

CDMA 시스템에서 Time Delay를 이용한 기지국과 중계기 Traffic 분석

정회원 조 옹*, 진 용 옥**

Traffic analysis of the CDMA base station with repeaters using time delay devices

Ung Jo*, Yong-ohk Chin** *Regular Members*

요 약

본 논문은 CDMA 이동전화 시스템에서 하나의 기지국(cell) 내에서 처리되는 BTS와 중계기의 통화량을 분석하기 위한 연구이다.

일반적으로 중계기는 기지국(BTS)의 RF 회로에서 직접 분기하여 연결하는 방식으로 개발되어 기지국 통화와 구분되지 못하는 시스템 구조를 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 중계기 수신단에 시간 지연장치(Time Delay Device)를 설치하고 실험을 실시하여 Traffic을 구분하는 결과를 얻었다. 그러나 기지국에는 하나의 BTS에 다수의 중계기를 연결하여 운영하고 있다. 따라서 중계기 3대가 설치된 기지국(1BTS+3중계기)을 선정, 각 중계기에 계산된 임의의 Time Delay를 설치하고, 동 기지국에서 2일 동안 통화실험을 실시한 결과 기지국 및 3개의 중계기 Traffic이 뚜렷하게 구분되는 데이터를 얻었다.

ABSTRACT

The paper contributes to a traffic analysis for the CDMA cellular base station with repeater which are operated in a cell site. Usually the repeaters' traffic of the CDMA cellular system hardly could be separated from that of the base station, because the links of the repeaters are divided from RF circuits of the base station. The paper introduces a traffic measuring method that separates the traffic of repeaters from that of the base station using time delay device. To get general results, we use a single BTS(Base station Transceiver Subsystem) with three repeater as well as a single BTS with a single repeater. Then we proved that the traffic of the repeaters could separate from that of the base station clearly.

I. 서 론

CDMA 이동전화 시스템에서는 서비스 대상지역을 여러 개의 cell로 구성하여 움직이는 이동국이 서비스 중단 없이 통화가 유지되도록 구성하여야 한다. 또한 처음 설계시에는 서비스 대상 지역의 통

화 품질을 기준치 이상으로 확보되도록 최적 엔지니어링 기준에 의해서 시스템을 구성하는 것이 원칙이다¹⁾.

그러나 무선망은 지형적인 영향에 민감하고, 특히 고층건물 신축이나 신도시 개발 등의 주변 환경변화에 영향을 많이 받는데, 이는 기존 무선망의 Design을 변경하게 하는 주원인이 되고 있다. 또한

* 경희대학교 박사과정(Woong@sktelecom.com)

** 경희대학교 정보통신대학원 원장

논문번호 : 00212-0619, 접수일자 : 2000년 6월 19일

급속한 가입자 증가나, 특별한 Event가 있는 지역에서는 예기치 못한 통화량이 증가하는 현상이 발생하게 되고, 이러한 현상은 무선망 용량과 Coverage가 변화하게 되는 요인이 되며, 결국 일시적인 통화불량으로까지 이어질 수 있다.

도심에서는 지하 공간으로 생활권이 확대되면서 지하철, 지하 상가, 백화점 주차장 등 제한된 공간의 서비스가 새로운 무선망 설계의 중요한 Factor로 고려되고 있다. 이러한 무선망 환경변화에 효과적으로 대처하기 위해서 값싸고 설치가 편리한 중계기가 다양하게 개발되어 현재 20여종이 설치 운용되고 있다. 중계기는 설치공간이 작은 장소에서 편리하게 사용할 수 있으며, BTS보다 비용이 매우 저렴해서 '97년부터 사용량이 크게 증가하고 있다.

일반적으로 중계기는 기지국(BTS)의 RF 회로와 물리적으로 직접 연결하여 통화로를 구성하고, 호 처리를 위한 자원은 모국인 기지국(BTS)의 채널카드에서 처리 하는 방식으로 개발되어 모국인 BTS의 통화와 자국인 중계기의 통화가 구분되지 못하는 시스템 구조를 가지고 있다^[1].

이러한 CDMA 이동전화 기지국 시스템에 RTD* (Round Trip Delay) 방법을 적용하여 BTS와 중계기의 통화량을 구분하는 하나의 방법을 제안하고 실험을 통하여 그 가능성을 입증하였다. 즉 하나의 BTS에 하나의 중계기가 설치된 기지국에 RTD 방식을 적용하여 중계기 Traffic을 구분하는 성과를 얻었다. 이를 바탕으로 다수의 중계기(1BTS + 3중계기)가 설치된 기지국(BTS)에 Time Delay 설치하고 현장실험을 실시해서 유효한 데이터를 얻었다^[2].

CDMA 기지국과 중계기의 Traffic 구분은 종전에 일반적으로 실시하던 기지국 또는 sector 단위의 통화량 분석에서 세밀하고 객관적이며 체계적인 통화량 분석을 가능하게 함으로써 무선망 엔지니어링을 한 단계 끌어올리는 효과가 기대된다. 이러한 효과는 궁극적으로 무선망 통화량을 예측하는 능력을 향상시키고, 특히 event에 대한 적절한 대처가 가능할 뿐만 아니라 통화량 증가의 특성을 정확히 구분하여 대처함으로써 시스템의 용량을 충분히 활용하는 효과가 있다. 따라서 비용절감의 효과도 상당히 크게 나타날 것으로 기대되는 분야라고 할 수 있다. RTD방식을 이용한 연구분야는 이동국 위치추적 서

비스, cell간의 call drop문제 해결 및 이동국 위치 추적을 위한 하나의 solution으로 연구되고 있다. 또한 특정 event에 대한 통화량 증가를 세분화하여 효과적으로 대처하는 능력을 향상 시켜서 일시 용량 부족으로 인한 서비스 중단해소 및 통화 증가를 통한 수입 증대를 기대할 수 있는 분야이다^{[2][3][4]}.

II. 본 문

가. CDMA 이동전화 시스템

CDMA 시스템은 군사용 통신에서 널리 사용되고 있던 대역 확산방식을 상용 통신에 적용한 것이다. 대역 확산방식은 보내고자하는 신호를 그 신호의 주파수 대역 보다 아주 넓은 주파수 대역으로 확산시켜서 전송하는 방식이다. 대역 확산방식에는 크게 직접 확산과 주파수 도약방식이 있는데, 이동 통신에 응용되고 있는 것은 잡음과 유사한 의사잡음(Pseudo-Noise, PN)을 사용하는 직접 확산방식이다.

이러한 CDMA 이동전화 시스템은 교환기, 전송 장비, 기지국 장비, 단말기(이동국) 등으로 크게 4가지로 구성되어 있고, CDMA 기지국은 디지털 모듈과 RF 송신 모듈, 그리고 안테나로 구성되어 있으며, 안테나는 보통 360° 반경을 알파(α), 베타(β), 감마(γ) 3개의 방향을 갖는 3 sector로 구성되어 있다. 기지국의 주요기능은 이동국과 통신을 주고받고 교환국으로 메시지를 송수신하는 역할을 담당한다. 보통 셀(cell)이란 특정 기지국이 양호하게 이동국의 호를 처리할 수 있는 구역을 의미한다. 또한 기지국(800Mhz대)에서 서비스 할 수 있는 구역은 보통 반경 5~6Km(시외지역, 대도시:0.5Km~1Km)로 제한되어 있으므로 여러 개의 기지국이 서로 연결되어 하나의 큰 통화권을 이룬다. 이렇게 하나의 통화권을 이루기 위해서는 기지국과 기지국 사이에 서비스 영역을 중첩시켜서 이동국이 움직이는 기지국으로 통신회선이 계속 유지되도록 신호를 전달하는 과정이 필요하게 되는데 이를 Hand-off(통화중 채널 전환)라고 한다^{[5][6][7]}.

보통 하나의 기지국 건설비용은 5억~10억이 필요하고, 공사기간도 수개월이 소요된다. 따라서 저렴한 공사비용, 설치의 편리성, 공사기간 단축의 장점이 있는 중계기를 서비스 구역 내의 음영지역(옥내, 신축건물 주변의 수신불량 지역, 지하공간, 지하철 등) 해소를 위해 용도별로 다양하게 개발하여 사용하고 있다. CDMA 이동전화에서 기지국과 중계기의 연결은 그림1과 같이 기지국(BTS) 장비의 RF

* RTD(Round Trip Delay) : 기지국과 이동국의 통화로 Link 신호의 소요시간을 거리로 환산하여 이동국의 위치 분포를 분석하는 방식

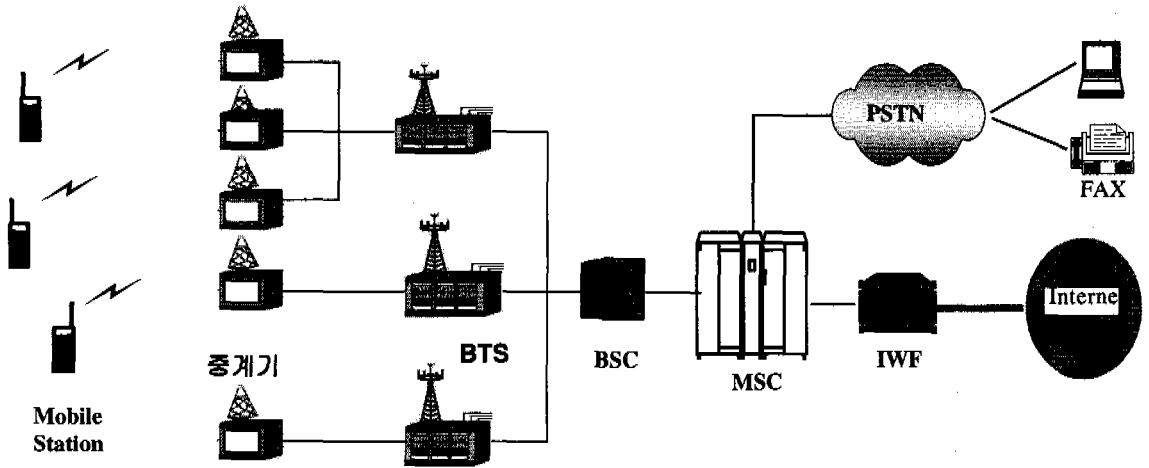


그림 1. CDMA 망 구성도

회로에서 직접 연결하여 접속하는 방식이다.

나. 기지국과 중계기의 H/W 구성

이동전화 시스템은 이동국이 하나의 cell 반경을 벗어나도 인접한 다른 cell에서 통화가 계속 유지되도록 cell plan을 구성하고 있다. 그러나 cell을 완벽하게 구성하였다 하더라도 주변환경의 변화(고층 건물 신축, 도로신설)와 통화량 증가는 서비스 구역의 변화(축소)를 초래하게 되고 이는 서비스 불량지역(음영지역)을 만드는 원인이 된다.

또한 도심의 생활권이 점차 지하철, 지하상가, 지하주차장, 아파트 등으로 확산(지하공간, In-bldg)되고, 사업자간 서비스 품질경쟁이 심화되면서 기존의

기지국만으로는 서비스가 불가능한 특정지역에 대해 다양한 장비개발이 요구되었다. 이러한 장비는 설치가 용이하고, 비용도 저렴하게 제작되었으나, 무선망 Traffic 분석을 전혀 고려하지 않고 개발되었다. 이렇게 개발된 중계기는 기지국 장비에 물리적으로 연결되어 호(call)를 처리하는 단순한 장비였다⁷⁾.

CDMA 기지국에서 가장 많이 사용되는 BTS 및 중계기(중형, 소형, 초소형)의 기능 및 제원은 표1과 같다.

기지국의 주 장비인 BTS와 중계기의 구성은 그림2(RX path 구성도)와 같이 BTS의 RF 회로에서 물리적으로 직접 이어져 있다.

표 1. BTS 및 중계기 제원

구분	BTS	중형 중계기	소형	초소형
호 처리 기능	가능	불가능	불가능	불가능
출력(W)	25W/FA	28dBm/FA	12dBm/FA	3dBm/FA
이득배율(dB)	-	100dB	65dB	56dB
전파도달거리	5 ~ 10Km	1,600평 이상	300 ~ 1600평	50 ~ 300평
주파수 대역(MHz)	TX:25,RX:4+11	4 + 6.15	4 + 6.15	4 + 6.15
무게	460Kg	43.6Kg	15Kg	3.5Kg
크기(HxWxD)mm	2100x1000x900	1200x750x700	350x280x180	290x220x50
가격(천원)	672,000(4FA)	25,000	3,940	730
동작온도	-25 ~ +46 ^o c	-30 ~ +60 ^o c	-30 ~ +60 ^o c	-30 ~ +60 ^o C
소모전력	4KW	1.5KW	200W	30W
System Delay	0 μ s	8 μ s	8 μ s	8 μ s
Noise Figure	5dB이내	7dB이내	7dB이내	7dB이내
수신 레벨 범위	-120dBm	-95 ~ 50dBm	-95 ~ 50dBm	-95 ~ 50dBm
안테나 구성	TX:1, RX:2	Donor	Donor	Donor
망 연결	BSC	BTS RF회로	BTS RF회로	BTS RF회로

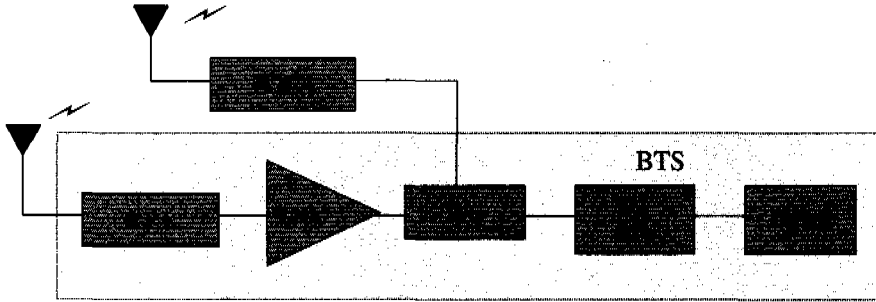


그림 2. 중계기 RX Path 구성도

보통 중계기는 호 처리 기능이 없어서 직접 연결된 BTS에서 동일 sector의 Traffic과 같이 처리되어 중계기와 BTS의 통화량은 구분할 수 없는 시스템 구조를 가지고 있다.

다. 기지국의 호 처리

이동전화 기지국(cell)은 하나의 통화권으로 대별되고, 독립된 지역 내에서 Traffic을 처리하며, 다른 기지국과의 중첩 지역에서 다른 cell로 움직이는 이동국 신호의 세기를 비교하여 통화가 단절되지 않고 계속 연결되도록 하는 역할을 담당하고 있다^[8].

보통 기지국에서 발생한 호 처리는 BTS의 채널 카드에서 Traffic이 구분되며, 중계기는 BTS의 RF 회로에서 물리적으로 연결되어 path를 제공하는 통화로의 역할만 한다. 따라서 중계기는 단독 cell을 구성하지는 못하고 BTS RF 회로에서 분기하여 사용하는 방식으로 개발되었다. 따라서 지금까지 중계기의 통화량 분석은 중계기 개통 이전의 통화량과 개통 이후의 통화량을 비교하는 정도의 대략적인 분석 방법을 사용해 왔고, 기지국 개통 후에는 Traffic 분석이 불가능하여 무선망 설계에 상당한 어려움이 있었다. 또한 BTS 자체의 통화량 분석은 안테나 단위로 채널카드를 할당하여 데이터를 분석하도록 구성되어 있어서 안테나 방향에 대한 통화량 분석은 가능하나, 동일 섹터에서 통화량 분석이 불가능한 구조를 가지고 있다. BTS에 중계기를 접속하여 사용하는 경우에는 통화량을 구분하지 못하여 BTS 또는 중계기의 용량 대비 객관적인 통화량 비교가 불가능하여 용량을 초과하는 일시적인 현상에 대해 대처가 지연되고 원인분석도 지연된다. 이러한 현상은 환경변화가 많고 특히 event(경기장, 군중집회장소 등)가 많은 지역에서 통화폭주의 예측을 어렵게 했으며, 이동전화 사용이 일시 불가능하게 되는 원인이 되기도 했다^[9].

cell과 cell 사이를 지나가는 이동국은 통화 채널을 계속 유지 시켜서 통화가 지속되어야 하나 특정 cell 용량이 부족하게 되면 call drop이 발생하는 원인이 된다. 또한 cell과 cell 사이의 중첩지역이 최적화 되었다 하더라도 CDMA 장비는 통화량에 따라서 RF Power를 제어하므로 결국 통화량이 많아지면 통화 채널의 출력은 동일하나 E_c/I_o (Forward), E_b/N_r (Reverse)가 감소하여 결국 서비스 구역이 감소하게 된다. 기지국은 RF Power를 공유으로 사용하고 있어서 Traffic과 이동국의 거리에 따라서 출력을 적절히 조절하는 기능을 가지고 있으나, 일정 수준이상으로 통화량이 증가하면 원거리 이동국 RF에 할당하는 출력을 자동으로 낮춘다. 이러한 종합적인 무선망 엔지니어링은 가입자의 호 습성, 기지국의 용량, 지형특성, 예상 Traffic 및 기지국간의 RF 중첩지역 등에 의해서 좌우된다^{[10][11][12]}.

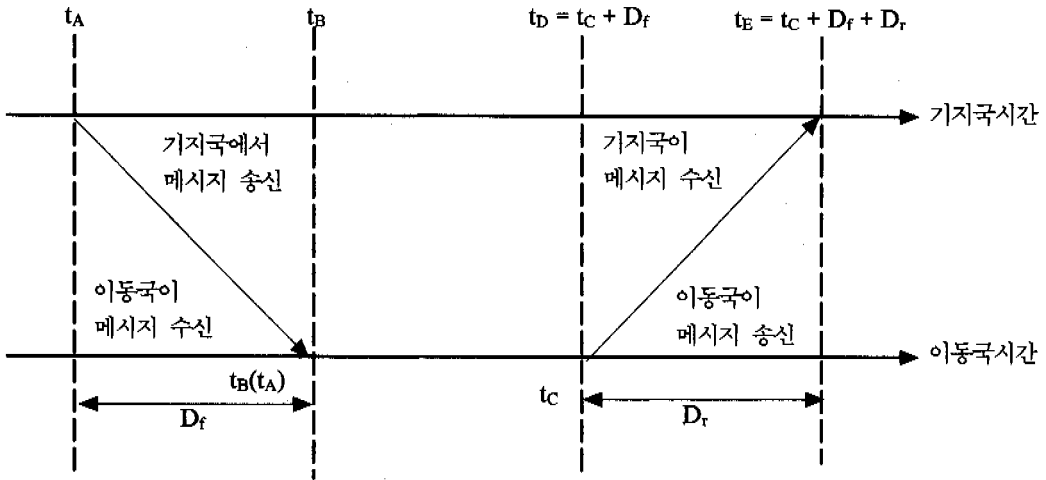
라. Round Trip Delay(RTD)

1) 정의 및 처리과정

RTD는 이동국에서 보낸 메시지를 수신한 기지국 시간(t_b)과 이동국이 그 메시지를 송신한 이동국 시간(t_c)의 차이로 정의된다.

RTD를 구하는 것은 기지국의 Access channel에서 이루어진다. 그림3은 전파가 공간을 전파하는데 소요되는 시간만을 고려하였고, 기지국과 이동국의 송수신 경로 지연은 반영하지 않았다. CDMA 이동전화 시스템의 기지국 시간 동기는 위성(GPS)을 통하여 정확히 setting 된다.

또한 이동국의 동기를 맞추기 위해서 기지국은 기지국 시간(t_a)을 동기채널 메시지로 이동국에 전송하고, 이동국은 이 메시지의 기준시간(t_a)에 이동국의 시간(t_b)을 맞춘다. 그런데 동기 채널 메시지가 자유공간을 전파에 실려 전송되기 때문에 기지국과



- t_A : 최초 기지국 메시지 송신시간
- t_B : 기지국 메시지 이동국 수신시간
- t_C : 이동국 메시지 송신시간
- t_D : 이동국 시간 + 전파지연시간
- t_E : 이동국 메시지 기지국 수신시간
- D_f : $t_B - t_A$ (전파지연 시간)
- D_r : $t_E - t_C$ (전파지연 시간)
- 수신한 기지국시간을 이동국 시간으로 setting

그림 3. 메시지 처리 과정

이동국 사이의 거리를 자유공간에서의 전파속도로 나눈 D_f 만큼의 시간지연이 발생하고, 그 결과 이동국 시간은 기지국 시간보다 D_f 만큼 늦다.

이동국은 기지국으로 송신하는 모든 종류의 메시지에 송신시간을 이동국 시간(t_c)으로 포함시킨다. 이동국이 송신한 메시지가 이동국과 기지국 사이의 거리를 전파 속도로 나누면 D_r 이 되고, 기지국 수신 시간 t_E 에 기지국에 도달하므로 다음 식(1)과 같이 RTD 값을 구할 수 있다^{[2][12]}.

$$RTD = t_E - t_C = D_f + D_r \quad (1)$$

2) RTD 개념

RTD를 거리로 환산하기 위하여 제시한 기지국과 이동국의 통신구간에서 소요되는 시간 계산 모델이다. RTD는 기지국의 Channel Element에서 계산되기 때문에 전파가 자유공간을 지나가는 시간외에도

기지국과 이동국의 송수신 경로에서 소요되는 시간을 포함하게 된다.

기지국 송신경로와 수신경로의 소요 Delay를 각각 $DB1$, $DB2$ 로, 이동국 송신경로와 수신경로의 소요 Delay를 각각 $DM1$, $DM2$ 로 정의한다. 그리고 순방향과 역방향의 Air Delay를 각각 $DA1$, $DA2$ 라고 하면 D_f 와 D_r 은 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} D_f &= DB1 + DA1 + DM1, \\ D_r &= DB2 + DA2 + DM2 \end{aligned} \quad (2)$$

따라서 RTD는 식(1)과 식(2)에 의해서 식(3)과 같이 주어진다.

$$RTD = D_f + D_r = DB1 + DA1 + DM1 + DM2 + DA2 + DB2 \quad (3)$$

그런데 기지국과 이동국이 실시간으로 운용되는

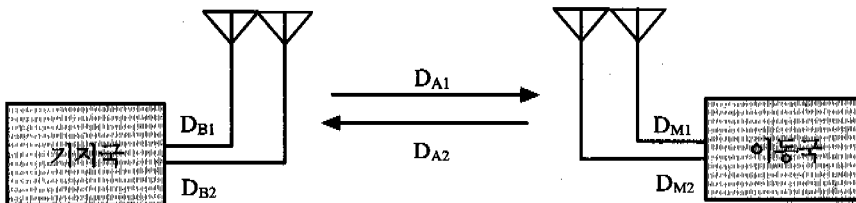


그림 4. RTD 모델

시스템이기 때문에 기지국과 이동국의 송수신 경로에서의 소요시간은 거의 일정하다. 따라서 D_{B1} , D_{B2} , D_{M1} , D_{M2} 의 합을 상수 D_C 로 식(4)와 같이 근사할 수 있다.

$$D_C = D_{B1} + D_{B2} + D_{M1} + D_{M2} \quad (4)$$

한편 동기채널 메시지가 기지국의 안테나에서 이동국의 안테나까지 전파되는데 소요되는 시간 D_{A1} 은 동기채널 메시지가 송신되는 시점에서의 기지국과 이동국 사이의 거리 d_1 (미터)을 전파속도 c (미터/초)로 나눈 값이고, 이동국에서 송신하는 메시지가 이동국 안테나에서 기지국 수신안테나로 전파되는데 소요되는 시간 D_{A2} 는 이동국이 메시지를 송신하는 시점에서의 기지국과 이동국 사이의 거리 d_2 (미터)를 전파속도 c (미터/초)로 나눈 값이다. D_A 는 기지국 안테나와 이동국 안테나 사이의 전파소요 시간 D_{A1} 과 D_{A2} 의 합이다.

CDMA 이동통신에서 사용하는 대역확산 코드*는 1초에 1.2288×10^6 번 변화하는 비트열이다. 따라서 한 비트가 차지하는 시간인 칩(chip)에 대한 RTD 값은 다음과 같다^{[2][4]}.

$$RTD = D_C + D_A = D_C + (d_1 + d_2)/c \times 1.2288 \times 10^6 \text{ [chip]} \quad (5)$$

여기서 d_1 과 d_2 가 동일하다고 가정하면 식(6)과 같다.

$$RTD = D_C + D_A = D_C + 2d/c \times 1.2288 \times 10^6 \text{ [chip]} \quad (6)$$

이 식을 공간거리 d 로 정리하면, 다음과 같다.

$$d = 122.07 \times (RTD - D_C) \text{ [미터]} \quad (7)$$

CDMA 기지국 채널카드에서는 1/8 chip 단위로 RTD를 구하기 때문에 RTD 값은 공간거리 d 를 1/8 chip 단위로 나누면 식(8)과 같이 계산된다.

$$d = 15.259 \times (RTD - D_C) \text{ [미터]} \quad (8)^{[2]}$$

* Walsh 칩은 1.2288Mcps(Mega Chip per second)로 52.083μs(64/1.2288Mcps)의 주기를 가지며, 하나의 심볼은 한 주기의 Walsh 함수로 확산된다.

마. 실측 실험

1) DC 값의 오차측정

기지국과 이동국 간의 실제거리와 RTD의 값을 정확히 알면, D_C 의 값을 계산할 수 있다. 이를 위해, 전파의 반사가 적은 Open Area에 위치한 고척교 기지국에서 실험을 실시하였다. 고척교 기지국은 LG BTS(9FA)가 설치된 기지국으로 일반 상가 건물 10층 옥상에 3sector 안테나(9기)가 설치되어 있고, 서비스 지형은 평범한 에리어를 가지고 있는 기지국이다. 그러나 D_C 값은 자유공간을 전파하는 지연시간 이외의 기지국 장비 및 단말기의 특성차이에 따라 발생하는 변동 값이므로 안테나와 직선 지리이면서 가장 가까운 위치(10m이내)에서 Test를 실시하여 자유공간 오차를 최소화하도록 노력하였다.(10m의 전파 지연시간 0.0333μs는 동일 조건으로 고려하지 않았음)

기지국 장비는 LG BTS를 사용했고 단말기(이동전화기)는 4가지 종류를 대상으로 했다. 통계자료는 지정된 4개의 전화번호를 시스템에서 RTD값이 자동계산 되도록 했으며, D_C 값의 정확도를 높이기 위해서 단말기 각각에 50회 이상 반복 측정된 값이 식(9)와 같다. D_C 값 측정의 또 다른 방법으로 Preamble PN offset과 Preamble Window length를 이용하여 장비의 고유 Delay를 측정하거나, 장비제작사의 실험특성을 활용할 수 있으나, 본 논문에서는 고려하지 않았으며, 측정방법 및 장비의 특성에 따라서 상수 D_C 값은 다소 차이를 나타낼 수 있다.

$$D_C : 268 \sim 272(0x10c \sim 0x110) \quad (9)$$

측정된 D_C 값의 중간 값인 270을 적용할 경우 RTD를 공간거리로 환산하는 식은 다음 식(10)과 같다. 이 때 D_C 값의 최대 오차범위는 4(286 ~ 272)이고, 환산거리 오차는 식(10)에 대입하면 약 60 미터($d = 15.259 \times 4$)의 오차를 내포하는 것으로 나타났다.

$$d(\text{미터}) = 15.259 \times (RTD - 270) \quad (10)$$

2) 이동국의 RTD 편차 분석

기지국과 이동국 사이의 거리가 같더라도, 이동국에 따라서 RTD의 값은 조금씩 다를 것이다. 이동국에 따른 RTD 값의 분포를 측정하기 위하여 기지국으로부터 820m 떨어진 지점에서 4대의 단말기를

사용하여 RTD 의 값을 반복 측정한 분포도는 (표 2)과 같다.

표 2. 이동전화의 RTD 분포

이동국 번호	서노호	평균 (RTD)	표준편차	환산거리 (m)
293-0011	77	329.4	4.4	914
293-5020	50	325.4	1.9	852
293-8509	40	315.7	4.0	705
775-0011	40	326.4	2.9	869

표2와 같이 반복 측정한 결과 기지국과 이동국간의 거리가 동일하여도 이동국에 따라서 RTD 값의 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이번 실험 결과 이동국의 경우 RTD 값은 14, 환산거리는 최대 209m의 편차를 보였다²¹.

바. Time Delay를 활용한 Traffic 분석

1) 중계기 1기 설치 기지국(1BTS+1중계기)

기지국과 중계기의 Traffic 분포상태를 파악하기 위해서 하나의 기지국을 선정하여 통화량 분포를 측정하였다. 그림5는 기지국(BTS)과 중계기의 통화를 RTD값으로 계산하여 거리로 환산하였고, 거리 Range는 500m를 기준으로 나타내고 있다. 즉 Range 12는 기지국으로부터 6Km지점에서 통화를 한다는 것을 의미한다. 또한 기지국과 중계기 사이의 선로거리가 2.1Km(7 μ s) 떨어진 장소에 설치되어 있는 기지국의 통화량으로 대강은 구분되는 상태이다. 그러나 통화량을 분석하는데는 불가능하다. 그림5는 기지국(BTS)과 중계기의 선로거리가 2.1Km인 기지국의 Traffic을 15일간 누적하여 수집한 데이터이다.

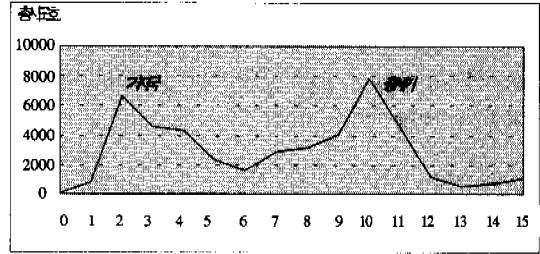


그림 5. Time Delay 미설치 기지국

Time Delay를 이용하여 기지국과 중계기의 통화량 분석이 가능한지를 실험하기 위해서 BTS에 1개의 중형 중계기가 설치된 대전시 도심의 기지국 하나를 선정했다. 선정된 기지국은 소형상가와 주거지를 대상으로 서비스하고, 도심에서 대체적으로 평균에 가까운 통화량을 처리하며, 안테나는 3섹터로 구성되어 있다. 중계기는 베타(β) 섹터에서 분기하여 기지국 지하층(직선거리 10m)에 중형 중계기가 설치된 기지국이다.

기지국과 중계기의 실제거리가 직선거리 10m이내에 근접 설치되어 통화권을 구성하였으므로 거의 동일한 위치에서 통화가 이루어지는 것과 같다. 즉 이러한 기지국은 순수한 RTD 값으로 기지국과 중계기의 통화를 구분할 수 없는 상태를 보여주고 있다. 기지국과 중계기의 통화량을 구분하기 위해서 중계기에 Time Delay (20 μ s Delay)를 설치한 구성도는 그림6과 같다.

중계기 수신 단에 그림6과 같이 20 μ s Time Delay를 설치하고 5시간 수집한 데이터를 분석하여 그림7과 같은 결과를 얻었다.

Delay Device를 설치한 기지국 데이터와 미설치 기지국을 비교해 보면, 그림5는 BTS와 중계기의 데이터를 구분되지 못하는 중간 분포지역(Range 4~9)이 그림 7에서는 BTS와 중계기의 통화 분포를 뚜

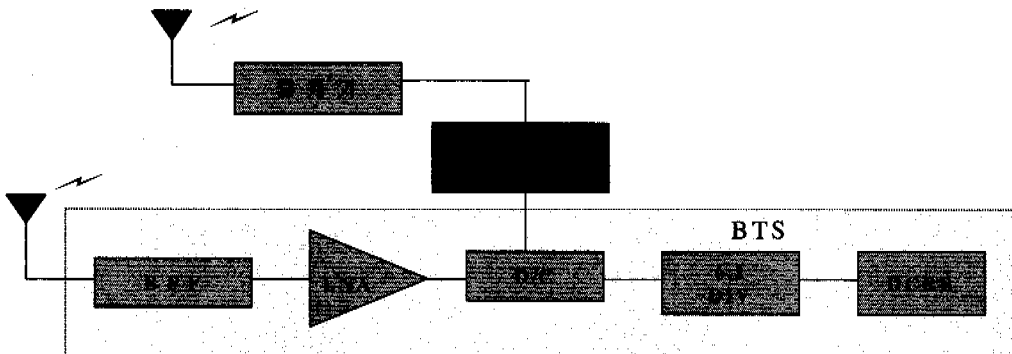


그림 6. Time Delay 설치 구성도

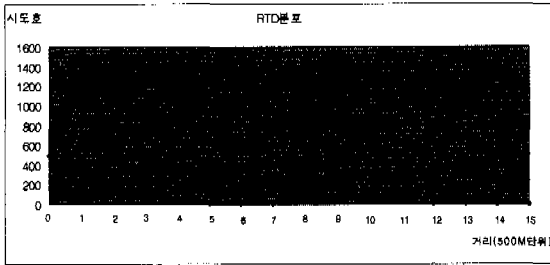


그림 7. Time Delay 설치 기지국 데이터

표 3. 거리별 유입 호 분포

거리	0	1	2	3	4	5	6	7
발신	347	842	193	25	7	7	2	0
확신	149	564	353	75	14	3	2	4
총시도호	496	1406	546	100	21	10	4	4
거리	8	9	10	11	12	13	14	15
발신	27	166	828	4	3	1	1	0
확신	1	13	147	17	8	3	1	0
총시도호	18	179	975	21	11	4	2	0

렷하게 구분하였다. 즉 그림5에서는 2Km에서 4.5Km 까지(Range 4~9)는 통화량을 전혀 구분할 수 없으나, 그림7에서 기지국은 0에서 2Km(Range 0~4)까지, 중계기는 4Km에서 5.5Km(Range 8~11) 지점에서 통화가 집중되어 있는 상태를 보여주고 있으며, 데이터 분석 확률은 99.78%이다. 표3은 그림7의 거리별 유입 데이터를 상세하게 분석하였다. 기지국의 총 통화량은 3,807호이고, BTS에 수신된 통화량은 2,579호로 0m ~ 2.5Km(Range 0 ~ 5) 사이에 분포되어 있으며, 600m 지점에서 1,406의 호

가 집중되어 있다. 중계기의 통화량은 1,220호로 4Km ~ 6Km(Range 8 ~ 12)사이에 분포되어 있고, 5Km 지점에서 975호가 집중되어 있다. 그러나 중계기의 통화거리의 수신 단에 접속한 지연 값(20μ)만큼을 거리를 가감하여 계산한 지점이 될 것이다.

이번 실험을 구체적으로 분석한 결과 전체 통화량 중에 99.78%인 3,799 call을 유효하게 분석하였으며, 해당 범위에서 벗어나는 오차는 0.22%인 8 call에 불과했다. 이러한 통화량 구분은 전체에 비하여 무시해도 무관할 정도의 오차범위이다. 따라서 중계기 수신(RX)단에 임의의 지연시간을 만들어서 효과적으로 통화량을 분석할 수 있다는 결과를 얻었다.

2) 중계기 3기 설치 기지국(1BTS+3중계기)

BTS에 하나의 중계기(1+1)가 설치된 기지국의 통화량을 유효하게 구분하였다. 그러나 대부분의 기지국은 다수의 중계기를 설치 운용하고 있다. 보통 기지국은 3개의 섹터로 구성되어 있고, 3개의 섹터는 각각의 통화량을 구분할 수 있도록 구성되어 있어서, 동일 섹터에 다수의 중계기가 설치된 기지국에서 중계기별 유입호의 분석이 가능하도록 하면 되는 것이다. 이번 실험은 동일 섹터에 3개의 중계기가 설치된 기지국을 대상으로 하였으며, 하나의 섹터에 4개(Noise Figure 계산)의 중계기 설치가 가능하나 무선망 특성(일정수준 이상의 품질)을 감안하여 동일 섹터에 보통 3개 이내로 설치운용하고 있다. 그림8는 하나의 기지국에 3개의 중계기가 설치된 기지국의 통화량 분석을 위한 실험 구성도 이다.

그림8과 같이 하나의 기지국(BTS)에 3개의 중계기에 각각 다른 Time Delay Device를 설치하였다.

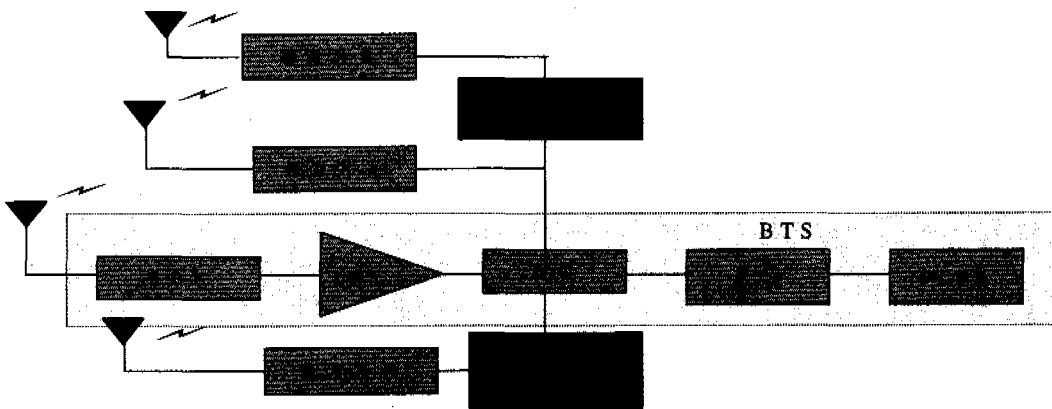


그림 8. 중계기 3기 Time Delay 설치

표 4. Delay 시간 계산

구분	BTS	A 중계기	B 중계기	C 중계기
선로길이(Km)	0	3.65	4.79	4.21
선로지연시간(μ s)	0	24.33	31.39	28.08
강제 지연시간(μ s)	0	0	20	40
총 지연시간(μ s)	0	24.33	51.93	68.06

중계기 A의 경우는 기지국과 3.65Km 떨어진 곳에 위치하여 선로 지연시간이 24.33 μ s가 되므로 별도의 Delay Device 없이 기지국과 통화량이 구분되는 것을 그림9에서 보여 주고 있다. 즉 기지국에서 중계기까지의 거리에 따라서 선로에서 소요되는 데이터 전송시간이 발생하게 되는데 중계기 A의 경우는 기지국과의 데이터 구분이 가능한 거리에 있다.

표4는 그림8에서 구성한 기지국(BTS) 및 3개의 각 중계기 Delay 값을 계산하기 위한 분석 데이터이다.

이번 실험은 표4와 같은 조건으로 실험하였으며, 선로 거리에 따라서 Delay Device 시간을 달리하였다.

통화량을 100% 구분하기 위해서는 강제 지연시간을 상당히 크게 해야하나, 보통 BTS와 중계기의 거리가 18Km*(왕복:36Km)이내로 설치 운용되고, 보통 시스템에서 처리하는 응답시간(Window Length**) 범위를 60 μ s(왕복:120 μ s)로 구성한다.

그림9는 Time Delay Device를 설치하기 전의 통화 데이터를 수집한 데이터이다. 그림9에서 볼 수 있듯이 기지국과 중계기 A가 설치된 지역은 기지국으로부터 3.65Km(24.33 μ s)가 떨어진 거리의 지역에 중계가 설치되어 있어서 별도의 Delay Device 설치 없이 데이터가 구분되었다. 그러나 중계기 B, C의 지역은 중계기 A 지역 주변에 설치되어 구분이 전혀 이루어지지 못하는 것을 알 수 있다.

그림9의 Traffic 분포는 기지국과 중계기의 통화량이 구분되나, 중계기 A, B, C의 통화량은 3.5Km ~ 7.5Km(Range 7 ~ 15)까지 범위에서 집중되고 있고, 통화량 구분이 불가능하게 나타나 있다. 따라

서 표4에서 정리한 선로 지연시간과 강제 지연시간을 계산하여 그림8과 같이 중계기 B, C에 각각 20 μ s와 40 μ s의 시간 지연장치를 설치하였다. 그림8과 같은 실험 구성에 의해서 2시간동안 총 8,888호를 실험한 결과가 그림 10과 같다.

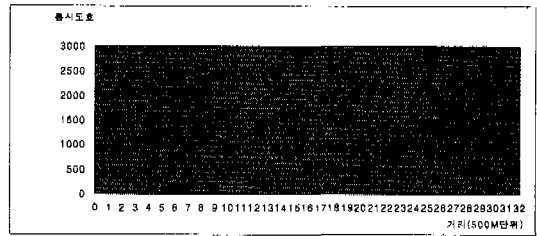


그림 9. Time Delay 설치 전 Traffic

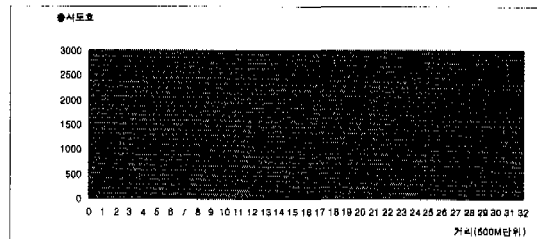


그림 10. Time Delay 설치 후 Traffic 분석

그림10의 Range는 그림9의 15단계에 비하여 2배인 31까지 측정하여 결국 Range를 2배 확장하여 측정하였다. 즉 중계기 지연 시간 만큼 RTD 값이 거리로 계산되는 것이다. 이번 실험의 목적이 중계기 데이터의 분석이기 때문에 Range를 31 이상은 고려하지 않았다.

그림10과 표5의 데이터 분포를 분석해 보면, 기지국은 0Km에서 2Km(Range 0~4)까지 759호가 발생했고, 중계기 A는 3Km에서 7.5Km(Range 6~15)까지 3,721호이고, 중계기 B는 8.5Km에서 13Km(Range 17~26)까지 1,717호이며, 중계기 C는 13.5Km에서 15.5Km까지 2,650호로써 총통화 8,888호

* Search Window Size Pilot Increment 2를 사용하므로 18Km 이하에서 운용(H/O 고려)

** Window Length는 384chip으로 설계하여 신호의 중심에서 송수신 Window로 분할하면, 192chip(384/2)이 되고, 사용범위는 156 μ s이나 H/O를 고려하여 18Km(60 μ s)이내에서 사용.

표 5. Delay Device 설치 후 실험 데이터

거리(500m)	0	1	2	3	4	5	6	7
발신	44	156	174	73	25	2	19	22
착신	39	84	103	40	21	0	5	13
총 시도호	83	240	277	113	46	2	24	35
거리(500m)	8	9	10	11	12	13	14	15
발신	905	354	352	124	51	44	26	28
착신	585	406	396	175	100	43	29	44
총 시도호	1490	760	748	299	151	87	55	72
거리(500m)	16	17	18	19	20	21	22	23
발신	16	25	93	185	219	122	85	78
착신	23	24	52	124	181	129	101	72
총 시도호	39	49	145	309	400	251	186	150
거리(500m)	24	25	26	27	28	29	30	31
발신	81	24	14	17	722	272	167	160
착신	53	32	23	31	444	415	252	170
총 시도호	134	56	37	48	1166	687	419	330

에서 8,847호를 구분하여 99.5%의 확률이다. Traffic을 제대로 구분하지 못한 통화는 총 41호로써 0.46%이다.

에 의한 기지국 Traffic 분석이 성공했음을 입증하는 것이다. 또한 기지국의 통화량보다 중계기 통화량이 많고 특히 A, C 중계기의 통화량이 많은 지역으로 분석되었다.

총시도호

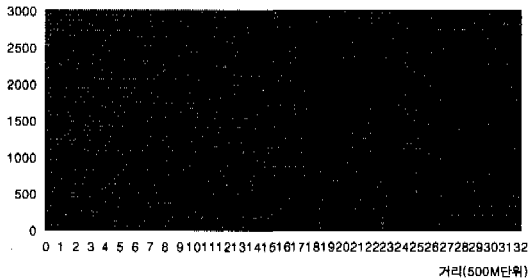


그림 11. Time Delay 설치 전후 Traffic 비교

통화량은 중계기 A가 3,721호로 BTS 759호 보다 4.9배가 많은 통화량으로 나타났다. 중계기 B의 경우 통화량은 많지 않지만 넓은 지역을 대상으로 서비스하는 중요한 중계기로 분석되었다. Traffic 분석의 내용을 구체적으로 그림9와 그림10을 비교 분석한 결과가 그림11이다. 기지국 및 중계기 A, B, C의 Traffic 분석은 99.5%의 확률을 나타내고 있다. 또한 그림11에서 Time Delay 설치 전후의 Range는 15에서 32로 확대하였고 측정 데이터는 31까지 측정하였다. 따라서 그림11은 기지국뿐만 아니라 중계기 3대의 지연시간을 거리로 환산하여 보여주고 있다. 즉 다수의 중계기가 설치된 기지국에서 RTD

III. 결론

CDMA 이동전화의 무선망 Traffic 예측은 무선망 설계의 근간이 되는 매우 중요한 요소이다. 최적의 무선망 엔지니어링을 위한 Traffic 측정은 미래의 통화량을 예측하는 모델이 되나, 주변환경 변화에 따른 집단이동(경기장, 지하철 터널입구, 다량가 입자 승차 철도)이나 제한된 공간인 지하공간의 통화량 예측은 어려운 실정이다.

본 논문은 BTS에서 처리되는 Traffic을 구체적이고 과학적으로 분석하여 통화량을 계산하는 새로운 방식을 제안하고, 실험을 통해서 이를 입증하였다.^[2]

RTD방식은 CDMA 시스템에서 기지국과 이동국의 거리 및 Traffic을 측정하는 기본 모델이다. 기지국과 이동국 사이의 메시지 전송시간을 RTD 모델로 정의하였고, 식(8)과 같이 정리하였다. 이러한 이론적 근거를 바탕으로 기지국에서 3일간 실험을 실시한 결과 이동국 별로 RTD 값은 14, 공간거리는 약 209m의 편차가 있었다.

즉 BTS에 하나의 중계기가 설치된 cell에서 Time Delay 를 그림6과 같이 구성하여 실험한 결과 그림7과 같이 뚜렷하게 구분되는 결과를 얻었다.

그러나 기지국에 다수의 중계기가 사용되고 있어서 3개의 중계기가 설치된 기지국을 선정하여 동일 섹터에 3개의 중계기가 설치되도록 실험 시스템을 그림8과 같이 구성하고, 실험한 결과 그림10과 같이 99.5% Traffic을 분석하는 최종 결과를 얻었다.

이러한 연구결과는 지금까지 무선망의 통화량 분석을 기지국 또는 sector 단위의 개략적이고 통합적으로 실시하던 통계처리에서 지하공간, 특정지역 event call 및 실내 통화량까지 세밀하고 체계적으로 구분하는 한 단계 진보된 무선망 엔지니어링이 가능하게 되었다. 따라서 기지국 각 설비의 사용량을 세분화 할 수 있는 토대를 마련했다고 볼 수 있으며, 결국 설비의 용량을 최대로 활용 할 수 있게 되었다. 따라서 무선망 엔지니어링을 통해서 시설용량을 증대하는 효과를 가져오고 특히 cost를 절감하는 효과가 크게 나타날 것으로 기대된다.

RTD는 모국과 자국의 Traffic 분석뿐만 아니라 cell간에 발생하는 Call drop 문제 해소, 50Km 이상 지역에서의 통화로 구성(해상서비스) 및 이동국(이동전화) 위치추적 서비스 등에 연구되고 있어서 이 분야의 연구가 무선망 엔지니어링 분야에서 다양하게 응용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] “통신시스템의 이론과 원리“, 진용욱.
 [2] RTD 방식을 이용한 CDMA 기지국 Traffic 분석에 관한 연구, 통신학회논문지 '00-8 Vol.25 No.5A p.660 ~ p667, 조웅, 진용욱
 [3] TDOA 기법을 이용한 도심환경 마이크로셀에서의 위치추정 방법연구, 김생수, Apr, 1998.
 [4] “코드분할 다중접속(CDMA) 이동통신 시스템에서 RTD를 이용한 이동국 위치 파악 방법“ 특허번호 99-20261, SK Telecom, 1999.
 [5] C.Roobol, P.Berning, J.Lundsjö, and M. Johansson, “A Proposal for An RLP/MAC Protocol for Wideband CDMA Capital of Handling Real Time and No Real Time Service”, May, 1998.
 [6] Louay M. A.Jalloul, Jack M. Holtzman, Performance analysis of DS/CDMA with noncoherent M-ary orthogonal modulation in multipath fading channels, IEEE J. Select. Areas Communication, June 1994.
 [7] “셀룰라 이동통신 시스템“, 성태경외 1명, 1993.

[8] “Digital Cellular Radio”, Calhoun George, 1988.
 [9] “Radio System Design for Telecommunications” Roger L. Freeman, 1997.
 [10] Shin Suke Hara, Ramjee Prasad, Overview of multi-carri CDMA, IEEE commun. Magazine, December, 1997.
 [11] Q.Cao, “Medium Access Control(MAC) for Wide-Band CDMA System with Optimal Throughput”, May, 1998.
 [12] “The Mobile Communication Hand Book”, Jerry D. GIBSON, 1996.

조 욱(Ung Jo) 정희원
 1990년 : 광주대학교 전자계산학과(이학사)
 1994년 : 경희대학교 산업정보대학원 정보통신학과 (공학석사)
 1998년~현재 : 경희대학교 전자공학과 박사과정
 1991년~현재 : SK Telecom 생산전략본부
 <주관심 분야> 이동통신, CDMA 시스템, IMT-2000

진 용 욱(Yong-ohk Chin) 정희원
 1979년~현재 : 경희대학교 전자공학과 교수
 1996년~현재 : 한국음향학회 명예회장
 2000년~현재 : 경희대학교 정보통신대학원 원장