

# 개도국 LTE 망의 비용-효율적인 구축을 위한 요구사항 도출과 기술 분석

고 기 영\*, 이 재 용°

## A Cost-Efficient LTE Network Design and Deployment Methodology for Developing Countries

Kiyoung Ko\*, Jaiyong Lee°

요 약

개도국에서 비용-효율적인 LTE (Long Term Evolution) 망을 구축하기 위해서는 선진국 위주의 설계 및 구축 방식과는 차별화 된 LTE 기술 분석과 적용이 필요하다. 본 연구에서는 LTE 망 설계 및 구축과 연관된 개도국의 특성을 파악하고, 효율적인 망 구축을 위해 필요한 요구사항 및 적용기술에 대한 분석을 수행하였다. 또한 향후 개도국에서 LTE 망 구축 시 참고할 수 있도록, 한국의 통신 A사가 LTE 구축 및 컨설팅에 참여한 실제 개도국 사례를 통해 여러 적용기술에 대한 평가결과를 제시하였다.

**Key Words** : LTE, Design, Technological Requirements, Case Study, Developing Country

### ABSTRACT

This paper focused on finding a cost-effective LTE mobile network design methodology, suitable for socio-economic circumstances of developing countries. Developing countries have different requirements and circumstances compared with those of developed countries that had deployed LTE networks in advance, thus a differentiated way of design and deployment methods are necessary. This paper analyzed LTE design-related attributes of developing countries, identified relevant technological requirements and appropriate technologies, and suggested design methodologies. These suggestions were verified through the case studies of several developing countries that a Korean telecommunication company (Korean telecom company A) had participated in the LTE design and deployment for future reference by other developing countries.

### I. 서 론

개도국들이 효과적인 경제발전을 이루기 위해서는 그들의 제반 여건을 감안한 비용-효율적인 인프라 (Infrastructure) 구축이 필수적이며, 특히 ICT (Information & Communication Technology) 응용기술의 발달 및 스마트 기기 보급 확대에 따라 무선 광

대역 인터넷 인프라 확충 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라, 개도국 상황에 적합하며 실제 운전자 관점의 LTE 망 설계 및 구축기술에 대한 분석이 필요하다고 판단되었다.

본 논문에서는 LTE 망 설계에 연관 있는 개도국의 특성을 파악하고, 그 특성에 따라 필요한 기술적 요구 사항 및 적용기술에 대한 분석을 수행하였다. 또한 항

\* First Author : Korea Telecom Global Technical Consulting Unit, kiyoung.ko@kt.com, 정회원

° Corresponding Author : Yonsei University Department of Electrical & Electronic Engineering, jy1@yonsei.ac.kr, 종신회원  
논문번호 : KICS2016-09-262, Received September 20, 2016; Revised September 28, 2016; Accepted December 29, 2016

후 개도국에서 LTE 망 구축 시 참고할 수 있도록, 한국의 통신 A사가 LTE 인프라 구축 및 컨설팅에 참여한 실제 사례를 통해 여러 적용기술에 대한 평가결과를 제시하였다.

한편, 기존 LTE 설계 및 구축에 관련된 연구들은 시스템공급자라든가, 단말기제조사, 선진국 통신 사업자에 의한 시스템 성능 개선관련 분야가 주를 이루고 있어<sup>[13]</sup> 개도국에 초점을 맞춘 본 논문은 향후 개도국에서 효율적인 LTE 망 구축을 하는데 도움이 될 것이라 기대한다.

## II. 개도국의 요구사항 도출

### 2.1 LTE 설계에 연관된 개도국의 특성

여기서는 LTE 설계요소에 연관되어 있는 개도국의 일반적인 특성을 설명하였다. 본 연구 상 개도국은 2014년 기준 World Bank에서 분류한 GNI (Gross National Income) PPP (Purchasing Power Parity) \$4,125 이하의 국가로 규정하였다.

#### 2.1.1 낮은 소득 수준

2015년 기준 1인당 GNI가 US \$1,035 미만인 최빈국의 구매력 지수는 세계 평균 대비 약 10% 수준으로<sup>[14]</sup> UN (United Nations)이 정한 빈곤 하한선 이하이기 때문에 기본적인 의식주 이외의 서비스 이용이 사실상 불가능하다고 볼 수 있다.

따라서 정보 접근성 (Accessibility)을 확대해 정보 격차를 해소키 위한 ITU (International Telecommunication Union)의 정책적 목표는 인터넷 서비스 가격을 GNI의 5% 이내로 맞추는 것이 되었고<sup>[5]</sup> 2015년 기준으로 최빈국 43개국 중 5개국이 해당 목표를 충족하였으나 아직 대부분의 개도국 및 최빈국의 무선 및 유선 인터넷 서비스 이용료가 월등히 높은 것을 알 수 있다<sup>[6]</sup>. 따라서 비용-효율적인 네트워크 구축을 통해 저렴한 서비스 요금 제공이 가능하게 하는 것이 중요하다.

#### 2.1.2 취약한 통신 인프라

선진국의 유선 백본망 보급률이 29%인데 비해 개도국은 7.1%에 그치며, 아프리카 및 최빈국의 경우 유선 인프라 보급률이 1%도 채 되지 않는다<sup>[7]</sup>. 또한, 개도국은 선진국에 비해 전력 공급이 상대적으로 훨씬 어려운데 World Bank Data<sup>[8]</sup>를 보면, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) 회원국의 전력 접근도가 99.9%, 전 세

계 평균이 84.6%인 것에 비해, UN 지정 최빈국은 전력 이용 가능한 인구가 34% 뿐이다.

#### 2.1.3 낮은 기술 성숙도

개도국의 ICT 기술 인력 부족은 LTE와 같이 고급 기술 분야 발전에 따른 신규 시장 창출을 저해하고 있다. 숙련된 기술 역량이 필요한 신기술을 도입한다 하더라도 이를 안정적으로 구축하고 운용할 수 있는 자국 내 인구가 부족하여 네트워크 설계, 구축은 물론 운용까지 해외 시스템 공급자에게 의존하는 경우가 많은데 비용-효율적인 네트워크 구축을 위해서는 실제 운용자 관점의 설계 및 구축이 바람직하다.

#### 2.1.4 높은 유선 서비스 이용률

개도국의 경우, 인구 100명 당 유선 인터넷 보급률은 세계 평균의 1/50 (0.56%) 정도 수준인 반면 무선 전화 가입자는 세계 평균의 2/3 (63%)에 근접하고 무선 인터넷 가입자는 세계 평균의 절반 수준 (19.4%)을 보이는 등 무선과 유선의 보급률에 큰 격차가 있다<sup>[4]</sup>.

이와 같은 차이의 가장 큰 이유는 통신망 구축 비용으로 볼 수 있는데 실제 무선 및 유선 서비스 가격을 구매력지수로 환산해 보면, 최빈국의 서비스 평균 가격 간 격차는 3배 이상<sup>[15]</sup>으로, 유선 인터넷 보급이 지지부진한 이유가 비싼 구축비용 때문임을 유추해볼 수 있다.

#### 2.1.5 스마트 폰 및 중저가 단말기 보급의 확대

GSMA (Global System for Mobile Communications Association)의 전망에 따르면 2020년까지 스마트 폰 가입자는 26억 명에 이를 것이며 그 중 90%를 개발도상국의 신규 가입자로 예상한다<sup>[9]</sup>. 중국은 이미 가장 큰 스마트 폰 시장이며 인도가 새로운 후발주자로 떠오르면서 향후 5년간 5억 명이상의 신규 가입자를 양산할 것이며 그 주요 원인은 저가 단말기 및 중고 단말기 유통 활성화로 보고 있다.

## 2.2 개도국 특성을 감안한 기술 요구 사항

### 2.2.1 주파수 분야

주파수 선정관련 개도국에 필요한 요구사항은 투자비 절감이 가능하며, 잠재고객의 접근성을 최대화 할 수 있고, 주파수 간섭을 최소화 할 수 있는 주파수 대역이며 본 논문의 III 장에서 좀 더 세부적으로 설명하였다.

### 2.2.2 기술방식 분야

이중통신 (Duplex) 또는 쌍방향 통신은 두 지점 사

이에서 정보를 주고받는 전자 통신 시스템을 말하며 기술방식에는 정보를 시간 축으로 압축하여 송수신 방향을 변경하는 시분할 이중통신인 TDD (Time Division Duplex)과 주파수 대역을 분할하는 주파수 분할 이중통신인 FDD (Frequency Division Duplex) 방식이 있다. 기술 방식 선정에 있어 개도국의 요구사항은 이동통신 시장 에코시스템 (Eco-system)을 감안하여 단말기 수급 용이성 및 주파수 자원 확보 상황에 따라 CAPEX (Capital Expenditure) 및 OPEX (Operating Expenditure)를 절감할 수 있는 기술방식을 선정하는 것이다.

### 2.2.3 기지국의 서비스 반경 확대

개도국의 경우, 선진국과 비교할 때 트래픽 (Traffic)의 절대 수요가 적기 때문에 주요 인구밀집 지역을 제외하고는 서비스 반경을 극대화하여 CAPEX를 줄이고 서비스 도입 시기를 앞당기는 설계 방안이 필수적이라 할 수 있다. 추가 비용투자 없이 서비스 반경 (Coverage)을 넓힐 수 있는 방안으로 대역폭 (Bandwidth) 조정과 기준 신호 RS (Reference Signal) 출력 증폭 방법이 있다.

### 2.2.4 효율적인 송수신 간섭 제거

기술방식으로 TDD 방식을 도입할 경우, TDD는 동일 주파수에서 송신 프레임 (Tx frame)과 수신 (Rx) 프레임을 시간으로 분할하여 사용하기 때문에 특정 기지국의 강한 송신 신호가 전파전송 지연으로 인접 기지국의 수신 구간에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 간섭 문제를 비용-효율적으로 해결할 수 있는 방안이 필요한데 구축이 완료되어 서비스를 시작한 후에는 다른 주파수 간섭 원에 의한 영향인지 TDD 송수신 프레임간의 간섭 때문인지 찾아내기가 쉽지 않기 때문에 설계 또는 구축 단계에서 간섭 문제를 예방해야 향후 불필요한 비용을 줄일 수 있다.

### 2.2.5 비용효율적인 음성서비스 제공 방안

유무선 통신 인프라가 부족한 개도국에서는 음성 서비스도 데이터 서비스 못지않게 중요하기 때문에 LTE 망 설계 시 비용-효율적인 음성 서비스 제공 방안이 필요하다. 전국적인 LTE 구축이 진행되지 않은 상태에서 LTE망만을 이용한 VoLTE 음성 (Voice over LTE) 서비스 제공 시 음성을 제공하지 못하는 지역이 많게 되고 데이터 서비스 보다 음성 서비스에 훨씬 민감한 고객들의 체감 만족도는 크게 떨어지게 된다.

이를 위해 기존 2G (2<sup>nd</sup> Generation) 또는 3G 음성 망을 통하여 음성을 서비스 하는 CSFB (Circuit Switched Fall Back)을 활용하여야 하는데 개도국에서는 다수의 사업자가 전국을 분할하여 서비스를 제공하기 때문에 다수의 사업자와 CSFB 연동을 해야 하며 CSFB를 시스템에서 비용 효율적으로 구현할 수 있는 기술이 필요하다.

## III. 개도국 기술 요구사항 분석

### 3.1 주파수 선정

#### 3.1.1 투자비를 절감할 수 있는 주파수 선정

투자비용을 줄이기 위해서는 주파수 특성에 따른 효율을 고려하여 적은 기지국 물량으로도 넓은 서비스 반경을 확보할 수 있는 주파수 대역이 필요하다. GSA (Global Mobile Supplier Association)의 2011년 보고서에 따르면, LTE 700-800MHz, 1,800MHz, 2,600MHz를 각각 비교 했을 때 저 대역 주파수일수록 비용이 적게 들고, 서비스 반경이 커지며, 고 대역 주파수는 데이터 용량 처리 측면에서 유리함을 알 수 있다<sup>10)</sup>. 따라서 일반적으로 개도국의 경우 저 대역 주파수를 주력 주파수로 하고, 추가로 용량 증설이 필요한 경우 고 대역 주파수를 수요가 많은 도심 지역에 보조 주파수로 활용하는 방안이 바람직하다.

#### 3.1.2 잠재고객의 접근성을 최대화 할 수 있는 주파수

잠재고객의 LTE 접근성을 높이기 위해서는 가장 보편적으로 이용되는 주파수를 선정하는 것이 바람직하다. 이는 단말기 기종마다 지원되는 주파수 대역이 다르기 때문인데, 개도국 및 중국, 인도와 같은 신흥국들의 단말기 시장 형태를 살펴보면 가입자들이 저가 단말기 또는 중고 단말기를 구매하고 통신사업자의 SIM (Subscriber Identification Module) 카드를 별도로 구매하여 통신서비스를 이용하는 오픈 마켓 형태가 보편적이다.

저가 단말기의 경우 제조비용 때문에 많은 주파수를 지원하지 못하며, 가장 보편적인 대표 주파수를 지원하는 것이 일반적인데 GSA가 2016년 2월에 발표한 LTE 에코 시스템<sup>11)</sup>을 보면 주파수 대역 중 1,800MHz, 2,600MHz, 2,100MHz, 2,300MHz, 800MHz를 지원하는 단말 수가 가장 많아 이 중 하나를 선정할 때 잠재 고객 확보 측면에서 유리함을 알 수 있다.

### 3.1.3 주파수 간섭의 위험이 가장 적은 주파수 선정

선정된 주파수 대역에서 개도국에서 흔히 볼 수 있는 아마추어 무선 송신기나, 기타 근거리 무선 송수신 장비, 미 허가 무선 장비 등이 이미 사용되고 있거나 타사업자가 인접 대역에서 서비스를 제공하고 있는 경우, 간섭으로 인한 품질 저하 및 상용 일정 지연을 야기할 수 있다. 이를 예방하기 위해서는 사전에 국내 주파수 환경 조사를 반드시 선행하고, 주파수 간섭이 가장 적거나 없는 주파수를 선택해야 한다.

### 3.2 기술방식 선정

GSA에 따르면 2016년 1월 기준으로 총 480개 서비스 사업장에서 LTE 상용 서비스를 제공하고 있으며, 이 중 85%인 409개 서비스 사업장에서 FDD 방식을 채택하고 있어 단말기 수급 등 에코 시스템을 고려할 때 FDD 방식이 선호 된다. 기술적으로 보면 예를 들어 TDD 방식은 10MHz 주파수 대역폭을 하향링크와 상향 링크로 시간 분할하여 나누어 사용하는 반면, FDD는 10MHz 주파수 대역폭을 각각 하향링크와 상향링크로 총 20MHz를 사용하는 구조이기 때문에 주파수 효율 측면에서는 TDD가 유리하다.

하지만, TDD의 경우 하향 (Down) 및 상향 (Up) 링크 (Link)간 전환에 시스템 동기화라는 절차가 추가로 필요하며 주파수 간섭문제라는 단점이 있어 일반적으로 주파수 자원에 여유가 있는 개도국의 경우 기술 난이도가 상대적으로 적은 FDD 기술 적용이 선호 된다.

### 3.3 기지국 서비스 반경 확대 방법

서비스 반경 확대 방안 중 하나인 대역폭 조정 방안은 동일 전송 출력 조건하에서 대역폭을 20MHz에서 10MHz로 축소할 경우 정보를 전송하는 서브 캐리어 (Sub-carrier)의 출력이 2배가 늘어나기 때문에 기지국에서 3dB의 서비스 반경을 추가로 확보할 수 있다. 이 경우, 하향 링크 속도가 평균 50% 저하되나 데이터 사용이 낮은 외곽 지역에서는 서비스 반경 확대로 사용될 수 있다.

한편, 기준신호 (RS) 출력 증폭방식은 기준 신호를 기준으로 데이터를 복조 하게 되는데 기준신호의 출력을 강하게 전송하면 단말이 기지국 신호를 수신할 수 있는 반경이 늘어나게 되는 원리이다. 이 방식을 사용할 경우 그림 1과 같이 기준 신호를 포함하는 시간축의 데이터영역과 기준신호 영역 중에 데이터 출력 PDSCH (Physical Data Sharing Channel Power) 을 줄이고 기준 신호 출력을 2배 또는 4배까지 높임

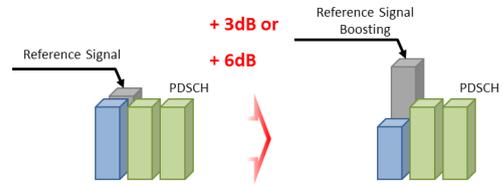


그림 1. 기준신호 출력상향 효과  
Fig. 1. Effect of RS Power Boosting

으로써 추가적으로 3dB 혹은 6 dB의 서비스 반경을 더 확보 할 수 있다.

### 3.4 TDD 송수신 주파수 간섭제거: 인접기지국 리스트 (Neighbor List) 활용

간섭제거 방식에는 설계 대비 정한 범위를 넘어 전파가 방사되는 오버슈팅 (Overshooting) 기지국을 판별하고 보정하는 방법이 있다. 그림 2와 같이 핸드오버 (Hand-over) 단계에서 주 (Serving) 기지국에는 단말의 인접 기지국 자동 업데이트 ANR (Automatic Neighbor Relation) 기능을 통해 수신된 인접 (Neighbor) 기지국 리스트 (Neighbor List)가 생성 된다.

이 리스트에는 주 기지국의 송신신호가 영향을 미치는 인접 기지국 ID (Identification) 번호 정보가 있고 이 정보를 이용해 인접기지국들의 GPS (Global Positioning System) 위치를 파악할 수 있다. 이위치 정보를 통해 주 기지국과 인접 기지국 간의 거리를 산출해보면 오버 슈팅 기지국을 발췌할 수 있고 해당 기지국의 안테나 상하조정 등을 통해 간섭을 최소화 할 수 있다.

오버슈팅 기지국 판별은 별도 규정이 되어 있는 바는 없으며 지역별 인구분포 별 기지국간 영향을 미치는 평균거리 통계를 기준으로 2배 이상이 되는 거리를 오버슈팅 기지국이라 한국의 통신 A사는 운용상 정의하며 남아시아 개도국인 C국의 간섭제거에도 이 기준을 적용하였다.

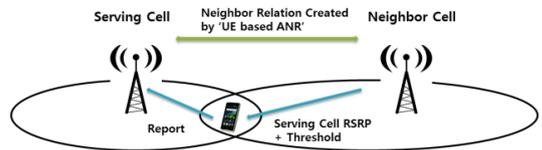


그림 2. 사용자 단말기 기반 ANR  
Fig. 2. User Equipment Based ANR

### 3.5 TDD 송수신 간섭 제거 방안: SSP (Special Sub-frame Pattern) 값 조정

인접 기지국 리스트 활용방식에 대비하며 추가적인

분석과 세분화가 필요한 방법에는 SSP 값 조정 방안이 있다. 간섭을 방지하기 위해서 송수신 시간 대를 구분하기 위한 간격 GP (Guard Period)을 설정하는데 GP 간격을 규정 하는 시간 축 개념의 프레임은 SSP라 한다.

표 1은 각각의 SSP 값에 따른 GP 간격을 나타내는데 이 표를 활용하여 지형특성에 맞게 간섭을 방지하기 위한 SSP 값을 시스템에 적용하게 된다. 표 2는 GP 간격에 따라 간섭을 미치지 시작하는 이론적인 거리를 나타내며 GP 간격은 길이가 71.3  $\mu$ s인 Symbol 수로 나타낸다.

한편, 일반적인 환경에서 하향 링크의 전송지연은 143  $\mu$ s (43km)를 넘지 않기 때문에 대부분의 선진국 사업자들은 GP Symbol 값 2인 SSP 7을 사용하게 되는데 이와 같이 일률적으로 SSP 7을 적용하는 것은 특히 지역적인 특성이 상당히 다양한 개도국의 경우 문제가 발생할 수 있다. 아래 표 3에 개도국의 지형 특성에 따라 바람직한 SSP 값을 제안하였으며 개도국에서는 이 지침을 활용하여 설계를 하면 비용 효율적

표 1. Special Sub-frame 패턴  
Table 1. Special Sub-frame Pattern

SSP	Normal Cyclic Prefix		
	DwPTS (Symbol)	GP (Symbol)	UpPTS (Symbol)
0	3	10	1
1	9	4	1
2	10	3	1
3	11	2	1
4	12	1	1
5	3	9	2
6	9	3	2
7	10	2	2
8	11	1	2

\* DwPTS: Downlink Pilot Time Slot/UpPTS: Uplink Pilot Time Slot

표 2. 지연 레벨에 따른 이론상 수치  
Table 2. Theoretical Calculation of Delay Level

GP Symbol	Delay ( $\mu$ s)	Distance (km)
1	72	22
2	143	43
3	215	64
4	286	86
5	358	107
6	429	129
7	500	150
8	572	172
9	643	193
10	715	215

표 3. 지역적 특성에 따른 SSP 파라미터 선정  
Table 3. SSP According to Regional Characteristics

Category	Regional Characteristics	Downlink Frame Transmission Delay (IS)	Recommended SSP
Dense Urban	Congested areas with high rise buildings, no impact to long distance signals	> 72	4 or 8
Urban	Mid/high rise buildings no impact to long distance signals	72 ~ 143	7
Sub-Urban	Residential areas with possibility of signal blockings due to mountains terrain, etc.	72 ~ 143	7
Rural-1	Broad cell coverage, high-rise telecom towers	143 ~ 286	2 or 6 or 1
Rural-2	Mountainous or open terrains, telecom towers placed on mountains, many signal interference	< 286	1 or 0

인 설계가 가능할 것으로 판단된다.

### 3.6 효율적인 음성서비스 제공방안

여러 개의 사업자가 전국을 분할하여 서비스를 하는 개도국의 특성상 CSFB는 복수의 타 사업자 망으로 연동 가능해야 하는데 가장 기본적인 해결방식은 단말이 직접 CSFB 대상 주파수 전부 검색하여 망을 선택하게 하는 방법이다. 이 경우 별다른 개발비용이 들지 않는다는 장점이 있으나 단말이 CSFB 대상 망의 주파수를 하나하나 찾는 주파수 탐색 과정에서 긴 시간이 소요되므로 가입자 체감 품질이 크게 떨어지게 된다. 또 다른 방법은 기지국에서 국가와 사업자를 식별할 수 있는 ID인 PLMN (Public Land Mobile Network) ID 를 분석하여 망을 선택하는 방법이 있을 수 있다. 이 경우, 기지국에서 PLMN ID를 분석하는 기능 개발 비용이 발생하게 되어 선호되지 않는다.

이런 단점들을 해결하기 위해 한국의 통신 A사가 개발하여 해외 특허출원 중<sup>[2]</sup>인 방안으로 휴지기 상태인 단말기가 기지국 선택 시 혹은 핸드오버 시, 망 선택에 쓰이는 값인 SPID (Subscriber Profile ID)에 사업자 식별 플래그를 추가 삽입하여 CSFB로 연동될 망을 선택하게 하는 방식이 있다. 이 방안은 시스템 개발비가 별도로 필요하지 않고 주파수 탐색에 따른 품질 저하가 되지 않아 비용-효율적으로 CSFB를 구현할 수 있는 방안이다.

## IV. 사례 분석 및 평가

본 장의 사례들은 한국의 통신 A사가 LTE망 설계 및 구축에 참여했던 아프리카 개도국 B국 및 남아시아 C국의 사례에 대한 보고서에서 일부 인용하였고 일부 한국의 사례도 활용하였다.

#### 4.1 주파수 관련 사례

##### 4.1.1 개도국 B국 O사 사례 분석

B국 O사의 주파수 전략수립 사례를 살펴보면, 당시 보유 주파수는 1,800MHz와 800MHz 이었으며 두 주파수 대역 모두 단말 시장에서 보편적으로 지원되는 주파수였고 지역 환경을 볼 때 주변국에서 800MHz를 상용화할 예정으로 1,800MHz 보다는 800MHz 대역의 단말 수급이 향후 용이한 것으로 파악되었다. 또한, 주파수 특성에 따른 서비스 반경을 고려하여 800MHz를 주력주파수로 하여 적은 기지국 물량 투자로 넓은 서비스 반경을 확보하고 1,800MHz를 보조주파수로 향후 도심 용량 증설 계획에 포함 하였다.

그러나 보유하고 있는 800MHz와 1,800MHz 대역에서 주파수 간섭을 발견하였다. 수도 K시에서는 CDMA (Code Division Multiple Access)가 800MHz 대역에서 무선 WiFi 역할을 하는 Mi-Fi 형태로 서비스 되고 있어 가용 주파수 대역 30MHz 중 CDMA 서비스 중인 대역을 피해 20 MHz의 주파수만을 활용할 수밖에 없었다. 또한 주변 국가들에서 1,800MHz 동일 대역에서 GSM (Global System for Mobile Communications)을 서비스하여 국경지역에서 간섭이 발생하였으며 이에 따라 정부 간 협의가 필요하였다.

B국 O사의 경우 개도국에 필요한 주파수 선택요건인 투자비가 절감 가능하며 저가 단말기 수급이 용이한 주파수 확보에는 성공하였으나 주파수 간섭문제로 주력 주파수인 800MHz의 30MHz 대역 1/3을 사용할 수 없어 투자비를 절감 했다고 판단하기 어려우며 사전 주파수 간섭여부의 세밀한 조사가 중요함을 알 수 있다.

##### 4.1.2 한국 사례

LTE의 경우는 아니지만, 과거 한국 사례로 보면, 2004년 기준으로 한국에 CDMA 전국 망을 서비스하기 위한 기지국은 800MHz의 경우 5,243국소, 1,800MHz의 경우 8,296국소로 산출되어 800MHz 대비 1,800 MHz 주파수에서 동등 서비스 반경 확보를 위해 기지국 수가 58% 추가로 필요하여 무려 1조5천억 원의 투자비용 차이가 있는 것으로 분석되었다<sup>13)</sup>. 이런 차이는 LTE 용 주파수에서도 유사한 결과가 나오리라 예상하며 개도국의 경우 주력 주파수를 최대한 저 대역 주파수의 선택하고 고 대역 주파수를 향후 수요 충족용인 보조 주파수로 활용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

##### 4.1.3 개도국 C국 사례

C국의 경우는 주파수를 전국단위로 할당하는 방식과 달리 각 주(州)별로 주파수를 할당한다. C국 신규 이동통신 사업자인 D사의 경우 LTE 사업권 획득 시경매로 나온 2.3GHz 20MHz대역을 할당 받았으며, 타 사업자와의 경쟁력을 확보하기 위해 22개주 모두에서 주파수를 확보 하였다. D사가 LTE 사업권을 획득한 이후 TDD 방식으로 상용화하기로 결정하였는데 이는 2.3GHz의 경우 FDD와 TDD 모두 사용할 수 있으나, 주파수 효율성을 고려하면 동일 주파수 대역폭일 경우 TDD가 FDD 보다 비용 효율적이기 때문이었다.

또한 주파수와 기술방식을 지원하는 단말기의 수급이 상용 서비스 상 중요한데, 단말기 에코시스템을 고려해 보면 표 4에서 나타내었듯이 TDD의 경우 2.3GHz 대역이 지원 장치 수가 가장 많음을 알 수 있다.

표 4. TDD 단말기 에코시스템  
Table 4. TDD Device Eco-system

TDD Frequency	Number of Supporting Devices
2,300 MHz Band 40	1,604
2,600 MHz Band 38	1,328
2,600 MHz Band 41	1,228
1,900 MHz Band 39	1,082
3,500 MHz Band 42/43	82

Source: GSA Report August 2016, edited by author

하지만 2.3GHz 대역은 저 대역 주파수 대비 커버리지가 협소하며, 이는 상대적으로 건물 안에 장비를 설치하기 어려운 C국 환경에서는 건물내부에 많은 약전지역을 유발할 수 있다. 따라서 D사에서는 이를 극복하기 위해 저 대역 주파수인 1,800MHz, 850MHz 대역을 2015년, 2016년에 추가 경매를 통해 할당 받았다. 또한 새로 받은 주파수 대역에서는 TDD가 아니라 FDD를 사용함으로써 2.3GHz 대역에서 약점으로 작용하였던 커버리지 문제도 일부 해결하였다.

#### 4.2 기술방식 선정 사례

대부분의 단말이 FDD를 지원하는 반면, LTE 단말 중 38%만이 TDD 방식을 지원하고 있기 때문에 LTE 에코시스템 측면에서 장비 및 단말 수급 시 FDD 방식이 장점을 가지고 있다<sup>14)</sup>. 개도국의 경우, 방글라데시, 파키스탄, 라오스, 우간다, 가나, 르완다, 등에서 FDD 방식을 사용 중이다.

B국 O사에서 2013년 네트워크를 처음 설계할 당시에는 LTE 가 가능한 주파수 대역은 FDD 방식의

주파수 대역이 주류였고 FDD 방식이 일반적이기 때문에 기지국 장비뿐만 아니라 단말의 원활한 수급을 위해서 FDD방식을 선택하였다. 반면, C 국의 D사의 경우, 최초 확보한 주파수가 2.3GHz 대역인데 2.3GHz 대역은 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project)에서 규정하는 대표적인 TDD 주파수 대역이므로 TDD로 LTE를 시작하였고, 추후 추가로 확보한 1.8GHz 및 850MHz FDD 주파수 대역으로 FDD LTE도 함께 2016년 현재 구축 중이다.

### 4.3 서비스 반경 확대 사례

표 5는 기준신호 (RS) 출력 증폭방식에 따라 단말에서 수신되는 기준 신호의 출력인 RSRP (Reference Signal Received Power) 및 하향 링크 속도 변화에 대해 B국 K 시 인 빌딩 샘플 사이트에서 현장 시험한 자료이다. 시험 결과, RSRP는 이론과 유사한 이득을 확인하였고 하향 링크 속도는 기준신호 출력 3dB 상향 시 17%, 6dB 상향 시 42%의 속도 저하가 있었다.

대역폭 조정의 경우에도 기준신호 (RS) 출력 증폭 방식과 같은 서비스 반경 확장 효과를 거둘 수 있다. B국의 경우 LTE 도입 초기에 외곽지역은 최소한의 물량으로 서비스 반경 확보를 위해 총 239개 사이트 중 인구밀집도가 적은 외곽지역의 100개 사이트를 선정하여 대역폭 축소와 기준신호 (RS) 출력 증폭방식을 적용하였다.

표 5. RS 출력상향에 따른 다운링크 출력 변화  
Table 5. Down Link Throughput According to RS Power Boosting

Bandwidth	Tx Power/Path	DL RS Power Boost	Reference Signal Power (dBm)	RSRP (dBm)	DL Throughput (Mbps)
20MHz	40W	0 (Default)	15	-84	12.1
		3	18	-80	10.2
		6	21	-77	7.0
		-3	12	-86.5	16.1

표 6. 기준 신호 출력 상향과 대역폭 조정에 따른 커버리지 변화 결과  
Table 6. Coverage Result under Bandwidth Adjustment and RS Power Boosting

Configuration	Effective Geo. Coverage (Km <sup>2</sup> )	Population Coverage
20MHz Bandwidth	9,398 (42.4%)	
10MHz Bandwidth (Default)	10,099 (45.5%)	56.2%
10MHz+RS boosting (3dB)	10,788 (48.6%)	58.9%
10MHz+RS boosting (6dB)	11,460 (51.7%)	60.9%

이 결과, 표 6과 같이 B국 총면적에서 거주자가 없는 호수, 사막 등을 제외한 면적인 실효 서비스 반경을 기준 42.4%에서 51.7%까지 확대할 수 있었다. 이는 기존에 기준신호 (RS) 출력 증폭방식과 과 대역폭 조정을 하지 않은 경우와 비교하면 무려 9.3%의 서비스 반경 확대를 보여주고 있다. 따라서 기준 신호 출력증폭 방식이나 대역폭 조정 방식은 기지국의 서비스 반경 확대에 즉각적인 효과가 있으며 개도국에서 손쉽게 LTE 구축비용을 절감할 수 있는 방법이라고 판단된다.

### 4.4 TDD 송수신 간섭 제거 사례

#### 4.4.1 인접 기지국 리스트 (Neighbor List) 활용 사례

개도국 C국 V시의 기지국 설계에 기반 하여 오버슈팅 기준은 앞서 설명한 바와 같이 인접기지국과 평균 거리의 2배로 정의하였으며 인구분포도에 따른 정의 내역은 표 7과 같았다.

인접 기지국 리스트를 통해 주 기지국 (Serving)과 인접 기지국 (Neighbor)의 거리를 산출한 결과, 표 8과 같이 10km 이상에서 인접 기지국으로 검출되는 기지국도 300개 이상이 되는 것을 확인할 수 있었고 실제 RSSI (Received Signal Strength Indication) 지표가 정상적인 경우에도 이 기지국들로 인하여 잠재적인 성능 저하의 원인이 되기 때문에 안테나 최적화를 통하여 오버슈팅을 제거 중이다.

이 방법은 비교적 쉬운 방법을 통해 사전에 간섭요인을 제거 할 수 있는 방안으로 해당국에서 오버슈팅 기지국 제거가 진행 중이기 때문에 결과 분석이 곤란하나 결과는 비교적 명확할 것으로 예상되어 개도국

표 7. C국 V도시의 인구분포도에 따른 오버슈팅 거리 산정  
Table 7. Overshooting Criterion in V City, Country C per Morphology

Morphology	Avg. Min. distance between cells (Meters)	Overshooting criterion (Meters)
DU (Dense Urban)	280.7	600
MU (Middle Urban)	370.2	800
SU (Sub Urban)	596.7	1,200
RU (Rural)	1,938.4	4,000

표 8. C국 V도시지역 거리기반 NRT 숫자  
Table 8. (Neighbor Relation Table) Count Based on Distance (V City, Country C)

Distance	<3km	3~6 km	6~10 km	10~50 km	50~100km
Count	20,180	2,571	626	332	2

에서 LTE 구축 시 적극 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.4.2 SSP 값 조정 사례

개도국인 C국의 경우, 서부 평야지대인 G 지역, H 지역, 북부 산악지대인 P 지역 등에서 지형적으로 높은 위치에 있는 기지국들이나 개활지의 하향 링크 신호가 주변 기지국의 상향 링크 시간에 유입되면서 TDD 송수신 프레임 간에 간섭을 발생 시킨 사례가 있다. 이 경우에도 초기 설계 시에 SSP 7으로 설계하였으며 이는 표 9와 같이 이론적으로 기지국 설계 시 기지국 서비스 반경이 43km를 넘지 않으리라는 가정에서 출발 하였다.

하지만 G 지역은 산이 없는 평야 지대로 장애물이 없어 전파가 90 km까지 넓게 도달하였고 RSSI 측정치 -89.7dBm까지 간섭을 일으켰다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 앞서 분석한 표 5의 Rural-type 2 를 적용, SSP 5를 선정하여 송수신 간섭을 제거 시도한 결과 RSSI가 -98.9 dBm로 측정되어 간섭이 제거된 것을 확인하였다.

이 방법 역시 4.4.1항의 인접 기지국 리스트 활용 방안과 마찬가지로 설계 시 즉각적인 효과를 볼 수 있는 방안으로 개도국의 지형적 특성에 따라 한국의 통신 A사가 제안한 표를 참고하여 LTE 구축 시 적극 활용하는 것이 바람직할 것이라 판단된다.

표 9. C국 SSP 파라미터 조정에 따른 간섭제거 결과  
Table 9. Clearing DL/UL Interference by SSP Modification in Country C

Category	Initial Design (SSP7)	Improvement (SSP5)
Distance of DL/UL Frame Collision	43km	193km
Actual Signal Arrival Distance	More than 90km	
Measured RSSI	-89.7dBm	-98.9dBm

4.5 비용효율적인 음성서비스 제공 사례

B국의 O 사업자의 경우 LTE 도입 시 자체 2G 또는 3G 망이 없었기 때문에 타 사명을 통한 CSFB로 음성서비스를 제공할 수밖에 없었고 이를 위해 음성 서비스용 망은 타사업자의 SIM을 이용해 타사업자 망에 등록시키고 데이터 서비스는 자사 망을 이용하는 도매 사업자로 사업을 시작하게 되었다. 이를 위해 한국의 통신 A사가 고안한 SPID를 이용한 CSFB 방안을 선택하게 되었고 추가 비용 없이 이 방식을 통하

여 부가가치가 높은 데이터 서비스에 집중할 수 있게 되었으며 성공적인 LTE 서비스 상용화에 성공 할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 LTE 망 설계 및 구축과 연관된 개도국의 특성을 파악하고 그 특성에 따라 어떤 기술적 용이 필요한지에 대한 분석을 하였고 한국의 통신 A사가 LTE 인프라 구축 및 컨설팅에 참여한 개도국들의 사례 및 한국에서의 구축 사례를 통해 제안한 기술에 대한 평가를 하였다.

통신망은 비용-효율화를 위해 실제 운용 사업자의 관점의 설계가 필요하나 기술력이 낮은 개도국은 시스템 공급자의 설계에 의존하는 경향이 있고 선행 연구들은 시스템 공급자 관점에서 시스템 성능개선 또는 차세대 발전방향에 대한 연구가 대부분인 반면 본 연구의 경우 개도국의 요구사항을 실제 개도국 경험을 토대로 운용자의 관점에서 필요한 기술을 제안한 점에서 의미가 있다고 판단된다.

특히 기지국 서비스 반경 확대 방안이나 TDD에서 간섭제거 방안, 비용-효율적인 CSFB 방안에 대한 제안은 실제 망 운영자 관점에서 본 논문에서 제안한 기술들로 개도국의 상황에 바로 적용할 수 있어 향후 개도국들이 LTE 도입을 검토하고 구축할 때 유용하게 활용 될 것이라고 판단된다. 본 연구에서 미처 다루지 못한 기술들이나 설계방식에 대해서는 후후 후속연구에서 추가로 다루어질 것으로 기대한다.

References

[1] Y. Kim and Y. Han, "Distributed mobility management scheme in LTE/SAE networks," *J. KICS*, vol. 38B, no. 11, pp. 879-893, Nov. 2013.

[2] H. H. Choi, "Power-saving mechanism considering round-trip delay in LTE systems," *J. KICS*, vol. 38A, no. 12, pp. 1045-1053, Dec. 2013.

[3] C. S. Yang and K. M. Cho, "Inter-cell cooperative scheduling with carrier aggregation in LTE-Advanced system," *J. KICS*, vol. 39B, no. 03, pp. 151-161, Mar. 2014.

[4] World Bank, *World Development Indicators*,

World Bank, 2016.

- [5] ITU and UNESCO, *Broadband Commission for Sustainable Development Overview*, Retrieved Sept., 9, 2016, from <http://www.broadbandcommission.org/about/Pages/default.aspx>.
- [6] ITU, *ICT Facts and Figures 2016*, ITU, 2016.
- [7] ITU, *ICT Facts and Figures 2015*, ITU, 2015.
- [8] World Bank, *World Data Bank 2012*, World Bank, 2012.
- [9] GSMA Intelligence, *The Mobile Economy 2016*, GSMA, (pp. 2), 2016.
- [10] Innovation Observatory, *Embracing the 1800MHz Opportunity: Driving Mobile forward with LTE in the 1800MHz band*, GSA, 2011.
- [11] GSA, *Status of the LTE Ecosystem Report*, GSA, 2016.
- [12] Korean Patent No. 10-2013-0093323, *Mobile Communication System and Method for Circuit Switched Fallback*, Retrieved Sept., 9, 2016, from [http://kportal.kipris.or.kr/kportal/search/total\\_search.do](http://kportal.kipris.or.kr/kportal/search/total_search.do).
- [13] S. H. Bae, *Effective Competitive Policy of Telecommunication Company*, Hanyang Univ., 2004.
- [14] GSA, *Status of the LTE Ecosystem Report*, GSA, 2016.

고 기 영 (Kiyong Ko)



1987년 12월 : 미국 콜로라도 주립대 (Boulder) 전자 공학과 졸업

1999년 5월 : 미국 스탠포드 대학 기술 경영학과 석사

2012년 8월~현재 : 연세대학교 기술정책협동과정 박사과정

<관심분야> 통신공학, 기술정책, 개도국지원

이 재 용 (Jaiyong Lee)



1977년 2월 : 연세대학교 전자 공학과 졸업

1984년 5월 : 미국 Iowa State University 컴퓨터 공학과 석사

1987년 5월 : 미국 Iowa State University 컴퓨터 공학과 박사

2016년 2월~현재: 연세대학교 교학 부총장

<관심분야> IoT, 미래네트워크 기술, 네트워크 관리