

국내 이동 통신 트래픽 분석에 의한 3G 이동 통신 주파수 소요량 산출

Estimation of Spectrum Requirements for 3G Mobile Communications Based on the Analysis of Korean Mobile Communications Traffic

정 우 기

Woo-Ghee Chung

요 약

최근 국내의 3G 서비스가 본격적인 성장 단계로 들어섬에 따라 트래픽 증가율에 따른 주파수 소요량 변화가 매우 커지고 있다. 따라서 이동 통신 주파수의 재분배가 활발히 검토되고 있는데 우선적으로 정확한 주파수 소요량 산출 방법이 요구된다. 그러나 기존 산출 방법은 현재의 실질적인 데이터 분석보다 미래의 서비스 예측에 의존하고 있다. 본 논문에서는 실질적인 데이터 분석에 의한 보다 정확한 주파수 소요량 산출 방법을 제시하기 위해 국내 3G 이동 통신 서비스의 실제 트래픽 특성 및 3G 이동 통신 서비스용 주파수 소요량 산출에 알맞은 알고리즘을 분석하고, 주파수 소요량 산출에 필요한 파라미터를 구하였다. 2007년말 실제 트래픽 파라미터에 근거하여 향후 4년간 데이터 트래픽이 각각 매년 44 % 및 매년 21 %씩 증가하는 경우에 따른 주파수 소요량을 산출하였다. 주파수 소요량 산출 결과는 2011년말까지 매년 44 % 증가하는 경우 약 90 MHz, 매년 21 % 증가하는 경우 약 60 MHz로 나타났다.

Abstract

Recently, as the 3G services of Korea have stepped into the developing stage and the traffic has been rapidly increasing, the spectrum requirements have been getting very large. Therefore spectrum refarming is considered actively and firstly exact methodology of spectrum requirement estimation is needed. But existing methodology depends on the future's service forecast than the present substantial data. This paper proposed the exact methodology of spectrum requirement estimation is based on the real data. So this paper analyzed the characteristics of Korean mobile communication traffic based on the real data and the algorithm suitable for estimation of spectrum requirements for 3G mobile communications, and calculated the parameters needed to estimate the spectrum requirements. Based on the traffic parameters of December 2007, simulations to get the estimation of annual spectrum requirements were implemented for the two different cases: one of which is 44 % annual increase in the data traffic and the other is 21 % annual increase. The simulation results show 90 MHz for the first case and 60 MHz for the second case in December 2011.

Key words : Spectrum Requirements Estimation, 3G Service Traffic, Frequency Refarming

I. 서 론

국내 3G 이동 통신 서비스는 2006년 HSDPA를 이

용하여 중고속 데이터 서비스를 제공하면서 2007년 말에는 가입자가 570만명을 넘어섰다. HSDPA 서비스 가입자의 급격한 증가와 2011년 6월 셀룰러 및

청강문화산업대학 이동통신과(Dept. of Mobile Communications, ChungKang College of Cultural Industries)

· 논문 번호 : 20081110-141

· 수정완료일자 : 2009년 2월 4일

PCS 주파수의 제한당 이슈가 압박하면서 이동 통신 주파수 이용 환경이 크게 변하고 있다. 따라서 HSDPA 가입자 증가에 따른 3G 이동 통신 서비스의 트래픽 분석 및 주파수 대역폭의 산출 결과는 향후 이동 통신 주파수 이용 계획에 중요하게 활용될 수 있을 것이다.

ITU는 2000년에 IMT-2000(3G)용 주파수를 추가 분배하기 위한 주파수 소요량을 산출 방법으로 Rec. ITU-R M.1390과 Rep. ITU-R M.2023을 권고하였다^{[1][2]}. 또한, 2007년 IMT-Advanced(4G)용 주파수를 분배하기 위한 산출 방법으로 Rec. ITU-R M.1768과 Rep. ITU-R M.2078을 권고하였다^{[3][4]}. 하지만 ITU에서 주파수 분배 차원에서 장기적으로 이루어진 산출 방법은 현재 진행중인 서비스 환경과 달라 주파수 재배치 및 주파수 할당과 같이 실제적인 트래픽에 근거하여야 하는 정책에 적합하지 않다. 국내 이동 통신 서비스 환경은 2006년부터 시작한 HSDPA 기술을 이용한 중고속 데이터 트래픽이 크게 증가하면서 2007년말에는 의미 있는 분석이 가능하게 되었다.

본 논문에서는 효율적인 주파수 재배치 및 할당에 활용할 수 있도록 주파수 재배치 기간의 이동 통신 서비스에 대한 실제 트래픽 특성을 분석하여 적용 알고리즘 및 파라미터를 선정하는 주파수 소요량 산출 방법을 제시하고, 2007년말 현재의 주파수 소요량 및 일정한 트래픽 증가에 따른 향후 5년간의 주파수 소요량을 예측함으로써 2011년말 주파수 재배치의 기술적 근거를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 주파수 재배치를 위한 3G 주파수 소요량 산출 방법을 제시하고, III장에서는 주파수 소요량 산출에 필요한 실제 트래픽 및 기술 파라미터를 분석하였다. IV장에서는 주파수 소요량의 산출 및 결과를 분석하고, V장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 주파수 재배치를 위한 3G 주파수 소요량 산출 방법

2-1 기존 방법론의 한계

이동 통신용 주파수 소요량을 산출하기 위한 연

구는 ITU에서 이동 통신용으로 새로운 주파수를 분배할 때 객관적인 타당성을 갖기 위한 알고리즘 개발 및 수요 예측에 의한 주파수 소요량 산출 분야에서 이루어졌다. ITU는 2000년에 IMT-2000(3G)용 주파수를 추가하기 위한 알고리즘을 위해 개발하고 주파수 소요량을 산출하였다. 또한 2007년 IMT-Advanced(4G)용 주파수를 분배하기 위한 알고리즘을 연구하고 주파수 소요량을 산출하였다. 국내에서는 1999년에 전파진흥협회가 국내 IMT-2000용 주파수 소요량 산출을 위한 파라미터를 분석 연구하였고, 2003년에는 IMT-2000 주파수 소요량에 따른 무선 네트워크 산출을 위한 연구가 이루어졌다^{[5][6]}. 또한, 2006년에 국내 IMT-Advanced 주파수 소요량 연구가 이루어졌다^[7]. 그리고 2008년 2월에 현재의 3G 서비스의 파라미터를 IMT-Advanced 주파수 소요량 산출 알고리즘의 파라미터로 변환하여 주파수 소요량을 산출하는 연구가 이루어졌다^[8].

지금까지 이루어진 3G 주파수 연구는 2000년대 초반 IMT-2000용 주파수 소요량을 산출하기 위한 파라미터 값을 도출하는 방법을 제시하고, 2010년 수요 예측을 기반으로 주파수 소요량을 산출하거나^{[5][6]}, 현재의 서비스를 3G 서비스로 정의하고 3G 파라미터를 4G 주파수 소요량 산출 방법에 적합한 파라미터로 변환하는 방법을 제시하고 산출하는 연구가 이루어졌다^[8]. 지금까지 연구의 공통점은 파라미터를 분석하고 수요를 예측하여 소요량을 산출하였다는 것이다. 참고문헌 [8]은 3G 파라미터를 4G 주파수 소요량 산출 방법에 맞게 변환하여 4G 주파수 소요량 산출 알고리즘을 적용한 것이 추가되었다.

상기의 연구는 1999년에 2010년의 IMT-2000 추가 주파수 분배를 위한 3G 주파수 소요량 산출 및 2006년에 2020년의 IMT-Advanced 주파수 분배를 위한 4G 주파수 소요량 산출에 유의미하나, 5년 이내 수행하게 될 주파수 재배치 및 할당에 적용하기에는 가변성이 매우 크다.

2-2 기존 방법론의 비교 분석

ITU는 이동 통신 서비스의 환경에 따라 주파수 소요량 산출을 위한 다양한 알고리즘을 개발하여 왔지

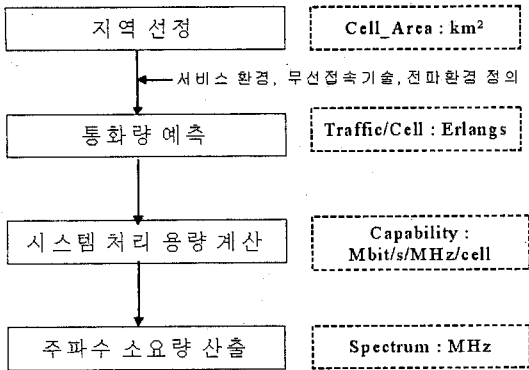


그림 1. 일반적인 주파수 소요량 산출 방법
Fig. 1. General method to calculate spectrum requirements.

만 기본 개념은 유사하며 다음과 같다. 이동 통신 서비스를 위한 가장 주파수 수요가 많은 지역을 선정하고, 해당 지역의 시장 및 통화량을 산출한 후, 기술 및 시스템의 용량을 계산하여, 최종적으로 주파수 소요량을 산출한다. 그림 1은 이와 같은 주파수 소요량 산출 방법을 도식화 한 것이다.

일반적인 주파수 소요량 산출 방법에서 서비스 지역이 선정되면 우선적으로 서비스 지역의 서비스 환경, 무선 접속 기술, 전파 환경 등이 정의되어야 한다. 이때 서비스 환경, 무선 접속 기술, 전파 환경은 주파수 소요량을 산출에 직접 적용되는 통화량 예측, 시스템 처리 용량, 주파수 소요량을 결정하는 핵심 요소이다. 따라서 3G 주파수 소요량 산출 방법을 선정하기 위해서는 IMT-2000 및 IMT-Advanced의 주파수 소요량 산출 방법의 서비스 환경, 무선 접속 기술, 전파 환경을 비교하여야 한다. IMT-2000의 경우, 2010년 서비스 환경을 고려하여 2 Mbps 서비스와 3개의 서비스 환경, 하나의 무선 접속 기술, 3 layer 환경 등으로 정의된다. IMT-Advanced의 경우, 2020년 서비스 환경을 고려하여 100 Mbps의 고속 데이터 서비스에 따른 6개의 서비스 환경, 다양한 무선 접속 기술의 인티워킹, 3 layer 환경 등으로 정의된다. IMT-Advanced 서비스의 주파수 소요량 산출은 초고속 데이터 서비스에 의한 다양한 서비스 환경이 병렬적으로 존재하고 여러 무선 접속 기술이 존재하여 무선 접속 기술간 다양한 트래픽 분배 및 무선 환경간 트래픽 분배가 이루어져야 하며 모든 주파수 자원이 공유되는 환경이다.

2-3 국내 3G 주파수 소요량 산출 방법

국내 3G 이동 통신 사업자의 2007년말 트래픽을 분석한 결과, 최대 서비스 전송 속도는 1 Mbps 이하이고 하나의 무선 접속 기술 환경이고 1 layer 전파 환경으로 서비스하고 있다. 향후 4G 적용 기술이 본격적으로 성숙될 2015년 이전에는 현재의 3G 서비스 환경, 무선 접속 기술, 전파 환경 등이 변화되지 않을 것으로 분석된다^[9]. 따라서 본 논문에서는 3G 주파수 소요량 산출을 위한 알고리즘으로 ITU-R M.1390을 선택하되 현재 3G 서비스 특성을 반영하여 기존 알고리즘을 수정하여 적용하였다.

Ⅲ. 3G 트래픽 및 기술 파라미터 분석

본 장에서는 ITU-R M.1390에서 권고한 12가지 파라미터에 대해 국내 3G 이동 통신 서비스의 2007년말 트래픽의 분석 결과를 적용하고 이를 근거로 향후 5년간 주파수 소요량을 산출하기 위한 파라미터를 산출한다.

3-1 잠재 가입자 밀도(명/km²)

잠재 가입자 밀도는 전체 인구수와 관련이 있다. 따라서 지난 1998년도에 산출한 잠재 가입자 밀도^[3]에 근거하여 2007년말부터 2011년말까지의 전국 인구 증가에 비례하여 잠재 가입자 밀도를 예측하였으며, 그 결과는 표 1과 같다.

3-2 셀 면적(km²)

3G 이동 통신 가입자를 분석한 결과 강남 지역이 가장 밀집도가 높고, 기지국간 평균 거리는 0.3 km 이고, 셀 면적은 0.078 km²로 분석되었다.

3-3 서비스별 셀당 가입자수(명)

셀당 서비스별 가입자수를 산출하기 위해 년도별 가입자수를 2007년말 570만명 가입자에서 현재 2008

표 1. 서울 도심 지역의 잠재 가입자 밀도
Table 1. Population density of urban area of Seoul.

1998말	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
110,050	115,207	115,524	115,841	116,157	116,474

표 2. 3G 서비스 가입자수

Table 2. Number of 3G service subscribers.

구분	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
(만명)	570	1,200	1,800	2,400	3,000

표 3. 서비스별 3G 서비스 보급률

Table 3. 3G service penetration rate per services.

구분(%)	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
음성	0.1176	0.2470	0.3694	0.4912	0.6124
저속 데이터	0.1176	0.2470	0.3694	0.4912	0.6124
영상 전화	0.1176	0.2470	0.3694	0.4912	0.6124
중속 데이터	0.1021	0.2470	0.3694	0.4912	0.6124
고속 데이터	0.1021	0.2470	0.3694	0.4912	0.6124

년말 가입자 추세를 반영 매년 600만명씩 가입자가 증가하는 것으로 가정하였고, 서비스별 보급률과 함께 셀당 3G 가입자수를 산출하였다. 국내의 경우, 양방향 멀티미디어 서비스는 제공되지 않아 트래픽 분석에서 제외했다.

3-4 최번시 시도수(회)

최번시 시도수는 데이터 서비스만 매년 20% 및 10%씩 증가하는 것으로 가정하였다.

3-5 평균 호지속시간(초)

평균 호지속시간은 데이터 서비스만 매년 20% 및 10%씩 증가하는 것으로 가정하였다.

3-6 활성화율(Activity Factor)

활성화율은 전체 점유시간 대비 실제로 사용하는

표 4. 서비스별 셀당 3G 가입자수

Table 4. Number of 3G subscribers per service per cell.

구분	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
음성	1,056	2,224	3,336	4,447	5,559
저속 데이터	1,056	2,224	3,336	4,447	5,559
영상 전화	1,056	2,224	3,336	4,447	5,559
중속 데이터	917	2,224	3,336	4,447	5,559
고속 데이터	917	2,224	3,336	4,447	5,559

표 5. 최번시 시도수(데이터 서비스 매년 20% 증가)
Table 5. Busy hour call attempt(20% annual increase in the data service).

구분	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
음성	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
저속 데이터	1.57	1.88	2.26	2.71	3.26
영상 전화	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06
중속 데이터	0.42	0.5	0.6	0.72	0.86
고속 데이터	0.17	0.2	0.24	0.29	0.34

표 6. 최번시 시도수(데이터 서비스 매년 10% 증가)
Table 6. Busy hour call attempt(10% annual increase in the data service).

구분(회)	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
음성	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
저속 데이터	1.57	1.73	1.9	2.09	2.3
영상 전화	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
중속 데이터	0.42	0.46	0.5	0.55	0.61
고속 데이터	0.17	0.18	0.2	0.22	0.24

표 7. 평균 호지속시간(데이터서비스 매년 20% 증가)
Table 7. Average call holding time(20% annual increase in the data service).

구분(초)	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
음성	73	73	73	73	73
저속 데이터	64	76	91	110	132
영상 전화	107	128	154	185	222
중속 데이터	122	146	176	211	253
고속 데이터	83	99	119	143	171

시간으로 정의하며, ITU가 제시한 값을 적용하였다.

3-7 Group Size

Group sizes는 1998년 연구 결과^[3]를 반영하여 ITU가 제안한 "7"의 값을 적용하였다.

3-8 QoS 함수

음성, 영상 전화와 같은 회선 서비스의 경우 Erlang B 모델의 호차단율 1%를 적용한 식 (1)을 이용하여 서비스 채널수를 산출하였다.

표 8. 평균 호지속시간(데이터서비스 매년 10 % 증가)
Table 8. Average call holding time(10 % annual increase in the data service).

구분(초)	2007말	2008말	2009말	2010말	2011말
음성	73	73	73	73	73
저속 데이터	64	70	77	85	93
영상 전화	107	118	129	142	157
중속 데이터	122	134	148	162	179
고속 데이터	83	91	100	110	121

표 9. 활성화율
Table 9. Activity factor.

구분	상향	하향
음성	0.5	0.5
저속 데이터	1	1
영상 전화	1	1
중속 데이터	0.00285	0.015
고속 데이터	0.00285	0.015

$$0.01 = \frac{a^c/c!}{\sum_{k=0}^c a^k/k!} \quad (1)$$

여기서 a 는 트래픽, c 는 채널수이다.

저속 데이터, 중고속 데이터와 같은 패킷 서비스의 경우 Erlang C 모델에서 세션 길이의 1/2 이상 지연 시간을 갖는 패킷이 전체 패킷의 1%인 경우를 적용한 식 (2)를 이용하여 서비스 채널수를 산출하였다.

$$0.01 = \frac{\frac{a^c}{c!(1-a/c)} \exp\left(-\frac{c-a}{2}\right)}{\sum_{k=0}^c \frac{a^k}{k!} + \frac{a^c}{c!(1-a/c)}} \quad (2)$$

여기서 a 는 트래픽, c 는 채널수이다.

3-9 서비스 채널 전송 속도(kbps)

국내 3G 이동 통신 서비스의 실제 운용 데이터를 분석하여 서비스 속도 그룹별로 평균한 값을 적용하였다.

3-10 시스템 용량(Net System Capability)

HSDPA 시스템이 2009년 이후 HSPA로 진화하는 것을 고려하여 패킷 서비스의 경우 2007~2008년은

표 10. 서비스 채널 속도
Table 10. Service channel bit rate.

구분	상향	하향
음성	12.2	12.2
저속 데이터	11.6	11.6
영상 전화	64	64
중속 데이터	96	256
고속 데이터	256	792

하향 600 kbps/MHz/Cell, 상향 150 kbps/MHz/Cell 기준 2009년 이후 하향 600 kbps/MHz/Cell, 상향 300 kbps/MHz/Cell를 적용하였다. 음성의 경우, 현재 운용 결과를 반영하여 상하향 100 kbps/MHz/Cell를 적용하였다.

3-11 가중치 팩터(Alpha Factor)

국내 고유의 가중치 팩터를 구하기 위해 국내 이동 통신 사업자의 음성 및 데이터 최번시를 분석한 결과 동일하여 1을 적용하였다.

3-12 조정 팩터(Beta Factor)

조정 팩터의 항목 가운데 가드 밴드는 이미 5 MHz 채널 대역폭에 포함되어 있어 5 MHz 채널을 고려한 Modularity만을 고려하였다. 현재 2개 사업자를 고려 전체 주파수 소요량을 2로 나눈 후 Modularity를 적용하였다.

3-13 트래픽 예측

2007년말 주파수 소요량은 국내 3G 이동 통신 사업자의 트래픽은 실제 서비스 중인 운용 데이터 값을 적용하였다. 지난 3년간 이동 통신 사업자의 cdma2000 1x 및 1x EV-DO 데이터 서비스의 증가율은 평균 10%로 분석되었다. 반면 이제 본격적인 서비스를 시작한 HSDPA 서비스는 cdma2000 1x 및 1x EV-DO보다 2배 정도의 데이터를 나타냈다. 본 논문에서는 3G 서비스가 이제 본격적으로 이루어지며 고속 성능에 의해 더욱 활성화된다는 것을 고려하여 향후 3G 데이터 트래픽과 비교하여 매년 2배, 4배씩 증가하는 경우를 선정하여 주파수 소요량을 산출하였다. 데이터 트래픽이 4배씩 증가할 경우, 기존 음

성 서비스와 동일한 트래픽에 이르므로 이를 가입자가 지불할 수 있는 통신비용의 한계로 가정하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

국내 3G 이동 통신 서비스의 트래픽 및 기술 파라미터를 분석한 예측치를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과 데이터 서비스가 매년 44 % 증가하는 경우, 매년 21 % 증가하는 경우 각각 그림 2, 그림 3과 같은 결과를 나타내었다.

하지만 실제적으로 HSDPA를 이용한 3G 이동 통신 서비스는 5 MHz 채널 대역폭을 이용하므로 Modularity를 적용하여야만 한다. Modularity를 적용하여

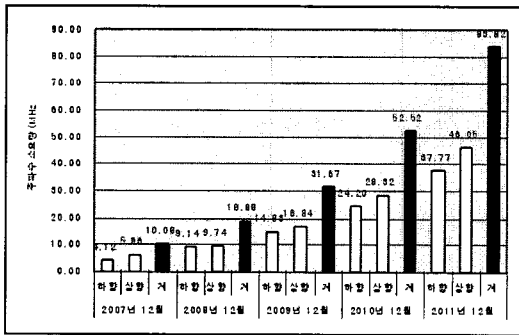


그림 2. 데이터 서비스가 매년 44 % 증가시 주파수 소요량(modularity 적용 이전)

Fig. 2. Spectrum requirements as data service traffic increases by 44 % per year(before applying modularity).

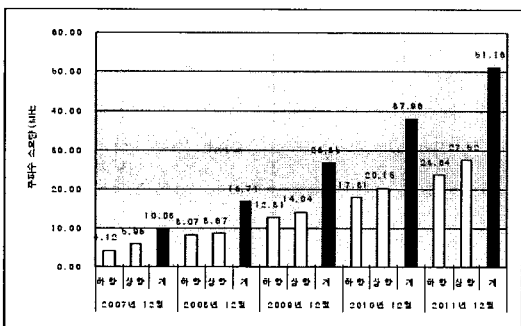


그림 3. 데이터 서비스가 매년 21 % 증가시 주파수 소요량(modularity 적용 이전)

Fig. 3. Spectrum requirements as data service traffic increases by 21 % per year(before applying modularity).

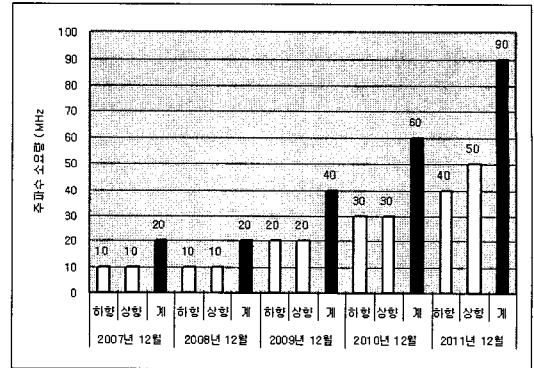


그림 4. 데이터 서비스가 매년 44 % 증가시 주파수 소요량(modularity 적용 이후)

Fig. 4. Spectrum requirements as data service traffic increases by 44 % per year(after applying modularity).

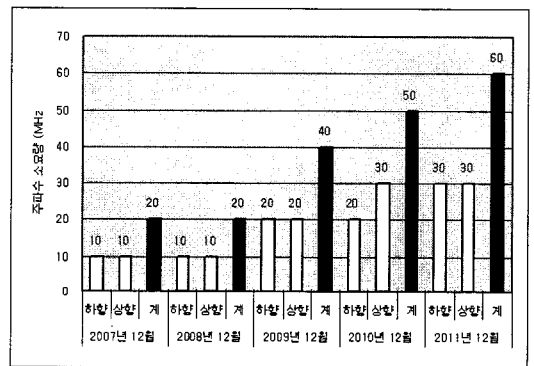


그림 5. 데이터 서비스가 매년 21 % 증가시 주파수 소요량(modularity 적용 이후)

Fig. 5. Spectrum requirements as data service traffic increases by 21 % per year(after applying modularity).

데이터 서비스가 매년 44 %, 21 % 증가하는 경우의 3G 이동 통신 주파수 소요량을 산출하면 그림 4, 그림 5와 같은 결과를 나타낸다.

3G 이동 통신의 데이터 서비스가 매년 44 % 증가하는 경우 2010년말에 60 MHz, 2011년말에 90 MHz로 급격히 증가한다. 반면 3G 이동 통신의 데이터 서비스가 매년 21 % 증가하는 경우 2010년말에 50 MHz, 2011년말에 60 MHz로 완만하게 증가한다. 시뮬레이션 결과를 보면 가입자 수의 일정한 증가보다 데이터 서비스의 증가율이 시간이 갈수록 큰 변수가 되는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 현재의 국내 3G 이동 통신 서비스의 실질적인 트래픽 특성을 분석하여 주파수 소요량 산출에 알맞은 알고리즘을 선택하고, 주파수 소요량 산출에 필요한 파라미터를 구하였다. 현재의 트래픽 특성에 근거하여 향후 5년간 트래픽이 각각 매년 44 % 및 매년 21 %씩 증가하는 경우에 따른 주파수 소요량의 변화를 시뮬레이션 하였다.

트래픽 증가율에 따른 주파수 소요량은 2011년말에 매년 데이터 서비스가 21 % 증가하는 경우 약 60 MHz, 44 % 증가하는 경우 약 90 MHz로 나타났다. 특히 2010년 및 2011년말의 경우 일정한 가입자 증가율에도 불구하고 트래픽의 주파수 소요량의 차이가 크게 벌어지는 것을 확인하였다.

국내의 3G 서비스가 본격적인 성장 단계로 들어섬에 따라 트래픽 증가율에 따른 주파수 소요량 변화가 매우 커지고 있다. 따라서 효율적인 주파수 재배치를 위해서는 향후 3G 서비스의 트래픽 변화를 지속적으로 분석하여 3G 주파수 소요량 산출의 정확성을 높일 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] *Rec. ITU-R M.1390*, "Methodology for calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements", Jan.

1999.

- [2] *Rep. ITU-R 2023*, "Spectrum requirements for IMT-2000", 2000.
- [3] *Rec. ITU-R M.1768*, "Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component IMT-2000 and IMT-Advanced", Mar. 2006.
- [4] *Rep. ITU-R 2078*, "Estimated spectrum bandwidth requirements for the future development of IMT-2000 and IMT-advanced", 2006.
- [5] IMT-2000용 주파수 연구, 전파진흥협회, 1999년 12월.
- [6] 정우기 외 1인, "차세대 이동 통신 서비스에서 트래픽 모델 변화에 따른 국내 주파수 소요량 및 무선 네트워크 자원 산출 방법에 관한 연구", 한국향행학회논문지, 7(2), 2003년 12월.
- [7] 정우기 외 4인, "4세대 이동 통신 주파수 소요량에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 17(2), pp. 110-116, 2006년 2월.
- [8] 한태영 외 4인, "IMT 운용을 위한 주파수 소요량 산출", 한국전자과학회논문지, 19(2), pp. 161-167, 2008년 2월.
- [9] ITU-R WP5D/TEMP/86r1, "Revision to IMT-ADV/2 Submission and evaluation process and consensus building", Jul. 2008.

정 우 기



1986년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1989년~1992년: 한국전자통신연구원

원

1992년~1994년: SK 텔레콤 CDMA 전담반
 1994년~1999년: 신세기통신 기술기획팀
 1999년~2003년 2월: LG 텔레콤 기술전략팀 부장
 2003년 3월~현재: 청강문화산업대학 이동통신과 교수
 [주 관심분야] 전파통신, 디지털 통신시스템, Spectrum Engineering