

# 밀리미터파 전파전파 특성 및 이용 동향

임종태

정보통신연구관리단

산업기술팀

## I. 서론

밀리미터파 대역이란 통상적으로 전파의 파장이 1 mm에서 10 mm인, 주파수 대역이 30 GHz에서 300 GHz사이의 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, 레이더, 전파천문 등에서 일부 활용되고 있는 대역이다.

밀리미터파 대역을 이용하기 위해서는 전파전파 특성에 대한 고려가 선행되어야 한다. 마이크로파 시스템에서의 전파전파 손실은 주로 자유공간손실에 의하여 발생하지만 밀리미터파 대역에서는 대기 중의 가스나 강우에 의한 감쇄가 추가로 발생한다. 따라서 저주파수 대역은 수 십 마일 이상을 전파하고 건물 등도 더욱 쉽게 투과가 가능하지만 밀리미터파의 경우에는, 겨우 수 마일을 전파할 수 있으며 고체매질을 잘 투과하지 못한다. 그러나 이러한 전파 특성들이 단점으로만 보여지는 것이 아니라 오히려 잘만 이용하면 주파수 재사용 거리의 단축에 의해 주파수 이용효율과 통신의 보안성을 높일 수 있는 장점으로 이용할 수도 있다.

본 논문에서는 자유공간상에서의 밀리미터파 전파전파 특성과 전파에 영향을 미치는 여러 가지 실제적인 요소를 고찰하고 밀리미터파의 이용현황에 대하여 살펴본다.

## II. 밀리미터파의 전파전파 특성

### 2-1 자유공간상의 전파

두 개의 이소트로픽 안테나 사이에서 전파전파 손실은 주파수와 거리의 함수로써 다음의 식으로 표시할 수 있다. 즉

$$L_{FSL} = (4\pi R/\lambda)^2 \quad (1)$$

여기서,  $L_{FSL}$  : 자유공간손실,

$R$  : 송수신 안테나간의 거리,

$\lambda$  : 사용파장이다.

(1)식을 dB로 변환하면

$$L_{FSL, dB} = 92.4 + 20 \log f + 20 \log R \quad (2)$$

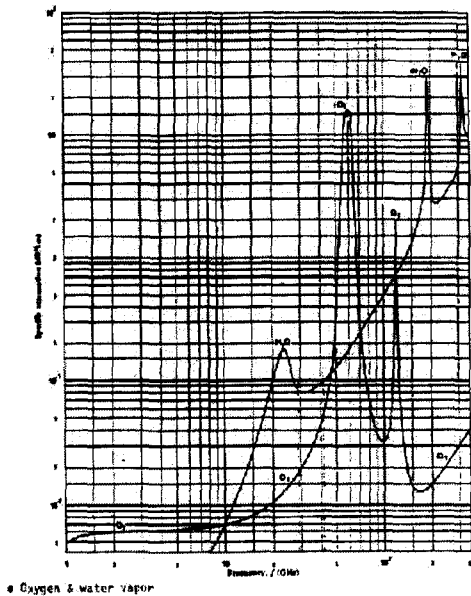
여기서  $f$  : 주파수(GHz),

$R$  : 안테나 간의 가지거리(km)이다.

몇 개의 주파수에 대한 자유공간 상에서의 전파전파 손실에 대한 예를 보면 6 dB/octave 혹은 20 dB/decade의 감쇄특성을 알 수 있으며, 특히 밀리미터파의 경우에는 수 킬로미터 이내의 매우 짧은 거리에서도 전파전파 손실의 정도가 매우 커짐을 알 수 있고, 이로 인하여 밀리미터파 대역은 단거리 통신용으로 적합함을 유추해 볼 수 있다.

### 2-2 대기가스에 의한 손실

대기속을 진행하는 밀리미터파가 산소분자나 수



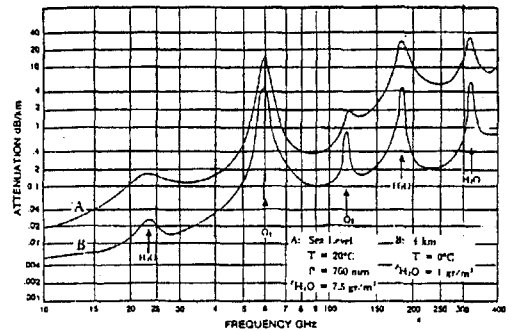
[그림 1] 대기에 의한 특이 감쇄현상

증기, 그리고 대기 중의 다른 가스 성분에 의하여 흡수되면 전송손실이 발생한다. 이러한 손실은 특정한 주파수에서 더욱 크게 발생하며, 가스 분자의 공진주파수와 일치하고 있다.

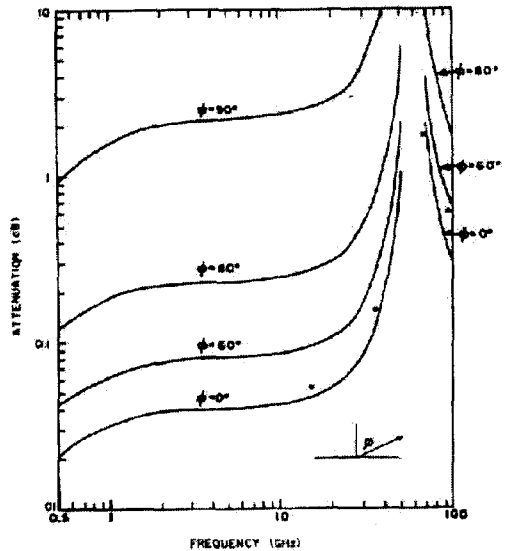
[그림 1]은 가스에 의한 손실을 정량적으로 보여주고 있는데, 수증기(H<sub>2</sub>O)나 산소(O<sub>2</sub>)에 의해 신호의 감쇄가 특히 심하게 발생하여 손실특성에서 전 주파수 대역에 걸쳐서 침두점들이 여러 곳에 발생하고 있다. 이러한 침두치에 해당하는 주파수 대역에서는 용도가 단거리 전송용으로 제한되며, 현재의 기술과 관련하여 24 GHz 및 60 GHz대역은 주요한 의미를 가진다.

밀리미터파 대역에서 침두치사이의 주파수 대역은 전파전파에 대한 전송창(Transmission window)으로 볼 수 있으며, 35 GHz, 94 GHz, 140 GHz 및 220 GHz를 중심으로 하여 전송창이 형성되어 있다.

[그림 2]는 해발 4 km의 고도에서 습도가 1



[그림 2] 밀리미터파의 평균 대기 흡수량



[그림 3] 산소에 의한 대기 감쇄

gm/m<sup>3</sup> 및 7.5 gm/m<sup>3</sup>인 경우에 주파수에 대한 대기 흡수의 정도를 나타내고 있다.(1 gm/m<sup>3</sup>는 건조한 상태이며, 7.5 gm/m<sup>3</sup>는 섭씨 10도에서 75 %의 습도를 나타낸다.)

[그림 3]은 산소성분만 존재하는 경우의 전파감쇄를 보여주는 것으로 각도가 낮을수록 전파가 대기속을 더욱 멀리 진행하므로 감쇄는 증가하며 모든 각도에 대해서 예상하는 바와 같이 60 GHz 근

처에서 최대의 흡수 손실이 발생하고 있다.

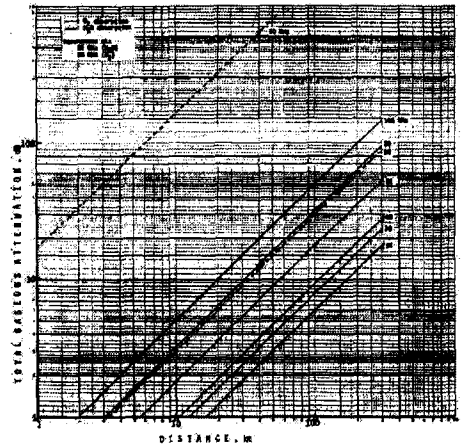
[그림 4]는 가스에 의한 흡수손실을 고려한 전파감쇄를 거리에 따라서 보여주고 있다. 그림에서 100 GHz이하에서는 주파수 공진이 수증기에 대해서는 24 GHz, 산소에 대해서는 60 GHz에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

[그림 5]는 자유공간손실과 가스흡수손실을 고려한 전파감쇄특성을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 60 GHz를 제외하고는 [그림 1]에서 보여 준 자유공간 손실에 비하여 가스흡수에 의한 손실이 결정적으로 큰 영향을 미치지 않는다. 즉 60 GHz 대역에서는 송신기에서 약 9 km부터는 자유공간과 가스흡수에 의한 손실이 복합된 경우가 전파전파손실이 급격하게 증가함을 알 수 있다.

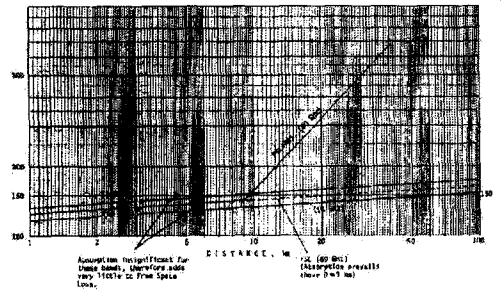
[그림 6]은 주파수 60 GHz 대역 근처에서 운용 중인 전형적인 디지털 고정망 서비스의 경우 주파수 재사용에 대한 가능성을 보여주고 있다. 그림에서 보여주듯이, 60 GHz 대역은 산소에 의한 흡수 손실이 커서 고정서비스의 범위가 2 km 정도로 매우 짧으므로, 또 다른 고정서비스용 시스템을 동일주파수로 약 4 km 떨어진 곳에서 운용할 수 있다. 이와는 대조적으로 55 GHz에 대한 고정망 서비스의 경우, 동일채널 간섭을 피하기 위하여 동일한 주파수를 18 km 이상 떨어져서 운용해야함을 알 수 있다.

### 2-3 강우에 의한 손실

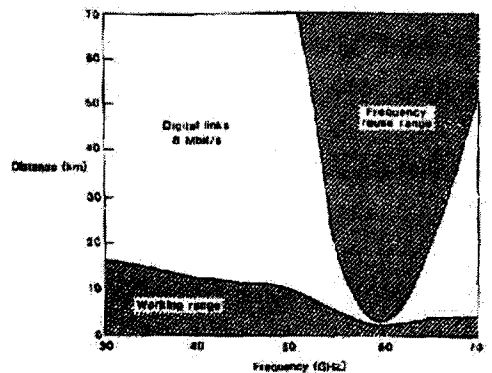
빗방울은 그 크기가 밀리미터파의 파장과 유사하여 전파신호에 대해서 산란을 일으켜서 궁극적으로는 손실을 가져오게 된다. 강우에 의한 손실은 지속적인 강우보다는 순간적인 강우(시간당 강우율)에 더욱 큰 영향을 받는다. 순간적으로 심한 강우는 주로 번개, 천둥을 동반 집중호우로 발생하는데 실제로 어느 지역의 연중 평균 강우량과 지



[그림 4] 자유공간상에서 대기흡수에 의한 감쇄 그래프



[그림 5] 자유공간손실을 고려한 대기감쇄

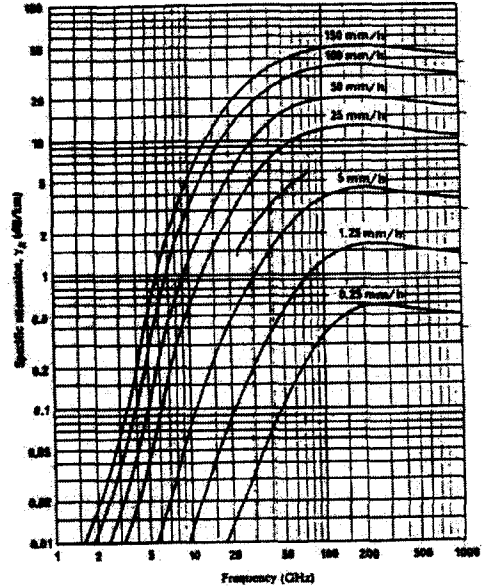


[그림 6] 밀리미터파 대역 고정통신망의 주파수 재사용 거리

역별 평균 낙뢰 계수를 적용하여 강우감쇄를 계산하기도 한다.

강우 감쇄는 전파의 진행거리가 짧을수록 손실에 의한 영향을 받을 확률이 줄어들고 빗방울의 형태에 따라서도 감쇄 정도가 다르게 나타나는데, 특히 수평편파가 수직편파보다 영향을 크게 받는다. 또한 폭우때와 같이 강우 입자의 밀도가 높은 환경에서는 감쇄가 더욱 증가하여 신호를 수신할 수 없는 상태가 발생하기도 한다.

[그림 7]은 강우에 의한 감쇄율을 나타내며 약 100 GHz까지는 주파수에 따라 감쇄도가 일정하게 증가하다가 100 GHz에서는 포화가 되어 200 GHz까지는 일정한 값을 유지하고 그 이후에는 오히려 감쇄율이 떨어짐을 알 수 있다.



[그림 7] 강우율에 따른 km당 강우 감쇄량

#### 2-4 나뭇잎에 의한 손실

나뭇잎에 의한 밀리미터파 대역의 손실은 아주 중요한 요소로 작용하며, 어떠한 경우에는 나뭇잎에 의한 전송손실이 전파전파의 특성을 제한하는 주요 요소로 간주되는 경우도 있을 수 있다. 나뭇잎에 의한 전파감쇄를 예측하기 위한 실험식이 ITU-R의 보고서 236-2에 언급되어 있는데, 나무숲의 길이가 400 m 이내인 경우 손실을 계산하는 관계식은 다음과 같다.

$$L = 0.2f^{0.3}R^{0.6} \text{ dB} \quad (3)$$

여기서  $f$  는 MHz 단위의 주파수이며,  $R$ 은 파의 진행방향으로의 길이로써 m으로 표시된다. 식 (3)은 주파수 대역 200~95,000 MHz에서 적용 가능하며 예를 들어 40 GHz의 경우 숲의 길이가 10 m라면 나뭇잎에 의한 손실은 약 19 dB가 되며, 이 손실은 무시할 만한 적은 손실량이 아님을 알 수 있다.

#### 2-5 산란 및 회절에 의한 손실

송수신기간에 비가시거리가 형성되더라도 송신 신호는 수신기 근처의 반사체에 의한 반사에 의하여 수신기에 도달할 수 있다. 밀리미터파와 같이 파장이 매우 짧은 파는 회절효과가 미미하며 빗과 같이 세도우(Shadow)효과나 반사에 더 영향을 받기 쉽다.(이러한 세도우 현상은 통신시스템에서 불요파의 수신을 막아주는 차폐효과를 제공하기도 한다.) 어찌되었거나, 비가시거리 상황의 수신기에서 전파의 수신에 큰 영향을 미치는 것은 반사파에 의한 에너지의 전달이다.

반사나 반사에 의해 발생하는 신호의 분산 정도는 반사매질의 반사도에 크게 좌우되며, 밀리미터파와 같은 매우 파장이 짧은 파의 경우에 매질의 반사면은 매우 거칠게 작용하게 되어 결과적으로 많은 분산을 발생시켜, 통상적인 반사파에 비하여 수신기에 도달하는 에너지의 양이 줄어들게 된다.

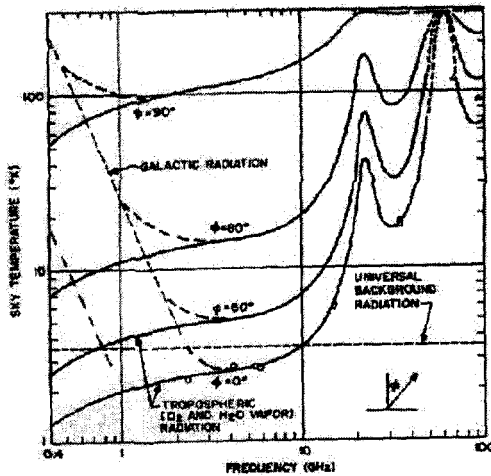
## 2-6 하늘 잡음(Sky noise)

전자파 에너지를 흡수하는 모든 물질은 또한 방사체로 작용한다. 즉 수증기, 산소 그리고 빗방울과 같이 전파전파손실을 야기하는 대기 중의 구성 성분들은 잡음과 같은 신호를 방사한다. 이러한 신호들이 수신용 안테나로 유입되면 시스템의 성능을 저하시키게 된다.

큰 각도로 위성을 지향하고 있는 지구국 안테나는 대기 중의 여러 구성 성분으로부터 방사되는 하늘 잡음을 수신하게 되는데, 이 경우의 잡음 정도를 하늘 잡음 온도(Sky noise temperature)라고 부른다.

[그림 8]은 주파수에 따른 하늘 잡음 온도를 보여주고 있다.

하늘 잡음의 경우에도 밀리미터파 대역의 가스 분자의 공진주파수에서 첨두값이 발생함을 알 수 있으며, 이 현상은 결국 밀리미터파 대역을 통신에 적용하기 위한 적합성의 여부에 영향을 미치게 된다.



Sky Temperature: ( $O_2$  and  $H_2O$ )

[그림 8] 안테나 각도에 따른 하늘 잡음

## Ⅲ. 밀리미터파의 응용

밀리미터파 대역은 그 자체의 전파 전파 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 레이다 등의 특수분야에 제한적으로 사용되고 있으나, 60 GHz대역을 중심으로한 흡수대역은 고밀집 데이터 전송이 가능하면서도 보안성이 요구되는 고속통신용 캐리어로 이용가능하므로, 기술선진국에서는 밀리미터파 무선 LAN, 근거리 초고속 무선 밀리미터파 통신기술 개발을 비롯한 광대역 무선 디지털 통신 시스템 개발에 박차를 가하고 있다.

또한 지능형 교통시스템에 대한 국제적 관심이 증가함에 따라 차량간의 군집운행을 위한 차량간의 통신 수단 및 차량 레이다용으로 밀리미터파 대역을 이용하고자하는 노력들이 적극 시도되고 있다.

### 3-1 60 GHz 대역의 광대역 전송 시스템

#### 1) 유럽

유럽의 RACE 계획 중에서 18개의 기관이 참여하고 있는 MBS(Mobile Broadband System) 프로젝트는 GaAs MMIC를 이용하여 62~66 GHz대 송수신기를 개발하여 이동통신 환경에서도 비디오 폰과 같은 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 계획을 추진 중에 있다.

본 계획에서는 광대역 이동단말이 B-ISDN의 고정단말과 동일한 성능 및 기능을 가질 수 있도록 IBCN(Intergrated Broadband Communication Network)에의 접속기술을 개발 중에 있다. 또한 사용자의 이동특성 및 고정망과의 상호작용을 기준으로 기지국 구조와 고정망과의 관계, 이동관련기능(핸드오버, 라우팅), 시그널링 프로토콜 개발도 진행 중이다.

MBS는 최대 100 km/h정도로 이동하는 실내의 가입자에게 ATM셀 형태의 디지털 데이터를 2 Mbps급에서부터 155 Mbps급 전송속도까지 가격 경쟁력 있게 제공하고 2 Mbps 이하의 저속데이터의 전송도 가능하다. MBS는 60 GHz대의 산소흡수특성을 이용하여 주파수 재사용 효율을 최대한 이용할 계획이다.

## 2) 캐나다

CITR(Canadian Institute for Telecommunications Research)의 광대역 실내무선통신 프로젝트는 캐나다의 7개 대학 연구소와 CRC(Communication Research Center), BNR(Bell Northern Research)에서 공동 연구 중인 내용으로 사무실 내에서 이동하는 실내 가입자에게 155 Mbps 급까지의 데이터 서비스를 제공 가능한 시스템을 개발하는 것이다.

## 3) 일본

일본 우정성의 CRL(Communication Research Laboratory)은 단거리 전파통신 연구를 위하여 59~64 GHz 대역을 목표 주파수대로 지정하였으며, 1992년부터 연구 프로그램을 시작하여 1998년 말까지 광 파이버 전송망과 접속되는 100 Mbps 급 무선시스템을 개발할 예정이다.

## 4) 호주

호주의 PLANS(The Program for LANs and Network Service)계획은 셀당 약 100 Mbps까지 전송가능한 제3세대 무선통신 시스템 개발 계획으로서 정부와 4개의 대학이 참여하여 실내 보행자를 대상으로 서비스를 제공하기 위해 밀리미터파의 반사지연현상을 억제하기 위한 안테나 다이버시티 기술과 고도의 변조기법 및 패킷전송방식을 개발 중에 있다.

### 3-2 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. 이러한 정보교환을 위해서는 차량과 차량간의 통신이 필수적인데 최근들어 관심사가 크게 높아지기는 하였으나 아직까지 뚜렷한 결과는 없는 상태이다.

현재 차량과 차량간의 무선통신 방법으로 많이 이용되고 있는 것은 적외선 통신과 밀리미터통신인데, 밀리미터파인 경우에는 차간거리 측정용으로 사용되는 밀리미터파 레이더가 76 GHz/ 24 GHz/ 60 GHz대역에서 연구 중에 있다.

ITS와 관련한 외국의 주파수 분배 및 이용현황은 다음과 같다.

#### (1) 38.5 GHz

-밀리미터파 도플러 속도 센서

#### (2) 66 GHz

-자동차와 비콘간 통신

- 자동차간 통신
- 자동차 자동과금 시스템
- 교통량 관리 및 운행자 정보 시스템
- (3) 60~61 GHz, 76~79 GHz
  - 자동차용 밀리미터파 레이다
  - 밀리미터파 위치확인 시스템
- (4) 82 GHz
  - 밀리미터파 도플러 속도 센서

#### IV. 결 론

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 레이다, 무선광대역 통신 등의 분야에서 38 GHz, 60 GHz, 63 GHz, 77 GHz 등이 상용화되어 가고 있거나 개발이 적극 추진 중에 있다.

이러한 밀리미터파의 이용기술 개발을 확대하고 차세대 통신 시장에서 뒤떨어지지 않으려면 발전

기, 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] FCC, Bulletin Number 70, "Millimeter Wave Propagation : Spectrum Management Implications", July, 1997.
- [2] L. J. Ippolito, "Radiowave Propagation in Satellite Communications," New York:van Nostrand Reinhold, 1986.
- [3] W. J. Vogel, E. K. Smith, "Propagation Considerations in Land Mobile Satellite Transmissions", *Microwave Journal*, pp. 111-122, Oct, 1985.
- [4] CCIR Doc. Rep. 719-3, "Attenuation by Atmospheric Gases", ITU, 1990.

≡필자소개≡

임 종 태

1989년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1993년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1993년 11월~현재 : SK Telecom 중앙연구원(수석연구원)

1998년 2월~1998년 11월 : 정보통신연구관리단 전파방송기술평가실(실장)

1998년 12월~현재 : 정보통신연구관리단 산업기술팀장

[주 관심분야] 이동 전파전파특성, 이동통신 시스템 엔지니어링, 안테나 공학

