/기	부대 비용	
중 계 기	1,000/기		
Booster	3,000/기		

* 구간별 설치비용

(단위 : 백만원)

구 간	구간 길이 (Km)	기지 국수	기지국 설 비	제어 설비	Coaxial Cable	LCX	Booster	기 타 공사비	계
경부선	444.5	80	1,600	800	889	535 (21.4Km)	165 (55개소)	380.3	4,369.3
호남선	274	48	960	500	548	77 (3Km)	45 (15개소)	191.6	2,321.6
중앙선	496.6	53	1,060	500	993.2	925 (37Km)	210 (70개소)	402.8	4,091
경전선	315	44	880	400	630	310 (12.4Km)	135 (45개소)	233	2,588
영동선	193.6	33	660	300	387.2	475 (19Km)	150 (50개소)	201.5	2,173.7
전라선	149.1	37	740	400	298.2	115 (4.6Km)	60 (20개소)	140	1,753.2
대구선	70.6	8	160	100	141.2	0	0	38.1	439.3
장항선	128.4	27	540	300	256.8	75 (3km)	45 (15개소)	107.3	1,324.1
태백선	111.1	21	420	200	222.2	625 (24Km)	165 (55개소)	178.1	1,810.3
계	2,232	9 351	7,020	3,500	4,365.8	3,137	975	1,872.7	20,870.5

- 1) 각 기지국에 RF 송,수신부 설치
- 2) 제어설비는 약 10개 기지국에 1대 설치함
- 3) 철도 전구간에 동축케이블을 설치(기지국과 기지국 또는 기지국과 제어국 연결)

* 년도별 투자비

(단위 : 백만원)

구분 \ 년도		'87	'88	'89	'90	'91	'92 - '96	'97 - 2000
기지국	RF 송수신부	1,600	960	-	-	-	3,500	960
	제어설비	800	500	-	-	-	1,700	500
	동축케이블	889	548	-	-	-	2,449.8	479
	L C X	535	77	-	-	-	1,825	700
	Booster	165	45	-	-	-	555	210
	기타공사비	380.3	191.6	-	-	-	1,015.4	285.4
	소 계	4,369.3	2,321.6				11,045.2	3,134.4
이동국	단말기	33	75	21	6	9	192	42
	R F 장치	60	137	38	11	16	352	77
	안테나및부대비	33	75	21	6	9	192	42
	소 계	126	287	80	23	34	736	161
계		4,495.3	2,688.6	80	23	34	11,781.2	3,295.4
누 계		4,495.3	7,103.9	7,183.9	7,206.9	7,240.9	19,022.1	22,317.5

(2) LCX 이용시

* 기준단가

(단위 : 천원)

항 목	단 가	항 목	단 가
기지국 설비	20,000/기	단 말 기	1,500
L C X	25/■	R F 장 치	2,750
케 이 블	2/■	안테나 등	1,500
제 어 설 비	100,000/기	부대 비용	
중 계 기	1,000/기		
Booster	3,000/기		

* 구간별 투자비

(단위 : 백만원)

구 간	구간 길이 (Km)	기지 국수	기지국 설 비	제어 설비	Coaxial Cable	LCX	중계기	기 타 공사비	계
경부선	444.5	80	1,600	800	889	11,111.5	160	1,966.6	16,518.1
호남선	274	48	960	500	548	6,850	96	1,210.8	10,164.8
중앙선	496.6	53	1,060	500	993.2	12,415	106	2,119.5	17,193.7
경전선	315	44	880	400	630	7,875	88	909.4	10,782.4
영동선	193.6	33	660	300	387.2	4,840	66	850.8	7,104
전라선	149.1	37	740	400	298.2	4,977.5	74	870.3	7,360
대구선	70.6	8	160	100	141.2	1,765	16	303.9	2,468.1
장항선	128.4	27	540	300	256.8	3,210	54	577.9	4,938.7
태백선	111.1	21	420	200	222.2	2,777.5	42	493	4,154.7
계	2,232	9 351	7,020	3,500	4,365.8	3,137	702	9,302.2	80,712.5

* 년도별 투자비

(단위 : 백만원)

구분 \ 년도		'87	'88	'89	'90	'91	'92 - '96	'97 - 2000
기 지 국	기지국 설비	1,600	960	-	-	-	3,500	960
	제어 설비	800	500	-	-	-	1,700	500
	동축 케이블	889	548	-	-	-	2,449.8	479
	L C X	11,112.5	6,850	-	-	-	31,872.5	5,987.5
	중계기	160	90	-	-	-	350	96
	기타공사비	1,966.6	1,210.8	-	-	-	5,053.9	1,070.9
	소계	16,628.1	10,165				44,916.2	9,093.4
이 동 국	단말기	33	75	21	6	9	192	42
	R F 장치	60	137	38	11	16	352	77
	안테나및부대비	33	75	21	6	9	192	42
	소계	126	287	80	23	34	736	161
계		16,654.1	10,452	80	23	34	45,662.2	9,254.4
누계		16,654.1	27,106	27,186	27,209	27,243	72,905.1	82,159.5

(3) 자동차 통신망 이용시(추가시설에 대한)

자동차 통신망을 이용할 경우 자동차 통신망이 확대된 후에 서비스를 개선했다고 가정하고 열차공중전화를 위해 요구되는 시설을 LCX, Booster 및 중계기등의 터널 지역 통신설비와 차량 전화망의 확대에 늘어나는 채널수요의 증대를 대비,철도 주변 기지국 및 채널증설이 요구되며 경부선과 호남선의 터널지역 통신시설 설치비용은 아래와 같다.

(단위:백만원)

구 분	터 널 수	터널길이 (Km)	L C X	Booster	부대비	계
경부선	55	21.4	535	165	91	791
호남선	15	3	77	45	15	137

2. 통신망 구성방식에 따른 예상운용 인력

(1) 기존철도 통신망 이용시(안테나 방사방법)

년도 항목	'87	'88	'89	'90	'91	'96	2001
제어국 및 기지국 등 유지 보수 인력	8	13	13	13	13	30	35
이 동 단 말 기 등 유지 보수 인력	2	4	4	4	6	16	20
총 인 원 (명)	10	17	17	17	19	46	55

*1) 각 제어국에 1명이 유지 보수 인력을 두며 각 기지국은 해당 관할 제어국의 인원이 운용한다.

즉 기지국에는 상주 유지 인력이 없이 제어국 운용요원 및 역의 당일 근무자가 기지국의 유지 보수를 담당한다.

현재 열차 무선통신 운용은 전담 운용 요원이 없고 각 역의 근무자가 운용하고 있음.

*2) 구간에 2 명씩 (단 경부선은 91 년부터 2명 추가)

(2) LCX 이용시

년도 항목	'87	'88	'89	'90	'91	'96	2001
선로유지보수인력	8	13	13	13	13	30	35
기지국등유지보수인력	8	13	13	13	13	30	35
이 동 단 말 기 등 유지 보수 인력	2	4	4	4	6	16	20
총 인 원 (명)	18	30	30	30	32	76	90

*1) 관할 제어국에 1명씩

*2) 구간별 2명씩(단 경부선은 91년 이후 2명 추가)

(3)자동차 통신망 이용시 (추가 시설에 대한)

년도 항목	'87	'88	'89	'90	'91	'96	2001
제어국 및 기지국 등 유지 보수 인력	4	6	6	6	6	15	17
이 동 단 말 기 등 유지 보수 인력	2	4	4	4	6	16	20
총 인 원 (명)	6	10	10	10	10	31	37

*1)자동차 전화망 운용국인 KTA는 유지 보수 인력이 운용하는 것으로 하며 단지 열차 공중 전화 통신망을 위한 추가 시설의 유지 보수인력만을 나타낸다. 여기서 추가 시설은 터널내의 통신 시스템(LCX, Booster 등)과 자동차 전화통신망이 확대되지 않는 철도지역의 기지국등의 설비이다.

*2)각 구간에 2명씩(단, 경부선은 91년부터 2명 추가)

3.통신망 구성방식에 따른 예상 연간 유지 보수비

(1)기존철도망 이용시

(단위:백만원)

년도 항목	'87	'88	'89	'90	'91	'96	2001
인 건 비	60	102	102	102	102	1218	1626
누설및동축케이블	28.5	41	41	41	41	126.5	150.1
기지국및기타설비	128	203.5	203.5	203.5	203.5	491.3	574.8
이 동 국	6.3	20.7	24.7	25.9	27.6	256.4	347.3
부 대 비	30	51	51	51	57	609	813
합 계	224.4	418.2	422.2	422.4	443.1	2701.2	3511.2

(2)LCX 이용시

(단위 : 백만원)

년도 항목	'87	'88	'89	'90	'91	'96	2001
인 건 비	108	180	180	180	192	1608	2664
누설및동축케이블	240	388	388	388	388	3876	5831
기지국및기타설비	128	205.8	205.8	205.8	205.8	1538.7	2694.6
이 동 국	6.3	20.7	24.7	25.9	27.6	256.4	347.3
부 대 비	54	90	90	90	96	804	1332
합 계	536.3	884.5	888.5	889.7	815.4	8092.1	12868.9

(3)자동차 통신망 이용시 (추가 시설에 대한)

자동차 통신망 이용시 열차공중전화 통신망을 위해 추가된 터널 지역의 통신 설비시설의 유지보수만을 고려하며 터널지역에서는 LCX 케이블만을 설치한다고 전제한다.

(단위 : 백만원)

년도 항목	'87	'88	'89	'90	'91	'96	2001
인 건 비	3	5	5	5	5	15.5	18.5
누설및동축케이블	10	12.24	12.24	12.24	12.24	48.7	62.7
Booster	8.25	11	11	11	11	38.3	48.8
이 동 국	6.3	20.7	24.7	25.9	27.6	256.4	347.3
부 대 비	1.5	2.5	2.5	2.5	2.5	7.75	9.25
합 계	20.05	51.44	55.44	56.64	58.34	366.65	486.55

제 5 장 터널내 통신대책 방안

이동체 통신은 신뢰성있는 서비스를 공급하기 위해 터널 내부에서도 지속적인 통화를 할 수 있도록 설계시 세심한 주의가 필요하다. 따라서 적당한 수준의 전자파가 어떤 수단을 통하여 터널 내부에 전송되어야 하는지 알아야 한다.

본 장에서는 터널 내부로 전자파를 전송시키기 위해 제안된 방사 시스템을 고찰하였다.

제 5-1 절 터널내에서의 전자파 전파 특성

터널 내부에서의 전자파의 전파특성은 구형 도파관이나 원형 도파관으로 모델링하여 해석할 수 있다.

1. 차단 주파수

도파관에서의 차단주파수는 도파관 횡단면의 길이와 관계되며 구형 도파관에서의 차단 파장은

$$\lambda_{mn} = \frac{2\sqrt{ab}}{\sqrt{m^2(b/a) + n^2(a/b)}} \quad (\text{식 5-1})$$

여기서 a : 도파관의 폭

b : 도파관의 높이

$m, n = 0, 1, 2, \dots$ for TE_{mn}, TM_{mn} mode

이다. 또한 원형도파관에서의 차단파장은

TM_{mn} mode 인 경우

$$\lambda_{mn} = \frac{2\pi}{X_{mn}} r \quad (\text{식 5-2})$$

여기서 r : 도파관의 반경

X_{mn} : m 차 Bessel 함수의 n 번째 영이 되는 근

TE_{mn} mode 인 경우

$$\lambda_{mn} = \frac{2\pi}{X'_{mn}} r \quad (\text{식 5-3})$$

여기서 X'_{mn} : m 차 Bessel 함수를 미분하여 n 번째 영이 되는 근

이다.

차단주파수 이하의 주파수는 도파관을 전파해 나갈 수 없으며 횡단면의 길이와 관계되어 전장의 세기는 감소된다.

2. 감쇄상수

차단주파수 이상의 주파수에서의 감쇄는 주파수, 도파관의 모양, 횡단면의 길이, 도파관의 전기적 특성에 좌우된다.

구형도파관의 TM_{mn} mode 인 경우 감쇄상수는

$$\alpha = 8.69 \frac{2R}{\xi a} \left[\frac{m^2 + n^2(a^3/b^3)}{m^2 + n^2(a^2/b^2)} \right] \frac{1}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{mn})^2}} \text{ [dB/m]} \quad (\text{식 5-4})$$

여기서 ξ : 전파 매질의 고유 임피던스 ($\sqrt{\mu/\epsilon}$)

R : $10.88 \times 10^{-3} \sqrt{(10^7/\sigma)(1/\lambda)}$ [ohms]

a : 도파관 벽의 도전도 [mho/m]

μ : 전파매질의 투자율

ϵ : 전파매질의 유전율

이고 TE_{mn} mode 인 경우는

$$\alpha = 8.69 \frac{R}{\xi b} \left[\frac{\epsilon_n m^2(b/a) + \epsilon_m n^2}{m^2(b/a) + n^2(a/b)} \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{mn})^2} + \frac{(\epsilon_n + \epsilon_m(b/a)) (\lambda/\lambda_{mn})^2}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{mn})^2}} \right] \text{ [dB/m]} \quad (\text{식 5-5})$$

여기서 $\epsilon_m \begin{cases} = 1 & \text{if } m=0 \\ = 2 & \text{if } m \neq 0 \end{cases}$

이다. 또한 원형도파관의 TM_{mn} mode 인 경우는

$$\alpha = 8.69 \frac{R}{\xi r} \frac{1}{\sqrt{1-(\lambda/\lambda_{mn})^2}} \quad [\text{dB/m}] \quad (\text{식 5-6})$$

이고 TE_{mn} mode 인 경우는

$$\alpha = 8.69 \frac{R}{\xi r} \left[\frac{m^2}{X'^2_{mn} - m^2} + (\lambda/\lambda_{mn})^2 \right] \frac{1}{\sqrt{1-(\lambda/\lambda_{mn})^2}} \quad [\text{dB/m}]$$

(식 5-7)

로 표현될 수 있다.

3. 터널내에서의 해석

(식 5-1)에서 (식 5-7)은 이상적인 도파관에만 적용 가능하며 실제로 터널에서의 (식 5-1)에서 (식 5-7)의 적용은 실험적인 해석만이 바람직하다.

도파관과 터널의 차이점은 내부벽의 도전도가 터널에서의 경우가 낮다는 점이다.

따라서 주파수가 증가할수록 터널의 벽은 도전체보다는 유전체가 되며 결국 손실은 터널벽에서의 전자파의 굴절 및 반사에 기인된다. 실험적으로 파장이 횡단면의 길이보다 작을 경우 주파수 증가할수록 터널벽의 굴곡으로 인하여 각 모드의 감쇄는 증가하지만 전체손실은 주파수가 증가할수록 작아진다는 것이 입증되었다. 그림 5-1은 그 실험결과를 나타낸다.

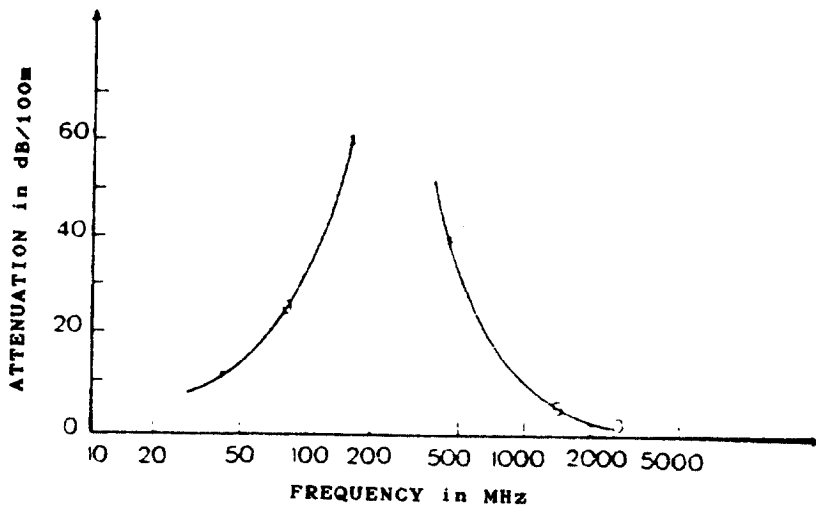


그림 5-1. 터널내 주파수와 감쇄량과의 관계

또한 주파수가 충분히 낮은 경우, 즉 차단주파수 이하인 경우에도 전자파는 터널이 없는 것으로 간주하여 전파해 나갈수 있다. 이 경우 감쇄상수는

$$\alpha = 8.69 \sqrt{(2\pi f \mu \sigma / 2)} \quad [\text{dB/m}] \quad (\text{식 5-8})$$

여기서 f : 주파수

μ : 투자율

σ : 도전도

로 표현되며 결국 어떤 터널에서는 차단주파수가 존재하지 않는다는 것을 보여주고 있다.

그러나 이 경우 감쇄상수 α 는 터널벽의 도전도 측정이 어렵기 때문에 실제적으로 거의 사용되지 않고 있다. 일반적으로 차단주파수 이상에서 만약 감쇄가 터널벽의 저항성분의 제곱근에 비례하여 증가한다면 감쇄는 터널 횡단면의 길이에 상당한 관계가 있다고 볼 수 있다. 그림 5-2는 터널 횡단면의 길이를 반으로 줄였을 때의 감쇄량의 변화를 보여준다.

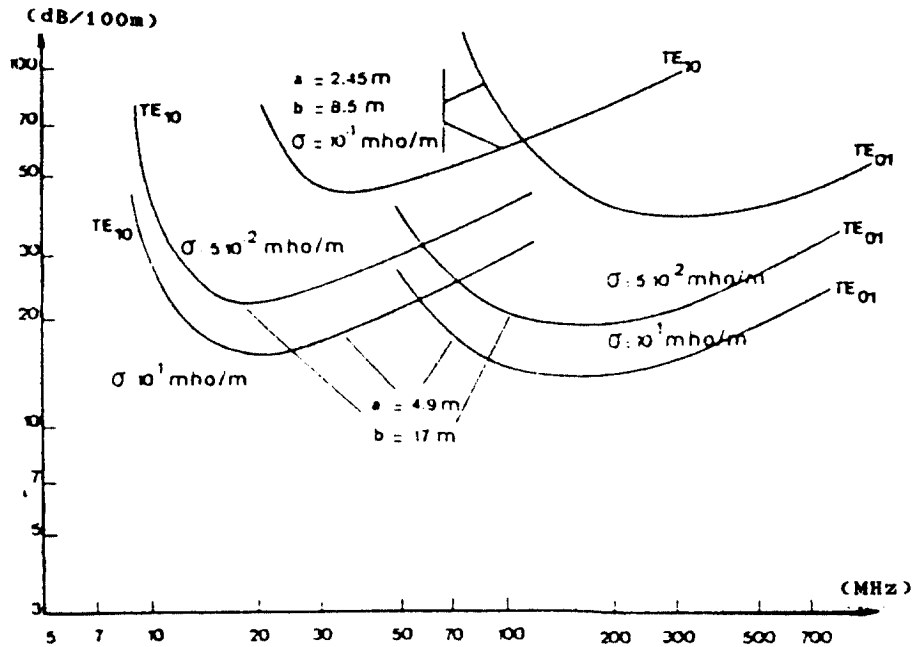


그림 5-2. 터널 횡단면 도전도와 감쇄량과의 관계

결국 차단주파수 이상에서의 감쇄는 도전도와 터널의 횡단면의 길이에 좌우되며 이 경우 실제로 도파관에서의 감쇄 이론과 일치한다고 볼 수 있다.

제 5-2 절 터널내에서의 방사 시스템 종류

1. 방사 방식

(1) 안테나 방식

기지국에 의해 방사된 신호가 터널 외부에 설치된 안테나에 의해 수신된 후 증폭되어 터널 입구에 설치된 다른 안테나에 의해 터널 내부로 재방사시키는 방식으로 개략도는 그림 5-3과 같다.

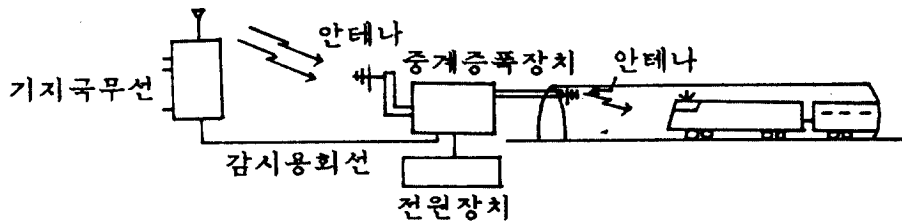


그림 5-3. 안테나 방사 방식

(2) 누설 동축 케이블 및 평행 도선 방식

터널 외부에 설치된 안테나에 의해 수신된 신호를 증폭하여 터널벽을 따라 설치된 누설 동축 케이블이나 평행 도선을 따라 방사시키는 방식으로 개략도는 그림 5-4와 같다.

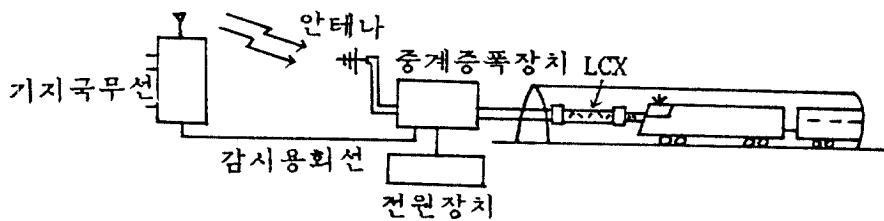


그림 5-4. LCX 방사 방식

그림 5-5와 같이 누설 동축 케이블에 slot이 있다면 복사 전력은

$$P_R \cong \frac{G_R}{G_R^2 + (B_F + B_R)^2} Y_o P_o \quad (\text{식 5-9})$$

여기서 Y_0 : characteristic admittance

P_0 : transmitted power

B_F : exciting susceptance

G_R : radiation conductance of slot radiator

B_R : radiation susceptance of slot radiator

이다. 복사 전력은 급전 지점에서의 저항 성분에 비례하는 것을 알 수 있으며 특히 slot에서 공진을 피하기 위해서는 누설동축케이블의 외경 D_2 와 동작 주파수의 파장과의 관계식이 $D_2/\lambda_2 < 0.1$ 을 만족해야 한다.

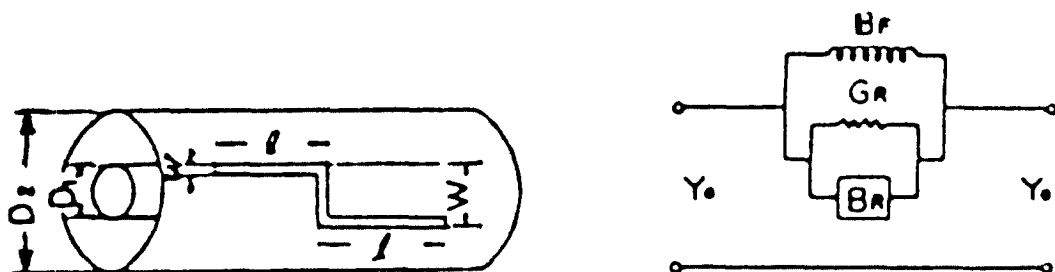


그림 5-5. LCX 구조와 등가 회로

2. 에너지 손실

에너지 손실에는 전송 손실과 결합손실로 나뉘어지며 두 손실을 합한 것을 전체손실이라 한다.

(1) 전체손실 (Total loss)

열차에 설치된 안테나에 수신된 에너지와 증폭기 (booster) 출력에너지와의 차이를 말한다.

(2) 결합손실 (Coupling loss)

터널 내부의 전송 선로와 열차에 수신된 에너지 차이를 말하며, 터널 횡단면에서의 전송 선로와 열차 상호간의 위치에 관계되며 터널 내부에서의 주 손실 요소이다.

(3) 전송손실 (Transmission loss)

터널 내부로의 에너지 공급 지점과 선로를 따라 임의의 열차 위치에서의 에너지 차이를 말하며 전송 선로의 전기적인 특성에 좌우된다.

3. 각 방식의 손실 비교

그림 5-6과 그림 5-7은 각 방식의 손실을 비교하기 위한 실험의 한 예이다. 실험에서 사용된 주파수는 150MHz이며 방식별 특성은 표 5-1과 같다.

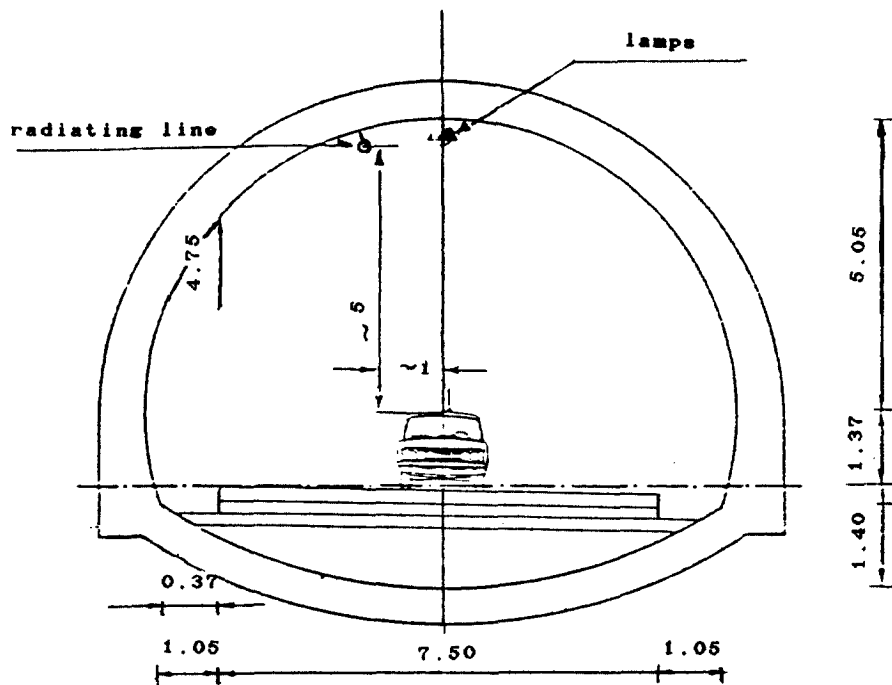


그림 5-6. 터널 횡단면 (단위 : meter)

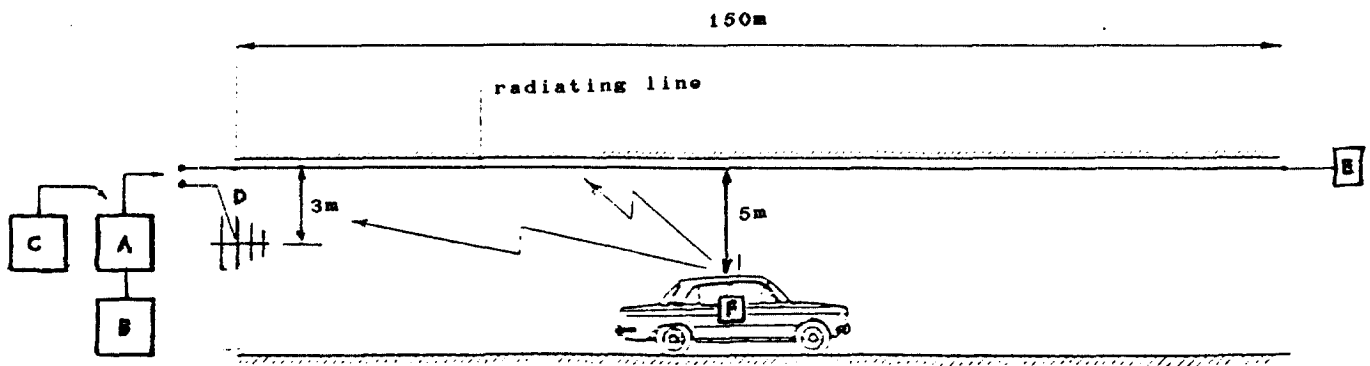


그림 5-7. 터널 내부 방사 시스템의 실험 장비 구성도

(A : 수신기, B : 기록기, C : calibrated generator

D : Yagi안테나, E : matched load, F : 송신기)

표 5-1. 방식별 실험장비 특성

구분	안테나	LCX	평행도선
	Yagi 안테나 이득 : 8 dB	임피던스 : 60 Ω 벽과의 거리 : 10 cm 전송손실 : 3.1 dB/100m 결합손실 : 74 dB	임피던스 : 300 Ω 벽과의 거리 : 10 cm 전송손실 : 6dB/100m 결합손실 : 65 dB

(1) 안테나

터널 내부에서 편파가 같을 때 (copolarization)와 90° 어긋날 때 (cross-polarization)의 감쇄량을 비교한 것이 그림 5-8과 그림 5-9 이다.

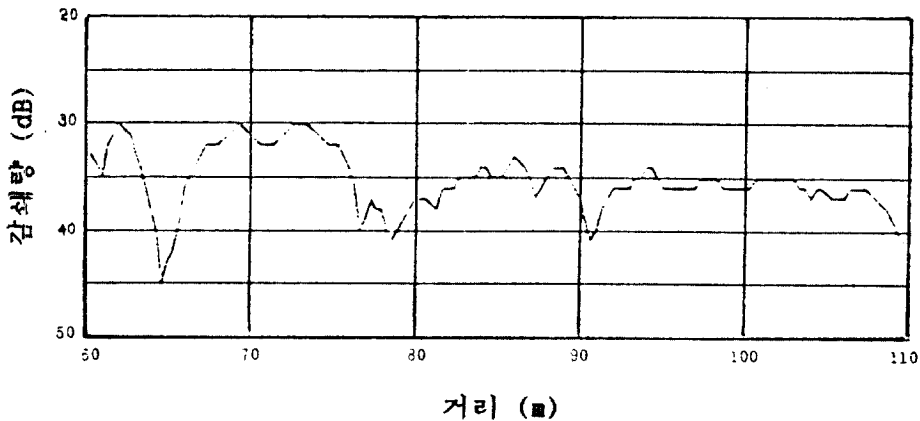


그림 5-8. copolarization 안테나의 감쇄

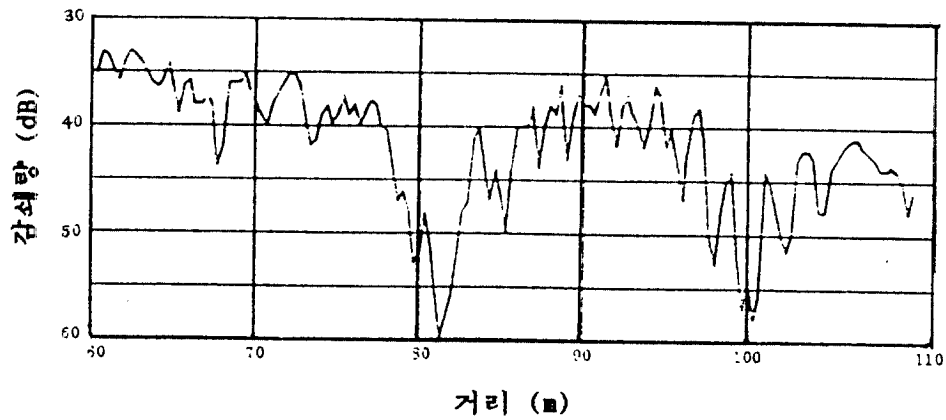


그림 5-9. crosspolarization 안테나의 감쇄

또한 안테나 사이의 평균 감쇄량을 비교하면 그림 5-10과 같다.

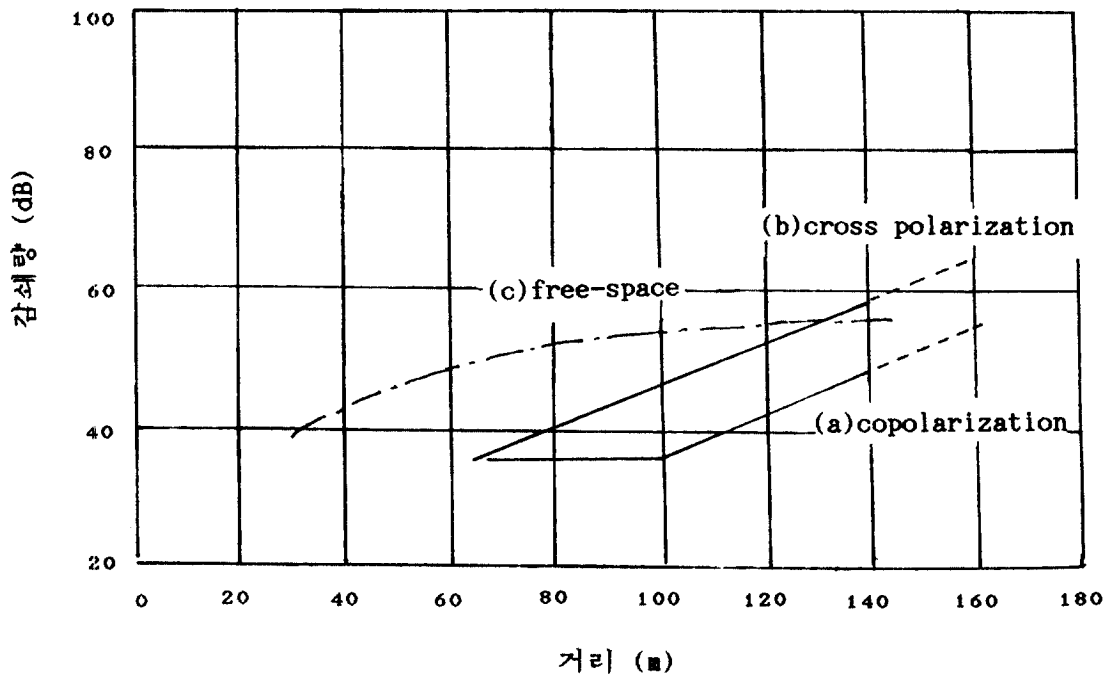


그림 5-10. 안테나 사이의 평균 감쇄량

안테나 방사에서 두 편파에 따른 감쇄량을 비교하면 crosspolarization 인 경우 감쇄량의 변화가 심하며 copolarization 의 경우보다 감쇄량이 4-6 dB 높은 것을 알 수 있으며 평균감쇄량도 crosspolarization 인 경우가 copolarization 인 경우보다 높은 것을 알 수 있다. 또한 copolarization 인 경우 터널 길이 160 m 까지는 자유 공간에서의 감쇄량보다 적다는 것을 알 수 있다.

(2) 누설동축케이블과 평행도선

그림 5-11과 그림 5-12는 누설동축케이블과 평행도선의 전체 감쇄량을 나타낸다.

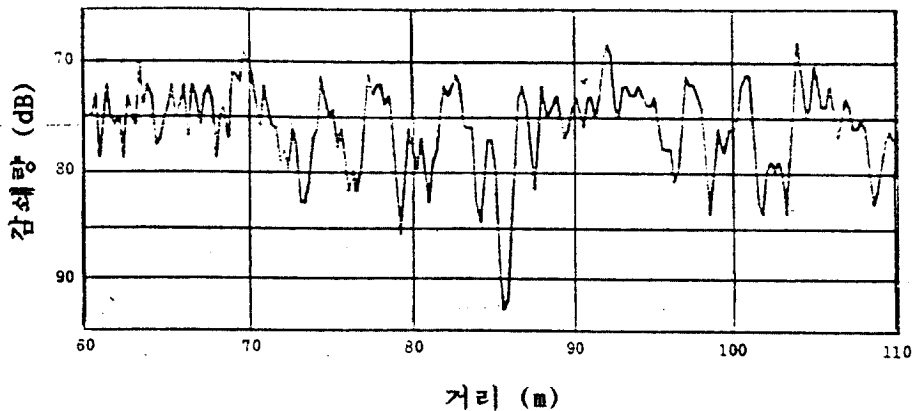
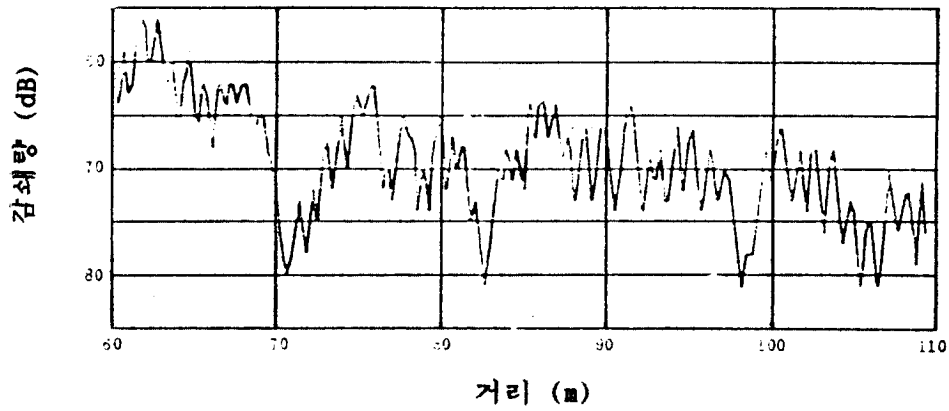


그림 5-11. LCX의 전체 감쇄량

그림 5-11 과 그림 5-12 에서 평행도선의 감쇄량은 누설동축케이블보다 낮으나 변화가 심하며 거리가 증가함에 따라 감쇄량이 증가하는 것을 알 수 있다.



(3) 전체손실 비교

그림 5-13은 세가지 방식에 대한 전체 손실을 나타낸다.

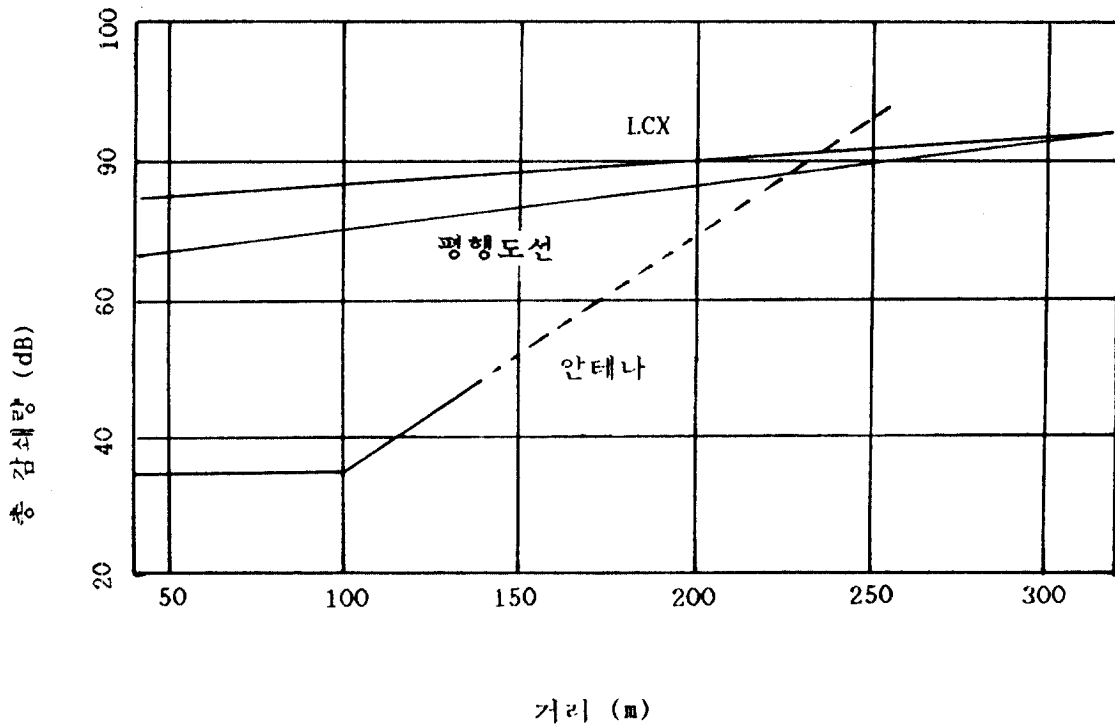


그림 5-13. 터널 길이에 따른 전체 손실 비교

(a)안테나(copolarization) (b)LCX (c)평행도선

그림에서 알 수 있듯이 터널 길이가 200 m 이내인 경우엔 안테나 방식이 타 방식에 비해 감쇄량이 작으나 200 m 를 초과하면 누설동축케이블이나 평행도선의 방식보다 감쇄량이 증가하는 것을 알 수 있다. 평행도선은 가격면에서 누설동축케이블보다 유리하나 거리가 증가함에 따라 전송손실이 증가하므로 임피던스 정합소자 (balun)가 필요하고 또한 습기에 민감하므로 터널 내부에서의 전송선로로서는 부적합하다.

제 5-3 절 사각형 터널에서의 전자파 전파 특성

본 절에서는 터널 내부에서 안테나 시스템과 누설동축케이블 시스템을 각기 사용하여 얻어진 각 시스템의 전파손실 (propagation loss)과 결합손실 (coupling loss)에 대해 기술한다.

1. 안테나 시스템의 전파 특성

(1) 주파수 특성

수직편파의 전파 (150 MHz, 400 MHz, 800 MHz)를 직선 터널에서 수신기로 측정한 결과의 그래프가 그림 5-14와 같다.

그림에서 알 수 있듯이 크게 2가지 영역으로 나눌 수 있는데 첫째, 진폭의 변화가 심한 영역이다. 이 영역에서 수신된 전계의 세기는 거리가 증가함에 따라 감소하고 심한 굴곡 현상을 나타내며, 기지국과 이동체간의 거리가 작은 경우에 일어난다. 이 현상은 터널 횡단면의 길이를 증가할수록 또한 주파수를 높일수록 심해진다. 둘째, 진폭의 변화가 작은 영역이다. 이 영역에서 수신된 전계의 세기는 거의 거리에 비례하여 감소되며 기지국과 이동체간의 거리가 증가할 경우 발생한다. 그림 5-14는 감쇄현상이 주파수가 높을수록 작아진다는 것을 보여준다. 일반적으로 전파 손실은 주파수에 반비례한다.

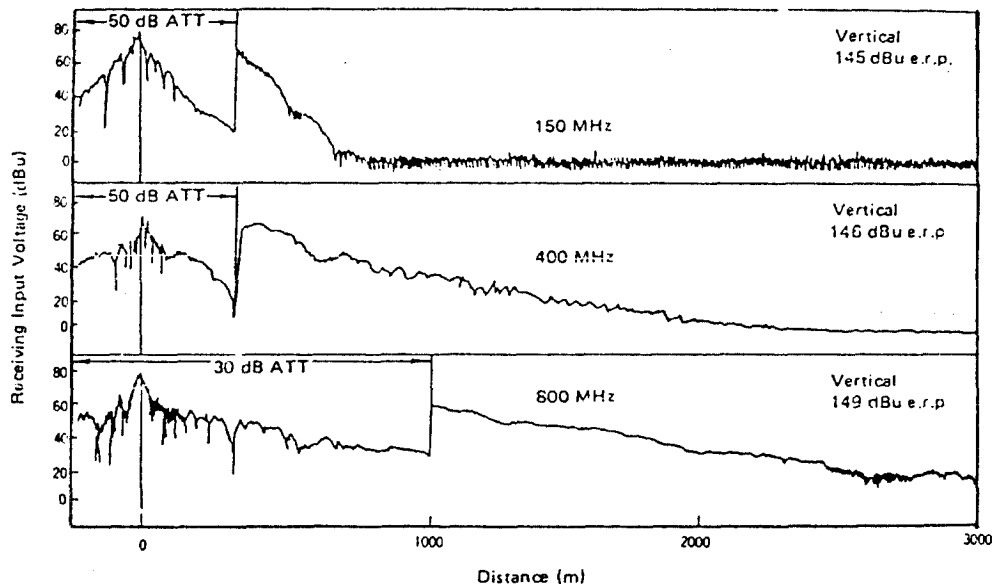


그림 5-14. 주파수 변화에 따른 전계세기의 변화

* 수평편파의 전파를 사용한 경우도 유사함

(2) 편파특성

그림 5-15는 800 MHz에서의 기지국과 이동체가 수직 및 수평편파를 각기 사용할 때의 전파 손실 특성을 나타낸다.

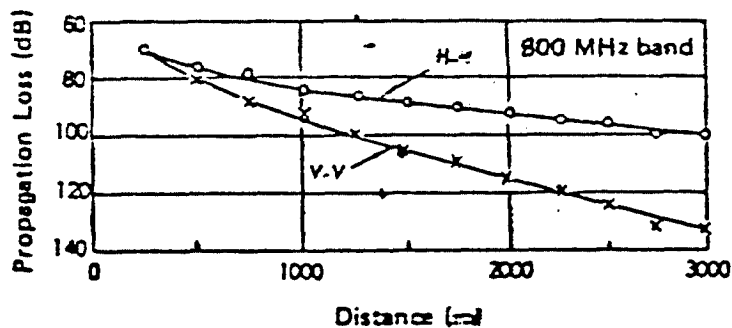


그림 5-15. 편파에 대한 전파 손실 특성

도파관 이론에 의해 수직 및 수평편파의 평균 전파손실 L_v , L_H 는

$$L_v = 4.343 \lambda^2 Z \left[\frac{1}{d_1^3 \sqrt{k_1 - 1}} + \frac{k_2}{d_2^3 \sqrt{k_2 - 1}} \right] \text{ [dB]} \quad (\text{식 5-10})$$

$$L_H = 4.343 \lambda^2 Z \left[\frac{k_1}{d_1^3 \sqrt{k_1 - 1}} + \frac{1}{d_2^3 \sqrt{k_2 - 1}} \right] \text{ [dB]} \quad (\text{식 5-11})$$

여기서 Z : 거리 [m]

k_1 : 터널 바닥 및 천정 표면의 유전 상수

k_2 : 벽 표면의 유전 상수

d_1, d_2 : 터널 횡단면의 폭, 높이 [m]

이다.

(식 5-10)과 (식 5-11)에서 $k = k_1 = k_2$, $\tau = d_1/d_2$ 라 가정하면,

$$L_v = \frac{4.343 \lambda^2 Z}{d_1^3 \sqrt{k - 1}} (1 + k \tau^3) \text{ [dB]} \quad (\text{식 5-12})$$

$$L_H = \frac{4.343 \lambda^2 Z}{d_1^3 \sqrt{k - 1}} (k + \tau^3) \text{ [dB]} \quad (\text{식 5-13})$$

로 표현된다. 따라서 L_v , L_H 의 차이는 (식 5-12) 및 (식 5-13)의 괄호속의 수치에 관계되며 다음과 같은 관계를 알 수 있다.

$k > 1$ 이라 하면

$$L_v = L_H \quad \text{when} \quad \tau = 1 \quad (d_1 = d_2)$$

$$L_v > L_H \quad \text{when} \quad \tau > 1 \quad (d_1 > d_2)$$

$$L_v < L_H \quad \text{when} \quad \tau < 1 \quad (d_1 < d_2)$$

이다.

그림 5-15에서 보듯이 수평편파인 경우 수직편파보다 전파 손실이 작다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 터널 폭과 터널 높이의 비를 β 로 했을때 $0.5 < \beta < 2$ 인 경우 전파손실은 β 에 좌우되지 않으며 단지 터널 폭 또는 터널 높이와 파장의 비에 따라 좌우된다.

(3) 안테나 위치에 의한 영향

실험적으로 터널내에서 안테나의 위치를 터널 횡단면의 중앙에서 이동할 수록 손실이 증가한다는 것이 입증되었다. 그림 5-16 은 안테나를 터널 횡단면 중앙에 설치한 후 안테나를 수평으로 이동시킬 때의 손실을 나타낸다

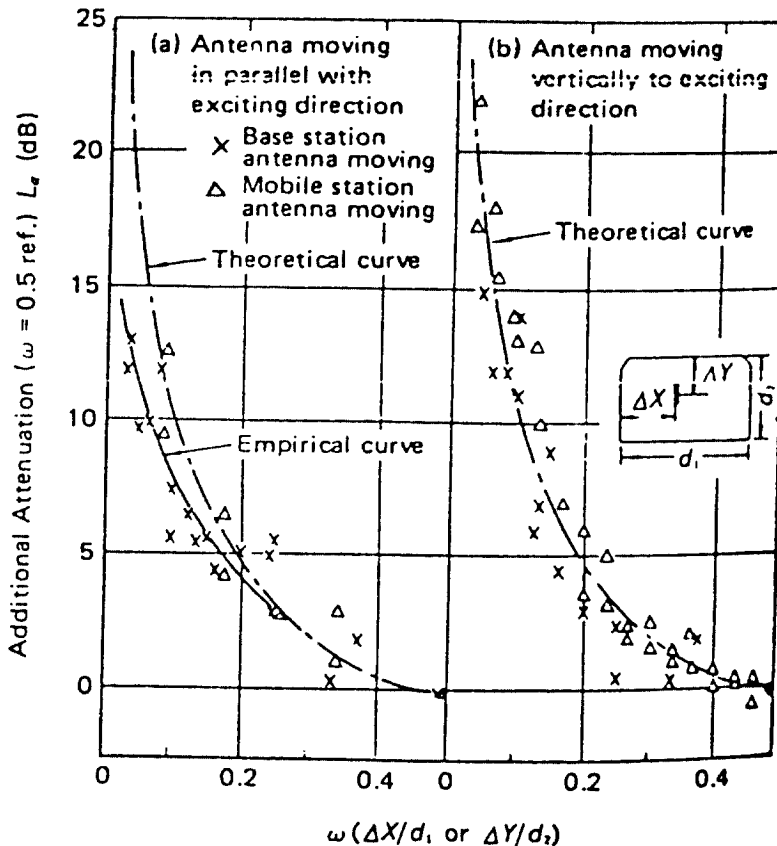


그림 5-16. 안테나 위치와 손실 관계

결국 이동국의 안테나가 터널 중앙에서 멀어질수록 손실이 증가한다.

(4) 터널의 굴곡에 의한 영향

터널의 굴곡 부분에서도 손실이 일어나며 굴곡 각도에 대한 전파 손실은 그림 5-17과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 굴곡 각도가 크면 클수록 손실이 증가한다.

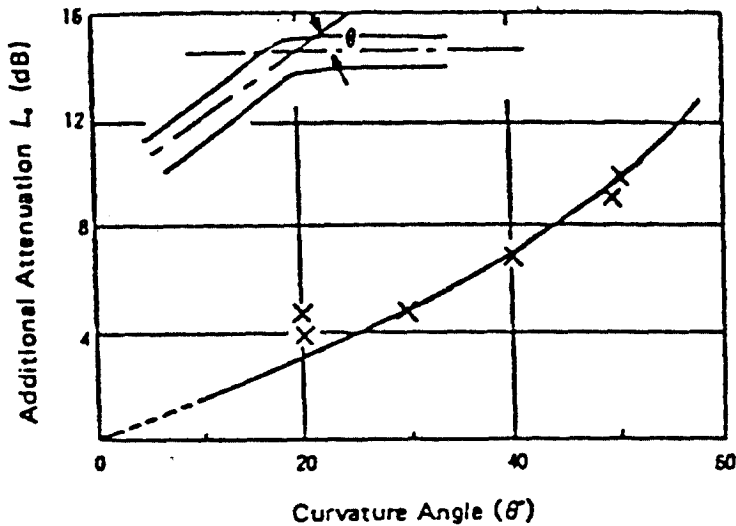


그림 5-17. 터널 굴곡과 전파 손실 관계

(5) 열차가 터널 통과시의 수신 전계의 변화 예측

그림 5-18은 터널 100 m 당 이동체의 모양, 크기에 상관없이 9대의 이동체가 이동할때 각 주파수당 (150 MHz, 400 MHz, 800 MHz) 수신된 전계의 세기를 측정한 결과이다.

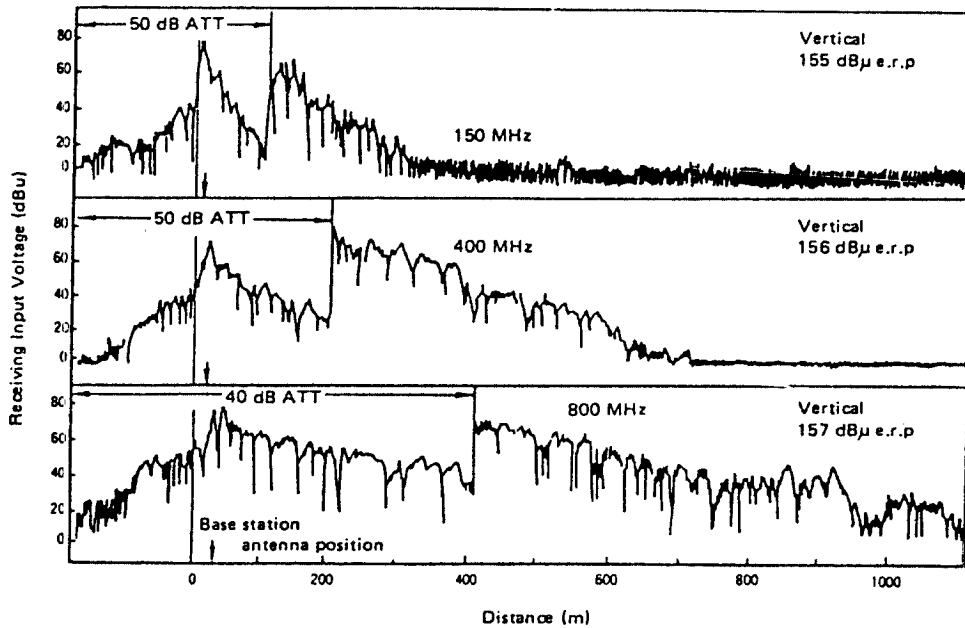


그림 5-18. 터널 통과시의 수신전계의 세기 (9대/100 m)

그림 5-18을 그림 5-14와 비교하면 전계의 세기가 심하게 변하는 것을 알 수 있으며, 따라서 터널 내부로 열차가 통과할 때 열차에 수신된 전계의 세기는 심하게 변동할 것으로 예측된다. 실험 결과, 각 주파수당 차량수를 증가시킬 때 손실은 증가한다는 것이 입증되었으며 또한 주파수가 낮을수록 손실은 증가한다.

2. 누설동축케이블의 전파 특성

(1) 기본 특성

누설동축케이블을 자유 공간에 위치시키면 원통형 파를 방사하지만 터널 같이 밀폐된 공간에 위치시키면 방사 특성은 달라진다.

전계분포는 누설동축케이블을 중심으로 하는 원의 접선방향에 존재하며 반사파의 영향은 작다. 또한 터널 내부에서의 전계의 세기와 거리와의 관계는

$$E \propto \frac{1}{\sqrt{r}} \quad (\text{식 5-14})$$

로 거리의 제곱근에 반비례한다.

(2) 누설동축케이블과 이동체 안테나와의 결합 손실

그림 5-19는 터널내 100 m 당 9대의 이동체를 통과시키면서 표준 결합손실이 다른 3종류의 누설동축케이블을 결합, 방사시킨 후 누설동축케이블로부터의 전계세기를 측정 한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 누설동축케이블에서 방사된 전계의 세기는 터널 전지역에서 일정하다는 것을 보여주고 있다.

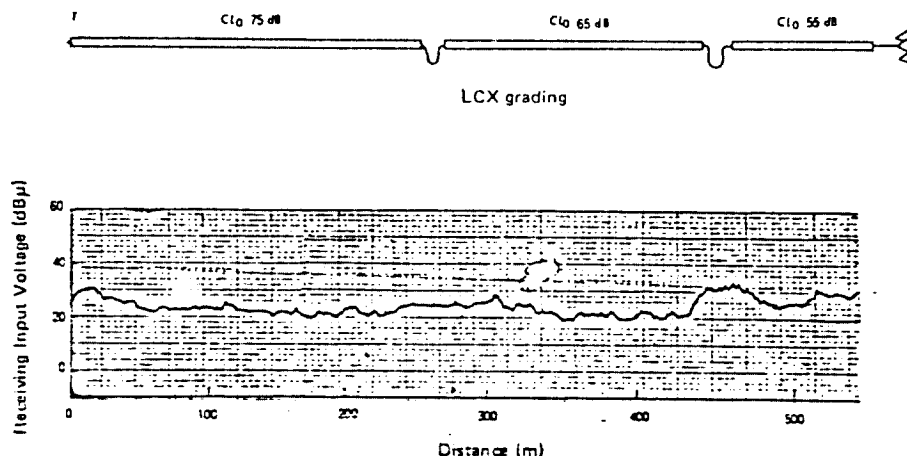


그림 5-19. 터널에서의 LCX로부터의 전계세기 (9대/100 m)

그림 5-20은 누설동축케이블과 이동체 안테나 ($\lambda/4$ whip)간의 거리가 결합손실의 관계를 나타낸다. 측정된 값은 100 m 당 9대의 이동체를 통과시킬 때의 평균값이다.

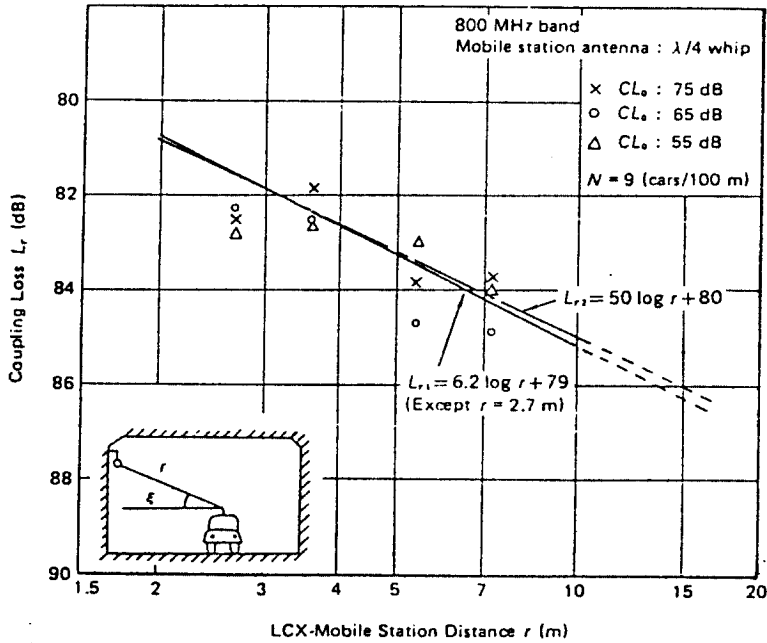


그림 5-20. LCX와 이동체 안테나와의 결합 손실

그림 5-20에서 3.6m, 5.4m, 및 7.2m 에서 측정된 결합 손실은 거의 $\log r$ 에 비례함을 알 수 있으며 누설동축케이블로부터 $r = 2.7$ m 인 경우, 다시 말해서 이동체가 거의 누설동축케이블 부근에 있는 경우, 측정치는 이론치보다 크다는 것을 보여주는데 이는 안테나 편파에 대해 누설동축케이블로부터 방사되는 전파가 부정합 (mismatching)으로 인한 손실에 기인한다.

제 5-4 절 터널내 통신대책 방안

제 5-1 절에서 기술했듯이 터널 내부에서의 전자파는 터널 구조, 터널 길이 및 터널 벽면 유전율과 사용 주파수에 따라 감쇄가 발생한다. 이는 열차 공중전화 또는 승무원간의 업무 연락이나 열차운행제어 통화중에 통화 두절이라는 심각한 문제를 야기한다. 따라서 방사전력이 떨어져서 신호에 잡음이 섞이거나 통화가 불통되는 것을 방지하고 터널내에서도 계속 높은 수준의 통화 품질을 유지하기 위해서는 그림 5-3 과 그림 5-4 와 같이 안테나 방사를 시키거나 누설동축케이블을 이용하여야 한다.

이와같은 터널 지역에서의 통신망 구성은 방사 전계강도, 터널 구조, 터널 길이 및 터널 벽등을 고려하여 설계되어야 한다. 그러나 안테나 방식의 경우 운행중 열차 자체에 의한 전파 방해나 (그림 5-18) 터널 굴곡에 의한 전파손실등 (그림 5-17)을 고려하여 설치하여야 하는 문제가 있으며, 누설동축케이블을 이용할 경우 안테나 방식보다 비용이 많이 소요되므로 터널 종류 및 특성에 따라 잘 선정하여야 할 것이다.

따라서 본 보고서에서는 국내에 열차공중전화를 운용한다면 다음과 같은 통신망 구성 방식에 대해 터널내 통신대책 방안들을 제안하고자 한다.

첫째, 국내 열차공중전화 통신망을 누설동축케이블을 이용한 단독망으로 구성할 경우 터널내 통신대책도 누설동축케이블 이용방식이 타당하다고 사료된다.

특히 새로 개설되는 고속열차에는 통신망 자체와 터널내 통신방식이 모두 누설동축케이블을 사용하는것이 경제적으로 비용이 들더라도 먼 장래를 위해서 바람직하다고 사료된다.

둘째, 국내 열차공중전화 통신망을 자동차전화 통신망을 공유한 방식으로 구성한다면 터널내 통신대책은 터널의 길이 및 특성에 따라 누설동축케이블 이용방식과 안테나 방사방식을 혼합해 사용하는 것이 경제적으로도 바람직하다고 사료된다. 즉 터널 길이가 200 m 이상인 긴 터널이나 (그림 5-13 참조) 굴곡이 심한 터널 등에는 누설동축케이블을 이용하고, 200 m 이하인 짧은 터널에서는 안테나 방사방식을 사용한다. 실제 이 방식은 영국에서 운용하고 있다.

제 6 장 방식별 이동통신 주파수 이용실태

열차무선공중전화에 주파수대를 할당하기 위해서 외국의 경우 이동통신을 위한 주파수대역 이용실태를 살펴보기로 한다. 본 연구에서는 일본, 미국, 영국 및 서독 등의 예를 들었고 일본의 경우에는 이동통신 운용현황과 이동통신 주파수대에 관해 구체적으로 나타내었다.

1. 각 국의 이동통신 서비스 종류와 사용주파수 현황

표 6-1 은 자동차 무선전화에 대한 각 국의 운용현황을 나타낸다. 대부분의 국가가 800MHz대의 주파수를 사용하고 있으며 우리나라의 경우도 800MHz를 자동차 전화에 사용하고 있다.

표 6-2 는 열차무선공중전화 무선폭출기 및 선박무선전화에 대한 주파수대를 나타낸다. 열차무선의 경우 대부분 400-450MHz대의 주파수대역을 사용하고 있으며, 무선폭출기는 보통 35-150MHz대, 선박무선전화는 150-250MHz대에서 운용하고 있다.

표 6-1. 자동차 무선전화에 대한 각 국의 현황

구 분	일 본	미 국	영 국	서 독
방 식	NTT	AMPS	TACS	C450
송신주파수 기지국(MHZ) 이동국(MHZ)	870-885 925-940	870-890 825-845	935-960 890-915	461-466 451-456
채널간격(KHZ)	25	30	25	20
채 널 수	600	666	1000	222
CELL반경(KM)	도시:5 교외:10	2-20	2-20	5-30
음성신호 변조방식	PM	PM	PM	PM
제어신호 변조방식	FSK	FSK	FSK	FSK
DATA속도 (KB/S)	6.3	10	8	5.3

표 6-2. 각 국의 이동통신 주파수대(단위:MHz)

구 분	일 본	미 국	영 국	서 독	스위스	스웨덴	캐나다	프랑스
자동차무선전화	400	400	420-470		450			
무선호출기	150 250	35,150 450 485	150	87		60 -73	150	87
선박무선전화	250	4-32 2-8 157-162	2 150	160		156-160	160	

2. 일본의 이동통신 운용현황과 사용주파수 현황

일본의 경우에 각 이동통신의 서비스와 사용주파수대를 알아보는 것은 일본이 우리나라와 지리환경이 비슷한 이웃국가이기 때문에 미래의 우리나라 이동통신 계획에 많은 비전을 제시하고 도움이 되리라 생각된다.

열차공중전화의 경우 일본은 신간선에서 누설동축케이블 및 안테나 방식, 두가지모두를 400MHz대의 주파수대에서 운용하고 있으며, 자동차전화는 우리나라와 똑같이 800MHz대에서 운용되고 있다. 기타 다른 이동체 통신에 대한 운용현황 및 사용주파수대는 표 6-3 과 그림 6-1 에 나타내었다.

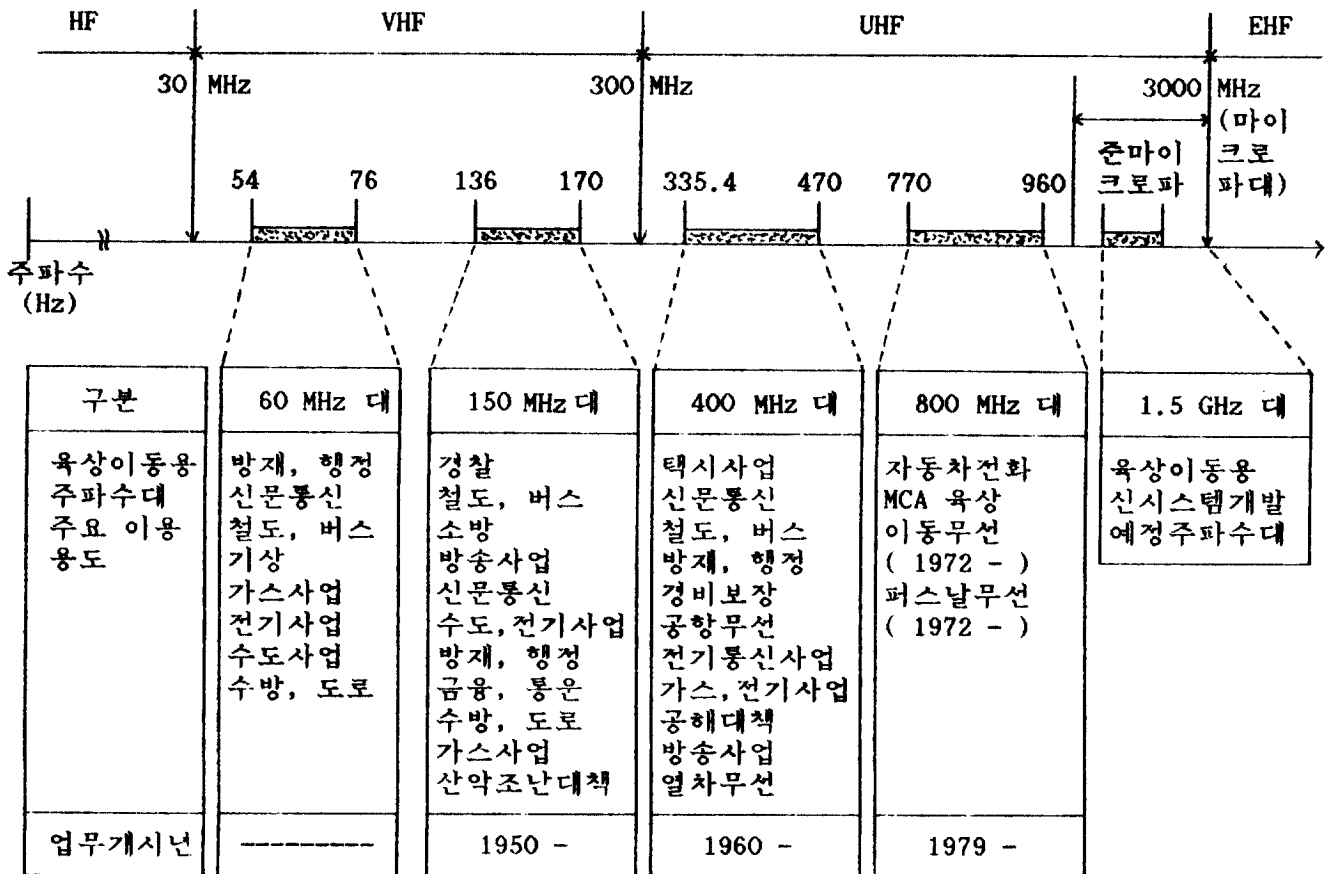


그림 6-1. 일본의 이동통신 주파수대

표 6-3. 일본의 이동통신 운용현황

구 분		자동차전화	내항선박전화	열차전화	무선호출	휴대용전화
무 선 방 식	주파수대	800MHz	250MHz	400MHz	250MHz	250/400MHz
	채널 수	600 ch.	258 ch.	공중6ch.	20 ch.	46 ch.
	채널간격	25KHz	25KHz	25KHz	12.5KHz	12.5KHz
	변조방식	PM	PM	PM	NRZ-FSK	PM
	기지국 송신출력	25W, 10W	40W	2W	250W, 70W 25W	6mW
	무선zone 반경	대도시 [중심지: 5Km 교 외: 15Km] 중소도시 [중심지: 7Km 교 외: 10Km]	약50Km	약20Km	약5-10Km	약20m
	무선zone 구성	소zone구성으로 주파수채널반복이용	3zone반복	소zone 방식	대zone 방식	
	가입자 용량	대도시: 50,000가입 중소도시: 20,000가입	24,000	단말/열차	3만가입	약50가입
	신호방식	디지털방식	폰 방식	폰 방식	디지털	디지털

제 7 장 사용주파수대 유효활용 방안

본 장에서는 셀룰라 방식의 사용주파수에 대한 유효활용 방안에 관하여 기술한다.

1. 주파수 관리 (Frequency management)

이용 가능한 모든 채널을 각 셀에 고정적 또는 유동적으로 할당될 수 있도록 나누는 것으로 각 기지국 또는 이동체에 특정한 채널을 할당(channel assignment)한다.

이상적인 채널 할당은 주파수 간섭현상을 최소화할 수 있도록 설계되어야 한다.

(1) 주파수 - 스펙트럼 사용의 효율화

무선주파수의 스펙트럼의 사용범위는 유한하므로 이동체 무선장치에서는 주파수-스펙트럼의 효율적인 사용은 중요하다. 스펙트럼의 효율성을 증대시키기 위해 주파수 재사용 개념의 적용은 중요한 요소이며 주파수 스펙트럼을 증가시키는 방법들은 다음과 같다.

- 좁은 밴드, Spread Spectrum, 시분할을 이용한 채널의 증대
- 주파수 재사용
- 무용한 통화부하의 감소

(2) 채널할당(Channel Assignment)

채널할당 방법에는 고정채널할당(fixed channel assignment)과 유동채널할당(non-fixed or dynamic channel assignment)이 있다.

(가) 고정채널할당(FCA)

- 인접채널할당

◦ 무지향성 안테나를 사용하는 지역

7 Cell 인 경우 하나의 채널이 셀의 가운데 지역에 할당되었다면 인접지역에는 유사한 주파수를 갖는 채널을 할당할 수가 없다.

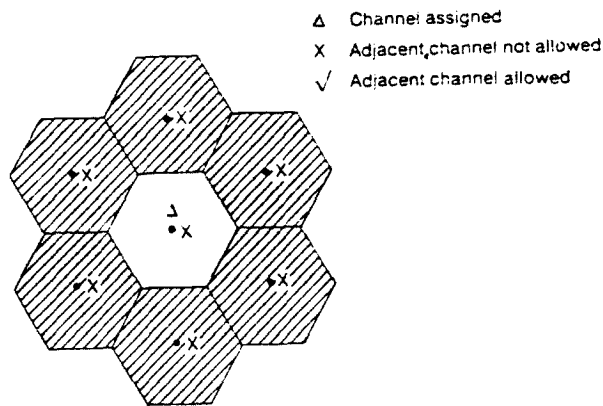


그림 7-1. 무지향성 안테나 지역의 채널할당

◦ 지향성 안테나를 사용하는 지역

하나의 채널이 한 구역에 할당되었다면 인접하고 있는 타 구역에는 유사한 채널을 할당할 수 없으나 다음 인접지역에서는 근접채널을 할당할 수 있다.

- 채널분할 및 빌림 (borrowing)

인접채널을 할당하기 위해 채널분할은 주기적이어야 하며 Trunking 효율을 높이도록 할당되어야 하고, 한 지역에서 통화의 폭주로 여분의 채널이 없을때 인접하고 있는 다른지역의 채널을 빌릴 수 있다.

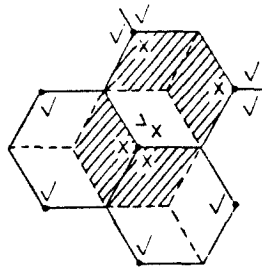


그림 7-2. 지향성 안테나 지역의 채널할당

- 구역화(sectorization)

유용가능한 전체 채널수를 셀의 구역화에 따라 부수적인 그룹으로 나눌 수 있으며 일반적으로 120° , 60° 및 45° 가 사용되며 7 Cell 에서는 120° 가 많이 사용되고 있다.

(나) 유동채널 할당 (DCA)

고정채널 할당에서는 각 셀이 자기 지역내에 있는 이동체에 고유의 채널을 할당하지만 유동채널 할당에서는 이용가능한 채널중 어떤 채널도 이동체에 할당할 수 있다.

2. 주파수 재사용법의 설계

이동체 무선통신 설계에서는 주파수 재사용법이 가장 큰 과제이다. 이 방법은 제한된 주파수 범위에서 수용능력을 최대화시킬 수 있는 탈출구이기도 하다.

하지만 주파수 재사용으로 인하여 주파수 간섭현상을 야기시키며 이것은 결국 잡음으로 간주되어 시스템 설계시에 이 간섭현상을 최소화시키거나 S/N

비를 최대화시켜야 한다. 이 현상을 극복하기 위한 근본적인 해결책은 같은 주파수를 사용하는 지역을 충분히 격리시키면 되나 실제로 이 방법은 실현이 불가능하므로 오늘날 이동체무선통신의 궁극적인 목표는 높은 간섭현상에서도 작동능력이 뛰어난 시스템을 설계하는데 있다.

제 8 장 주파수 간섭 및 영향

이동무선통신 시스템은 잡음 및 간섭현상에 제한되어 있다고 할 수 있으며 주된 문제는 자연적인 또는 인간이 만들어내는 간섭현상을 극복하는 것이다. 각 송신기는 주변 환경은 물론 여러개의 송신기에 의해 동시에 전송되는 신호들에 대처해야 한다. 일반적으로 간섭의 효과는 잡음의 영향보다 크며 송신기에 의한 간섭현상은 변조와 관계가 있다.

인접채널 간섭현상은 하나의 채널로부터 나오는 신호 에너지가 인접 채널로 전송될 때 또는 수신기의 필터가 광대역 주파수를 통과시킬 때 일어난다. 이 현상은 송신기 및 수신기에 완전한 필터링을 함으로써 요구되는 주파수 이외의 에너지를 차단시키거나 수신기의 필터를 협대역으로 설계함으로써 극복할 수 있다.

제 8-1 절 동채널 간섭 (cochannel interference) 및 영향

간섭현상중에서 가장 두드러진 것은 동채널 간섭 현상이다. 이 현상은 같은 주파수대에서 일어나는 현상이며 필터에 의해 제거되지 않아 주파수 재사용 시스템에서 성능에 영향을 미치는 가장 큰 제약 조건이다. 즉 시스템의 채널은 제한되어 있는데 가입자가 증가하면 다른 통화영역(cell)에서 똑같은 주파수를 재사용하게 되는 정도가 증가하게 된다. 이때 이동체가 2개의 셀이 서로 인접한 경계선 부근을 움직인다면 이동체에 수신되는 신호는 동채널 간섭에 의한 짧은 순간의 요동으로 통신이 불가능하게 된다.

이와같은 동채널 간섭을 줄이기 위한 방법은 다음과 같은 것이 있다.

첫째, 지향성 안테나를 사용하는 방법이 있다. 지향성 안테나를 사용하여

통화구역을 구역 구역별 나누어서 각 구역에 지향성 안테나를 설치하여 주파수를 구역별로 할당한다. 구역 구분 (sectorization)에는 3개의 구역인 경우 (안테나 지향성 빔폭이 120°)와 6개의 구역 (안테나 지향성 빔폭이 60° 인 경우)가 있다. 구역을 6개로 나눌 때가 동채널 간섭현상을 더 줄일 수 있으나 trunking 효율이 감소된다.

둘째, 안테나 높이를 낮추어서 동채널 및 인접채널 간섭을 효과적으로 줄일 수 있으나 이러한 경우는 지형이 평평하고 계곡내에서만 가능하다.

셋째, 기지국에서 송신 출력을 조정한다.

넷째, 수신기의 발산 기술 (diversity technique)을 이용한다.

이중 여러가지 방법중 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법은 통화구역을 구역별로 나누어서 지향성 안테나를 사용하는 방법이다.

제 8-2절 타채널 간섭 (non-cochannel interference) 및 영향

타채널 간섭은 인접 채널간의 간섭 현상을 말하며 next-channel 간섭, neighboring-channel 간섭, near-end-far-end 간섭, UHF TV와의 간섭 현상 등이 있다.

1. Next-channel 간섭

이것은 같은 셀기지국에서 인접 주파수 신호에 의해 영향을 받는 것이 아니라 다른 셀기지국에서 방사된 신호의 주파수 이격도는 보통 8 - 10 채널 이격된 신호이기 때문에 이동체에서 수신된 신호는 다른 기지국에서 방사된 신호에 의해 간섭 현상을 일으키기 때문이다. 이 간섭은 적절한 필터를 수신기에 설치함으로써 줄일 수 있다.

2. Neighboring-channel 간섭

이것은 바로 다음 채널에 의해서가 아니고 몇 채널 떨어진 인접 채널간

의 신호에 의해서 간섭을 받는 것을 말한다. 이는 기지국에 할당된 모든 서비스 채널에서 동시에 신호가 방사될 때 상호 채널간 상호 변조에 의해 생겨난다. 이를 해결하기 위해서는 채널간 충분한 이격이 있어야 한다.

3. Near-End-Far-End 간섭

(1) 한 통화구역 내에서의 간섭

임의의 통화구역내에 있는 이동체는 이동을 하므로 어떤 이동체는 셀 기지국 가까이 있을 수 있고 어떤 이동체는 멀리 있을 수 있다. 이러한 것 때문에 기지국에서 신호를 수신할 때 생기는 현상을 말한다.

Near-end-far-end 간섭현상을 피하기 위해서는 한 통화구역 내에 있는 인접채널간의 주파수 이격이 적어도 5채널 밴드폭이 필요하다면 채널을 인접채널간에 5채널 밴드폭을 이격시켜서 할당한다.

(2) 두 통화구역이 겹치는 지역내에서의 간섭

두 통화구역이 공통 점유하고 있는 지역내에 있는 두 이동체간의 간섭을 말한다. 이러한 간섭 현상은 셀기지국이나 이동체 양쪽 모두에서 발생할 수 있다. 예를 들면 이동체 A가 A셀의 구역내의 경계선 부근에 위치하고 있으나 B셀의 기지국에 매우 근접하여 있을 수 있다. 마찬가지로 이동체 B가 B셀의 경계선 부근에 있으면서 A셀 기지국에 매우 근접하여 있을 때 near-end-far-end 간섭이 생긴다. 이 간섭은 협대역 여파 특성을 갖는 인접 채널간 주파수 분리로서 줄일 수 있다.

4. UHF TV 간섭

UHF TV와 850 MHz 대역의 이동체 간에는 TVI와 ITV의 두가지 종류의 간섭현상이 있다.

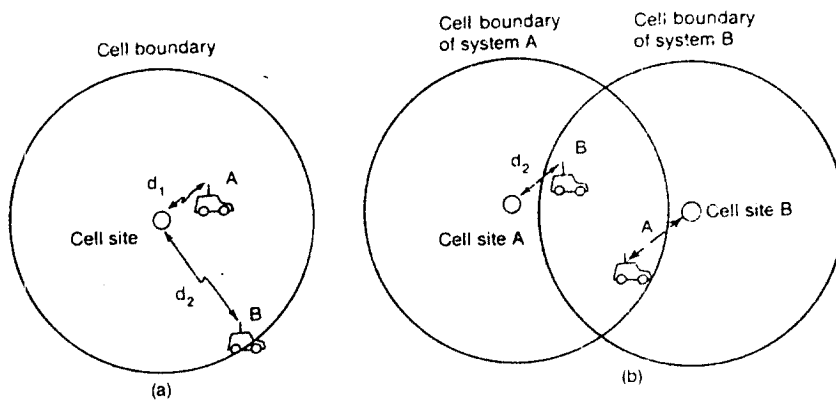


그림 8-1. Near-end-far-end 간섭 현상

- TVI : 이동체 시스템의 송신 신호에 의한 UHF TV에 일으키는 간섭현상
- ITV : UHF TV의 송신 신호가 이동체에 일으키는 간섭 현상

(1) TVI (Interference to UHF Receivers From cellular mobile transmitters)

이동체 전화 시스템과 대중방송 매체와는 넓은 주파수 이격과 대중방송 매체에서 방사된 출력이 매우 높기 때문에 이동체가 방송시스템에 영향을 미치는 간섭현상은 매우 미약하다.

셀리지국의 송신주파수가 방송주파수의 90MHZ 상위의 주파수일때 약간의 간섭을 일으킬 가능성이 있다. 그림 8-2는 TV와 셀룰라 이동체 채널 사이의 간섭을 나타낸다.

(2) ITV (Inteferenece from UHF TV receivers to celluar mobile transmitters)

이는 UHF TV 송신기에 의한 간섭으로, 그중 이동국의 수신기가 TV 송신기에 접근할 경우에는 TV 중계소로부터의 송신 신호가 이동체 수신기에 미치는 간섭은 거의 없다.

그러나, 기지국의 수신기가 TV 중계소로부터 1마일 이내에 떨어져 있는

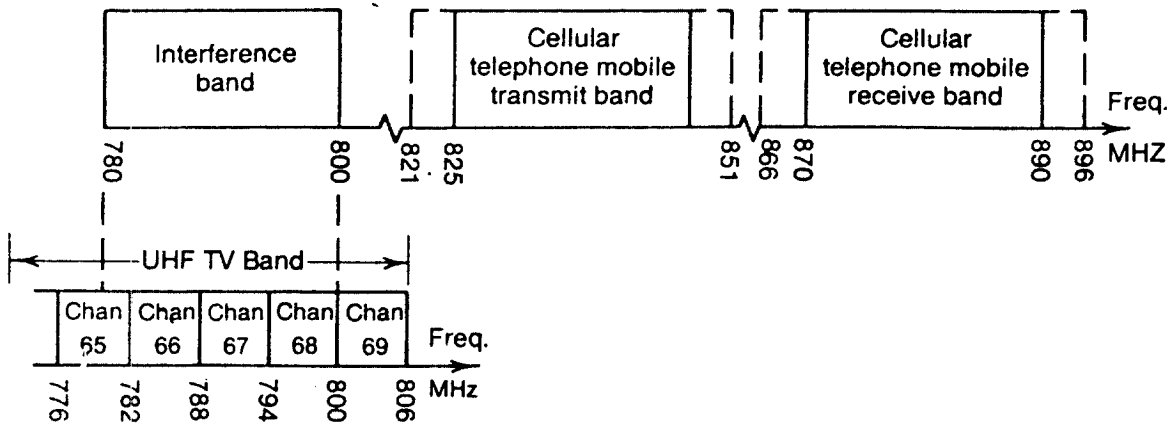


그림 8-2. 이동체와 UHF TV와의 주파수 간섭

경우 간섭을 받을 수 있다. 하지만 기지국이 TV 중계소에 매우 가까이 있을 때는 두 개의 수직편파신호가 다른 지향성 고도를 갖고 있으므로 상호 간섭이 없다. 따라서 TV 중계소의 안테나와 매우 인접한 곳에 기지국 안테나를 세우는 것이 바람직하다.

제 9 장 통신 서비스 구역 선정

열차 무선전화의 서비스구역은 현재 (주)한국이동통신이 추진하고 있는 국내 자동차전화 통신망을 확장, 열차공중전화와 공유하는 통신망을 구성한다는 가정하에 서비스 구역을 고려하였다. 또한 자동차전화 통신망을 채택할 시 열차무선전화의 서비스구역은 대도시 및 고속도로와 밀접한 관계가 있으므로 본 보고서에서는 자동차전화 서비스의 전국망 확장 계획을 참고하였다.

1. 전국망 확장 방안

(1) 통화권 분할

전국을 5개 통화권으로 분할, 각 통화권 당 대도시를 중심으로 소도시 및 주요도로(고속도로)를 서비스 지역으로 한다.

* 5개 통화권

- 서울권:서울 및 주변도시, 경기지역 포함
- 대전권:대전,청주를 포함한 충청도 지역
- 대구권:대구,포항을 포함한 경북지역
- 부산권:부산, 마산, 울산을 포함한 경남 지역
- 광주권:광주, 전주를 포함한 전라도 지역

(2) 서비스 공급지역

서비스 공급지역으로서 50가입자 이상의 수요발생지 및 인구 10만 이상 거주지역을 우선적으로 공급한다.

년도별 서비스 제공지역은 KTA 계획에 의거 표 9-1 과 같다

표 9-1. 년도별 자동차전화 서비스 공급지역

구 분		' 8 8	말	' 8 9	추 가	비 고
지 역 별						
수 도 권	시 울 경 기	서울, 파천, 안양, 수원 성남, 안산, 군포 7 개시		오산, 평택, 송탄 3 개시		
	강 천			춘천, 원주, 동해, 강릉, 삼척 5 개시		
중 청	충 남	대전 1 개시		은양, 천안, 공주 3 개시		
	충 북			청주, 충주 2 개시		
경 상	경 남	부산, 진해, 마산, 창원, 김해 5 개시		울산, 충무, 진주 3 개시		
	경 북	대구, 경산 2 개시		김천, 구미, 영천, 경주, 상주, 안동 영주, 점촌, 포항 9 개시		
전 라	전 남	광주, 나주 2 개시		순천, 여천, 여수 목포, 광양 5 개시		
	전 북			군산, 이리, 전주 정주, 김제 5 개시		
	제주도	제주, 서귀포 2 개시		-		
계		19 개시		35 개시 (의 경부, 호남, 구마 중부 고속도로)		제:54 개시

(3) 기지국 서비스 영역

한 무선구역의 크기는 최대 반경을 20km로 하며, 기지국 서비스 영역은 군을 기본단위지역으로 한다.

(4) 대도시의 무선지역 (Cell) 분할

표 9-2. 대도시 지역의 년도별 소요 Cell수

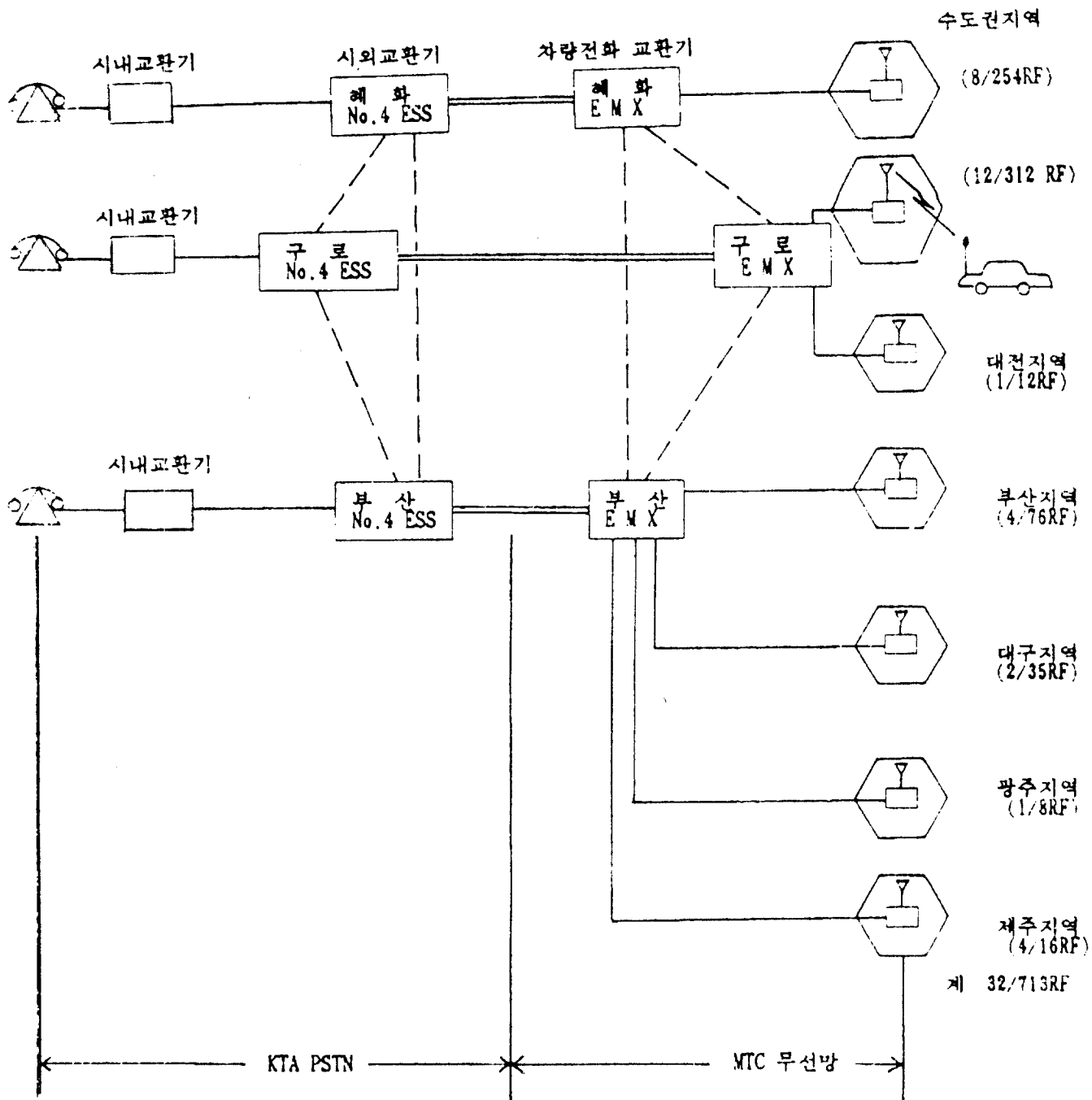
연도 \ 도시	서울	대전	광주	대구	부산
1986	(9)	-	-	-	2
1987	-	1	1	2	2
1996	13	2	2	3	4
2001	20	3	3	4	5

(5) 도로망 계획

도로망은 고속도로를 우선적으로 서비스를 공급하고 점차적으로 고속화도로 및 산업도로로 확대시키며 2000년대에 있어서는 건설부의 도로 건설 계획에 따라 망을 구성한다.

2. 차량무선 전화망

(1) 연결망



○ 차량전화 상호간 연결은 MTC 무선망 이용

○ 차량전화와 일반 가입자 연결은 KTA, MTC 망 공통이용

그림 9-1. 차량무선전화 연결망

(2) 시스템 구성망도

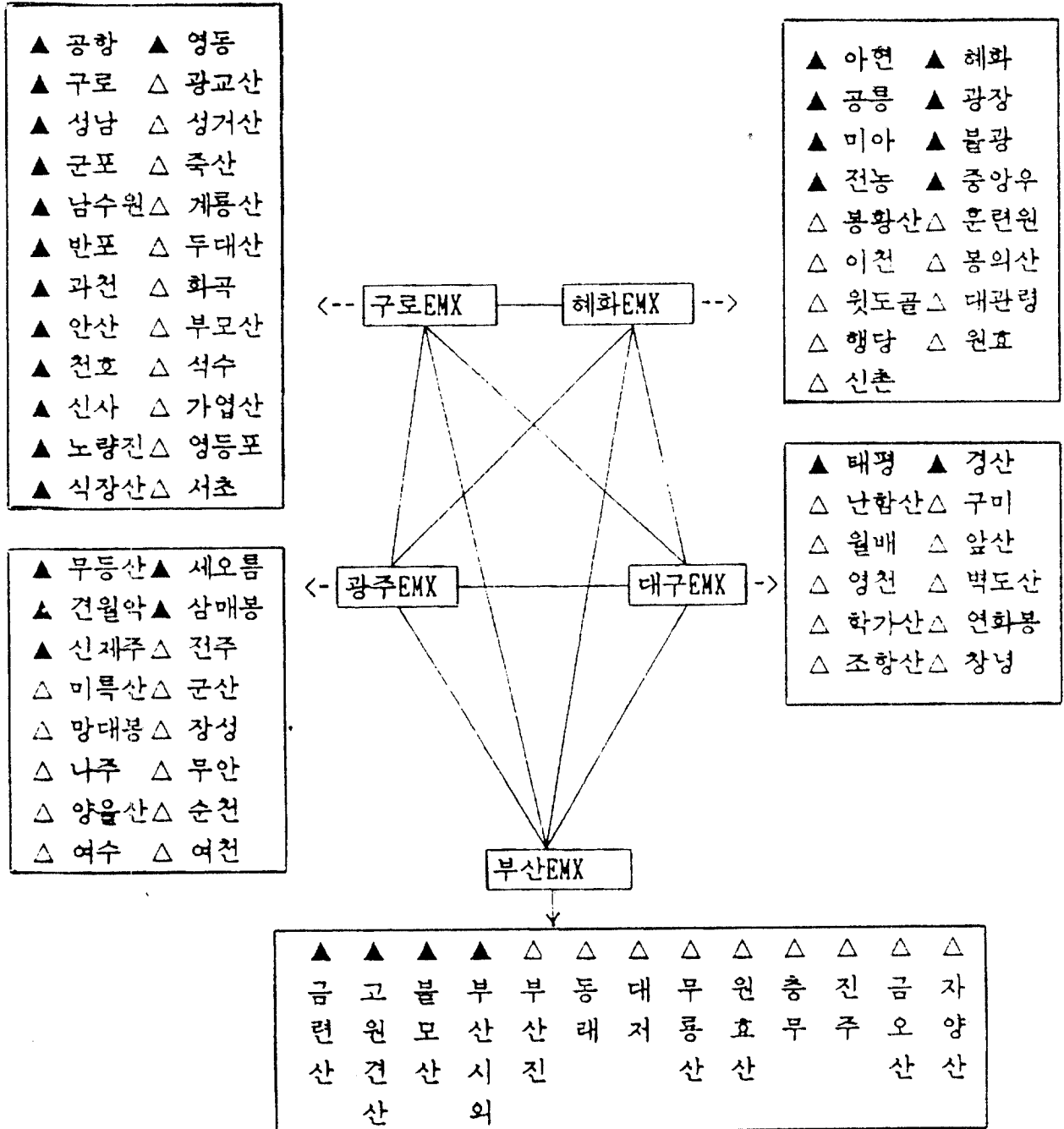


그림 9-2. 시스템 구성망도

(3) 차량 전화망 전국 구성망도 ('89년)

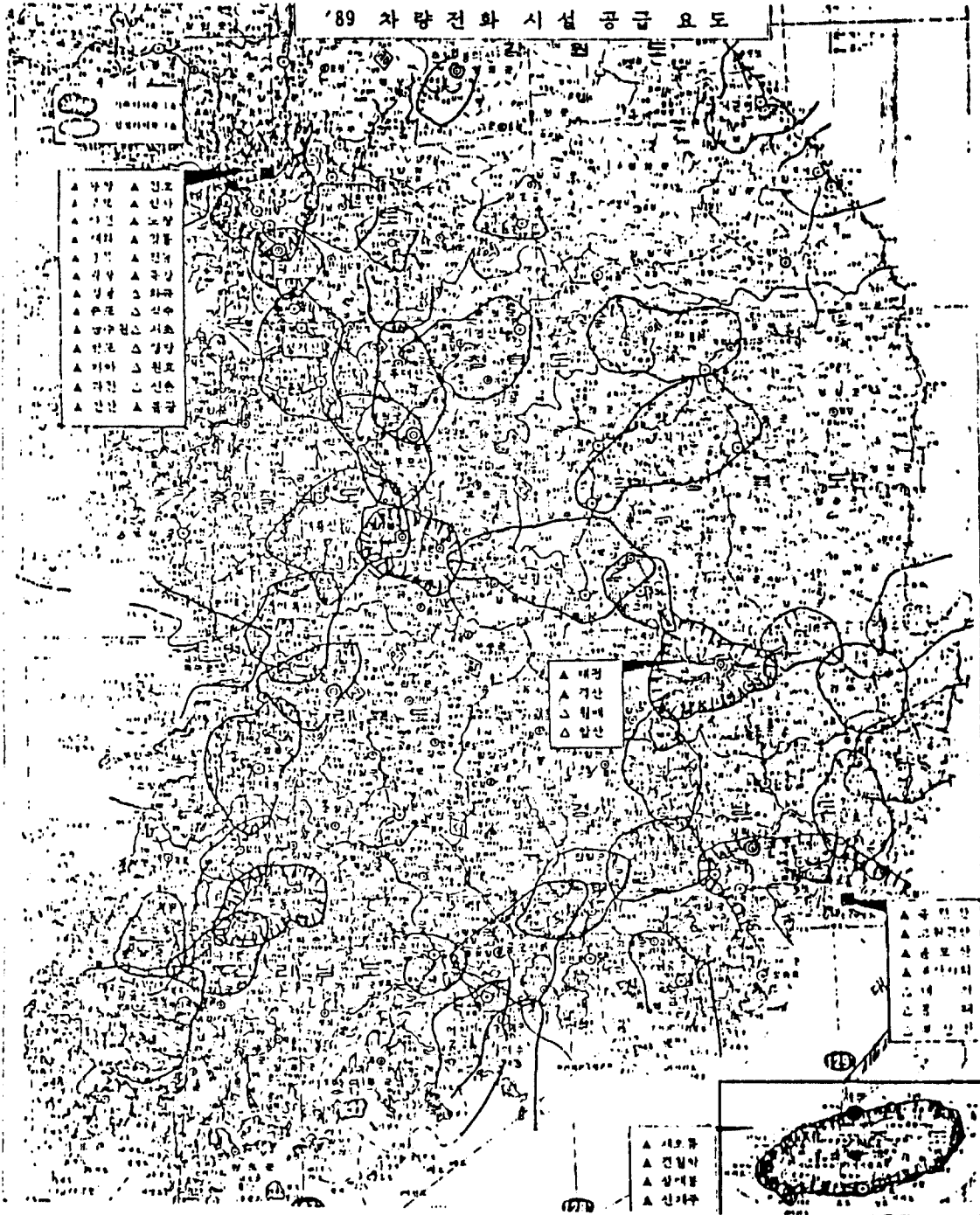
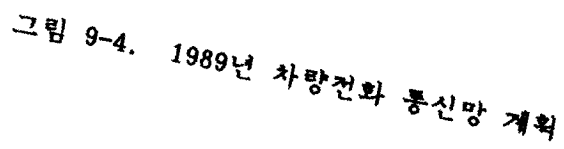


그림 9-3. 차량전화망 전국 구성망도

-1989년



-1990년

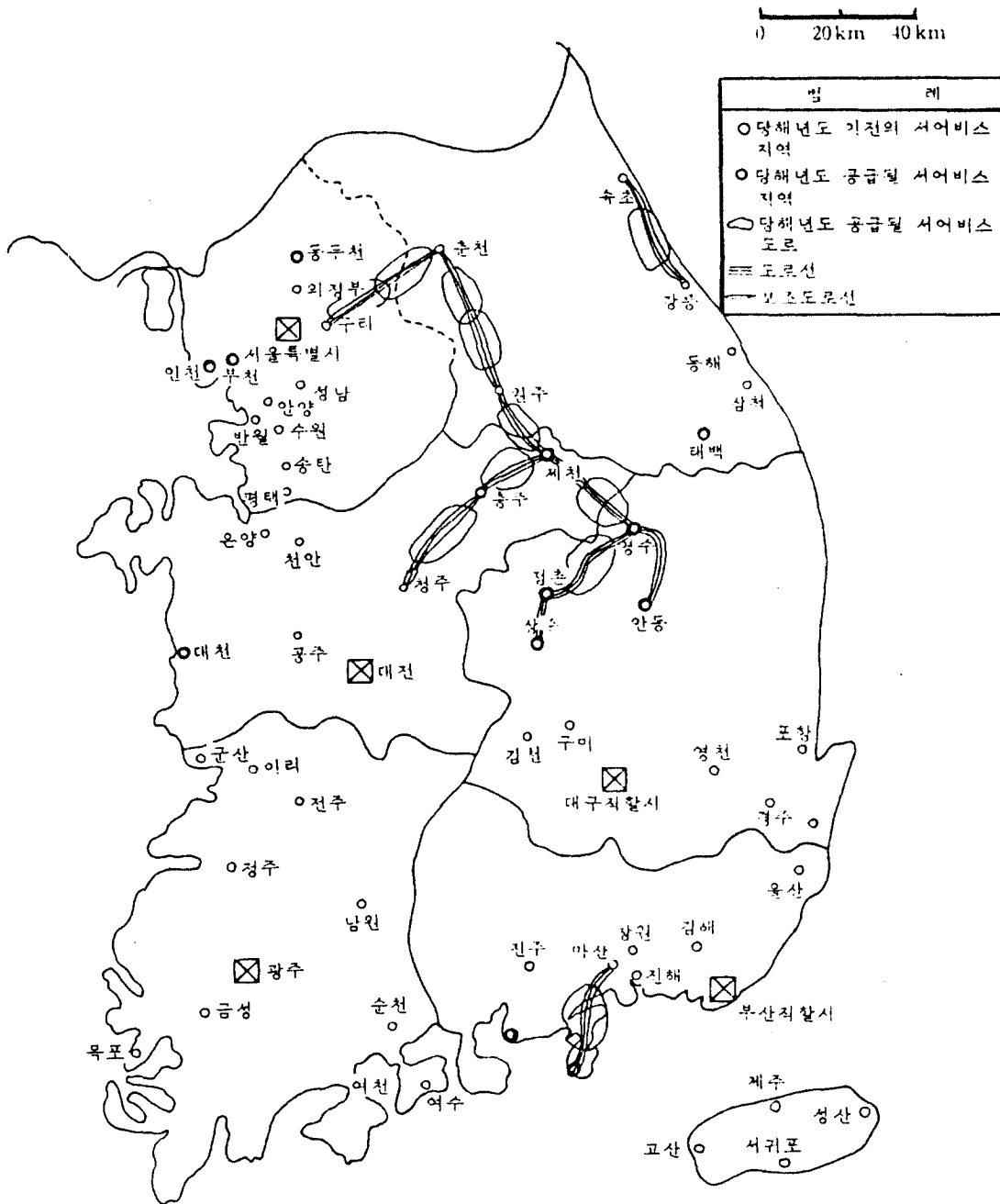


그림 9-5. 1990년 차량전화 통신망 계획

-1991년

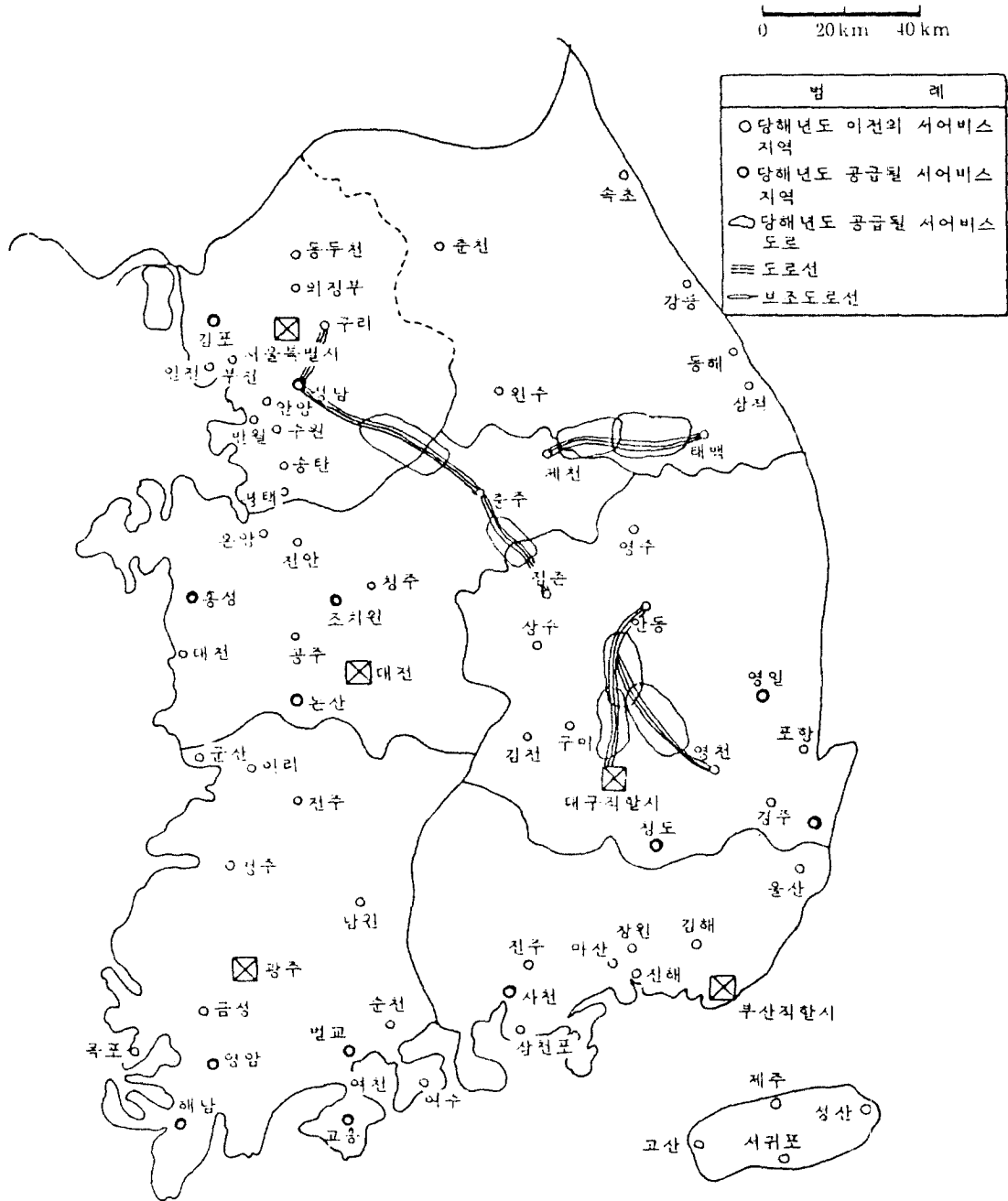


그림 9-6. 1991년 차량전화 통신망 계획

-1996년

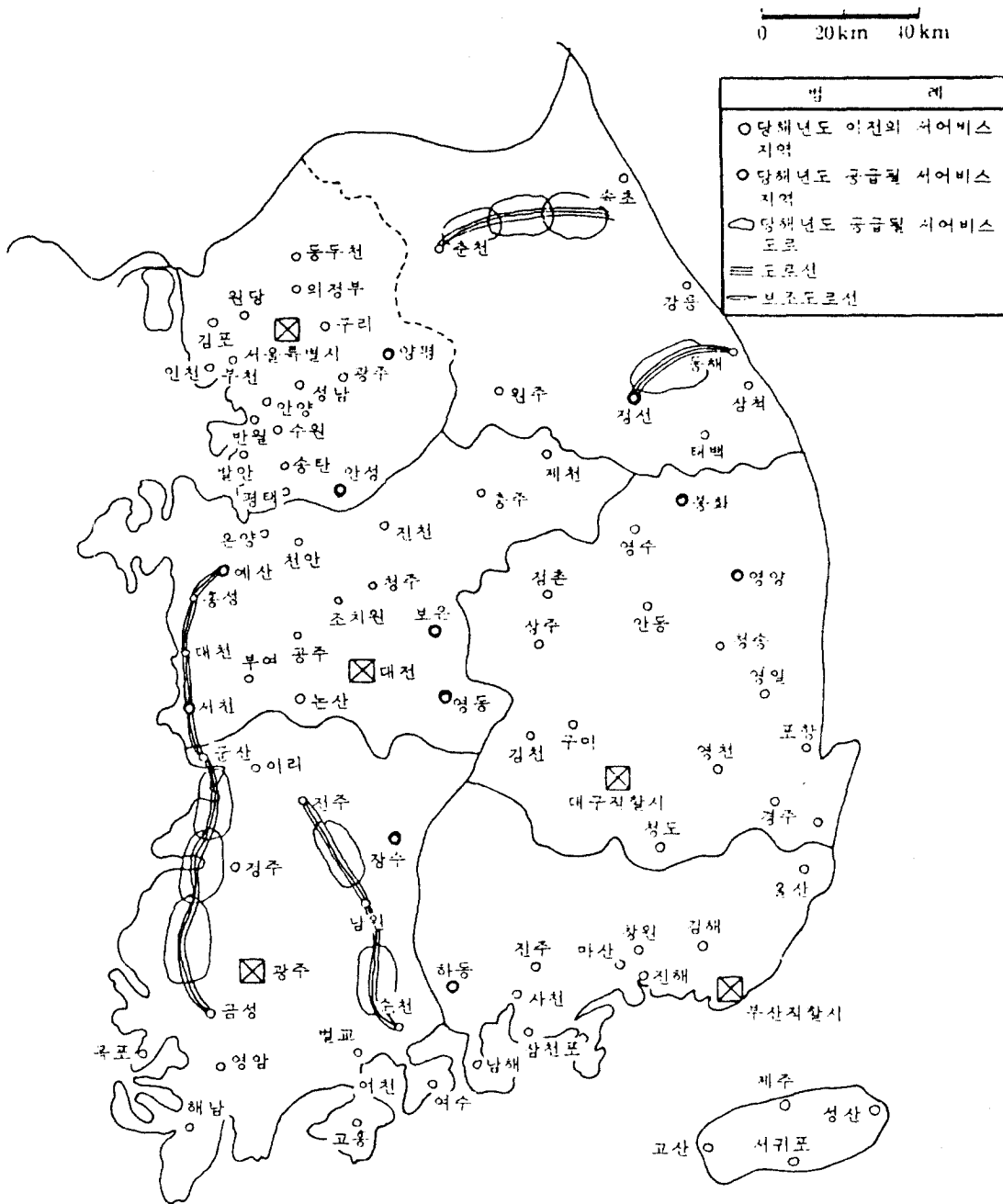


그림 9-7. 1996년 차량전화 통신망 계획

-2001년

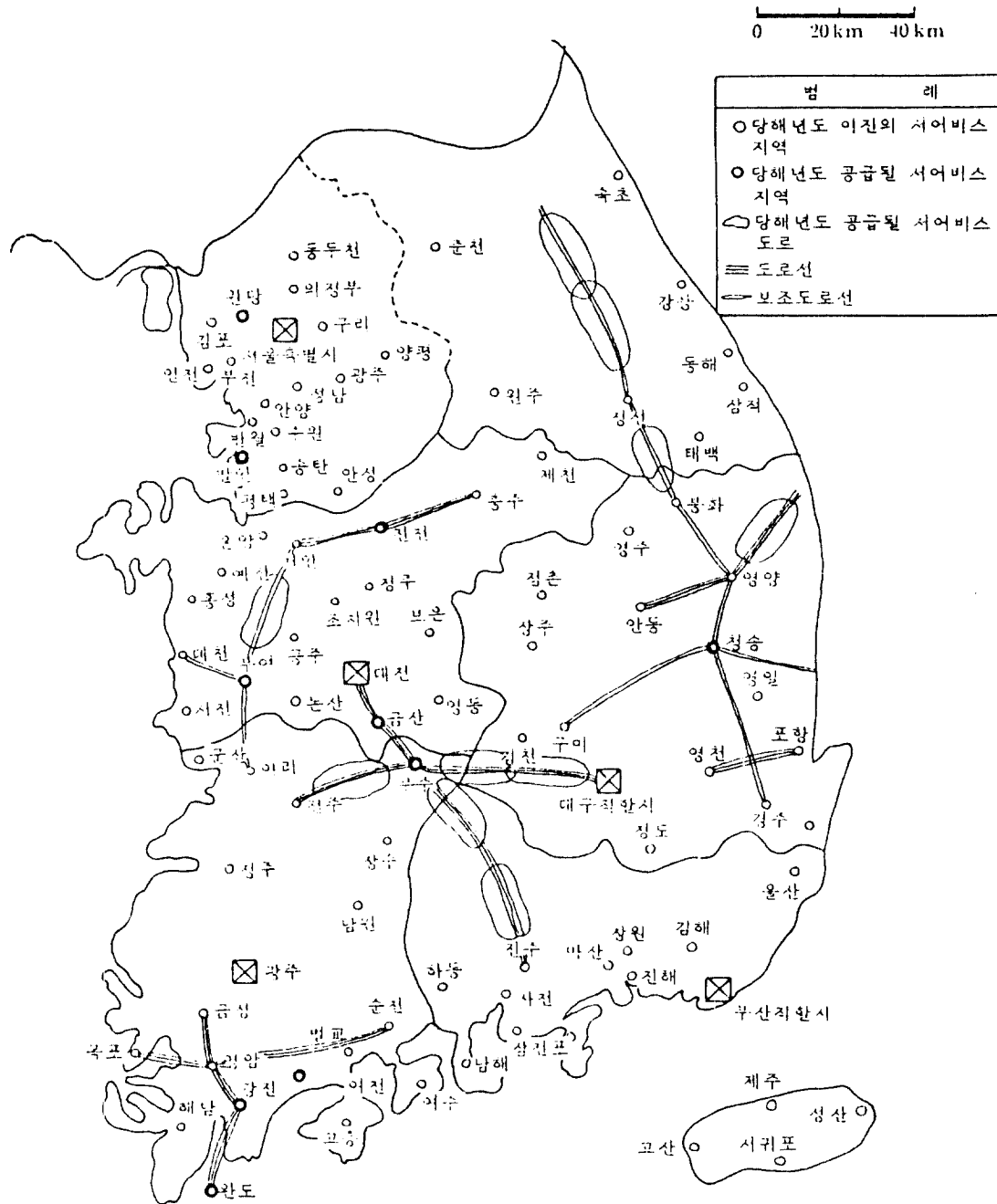


그림 9-8. 20001년 차량전화 통신망 계획

3. Cellular 통신 지역의 문제점

현재 우리나라 자동차 전화 통신망은 셀룰라 방식을 채택하고 있으며, 만약 열차공중전화 통신망을 자동차전화 통신망에 연결하여 공유 통신망을 구성할 경우 셀룰라 통신 지역의 문제점들을 시스템 설계시 중요한 고려 사항이 된다.

이동통신 시스템에서는 어떤 주어진 지역에서 최적의 신호를 제공해주는 전송기의 설치와 전송기의 위치에서 지역을 관장하는 영역을 측정하여야 한다. 따라서 시스템 설계시에는 전송기의 전력, 안테나의 지향성, 전송탑의 높이, 주위 지역의 지형지물과 같은 요소들을 고려해야 하며, 서비스 구역을 설계하기 위해서는 각 지점에서의 신호의 세기를 측정하여 같은 레벨의 영역을 설정하고 잠재적인 동채널 및 타채널의 간섭현상, 이동통신 시스템의 성능 등을 고려해야만 한다. 또한 셀룰라망 설계시 고려해야 할 사항은 모든 방향으로 최대 전력을 송출하는 것이 아니며 대신에 작은 셀 (cell)을 효율적으로 통제할 능력이 요구되는 것이다. 즉 하나의 cell site에서의 전송이 효과적으로 목표 지역까지 도달하게 만드는 것이다. 한편 전송된 신호는 해당 주파수가 재사용되는 지역에서 동채널에 의한 간섭 현상을 방지하기 위해 충분히 감쇄되어야 한다. 지역적인 경계선(natural boundary)은 70마일이나 실제 시스템에서 주파수를 재사용하는 지역간의 거리는 불과 수마일이다. 또한 셀룰라 통신망의 한 지역은 원 또는 육각형으로 정의되나 실제로는 그림 9-9와 같이 불규칙적이다.

실제 전자파의 전파특성을 고려할 때 서비스 지역은 원형으로 설계되어야 하나, 원형으로 배열시 하나의 서비스 구역에 다수지역이 포함되거나 어떤 지역도 포함되지 않는 등 모호한 지역이 발생되어 삼각형 또는 사각형으로 해석할 수 있는 육각형의 서비스 구역이 선호되고 있다.

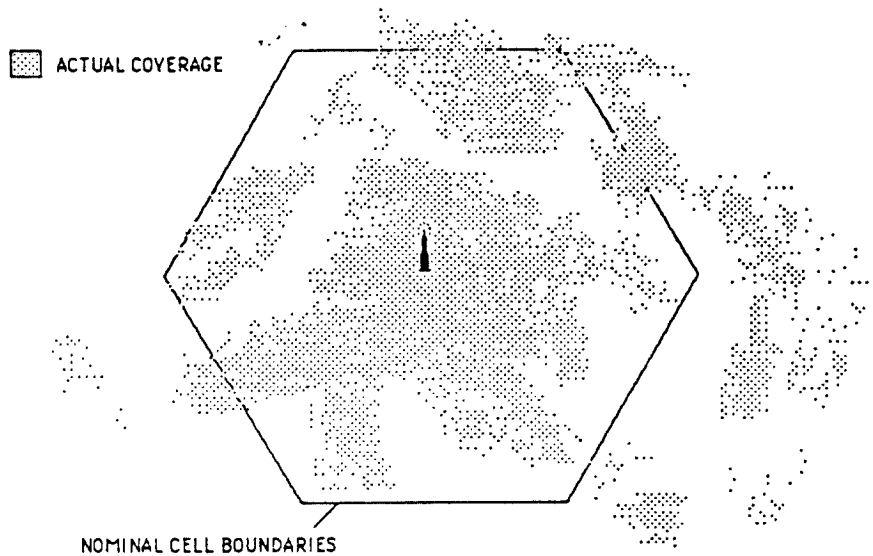


그림 9-9. 이상적인 서비스 지역 및 실제 지역

(1) Dead spot과 Hot spot의 발생

-Dead spot

한 지역에서 큰 건물, 숲, 도로의 형태에 의해 기대되지 않았던 신호의 감쇠로 인해 통화가 불가능한 지역을 말하며, 일반적으로 하나의 서비스 지역에는 이러한 지역이 수 개 정도 존재하며 크기도 2마일 이상 되는 것도 있다.

시스템 설계자들은 이러한 문제를 해결하기 위해 전송, 스위칭, 통제 설비를 개선시켜 서비스 전지역에서 신뢰성 있는 통화를 할 수 있도록 시스템을 설계해야 한다.

-Hot spot

교통이 막히는 경우 운전자들은 자기의 스케줄이 지연되는 상태가 발생하여 이때 수 많은 자동차 전화를 이용하게 되는데 이때의 지점을 hot spot이라 한다.

(2) 절체(hand-off)

절체란 통화를 계속하고 있는 이동체가 한 서비스 지역에서 다른 서비스 지역으로 통과할 때 기지국에서 수신된 신호의 세기를 계속 측정하여 통화가 끊임없이 다른 서비스 지역으로 스위칭하는 것을 말한다. 인접 기지국은 이동체로부터의 수신된 신호레벨을 측정하여 이동체 스위칭 센터에 알리면 이동체 스위칭 센터에서는 각 기지국으로부터 요청된 신호들중 가장 강한 신호부터 우선 순위로 절체되어야 할 기지국에 빈 채널(idle channel)을 할당하고 기지국은 이동체에 새로운 주파수를 할당하여 통화를 계속하게 한다.

절체가 일어나는 확률을 예측하기 위해 다음과 같은 상황을 가정한다. 이동체가 반경 10마일 이내에서 움직이며 속도는 시속 8 - 96 km/hour로 이동하며 방향은 0 - 360°로 무작위로 움직인다. 따라서 이동체가 서비스 경계선지역에 도달할 확률은 통화 지속시간과 관계 있다. 표 9-3은 통화시간과 절체가 일어날 확률에 관한 도표이다.

표 9-3. 통화시간과 절체가 일어날 확률

Handoff probability(%)	Call length(min)
11.3	1.76
18.	3
42.6	6
59.3	9

또한 cell의 크기가 작을수록 절체횟수와 필요성이 늘어나며 cell 크기 당 한 통화 절체 횟수는 표 9-4와 같다.

-셀룰라 통신망에서 절체의 문제점

셀룰라 시스템에서는 이동체의 장소, 진행하는 방향, 진행속도, 절체시킬수 있는 인접지역이 몇 개인지 알 수가 없다.

표 9-4. 셀의 크기와 절체

Cell의 반경(km)	절체횟수(회)
16 - 24	0.2
3.2 - 8	1 - 2
1.6 - 3.2	3 - 4

단지 이동체로부터의 신호레벨이 어느 정도 이하로 떨어지면 다른 지역으로 절체시키기 때문에 잘못된 절체가 일어날 가능성이 있으며 또한 이동체가 두 인접지역의 애매모호한 지역에 위치하면 잘못된 절체가 일어날 수도 있다.

일반적인 셀룰라 시스템에서는 이동체가 한 지역에서 다른 지역으로 이동할 때 잘못된 절체가 일어날 확률은 10 - 25% 정도로 일어난다고 보고되었다. 그리고 이동체가 인접 지역이 아닌 거리가 떨어진 지역과 절체되었다면 혼선이 생기거나 통화가 끊어지는 현상이 발생된다.

이러한 현상은 시스템의 최악의 경우로 생각할 수 있다.

일반적으로 셀룰라 시스템의 스위칭 용량은 제한되어 있다고 볼 수 있으며 특히 열차무선전화방식을 자동차무선전화방식과 공용시 제한된 채널용량 및 절체용량으로 잘못된 절체가 일어날 가능성이 훨씬 높아질 것으로 판단된다. 이러한 문제를 극복하기 위해 다수의 제안들이 있지만 이런 제안 모두가 기지국이 절체를 결정하기 위해 신호 레벨은 물론 이동체의 정확한 위치정보를 필요로 하고 정확한 시간을 맞추는 능력이 필요로 하기 때문에 현실적으로 실현하는데 많은 연구가 좀 더 이루어져야 한다.

4. 열차공중전화 서비스구역 설계시 고려 사항

열차무선공중전화 방식을 누설동축케이블을 이용한 통신망을 채택할 경우 열차 전화망은 단독망을 형성하기 때문에 셀룰라 방식에서 야기되는 여러 문제점들이 서비스 구역 설계시 발생하지 않는다.

그러나 열차공중전화 통신 방식을 자동차 전화 통신망에 확대 응용시 하나의 서비스 구역에서 자동차무선전화 및 열차무선공중전화가 동시에 공급되어야 한다. 따라서 신뢰성 있는 서비스를 공급하기 위해 다음 사항 등을 고려해야 한다.

첫째, 현재 자동차전화 통신망은 대도시 및 고속도로를 중심으로 설계되어 산악 지형과 터널이 많은 우리나라 철도 지형에서 신뢰성 있는 서비스가 공급될 수 있도록 세심한 고려가 필요하다.

둘째, 철도 터널 내부에서의 통신대책 및 통신 불감 지역에서의 대처 방안 등이다.

셋째, 자동차전화 통신망의 확대 이용에 대한 가용 채널 증가 대책이 필요하다.

넷째, 절체 문제 및 효율적인 주파수 할당이 요구된다.

그러나, 현재 자동차전화 통신망이 경부·호남선을 중심으로 설계되어 있어 우리나라 전역 및 국제 통화 서비스를 공급하기엔 수년간의 시일이 필요하다고 사료된다.

제 10 장 이동통신 통합 운용 방안

이동통신 서비스는 이용용도면에서 크게 전기통신 사업용과 그밖의 기타 사업용으로 나눌 수 있다. 표 10-1은 이동통신 서비스에 대한 구분이다.

표 10-1. 이동통신 서비스의 구분

이용용도		서비스명	이용장소
전기통신사업용		○ 자동차 전화 ○ 무선 호출 ○ 코드리스 전화 ○ 열차 공중 전화 ○ 텔리터미널 ○ 간이 육상 이동 무선 전화	육 상
		○ 선박 전화 ○ 해상 위성 통신	해 상
		○ 항공기 전화	항 공
기타사업용	공공용	○ 정부 기관 (경찰, 도로관리 등) ○ 항공관제, 항만관리, 조난안전통신 ○ 지방자치단체 (소방, 방재무선 등) ○ 공익기관 (전력, 가스 등)	육 상 (해 상) (항 공)
	업무용	○ 업무용 자영통신 (택시, 신문 등) ○ MAC 시스템 ○ AVM* 시스템 ○ 구내무선국 ○ 간이업무용 무선 ○ 퍼스날 무선 ○ 아마추어 무선 ○ 시민 라디오	

* AVM (Automatic Vehicle Monitoring)

먼저, 전기통신 사업용은 전기통신 사업법의 인가가 필요한 고도정보사회에서 기간적, 중추적 역할을 하는 이동통신 서비스를 말한다. 여기에는 고도의 공공성 요컨대 통신의 비밀, 안정성, 신뢰성, 이용의 공평성, 공정한경쟁조건 등의 확보가 요구된다.

그밖의 사업용은 다시 공공적 성격이 강한 부문과 일반 업무용으로 나누는데, 그중에서 공공적 성격이 강한 부문은 경찰등 정부기관 지방 자치단체나 전기·가스·상하수도처럼 공공·공익 사업에 이용되는 이동통신 서비스로서 전기통신 사업용과 같이 공공성, 안정성, 신뢰성 등이 요구된다. 이밖에 운수, 보도, 금융, 제조 판매 등에 사용되는 것이 업무용으로·각각의 업무에 할당된 전용 주파수를 할당하는 것과 MCA (multi-channel access) 시스템을 통해 주파수를 공동 사용하는 것이 있다. 개인용으로는 퍼스널 무선, 시민 라디오 등이 있다.

현재는 이러한 각종 이동통신 서비스가 별개로 발전되고 있으나 복잡하고 다양한 미래사회를 대비해 서비스의 기능을 향상하고 더욱 더 편리한 서비스를 제공하기 위해서는 유사 서비스 시스템을 통합하여 하나의 이동통신 통합망으로 발전되어 나가야 한다.

자동차 전화, 열차 전화, 선박 전화, 항공기 전화 등의 이동체를 대상으로 하는 통신은 유사한 집중제어 방식으로 인해 비교적 빨리 통합될 것이다. 위성통신은 광범위한 서비스 구역을 커버할 수 있기 때문에 이동통신에 적합한 통신 방식이며 특히 행동 범위가 넓은 선박을 대상으로 한 이동인공 위성 통신 서비스가 현재 행해지고 있다. 그림 10-1은 통합 이동통신망을 간략히 나타낸다.

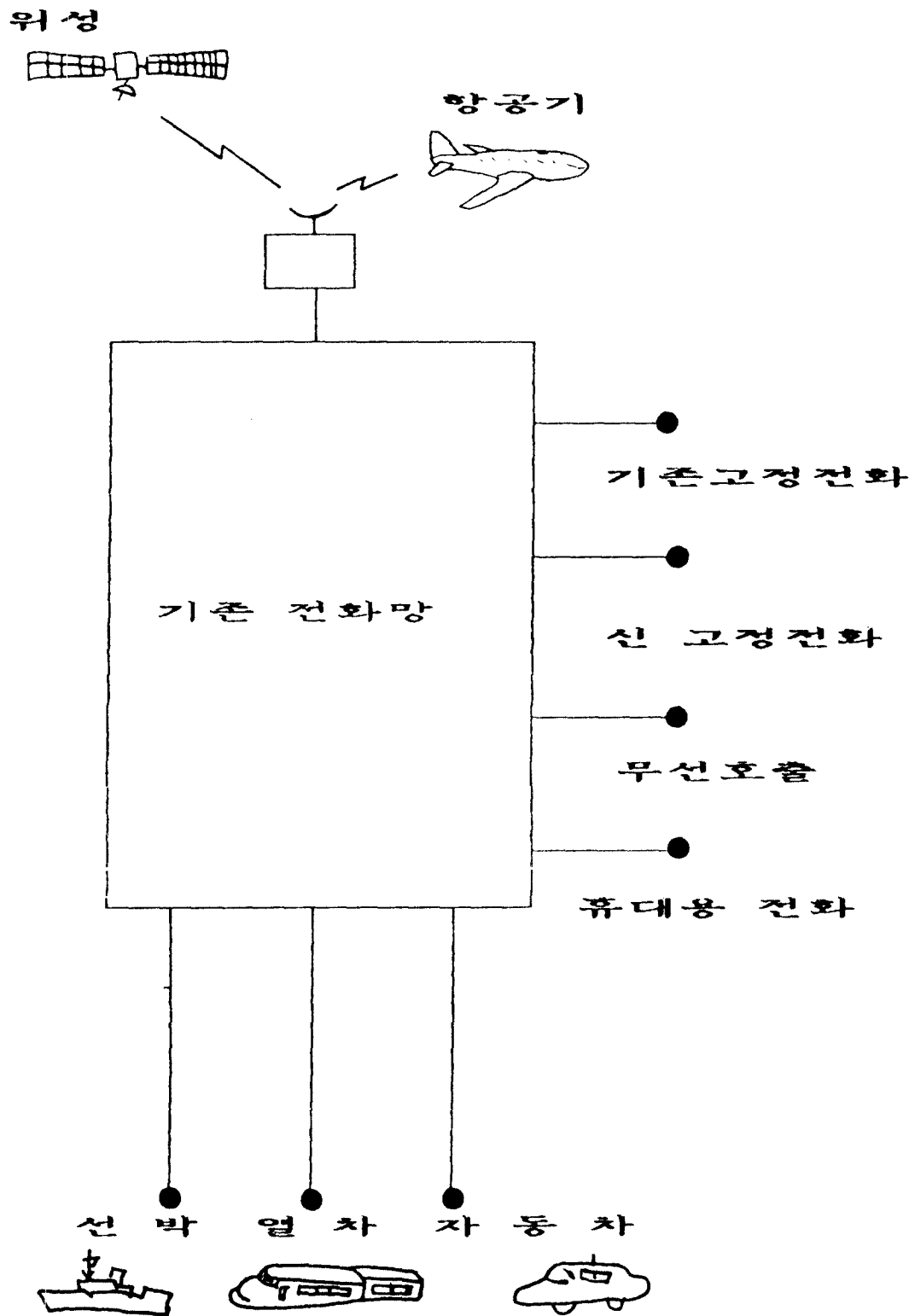


그림 10-1. 이동통신의 통합 운용망

또한 그림 10-2는 전기통신공사 (KTA)에서 계획한 우리나라의 이동통신에 대한 종합 계획을 나타낸다.

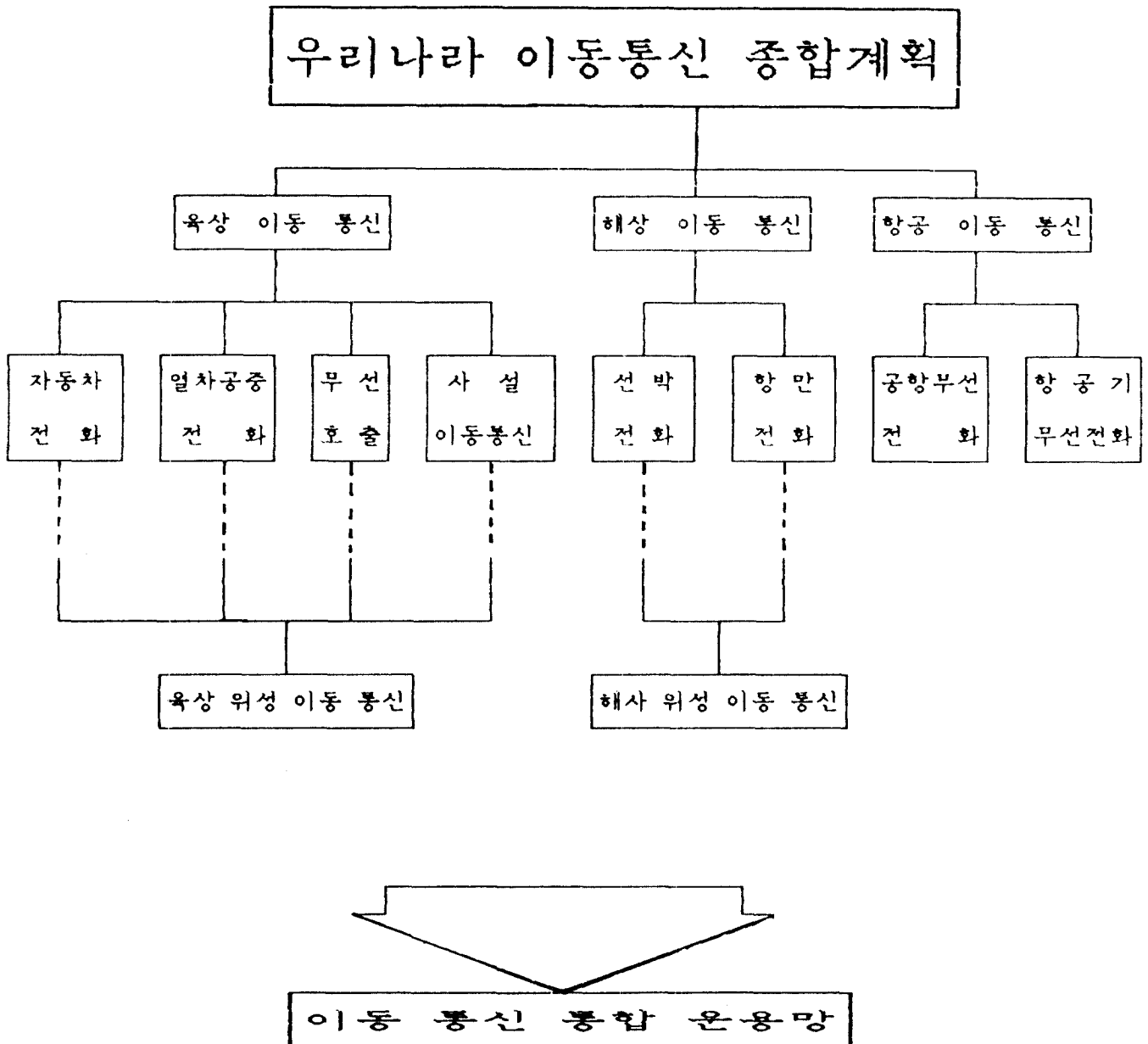
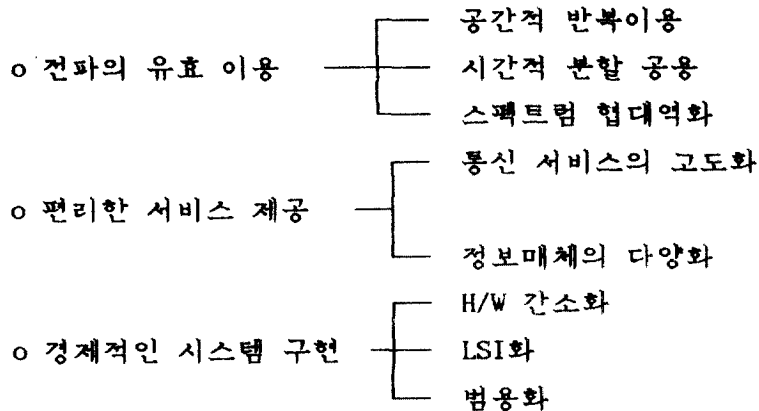


그림 10-2. 우리나라의 이동통신에 대한 종합계획

이상과 같이 통합 이동통신 시스템의 구현을 위해서는 다음과 같이 전파의 효율적 이용, 편리한 서비스 제공, 경제적인 시스템의 실현이 이루어져야 한다.

- 이동통신의 기술개발목표



한편 이러한 이동통신 통합망을 운용하기 위해서는 이동통신을 둘러싼 환경적 측면과 기술적 측면의 다음과 같은 문제들을 풀어야 할 것이다.

- 전파 수요 증대에 대한 대응

- 준 마이크로파 시스템의 실용화 대책
- 기존 시스템의 협대역화, 대응량화
- 밀리미터파 시스템의 활용 및 개발추진

- ISDN화 등에 대한 대응

- 사업용 통신 시스템의 디지털화·ISDN화
- 중요 무선 시스템의 디지털화

- 지역 정보 통신의 고도화에 대한 대응

- 국제화에 대한 대응

- 상호 접속 기능 및 호환성

제 11 장 결 론

본 보고서에서는 이동체 통신 서비스중 열차공중전화에 대한 각국의 운용 현황 및 전망을 조사하였으며 국내에서 열차무선공중전화 서비스 실시를 위한 누설동축케이블 방식과 안테나 방식 및 통신망 구성방식에 대해 조사 비교하였고 터널내 통신대책 방안을 각 방식별로 연구 비교하였다.

또한 현재 국가별 이동통신 서비스에 대한 주파수 운용 실태를 조사하였으며 사용주파수대 유효 활용 방안, 주파수 간섭 및 영향과 통신 서비스 구역을 조사하였고 마지막으로 이동통신 통합 운용 방안에 대해 고찰하였다.

결론적으로 본 과제의 연구결과 국내에 적합한 열차무선공중전화 방식에 대해 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫째, 열차무선전화 통신망 구성방식에 있어서 현재 사용되고 있는 기존 철도 통신망을 확장 이용하는 방식은 사용주파수대가 150 MHz 대로 서비스의 수요가 계속 증가할 경우 주파수 폭주로 인한 새로운 채널의 할당에 문제가 생기므로 적합한 방식이 아니라고 사료된다. 따라서 우리나라와 같이 산악 지형이 많고 특히 남북분단하의 특수상황하에서 방사전력을 최소화할 수 있고 지형에 영향을 받지 않으며 무선 채널의 효율을 증가시킬 수 있는 누설동축케이블 방식이 유리하나 경제적인 조건과 열차공중전화 서비스의 조기실현이라는 관점에서 볼 때 기존 자동차전화 통신망을 확장 응용한 안테나 방사 방식이 적합하리라 사료된다. 특히 우리나라의 철도중 경부선, 호남선 등은 대도시를 경유한 고속도로와 병행하는 특징을 가지고 있으므로 열차공중전화 망을 자동차전화망과 공유하여 설치할 경우 고속버스공중전화라는 새로운 서비스가 부수적으로 얻어지게 된다. 물론 이 경우 본 보고서에서 지적한 사용주파수대 유효활용 및 주파수 간섭 및 영향에 대해 세심한 설계가 고려되어야 한다.

둘째, 터널내 통신대책 방안에 있어서는 국내 열차공중전화 통신망을 자동차전화 통신망을 공유한 방식으로 구성할 때 터널의 길이 및 특성에 따라 누설동축케이블과 안테나 방사 방식을 혼합해 사용하는 것이 통신의 신뢰성 및 경제적으로도 바람직하다고 사료된다. 즉 터널 길이가 200m 이상인 긴 터널이나 안테나 방식 사용시 전파의 감쇄가 심한 굴곡 터널 등에는 누설동축케이블을 이용하고, 200m 이하인 짧은 터널에서는 안테나 방사 방식을 사용한다.

셋째, 새로 개설되는 고속열차에 안테나 방식을 이용하면 고속으로 달리는 열차의 특성 때문에 채널간섭에 의한 통화품질이 저하된다. 따라서 고속열차에는 통신망 자체와 터널내 통신 방식이 모두 누설동축케이블을 사용하는 것이 경제적으로 비용이 많이 들더라도 먼 장래를 위해서 바람직하다고 생각한다.

넷째, 열차공중전화 방식에 사용되는 주파수대는 자동차전화 통신망을 이용할 경우에는 기존의 800 MHz 대를 사용하면 되지만 누설동축케이블 방식을 이용할 때는 LCX의 구입 및 국제적 호환성을 고려하여 400 MHz 대의 주파수를 사용하는 것이 바람직하다.

다섯째, 열차의 철로는 고정되어 있으므로 열차라는 이동체의 이동방향을 자동차와는 달리 항상 예측할 수 있다. 따라서 셀룰라 방식의 경우 지향성 안테나를 사용하여 주파수 간섭 및 그에 대한 영향을 최소화시킬 수 있도록 설계해야 한다.

여섯째, 셀룰라 방식의 경우 대도시 외곽 지역에서는 자동차전화의 통화량이 도심지역보다 상대적으로 적기 마련이다. 따라서 도시외곽을 열차가 통과하고 있을 때 채널할당과 절체에 크게 문제가 생기지 않는다.

그러나 열차가 도심지역을 통과하게될 때는 열차공중전화에 채널을 할당 받을 수 없는 경우가 생겨날 수도 있다. 그러면 열차내에서 공중전화를 걸고 있는 사용자에게는 통신두절이 발생한다. 이러한 문제를 해결하는 한 방법

으로서 도심지역에는 열차공중전화를 위한 전용채널을 항상 남겨놓고 나머지 가용한 채널을 자동차에 할당하는 방법을 제안하고자 한다.

일곱번째, 열차공중전화의 서비스 구역 선정과 열차공중전화의 이동통신 통합망으로의 운용은 우리나라 이동통신 운용방안에 따른다.

본 과제 연구중 열차무선전화를 운용중인 국가가 미국, 일본, 유럽등 제한된 선진국가로 인하여 자료수집에 다소 어려움이 있었다. 또한 수집된 자료가 충분하지 못하여 연구내용이 많이 미흡하였다. 앞으로 다가오는 21세기에는 고도의 정보사회로써 다양한 이동체 서비스가 요구되므로 이를 만족하기 위해 열차무선공중전화 서비스는 실시되어야 하며 특히 매년 국내철도를 이용하는 인구가 증가함에 따라 이 서비스의 조기실현이 바람직하다.

끝으로 미비한 본 보고서가 완성되기까지 도와주신 여러분께 감사드리며 이동통신 분야에 종사하는 분들께 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. 渡邊正信, 高材 充 "移動通信方式"
科學新聞社 in Japan
2. 奥村善久, 進士昌明 "移動通信の 基礎"
電子通信學會編 in Japan
3. "Mobile cellular Telecommunications system ", by William C.Y. Lee,
Mcgraw-Hill
4. "중장기 이동체통신 종합계획수립에 관한 연구", 1985년 12월, 한국전
자통신연구소
5. Toshio Suzuki, Tetsuro Nanazawa and Shigeru Kozono "Design of tunn
el Relay System for Automobile Telephone System in the 800MHz band"
Review of ECL.,28, 11-12, P 921-935, 1980.
6. Donald C.Cox, "Antenna Height Dependence of 800MHz Attenuation Meas
ured in Houses", IEEE Trans.Veh.Technol.VOL.VT34, No.2, P108-116,
May,1985.
7. Douglas O.Reudink, "Properties of Mobile Radio Propagation above
400MHz", IEEE.Trans.veh.Technol. VOL VT-23,No.4,P 143-159,November
,1974.
8. 赤川磐,"列車における 移動通信", 信學誌,Vol.57,No.4,P 446-452 1974년
4월.
9. 高 野毅,"新幹線 列車の 空衆電話", 鐵道通信,23,P23-24,1972.
10. 岡ノ上 和廣,小 笠原 英夫,"テイシタル 列車無線通信 方式の 一提案",
RCS 88-60,P89-94,1984.
11. Akira Akeyama,Takayoshi Nagatsu and Yoshio Ebine, "Mobile Radio
Popagation Characteristics and Radio Zone Method in Local Cities",
Review of ECL, Vol.30,No.2,P308-317,1982.
12. 加藤典正, 小松原康雄 "超高速鐵道と 通信",鐵道通信,23.10,P17-21,

13. 千脇一短, "武蔵野線 列車無線計画", 鐵道通信, 23.6, P22-24, 1972.
14. Anthony S. Hu, "Leaky Coaxial Cable Characteristics at 900MHz.", IEEE. Trans. veh. Technol, VOL. VT-26, No. 4, P372-275, November, 1972.
15. Kenji Fujino and Tetsuro Hanazawa, "Repeater Equipment for Highway Tunnel in the 800MHz Band Mobile Telephone System", Review of E C L. Vol. 28, No 11-12, P 953-962, 11-12, 1980.
16. Kenneth K. Kelly II "Flat Suburban Area Propagation at 820MHz", IEEE. Trans. veh. Technol, Vol. VT-27, No. 4, P 198-204, November, 1978.
17. Toshio Sazuki, Tetsuro Hanzawa, and Shigeru Kozono, "Design of a Tunnel Relay System with a Leaky Coaxial Cable in an 800MHz Band Land Mobile Telephone System", IEEE. Trans. veh. Technol. Vol VT-29, No. 3, P305-316, August, 1980.
18. Eraldo d. Dauosso and Salvatore de Padova, "Propagation and Radiation of VHF Radio Signals in Motorway Tunnels", IEEE. Trans. veh. Technol, Vol. VT-25, No. 2, P39-45, May, 1976.
19. Sadao Ito and Yasushi Matsuzawa, "800MHz Band Land Mobile Telephone System", IEEE. Trans. veh. Technol, Vol. VT-27, No. 4, P205-211, November, 1978.
20. Shigeru Kozono, "Experimental Study on Propagation Characteristics in Rectangular Tunnels.", Review of ECL, Vol. 28, No. 11-12, P940-952, 11-12, 1984.
21. 落合進, "國鐵通信 長期のビジョン", 鐵道通信, Vol 23, No. 1, P4-10, 1972.
22. Gary D. Ott, and A. Plitkins, "urban Path-Loss Characteristics at 820MHz", IEEE Trans. veh. Technol, Vol. VT-27, No. 4, P189-197, November, 1978.
23. Neal H. Shepherd, "Radio Wave Loss Deviation and Shadow Loss at 900MHz", IEEE. Trans, veh, Technol, Vol. VT-26, No. 4, November, 1977.

24. Hiraku Mishima and Tokio Taga, "Antenna and Duplexer for New Mobile Radio unit", Review of ECL, Vol. 30, No. 2, P359-370, 1982.
25. Kazuhiro Miyauchi, "Advanced Technologies on Land Mobile Telephone", Review of ECL, Vol. 30, No. 2, P 233-237, 1982.
26. Koichi Mikosiba, "Guided Radiation by coaxial cable for Train Wire-less System in Tunnels", IEEE. Trans. Veh. Technol. Vol-18. No. 2, P66-69, August, 1969.
27. Louis. Deryck, "Natural propagation of eletromagnetic Waves in Tunnels", IEEE. Trans. Veh. Technol. Vol-27. No3., P145-150, August, 1978.
28. J. Denes and A. D. Keedwell, "Frequency Allocation for a mobile Radio Telephone System", IEEE. trans. Comm. Vol-36. No. 6, P765-767, June, 1988.
29. 주간기술동향 89-31 "일본의 이동통신서비스 현황".
30. 한국전기통신공사, "이동채 통신망 기본계획", 1987, 12.
31. "British Railways Board", Letter. 1989. 10. 27.
32. "Digital Cellular Radio", by George Calhoun in Artech House, 1988.
33. "Digital Communication", by John C. Prokis in McGraw-hill . 1983.
34. 강신용, "이동통신의 기술발전방향" 전파 이용 활성화에 관한 학술 강연회., 1989. 6. 16., P48-71.
35. 이정옥, "우리나라의 공중 전기 통신망의 발전전망", 전자교환기술 제3권 제1호 1987. 3., P22-28.
36. 임주환, "미래의 통신망", 전자교환기술 제3권 제1호, 1987. 3., P57-61.
37. S. N. AHMED And PHILIP CONSTANTINOU, "A Mobile Interference Model in-to UHF Television Receivers", IEEE. Trans. on Veh. Technol. Vol. VT-32 No. 2., May. 1983., P206-208.
38. WILLIAM C. Y. LEE and YU S. YEH, "Polarization Diversity System for Mobile Radio", IEEE. Trans. on Comm. Vol. COM-20. No. 5., October 1972., P912-923.
39. WILIAM C. Y. LEE, "Mobile Radio Signal Correlation Versus Antenna Height and Spacing", IEEE. Trans. on Veh. Technol. Vol. VT-25. no. 4., August 1977., P290-292.

40. Ree D.E.FISHER., "UHF Television Interference Associated with Cellular Mobile Telephone Systems", IEEE. Trans on Veh. Technol. VOL. VT-33. NO. 3., August 1984., P244-249.
41. 創本失 進士昌明, "移動通信の 展望", 信學誌, VOL. 68, No. 11., 1985, 11, P1158-1167.
42. 田中良一, "公衆移動通信の現状と動向", VOL. 68, No. 11., 1985. 11. P1168-1176.
43. 林義郎, "新幹線の 列車無線", 新學誌, VOL. 65, No. 5, 1982, 5, P541-543.
44. 田中良一, 森廣芳照, "公衆網における衛星通信の適用法", 電子通信學會論文誌, VOL. J68-B, No. 10, 1985. 10, P1161-1168.
45. 林義郎, 松尾益次郎, "今後のデ - タ通信", 鐵道通信, 1872, 10, P21-25.
46. 神崎慶治, "周波數 資源の開拓と有効利用", 信學誌, Vol. 68, No. 11, 1985, 11, P1251-1256.
47. 高羽禎雄, "高度情報時代の移動通信への期待", 信學誌, VOL. 68, No. 11, 1985, 11, P1257-1262.
48. 吉田進中 嶋信生, "アンテナと電波運搬", 信學誌, VOL. 68, No. 11, 1985, 11, P1232-1237.
49. 冠昇, "無線機の小型化とLSI", VOL. 68., No. 11, 1985. 11. P1206-1218.
50. 堀川泉, "移動通信を支える基本技術", VOL. 68, No. 11, 1985. 11. P1206-1218
51. 松尾良雄, "移動通信の海外動向", 信學誌, VOL. 68, No. 11, 1985. 11. P1242-1246.
52. 石原秀昭, "諸分野 移動通信の利用", 信學誌, VOL. 68, No. 11, 1985, 11, P1183-1187.
53. 白幡邦彦, "メソヒ - ジ デ - タ通信", 信學誌, VOL. 68, No. 11, 1985, 11, P1247-1250.
54. 田中良一, "公衆網における衛星通信利用の展望", 信學誌, VOL. 67, No. 10, 1984, 10, P1082-1085.

55. 안병성, “이동통신의 기술개발동향”, 전파이용활성화에 관한 강연회지, 1989.6, P 24-47.
56. 박한규, “전파이용의활성화방안”, 전파 이용 활성화에 관한 강연회지, 1989.6. P7-21.