

〈主 題〉

광대역 무선가입자망(B-WLL)의 강우감쇄를 고려한 전파 모델 연구

구현철, 호광춘, 정한욱

(한국통신 무선통신연구소 광대역무선시스템연구팀)

◆ 차 례 ◆

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| I. 서론 | IV. LMCS에서의 서비스 영역 계산 및 전력제어 |
| II. 일반통신 시스템에서의 링크 버짓 계산 | V. 결론 |
| III. LMCS에서의 링크 버짓 분석 | |

초 록

본 논문에서는 최근 양방향 무선 멀티미디어 서비스로 각광받고 있는 광대역 무선가입자망 (B-WLL)시스템에서 강우시의 신호감쇄를 고려한 전파전파 모델을 정립하고 서비스 영역을 결정하였다. 또한, 강우시에도 동일한 서비스 영역을 커버하기 위한 전력제어의 범위를 국내의 강우량 통계데이터를 고려하여 계산하였다. 평균강우강도가 42 mm/hr일때 3 km의 셀크기를 커버하기 위해서 최대 25 dB정도 범위의 전력제어가 필요한 것으로 나타났다. 이러한 시스템 파라메타는 셀설계나 시스템 설계에 영향을 미치는 파라메타로서 그 범위의 결정이 매우 중요하다.

I. 서 론

정보통신기술의 발전에 따라 멀티미디어 서비스에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한, 저렴한 가격에 고속으로 양질의 정보를 얻고자 하는 가입자들의 욕구가 증대되고 있다. 고속의 멀티미디어 서비스를 구현하려면 광대역 전송 매체가 필요하다. 이런 경향을 요약하면 멀티미디어화, 초고속화, 광대역화로 요약할 수 있다. 무선을 이용한 초고속 광대역 가입자망의 구축은 망구축 시간이 짧고 비용이 적게 들며 유지보수가 간편한 장점이 있다. 이런 이유로 인해 최근 무선기술을 이용하여 가입자까지 광대역선로를 구축하는 방법이 주목받고 있다. 정부에서는 광대역

무선 서비스를 실현시키기 위해서 1997년4월9일자로 가입자 회선용 주파수를 발표하였다[1][2]. 가입자 송신 주파수는 24.25~24.75 GHz의 500 MHz대역폭이며 가입자 수신 주파수는 25.50~27.50 GHz의 2000 MHz 대역폭이다.

준 밀리미터파 대역의 B-WLL용 주파수대는 이용성, 기술성, 활용면에서 개발이 상당히 뒤쳐져 있으나 가용 대역폭이 넓어 통신, 레이더 등에 일부 활용되고 있다. 이 주파수대의 특징은 광대역이므로 얻을 수 있는 장점과 단파장이므로 필연적으로 발생하는 각종 단점으로 나눌 수 있다. 장점으로는 광대역성으로 인한 주파수 수요의 급격한 증가에 대처가 용이하며 파장이 짧으므로 각종 소자의 소형, 경량화가

가능하며 직진성이 좋아 높은 해상도와 정밀성을 갖는다. 또한, 다른 시스템에 대한 혼신이 작아 셀방식이 유리하다. 단점으로는 고주파신호를 처리하는 소자기술이 필요하고 가시거리조건이나 강우감쇄등 대기환경에 민감하다. 특히, 밀리미터파 및 준 밀리미터파 대역의 마이크로파에서는 거의 직선상에 모든 에너지가 집중되어 있다고 할 수 있다. 그러므로, 직선상 (Line of Sight)의 장애물에 의한 회절 손실이 크고 대기분자의 공진 주파수와 일치하는 주파수들에서 강한 전파 감쇄가 발생한다. 이 주파수대에서는 가시거리가 확보되지 않으면 통신이 어려워지고 눈, 비 등의 기후조건에 따라 통신 품질이 크게 좌우되는 약점이 있다[3]. 본 논문에서는 이러한 전파의 특성과 기후 조건 등에 의한 전파의 감쇄를 고찰해보고 이를 통한 링크 버짓과 구해진 링크 버짓값을 바탕으로 서비스 영역을 평가하였다. 또한, 강우시를 기준으로 설계된 시스템에서 비 강우시의 셀간의 상호간섭을 줄이기 위한 송신기의 전력을 제어하는 방법을 제시하고 전력 제어량을 계산하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 일반적인 통신 시스템에서 링크 버짓을 구하는 방법을 정리하였다. 여러가지 신호 감쇄의 요인과 잡음 제공원을 고려하여 신호대 잡음비 (SNR: Signal to Noise Ratio)를 계산하고 실제 수신신호와 요구되는 값을 정의하여 이들의 차로부터 링크 마진을 정의하였다. 3장에서는 일반적인 링크 버짓 계산을 B-WLL의 실현 방안 중 하나인 LMCS (Local Multipoint Communication System)시스템에 적용 하였다. 특히, LMCS시스템에서 강우에 의한 전파의 감쇄가 두드러진 점을 고려하여 우리나라의 강우 데이터를 이용하여 실제 상황에서의 강우 감쇄 정도를 계산하였다. 4장에서는 3장에서 얻은 링크 버짓값을 이용하여 LMCS의 서비스 영역을 평가하고 비 강우시에 상호간의 셀간섭을 줄이고 전력낭비를 방지하기 위한 전력제어를 분석하였다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 내리고 결과의 의미를 설명하였다.

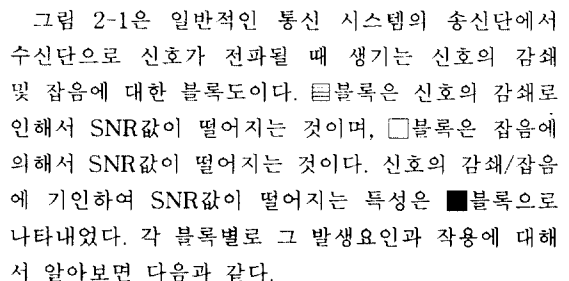
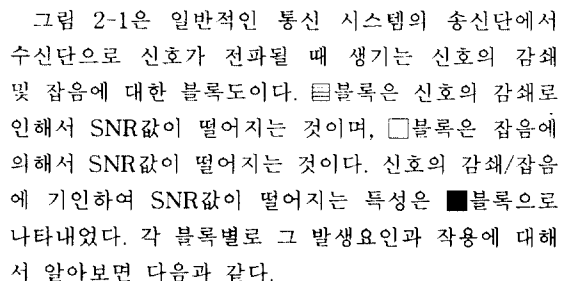
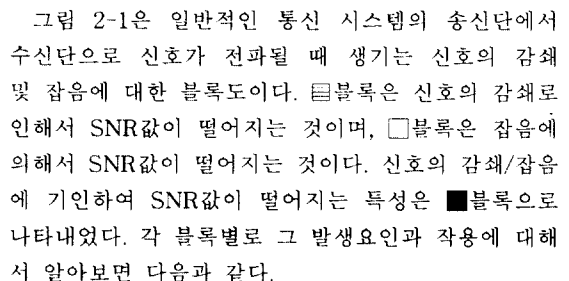
2. 일반 통신 시스템에서의 링크 버짓 계산

2.1. 일반 통신 시스템에서의 신호 및 잡음에 의한 감쇄

링크는 변복조단계와 송수신단계를 포함하여 통신에서 하나의 정보근원지에서 다른 정보소요지까지 가는 신호의 경로를 말한다[4]. 링크에서 신호가 전파됨에 따라 그 신호는 감쇄하고 잡음은 커진다. 각 링크의 어떤 한 지점에서 전송 성능을 판별하는 그 신호 대 잡음비 (SNR : Signal-to-Noise)는 아래와 같은 식으로 정의된다.

$$SNR = \frac{\text{신호전력}}{\text{잡음전력}} \quad (2-1)$$

SNR값이 떨어지는 요인은 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫째는 신호 전력이 줄어드는 것에 기인한 것이며 둘째는 잡음 전력이 커짐으로 인하여 떨어지는 경우이다. 또한, 이 두가지 요소가 같이 작용하여 SNR값이 나빠지기도 한다. 이 SNR값에 영향을 주는 잡음은 크게 네가지로 분류할 수 있다. 첫째는 링크안에서 발생하는 열잡음이고, 둘째는 은하 (galaxy) 잡음과 대기 (atmospheric)잡음에 의한 스카이(sky)잡음이며, 셋째는 시스템의 비선형성에 의해 링크내에 발생하는 가짜 신호이다. 그리고, 마지막으로 다른 이용자가 같은 주파수를 사용하여 발생하는 간섭이다.(그림 2-1. 시스템의 신호 감쇄 및 잡음원.)

그림 2-1은 일반적인 통신 시스템의 송신단에서 수신단으로 신호가 전파될 때 생기는 신호의 감쇄 및 잡음에 대한 블록도이다.  블록은 신호의 감쇄로 인해서 SNR값이 떨어지는 것이며,  블록은 잡음에 의해서 SNR값이 떨어지는 것이다. 신호의 감쇄/잡음에 기인하여 SNR값이 떨어지는 특성은  블록으로 나타내었다. 각 블록별로 그 발생요인과 작용에 대해서 알아보면 다음과 같다.

1. Bandlimiting Loss : 서로 다른 채널간의 간섭을 줄이고 정해진 주파수 폭 내에서 신호를 송수신하기 위해서는 송신기와 수신기에 필터가 필요하다. 이 필터에 의해 송신되거나 수신되는 신호의 일부가 잘리게 되고, 이로 인한 신호의 감쇄가 발생한다.
2. Inter-Symbol Interference : 펄스 등의 신호를 송수신할 때 인접하는 신호 사이에 옆의 신호의 일부가 첨가되어 나타나게 된다.
3. Limiter Loss or Enhancement : 강한 제한기

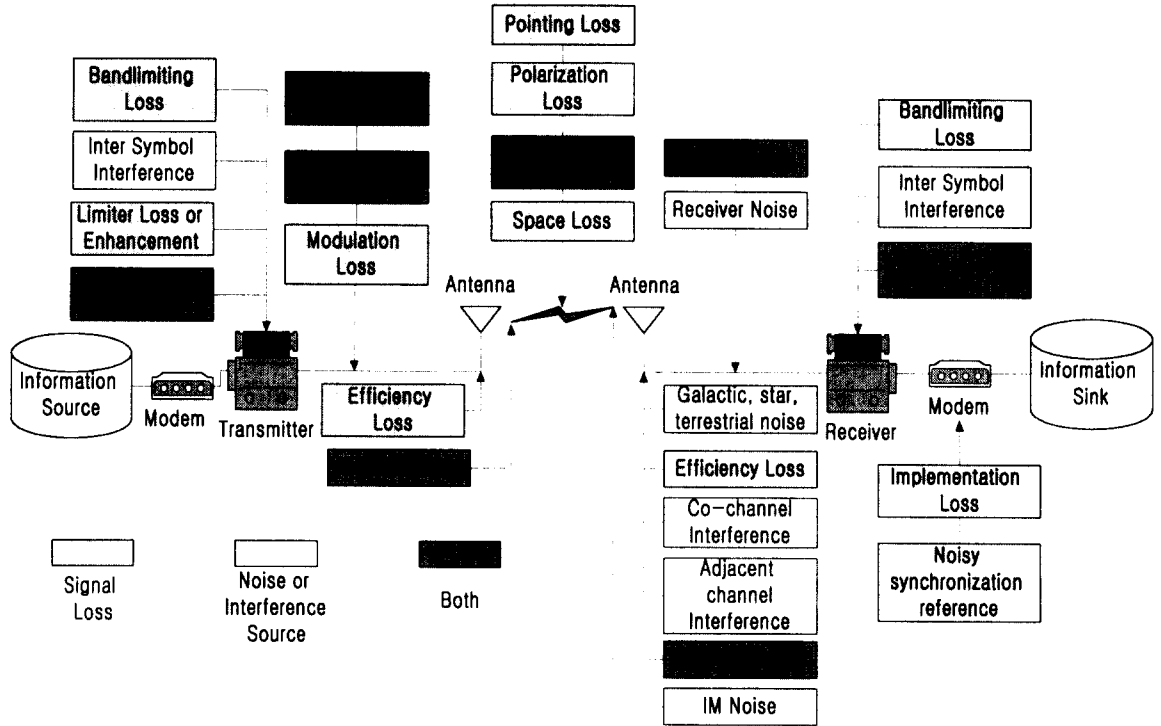


그림 2-1. 시스템의 신호 감쇄 및 잡음원.

는 두 신호 중 강한 신호를 증대시키고 약한 신호를 감쇄시켜 신호가 손실된다.

4. LO Phase Noise : 국부발진기 (Local Oscillator)를 사용한 신호의 혼합에서 위상의 변동이나 동요는 송신시 신호의 밴드폭을 바깥으로 퍼지게 하고, 수신시 감지기의 성능을 떨어뜨려 결과적으로 신호의 감쇄를 초래한다.
5. AM/PM Conversion : AM-to-PM 변환에서 비선형소자에 의해서 위상잡음이 발생한다.
6. Multiple carrier IM (intermods) products : 몇 개의 신호가 다른 주파수를 가지는 반송파에 실려서 동시에 전송될 때 이 주파수들의 고조파 (harmonic waves) 성분은 신호를 감쇄시키

고, 이러한 신호들이 원래 신호의 주파수 대역 사이에 들어가면 잡음으로 작용한다.

7. Modulation Loss : 링크 버짓을 계산할 때 정보를 지니고 있는 신호의 전력이 반송파를 전송하는데 쓰여 변조손실이 발생한다.
8. Antenna Efficiency Loss : 안테나는 전자신호를 전자파로 만들거나 또는 그 반대의 역할을 한다. 안테나의 이득은 물리적인 구경에 대한 효과적인 구경의 비로 나타내며 구경의 분쇄, 분산, 재방사 등에 의하여 감소한다. 일반적으로, 지향성 안테나는 50~80%의 이득 값을 갖는다.
9. Radome Loss : Radome은 기후의 영향을 차폐시키기 위한 안테나 보호덮개다. 신호의 경로에서

- Radome은 신호에너지의 분산과 흡수를 일으켜 신호 감쇄를 초래하고 흡수된 에너지는 다시 방사되어 잡음으로 작용한다.
10. Pointing Loss : 송신/수신 안테나가 부정확하게 배열되었을 경우 신호의 감쇄가 발생한다.
 11. Polarization Loss : 송신/수신 안테나의 편극이 일치하지 않으면 신호의 감쇄가 발생한다.
 12. Atmospheric & Rain Loss : 공기중의 산소나 물 분자에 의해서 신호가 흡수되어 신호의 감쇄가 발생하며 이들로부터 에너지가 방출되어 잡음이 발생하게 된다. 이 중 가장 큰 영향을 끼치는 것이 강수이다. 심한 비가 올 시에는 많은 양의 신호 감쇄와 잡음이 발생한다.
 13. Space Loss : 거리의 함수로서 전자파의 전력이 약해져 신호의 손실을 초래한다.
 14. IM (InterMods) Noise : 여러 개의 반송파를 가진 송신신호는 송신단에서 비선형 소자와 상호작용을 한다. 이런 비선형성은 전파의 연결부분, 부식된 면과 전기적으로 빈약한 특성을 가진 면에서 잡음을 발생하고 이런 잡음이 방사되어 근처에 있는 안테나에 영향을 끼친다.
 15. Galactic, star, terrestrial Noise : 항성이나 행성에서 방사되는 신호가 잡음으로 영향을 끼친다.
 16. Co-channel Interference : 동일 주파수 대역에서 생기는 신호에 의한 간섭이다. 이러한 현상은 실수로 잘못 보낸 신호나 부정확하게 구분된 수직/수평 편극, 안테나의 편측에서 조금씩 나오는 방사에 기인한다.
 17. Adjacent channel Interference : 근접하는 주파수 대역에서 원하지 않는 신호가 채널로 넘어와서 발생하는 간섭이다.
 18. Feeder Line Loss : 수신부 안테나와 신호 처리부 사이를 연결하는 케이블(feeder line) 등에서 발생하는 신호의 감쇄나 열잡음에 의해서 생기는 손실이다. 특히, 수신되는 신호의 레벨은 매우 작으므로 잡음을 최소한으로 받도록 설계해야 한다.
 19. Receiver Noise : 수신기 안에서 발생하는 열잡음이다.
 20. Implementation Loss : 이론적인 신호의 측정 성능과 실제적인 측정 성능 사이에서 발생하는 손실이다. 이러한 차이는 시간 오차, 주파수 오프셋, 펄스의 상승/하강시에 필요한 유한 시간 등

에 기인한다.

21. Noisy synchronization reference : 반송파의 위상, 준반송파의 위상, 심볼의 시간기준이 정확하게 도출되지 않아서 발생하는 시스템의 손실이다.

위에서 고려한 잡음 발생 요인들은 실제 링크 버짓을 계산하는데 사용된다. 그러나, 본 논문에서는 28 GHz대의 LMCS시스템에서 전파전파 (wave propagation)감쇄에 가장 큰 영향을 주는 요소들 (8, 12, 13, 19)만을 고려하여 링크버짓을 계산하였다.

2.2. 수신신호의 전력과 잡음의 전력

2.2.1. 수신신호의 전력 계산

신호의 감쇄가 없다고 가정할 때, 전방향으로 방사하는 송신기 신호를 거리만큼 떨어진 수신기에서 수신할 경우 그 전파형태는 그림2-2와 같다. 무손실(lossless) 전파로(propagation path)에서 전체 에너지는 보존되며 d 만큼 떨어진 한 점에서 수신된 신호의 전력은 식 (2-2)와 같이 표현된다.

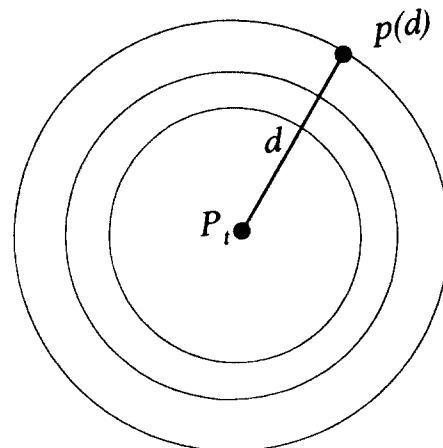


그림 2-2. 송신기에서 수신기까지의 신호전파.

$$p(d) = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2-2)$$

여기서, G_t 는 송신안테나의 이득을 나타내며 P_t 는 그 송신전력이다. 그러므로, 수신안테나의 유효영역

A_e 를 고려하면 수신전력은 다음과 같고

$$P_r = p(d)A_e = \frac{P_t G_t A_e}{4\pi d^2} \quad (2-3)$$

수신안테나가 비등방성일 경우 안테나의 유효영역 A_e 는 수신안테나 이득 과 아래와 같은 관계식을 갖는다[4].

$$G_r = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (\text{for } A_e \gg \lambda^2) \quad (2-4)$$

여기서, λ 는 전파의 파장을 나타낸다. 식 (2-4)에서 보듯이 안테나 이득은 안테나 유효영역이 일정할 때 파장이 짧아질수록 더 큰 값을 얻을 수 있다.

이상적인 전방향 송신안테나에 대한 효과적인 방사 에너지인 EIRP (Effective radiated power with respect to an isotropic radiator)은 송신안테나의 이득 G_t 와 송신전력 P_t 의 곱으로 표현된다.

$$EIRP = P_t G_t \quad (2-5)$$

결국, 식 (2-4)와 (2-5)를 식 (2-3)에 대입하고 정리하면 다음식을 얻는다.

$$P_r = EIRP \frac{G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} = \frac{EIRP \cdot G_r}{L_s} \quad (2-6)$$

여기서, $L_s = (4\pi d\lambda)^2$ 은 경로 손실 또는 자유공간 손실이라 하며 파장이 짧아짐에 따라 (주파수가 커짐에 따라) 커지게 된다. 수신 안테나의 신호 전력은 수식에 나타나는 인자 중 어느 인자가 고정되어 있는가에 따라 파장의 제곱에 비례하기도 하고 파장의 제곱에 반비례하기도 하며 파장에 관계없이 나타난다. 식 (2-6)에서 보듯이 송신기와 수신기의 안테나 이득이 일정한 값을 갖는다면 수신기의 신호 전력은 파장에 비례하게 된다. 즉, 주파수가 낮은 신호에 대해서 더 높은 수신 전력이 전송된다.

2.2.2. 열 잡음의 전력 계산

열 잡음은 모든 도체에서 전자의 열 운동에 의해서 발생한다. 통신에서의 열 잡음은 백색 가우시안 (Gaussian)잡음의 형태를 띄며 잡음 전력의 스펙트럼 밀도는 10^{12} Hz정도까지 일정한 값을 가진다. 그때, 최대 열잡음 전력 N 은 다음과 같은 값을 가진다.

$$N = \kappa T^\circ W \quad [W] \quad (2-7)$$

여기서, κ 는 볼츠만 상수이고 W 는 밴드폭이다. T° 는 시스템의 유효온도로 안테나 온도, 전로와 전단증폭기의 합성온도에 의해서 정해지며 수신단 안테나의 잡음 지수 (Noise Figure)에 의해 영향을 받는다. 수신단 안테나의 잡음 지수를 F , 수신안테나의 온도를 T_A 라 하면 유효온도는 다음과 같이 표현된다[4].

$$T^\circ = T_A^\circ + (F - 1) \times 290 \quad [^\circ K] \quad (2-8)$$

그러므로, 증폭기의 입력단에서 사용할 수 있는 최대의 단방향 잡음 전력 스펙트럼 밀도 N_0 (1 Hz대역에서의 잡음 전력)는 다음과 같이 주어진다.

$$N_0 = \frac{N}{W} = \kappa T^\circ \quad [W/Hz] \quad (2-9)$$

2.3. 링크 버짓 분석

시스템의 성능을 측정하기 위하여 이용되는 신호 대 잡음비 (SNR)에서 신호는 변조된 반송파의 형태이므로 전송 시스템에서 특별히 관심이 있는 SNR은 반송파 대 잡음비 (C/N)이다. 수신기측에서 수신되는 반송파에 대한 잡음비 P_r/N 은 그때 식 (2-6)과 (2-7)에 의하여 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$\frac{P_r}{N} = \frac{EIRP \cdot G_r / N}{L_s L_o} \quad (2-10)$$

여기서, L_o 는 자유공간 손실 (L_s)을 제외한 무선국간의 간섭/피간섭 손실들을 나타낸다. 식 (2-6)은 손실이 없는 경로에 대하여 수신전력을 표현한 것이다. 그러나, 실제적으로 식 (2-10)과 같이 수신전력은 무선국간의 간섭/피간섭 손실들을 고려해 주어야만 한다.

대부분의 경우 아날로그 수신기의 복조기 잡음 밴드폭은 신호의 밴드폭보다 크기 때문에 P_r/N 은 신호의 감별도나 성능을 측정하는 중요한 인자가 된다. 그러나, 디지털 수신기의 경우 상관기 (Correlator)나 정합필터로 인하여 신호의 밴드폭은 잡음의 밴드폭과 같아진다. 이 경우 입력되는 잡음의 전력을 고려하는 것보다 잡음 전력을 잡음 전력 스펙트럼 밀도

P_r/N_o 로 바꾸는 것이 일반적이다[4].

$$\frac{P_r}{N_o} = \frac{EIRP \cdot G_r / T^{\circ}}{\kappa L_s L_o} \quad (2-11)$$

여기서, 링크 버짓을 분석하기 위하여 필요한 요소들인 G_r/T° 는 수신기의 감도를 나타낸다. 그때, 하나의 이진 심볼 당 신호 전력 E_b 는 다음과 같이 송신 신호의 함수로 표현되며

$$E_b = \int_0^T s(t)^2 dt \quad (2-12)$$

이진 신호주기 T와 T동안의 평균 에너지 값 S에 의하여 아래와 같이 표현된다.

$$E_b = ST = \frac{S}{R} \quad (2-13)$$

여기서, R은 송신신호의 비트율을 나타낸다. 결국, 모든 수신 신호전력이 변조신호에 수렴한다고 가정하고 식 (2-13)을 이용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{P_r}{N_o} = \frac{S}{N_o} = \frac{E_b}{N_o} R \quad (2-14)$$

여기서, E_b/N_o 는 잡음 전력의 스펙트럼 분포에 대한 이진 에너지를 나타낸다. 위의 식 (2-14)을 보내진 신호의 특성을 감별하는 링크 마진 M을 이용하여 다시 쓰면 아래와 같다.

$$\frac{P_r}{N_o} = \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r R = M \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{re} R \quad (2-15)$$

여기서, $(E_b/N_o)_r$ 은 실제적으로 수신기에서 받은 값을 나타내며 $(E_b/N_o)_{re}$ 는 필요한 잡음 전력스펙트럼 분포에 대한 이진 에너지이다. 그러므로, 식 (2-11)과 식 (2-15)을 이용하면 링크 마진 M을 얻을 수 있다.

$$M = \frac{EIRP G_r / T^{\circ}}{\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{re} R \kappa L_s L_o} \quad (2-16)$$

식 (2-16)를 dB단위로 고치면 다음과 같다.

$$M [dB] = EIRP [dBW] + G_r [dBi] - \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{re} [dB] - R [dB - bit/s]$$

$$- \kappa T^{\circ} [dBW/Hz] - L_s [dB] - L_o [dB] \quad (1442)$$

링크 마진 값 M을 어느 정도 두어야 하는 것은 각각의 링크 버짓 요소들의 신뢰도에 달려 있다. 이득이나 손실 또는 잡음들이 상세하게 기술되고 여러 가지 링크 요소들이 확실한 통계치에 의해 결정되면 링크 마진 값은 매우 작은 값을 가져도 된다. 그러나, 반대일 경우에 대해서는 상대적으로 높은 링크 마진 값을 가져야 한다. 새로운 기술이 적용되는 시스템이나 새로운 주파수대를 사용하는 시스템에 대하여서는 기존에 실험되어지고 상용화된 시스템에 비해 상대적으로 높은 링크 마진값을 가지도록 설계되어야 한다. 일반적으로, 20 GHz 정도의 높은 주파수대를 가지는 경우에는 기후 조건에 의한 감쇄가 크고 그 값이 큰 폭으로 변하므로 큰 마진 값이 필요하다.

3. LMCS에서의 링크 버짓 분석

20 GHz대의 마이크로파 전파에 있어서 비에 의한 감쇄는 매우 크다. 그러므로, 감쇄에 의한 전력분포와 송신기의 신호 출력, 섹터를 나누는 방법, 안테나 이득, 링크 가용도, 수신기의 특징들은 서비스영역을 결정하는 중요한 요소들이며 그 서비스의 질은 시스템의 링크 마진 M에 의하여 평가된다.

만일, 링크 마진 M이 양의 값을 가지면 그 시스템은 링크가 연결되었다고 하고, 음의 값을 가지면 링크가 연결되지 않았다고 한다. 1년에 링크가 연결되는 비율을 링크 가용도라 하며 링크 가용도는 서비스의 질을 측정하는 중요한 척도가 된다.

이 절에서 우리는 LMCS 시스템에 대한 링크 버짓 값을 구하기 위하여 링크 버짓 요소들인 kT° , L_s , 여러가지 신호 감쇄와 잡음에 의하여 발생하는 모든 손실값 L_o 를 구하고, 식 (2-17)을 이용하여 LMCS에서의 링크 마진 M을 고려한다. 여기서, L_o 는 주로 강우에 의한 감쇄 손실에 의존한다고 가정하였다.

3.1. 시스템 요소

수신기의 잡음지수는 주파수가 증가함에 따라 증가한다. 일반적으로, 2 GHz에서는 0.6 dB정도이고 18 GHz에서는 2 dB로 증가하며 28 GHz에서는 5 dB~6 dB정도가 된다. 본 논문에서는 잡음지수를 6

dB로 가정하였다. 또한, 위에서 주어진 LMCS 주파수 중에서 감쇄가 가장 심한 경우를 고려하기 위하여 28 GHz에서 그 링크 버짓 요소들의 값을 구한다.

SSPA (Solid State Power Amplifier)를 사용하여 신호를 보낼때 수용가능한 에너지는 주파수가 증가함에 따라 감소한다. 2 GHz대에서 300 W정도를 송신할 수 있다면 28 GHz정도에서는 1 W정도의 값이 최대값이 된다. 그러므로, 주파수가 올라갈수록 SSPA의 가격은 높아진다. 본 논문에서는 송신 안테나의 평균 출력값을 500 mW (27 dBm)인 시스템을 고려하였다.

송신안테나 이득은 안테나의 빔 폭이 줄어들면 이득은 커진다. 빔 폭이 반으로 줄어들면 약 2배의 이득이 발생한다. LMCS시스템에서 송신 안테나의 이득을 안테나의 지향성에 따라 나타내면 표 3-1과 같다[5]. 여기서, 수신안테나의 이득은 35 dBi라 가정하였고 EIRP 값은 식 (2-5)를 이용하여 계산하였다.

심볼 오류율 10^{-9} 이하의 순방향 오류 정정(forward error correction)을 하기 위해서 필요한 $(E_b/N_o)_{re}$ 은 17.8 dB가 된다[5].

LMCS 시스템은 QPSK변조방식을 사용하며 롤오프 지수 (Roll-Off factor)값은 0.2이고 그 프레임 구조는 DAVIC1.2 규격에서 제시한 구조를 따른다[6]. 이 경우 가입자 수신신호의 유효한 비트율은 188/204가 되며 가입자 송신신호의 유효비트율은 53/63이 된다. 그때, 가입자 수신 신호의 대역폭은 20 MHz이며 가입자 송신 신호의 대역폭은 5 MHz이다. 가입자 수신 신호의 경우에는 길쌈(Convolutional) 부호화를 해주며, 각각의 길쌈율(Convolutional Rate)에 대한 유효 비트 전송율을 따져보면 표 3-2와 같다.

가입자 송신신호의 경우 심볼전송율은 4.167 Mbaud가 되며 QPSK변조를 사용한 경우 비트율은 8.334 Mbps가 된다. 이 경우 유효비트율은 7.011Mbps

표 3-1. 송신안테나의 EIRP 계산.

안테나의 지향성 [°]	360	180	90	45
송신안테나이득 [dBi]	9	12	15	18
EIRP[dBW]	6	9	12	15

표 3-2. QPSK 변조에서의 비트전송율.

(채널폭 : 20MHz, 심볼 전송율 : 16.67Mbaud)

길쌈율	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
유효비트전송율(Mbps)	15.36 (71.86 dB)	20.48 (73.32 dB)	23.04 (73.62 dB)	25.60 (74.08 dB)	26.88 (74.29 dB)

표 3-3. 시스템 요소에 따른 링크버짓 계산.

안테나의 지향성 (°)	360	180	90	45
섹터 수	1	2	4	8
EIRP [dBW]	6	9	12	15
G_r [dBi]	35			
$(E_b/N_o)_{re}$ [dB]	17.8			
R [dB]	74.29			
잡음지수	6			
k [dBW/K-Hz]	$1.38 \times 10^{-20} \text{ mW/K/Hz} = -168.6 \text{ dBW/K-Hz}$			
T_A° [dBK]	300 K			
T° [dBK]	1164.5 K = 30.66 dBK			
M_i [dB]	145.85	148.85	151.85	154.85

이다. 주어진 결과와 조건들로부터 시스템 요소값 $M_i = EIRP + G - (E_b/N_o)_{re} - R - kT^\circ$ [dB]가 결정되면 그때 링크버짓 마진은 단지 L_s, L_o 의 함수가 된다. 7/8 길쌈 (Convolutional) 부호화를 이용하는 LMCS시스템에서 표3-1에서처럼 안테나의 지향성에 따른 M_i [dB]을 구하면 표 3-3과 같다.

3.2. 자유공간 손실값 계산

식 (2-6)에서 정의된 자유공간 손실값을 dB로 나타내면 아래와 같다. 여기서 주파수의 단위는 GHz이고 거리의 단위는 km이다.

$$L_s [dB] = 92.4 + 20 \log(d_{km}) + 20 \log(f_{GHz}) \quad (3-1)$$

주파수와 거리가 주어지면 식 (3-1)을 이용하여 자유공간 손실값을 계산할 수 있다.

그림 3-1에 현재 널리 사용되고 있는 초고속 무선 통신망들의 거리에 따른 자유공간 손실을 도시하였다. 그림에서 보듯이 주파수가 증가함에 따라 자유

공간을 통하여 전파하는 신호의 감쇄가 현저하게 증가하였다. 더욱이, 대부분의 자유공간 손실은 약 1 km이내에서 발생하였다. 여기서, 2 GHz는 WLL (Wireless Local Loop), 12 GHz는 인공위성, 그리고 28 GHz는 LMCS시스템의 가용 주파수를 나타낸다.

3.3. 강우에 의한 감쇄

강우에 의한 감쇄를 고려할 때 전파의 손실은 지속적인 강우보다 순간적인 강우율 (시간당 강우량으로 표현)에 영향을 더욱 크게 받는다. 순간적으로 심한 강우는 주로 번개, 천둥을 동반한 집중호우로 발생하는데 실제로 어느 지역의 강우에 의한 감쇄는 연중 평균 강우량과 지역별 평균 낙뢰 계수에 의하여 계산된다. 강우 감쇄는 전파거리에 따라 영향을 받을 확률이 바뀌고 빗방울의 형태에 따라서도 감쇄 정도가 다르게 나타난다. 또한, 폭우 때와 같이 강우 입자의 밀도가 높은 환경에서는 단파장인 경우 더욱 감쇄가 증가하여 신호를 수신할 수 없는 상태가 된다. 강우시 빗방울에 의한 감쇄 뿐 아니라 수증기 기

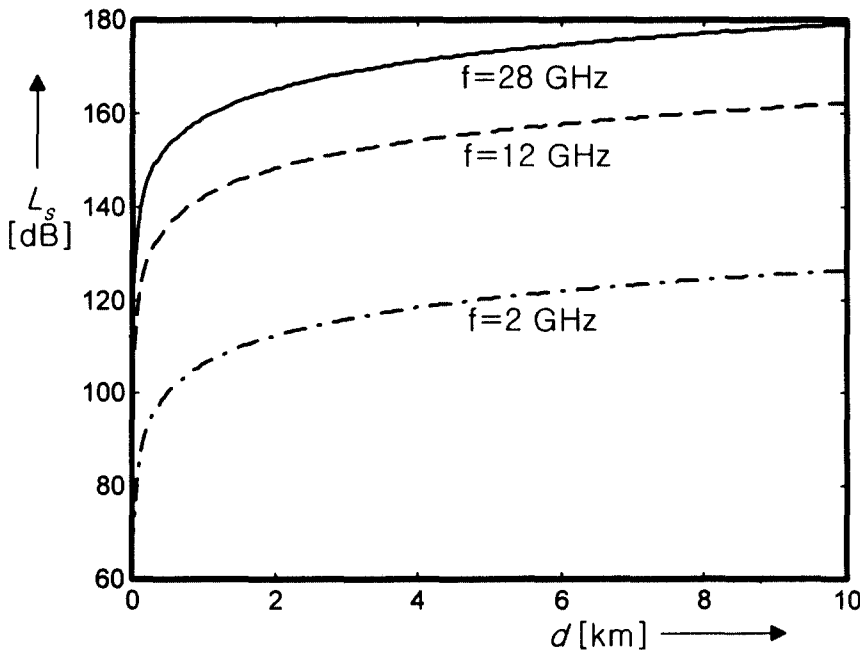


그림 3-1. 거리에 따른 자유공간 손실.

기체 분자에 의한 감쇄도 증가한다. 수증기에 의한 감쇄는 수증기 분자의 진동 주파수와 유사한 주파수대에서 감쇄가 크게 일어나며 22 GHz, 120 GHz 근처가 가장 심하다. 강우시에는 대기중 수증기양이 증가하므로 수분의 포화가 발생하여 흡수로 인한 감쇄도 더욱 증가한다.

강우 감쇄외에 산소에 의한 감쇄, 다중경로 페이딩에 의한 감쇄, 수목등에 의한 감쇄 등의 요소도 고려되어야 하나 강우감쇄는 20 GHz대의 마이크로파에 가장 실질적으로 영향을 미치는 요소이다. 그때, 다중경로 등에 의한 페이딩 현상 등은 무시되고 전적으로 시간당 내리는 강우율에 그 특성이 지배된다.

우리나라 지형에서 강우 강도와 비가용도의 관계는 표3-4에 나타나 있다. 표3-4에 나타난 자료는 국제무선통신 체계를 주관하는 ITU-R 산하 연구 그룹(SG; Study Group)의 하나인 SG3에서 강우로 인한 전파의 영향을 연구하여 권고하는 모델이다. 이 모델 중 우리나라의 경우, K-강우 지역으로 구분되어 인근의 일본, 미국의 중서부지역, 인도의 중부 지역 등과 동일한 지역으로 분류되고 있다[8]. 이 외에 지구(Global)모델에서 우리나라는 D-강우대에 속한다.

LMCS를 이용한 데이터 및 화상 서비스의 질을 고려할 때 1년에 단절되는 시간이 1시간 이하로 유지되어야 한다. 링크 비가용도가 적어지면 서비스의

표 3-4. 비가용도와 평균강우강도 (ITU-R 자료).

비가용도 [%]	1	0.3	0.1	0.03	0.01	0.003	0.01
비가용시간(/년)	87시간 36분	26시간 17분	8시간 46분	2시간 38분	53분	16분	5분
평균강우강도 (R_m (mm/hr))	2	6	12	23	42	70	100

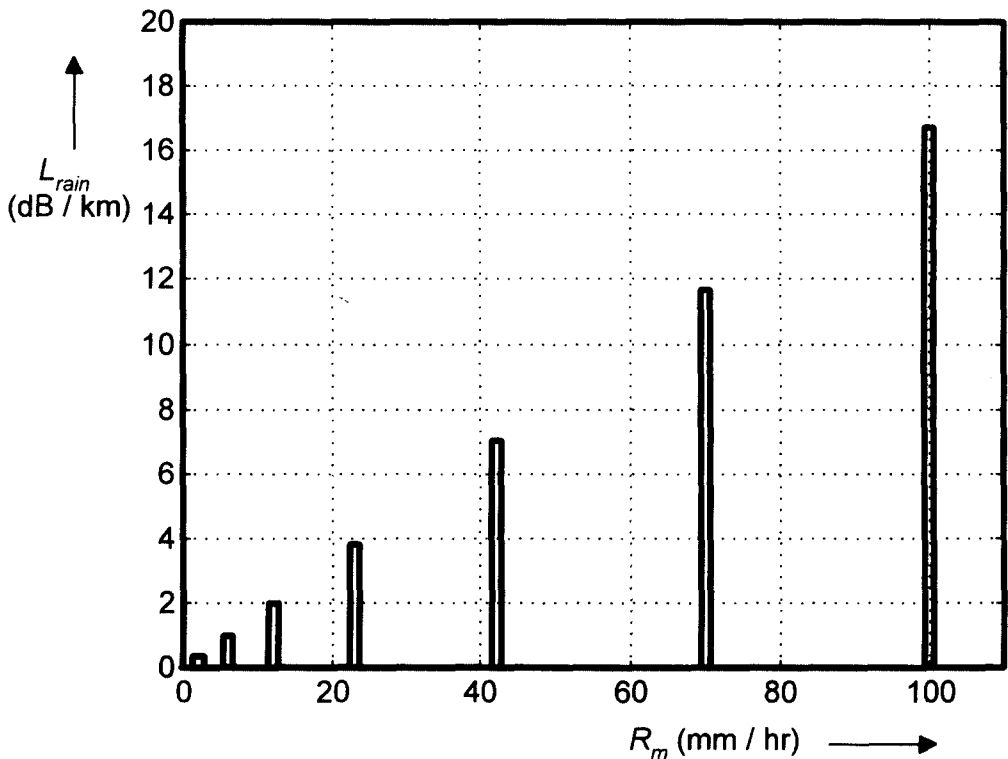


그림 3-2. 평균 강우강도에 따른 강우감쇄량.

질은 높아지나 송신단의 출력이 증가해야 하는 단점이 있어 서비스의 용도를 고려하여 적당한 링크 비가용도를 선정해주는 것이 필요하다. LMCS시스템에서는 링크 비가용도가 0.01%보다는 적어야 한다.

강우에 의한 감쇄를 L_{rain} 이라고 정의하고 시간당 평균 강우강도를 R_m 이라고 정의하면 L_{rain} 과 R_m 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립된다[9].

$$L_{rain} = aR_m^b \quad (3-2)$$

이 식에서 a, b는 감쇄 계수이며 주파수와 온도의 함수이다. 실온에서 각 주파수에 대한 수직편파와 수평편파의 a, b 값은 ITU-R에 권고되어 있다. ITU-R의 자료에 따르면 28 GHz대에서 a=0.167이고 b=1.00으로 규정되어 있다. 표 3-4와 식(3-2)를 사용하여 구한 그림 3-2에서 보듯이 평균 강우강도(mm/hr)가 증가함에 따라 강우감쇄 (dB/km)은 선형적으로 증가하였고, 평균 강우강도가 42 mm/hr 일 때 링크 가용도는 99.99% 이상 (비가용도 0.01% 이하)이 되었으며 그 때 강우감쇄량은 7.01 dB/km가 된다.

실제, 자유공간손실과 강우감쇄 이외에도 산소나 수증기 기체분자에 의해서 생기는 감쇄 요소들이 있다. 28 GHz대에서 산소에 의한 감쇄는 0.02 dB/km 정도이고 수증기 분자에 의한 감쇄는 0.08 dB/km이다. 그러므로, 이 두 기체에 의한 합은 강우에 의한 감쇄에 비하여 무시할 정도로 작은 0.1 dB/km이다.

4. LMCS에서의 서비스 영역 계산 및 전력제어

3절에서 우리는 28 GHz의 LMCS시스템용 주파수에서 링크 가용도를 99.99%로 유지하기 위한 링크 버짓 요소들을 계산하였다. 이 값들을 이용하여 식(2-17)의 링크 버짓식을 다시 쓰면 아래와 같이 표현된다.

$$M = EIRP + G_r - \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{re} - \kappa T^o \quad (4-1)$$

$$- R - 20 \log(d_{km}) - 20 \log(28)$$

$$- 92.4 - d_{km} \times (7.01 + 0.1) [\text{dB}]$$

표 4-1. 안테나 지향성에 따른 서비스 영역 도출

안테나 지향성 [°]	서비스 영역 관계식	강우에 의한 마진 [dB]	서비스 영역 [km]
360	$25.51 - 20 \log(d_{km}) - 7.11 \times d_{km}$	17.38	2.48
180	$28.51 - 20 \log(d_{km}) - 7.11 \times d_{km}$	19.42	2.77
90	$31.51 - 20 \log(d_{km}) - 7.11 \times d_{km}$	21.45	3.06
45	$34.51 - 20 \log(d_{km}) - 7.11 \times d_{km}$	23.62	3.37

표 4-2. 강우시와 비강우시의 EIRP값 및 안테나 출력값 비교

안테나 지향성 [°]	360	180	90	45
EIRP(강우시) [dBW]	6	9	12	15
송신출력값 (SSPA) [mW]	500	500	500	500
EIRP(비강우시) [dBW]	-11.4	-10.4	-9.5	-8.6
송신출력값 (SSPA) [mW]	9.1	5.8	3.6	2.2
전력제어량 [mW]	9.1~500 (17.4 dB 폭)	5.8~500 (19.4 dB 폭)	3.6~500 (21.5 dB 폭)	2.2~500 (23.6 dB 폭)

이 식은 거리 d_{km} 의 함수이며 안테나의 지향성에 따른 서비스영역 관계식을 구하면 표 4-1과 같다. 이 표에서 서비스 영역은 관계식들의 값이 0이 되는 구간 값이며 안테나의 지향성에 따른 서비스 영역은 약 2.3 km~3.3 km 정도로 나타났다.

위의 서비스 영역은 강우시 ($R_m=42\text{mm/hr}$)를 고려하여 링크 가용도를 99.99%로 유지하기 위한 것이다. 그러나, 비가 오지 않을 경우에는 전파가 더 먼 곳까지 진행하게 된다. 1년중 비가 오지 않는 경우가 비가 오는 경우보다 더 많다. 이는 에너지의 낭비가 될 뿐 아니라 인접한 셀에 영향을 끼쳐 간섭이 생기게 되므로 전력조절이 필요하다. 전력조절량은 같은 서비스 영역을 만족시키기 위한 강우를 고려한 EIRP값과 강우를 고려하지 않은 EIRP값의 차가 된다.

각 섹터 안테나의 안테나 송신출력값에 따른 전력 제어량을 표 4-2에 나타내었다. 표에서 보듯이 안테나의 지향성이 증가함에 따라 전력제어를 위한 제어폭이 증가했으며 강우에 의한 감쇄에 기인하여 전력 제어량이 매우 크게 나타났다.

5. 결 론

우리나라의 강우량을 고려할 때 QPSK변조를 사용하는 LMCS시스템에서 99.99%정도의 링크 가용도를 유지하기 위해서는 약 3 km정도의 서비스영역이 적당하였다. 안테나의 지향성이 높아짐에 따라 서비스 영역의 거리는 길어지며 360°의 안테나에서는 2.48 km이고 45°의 안테나를 사용하면 3.37 km까지 통신 서비스가 제공될 수 있음을 보였다. 더욱이, 셀로 구성된 LMCS시스템은 비가 오지 않는 경우 상호 셀간의 간섭을 최소화 하고 전력을 절약하기 위하여 적절한 전력제어가 필요하다. 이를 위하여 비 강우시와 강우시의 전력제어량을 안테나의 지향성에 따라 계산하였고 17.4 dB~23.6 dB의 제어폭을 얻었다. 본 논문에서 제안한 시스템 서비스 반경 및 전력 제어는 추후 LMCS시스템의 셀설계 및 서비스용량 산출에 근거로 사용되어질 수 있다.

<참고문헌>

- [1] 정보통신부 공고 제1997-49호, "가입자회선(WLL)용 주파수 분배," 1997.4. 9.
- [2] 정보통신부 공고 제 1997-50호, "무선CATV전송용 주파수 분배," 1997.4.9.
- [3] 한국전파진흥협회, 가입자회선용(WLL-2) 주파수 분과위원회 최종보고서, 1996. 11.
- [4] Sklar, B., Digital Communications, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1988.
- [5] TRL Microwave Technology Inc, "Korea 28GHz Wireless LMCS Test Bed System Phase I," Burnaby, B.C., V5A4T8 Canada, 1997. 4.
- [6] 한국통신무선통신연구소, "28GHz 대역에서의 효율적인 변조방식에 관한 연구 및 디지털 LMCS 시스템 설계" 학술용역 최초보고서, 1997. 10.
- [7] G.R. Henke, P. Eng, "Radio Frequency Propagation at LMDS Frequencies 25.35GHz~29.5GHz," D.E.M. Allen & Associates Ltd. Winnipeg, Manitoba, Canada, 1996. 7.
- [8] 이주환, 최용석, 김재명, "강우강도 분포 비교를 통한 국내 강우감쇠량 추정," 한국통신학회 하계학술발표회 논문집, Vol. 16, No. 1, pp.309~314, 1997.7
- [9] 장태화, 방효창, 김원후, "FSN을 위한 28GHz대역 무선 CATV 시스템의 전송특성에 관한 연구," '97 정보통신의 날 기념 학술대회, pp175~183, 1997. 4.

구 현 철

호 광 춘

<약 력>

1995년2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업 (학사).
 1997년2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업 (석사).
 1997년2월~현재 : 한국통신 무선통신연구소 전임 연구원.

<약 력>

1985년2월 : 건국대학교 공과대학 전자공학과 졸업 (학사).
 1987년2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업 (석사).
 1993년9월 : 미국 Polytechnic University (in Brooklyn) 전자물리학과 졸업 (MS).
 1996년9월 : 미국 Polytechnic University (in Brooklyn) 전자공학과 졸업 (Ph.D.).
 1989년3월~1990년7월 : 육군사관학교 전자공학과 전임강사.
 1996년9월~1997년7월 : 미국Polytechnic University (in Brooklyn) 전자공학Post-Doctoral Research Associate.
 1997년7월~현재 : 한국통신 무선통신 연구소 선임 연구원.
 관심분야 : 광통신용 광소자 설계 및 해석, M/W 소자 설계 및 전파특성 해석.

정 한 옥

<약 력>

1982년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업 (학사).
 1984년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (석사).
 1991년 9월 : 미국 State University of New York at Buffalo 전기 및 컴퓨터공학과 졸업 (Ph.D.)
 1985년 3월~1985년 12월 : 경북대학교 공과대학교 조교.
 1985년 12월~현재 : 한국통신 연구개발본부 무선통신연구소 팀장, 선임연구원.
 관심분야 : 이동무선통신, 고정무선통신, Access Network, Wireless ATM, 밀리미터파 통신.