

4세대 이동통신 서비스 주파수 소요량에 관한 연구

Spectrum Requirements for the Future Development of IMT-2000 and Systems beyond IMT-2000

정우기 · 윤현구* · 임재우** · 육종관 · 박한규

Woo-Ghee Chung · Hyun-Goo Yoon* · Jae-Woo Lim** · Jong-Gwan Yook · Han-Kyu Park

요 약

본 논문에서는 4세대 이동통신 주파수 소요량 산출 방법론을 구현하고, 주파수 소요량의 변화에 큰 영향을 미치는 RATG간 트래픽 배분율, 주파수 효율성, FSU 이득과 시장 데이터 입력 파라미터 ρ 에 따른 주파수 소요량의 변화를 시뮬레이션 하였다. 트래픽 배분율에 따른 주파수 소요량 변화는 1 GHz/20 % 정도였으며, 주파수 효율성에 따른 변화는 5~9 GHz였다. 그리고 FSU 이득이 1 dB 증가하면 주파수 소요량은 약 0.9 dB 정도 감소하였다. 시장 데이터 입력 파라미터 $\rho=0.5$ 일 때 주파수 소요량은 801.63 MHz, $\rho=1.0$ 일 때는 6295.4 MHz로, 시장 데이터 입력 파라미터가 주파수 소요량에 미치는 영향이 가장 크다.

Abstract

In this paper the algorithm of a methodology for the calculation of spectrum requirements was implemented. As well, the influence of traffic distribution ratio among radio access technology groups, spectral efficiency, and flexible spectrum usage(FSU) margin was analyzed in terms of the spectrum requirements, with a view toward for future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000. The ratio of the spectrum requirement to the traffic distribution ratio is approximately 1 GHz/20 %, and the spectrum requirement varies from 5 to 9 GHz. As the FSU margin increases by 1.0 dB, the total spectrum requirement decreases by 0.9 dB. The required spectrum for the market input parameter, $\rho = 0.5$ is 801.63 MHz, while the required spectrum for $\rho = 1.0$ is 6295.4 MHz. It can be concluded that the market input parameter is the most effective parameter in the calculation of spectrum requirements.

Key words : Flexible Spectrum Usage, IMT-2000, Spectral Efficiency, Spectrum Requirements, Systems Beyond IMT-2000

I. 서 론

고속 이동 중에 100 Mbps, 정지 및 저속 이동 중에 1 Gbps까지 데이터 전송이 가능한 4세대 이동통신 서비스는 유무선 통합에 의한 진정한 멀티미디어 통신이 가능토록 하는데 있다. 국제전기통신연합(ITU: International Telecommunication Union)은 2003년 5월

에 개최된 WRC-03(World Radiocommunication Conference-03)에서 상기의 요구사항을 만족할 수 있는 4세대 이동통신용 주파수를 검토하도록 WRC-07에 관련 의제를 포함시켰다. 또한 상기 의제에 관련하여 'IMT-2000 이후 시스템의 서비스 수요 분석', '주파수 소요량 산출 및 기술 요구사항 분석', '잠재적인 주파수 대역 분석'의 연구를 진행하고 있으며, 국

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

*명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer & Electronic Engineering, Myongji College)

**정보통신부 전파연구소(Radio Research Lab., Ministry of Information and Communication)

· 논문 번호 : 2001105-04S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 5일

내의 4세대 이동통신 주파수 연구 또한 이를 기반으로 진행되고 있다.

이중에서 정확한 주파수 소요량 산출은 한정된 주파수 자원을 효율적으로 활용하기 위한 매우 중요한 작업으로 정확한 주파수 소요량에 최대한 근접하여야 한다. 그러나 과거 IMT-2000 주파수 소요량 산출을 위한 방법인 권고안 ITU-R M.1390으로 다양한 서비스와 환경, 그리고 이를 제공하기 위한 기술이 서로 복잡하게 혼재하는 4세대 이동통신에 필요한 주파수 소요량을 산출하기에는 한계가 있다^{[1],[2]}. 이에 ITU-R에서는 4세대 이동통신 서비스의 주파수 소요량을 산출하기 위해 미래의 서비스 및 기술 성능 예측을 통해서 주파수 소요량을 산출하기 위한 방법론을 제시하였으며, 현재 일부 사항을 제외하고는 주파수 소요량 산출방법론이 합의에 이르렀다^[3]. 하지만 이는 4세대 이동통신 주파수 소요량 산출방법론을 제시할 뿐, 실제 주파수 소요량에 영향을 미치는 중요한 파라미터에 대한 연구는 현재도 계속 연구 중이다.

본 논문에서는 상기와 같은 개념으로 개발된 주파수 소요량 산출방법론에 근거하여 주파수 소요량 산출 알고리즘을 구현하고, 주파수 소요량의 변화에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 기술 파라미터에 따른 주파수 소요량의 변화를 분석하였다. 이를 통해 향후 국내에서 4세대 이동통신용 주파수 할당 및 운용 방안에 대한 근거를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ITU-R에서 제시한 주파수 소요량 산출방법론을 설명하고, 3장에 주파수 소요량 산출에서 중요한 기술적 파라미터를 나타내었다. 4장에서는 구현된 알고리즘으로 주파수 소요량을 산출하고 기술적 파라미터가 주파수 소요량에 미치는 영향을 분석하고, 5장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 주파수 소요량 산출방법론

4세대 이동통신 주파수 소요량 산출을 위해서는 우선 서비스/환경/기술을 정의하고, 서비스 예측을 통한 시장 수요를 산출(IP 계층 이상을 고려)한다. 그리고 시장에서 요구되는 트래픽 수요를 서비스 범주(SC: Service Category), 서비스 환경(SE: Service Environment), 전파 환경(RE: Radio Environment)과 이를

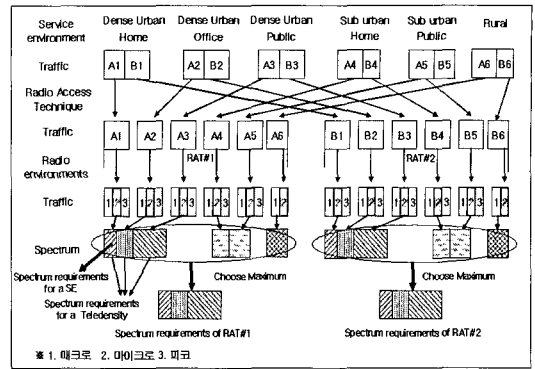


그림 1. 트래픽 배분으로 본 주파수 소요량 산출 개념
Fig. 1. Traffic distributions among service environments, RAT, and radio environments.

처리하는 무선 접속 기술(RATG: Radio Access Technology Group)에 따라 분류한다. 분류된 트래픽을 처리하기 위한 무선 접속 기술별 용량(물리/MAC 계층 고려)을 구하고 각각의 환경에 따른 스펙트럼 효율성(spectrum efficiency)을 이용하여 총 주파수 소요량을 산출한다. ITU-R에서 제시한 4세대 이동통신 주파수 소요량 산출방법론은 그림 1에 도식적으로 나타나있다.

여기서 향후의 이동통신 서비스의 트래픽 수요 예측과 다양한 무선 접속 기술 및 무선 전파 환경으로의 트래픽 분배 및 각각의 환경에서의 스펙트럼 효율이 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 특히 트래픽 및 주파수 효율은 지난 IMT-2000 서비스에서는 다루지 않았던 이동성에 따른 네트워크 용량, 계층간 핸드오프 용량, 주파수 대역폭, 네트워크 배치 등 새로운 사항들이 고려된 값이어야 한다. 이것은 IMT-2000 주파수 소요량 산출에서 고밀도 지역만을 대상으로 하였던 서비스 지역 선정의 변화를 가져온다. 즉, 고밀도 지역이 아니더라도 사용하는 무선 접속 기술 및 전파 환경에 따라 주파수 소요량이 증가할 수 있으므로 여러 지역을 비교하여 주파수 소요량이 가장 많이 필요한 지역을 선정하게 된다. 또한 한 지역에 동시에 이용되는 무선 접속 기술의 주파수 소요량을 모두 합하게 되는데, 주파수 효율성에만 의존한 ITU-R M.1390 방식과는 달리 주파수 효율성이 떨어져도 경제적인 네트워크 투자 비용을 고려하여야 한다는 점이 추가된 것이다.

또한 IMT-2000 주파수 소요량 산출에서는 인구 밀

도와 관계있는 도심-건물, 도심-보행, 교외 지역이 각각 피코, 마이크로, 매크로와 같은 무선 환경과 일치하는 것으로 가정하였다. 하지만 이것은 셀룰러 네트워크 하나만 사용하는 경우에는 적합하지만 다양한 네트워크가 존재하는 경우 적합하지 않다.

따라서 새로운 서비스 환경이 필요하고 이 새로운 서비스 환경의 트래픽이 경제적인 서비스를 위해 다양한 무선 접속 기술과 다양한 무선 환경을 선택하여 처리할 수 있는 개념도 추가되었다.

그림 2는 ITU-R에서 제시된 주파수 소요량 산출 알고리즘을 나타내고 있으며, 각 단계별 설명은 다음과 같다. 1단계에서 서비스, 서비스 환경, 전파 환경 및 무선 접속 기술에 대한 정의를 내리고 향후에 시장에서 요구하게 될 서비스에 대한 수요 조사 데이터를 분석한다. 2단계에서 획득한 트래픽 데이터를 서비스, 서비스 환경별로 분류하고 서비스 및 서비스 환경별로 분리된 트래픽을 서비스할 무선 접속

기술별로 분류한다. 5단계로 무선 접속 기술별 용량 산출 및 스펙트럼 소요량을 산출하여 조정 후에 마지막으로 각각의 무선 접속 기술그룹에서 산출된 주파수 소요량을 기반으로 전체 스펙트럼 소요량을 산출한다.

주파수 소요량 산출은 4세대 이동통신 서비스의 형태가 매우 다양하고, 각각 서비스를 제공할 수 있는 무선 접속 기술 종류 및 성능을 결정하는 과정이 매우 복잡하다. 또한 전파 환경별 트래픽 분배 방법에 따라 주파수 소요량이 변하므로, 보다 정확한 소요량 산출을 위해서는 실제 환경과 유사하게 모델링한 전파 환경별 트래픽 분배 방법을 선택해야 한다¹⁾.

Ⅲ. 기술 파라미터

주파수 소요량 산출에는 크게 시장(market) 데이터 분석과 서비스를 제공하는 무선 접속 기술에 대한 데이터 분석이 필요하다. 우선 시장 분석은 Market SWG(Sub Working Group)의 시장 보고서를 기반으로 방법론 알고리즘에 필요한 시장 변수값을 예측한다. 필요한 시장 입력 변수는 서비스/서비스 환경 별 호 도착률(session arrival rate) 및 서비스/서비스 환경 별 세션(session)당 트래픽 총량 등이 있으며, 서비스 전망 설문에 대한 응답을 분석하여 작성된다.

무선 접속 기술은 기존 기술과 새로운 기술을 포함하여 주파수 효율성이 유사한 4개의 그룹을 분류하였다. 4세대 이동통신 서비스를 제공하기 위한 무선 접속 기술은 첫째 IMT-2000 및 IMT-2000을 기반으로 진화한 기술, 둘째는 IMT-2000 이후의 새로운 무선 접속 기술, 셋째는 기존의 무선 LAN(Radio Local Area Network) 및 그 진화 기술, 마지막으로 디지털 방송 시스템 및 그 진화 기술로 분류한다.

각각의 무선 접속 기술 파라미터는 서비스 환경 및 전파 환경에 따른 주파수 효율성을 산출하기 위한 기준을 위해 중심 주파수, 단방향 지연시간, 최대 지원 속도, 사업자당 최소 주파수, 사업자간 보호 대역, 듀플렉스, 주파수 효율, 고정 데이터 속도에 의한 효율 저하, 매크로/마이크로/피코/hotspot 셀 경계 전송 속도, 지원되는 서비스 종류, 데이터 예약 방식,

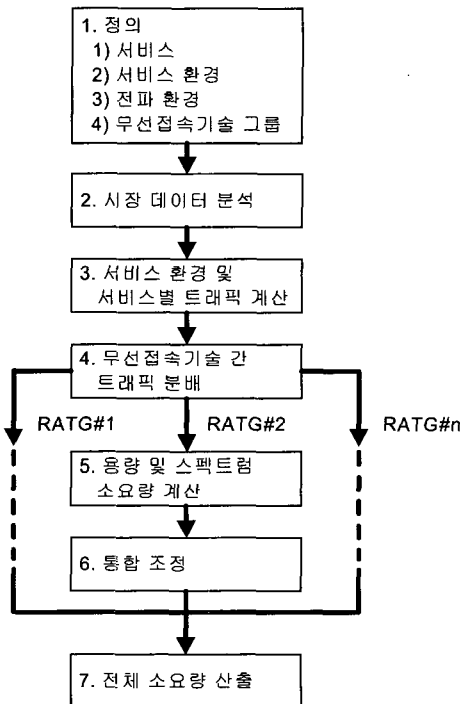


그림 2. 주파수 소요량 산출 흐름도
Fig. 2. Flow chart for a generic spectrum calculation methodology.

¹⁾ 트래픽 분배는 현재 ITU-R에서 확정되지 않았으나, 본 논문에서는 참고문헌 [3]에 제안된 트래픽 분배 방안을 사용한다.

표 1. 주요 무선 접속 기술 파라미터

Table 1. Radio aspect parameters.

무선 접속 기술 파라미터
셀 경계에서 서비스 가능한 전송속도 [bps]
지원 가능한 이동성
캐리어 주파수 [MHz]
사업자간 보호대역폭 [MHz]
FSU 지원 여부 및 이득
주파수 효율성 [bits/s/Hz/cell]

peer-to-peer 지원, 전송 대역폭, FSU(Flexible Spectrum Use)의 사용 등을 정의하며^[3], 표 1에 주요 무선 접속 기술 파라미터를 나타내었다^[5].

표 1에 있는 파라미터 중 주파수 소요량에 직접적으로 크게 영향을 미치는 것은 주파수 효율성과 FSU이다. 주파수 효율성은 무선 접속 기술의 성능 한계를 나타내는 것으로 기술별, 전파 환경별, 서비스 환경별로 변화가 큰 값이며, FSU는 한정된 주파수 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 주파수를 유연하게 할당하여 사용하는 방식으로 주파수 소요량에 직접적으로 영향을 미치는 파라미터이다. 따라서 본 논문에서는 주파수 효율성과 FSU 이득에 따른 주파수 소요량의 변화를 분석하고자 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

4세대 이동통신 주파수 소요량 산출을 위한 시장 데이터 및 관련 파라미터는 참고문헌 [3]~[6]에 나타나 있다. 여기서는 4세대 이동통신 주파수 소요량 산출방법론을 검증하기 위해 두 가지 경우를 나타내고 있는데, 그 첫 번째는 ITU-R M.1390과 같은 환경에서 주파수 소요량 산출 방법론을 검증하는 경우이고, 두 번째는 시장 데이터를 사용하여 주파수 소요량 산출 방법론을 분석한 경우이다. 첫 번째 경우는 IMT-2000 주파수 산출 방법론과 비교가 주된 목적이므로, 본 논문에서는 두 번째 경우에 대해서 주파수 효율성^[4]과 FSU 이득에 대한 주파수 소요량 변화를 분석한다.

우선 고려 대상인 서비스 범주(SC)는 25가지로 정의하고, SC1~SC10까지는 회선 교환 방식으로, SC11~SC20는 패킷 교환 방식으로 서비스 된다. 서비스 환경은 총 6가지이며 표 2에 정의되어 있다. 서비스를

표 2. 서비스 환경 분류

Table 2. Service environments.

Teledensity Service usage pattern	Dense Urban (DU)	Sub-Urban (SU)	Rural (RU)
Home	SE1	SE4	SE6
Office	SE2	SE5	
Public area	SE3		

제공하는 무선 접속 기술은 현재 IMT-2000 기술 및 진화 기술인 RATG-1과 IMT-2000 이후 새로운 무선 접속 기술인 RATG-2 두 가지만을 고려하며, RATG 간의 트래픽 배분을 위해 RATG-1이 r %, RATG-2가 $(100-r)$ % 트래픽을 처리한다고 가정한다. 무선 전파 환경(RE)은 핫스팟(RE1), 피코(RE2), 마이크로(RE3), 매크로(RE4)로 구분하며, 이동성(MC: Mobility Class)은 정지/보행자(stationary/pedestrian), 저속(low), 고속(high)으로 나눈다. 그리고 회선 교환 방식의 용량 계산은 Multidimensional Erlang-B 공식을 사용하였고, 패킷 교환 방식은 M/G/1-FCFS 큐잉(queueing) 모델을 사용하였으며, 각각에서 주요한 파라미터인 호차단율(blocking probability)과 패킷의

표 3. 시뮬레이션 파라미터

Table 3. Simulation parameters.

파라미터	내용
서비스 범주	SC1-10(회선) SC11-20(패킷)
서비스 환경	SE1-6
무선 접속 기술 그룹	RATG-1: r % RATG-2: $100-r$ %
전파 환경	RE1-4
호 차단율	0.01 SC(1-10)
패킷 크기 평균 [byte]	1,500 SC(11-15) 540 SC(16-20)
패킷 크기 분산 [byte ²]	4,500,000 SC(11-15) 583,200 SC(16-20)
평균 패킷 지연 시간	0.04 SC(11-15) 0.4 SC(16-20)

표 4. 시뮬레이션 시나리오

Table 4. Simulation scenario.

시나리오	주파수 효율성				
		RE1	RE2	RE3	RE4
Case 1					
	RATG-1	1	0.7	0.4	0.4
	RATG-2	10	6	5	3
Case 2					
	RATG-1	1	0.7	0.4	0.4
	RATG-2	7.5	4.5	3.5	2.5
Case 3					
	RATG-1	1	0.7	0.4	0.4
	RATG-2	5	3	2	2

통계적인 특성은 표 3에 나타내었다.

그림 3은 RATG간의 트래픽 배분율에 따른 주파수 소요량 시뮬레이션 결과이다. RATG-1보다 RATG-2의 주파수 효율성이 높으므로 RATG-2로 배분되는 트래픽의 양이 많을수록 전체 주파수 소요량은 감소함을 볼 수 있다. 참고로 ITU에서 예로 제시한 값은 나타낸 $\rho=20\%$ 이다. 이 값 역시 시장 데이터를 통해서 무선 접속 기술그룹별 점유율을 추정해야 보다 정확한 주파수 소요량이 산출될 수 있을 것으로 판단된다.

주파수 효율성에 따른 주파수 소요량의 변화를 살펴보기 위한 시나리오를 표 4에 나타내었다. Case 1은 ITU-R에서 권고한 가장 주파수 효율성이 가장 좋

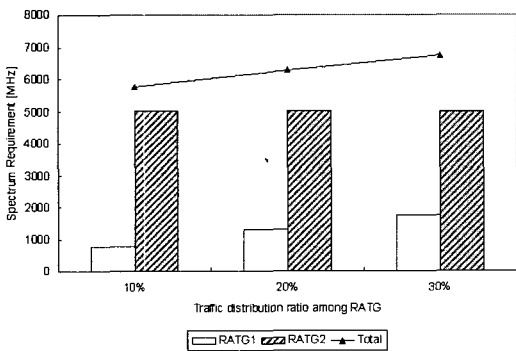


그림 3. RATG간 트래픽 배분율에 따른 주파수 소요량 변화

Fig. 3. Influence of traffic distribution ratio on required spectrum.

은 경우만으로 구성된 것이고, Case 2는 평균값, Case 3은 가장 주파수 효율성이 떨어지는 경우이다. 무선접속 기술-1은 현재 서비스 중이거나 현재 시스템이 진화된 것이므로 주파수 효율성이 확인된 값이다. 그러나 RATG-2는 미래에 새로 개발될 무선 접속 기술이므로 정확한 주파수 효율성 산출이 불가능하므로 예상되는 기술의 이론적 분석을 통해 얻은 근사값이다^[4]. 따라서 이를 최고, 평균, 최저로 나누어 실제 주파수 소요량을 추정하고자 한다.

그림 4에 주파수 효율성에 따른 전체 주파수 소요량의 변화를 나타내었다. 그림에서 RATG간 트래픽 배분율에 의한 영향보다 주파수 효율성의 영향이 크다는 것을 직관적으로도 확인할 수 있다. 그리고 4세대 이동통신 주파수 소요량은 대략 5~9 GHz 내에 존재함을 알 수 있으며, 보다 정확한 4세대 이동통신 무선 접속에 대한 주파수 효율성 데이터가 있어야 주파수 소요량 산출도 의미를 갖는다고 할 수 있다. 4세대 이동통신 무선 접속 기술에서 주파수 효율성을 증가시키기 위한 FSU를 적용했을 때 주파수 소요량의 변화를 그림 5에 나타내었다. RATG-1은 FSU를 사용하지 않으므로 FSU는 RATG-2에만 적용하였고, FSU 이득의 범위를 1.1~1.5로 변화시키면서 주파수 소요량 변화를 분석하였다. FSU 이득과 주파수 소요량은 거의 선형적으로 반비례 관계에 있음을 확인할 수 있다. 그림 6은 시장 데이터 입력 파라미터 ρ 에 따른 주파수 소요량 변화를 나타낸다. 그림에서 ρ 값이 0.5는 스펙트럼 소요량 산출에 필요한 트래픽량이 시장 조사로부터 예측된 트래픽량의

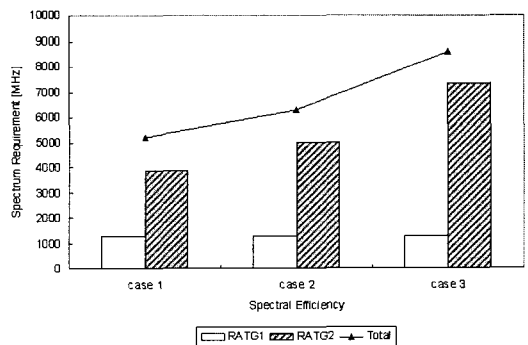


그림 4. 주파수 효율성에 따른 주파수 소요량 변화

Fig. 4. Influence of spectrum efficiency on required spectrum.

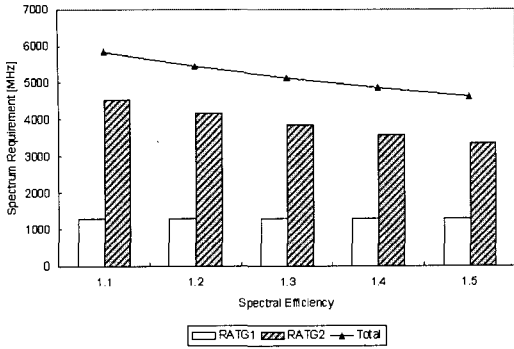


그림 5. FSU에 따른 주파수 소요량 변화
Fig. 5. Influence of FSU margin on required spectrum.

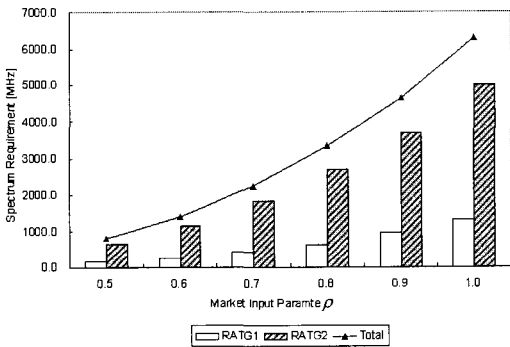


그림 6. 시장 데이터 입력 파라미터 ρ 에 따른 주파수 소요량 변화
Fig. 6. Influence of market input parameter ρ on required spectrum.

50 %임을 의미하고, 1인 경우는 예측된 트래픽량 전부가 실제 스펙트럼 소요량 산출에 포함된다는 것을 의미한다. 결과에서 보면 산출된 주파수 소요량이 801.63~6,295.4 MHz로 변동이 가장 큰 요소라고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 4세대 이동통신 주파수 소요량 산출 방법론을 분석하여 주파수 소요량 산출 알고리즘을 구현하고, 주파수 소요량의 변화에 큰 영향을 미치는 RATG간 트래픽 배분율, 주파수 효율성, FSU 이득과 시장 데이터 입력 파라미터 ρ 에 따른 주파수 소요량의 변화를 시뮬레이션 하였다.

트래픽 배분율에 따른 주파수 소요량 변화는 1 GHz/20 % 정도였으며, 주파수 효율성에 따른 변화는 최대값과 최소값의 차이가 4 GHz 정도로 보다 정확한 주파수 효율성이 예측이 필요하다. 또한 FSU 이득에 따른 주파수 소요량은 FSU 이득에 따른 주파수 소요량의 비는 약 -0.9 dB 정도로 FSU 이득이 1 dB 증가하면 주파수 소요량은 약 0.9 dB 정도 감소함을 알 수 있다. 시장 데이터 입력 파라미터 ρ 에 따른 주파수 소요량 변화는 801.631~6,295.4 MHz로 주파수 효율성보다도 변동성이 큰 요소라고 할 수 있다.

현재 주파수 소요량 산출량에 가장 크게 영향을 주는 시장 데이터는 ITU-R에 기고된 자료를 사용하였으나, 보다 정확한 국내의 4세대 이동통신 주파수 소요량 산출을 위해서는 국내의 이동통신 시장에 대한 데이터 확보와 4세대 이동통신 접속 기술에 대한 기술적인 분석이 필요하다고 분석된다.

참 고 문 헌

- [1] Rec. ITU-R M.1390, "Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements", Mar. 1999.
- [2] Rep. ITU-R 2023, "Spectrum requirements for IMT-2000", May 2000.
- [3] Doc. ITU-R WP8F/TEMP/271Rev4, "Preliminary draft new recommendation for methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000", Oct. 2005.
- [4] Input Doc. ITU-R WP8F/505, "Spectral efficiency calculation for new capabilities of systems beyond IMT-2000", Jun. 2005.
- [5] Doc. ITU-R WP8F/290Rev2, "Preliminary draft new report on radio aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-20000", Oct. 2005.
- [6] Doc. ITU-R WP8F/289, "Preliminary draft new Report ITU-R M.[IMT.MARKET]-world mobile telecommunication market forecast", Oct. 2005.

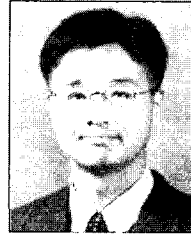
정 우 기



1986년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년: 연세대학교 전자공학과 박사수료
 1989년~1992년: 한국전자통신연구소 위성본부

1992년~1994년: SK텔레콤 CDMA 전담반
 1994년~1999년: 신세기통신 기술기획팀
 1999년~2003년 2월: LG텔레콤 기술전략팀 부장
 2003년 3월~현재: 청강문화산업대학 이동통신과 교수
 [주 관심분야] 전파통신, 디지털통신시스템, spectrum engineering

육 중 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer
 1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수
 2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 부교수
 [주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조

윤 현 구



1995년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2002년~2004년 2월: (주)현대시스템 선임연구원

2004년 3월~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 조교수
 [주 관심분야] 디지털통신, 무선전송기술, 채널모델링

박 한 규



1964년: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1968년: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1975년: 불란서 파리 6대학 (공학박사)
 1976년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

1979년~1980년: 스탠포드대학교 교환교수
 1989년~1994년: 대통령 21세기 위원회 위원
 1995년~1997년: 정보통신부 전파위원회 위원장
 1997년~현재: 한국과학재단 이사
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 스마트 안테나, 전파 전파, SAR

임 재 우



1995년: 경원대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년: 경원대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학 박사과정
 1997년 6월~현재: 정보통신부 전파연구소

[주 관심분야] 주파수 자원관리, 전파채널 모델, 차세대 이동통신