

# 밀리미터파 대역의 이동통신 시스템에 관한 연구

문 경 섭\*

\* 호남직업훈련대학교

## Mobile and Personal Communication Systems in the Millimeter Band

Moon Gyeong Seob\*

\* Dept. of Information & Communication Facilities Honam Professional College

### 요 약

최근 정보화, 멀티미디어 시대를 맞이하여 기존의 음성 신호 이외에 화상 회의, 고화질 디지털 TV, 영상 전화와 같이 다양한 멀티미디어 정보를 고품질로 전송할 수 있는 광대역 밀리미터파 무선통신이 각광 받고 있다. 밀리미터파 대역은 문화, 군사 및 항공우주 분야 등에 널리 활용될 수 있어 관련 소자 및 시스템 개발에 많은 노력을 기울이고 있으며 최근 상업적 필요성이 대두되면서 기지국과 가입자간의 통신로를 무선화하는 BWLL(Broadband Wireless Local Loop)과 무선 LAN 및 차량 충돌방지 시스템 등 민수용 부문의 응용기술이 점차 보급됨에 따라 밀리미터파 기술은 민·군 겸용기술로 중요성이 부각되고 있다. 본 논문은 이동과 개인휴대 통신 시스템용 60GHz 밀리미터파 대역의 주요 응용 시스템은 도로, 철도 운송 시스템뿐만 아니라 실내·외용 밀리미터파 전파에 대해 소개한다.

### 1. 서 론

밀리미터파 대역이란 통상적으로 전파의 파장이 1mm에서 10mm인, 주파수 대역이 30GHz에서 300GHz사이의 스펙트럼대를 말하는 것으로 고속의 데이터나 영상정보를 분배할 수 있는 광대역성을 가지고 있다. 이런 이유로 수 년 전부터 서비스 제공업체나 시스템 설계 업체들의 많은 관심을 받고 있지만, 아직은 기술의 이용성 및 활용성에서 개발이 상당히 낙후되어 통신, 레이다, 전파천문 등에서 일부 활용되고 있는 대역이다.

최근에 모든 선진국들은 LAN과 PCN에서 개발될 이동전화, 팩스, 데이터 전송, 화상회의와 같은 새로운 통신 서비스에 대한 폭발적인 수요가 요구된다[1]. 실제적인 글로벌 통신 네트워크의 목표로 현재 개발 중인 자동화도로교통시스템(Intelligent Vehicle Highway System, IVHS)과 같은 서비스와 기존의 PCN과의 통합에 직면해 있다[2]. 더욱더 높은 데이터 통화율을 제공하는 새로운 서비스가 끊임없이 증가하는 가입자에게 도입되고 제공됨으로써, 기존의 마이크로파 대역(900MHz-20GHz)은 급격하게 포화될 것으로 여겨진다[3].

본 논문에서는 밀리미터파 전파전파 특성과 전파에 영향을 미치는 여러 가지 실제적인 요소를 고찰하고 밀리미터파의 이동과 개인휴대 통신 시스템용 60GHz 밀리미터파 대역의 주요 응용 시스

템 전파에 대해 소개한다.

### II. 밀리미터파의 전파 전파 특성

#### 2.1 60GHz 실내·외무선 채널 특성

60GHz에서 송수신기 사이의 경로 손실 측정은 CW와 스펙트럼 분석기로 수행된다. 측정 안테나의 방사 패턴은 수직면에 협소(5°의 3dB 대역폭)하고 수평면에서 넓다(90°). 60GHz에서 장애물에 의한 심각한 웨도잉 효과가 발생한다. 1ns의 측정 해상도로 측정할 수 있는 각각의 ray에서 측정된 채널 임펄스 응답은 밀리미터파 실내 무선 채널

표 1. 60GHz 주파수 대에서의 지연확산 파라미터 측정결과

최대지연확산 [ns]	RMS 지연확산 [ns]	비고
실내 환경		
460	100	대형빌딩
60	13	작은 사무실
322	30~70	large room
207	15~45	small room
실외 환경		
230	20~50	심각한 다중경로를 겪지 않는 city street
690이상	150 이상	city square

이 근본적으로 다중경로 채널이라는 것을 보여준다. 특히, 작은 방에서 전형적인 RMS 지연 확산 값은 15~45ns이고, 큰 규모의 실내 환경에서는 30~70ns의 범위를 갖는 것으로 측정되었다. 60GHz 실내환경에서 측정된 최대 RMS 지연 확산 값은 100ns이다. 따라서 실내 환경에서 RMS 지연확산은 13~100ns의 범위로 나타났다.

실외의 경우 다중경로 페이딩이 심각하지 않은 도시거리에서는 20ns~50ns의 RMS 지연확산 값으로 측정되었고, 도시거리보다 더 큰 도시 광장에서는 150ns 이상의 값이 나타났다. 따라서 측정 결과에 의하면 일반적으로 지연확산의 크기는 건물 크기에 의해 결정됨을 알 수 있다. 표1에는 60GHz 대역에서의 측정에 의해 구해진 전형적인 지연확산 값들을 나타낸다.

### 2.3 경로 손실

도시 지역에서 마이크로웨이브 무선 통신은 극히 복잡한 다중경로 전파 현상을 보인다. 그 결과 통신시스템의 성능 평가는 적어도 네트워크 디자인의 예비 측면에서 어떤 특정 모델에 의존한다. 그러한 전파 모델의 첫 번째 클래스는 거리의 함수로써 수신된 신호 전력의 변화에 대한 경험적 법칙을 유도하기 위해서 송신기로부터의 다양한 거리에서 취해진 충분한 정도의 필드 측정에 기반한다. 위의 영역에서 일반적으로 사용하는 모델은 다음과 같다[4-6].

$$P(d) = P(d_0)(d_0/d)^\gamma, \quad d \geq d_0 \quad (1)$$

여기서,  $P(d)$ 는 송신기로부터  $d(\text{km})$ 만큼 떨어진 곳에서의 수신 전력이고,  $d_0$ 는 참고 거리이다 ( $\text{km}$ ).  $P(d_0)$ 는 참고 거리에서의 수신 전력이고  $\gamma$ 는 실험적으로 결정되며 특정 환경에 따라 변화하는 전파 성분이다. 특히,  $\gamma$ 는 3부터 4까지 변화할 때, 식 1은 UHF 대역(300MHz-3GHz)용의 전형적인 도시 지역에서 취해진 전파 측정치와 일치하는 것으로 나타난다[5]. 동일한 모델이 실내 전파의 특정한 경우에서도 사용될 수 있다[5]. 경로 손실  $L$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$L = \frac{P(d)}{P(d_0)} = \left(\frac{d_0}{d}\right)^\gamma, \quad d \geq d_0 \quad (2)$$

물론, (식 1)은 수신된 필드를 정확히 설명하지 못하지만 오히려 그것은 거리의 함수로써 수신된

신호 레벨의 평균치를 제공한다. (식 2)는 적절한 등가 전파 성분  $\bar{\gamma}$ 이 UHF 측정치에서 유도된  $\gamma$  값 대신에 사용될 때 60GHz에서 동작하는 셀룰러 시스템의 경로 손실을 평가할 수 있다.

### 2.4 다중 경로 전파

특정 환경 하에서 제한된 경로(전형적으로 2에서 4)수로 모델을 단순하기 위해서 재분류할 수 있다. 송신기가 긴 도로에서 방사하여 몇 개가 반사가 도로 표면이나 벽에서 발생하는 도시 환경에서 LOS 링크의 경우에 이러한 모델이 해당된다. 2-ray 경로 또는 3-ray 모델은 또한 개활지에서 전파를 설명하기에 편리하다. 60GHz에서 단거리(500m까지) 차량간 무선 링크에 관한 채널모델을 나타내는 측정치가 PROMETHEUS 연구 프로그램의 구성에서 Schafer에 의해서 수행되었다. 수신 필드는 LOS, 도로 표면에서 반사된 성분, 나무, 이웃하는 차량 등과 같은 주위 장애물로부터 반사된 산란파 성분으로 구성된다.

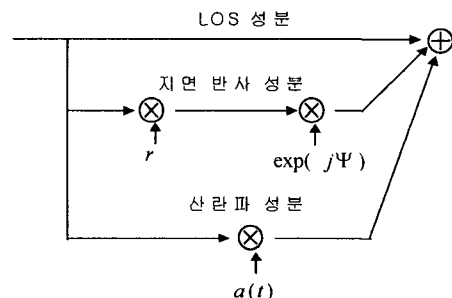


그림 1. 60GHz 전송용 단거리 전파

그림 1은 60GHz에서 단거리(500m까지) 차량간 무선 링크에 관한 채널모델에 대한 적절한 지역 복소 등가 모델을 보여준다. 여기서  $\gamma$ 는 반사된 필드 강도와 충돌한 필드 강도 사이의 비로 정의된 실수 값을 가지는 반사 계수(잘 구부러진 도로의 전형적인 값  $r = -0.99$ )이고,  $\psi$ 는 직접파와 도로 반사파 사이의 위상 천이이며 다음과 같이 주어진다.

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} [\sqrt{(h_T + h_R)^2 + d^2} - \sqrt{(h_T - h_R)^2 + d^2}] \quad (3)$$

여기서,  $\lambda$ 는 파장(60GHz에서 5mm)이고  $h_T$ ,  $h_R$ 는 각각 송수신기 안테나의 지면으로부터의 높이이다. 산란파 성분이 생략된 2-ray 전파모델로

가정한다면 송신기로부터 거리  $d$ 만큼 떨어진 곳에서 수신 전력을 다음과 같이 표현한다.

$$P(d) = [(1 + r \cos \psi)^2 + (r \sin \psi)^2] (d_0/d)^2 \quad (4)$$

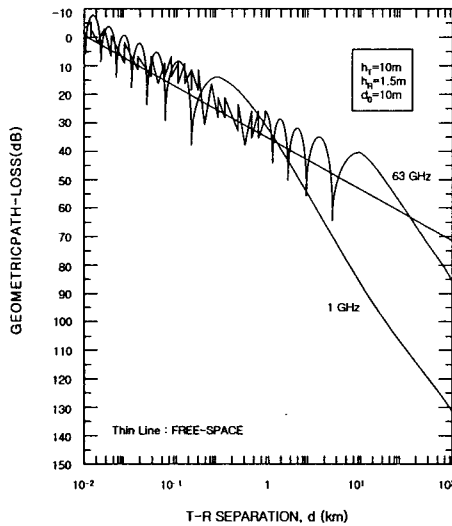


그림 2. 2-ray 모델에서 거리에 따른 지형 경로 손실  $L_G$

그림 2은 1GHz와 63GHz에서 각각  $h_T=10m$ ,  $h_R=1.5m$ ,  $d_0=10m$ 로 가정할 때, 두 신호에 대한  $L_G$ 대  $d$ 의 곡선을 보여준다. 두 곡선은 포락선이  $(d/d_0)^{-2}$ 로 풀오프하는 fluctuation field 특성을 가지는 "near-field region"과 일반적인 4승의 전력 감쇠 법칙에 따른 지형적 경로 손실이 40dB/decade인 "far-field region"을 보여준다.

$$L_G \propto (d/d_0)^4 \quad (5)$$

near-field와 far-field 영역 사이의 기울기 변화는  $dx = 4h_T h_R / \lambda$ 로 대략 주어진 T-R 거리  $dx$ 에 대하여 발생한다. 1GHz에서  $dx=314m$ , 63GHz에서  $dx=20Km$ 를 가지므로, 60GHz 대역에서 short-range 무선 링크의 전파는 (2-ray 전파 모델이 적용되었을 때) 거리의 2승으로 감소하는 필드 강도를 나타낸다고 결론 내릴 수 있다.

## 2.6 마이크로 셀룰러 환경

밀리미터파의 심각한 결점은 신호 전파 중 강우에 의해 커다란 영향을 받는 것으로도 나타난다. 그림 3은  $\gamma=2$  대하여 거리  $d_0=0.1 Km$ 에서 언

급된 경로 손실  $L$ 을 보여준다. 그 곡선은 1GHz와 63GHz( $\alpha_{oxy}=11 dB/Km$ )에 대하여 도시되었고, 후자의 경우 강우율  $\rho$ 의 서로 다른 값에 대하여 도시되었다. 이상적인 자유공간 경로 손실의 비교를 위해서 고려되었다. 대기 상태에 대한 밀리미터파 전파의 민감도가 분명하게 나타난다.

마이크로 셀룰러 환경에서 감소된 셀 크기로 인해서 최소 지연 경로와 관련되어 계산된 다중 경로 지연의 RMS 값으로써 정의된 지연확산은 기존의 셀룰러 시스템보다 훨씬 작다. 그 결과로써 허용된 최대 비트율은 증가될 수 있다. 반면에, 조밀한 셀룰러 시스템의 설계는 주로 핸드 오버 관리로 인해서 관리와 제어의 관점에서 많은 수고를 필요로 한다. 이러한 문제는 동일한 주파수 채널에서 동작하는 기준 기지국 주위에 마이크로 셀의 첫 번째 tier를 놓고 가장 크게 수신된 전력 레벨을 제공하는 이동국과 기지국 링크를 선택함으로써 부분적으로 빠져나갈 수 있다. 그러나 이러한 솔루션은 강한 다중경로 왜곡을 불러일으킬 수 있다. 동일한 주파수 대역을 사용하는 셀들 사이의 거리는 동일한 기지국과 셀 반경이  $R$ 인 두 기지국들 사이의 최소 거리  $D_s$ 로 주어진 주파수 재사용 인자  $q \equiv D_s/R$ 에 의해서 측정된다.

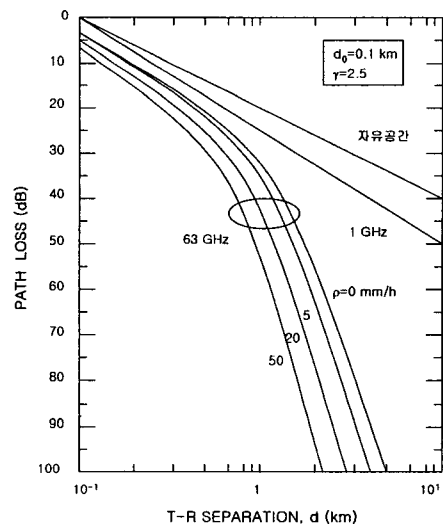


그림 3. 63GHz에서 강우율에 따른 경로 손실 ( $\alpha_{oxy}=11dB/km$ )

재사용 인자  $q$ 가 작으면 작을수록 단위 면적당 사용자 측면에서 시스템의 용량을 크게 할 수 있다. 어떤 서비스에 할당된 고정된 대역폭에 대

하여 더 많은 사용자 밀도(즉, 면적(Km) 당 활동 사용자의 수)를 요구하면 더욱 작은 셀(가능한 한  $R \leq 1$  Km, 마이크로셀)을 필요로 한다. (마이크로) 셀룰러 시나리오에서 60GHz 대역을 사용하는 것은 2배의 이득이 있다. 즉, 더욱 넓은 대역폭이 특정 서비스에 대하여 할당될 수 있으므로 더욱 많은 가입자가 동시에 접속할 수 있다. 또한, 산소 흡수가 동일 채널 셀 사이의 이격을 자연스럽게 증가시키므로 주파수 재사용 인자를 줄일 수 있다 [4].

### III. 밀리미터파의 응용시스템

밀리미터파 대역은 그 자체의 전파전파 특성상 아직은 그 응용범위가 극히 제한되어 있으나, 일본과 미국, 유럽 등의 선진국가에서는 밀리미터파의 이용을 다음 세대의 무선통신 주파수 자원이라고 결정짓고 시스템에서부터 소자에 이르기까지 상용화를 염두에 두고 많은 연구비를 투자하여 기술축적에 힘쓰고 있다.

지금까지는 밀리미터파 대역이 전파천문이나 레이더 등의 특수 분야에 제한적으로 사용되고 있으나, 60GHz 대역을 중심으로 한 흡수대역은 고밀집 데이터 전송이 가능하면서도 보안성이 요구되는 고속통신용 캐리어로 이용 가능하므로, 기술선진국에서는 밀리미터파 무선 LAN, 근거리 초고속 무선 밀리미터파 통신기술 개발을 비롯한 광대역 무선 디지털 통신 시스템 개발에 박차를 가하고 있다.

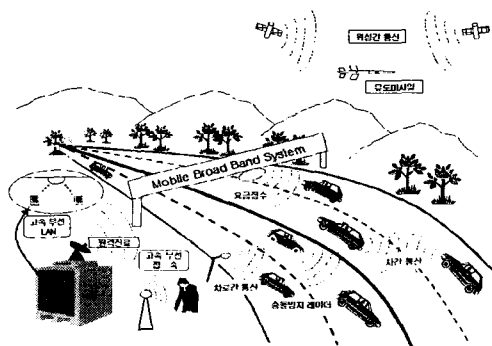


그림 4. 밀리미터파를 활용한 무선통신

국내 밀리미터파 대역은 한국전파진흥협회에 의해 70GHz까지는 활용계획이 수립되어 있으나 100GHz대역 이상에서의 활용 계획은 전무한 실정

이다. 한국전파진흥협회내 수신 멀티미디어용 주파수분과위원회는 밀리미터파 멀티미디어에 대한 기술분석과 수요조사를 통해 적절한 운용 주파수대를 찾고, 소요 대역폭을 산출하기 위한 활동을 하고 있다.

#### 3.1 광 대역 망과 서비스

넓은 스펙트럼 대역폭을 이용하는 것은 고정 또는 이동 사용자에게 고속 비디오 또는 데이터 전송을 제공하는 서비스의 구현에 매우 매력적이다. 위의 특징이 60GHz에서 동작하는 광 대역 네트워크에 초점을 맞춘 여러 연구에 동기가 되었다. 특히, 중요한 연구 활동이 EU에서 제공한 ACTS와 RACE2 프로젝트의 골격에서 현재 개발 중이다.

조사되는 주제들 중에서 RACE2 프로젝트 R2067의 골격 내에서 유럽 공동의 팀에서 장치가 되고 1995년에 완료된 "Mobile Broadband System"(MBS)을 언급한다. 이것은 이동체에서 고정된 비콘까지 32Mb/s의 데이터율로 그리고 셀룰러 시스템에서 155MB/s까지 전송할 수 있는 60GHz 무선 링크의 용이성을 분석하였다[8].

최근 진행중인 또 다른 ACTS 프로젝트 (SAMBA : AC204 [9])는 ATM 링크에 의해서 멀티미디어와 고속 서비스를 제공하는 무선 네트워크의 개발을 통해 이동 사용자와의 확장된 광 대역 연결을 목적으로 한다.

SAMBA 프로젝트에서 상상되는 응용은 데이터 베이스 정보 접속, 의료 영상 전송, 무선 TV 카메라 등이다.

#### 3.2 실내와 코드리스 폰

마이크로 셀룰러 구조는 특히, 정부 청사나 회사와 같은 큰 빌딩 내에서의 실내 응용에 적합하다[10]. 이것은 운집된 환경에서 높은 전송 능력을 필요로 한다. 그러한 임의의 빌딩은 전형적인 사무실, 현관, 룸을 수반한 여러 개의 작은 셀로 나눌 수 있다. 간섭을 줄이기 위해서 커버리지는 PSTN 망과 연결할 수 있도록 60GHz기지역에 의해서 제공될 수 있다. 이러한 솔루션은 용량을 증가시키고 망 관리가 간단하고 새로운 사용자와 터미널의 이동성을 수용하기에 용이한 것과 같은 여러 가지 이점이 있다. 하지만 내부 표면으로부터 많은 반사가 있기 때문에 심각한 다중경로 전파가 발생한다[11]. 지연확산  $\tau$ 의 측정치가 60GHz에서

3-13ns 범위에서 나타나고, 1.7GHz에서 8-24ns에서 나타났다. 60GHz에서 관찰된  $\tau$ 의 감소는 반사 경로에서 겪는 산소 흡수에 의해서 결정될 것으로 여겨진다.

### 3.3 첨단 차량 및 도로시스템 기술(IVHS:Advanced Vehicle & Highway System)

차량으로부터 또는 차량으로 실시간 전송해야 하는 정보의 형태는 매우 다양한데, 그 중 차량간 정보통신의 유형은 크게 운전자 사이의 정보교환을 의미하는 개인적인 정보와 차량의 운행상태 즉 위치, 속도, 가속도 및 운전자의 조작의도를 상호 교환하는 차량의 안전운행관련 정보 등으로 구분할 수 있다. 현재 차량과 차량간의 무선통신 방법으로 많이 이용되고 있는 것은 적외선 통신과 밀리미터 통신인데, 밀리미터파인 경우에는 차간거리 측정용으로 사용되는 밀리미터파 레이더가 76GHz/24GHz/60GHz 대역에서 연구 중에 있다.

ITS와 관련한 외국의 주파수 분배 및 이용현황은 다음과 같다.

- (1) 38.5GHz
  - 밀리미터파 도플러 속도 센서
- (2) 66GHz
  - 자동차와 비콘간 통신
  - 자동차간 통신
  - 자동차 자동과금 시스템
  - 교통량 관리 및 운행자 정보 시스템
- (3) 60~61GHz, 76~79GHz
  - 자동차용 밀리미터파 레이더
  - 밀리미터파 위치확인 시스템
- (4) 82GHz
  - 밀리미터파 도플러 속도 센서

### 3.4 철도 통신

현대의 철도 운송 시스템에서 네트워크에서 철도 트래픽 제어 센터와 기차 사이의 효과적인 통신이 극히 필요하다[12]. 그러한 통신 용량은 트래픽 제어에 필요한 정보를 보내기 위해서 저속에서 중속의 데이터율을 제공해야 하며 다른 통신 시스템과 최소한의 간섭으로 공존해야 한다. 이러한 목적을 위해서 Deutsche Bundesbahn(German Federal Railways Company)에서 지원된 몇 가지 예비 실험이 35GHz와 58GHz 에서 64kb/s로 통신을 위해서 ASK 변조를 사용하여 독일에서 수행되

었다. 그림 5는 철도통신시스템의 도식적 표현이다. 8GHz의 경우에, 2-ray 전파 모델이 아마도 반사 경로의 효과를 줄이는 높은 대기 감쇠(58GHz에서 13dB/km, 35GHz에서 0.3dB)로 인해서 실험 결과와 잘 일치하는 것으로 발견되었다. 35GHz에서 수행된 예비 필드 측정에서 터널 안쪽 벽에서와 철교 아래에서 반사에 의해서 강한 다중경로 전파가 드러났다.

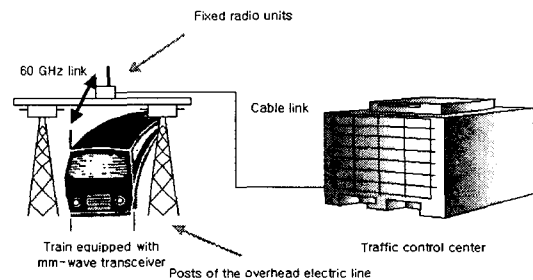


그림 5. 60GHz 무선 링크에 기초한 철도통신 시스템

특히, 터널은 마치 큰 도파관 같이 전파를 전달하는 것으로 밝혀졌다. 그러나 58GHz까지 캐리어 주파수를 증가시킴으로써 다중경로 전파와 터널 안쪽의 도파관 효과가 산소 감쇠 때문에 상당히 감소되었다. 송신 안테나의 방사 빔을 적절히 선택하고 공간 다이버시티 수신을 사용하는 것이 다중경로 효과에 대항하는 충분한 대책임을 증명하였고, 반면에 편파의 선택은 전파에서 무시할 수 있는 영향을 가짐을 알 수 있었다.

### 3.6 위성간 링크

위성간 링크(ISLs)를 위한 60GHz의 사용은 ESA[14]와 NASA[15]의 두 주요 우주 조직에 의해서 조사되어왔다. 이러한 종류의 응용에서 신호는 자유공간 전파 손실만을 받게 된다. 왜냐하면 무선 경로가 대기밖에 전부 놓여있고 지구 주위의 산소 벨트가 지구국과의 간섭을 피할 수 있기 때문이다. ESA 연구에서는 고 이득 안테나(55dBi)를 사용하고 8W 미만을 요구하는 공간적으로 50°떨어져있는 두 개의 GEO 위성 사이의 120Mb/s에서 위성간 링크의 용이성을 설명하였다. NASA는 하나의 위성에 의해서 링크되기에 너무 먼 두 개의 지구국으로부터 신호를 릴레이 하는 두 개 이상의 GEO 위성의 사용을 상상하였다. 60GHz 대역을 위해 또 달리 제안된 응용은 하나의 클러스터(공

간적으로 50km 미만)에 속하는 위성들 사이 또는 릴레이 위성과 궤도 우주-국 사이의 통신에 의해서 표현된다.

### 3.7 군 통신

산소에 의해서 도입된 전파의 감쇠는 특히 군 통신 분야(낮은 인터셉트 확률(LPI)이 가장 중요하다[15])에서 효과적인 것으로 드러났다. 그럼에도 불구하고 60 GHz 대역에서 무선 통신은 기존의 HF, VHF 또는 UHF 대역에서 보다 원치 않는 권한이 없는 청취자에 대항하여 더욱 좋은 프로텍션을 보증한다. 60GHz에서 동작하는 통신 장비의 몇 가지 실물형태가 개발되었다. 그들 중에서 우리는 AEGm Ulm, 독일에서 구현된 8mW 전력을 사용하여 1500m 이내를 커버하는 근거리 통신을 하기 위한 60GHz 워키토키를 언급한다.

## IV. 결론

지금까지 밀리미터파 대역은 군사, 천문학 등의 극히 한정된 분야에서만 이용되어 왔기 때문에 상용시장이 극히 미미하게 형성되었으나 최근 외국의 몇 개국을 중심으로 주파수 재사용이 가능한 실내통신에의 밀리미터파의 이용과 ITS통신, 차량용 레이더, 무선광대역 통신 등의 분야에서 38GHz, 60GHz, 63GHz, 77GHz 등이 상용화되어 가고 있다.

반사와 회절 경로에 의해서 더욱 높은 산소 감쇠에 기인하여 60GHz 대역에서 단거리 통신에서는 기존의 UHF 이동 셀룰러 시스템에서 발생했던 다중 경로 전파가 문제가 되지 않는다. 특히, 도로 교통 응용을 위한 전형적인 채널 모델은 2-ray 전파 모델을 생각할 수 있다. 여기서 수신된 신호는 LOS 성분과 안테나 주위에서 반사된 성분들이 결합되어 들어온다.

이러한 밀리미터파의 이용기술 개발을 확대하고 차세대 통신 시장에서 뒤떨어지지 않으려면 발진기, 증폭기, 믹서, MMIC소자 및 안테나 설계 등 부품기술개발에 대한 꾸준한 노력 및 투자가 필요하며, 아울러 밀리미터파의 전파전파 특성에 대한 기반 연구가 시급하게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Special issue on "Wireless Personal Communications", IEEE Communications Magazine, 1995.
- [2] I. Catling (ed.), Advanced Technology for Road Transport, Artech House Publishers : London, 1994.
- [3] Special issue on "Millimeter Wave Communications Systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1983.
- [4] T. S. Rappaport, "The wireless revolution," IEEE Communications Magazine, pp. 52-71, 1991.
- [5] J. B. Andersen, T. S. Rappaport and S. Yoshida, "Propagation measurements and models for wireless communications channels," IEEE Communications Magazine, pp. 42-49, 1995.
- [6] G. L. St?er and C. Kchao, "Analysis of a multiple-cell direct-sequence CDMA cellular mobile radio system," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, pp. 669-679, 1992.
- [7] N. d. Hawkins, R. Steele, D. C. Richard and C. R. Shepered, "Path loss characteristics of 60 GHz transmission," IEE Electronics Letters, pp. 1054-1055, 1985.
- [8] A. Plattner, "Technology and Demonstrator of the RACE Project 'Mobile Broadband System'", IEEE MTT-S International Microwave Symposium, S. Diego, 1994.
- [9] D. Molkdar, "Review on Radio Propagation into and within Buildings", IEEE Proceedings. Pt. H, pp. 943-967, 1991.
- [10] B. Coifman and M. Hansen, "IVHS warning can be fit for right rail," IEEE Vehicular Technology Society News, pp. 26-33, 1995.
- [11] H. Hashemi, "The Indoor Radio Propagation Channel", Proceedings of the IEEE, pp. 943-967, 1993.

- [12] H. Meinel, A. Plattner and G. Reinhold, "A 40GHz Railway Communication System", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 615-622, 1983.
- [13] R. Steele, "Towards a high-capacity digital cellular mobile radio system," *IEE Proceedings*, Pt. F, pp. 405-415, 1985.
- [14] E. Damosso, L. Stola and G. Brussaard, "Characterisation of the 50-70GHz Band for Space Communications", *ESA Journal*, Vol. 7, pp. 25-43, 1983.
- [15] G. Anzic, D.J. Connolly, E.J. Haugland and H.G. Kosmahl, "A Study of 60 GHz Intersatellite Link Application", *IEEE ICC*, Boston, 1983.

# WCDMA 시스템의 성능 분석에 관한 연구

문경섭\*

\* 호남직업훈련원

## A Study on the Performance Analysis of WCDMA System

Moon Gyeong Seob\*

\* Dept. of Information & Communication Facilities Honam Professional College

### 요 약

본 논문에서는 WCDMA/TDD시스템에서 실외 환경에 셀 간 간섭 모델과 빌딩내의 층 간 간섭 모델을 비교하여 성능을 분석하였다. 실내 빌딩 환경에서 층 간 간섭 분석 모델을 고려 시, 건축 자재에 의한 전파 투과손실로 인해 인접 셀로부터 오는 간섭의 영향이 작아짐으로 실외환경을 고려한 셀 간 간섭 모델에 비해 성능이 좋음을 알 수 있었다. 따라서 WCDMA/TDD시스템은 광범위한 교외지역이나 피코 셀로 설계된 도심지역보다 층 간 간섭 모델을 기반으로 둔 빌딩내 사무실 환경을 고려한 시스템 설계에 더 적합할 것이라 사료된다.

### 1. 서론

3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 비대칭 서비스의 수요 증가 예측과 IMT-2000대역 내에서 효율적인 자원 활용과 서비스 제공을 위해 TDD(Time Division Duplex) 방식의 채택 및 운용이 필요하다고 인식되어 표준화작업이 진행되고 있다<sup>[1][2]</sup>. TDD 모드에서는 FDD(Frequency Division Duplex) 모드와는 다르게 하나의 주파수 대역에 순방향 링크와 역방향 링크를 시분할 하여 할당하게 된다. 그러나, 빠른 시변 채널에서는 기존의 SIR 기반의 빠른 전력 제어를 적용할 수 없는 단점이 있고, 일반적인 CDMA 시스템에서처럼 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference: MAI)에 의해 시스템 성능이 좌우된다<sup>[3]</sup>. 특히, TDD 모드에서는 FDD에 비해 상대적으로 낮은 확산계수의 OVFSF(Orthogonal

Variable Spreading Factor) 코드(최대 16 chip)와 스크램블링 코드(길이 16 chip)를 사용하기 때문에 다중 접속의 영향에 민감하다<sup>[2]</sup>.

또한, TDD 시스템에서 가장 중요하게 고려되어야 하는 요소는 가드타임에 대한 설정이다. 셀 내에서 이동국이 기지국으로부터 무작위한 거리에 위치함을 고려하면 기지국으로부터 이동국까지 시간지연은 각각 다를 수 있다. 이때 거리에 따른 전파전파 시간지연(300m/usec)에 의하여 특정위치의 단말기가 수신모드에서 송신모드로 변화되는 시점

에 아직 다른 단말기가 수신모드에 남아 있다면 송·수신 충돌현상이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 설계하고자 하는 셀 반경을 고려하여 송신모드와 수신모드 사이에 셀 반경에 의한 최대 전파전파 지연시간 만큼의 가드 타임(Guard Time)이 필요하게 된다. 그러나, TDD 시스템이 피코 셀이나 인빌딩 목적으로 사용됨을 고려하면 가드 타임이 충분하다 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 피코 셀 환경을 고려하여 간섭분석을 하였다. 또한 기존의 TDD모드 방식을 실내 빌딩환경에서 고려함으로써 층 간 간섭 분석모델을 제안했다.

2장에서는 WCDMA/TDD시스템의 기본적인 내용을 기술하였고, 3장에서는 TDD 간섭분석모델을 실외 셀 간 간섭모델과 제안된 빌딩내의 층 간 간섭 모델로 구성하였다. 그리고 4장에서는 두 간섭 분석모델을 분석·비교하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

### 2. WCDMA/TDD 시스템

TDD 시스템은 기본 FDD 방식의 채널 변·복조 방식 상에 큰 차이는 없으며 송신과 수신을 같은 주파수 채널 상에서 시간적으로 순차적으로 교차하여 사용하도록 하는 방식이다. 다음 <표 1>는 UTRA-TDD 시스템과 UTRA-FDD 시스템을 비교하여 정리한 것이다.



<표 1> UTRA-TDD 시스템과 UTRA-FDD 시스템

구분	UTRA TDD	UTRA FDD
다중접속 방법	TDMA, CDMA	CDMA
다중화 방법	TDD	FDD
채널간격	5 MHz	
반송파 chip 속도	3.84 Mcps	
타임슬롯 구조	15 슬롯/프레임	
프레임 길이	10ms	
FEC	컨볼루션 부호화 : R=1/2, 1/3, 구속장 K=9	
인터리빙	프레임간의 인터리빙(10, 20, 40, 80ms)	
변조	QPSK	
버스트 형태	가자 : 통화버스트, 랜덤접속 및 동기버스트	
검파	미드앰블에 기초한 동기	파일럿 심볼에 기초한 동기

UTRA-TDD 시스템은 송·수신 주파수가 분리되지 않은 한 개의 밴드로서 구성된다.

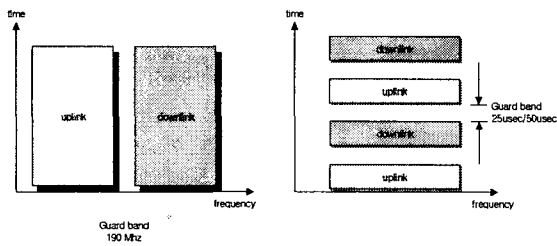


그림 1 FDD와 TDD의 주파수 할당

TDD 시스템에서는 한 프레임 내에서 15개 슬롯을 역방향과 순방향으로 분리하여 할당한다. 이와 같이 할당되는 슬롯의 비율은 변경이 가능하기 때문에 역방향 링크와 순방향 링크의 통화 용량 제어가 가능하다. 순방향 링크에서는 동기 채널을 위하여 15개 슬롯 중 최소 2개의 슬롯 할당이 되어야 하며, 역방향 링크에서는 액세스 채널을 위하여 최소한 1개의 슬롯이 할당되어야 한다.

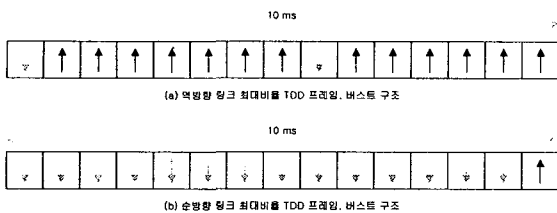


그림 2 역방향 링크 및 순방향 링크의 비대칭 할당 예

송·수신 슬롯이 비대칭으로 할당됨을 고려 시, 순방향과 역방향에 동일한 셀 반경을 위해서는 비대칭 비율만큼 더 큰 출력이 요구된다. 즉 1개의 역방향과 14개의 순방향 슬롯 할당 시 동일한 셀 반경을 확보하기 위해서는 이동국에서 12dB(= 10 × log(1/15))만큼의 최대 출력 증가가 요구된다. 이러한 면을 최대출력 마진으로 고려 시 TDD 방식은 셀 반경이 작은 피코 셀이나 인빌딩 용도로 사용됨이 적절하다.

또한, 15개의 슬롯 중 1,2개만의 슬롯이 순방향 또는 역방향으로 할당 되더라도 FDD 방식에서의 데이터 전송속도가 보장되어야 하며, 이를 위해서는 FDD와는 다른 확산인자(Spreading Factor) 적용이 요구된다. 즉 FDD 방식에서의 확산인자 4~512는 TDD 방식에서는 1~16으로 변경되어 설정된다. TDD 시스템에서는 단말기의 송신출력이 불연속적이다. 이러한 불연속 특성은 가청주파수 대역으로서 음향기기에 영향을 미칠 수 있을 수 있다.

TDD 시스템은 역방향 링크와 순방향 링크의 주파수가 같아서, 기지국 및 이동국이 동일 주파수에서 송신과 수신을 하기 때문에 간섭 영향에 대한 고려가 특별히 요구된다. TDD 시스템 간의 간섭(TDD-TDD Interference)의 경우에는 이동국과 이동국 사이의 간섭, 즉 이동국이 기지국으로 송신한 신호를 인접 셀의 이동국2가 수신하는 경우의 간섭이 있을 수 있다. 또한 기지국과 기지국 사이에서도 유사한 간섭이 일어날 수 있다.

또한, TDD 시스템을 비교적 용량이 충분한 FDD 시스템의 특정 대역에 위치시켜 사용할 수도 있는데, 이와 같이 TDD 시스템과 FDD 시스템이 공존하는 경우에는 다음과 같은 간섭들도 고려하여야 한다. 즉, TDD 이동국이 FDD 기지국에 주는 간섭 및 FDD 이동국이 TDD 기지국에 주는 간섭, FDD 이동국과 TDD 이동국 사이의 간섭 등의 영향을 고려하여야 한다.

따라서, UTRA-TDD 시스템은 TDD기지국 사이의 동기를 맞추는 것을 의무조항으로 하고 있다<sup>[4]</sup>.

### 3. TDD 시스템의 간섭분석

#### 3.1 실외환경에서 셀 간 간섭분석

그림1은 이동국이 기준 셀에서 가장 멀리 떨어져 있고 인접 셀에서는 가장 가까운 위치에 있을 때 인접 셀에 의한 간섭을 모델화한 것이다.

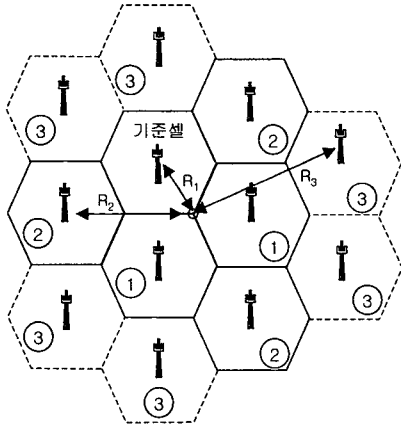


그림 3 실외환경에서 셀 간 간섭 분석 모델

WCDMA/TDD시스템에서 셀 간 간섭을 분석하기 위해 실외에서 피코 셀 환경을 기반으로 간섭 분석을 하였다.

$$SNR = \frac{E_b \cdot A^2}{\frac{MUI}{3M} + N_0} \quad (1)$$

$$= \frac{E_b \cdot A^2}{\frac{2K}{3M} + \frac{2(K+1)}{3M} E_b \cdot A^2 \left( \frac{2}{R_1^{\alpha}} + \frac{3}{R_2^{\alpha}} + \frac{6}{R_3^{\alpha}} \right) + N_0} \quad (2)$$

$$SNR = \frac{1}{\frac{2K + (2K+2) \cdot 3.615}{3M} + \frac{1}{r}} \quad (3)$$

여기서,  $\gamma$ 는 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)이다.

MUI는 동일 셀내에서 간섭  $I_1$ 과 인접셀로부터의 간섭  $I_2$ 의 합이 된다<sup>[5]</sup>. 거리에 따른 인접 셀로부터의 간섭은 감쇠정수  $\alpha$ 에 의해 간섭의 영향을 받는다.

### 3.2 빌딩 내에서 층간 간섭분석

WCDMA/TDD시스템은 가드타임에 대한 문제점 때문에 피코 셀이나 인빌딩 목적으로 사용된다. 인빌딩 환경에서 적용할 경우, 각 층은 단일 셀로 형성이 된다. 따라서 셀 간 간섭을 고려한 시스템 분석 시 기존의 횡축 셀 간섭모델은 인빌딩 환경에서 적합하지 않게 된다. 본 논문에서는 인빌딩 환경에서 셀 간섭을 분석하는 모델로 종축으로 형성되는 셀 간 간섭 모델을 제안한다. 간섭분석 모델은 그림 4와 같고 종축 셀 형성 환경에서는 층간 간섭에 대한 영향을 고려해야 한다.

각 층에 대한 간섭의 영향은 층간을 구성하는 건축자재에 따라 감쇠정수  $\alpha$ 에 의해 신호전력이

감쇄된다. 또한, 투과 층수가 많을수록 감쇠정수  $\alpha$ 가 커지므로 간섭의 영향이 작아짐을 알 수 있다.

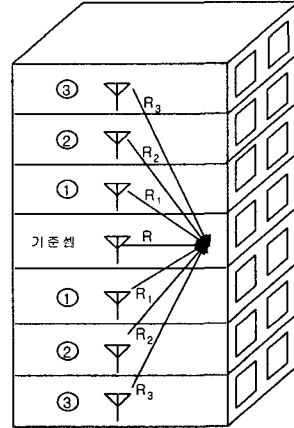


그림 4 인빌딩 환경에서 층간 간섭 분석 모델

WCDMA/TDD시스템을 빌딩 내에서 고려할 때, 각 건물마다 층간을 구성하는 건축자재의 구성과 종류가 다르지만 약 15~35dB 정도의 전력의 감쇠가 있다<sup>[6]</sup>. 본 논문은 층간을 구성하는 건축자재로 콘크리트와 석고보드를 고려하여 신호감쇠 dB를 일정치로 두고 감쇠정수  $\alpha$ 를 책정하고 이러한 간략화된 층간 간섭분석모델을 기반으로 SNR을 산출하였다.

$$SNR = \frac{E_b \cdot A^2}{\frac{2K}{3M} + \frac{2(K+1)}{3M} E_b \cdot A^2 \left( \frac{2}{R_1^{\alpha}} + \frac{2}{R_2^{\alpha}} + \frac{2}{R_3^{\alpha}} \right) + N_0} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{\frac{2K + (2K+2) \cdot 2.434}{3M} + \frac{1}{r}} \quad (5)$$

<표 2> 건축자재 종류별 전파의 투과손실<sup>[7]</sup>.

		단위 (dB)				
		주파수(MHz)	457	920	1450	2200
칸막이	시료(두께)					
	본판(15mm)		0.7	2.6	2.7	3.5
재료	석재보드(7mm)		0.0	0.3	0.2	3.5
	벽돌(60mm, 방수용)		6.0	1.9	3.1	5.8
외벽재	슬레이트(11mm)		0.2	2.7	3.4	4.5
	기와(15mm)		1.5	1.1	3.3	8.1
	콘크리트 (100mm)		4.6	4.9	7.6	10.9
단열재	열차단 필름		25.9	22.6	22.3	25.2
	단열용 유리벽		19.2	36.1	38.6	37.1

## 4. 시스템 성능해석 및 검토

<표 3>의 파라미터를 기반으로 빌딩내의 셀 환

경을 고려하였으며 실외의 셀 환경에서 간섭과 비교·분석하였다.

<표 3> performance Analysis Parameter

Length of PN Code(M)	64
Number of User	5,8
콘크리트 15cm 투과손실	16.35dB
석고보드 투과손실	3.5dB
건물규모	20m×20m
층간높이	3.5m
Modulation	QPSK
Convolution Coding	R=1/3, K=9

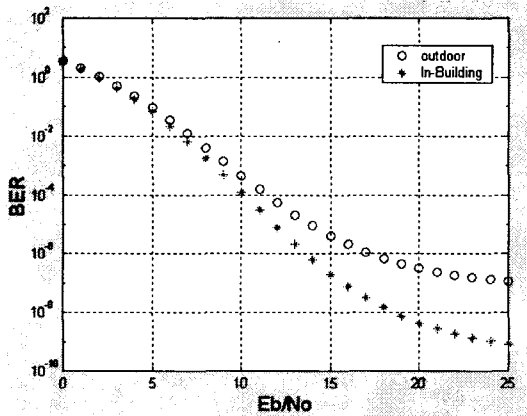


그림 5 User Number=5일 때 간섭 분석

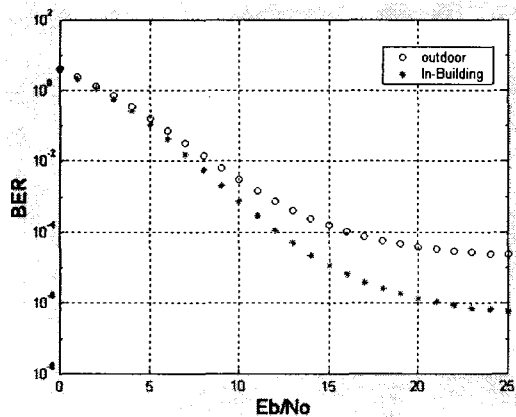


그림 6 User Number=8일 때 간섭 분석

그림 5,6은 동시 접속 user에 따라 실외환경에서 셀 간 간섭 BER과 빌딩내의 환경에서 층간 간섭에 의한 BER을 비교한 것이다.

동시 접속 user가 5명일 때, BER<sup>10<sup>-4</sup></sup>을 기준으로 1.3dB의 이득이 있음을 알 수 있었고, 동시 접속 user가 10명일 때, 3.8dB의 이득이 있음을 알 수

있었다. User수가 3명 증가함에 따라 실외환경에서는 약 10<sup>-2</sup>이상의 성능이 열화하는 것을 알 수 있었으며 빌딩내의 환경에서는 10<sup>-3</sup>정도의 성능이 열화하는 것을 봄으로써user수의 증가에 따라 BER이 감소함을 알 수 있었다. 따라서 CDMA/TDD시스템은 user수의 증가에 매우 민감하고 제안된 층간 간섭분석모델을 기반으로 빌딩내의 환경에서 적용할 경우 실외환경에서 셀 설계보다 BER이 더 좋아짐을 알 수 있었다.

## 5. 결론

WCDMA/TDD시스템에서 설 설계를 건물 내에 고려하여 층간 간섭모델을 제안하였다. 해석된 전파환경의 구조는 다수개의 층으로 이루어지는 고층건물이었고, 이 건물의 층간 간섭분석을 하였다. 층간 간섭모델을 통해 분석한 결과 실외환경을 고려한 WCDMA/TDD시스템보다 더 낮은 성능을 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 WCDMA/TDD 시스템은 광범위한 교외지역이나 피코 셀로 설계된 도심지역보다 층간 간섭 모델을 기반으로 둔 빌딩내 사무실 환경을 고려한 시스템 설계에 더 적합할 것이라 사료된다.

## 참고문헌

- [1] M. Haardt, A. Klein, R. Koehn, S. Oestreich, M. Purat, V. Sommer, and T. Ulrich, "The TD-CDMA Based UTRA TDD Mode," IEEE Journal of Selected Areas in Comm., vol. 18, pp. 1375~1385, Aug.2000.
- [2] Harri Holma and Antti Toskala, WCDMA for UMTS-Radio Access For Third Generation Mobile Communication. 2000.
- [3] G. J. R Povey, M. Nakagawa, "A review of Time division duplex-CDMA techniques," Spread Spectrum Techniques and Applications, 1998.
- [4] 이상근, 방효창, IMT-2000 CDMA 기술, pp.438~449.
- [5] K. M. Ju, C. C. Chiang, H. S. Liaw, and S. L. Her, " Radio propagation in office buildings at 1.8GHz," in 7th IEEE Int. Symp. PIMRC '96,vol. 3, pp. 766~770, Oct. 1996.

# 위성 통신 시스템의 성능 개선에 관한 연구

문경섭\*

\* 호남직업훈련원

## A study on the Performance Improvement of Satellite Communication System

Moon Gyeong Seob\*

\* Dept. of Information & Communication Facilities Honam Professional College

### Abstract

This paper illustrates rain attenuation characteristics at the Ka band Koreasat beacon frequency based on the theoretical and empirical approaches and seek for efficient techniques by rain attenuation estimate and analyzed performance of adaptive modulation system.

High frequency(Ka) band signal happens communication incapability state because signal loss happens greatly by rainfall. but high quality satellite broadcasting system design will be available by adaptive modulation techniques.

### I. 서론

정보화 사회의 확산과 급변하는 디지털 환경 속에서 방송·통신 융합 현상이 두드러짐에 따라 HDTV, 3D-TV 등의 멀티미디어 통신, 초고속 인터넷, 위성을 이용한 무선 인터넷 서비스 수요의 증가로 유무선 통신로 확보가 세계적 문제로 제기되고 있다. 특히 이동 통신 서비스와 멀티미디어 통신 서비스 욕구로 기존의 무선 채널 포화 현상은 심각한 수준이다. 따라서 통신 선진국들은 높은 주파수를 이용한 위성 방송 및 위성 통신 서비스에 연구를 집중하고 있다.

Ka 대역으로 운용되는 지상 및 위성 무선 전송 시스템의 경우, 회소성에 따른 간섭문제 해결, 단말기의 소형화 가능, 시스템의 광대역화를 통한 대용량 시스템 구축 가능 등 여러 장점을 가지고 있으나 강우를 포함한 대기 중의 산란 및 흡수에 의해 신호의 감쇠 및 편파 열화가 심각하여 시스템의 안정적인 운용에 제약을 가지고 올 것으로 예측된다[1].

위성 방송 시스템은 위성 통신 경로의 영향을 받으며 특히 강우에 심각한 열화 특성을 나타낸다. 위성을 이용한 고속 고품질 서비스 제공을 위한 통신 시스템은 현재 이용되고 있는 Ku대역의 주파수보다 높은 Ka대역 이상의 주파수 사용이 고려되고 있다. Ka대역 이상의 주파수를 이용한

디지털 위성 방송을 고려할 경우 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심각하게 발생하므로 강우 감쇠에 능동적으로 대처하기 위한 보상 기법에 대한 연구와 대비가 필요한 실정이다. 또한 최근 폭우의 발생율이 증가하고 위성 방송을 재난 방송으로 이용하려는 움직임은 위성 통신 시스템의 안정화와 성능 개선을 요구하고 있으며 따라서 강우량에 따른 위성 방송 시스템의 열화 정도를 분석하고 이에 대한 기술적인 대책이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 Ka 대역의 강우감쇠에 따른 자료를 토대로 성능 열화 정도를 분석하고 강우감쇠 예측에 따른 효율적 운용 방안을 모색하고 보상기법 중의 하나인 적응형 변조방식을 고려한 시스템 성능을 분석한다.

### II. 위성 통신 경로의 전파 환경

약 30 MHz 이상의 전리층 침투 주파수를 이용하는 위성 통신은 낮은 대기 혹은 대류권 내의 가스 입자 특히 산소 및 수증기 입자가 에너지를 흡수하는 주파수대 이하에서는 방해없이 전송될 것이다. 무선 주파수와 대기 가스의 상호작용이 특별히 심한 어떤 특정 흡수 대역에서 위성통신은 매우 제한적이다. 실제로 위성 통신은 이러한 흡수 대역 사이에 존재하는 전파의 창(atmospheric windows)

에서 개발되었으며, 여기서의 주요 관심사도 이러한 창에서의 감쇠를 유발하는 전파전파 요인들이며, 현재의 위성 통신 기술 추세에 비추어 10 GHz 주파수를 고려 대상으로 한다. 약 100 GHz까지 전파의 창에서 운용되는 위성 통신에 영향을 주는 주요 전파전파 요인들은 다음과 같다[6].

- 대기 가스흡수
- 강수입자에 의한 감쇠
- 편파 열화
- 잡음 방사
- 도래각 변화
- 대역폭 제한
- 안테나 이득 열화

### III. 강우 감쇠 예측

Olsen에 의해 강우로 인한 특정감쇠(specific attenuation : 단위 길이당 감쇠량을 나타내는 것으로서 단위는 dB/km이며 이하 감쇠계수라 표기함) 추정식이 단순화된 이후 가장 보편적으로 이용되는 수식이다[7].

$$A = aR^b L_e \quad (1)$$

여기서,  $a$ 와  $b$ 는 빗방울의 온도, 주파수, 편파, 빗방울 입자의 크기 분포 등에 의존하는 상수이며,  $R$ 은 표면 강우강도[mm/hr]이다. 또한  $L_e$ 는 유효 강우경로 길이(km)로써, 표면 강우강도가 경로 전체에 대해 일정하게 내리는 것으로 가정하는 가상의 경로 길이를 나타낸다.

표 1 ITU-R 권고 감쇠계수 파라미터

주파수 [GHz]	a		b	
	수평편파	수직편파	수평편파	수직편파
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
40	0.350	0.310	0.939	0.929

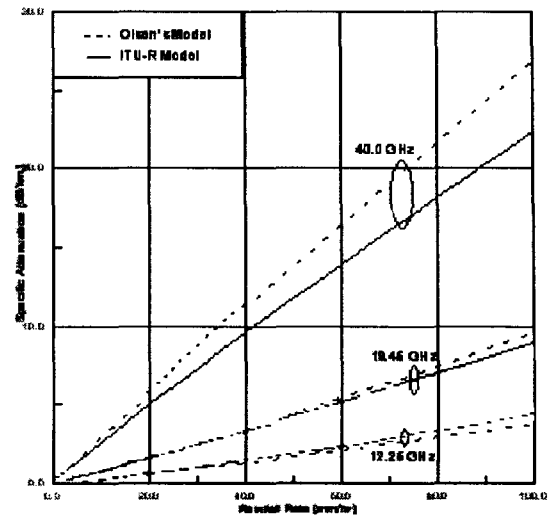


그림 1 강우 감쇠 예측 모델

표 2 20분 데이터에 의한 강우 강도 추정치(단위 : mm/h)

년간 시간율	서울	부산	대구	광주	대전	평균
0.001%	80.0	84.5	45.5	99.5	75.5	77.00
0.005%	58.4	59.6	38.2	74.5	58.6	57.86
0.01 %	50.8	50.9	32.6	56.8	46.1	47.44
0.05 %	29.4	28.5	17.8	28.0	26.0	25.94
0.1 %	19.8	18.0	12.8	20.0	18.6	17.84
0.2 %	12.9	12.2	8.6	12.1	11.3	11.42

### IV. 강우 감쇠 보상 기법

그림 3과 그림 7에서 보듯이 위성 통신 시스템의 주파수가 높아질수록 강우에 의한 신호 감쇠가 심각함을 알 수 있다. 그러므로 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심하게 발생하는 Ka 대역의 위성 방송을 위한 성능 개선 방안으로 다음과 같이 방법들을 고려 할 수 있다[11].

#### 1. 정적인 보상 방법

정적인 보상 방법으로는 수신기 G/T의 개선과 잡음에 강한 변복조 방식의 채용 또 Coding Gain 이 높은 오류정정 부호를 채용하는 방법이다. 이러한 기법들은 적은 강우감쇠의 경우에 유리하며, 소자의 성능 및 정보의 특성에 좌우된다. 하지만 안테나 유효면적의 증가와 수신단의 회로구성이 복잡하며 수신기의 가격 상승이 우려된다.

## 2. 다이버시티 기법

강우 상관도가 떨어지는 복수개의 수신 시설 이용하는 기법으로 주파수, 궤도, 공간, 시간 다이버시티 등이 있으며 광대역 채널이나 지구국에서의 강우 영향이 심한 경우에 대규모 위성 통신 시스템에서 널리 사용된다. 하지만 수신 공간의 제약을 받거나 일반 가입자의 단말기인 경우에는 다이버시티 기법을 적용하기에는 다소의 무리가 따른다.

## 3. 적응형 보상 방법

강우 지역에 중점적으로 송신 전력을 분배하는 적응적 송신 전력 제어 기법과 계층 부호 및 계층 변조 방식을 채택하는 적응형 전송 기법이 있다. 강우의 연중 발생률이 매우 낮은 경우 강우가 발생하는 기간에만 보상할 수 있어 효율적인 정보 전송이 가능하다. 이러한 기법은 강우가 넓고 일정하여 지구국 위치에서의 강우에 의한 효과가 적은 경우 유리하다.

## 4. 적응변조 기법을 위한 성능분석

본 논문에서는 강우에 따른 효율적인 보상을 위한 기법중의 하나인 적응형 변조 기법을 적용한 고품질 위성 방송 시스템에 대한 파라미터를 산출하고 성능 분석을 하였다. BPSK, QPSK, 8PSK의 변조방식을 사용하였고 고려된 시스템 분석 파라미터는 표 10에 나타내었다.

표 3 시스템 분석 파라미터

변조방식	BPSK, QPSK, 8PSK
외부부호	RS(31, 15)
인터리버	길쌈 인터리버(M=7, d=12)
내부부호	길쌈부호(1/2) K=7, 3bit soft decision

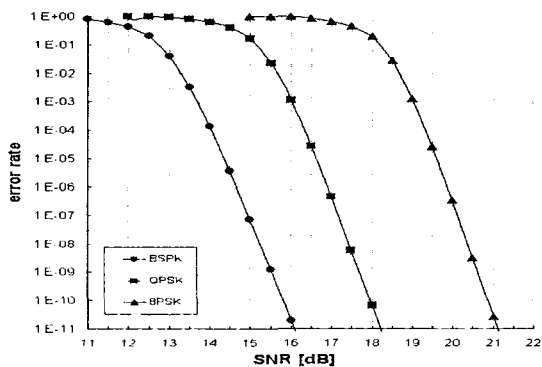


그림 2 라이시안 factor(k=1)에 따른 시스템 성능

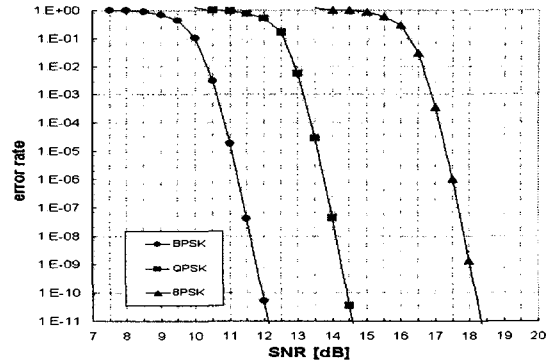


그림 3 라이시안 factor(k=7)에 따른 시스템 성능

변조 방식별 성능 분석을 통해 적응 변조 스위칭 파라미터의 산출이 가능하며 강우 감쇠의 영향에 따라 요구하는 SNR이 높아져야 됨을 알 수 있었다.

그림 8, 9는 라이시안 factor 값에 따라 각 변조 모드별 성능 분석 그래프이다. 라이시안 factor k=1인 경우는 직접파 성분이 아주 열악한 레일리 분포의 페이딩 환경으로써 HDTV, 3D-TV 등의 멀티미디어 통신, 초고속 인터넷, ATM 등의 광대역 통신 서비스에서 요구되는 BER =  $10^{-10}$ 을 만족하기 위해 BPSK에서는 16 dB, QPSK에서는 18 dB, 8PSK에서는 21 dB가 요구됨을 알 수 있다. 라이시안 factor k=7일 때는 직접파 성분이 비교적 양호한 페이딩 환경으로써 요구되는 BER =  $10^{-10}$ 을 만족하기 위해 각 변조 방식에 따라 12 dB, 14.5 dB, 18 dB가 요구됨을 알 수 있다.

직접파 성분이 미약한 레일리 페이딩 환경에서는 변조 모드의 확장에 따라 BPSK에서 QPSK로의 전환 시 약 2dB의 SNR이 추가로 요구되고 QPSK에서 8PSK로의 전환 시 약 3dB 정도의 SNR이 요구됨을 알 수 있다. 이것은 8PSK의 높은 전송 속도로 이루어지고 있는 위성 통신 시스템의 경우 강우 강도에 따라 QPSK 또는 BPSK의 전송 속도로 낮추어 전송이 가능함을 보여 준다. 표 9에서 나타낸 것처럼 연간 강우 시간을 0.1%의 평균 강우량인 18 [mm/hr]로 폭우가 내릴 경우 5~6 dB의 강우 감쇠가 있으므로 8PSK 변조에서 BPSK 변조로 변조 방식을 전환하면 전송 속도에는 문제가 있겠지만 성능에는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그러나 연간 강우 시간을 0.01%의 평균 강우량인 47 [mm/hr]로 폭우가 내릴 때에는 11 dB 이상의 강우 감쇠가 나타나고 있으므로 적응 변조 기법도 시스템 성능 개선에 큰 도움이 되지 못하는 것으로 분석되었다. 또한 라이시안

factor=7인 페이딩 환경에서는 모든 변조 기법에서 레일리 페이딩 환경보다 3 dB 정도의 SNR 개선 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

위의 결과를 분석하면 서비스 품질 BER =  $10^{-10}$ 을 만족하는 위성 통신 시스템에서 연간 강우 시간을 0.1%에 해당하는 강우량인 18 [mm/hr]로 폭우가 내리는 8시간 40분 정도는 통신 서비스를 받을 수 없음을 알 수 있었다.

## V. 결론

위성 방송 및 위성 통신은 서비스 지역의 광역성, 동보성, 회선 설정의 유연성, 신속성 및 내재해성 등의 장점으로 국가 차원의 위성 통신망이 요구되고 있고 초고속의 광대역 통신을 위해 높은 주파수(Ka) 대역의 위성 통신망을 필요로 하고 있다. Ka 대역 이상의 주파수를 이용한 디지털 위성 방송을 고려할 경우 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심하게 발생하므로 이에 대한 보상 기법이 활발히 연구 되고 있다. 현재 제안되고 있는 보상 방안으로는 정적인 보상 방법, 적응형 보상 방법, 다이버시티 기법 등이 있다.

본 연구에서는 위성 통신 시스템의 성능 열화에 따른 보상기법을 제시하고 보상기법중의 하나인 적응형 보상 기법을 적용한 고품질 위성 방송 시스템에 대해 분석하였다.

라이시안 페이딩 환경에서는 연간 강우 시간을 0.1%의 평균 강우량인 18 [mm/hr]로 폭우가 내릴 경우 5~6 dB의 강우 감쇠가 있으므로 8PSK 변조에서 BPSK 변조로 변조 방식을 전환하면 전송 속도에는 문제가 있겠지만 성능에는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그러나 연간 강우 시간을 0.01%의 평균 강우량인 47 [mm/hr]로 폭우가 내릴 때에는 적응 변조 기법도 시스템 성능 개선에 큰 도움이 되지 않는 것으로 분석되었다. 서비스 품질 BER =  $10^{-10}$ 을 만족하는 위성 통신 시스템에서 년

간 강우 시간을 0.1%에 해당하는 강우량인 18 [mm/hr] 이상으로 폭우가 내리는 연간 8시간 40분 정도는 고품질의 통신 서비스를 받을 수 없음을 알 수 있으며 여러 가지 보상 기법을 병행하여야 성능 개선 효과가 있을 것으로 분석되었다. 또한 47 [mm/hr] 이상의 강우량으로 폭우가 내리는 연간 50분(연간 강우 시간을 0.01%) 동안 통신 서비스를 받기가 힘들 것으로 분석되었다.

이러한 결과를 토대로 높은 주파수를 이용하는 위성 방송 및 위성 통신 시스템 설계 과정에서는 적응 변조 기법이 반드시 적용하여야 하며 심각한 강우 감쇠에도 100% 통신 서비스를 위해서는 여러 가지 보상 기법을 병행하여 적용하여야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] <http://www.kma.go.kr/>
- [2] 방송위원회, "DMB데이터방송 및 DMC등 디지털방송에 관한 종합계획," 디지털 방송추진위원회 종합보고서, 2003년 2월.
- [3] 한국방송광고공사, 광고정보, 2003년 2월.
- [4] 김수현, "위성 디지털 멀티미디어 방송서비스의 산업파급효과," SK Telecom Telecommunications Review, 제 13권 4호, 2003년 8월.
- [5] R.L.Olsen, D.V.Rogers, and D.B. Hodge, "The aRb Relation in the Calculation of Rain Attenuation," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. AP-26, No. 2, pp. 318-329, Mar, 1978.
- [6] ITU, Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric propagation," ITU-R Recommendations PN Series, Rec. ITU-R PN.311-7, pp. 10-52, 1993.

# 적응형 OFDM시스템의 성능개선에 관한 연구

문경섭\*

\* 호남직업훈련원

## A Study on the Performance Improvement of Adaptive Modulation System

Moon Gyeong Seob\*

\* Dept. of Information & Communication Facilities Honam Professional College

### 요 약

본 논문에서는 STTD(Space Time Transmit Diversity)를 적용한 적응변조 시스템의 성능을 분석하였다. 무선채널 환경에서는 지연파에 의한 ISI(Intersymbol interference)간섭으로 인해 전송 오류를 증가시키게 된다. 따라서, ISI간섭의 영향을 줄이기 위해 STTD를 적용함으로써 적응변조 시스템의 성능개선 정도를 분석하였다. 결과에 의하면, STTD를 적용함에 따라 더 낮은 SNR에서도 변조 다치수가 높은 변조 모드를 선택함으로써 고속·고품질의 데이터 전송이 가능함을 알 수 있었다.

### I. 서 론

최근 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터 영상을 동시에 수용하는 멀티미디어 통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2]. 이동 통신에서는 다중 경로 페이딩에 의해 전송로 특성은 크게 변동한다. 이와같은 전송로에 대해 종래에는 전송로 상황이 어느 정도 열악한 상태에 있어서도 소량의 품질을 만족하도록 회선 설계를 행하였고 상당히 높은 시간율에서 16QAM, 64QAM 등의 변조 다치수가 커다란 변조 방식에서 충분한 전송 품질이 얻어지는 것에 관계없이 변조 다치수가 작은 변조 방식이 고정적으로 이용되어 왔다. 따라서, 고속 데이터 전송 환경에서도 안정적인 수신 서비스 품질을 보장하기 위한 방안으로 채널 환경에 따라 송신 전력 및 전송률을 제어함으로써 안정적인 서비스 품질을 유지하면서 전송률을 최대로 할 수 있는 적응 변조방식이 연구되고 있다[3]-[5].

본 논문에서는 적응변조기법을 적용한 시스템을 모델링하여 다중 경로 페이딩 환경에서 시스템 성능을 분석하였다. 또한, 성능개선을 위해 STTD기법을 적용하여 시스템의 성능을 분석하였다.

II장에서는 고려한 시스템 모델과 STTD에 대해 기술하였고, III장에서는 지연시간에 따른 각 변조방식의 성능을 분석하고 STTD를 적용한 적

응변조시스템을 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다. 마지막으로 IV에서 결론을 맺는다.

### II. 적응변조 시스템

#### 1. STTD를 적용한 시스템 모델

입력되는 정보 데이터는 채널추정을 통해 정해진 변조 모드에 따라 변조를 행하고 STTD Encoding을 통해 두 개의 안테나로 정보 데이터를 전송한다. 채널 추정을 위해 각 안테나의 프레임 구조에 CE(Channel Estimate)라는 정보데이터를 추가한다[6]. CE는 각 안테나에 CE<sub>1</sub>과 CE<sub>2</sub>를 삽입하고 다른 안테나로부터 오는 간섭의 영향을 줄이기 위해 그림 1과 같이 dummy를 삽입한 프레임 구조를 사용하였다.

그림 2는 본 논문에서 고려한 STTD를 적용한 적응변조 시스템의 블록도이다.

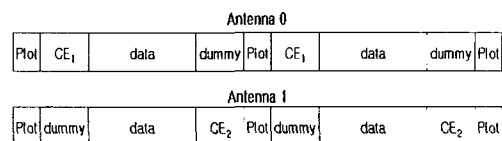


그림 1. 각 안테나의 프레임 구조



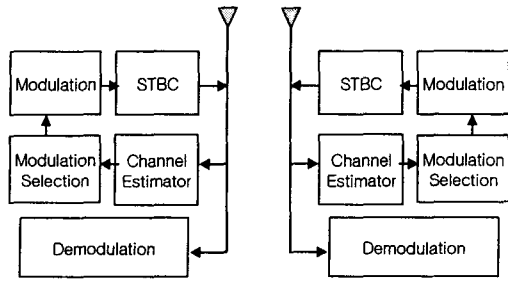


그림 2. STTD를 적용한 적응변조 시스템 모델

## 2. STTD(Space Time Transmit Diversity)

STTD는 주어진 심벌기간  $T$  동안 두 개의 다른 신호가 동시에 전송이 되며 안테나 0에서 신호  $S_0$ 와 안테나 1에서 신호  $S_1$ 이 전송된 후 다음 심벌 주기동안인  $2T$ 에는  $(-S_1^*)$ 과  $S_0^*$ 이 각각의 안테나에서 전송이 된다.

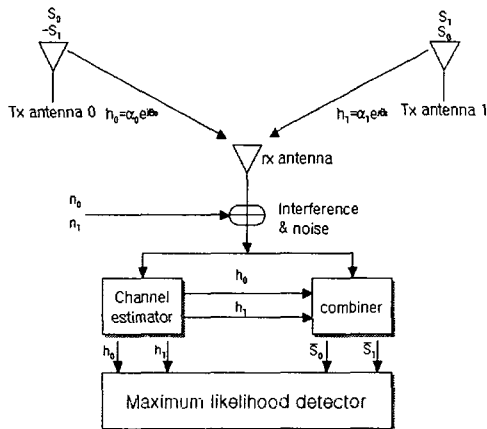


그림 3. Space Time Transmit Diversity Scheme

두 개의 안테나로 전송된 신호는 한 개의 수신 안테나로 받기 때문에 안테나 0, 1에 대한 신호를 구분을 해야 한다. 안테나 자체의 구분은 CPICH (Common Pilot Channel) 이라는 파일럿 채널로 안테나를 구별한다. 또한 STTD는 안테나 0, 1에서 CPICH 채널을 이용하여 각각의 송신안테나와 수신안테나간의 채널을 완벽히 검출할 수 있다고 가정한 뒤 이것의 Conjugate 값을 가중치로 보고 신호를 검출하게 된다[7],[8]. 그림 3은 STTD의 블록도를 나타내고 있다.

STTD기법에 있어서 수신신호를 얻기 위해서는 다음과 같은 가정을 전제로 한다.

첫째, 안테나 0과 안테나 1의 채널 정보는 각각의 안테나에서 보내는 파일럿 신호에 의해서 결정된다.

둘째,  $T$ ,  $2T$  주기 동안의 심벌  $S_0$ 와  $S_1$ 이 서로 구분이 가능하다.

셋째, 두 심벌 주기동안에 안테나 0과 안테나 1의 채널 정보( $h_0, h_1$ )는 일정하다.

## III. STTD를 적용한 적응변조 시스템 분석

본 논문에서는 QPSK, 16QAM, 64QAM의 변조 방식을 사용하는 적응 변조시스템의 성능을 분석하였다. 무선채널 환경에서는 지연파에 의한 ISI간섭으로 인해 전송 오류를 증가시키게 된다. 따라서, ISI간섭의 영향을 줄이기 위해 STTD를 적용함으로써 적응변조시스템의 성능개선 정도를 분석하였다. 고려한 적응변조시스템의 변조 모드 결정을 위한 기준으로 지연시간과 수신 SNR을 고려하였고 SNR 10dB이하의 변조방식으로는 QPSK를 사용하였다.

그림 4는 AWGN 환경에서 각 변조 모드에 따른 성능을 이론치와 시뮬레이션을 통해 분석하였다. AWGN 환경에서 각 변조 모드에 따라 기준이 되는 오류( $10^{-3}$ )을 만족하는 SNR을 산출하였고 그 결과는 QPSK 모드에서는 12dB, 16QAM 모드에서는 17.5dB, 64QAM 모드에서는 24dB로 나타났다.

그림 5, 6은 지연시간에 따른 각 변조 모드별 성능 분석 그래프이다. STTD를 적용하지 않는 16QAM의 경우 지연시간  $70 \times 10^{-8}$ 보다 큰 지연시간에서는 급격히 성능의 열화가 나타남을 알 수 있고 STTD를 적용함으로써 기준이 되는 오류를 만족하기 위한 SNR이 약 6dB정도 이득이 있음을 알 수 있다. 또한,  $350 \times 10^{-9}$ 의 작은 지연시간에서 64QAM의 경우는 STTD를 적용함으로써 약 8dB 정도 SNR의 이득이 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 인해 적응 변조시스템의 변조 모드 결정을 위한 기준 SNR이 낮아짐으로써 더 낮은 SNR에서도 기준이 되는 오류를 만족하는 적응변조 시스템을 구현 할 수 있음을 알 수 있다. 그림 7은 변조 모드 결정을 위한 기준을 그래프를 통해 나타내었다.

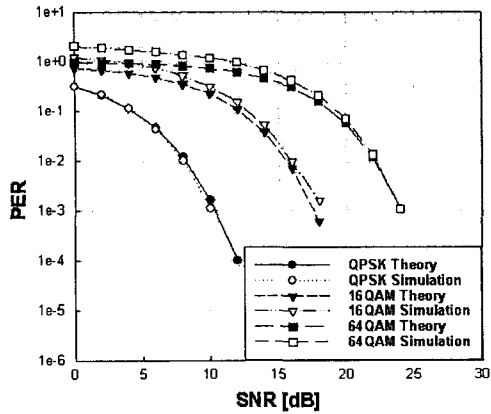


그림 4. AWGN 환경에서 각 변조방식에 따른 성능

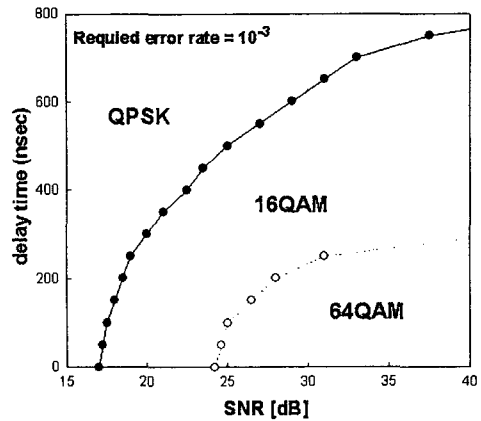


그림 7. 변조 모드 결정을 위한 기준

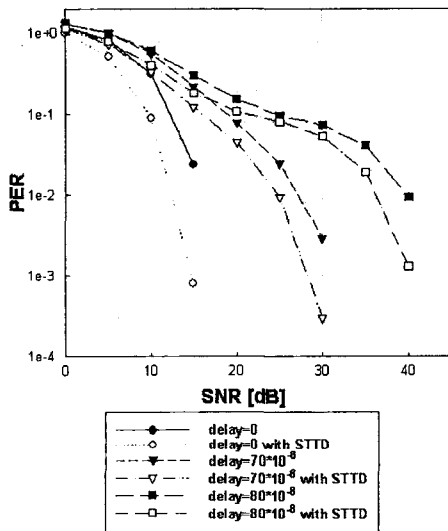


그림 5. Multipath fading 환경에서 STTD를 적용한 16QAM시스템의 성능

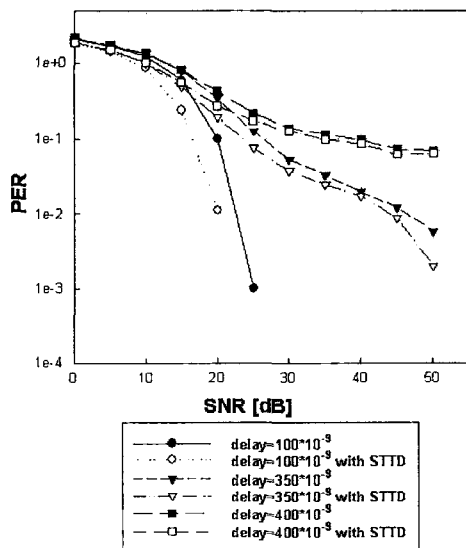


그림 6. Multipath fading 환경에서 STTD를 적용한 64QAM시스템의 성능

#### IV. 결론

본 논문에서는 변조 모드 QPSK, 16QAM, 64QAM을 사용하는 적응변조 시스템을 모델로 STTD를 적용하였을 때 성능의 개선정도를 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다. 분석 결과에 의하면 변조 모드 변화 시점에서 성능의 열화가 일어나지만 기준 오류율을 만족하고 데이터 전송속도는 증가함을 알 수 있었다. 또한, STTD를 적용함에 따라 더 낮은 SNR에서도 변조 다차수가 높은 변조 모드를 선택함으로써 고속·고품질의 데이터 전송이 가능함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Y. Sakamoto, M. Morimoto, M. Okada, and S. Komaki, "A wireless multimedia communication system using hierarchical modulation", IEICE Trans. Commun., vol. E81-B, no. 12, Dec. 1998.
- [2] S. Sampei, S. Komaki, and N. Morinaga, "Adaptive modulation/TDMA scheme for large capacity personal multi-media communication systems," IEICE Trans. Commun., vol.E77-B, no.9 Sep, 1994.
- [3] M. Alouini, X. Tang, and A. Goldsmith, "An adaptive modulation scheme for simultaneous voice and data transmission over fading channels," IEEE J. Sel. Areas Commun., vol.17, no.5, pp.837-850, May, 1999.
- [4] H. Harada, T. Yamamura, Y. Kamio, and M.

- Fujise, "Adaptive modulated OFDM radio transmission scheme using a new channel estimation method for future broadband mobile communication systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E85-B, no.12 Dec. 2002.
- [5] I. Koo, Y. Lee, and K. Kim, "Performance analysis of CDMA systems with adaptive modulation scheme," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E86-B, no.1 Jan. 2003.
- [6] N. Seshadri and J.H. Winters, "Two signaling schemes for improving the error performance of FDD transmission systems using transmitter antenna diversity," *Proc. 1993 IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC 43rd)*, vol.2, pp.508-511, May. 1993.
- [7] S.M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.16, no.8, pp.1451-1458, Oct. 1998.
- [8] J. Zhou, H. Kikuchi, S. Sasaki, S. Muramatsu, and Y. Onozato, "Performance investigation of two transmit diversity schemes with perfect/imperfect channel evaluation in wireless communications," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E85-B, no.10 Oct. 2002.