

지하철내 공용기지국 통신장비 장애 분석에 관한 연구

신지윤^o, 박덕규

목원대학교 정보통신·전파학부^{*},

A Study of Failure Analysis on the Communication Equipment of common-basestation in the Subway

Ji-Yun Shin^o, Duk-Kyu Park

Division of Information Communication and Radio Engineering,
Mokwon University

E-mail : parkdk@mokwon.ac.kr

요약

이동통신이 대중화되면서 서비스확장을 위해 무분별하게 기지국 건설함으로써 발생하는 기지국간의 중복투자 및 자연훼손을 방지하기 위하여 정통부에서는 기지국 공용화를 요구하였다. 본 연구에서는 지하철 역사내에 설치된 공용중계기에서 발생하는 전원 불량등의 장애 요인 및 장비, 시설 불량 또는 지하철 터널 구간에서 발생하는 통신 서비스에 대한 문제점을 조사하여 분석하였다. 본 논문의 내용은 공용화 서비스에서 높은 품질의 서비스를 제공하고 앞으로 추진될 IMT-2000 또는 제4세대 이동통신 공용화에 중요한 기초자료가 될 것이다.

ABSTRACT

Ministry of Information and Communication(MIC) requires telecompanys to be base station sharing in order to prevent the duplicated investment and environmental destruction due to indiscreet constructions of a basestations for enlarging its own service area among telecompanys. This paper discussed the troubles of mobile communication services to be generated in common-basestation at the subway, such as factors of power obstacles, communication equipment and establishment obstacles. The content of this paper is helpful in organizing the basestation sharing of IMT-2000 and the 4th generation mobile system, and provides the basic of a higher quality service for common-service communication.

I. 서론

이동통신 사용자들이 급증함에 따라 각 이동통신 사업자들은 서비스 확장을 위해 무선기지국을 무분별하게 건설하여 운용하게 되었고 이에 따른 자연환경의 훼손과 중복투자에 의한 막대한 투자 비용 손실이 발생하게 되었다. 이런 문제점들을 해소하기 위해 정보통신부는 각 사업자에게 기지국 공용화를 요구하였다. 기지국을 공용화함으로써 건물, 전원설비, 첩탑 등 부대시설을 공동으로 사용하게 되어, 부대시설을 건설하는데 필요한 투자비용을 절감하고 사업자별 기지국의 난립으로 인한 도시미관 및 자연환경 훼손을 방지, 전자파 관련하여 인

체에 대한 유해 시비를 방지하게 되었다. 또한 기지국 공용화는 이동통신 서비스를 이용하는 이용자에게 저렴한 요금과 높은 품질을 제공할 수 있다는 이점이 있다[2]. 공용기지국 건설은 개별기지국과 비교해 기술적으로 큰 어려움은 없지만 사업자별 cell planning이 상이하므로 기존의 통신망에 영향을 미치지 않도록 구축해야하고, RF 출력이 다른 경우 전파간섭 발생, 안테나 배치문제등 기술적으로 고려되어야 할 사항이 많다. 그 중에서도 공용중계기 장비장에는 기지국 공용화로 PCS 사업자가 공동으로 장비를 사용하므로, 장애발생시 사업자별 기지국 사용시보다 낮은 통화품질을 가져올 수 있다. 따라서 현재 공용화가 진행되어 있는 지하철 구간내에서 발생하

는 통신장애의 문제점을 분석하는 것은 매우 중요한 일이다.

본 논문에서는 PCS 3사의 공용중계기 장비가 설치된 지하철 역사내에서 발생하는 장애들을 조사분석하여 공용화 서비스에서 높은 품질의 서비스를 제공하고, 앞으로 추진될 IMT-2000 또는 4세대 이동통신 공용화를 위한 중요한 기초 자료를 제공하려고 한다.

II. 수도권 지하철구간 시설 설비 및 운용 현황

2.1 시설 설비

지하철 이용승객의 원활한 이동통신 서비스를 위해 역사, 터널구간 및 환승통로등에 지하철 기지국(μ -BTS) 및 광중계 시스템이 설치되어있다.

현재 수도권에는 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8호선, 과천선, 분당선, 일산선의 총 273 개 역사에 설치했으며 지방권에는 부산1, 2호선, 대구1호선, 인천1호선의 총 104 개 역사에 기지국을 설치하였다.

아래 <표 1>는 수도권 지하철기지국현황을 나타낸 것이다.

<표 1> 수도권 지하철구간 기지국 현황

구분	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선	과천	분당	일산	계
기지국장비	기지국수	1	17	9	10	25	13	13	5	3	2	103
	μ -BTS	3	51	27	30	69	39	36	15	9	6	289
	중계기	-	-	-	-	6	-	3	-	-	-	21
	소계	3	51	27	30	75	39	39	15	9	6	309
	G P S	1	11	9	8	21	13	13	5	3	2	87
소계	1	11	9	8	21	13	13	5	3	2	87	
광장비	H u b	1	17(6)	9	10(2)	23(2)	13	13	5	3	2	101(10)
	전원택	8	25	20	13	27	25	25	12	5	9	172
	소계	9	42	29	23	50	38	38	17	8	11	273
	대합실CB	13(2)	55(7)	33(3)	35(1)	49	105	40	19(2)	8	8(1)	376(16)
	터널내CB	20	97	72	69	122	53	118	42	38	28	702
소계	33	152	105	104	171	158	158	61	46	36	1,078	

* HUB수()는 셀 분할수이고 CB수()는 해당 지하상가에 설치 운용

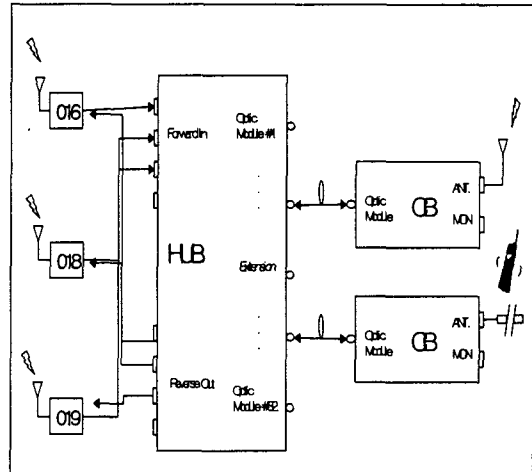
2.2 공용 중계기 구성

지하철구간내에서 운용되고 있는 공용중계기의 주요구성요소는 HUB 및 CB 장치, LCX, 안테나가 있으며, 각 장치 등에 대한 동작원리는 다음과 같다.

2.2.1 HUB와 CB장치

Main HUB는 사업자별 기지국 또는 이동 중계국에 위치하여 송,수신 결합이 동축케이블로 연결되어 있고 Main HUB와 터널용 CB에 내장된 광 트랜시버가 광 케이블로 연결되어

사업자별 기지국 또는 이동 중계국과 터널용 CB를 연결하는 역할을 한다[3](그림1참조). 터널용 CB의 입,출력단자로 사용되는 ANT Port에는 장치의 설치 환경에 따라 안테나 또는 누설 동축케이블(LCX)을 연결하여 이동 단말기와 송,수신 결합을 한다.



[그림 1] 공용중계기 시스템 구성

[그림 1]에서 나타난 바와 같이, 사업자별 기지국 또는 이동 중계국의 송신 신호가 Main HUB에 입력되면 적정한 신호 증폭을 하고 Main HUB의 광 트랜시버에 의해 전기적 신호가 광 신호로 변환되어 광 케이블을 통해 터널용 CB의 광 트랜시버로 전달된다. 터널용 CB의 광 트랜시버에 입력된 광 신호는 다시 전기적 신호로 변환되고 적정한 신호 증폭과 필터링을 한 후에 외부 안테나 또는 누설동축 케이블에 의해 이동 단말기로 전송되며 이를 기지국의 신호를 기준으로 FORWARD LINK(순방향 결합)라고 한다.

이동단말기에서 출력된 송신 신호는 터널용 CB에 연결된 안테나 또는 누설동축 케이블에 수신되고 적정한 증폭을 하여 광 트랜시버에 의해 광 신호로 변환되어 Main HUB의 광 트랜시버로 전달된다. Main HUB의 광트랜시버에서 다시 전기적 신호로 변환된 신호는 동축케이블을 통해 사업자별 기지국 또는 이동중계국에 전송되며 이를 기지국의 신호를 기준으로 하여 REVERSE LINK(역방향 결합)라고 한다.

(1) FORWARD LINK

각 사업자의 BTS(Base-station Transceiver System)에서 출력된 RF 신호를 3Way Combiner로 통합하고 2Way Divider로 Monitoring단자와 Pre-Amp입력단으로 나뉜다. Monitoring단자는 중계기에 입력되는 신호세력을 확인, 점검을 위한 것이며 Pre-Amp에서는 신호를 적절한 수준으로 증폭하고 2단자 Modern Divider로 공급한다. 모뎀 분리기에는 NMS(Network Management System)를 위한 FSK모뎀으로부

터 입력된 NMS신호와 Pre-Amp에서 출력된 신호가 조합되어 4단자 신호 분배기로 전달된다.

4분배기를 통과한 신호는 다시 Main HUB의 SMU(Splitter Module Unit)후면에 연결되어 8분배기에 전달된다. 4분배기의 출력단자 중 2개의 단자에 SMU(8분배기)가 연결되어 모두 16개의 출력단자를 구성하며, 나머지 2개의 단자는 필요에 따라 8분배기를 연결하여 최대 32개의 출력단자를 구성할 수 있다. SMU(8분배기)의 출력신호는 OMU(Optical Transceiver Module Unit) 내부에 위치한 Master Optic Transceiver Module에 연결되어 전기적인 신호를 광신호로(E/O) 변환한다. 변환된 광신호는 파장분할 다중화방식(WDM: Wave-length Division Multiplexing)을 거쳐 광케이블을 통하여 slave CB로 전송된다.

Master 광 트랜시버로부터 입력된 광 신호는 Slave 광트랜시버로 유입되고 WDM을 거쳐 전기적신호로 변환(O/E)된다. 신호는 2단자 모뎀 분리기에서 NMS용 FSK모뎀과 순방향의 가변감쇄기로 분배되고 가변감쇄기와 Drive Amp에서 적절한 증폭을 한 신호는 HPA로 입력되어 규격치까지 증폭된다. HPA에서 증폭된 신호는 Duplexer, Directional Coupler 을 거쳐 출력된다.

(2) REVERSE LINK

이동단말기의 송신출력신호가 CB의 안테나에 수신되면 Directional Coupler를 거쳐 PCS 3사의 주파수대역을 모두 포함하는 Duplexer에 입력되고 수신된 미약한 신호를 대역통과 필터 다음단의 LNA에서 증폭을 한 후 가변감쇄기와 Drive Amp를 통하여 증폭기 규격에 맞는 신호 증폭을 한다.

Drive Amp에서 출력되는 신호는 2단자 모뎀 분리기에 입력되고 FSK모뎀으로부터 입력된 NMS신호와 조합되어 Slave 광 트랜시버로 입력된다. 여기서 전기신호가 광신호로 변환(E/O)되고 WDM부품을 거쳐 광케이블을 통하여 HUB 광트랜시버로 전달된다. 다시 HUB 광트랜시버로 입력된 역방향 신호는 WDM 부품을 거쳐 광신호가 전기적 신호로 변환(O/E)되고 CMU의 8단자 결합기로 입력되고 다시 4단자 결합기로 입력되고 다시 2단자 모뎀 분리기로 전달되어 NMS를 위한 FSK모뎀과 역방향 결합방향의 Post-Amp로 분배된다. FSK모뎀은 무선 모뎀의 송수신 장치로 증폭기의 자체감시, 원격제어 기능 및 시스템의 동작상태표시 경고기능과 경보 발생시 원격전송기능을 가진다. Post-Amp에서는 역방향 결합신호를 적정 수준으로 증폭하고 4단자 분배기로 출력하고 여기서 동축케이블을 통해 PCS 3개 사업자 BTS로 입력된다

2.2.2 LCX 방식

대합실 및 승강장에는 CB에서 급전선으로 연결하여 음니 안테나를 사용하고 터널구간에는 CB에서 분배기를 사용하여 LCX(Leakage Coaxial Cable)을 연결하고 더미로드를 사용한다. 구조적 특징으로는 CB 출력신호가 LCX를 통해 누설전파

되도록 하고 CB 양쪽 편으로 250M씩 LCX를 포설하고 더미로드로 마감처리한다. 따라서 CB 1대당 Total 500M 커버리지를 갖는데 Handoff 구간에는 원활한 Handoff를 위해 LCX가 최소한 3M가 접치도록 설계한다.

LCX는 LOS(Line Of Sight)가 확보되지 않는 구조도 균등하게 서비스할 수 있고 기지국에서의 원근에 관계없이 수신레벨을 일정하게 할 수 있다. 또한 사용가능 주파수대역이 넓고 주파수가 서로 다른 다수의 전기신호를 독자적으로 전송, 방사할 수 있으며, 포설환경 조건등에 의한 전송손실 변화가 적다. 반면 LCX는 자체의 결합발생시 유지보수가 어렵고 사용 커넥터 유지보수가 어렵다. 또한 LCX에 도체(조가선 등)가 닿았을 경우 VSWR(정재파비)특성이 나빠지는 경우가 있으며 지상/지하 Handoff 특성이 좋지 못하다.

2.2.3 안테나 방식

대합실 및 승강장에는 무지향 특성을 갖는 음니 안테나를 사용하고 터널구간에는 야기안테나를 사용한다. 그 특징으로는 CB 출력신호가 야기안테나를 통해 방사 되도록 하여 구성이 간단하고 설치면적이 작다. 또한 시설구조에 따라 서비스 커버리지가 다르므로 CB 설치간격이 유동적이므로 시설공사비가 저렴하다. CB를 승강장 끝에 설치하고 터널구간 시점에 안테나를 취부할 수 있으므로 장비 유지보수를 용이하게 한다. 설치공사비가 저렴하고 시설 유지보수가 비교적 편리하며 단위 설치면적이 작아 기존 시설물에 손상이 적고 지상/지하 Handoff 성공률이 높은 장점이 있는 반면, 시설구조에 따라 커버리지 차이가 있어 추가적인 안테나 설치 가능성이 있을 수 있다는 단점이 있다.

III.운용 유지 보수

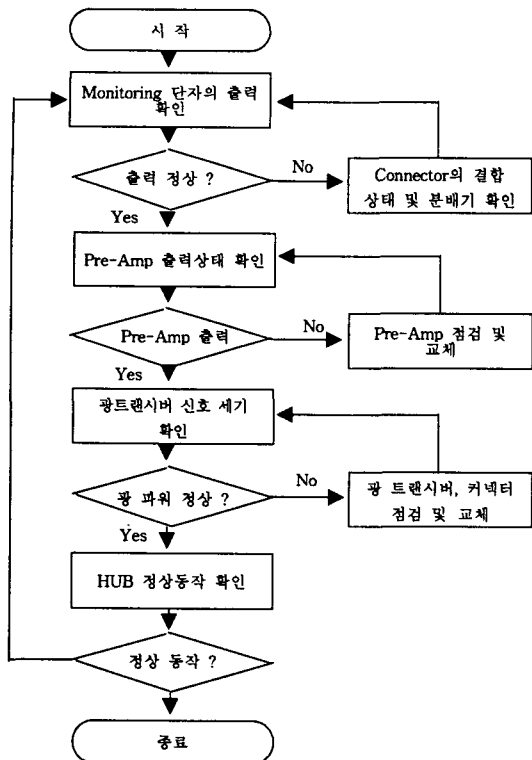
3.1 Main HUB 장비 점검

Main HUB 장비 점검은 Forward link와 Reverse link로 나뉘어지고 운용 유지보수의 경우에도 link별로 구분하여 수행된다. 여기에서는 Main HUB 장비 Forward link에 대한 flow chart만을 표시하고 있다(그림 2 참조).

3.1.1 FORWARD LINK(순방향 결합)

Monitoring 단자의 출력이 37dBm/FA인지를 확인을 하여 높거나 낮을 경우 connector의 결합 상태 및 분배기를 확인하고 모니터링 단자의 출력이 정상적으로 동작되는지 확인 후 pre-Amp의 출력상태를 확인한다. pre-Amp 출력이 비정상적으로 발생될 때 pre-Amp 점검 및 교체하고 출력 조정 후 광트랜시버 신호 세기가 정상적인지 아닌지 확인한다[3].

광파워가 비정상적으로 출력이 될 때는 광트랜시버, 커넥터를 점검하여 교체를 한 후 HUB 정상동작 확인후 종료한다(그림2참조).



[그림 2] Main HUB 장비의 Forward link

3.1.2 REVERSE LINK(역방향 결합)

광케이블의 입력 광 신호 세기를 확인후 광 파워가 -3dBm 보다 작을 경우 광 트랜시버 모듈을 점검하여 이상이 있을 때 교체를 하고 다시 광 신호 세기를 확인한다. 광 파워가 정상적으로 출력할 때 Post-Amp의 출력상태를 확인하여 비정상일 경우 AMP를 점검하여 교체후 다시 출력상태가 정상적으로 발생을 하는지 확인 후 HUB가 정상적 동작을 하는지 상태 점검하여 비정상적으로 동작할 경우 CONNECTOR의 결합 상태 및 분배기를 확인하여 HUB가 정상동작을 하도록 조치후 종료한다.

3.2 대합실용 CB 장비 점검

Main HUB에서와 마찬가지로 Forward link와 Reverse link의 flow chart를 가지고 CB 장비의 이상 유무를 판단할 수 있으며 여기에서는 Forward link의 flow chart만을 [그림 3]에 나타내었다.

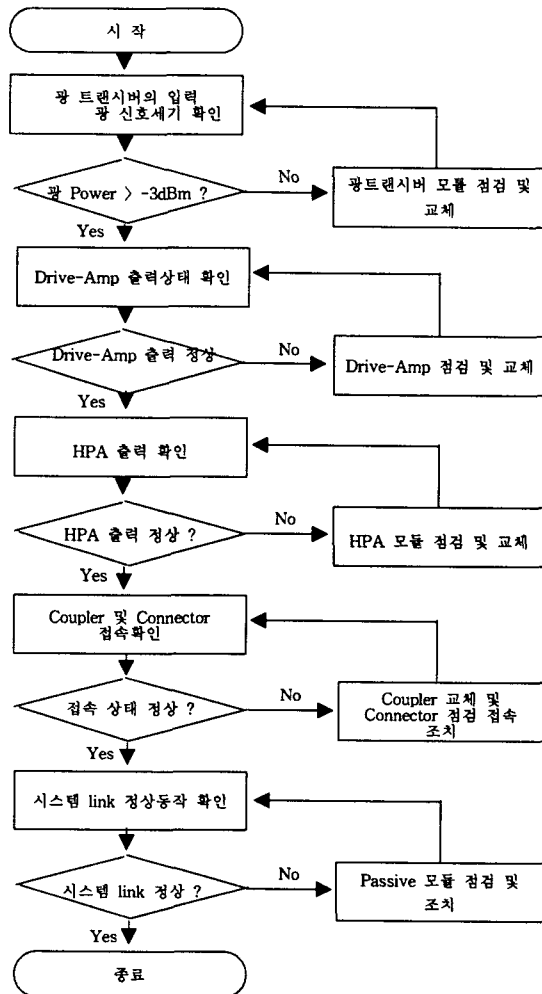
3.2.1 FORWARD LINK(순방향 결합)

광 트랜시버의 입력, 광 신호세기 확인하여 광 파워가 -3dBm보다 낮을 경우 광트랜시버 모듈을 점검하여 이상시 교체후 광 신호세기 확인 정상적으로 출력되면 Drive-Amp 출력상태를 확인한다.

AMP출력이 비정상일 경우 Drive-AMP 점검 교체후 HPA

출력을 확인, 문제점 발견시 HPA 모듈 점검 교체하여 출력 조정한다.

그 다음 Coupler 및 Connector를 접속하여 상태 확인하여 시스템 link 동작이 정상적으로 작동하는지 확인후 종료한다 (그림 3참조).



[그림 3] 대합실용 CB 장비의 Forward link

3.2.2 REVERSE LINK(역방향 결합)

LNA 출력 확인하여 이득이 비정상일 경우 LNA 모듈을 점검 교체하여 이득 조정후 역방향 Drive-AMP 출력 정상확인하여 AMP 모듈 점검 이상시 교체하여 정상적인 출력 확인한다.

광트랜시버 신호세기, 광 파워가 0dBm보다 작을 경우 광 트랜시버 점검 교체하여 광 파워가 0dBm이상 되게 조정후 Coupler 및 Connector 접속 상태 확인후 시스템 LINK 정상동작 확인하여 Passive 모듈 점검 조치하여 정상적인 동작 이 될 때 점검을 종료한다.

IV. 수도권 지하철구간 장애분석

제3절에서 언급한 지하철내에서 증계기를 운용, 유지보수함에 있어 장애가 발생한 경우의 데이터를 수집하여 2001년도와 2002년도의 자료를 비교 분석하였다.[4]

수도권 지하철내 제조사별로 설치되어 있는 기지국의 유지 보수 물량을 비교해 봤을 때 F사가 전체 41%를 차지하고 있으며 C사는 12%를 차지하고 있다. 따라서 F사의 경우에는 다른 사업자보다 많은 장애건수가 발생하고 있다. <표2>는 지하철구간내 각 제조사별로 장비장애를 비교한 것으로 공용증계기 장비중에서 여러 장애가 많이 발생하지만 그 중에서도 가장 많이 부품을 교체하였거나 보수한 장비의 비율을 나타낸 것이다.

[그림4~6]는 장비들의 교체나 주변환경에 의한 단순 불량, 또는 전원과다로 인한 shut-down 등의 요소에 따라 분류하여 월별로 나타낸 데이터이다.

<표 2> 장비사별 장비장애건 수

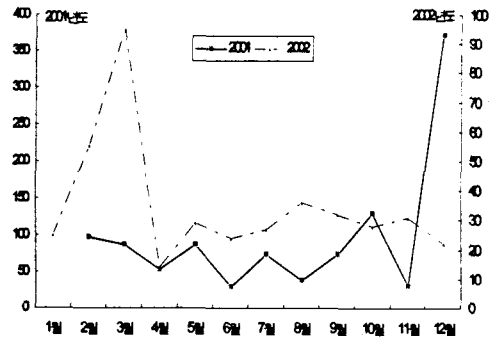
장애	A사	B사	C사	D사	E사	F사	합 계
HPA	-	1	3	3	3	18	28
Drive AMP	27	-	1	-	2	3	33
LNA	-	-	1	1	1	6	9
Power Supply	-	1	4	1	4	25	35
UPS	1	-	6	-	-	4	11
분배기	2	1	42	23	7	161	236
커넥터	7	2	20	55	5	118	197
안테나	-	-	7	3	3	19	32
Shut-down	-	1	31	6	3	72	113
합 계	37	6	115	92	28	426	

1) 장비불량 건

- HPA 불량, 트랜시버 불량 등
- Drive- AMP 불량
- 2,3분배기 불량
- 커넥터 및 파워서플라이 불량 등

장비불량에서는 광모듈 불량이나 장비들의 불량으로 인해 CB에서 RX 미약 또는 TX 과다로 통신장애가 발생한다. [그림 4]는 장비불량에 있어서 부품을 교체했거나 수리한 경우에 대한 월별 비율을 나타낸 것이며, 주로 <표 2>에 나타난 내용이 기본이 된다. 트랜시버, NMS 보드 등은 장애 비율로 나타냈을 때 극히 소수이므로 <표 2>에서는 언급하지 않았으나, 월별 장애건에서는 포함하여 그래프를 나타내었다.

[그림 4]에서 3월, 4월달은 장애건수가 많은 것을 알 수 있다. 그 이유로는 CDMA2000 장비교체 작업으로 인해 초기장비설치에서 발생하는 장애가 빈번하게 발생하였다.

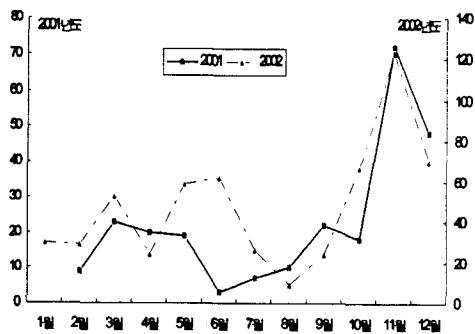


[그림 48] 장비 불량 건

2) 시설불량 건

- 분배기 콘넥터 조립 불량
- 전원공급기 멀티탭 불량
- Cable 단락
- 광접속 불량
- 케이블 포트 위치 오류 등

시설불량은 단순한 장애로 생각할 수 있으며, 기지국 주변 기기 즉, 지하철용 통신장비 공사 중 발생하는 안테나 또는 전원코드가 뽑혀있거나 다른 사업자들의 실수로 인한 케이블 단락, 접지선이 기지국 중선선에 연결되어 통화권 이탈 현상이 발생한 장애내용이 많은 부분을 차지하고 있다. [그림 5]에서는 시설불량으로 발생하는 데이터를 월별로 분류하여 작성하였다.



[그림 49] 시설 불량 건

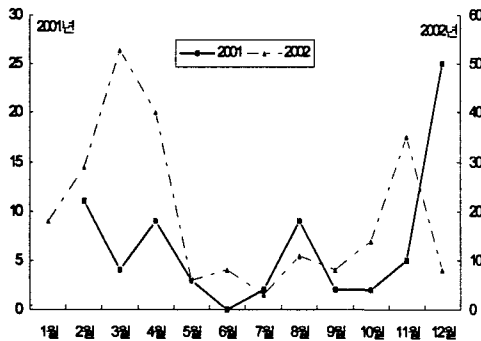
3) 전원장애 건

- 과출력으로 인한 HPA OFF
- 메인 차단기 OFF
- UPS DOWN
- CB DOWN 등

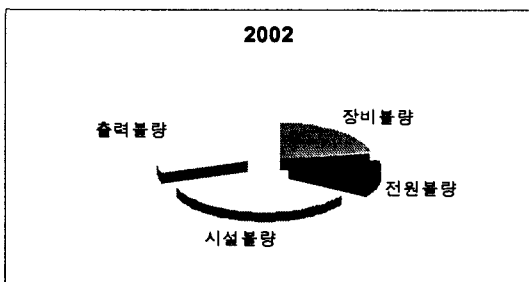
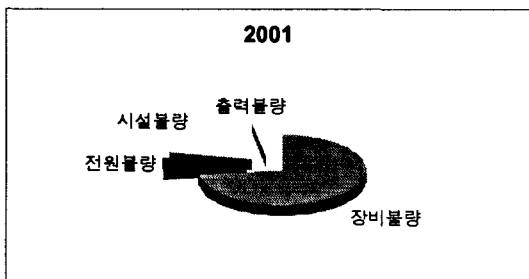
전원장애는 과출력에 의한 SHUT-DOWN의 문제점을 해

결하기 위해 S/W 수정 알람 발생에 관한 데이터 저장기능을 추가하여 과출력에 의한 OFF시 OVER POWER ALARM을 S/W적으로 HPA 전원을 자동3회 반복하여 순간적인 SHUT-DOWN을 방지한다. 메인차단기에서 용량이 부족하여 누전기 차단이 되어 통신장애가 발생하므로 불안정한 지하철 전원 등 환경적인 장애방지를 위해 자동복구형 차단기를 설치함으로써 장애를 제거할 수 있다.

[그림 6]에서는 전원 불량으로 발생하는 장애를 월별로 표시하였고, [그림 4]에서와 같이 2002년도 3월달에 장비교체작업으로 인해 장애가 빈번하게 발생하였다.



[그림 50] 전원 불량 건



[그림 7] 01년도, 02년도 분석

[그림 7]은 2001년도와 2002년도별 각 장애요소에 따른 데이터를 비율로 나타낸 그림이다. [그림 7]의 비교분석에서 알 수 있듯이 2002년에는 장비불량에 따른 장비장애도 빈번히 발생하였지만 그보다는 시설불량에 의한 즉, 분배기, 콘넥터등의 조임이 제대로 되지 않았거나 전원공급 멀티탭 불량 또는

케이블 포트 위치 오류, 작업자들의 실수로 인한 케이블 탈부착 및 단선 등의 문제가 많이 발생하였다.

위에서 언급한 문제점들을 줄이기 위해 공용중계망 설계시 음영지역을 줄이고 전파손실을 절감하기 위해 지하철 터널 형태 등 환경적인 요소들을 고려하여 안테나 커버리지를 산출하여 안테나 배치를 최적화하여 음영지역 해소하여야 한다. 또한 제조사들간에 부품 호환성을 유지하여 즉각적인 조치로 품질을 개선하고 커넥터, 분배기 등 설치 자재, 장비의 근본적인 결함을 해결하여 장비 불량을 최소화해야 한다.

위에서 언급한 바와 같이 지하철에 설치된 공용기지국 통신 장비 장애를 해결함으로써 기존 기지국을 통합하여 IMT-2000 서비스와 제4세대 이동통신 서비스를 할수 있는 기지국 공간 확보는 물론 높은 품질의 서비스를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 연구에서는 기지국 공용화로 인해 중복투자 및 투자비용을 절감할 수 있다는 이점있는 반면 통합중계기로 인해 장비 장애 발생시 모든 PCS 서비스가 통화불능으로 품질저하를 발생시킬 수 있다는 단점을 보완하기 위하여 서울지역 지하철에 설치된 공용중계기 장비 장애들을 조사분석하였다.

장애 분석결과, 어떠한 경향이나 원인은 아직 파악할 수 없었으나 장비 불량, 시설불량, 전원장애에 따른 데이터를 분류함으로써, 각종 장애에 대한 전체적인 비율과 원인 등을 파악할 수 있었다.

본 연구에서 조사·분석된 장애분석 결과는 IMT-2000 또는 제4세대 이동통신에서 추진될 예정인 기지국 공용화에 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 예상되며, 이동통신에서 좀 더 우수한 통화품질을 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] SAMUEL C. YANG 『CDMA RF System Engineering,』 Artech House Publishers, 1998.
- [2] 이근협 「기지국 공용화 사업의 추진현황과 전망」 한국전파진흥협회 간행물,
- [3] 소스텔 「공용 광 중계기 취급설명서」 (주)소스텔, 2001.
- [4] KRTnet 「2001년도, 2002년도 유지보수 실적집」
- [5] 김충남 「차세대 이동통신 실무기술」 진한도서, 2001.
- [6] 김충남 「IMT-2000 이동통신의 이해」 진한도서, 2001.
- [7] 이상근 외 1명 「IMT-2000/CDMA 기술」
- [8] 안병훈 외 2명 「이동통신산업의 효율성 제고를 위한 기지국 공용화 제도의 개선방안에 관한 연구」
- [9] 김성운 「공용화 무선국의 환경친화적 건설방안에 관한 연구」 정기간행물 전파저, 2001.