

論文98-35T-6-15

# CDMA 및 비트 오류율 가변에 의한 음성 채널 확대 방안 연구

## (A Study for the Voice Channel Extension Method by Using CDMA and Bit Error Rate)

權 奇 衡 \*

(Kwon Kihyung)

## 要 摘

통신망을 설계할 때 최번시 사용자를 기준으로 사용자당 예상되는 사용 용량을 계산하여 이를 근거로 회선 규모를 결정한다. 그러나 이와 같은 설계방식은 최번시의 용량으로 회선 규모를 결정하기 때문에 대부분이 낭비된다. 본 논문에서는 유선에 CDMA를 적용하여 이를 개선할수 있는 해결방법으로 제시하였으며 비트 오류율을 얼마로 할것인가에 따라 회선의 규모가 달라짐을 보였다. 예를 들어 E1에 13kbps의 음성을 전송할 때 2%의 비트 오류율을 적용하였을 때 채널수가 120채널을 얻을 수 있는 결과를 보였으며 비트오류율을 높게 함에 따라 채널수가 큰폭으로 증가하게된다. 따라서 최번시 대신 비트오류율에 의해 통신망의 설계를 할수 있음을 보였다.

**Abstract**

When communication network is designed, total quantity of lines is decided by expected capacity to be caculated based on busy hour traffic. But this method is wasted many a portion of communication networks because of caculation by busy hour traffic. In this paper, it is proposed the solution that applied CDMA to the wired lines and it is shown changing the volume of networks via BER. In example, when a channel of 13kbps voice was transmitted to E1 at 2% BER, we can get 120 channels and the higher BER makes the bigger channels. So, it is shown that communication networks is designed by BER instead of busy hour traffic.

**I. 서 론**

통신망을 설계할 때 그 규모를 결정하는 중요한 요소의 하나는 통신망에서 사용될 트래픽의 양이다. 예측되는 트래픽의 양에 따라 회선 규모를 결정하고 이에 의해 구매 및 설비 공사를 하게된다. 그런데 지금 까지 트래픽 양의 예측은 최번시의 사용자를 기준으로 사용자당 예상 사용량을 근거로하여 회선 규모를 결정하였다. 이렇게 회선규모를 결정하게 되면 대부분의 회선은 사용되지 않게된다. 이러한 낭비를 줄이고

\* 正會員, 尚志大學校 併設 專門大 事務自動化科  
(Sangji Junior College, Dept. of OA)

接受日字: 1997年4月20日, 수정완료일: 1998年6月5日

최번시가 아닌 평상시의 회선 사용율을 높이기 위해 통신망 사업자들은 야간할인등 요금정책 등을 시행하고 있다. 특히 국내의 이동 전화 사업자의 경우 기지국에서 음성에 대해 PCM으로 변환후 이동 교환국으로 전송하고 있으며 또한 이동교환국간 통신에 있어서도 PCM으로 전송하며 8kbps나 13kbps전송이면 충분할 전송로에 대하여 64kbps를 사용하고 있다. 이러한 낭비를 줄일수 있는 방안으로 본 논문에서는 유선 통신 선로에 CDMA(Code Division Multiple Access)방식의 적용을 제안하였다. CDMA방식을 적용하면 최번시 트래픽을 기준으로 하지 않아도 되며 이는 이방식의 특징인 다른 사용자의 간섭이 최대 사용자수를

제한한다는 점을 이용하고 있다. 즉 다른 사용자의 간섭에 의해 신호의 오류가 존재하는데 음성신호는 어느 정도의 신호 오류를 용인하므로 이 오류를 어느정도로 할 것인가에 따라 최대 사용자를 변경시킬수 있다는 점을 이용하였다. 다시 말하면 BER(Bit Error Rate)을 사용자수에 맞춰 허용범위를 바꿈에 의해 최대 사용자를 증가시키는 방법이다. 이를 계산하기 위해 2장에서는 CDMA에서의 채널수에 대한 고찰을 하였으며 3장에서는 BER과 채널수(사용자수)와의 관계를 보였다. 4장에서는 이에 의한 결과를 보였으며 5장에서는 이에 대한 결론을 도출하였다.

## II. CDMA에서의 신호대 잡음비와 채널수의 관계<sup>[1][3]</sup>

일반적인 통신 시스템에 있어서 신호대 잡음비로 통신의 가능 여부를 판단하며 신호의 세기는 일정하다고 가정할 때 잡음에 의한 영향이 적도록 설계한다. 잡음은 자기 신호에 의한 간섭, 배경 잡음, 다른 사용자에 의한 간섭등 3가지 유형의 간섭이 있다. 이러한 간섭 중에서 특히 유선상에서 잡음은 전대역에 걸쳐 일정한 분포을 갖는 배경잡음이 가장 큰 영향을 미치게 된다. 반면에 CDMA에서는 배경잡음보다 다른 사용자의 간섭에 의해 신호의 오류가 발생한다. 어느 경우에든 자기 신호에 의한 간섭은 크지 않다고 가정할수 있으며 특히 CDMA에서는 영향이 미미하다. 다만 CDMA에서는 수신단에서 수신된 신호의 크기가 같아야 하므로 이를 같다고 가정하자. 이때 수신단에서는 전체 채널 점유자 N명의 전력을 똑같이 받아들이므로 사용자의 전체 전력  $P_t$ 와 잡음(간섭)  $I$ 의 관계는 전체 채널 점유자 N에 대해 다음식으로 주어진다.

$$I = (N-1)P_t \quad (1)$$

음성 채널로 한정하여 통신이 된다고 할 때 통신하지 않는 시간이 존재하며 전체 통신시간중 실 사용 시간의 비를 음성 활성도라 하며 3/8정도 되는 것으로 알려져 있다. 식 1)에서 음성활성도를 고려하면 그 역수 즉 음성 활성 이득( $A_v$ )에 의해 간섭은 비례하여 줄어들게 되므로 다음 식과 같이 된다.

$$I = \frac{P_t}{(N-1)} A_v$$

이식에서 사용자수를 구하기 위해 식을 다음식과 같이 쓸수 있다.

$$N-1 = \frac{P_t}{I} A_v \quad (2)$$

한비트를 전송하는데 필요한 에너지를  $E_b$  라고 하고 전송속도를  $R$ 이라 하면 전체 전력은 비트당에너지에 비트율을 곱한값이므로  $P_t = E_b R$ 이며 잡음은 주파수당 잡음 즉 잡음전력밀도  $I_0$ 에 해당 대역  $W$ 를 곱한 값이므로  $I = I_0 W$ 이다. 따라서 식 2)는 다음과 같이 쓸수 있다.

$$N-1 = \frac{I_0 W}{E_b R} A_v = \frac{W R}{E_b / I_0} A_v \quad [1] \quad (3)$$

이 식에서 전체 채널 점유자를 구할수 있으며 다음식으로 표현된다.

$$N = \frac{I_0 W}{E_b R} A_v + 1 = \frac{W R}{E_b / I_0} A_v + 1 \quad [1] \quad [3] \quad (4)$$

즉 전체 채널 점유자의 수는 대역폭대 전송속도와 비트당 에너지대 잡음 전력밀도의 비에 비례하여 결정된다.

## III. BER과 채널수와의 관계<sup>[3]</sup>

BER(bit error rate)은 변복조 시스템에 따라 달라질수 있으나 [그림 1]과 같은 단순한 변복조 시스템을 가정하자.

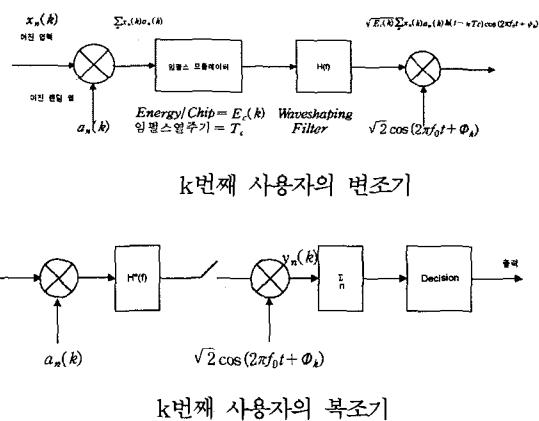


그림 1. 간단한 CDMA 변복조기  
Fig. 1. A simplified CDMA Modulator/De-modulator.

출력은 [그림 1]에서 보는 바와 같이  $y_n(k)$ 의 적분 기대치이고 잡음은 크게 자기 신호원에 의한 간섭, 배경 잡음, 다른 사용자에 의한 간섭 3가지이다. 이러한 잡음 중에서 다른 사용자에 의한 간섭이 가장 큰 영향을 미치며 따라서 본 논문에서는 다른 사용자에 의한 간섭만을 취급하겠다.

다른 사용자  $j$ 는  $k$  사용자와 독립이고 비동기되어 이진 변수  $a_n(j)x_n(j)$ 로 변조되고 일정한 칩에너지  $E_c(j)$ 를 가지고 있다.  $j$ 번째 사용자 신호에 의한  $k$ 번째 복조기 출력의 분산을 구하는 것이므로 따라서 위상차만을 고려한다면

$$V_j = \text{Var}[y_n(k)|x_n(k), \psi_j, \psi_k] [1] \quad (5)$$

$$V_j = E_c(j)/T_c \cos^2(\psi_j - \psi_k) \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^4 df \quad (6)$$

여기에서  $\cos$  항은 2배수의 주파수를 가지며 일부 분은 필터 된다고 보면 전체 간섭에 의한 잡음을

$$V_0 = \sum_{j \neq k} E_{\psi}(V_j) = \sum_{j \neq k} E_c(j) \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^4 df / (2T_c) \quad (7)$$

모든 신호는 수신시 일정한 전력을 가지고 있고, 칩 주기  $T_c$ , 비트율  $R$ 에서 비트당 칩수는  $1/(RT_c)$ 일 때 하나의 비트를 0이나 1로 판정하기 위해 데이터 값은 다음식으로 될 것이다.

$$\Gamma = \sum_{n=0}^{1/(RT_c)} y_n(k) \quad (8)$$

이에 대한 기대치를 구한다면 비트율과 구간이 같다고 가정하면

$$E(\Gamma) = \sum_{n=1}^{1/(RT_c)} E[y_n(k)|x_n(k)] [1] \quad (9)$$

$$= \sqrt{E_c(k)} \sum_{n=1}^{1/(RT_c)} x_n(k) = \pm [1/RT_c] \sqrt{E_c(k)} \quad (10)$$

각각 칩 출력의 잡음은 기본적으로 무상관하므로

$$\text{Var}(\Gamma) = \sum_{n=1}^{1/(RT_c)} \text{Var}[y_n(k)|x_n(k)] \quad (11)$$

$$= 1/(RT_c) V_0 \quad (12)$$

비트당 칩율이 매우 크다면 중심극한 정리에 의해

$\Gamma$ 는 가우시안에 가깝다.

따라서 비트 오류율은 다음식으로 주어진다.

$$P_b = Q(\sqrt{\frac{|E(\Gamma)|^2}{\text{Var}(\Gamma)}}) [1] [9] \quad (13)$$

$$= Q(\sqrt{\frac{E_c(k)/(RT_c)}{V_0}})$$

여기에서

$$Q(z) = \int_z^{\infty} e^{-x^2/2} dx / \sqrt{2\pi} \quad (14)$$

$$P_b = Q(\sqrt{\frac{2E_c(k)/(RT_c)}{\sum_{j \neq k} E_c(j) \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^4 df / (T_c)}}) \quad (15)$$

여기에서 대역  $W$ 가  $W=1/T_c$ 이고 배경잡음은 무시할수 있으며 적분 구간은 단위 값으로 고려한다면 다음식과 같이 된다.

$$P_b = Q(\sqrt{\frac{2E_c(k)/(RT_c)}{\sum_{j \neq k} E_c(j) \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^4 df / (T_c)}}) \\ = Q(\sqrt{\frac{2E_c(k)/(RT_c)}{\sum_{j \neq k} E_c(j)}}) [1] [3] \quad (16)$$

$$= Q(\sqrt{\frac{2A_v W R}{(N-1)}}) \quad (17)$$

#### IV. 성능 분석

##### 1. $E_b / I_0$ 와 채널수와의 관계

CDMA시스템은 채널의 수가 시스템에서 허용하는  $E_b / I_0$ 에 따라 달라질수 있기 때문에 채널수가 변동될수 있다.

[그림 2]는 CDMA PCS시스템에서 사용하고 있는 1.2288Mbps를 기준으로 하여 채널수를 수식 3)에 근거하여 그림을 그린 것이다. 대개 유선에서 3dB 이상이면 사용할수 있다고 볼 때 13kbps 음성 부호화일 때 최대 130채널을 사용할수 있으며 32kbps를 가정한다면 45채널을 이용할수 있다. 또한 6dB정도로 [그림 3]은 최근에 IMT-2000을 위해 연구가 진행중인 W-CDMA에서의 예상되는 사용칩률과 음성비트율을

기준으로 그림으로 표시하였다. 채널수는 매우 증가하여 3dB인 경우 각각 200채널 및 500채널 정도를 사용할 수 있게 된다.

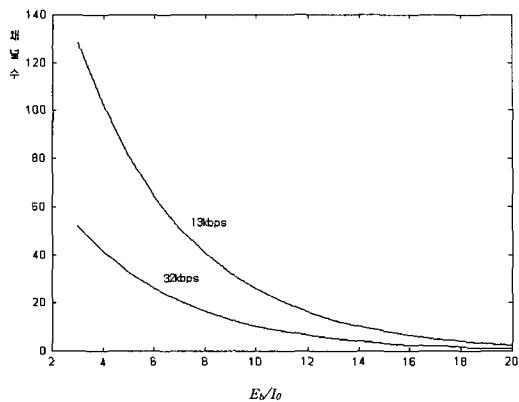


그림 2. 1.25Mbps에서의  $E_b / I_0$ 와 채널수와의 관계  
Fig. 2. The Relationships of the  $E_b / I_0$  and the Number of channels at 1.25Mbps

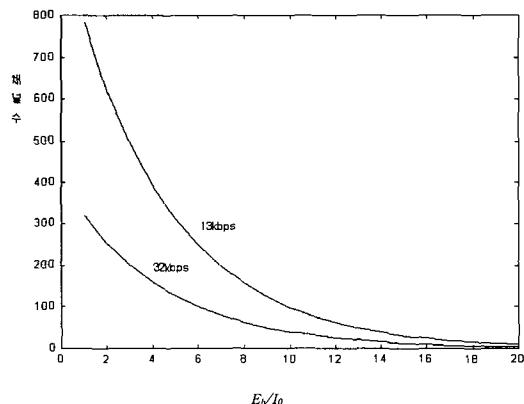


그림 3. 4.8Mbps에서의  $E_b / I_0$ 와 채널수와의 관계  
Fig. 3. The Relationships of the  $E_b / I_0$  and the Number of channels at 4.8Mbps

## 2. BER과 채널수와의 관계

4.1에서  $E_b / I_0$ 와 채널수와의 상관 관계를 도시하였다. 그러나  $E_b / I_0$ 가 실제적으로 어느정도 신호의 오류에 영향을 미치는지 알아보기 위해 다음과 같이 BER과 채널수와의 상관관계를 3장에서 유도한 결과식을 이용하여 [그림 4] 및 [그림 5]에 도시하였다.

음성의 부호화에 있어 비트 오류를 어느정도로 허용할지는 부호화 방법에 따라 크게 달라질 수 있다. 예를 들어 일반적인 PCM방식으로 부호화 하는 경우 MSB에서의 오류와 LSB에서의 오류에 따라 달라질 수 있으며 인터리빙 기법을 사용하면 오류에 의한 영향이

크게 줄어들 수 있다. 그러지만 사람이 음성 품질을 약호하다고 느낄 수 있는 수준을 5% 이하라고 가정한다면(이에 대해서는 따로 연구가 필요할 것임) [그림 4]에서 보는 바와 같이 64Kbps 일 때 최대 30채널 정도이며 32Kbps일 때 60채널, 13Kbps일 때 130채널 까지 사용이 가능하다. W-CDMA를 사용한다면 [그림 5]에서 보는 바와 같이 64kbps에서 100채널의 사용이 가능하다. 이를 이용하여 사용자의 오류 허용치에 따라 채널 용량을 변경시킬 수 있으며 이는 사용자의 요구 품질에 따라 가변적인 채널 할당이 가능함을 보여준다 하겠다.

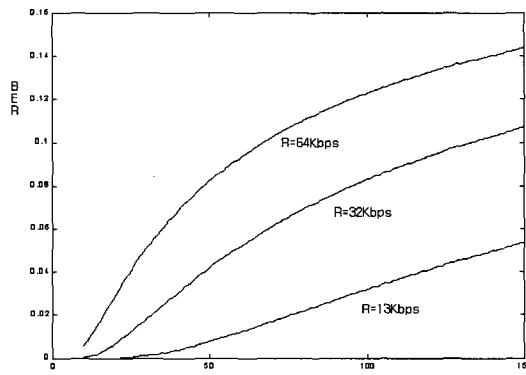


그림 4. 회선수와 비트 오류율과의 관계(대역폭 W : 1.25Mbps, R : 13Kbps )  
Fig. 4. The Relationships of the BER and the Number of circuits(Bandwidth W : 1.25Mbps, bit rate R : 13Kbps)

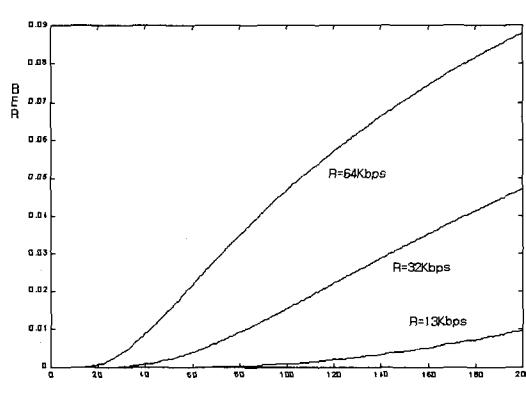


그림 5. 회선수와 비트 오류율과의 관계(대역폭 W : 4.8Mbps, R : 32Kbps )  
Fig. 5. The Relationships of the BER and the Number of circuits(Bandwidth W : 4.8Mbps, bit rate R : 32Kbps)

이와 같은 결과는 기존의 PCM 망이나 PCM 다중화 망 즉 T1이나 E1과 비교해 볼 때 여러 가지 장점이 있다. 먼저 사용자수의 변동에 대해 본다면 PCM 망에서는 고정된 채널을 이용하므로 사용자 수의 변동에 효과적으로 대응하기 어렵다. 국내에서 표준으로 인식되고 있는 E1의 경우와 비교해보자. 음성 채널수는 30이며 2개의 신호 채널을 운용하므로 총 32채널을 가지고 있다. 32채널중에 사용률을 상황에 따라 다르게 적용하지만 0.5를 적용한다면 16채널이 가용채널이 된다. 같은 전송속도를 가진다고 단순히 가정한다면 칩률이 2.048Mbps라고 고려할수 있으며 이를 앞에서 유도한 계산식을 활용한다면 [그림 6]과 같은 결과를 얻을수 있다.

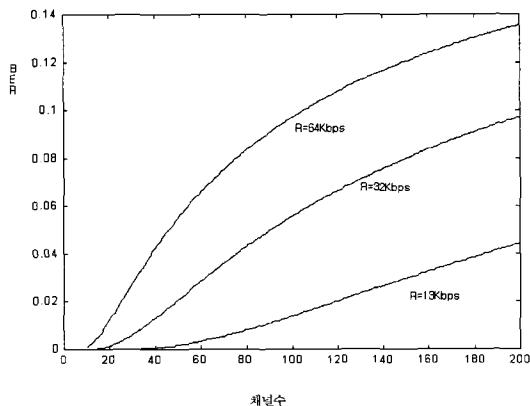


그림 6. PCM 다중화 망 (E1)에 대해 CDMA를 적용하였을 때

Fig. 6. Applied CDMA to PCM E1

그림에서 보는바와 같이 일반적인 PCM과 단순 비교를 위해 부호화율 64Kbps 일 때 음성의 비트 오류율을 최대 5%로 가정한다면 50채널 정도를 얻을수 있으며 그 이하의 부호화율에서는 큰폭으로 채널수가 늘어나게 된다. 만일 오류율을 2% 정도로 한다면 채널 수는 64Kbps에서 20개 현재 PCS 즉 13kbps에서는 120채널이 확보될수 있다.

## V. 결 론

앞의 결과에서 보는바와 같이 유선에서의 CDMA 적용은 음성에 대해서는 유용하게 사용될수 있다. 즉 채널 수가 사용자에 대한 품질에 따라 결정될수 있으며 또한 현재의 PCS나 이동전화 시스템의 기지국과 이

동 교환국사이의 회선용량의 감소등의 기대효과가 있다. 이와 같은 결과는 음성의 경우 어느정도의 비트 오류를 가지고 있어도 사람이 인식하는데 문제가 없기 때문이며 따라서 회선의 활용률을 높이고 이에 의해 비용절감의 효과가 매우 크게될 것이다. 데이터 통신 망에서 회선의 사용률이 80%이상이 되면 패킷지연과 버퍼의 크기가 매우커져야 하므로 매우 위험하고<sup>[7]</sup> 회선교환망에 있어서도 회선의 사용률을 크게하면 갑작스러운 사용자의 증가에 대비하기 어렵기 때문에 설계시 0.5~0.6 즉 50~60% 정도를 기준으로 삼는다. 즉 설계시 E1은 16~19채널을 기준으로 삼는다. 이에 반하여 본 논문에서 제안하는 방법을 기준으로 한다면 64kbps 음성의 경우 5%의 비트 오류율에서 50채널이 되며 현재의 PCS에서 사용중인 13kbps음성의 경우라면 200채널이상이되고 2%를 기준으로 한다면 20채널 및 120채널이 된다.

특히 현재 PCS시스템의 경우 기지국에서 CDMA를 통해 입력된 음성 신호를 PCM으로 변환하여 교환국으로 전송하는 현재의 디지털 이동 전화 시스템에서는 13kbps(혹은 8kbps)의 음성을 64kbps로 변환하므로 전송로가 4배정도 더 사용되고 있다. 따라서 이를 절약한다면 전송로의 비용이 크게 감소하게 될 것이다. 또한 다중화 기법이 사용되는 전화 회선의 경우도 CDMA기법을 도입할수 있다. 국간 회선의 경우 지금은 최번시의 호를 기준으로 설계하고 있는데 최번시는 오전 10시에서 11시 까지로서 그외의 시간에 비해 상당히 높은 트래픽을 기록하고 있다. 이 구간에 대해 CDMA를 적용하는 경우 음성 품질은 낮아지겠지만 최번시의 호를 수용할수 있으며 그외의 시간대에서는 높은 통화 품질을 기록하여 비용을 절감할수 있다. 다만 앞으로 2%의 비트오류율이나 5%의 비트 오류율이 어느정도의 통화 품질인지 CDMA에서 사용하는 오류 정정부호를 적용한다면 이러한 비트오류율이 어느정도 감소되는지 좀더 연구가 필요하다.

또한 앞으로의 통신망은 멀티미디어 이므로  $10^{-6}$ 정도의 비트오류율을 가져야하는 데이터와 함께 사용할때는 어떤 방식으로 사용되야할지를 좀더 연구할 예정이다.

## 참 고 문 현

- [1] Andrew J. viterbi, CDMA Principles of Spread Spectrum Communication, Addison

- Wesley, p1-p38, p199-p207, 1995.
- [2] William C.Y.Lee, Mobile Cellular Telecommunications, McGraw-Hill, p503-p530, 1995.
- [3] Andrew J. Viterbi, On the Capacity of a Cellular CDMA System, IEEE trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No. 2, pp 303-311, May, 1991.
- [4] 포항 종합 제철, CDMA 이동전화 기술, 1994.
- [5] Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, Data Networks, prentice Hall, p317-320 p152-173,
- 1992.
- [6] Michel Daoud Yacoub, Foundations of Mobile Radio Engineering, CRC press, p437-445, 1993.
- [7] 김종상 편저, 데이터 통신 및 컴퓨터망, 희중당, p334-344, 2월, 1994
- [8] 김종상 역, 데이터 통신 및 컴퓨터 통신, 희중당, p401-409, 8월, 1995
- [9] 진년강, 랜덤 변수와 랜덤과정, 연학사, p271-278, 8월, 1994

## 저자소개



權奇衡(正會員)

1980.2 경기 고등학교 1980.3 ~ 1984.2 아주 대학교 전자공학과. 1984.9 ~ 1986.8 경희대학 교 대학원 전자공학과(석사). 1987.5 ~ 1990.5 (주) 제우스 컴퓨터. 1990.5 ~ 1992.11 영창악 기 제조(주) 전자악기 사업부. 1993.9 경희대학 교 대학원 전자공학과 (박사과정). 1996.1 ~ 1996.8 (주) 대우 회 장비서실 정보통신 사업단. 1996.9 ~ 현재 상지대학교 병설전문대학 재직중