https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.2.358

개도국 LTE 망의 비용 효율적인 RAN 설계 방법 및 사례 분석

고 기 영◆, 이 재 용°

Cost-Efficient LTE RAN Design Methodology and Case Study 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 차별화된 LTE 기술 분석과 적용이 필요하다. 본 연구에서는 이동 통신 네트워크 구성에서 대부분의 CAPEX (Capital Expenditure) 및 OPEX (Operating Expenditure)를 차지하는 RAN (Radio Access Network) 구성에 대해 개도국에 적합할 수 있는 설계 방안을 제안하고 사례를 통해 결과 검증을 하였다. 본 연구결과는 향후 개도국들이 도심지역 또는 외곽지역에 LTE 망을 위한 RAN을 비용 효율적 관점에서 설계 및 구축할 때 참고가 될 것으로 판단된다.

Key Words : LTE, C-RAN, D-RAN, Design, Developing Country

ABSTRACT

In order for developing countries to design and deploy Long Term Evolution (LTE) network in a cost-efficient manner, the differentiated way of technological design and deployment methods are necessary as compared to those for advanced countries. This paper focused on Radio Access Network (RAN) design methodology for developing countries that consists of major part of the network cost. To verify the effectiveness of the suggested design methodology, a Korean telecom company A's actual design experience in an African developing country was examined.

Ⅰ. 서 론

일반적으로 LTE 망을 설계하고 구축 할 때에는 CAPEX 및 OPEX 절감과 최적의 품질 제공을 위해 주파수, 기술방식, RAN (Radio Access Network), 코어 (Core)망 구성 등을 대상국가의 제반 환경에 맞게 설계하게 되는데 개도국들은 LTE 도입이 먼저 이루어진 선진국과는 3G 망 등 기존 이동통신 망 (Legacy) 구축 현황, 관련 기반시설 등 여러 측면에서 차이가 있어 비용 효율적인 망 구축을 위해서는 차별적인 설계가 필요하다. 이동통신 네트워크를 구성하는 하나의 구성요소로 RAN은 전파를 주고받는 RU (Radio Frequency Unit)와 데이터를 처리하는 DU (Digital Unit)로 구성되며 단말의 무선 연결을 제공하고 주파수 자원을 관리하여 각 단말에 자원을 적절하게 분배하는 기능을 담당하는데 전력 및 냉방시설 등

◆ First Author : Korea Telecom, Global Technical Consulting Unit, kiyoung.ko@kt.com, 정회원
° Corresponding Author : Yonsei University, Department of Electrical & Electronic Engineering, jyl@yonsei.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2016-09-269, Received September 22, 2016; Revised October 13, 2016; Accepted October 17, 2016

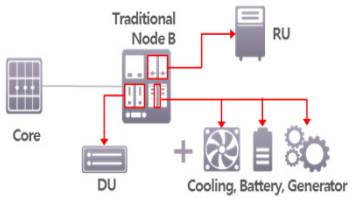
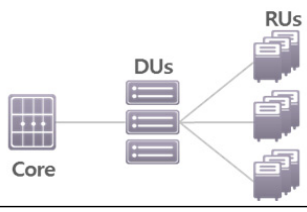
시설비용, 사이트 임차료, 전기료 등 CAPEX와 OPEX 측면에서 큰 비중을 차지하기 때문에 효율적인 RAN 구축은 비용절감 차원에서 중요하다.

본 연구에서는 개도국들의 여건을 감안하여 비용 효율적인 RAN 설계방법을 제안 하고 한국의 통신 A 사가 LTE 인프라 구축 및 컨설팅에 참여한 아프리카 개도국 B국의 사례를 통해 제안한 방법에 대한 평가를 하였다. 한편, LTE 설계 및 구축에 관련된 기존 연구들은 시스템 성능 개선관련 분야가 주를 이루고 있으며[1,2] RAN 설계에 대한 기존 연구도 RAN 성능개선 및 활용방법[3] 또는 시스템 공급자에 의한 발전방향[4] 이 대부분인 상황으로 개도국에 초점을 맞춘 본 연구는 향후 개도국에서 비용 효율적인 RAN을 설계 및 구축을 하는데 참고가 될 것이라 기대한다.

Ⅱ. RAN 구성방식 비교

RAN을 구성하는 방식에는 RU와 DU를 동일 기지국 사이트에 구축하는 D-RAN (Distributed RAN)과 DU를 DU 센터 (Center)내에 집중화하고 RU는 기지국 사이트에 분산하여 구축하는 C-RAN (Centralized RAN)의 방법이 있으며 표 1에 구성도와 CAPEX 및 OPEX 측면에서 장단점을 설명하였다[5,6].

표 1. RAN 구성방식 비교
Table 1. Comparison between D-RAN and C-RAN
(Source: Netmanias, 2014, edited by author)

Classification	Distributed RAN
Architecture	
CAPEX	Additional cost for power generators and cooling facilities (needed for each site)
OPEX	Costs for site rental charge, installation and electricity
Operation	Rigid network topology
Classification	**Centralized RAN**
Architecture	

Classification	Distributed RAN
CAPEX	Cost savings on power generators and cooling facilities (not needed for each site)
OPEX	Cost savings on site rental charge, installation and electricity (power consumption)
Operation	Flexible network topology (easy relocation/expansion of sites)

아울러 D-RAN과 C-RAN간 선택 기준을 망 확장성 (Scalability), 차세대 망으로의 진화 관점 등 전략적인 측면을 표 2에서 설명하였는데[7] C-RAN의 경우, RU만 기지국 사이트에 구축되기 때문에 냉방시설이 필요 없고 설치 상면이 축소되어 CAPEX와 OPEX 측면에서 비용절감의 효과가 크고 최적화에 따른 시설 이설, 증설 등이 용이하다. 하지만 C-RAN 구축을 위해서는 광 인프라 (Infrastructure)가 필수적으로 필요하기 때문에 기반 인프라가 부족한 개도국의 경우 C-RAN 구조로 전국 망을 설계하기에는 무리가 있다. 따라서 개도국의 경우 기반시설의 상황과 수요 및 인구분포 등을 감안하여 C-RAN과 D-RAN을 적절히

표 2. RAN 설계 상 전략적 고려요소
Table 2. Strategic Factors for RAN Type Selection

Consideration	D-RAN	C-RAN
Network Scalability	Hard	Easy
Network Deployment Speed	Slow	Fast
Evolution to Next-Generation Network (SDN, NFV)	Hard	Easy
Cell Interference Management	Inefficient (Manual control needed)	Efficient
Cell Design Re-Modification	Hard	Easy
Transmit Latency Limit on Backhaul (DU-RU site)	No backhaul	Stringent
Transmission Medium	Either optical fiber and microwave	Only by optical fiber
Site Space for Installation	Large space needed	Small space needed

혼용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 본 연구에서는 도심지역에는 C-RAN, 외곽지역에는 D-RAN을 구성한다고 가정하였다.

Ⅲ. 도시지역 C-RAN 설계 및 사례 분석

선진국들의 경우 3G 등 기존 망의 RAN 구성은 도심지역이라도 대부분 D-RAN으로 구성되어 있고 그 기반 시설 위에 LTE 망의 RAN도 구축하는 것이 일반적이다. 그러나 개도국의 경우 LTE 사업자가 무선분야 신규사업자인 경우가 많고 기존 사업자 이동통신망의 인프라도 충분하지 않은 현실로 LTE의 RAN을 설계할 때 거의 초기 상태 (Green field)에서 설계를 한다고 가정해도 무방한 경우가 많다. 여기서 C-RAN 설계란 DU 센터와 RU 사이트 간 광케이블 구성에 대한 비용 효율적인 설계 방법을 말한다.

3.1 C-RAN 설계상 개도국과 선진국의 차이

예를 들어 선진국 사업자의 경우 가입자들의 서비스 이용 성향이 개도국과는 상이하여 RU 사이트도 개도국 대비 많은 수가 설치되므로 한 개의 DU 센터에 수용하는 RU 사이트 개수를 제한하여 안정성을 높일 필요가 있는데 이런 이유로 DU 센터의 개수가 늘어나게 된다. 반면, 개도국에서는 필요한 RU 기지국 사이트의 수가 상대적으로 적어 DU 센터의 개수도 많아 질 필요가 없고 전력사정이 비교적 열악하여 DU 센터로 사용할 수 있는 국사가 제한되어 있으며 기존 사업자라 하더라도 통신 국사나 광 인프라 같은 기반시설이 부족한 경우가 대부분이라 IP 백본 (Backbone) 망을 가지고 있는 국영사업자나 기존 통신사업자 등에게 일부분을 임차를 하거나 신규 구축을 해야 한다.

3.2 설계 시 기본 고려 사항

첫째, 개도국의 경우 도심지역이라도 광케이블 및 관로 (Duct) 등 광 인프라가 부족하며 전력 환경이 좋지 않아 집중화 된 다수의 기지국이 동시에 정지될 수 있어 망 안정성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 DU가 집중되어 있는 DU 센터의 위치는 가능한 한 기존 IP 백 본 망 루트 선상 또는 근처가 선호되며 전력설비 등이 이중화 등이 되어 있는 기존 통신관련 국사 또는 정부관련 건물에 배치하는 것이 바람 직 하다. 둘째, DU 센터와 RU 사이트 간의 연결은 대용량 데이터를 전송하기 위해서 광케이블을 전송매체로 사용해야 한다. 셋째, DU 센터에서 RU 사이트까지 최대 거리는 LTE/LTE-A 표준에 따라 광선로 왕복 전송 지연 허용시간 약 246 μs을 감안하여 20 km를 넘지 않도록 한다.

3.3 효율적인 설계 방법 제안

개도국 도심지역에 C-RAN을 도입할 경우 다음과 같은 방법으로 설계를 제안 한다.

3.3.1 이상적인 DU 센터 위치 및 개수 선정

많은 비용이 소요되는 RU-DU 센터 간 광케이블 구축거리를 최소화하기 위하여 K-평균 알고리즘 (K-means algorithm)[8]을 활용하여 DU 센터 수와 위치를 초기 설계한다. K-평균 알고리즘은 k개의 평균 (Means) 벡터를 이용한 군집화 (Clustering) 알고리즘이며 기본 원리는 랜덤 (Random)하게 초기 중심 값 (Centroid)을 선택하고 k 개의 중심 값과 각 개별 데이터간의 거리를 측정한다. 이 때 가장 가까운 클러스터 (Cluster)에 해당 데이터를 할당 (Assign) 한 후 클러스터마다 새로운 중심 값을 계산하는 원리이다.

본 연구 목적 상 k 값은 기지국들의 RU를 수용하는 DU 센터의 개수를 의미하며 입력하는 데이터는 RU 사이트의 GPS 좌표이다. 해당지역 km 당 광케이블 구축 및 DU 센터 설치에 관련된 CAPX 및 OPEX를 산출한 뒤 이 알고리즘을 활용하면 투자액을 가장 절감할 수 있는 DU 센터 개수와 광케이블 총 거리 합을 최소화 할 수 있는 센터 위치를 설계 할 수 있다. 여기서 특정 RU 사이트가 DU 센터까지의 거리가 최대 허용 루트거리인 20 km가 넘지 않게 주의 한다.

3.3.2 현장 실사를 통해 DU 센터 대상 국사 파악

DU가 집중되어 있는 DU 센터의 위치는 가능한 한 기존 IP 백본 망 루트 선상 또는 근처가 선호되며 전력설비 등이 이중화 등이 되어 있는 기존 통신관련 국사 또는 정부관련 건물에 배치하는 것이 바람 직 하다. 비용절감을 위해 DU 센터 당 수용할 RU 기지국의 개수를 미리 고려하여 DU 센터 대상을 물색한다.

3.3.3 2)항의 DU 센터 후보지와 1)항에서 찾은 이상적인 DU 센터 위치 및 개수를 최대한 매치 하여 최종 설계

1)항에서 찾은 이상적인 DU 센터 위치와 거리상 가장 가까운 2)항의 DU 센터 후보지들을 찾아 최종 DU 센터들을 확정하고 RU 사이트들은 DU 센터들 중 제일 근접한 DU 센터에 수용한다.

3.4 사례를 통한 설계 방법론 평가

여기서는 한국의 통신 A사가 LTE 구축에 참여했

던 아프리카 B국 O사업자의 2013년 사례를 살펴 봤으며 관련 보고서의 일부 내용을 가공하여 인용하였다. 본 논문의 분석에 필요한 원시 자료는 B국 O사의 시스템에서 추출된 자료를 일부 공급받아 가공 한 것이며 실제 단가 및 금액은 보안 상 이유로 가상 단위인 'Unit'으로 환산하여 나타내었다.

3.4.1 이상적인 DU 센터 위치 및 개수 선정

B국 K시 초기 구축 물량인 108개 RU 사이트들의 GPS 위치를 활용하여 k-평균 알고리즘을 사용 한 결과, 표 3과 같이 RU 센터들을 모두 수용할 수 있는 최소 DU 센터는 3개로 나타났고 DU 센터 증가에 따른 광케이블 총 거리 수 및 총 비용 변화는 표 4에 나타내었다. 여기서 나타낸 케이블 거리는 k-평균 알고리즘에 사용한 GPS 거리를 루트거리로 재 환산한 값이다.

표 3. 이상적인 DU 센터 개수 산출을 위한 기초자료
Table 3. Calculation Result for Ideal DU Center Number and Locations

Classification	Contents	Remarks
Number of RU sites	108 sites	
GPS vs. Physical Distance Ratio by Sampling	0.47	72 samples used
Fiber Optic Cable CAPEX and OPEX (per km) in 'Unit'	1,278.3 Unit	Material & service cost, Depreciation for 20 years, O&M cost for 10 years (NPV based)
DU Center CAPEX and OPEX in'Unit'	44,591 Unit	Floor space is on lease basis, O&M for 10 Years
Min. Number of DU Centers Required	3	

표 4. DU 센터 개수에 따른 소요비용 비교
Table 4. Cost Comparison per DU Center Options

Classification	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5
Number of DU Centers	3	4	5	6	7
Fiber Optic Cable Length	708	560	487	444	412
Total Cost in 'Unit'	1,038,297	894,334	844,189	834,557	839,047

여기서 광케이블은 모두 신축한다고 가정하고 예상 비용을 산출하였다. 결론적으로 DU 센터가 3개에서 늘어날수록 비용이 절감되다가 6개를 정점으로 다시 증가하기 때문에 이론 상 최적화된 설계는 DU 센터가 6개인 옵션 4로 나타났는데 그림 1에 옵션 4의 DU 센터 위치 (세모)를 표시하였다.

한편, 위 계산에 필요한 광케이블 및 DU 센터 CAPEX 및 OPEX는 다음과 같이 계산하였다. 신규 구축의 경우 km 당 광케이블의 CAPEX 및 OPEX는 표 5에 나와 있는 현지 단가 항목을 기준으로 산출하였고 보안 상이유로 항목별 세부 가격은 표시하지 않았다. 산출 결과는 표 6과 같다.

OPEX 산출은 감가상각비용을 광케이블 내용연수를 20년으로 가정하여 균등 상각 정액 법으로 산정하였고 실제 운용은 10년간 한다고 가정하여 B국 O사의 2013년 WACC (Weighted Average Cost of Capital) 기준 할인율 18.4%로 NPV (Net Present Value)를 산출하였다. 단, 인플레이션 또는 디플레이션 효과는 고려하지 않았다.

DU 센터의 경우 최대 96개 RU 수용이 가능한 상

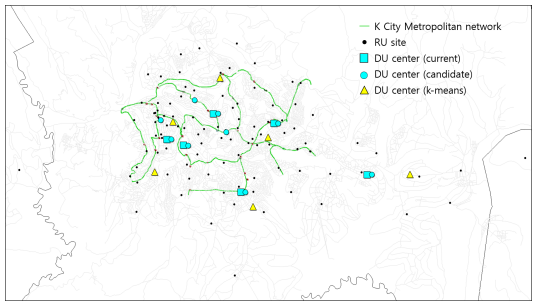


그림 1. K-평균 알고리즘을 통한 6개 DU 센터 (세모) 및 현장실사를 통한 DU 센터 후보지 9개 (동그라미)
Fig. 1. Six (6) DU Center Locations Based on K-Means Algorithm (Triangles) and Nine (9) DU Centers Candidates Based on Site-Survey (Small Circles)

표 5. 광케이블 구축 비용 단가, 자본비용 산출 및 가정
Table 5. Fiber Optic Cable Cost Items, CAPEX and Assumptions

Component	Classification	Unit
Material	Optical Fiber (144core)	Km
	FDF* (FCS – 144)	SET
	Fiber Slicing Closure	EA
	Manhole Cover	EA
	Manhole	EA
	Service Box	EA
	SCD** Duct	Km
Services	Pulling FOC -144core	Km
	Splicing	Core
	Termination – FDF	EA
	Excavation for SCD duct(Soil)	Km
	Laying (SCD duct 1way)	Km
	Construction Manhole	EA
	Construction S/B(Service Box)	EA

● Cost Estimation

	Metro	Rural
Cost for 1 Km FOC Backhaul	1,000 Unit	682 Unit

※ Assumptions

- Optical Fiber 4 Core in SCD Duct
- Manhole 1 EA (with Cover)
- Splicing in the Manhole
- Ground Type Rate by Region

1Km

Type	Metro	Rural
Soil	70%	85%
Rock	2%	10%
Concrete (Asphalt)	16%	4%
Footway	12%	1%

면과 시설 기준으로 B국 K시의 기존 정부관련 건물 임차 및 설비비용을 산출한 결과, 표 7과 같았다. 운용은 10년간, 설비 감가상각은 10년간 균등 상각 정액법, NPV 할인율은 WACC 18.4%를 사용하였다.

GPS 대비 실제 루트거리 환산비율 산출 관련해서는 72개의 샘플을 활용 하였으며 평균값 0.47, 표준편차 0.19로서 99 ± 5.75 %의 확률로 신뢰구간은 0.428~0.541 이었다. 따라서 대부분의 RU 사이트 까지 루트거리는 10.82 km 이내로서 최대허용거리 20 km를 충족하는데 문제가 없는 것으로 판단되었다.

표 6. 도심지역 광케이블 신축 자본 및 운용비용 산출 결과 (B국 K 시)
Table 6. CAPEX and OPEX Calculation Result for Urban Fiber Optic Cable per km in 'Unit' (Country B, K City)

Classification		Unit Cost (Km, Unit)	NPV (Unit, 10 years, WACC 18.4%)	Remarks
CAPEX	Fiber Cost per km	1,000	1,000	
OPEX	Deprecation per year per km	50.0	278.3	For 20 years/ Straight Line
	Other O&M Cost per year per km	1.2		
Sum			1,278.3	

표 7. DU 센터 관련 자본 및 운용비용 산출 결과 (2013년 기준, B국 K 시)
Table 7. CAPEX and OPEX Calculation Result for DU Center in K City, Country B as of 2013

■ CAPEX

Classification1	Classification2	Deitals	Remarks	Quantity	Amount in Unit
Infrastructure	Fire Facility	Clean fire extinguishing agent 185 m^3	Per Site	0.33	
	Electricity Facility	UPS 3 Phase (50KW)	Per Site	1	
	Generator	50KW	Per Site	1	
		100 KW	Per Site	-	
	Cooling System	For DU Center	Per Site	2	
	Interior	Interior	Per Site	1	
Power Supply	Rectifier	DLPS-1500_1000A	Per Site	1	
		DLPS-1500_2000A	Per Site	-	
		DLPS-1500_3000A	Per Site	-	
	Battery	1000A	Per Site	1	
		2000A	Per Site	-	
		3000A	Per Site	-	
DU Facility	Rack	PDP & DU Rack	Per 8 DUs	2	
	Power	PDR	Per 3 PDR	1	
	Switch	L3 Switch	32 ports * 2	2	
Sum					18,635

■ OPEX

Classification1	Classification2	Details	Remarks	Quantity	NPV for 10 Years
Lease	Annual Lease	100m^2*18usd*12	Per Site	1	6,818
Depreciation	For 10 Years	Straight Line/ WACC of 18.4%			5,820
O&M	Annual Repare Cost	Repair Cost	Per Site	1	3,156
Fuel for Generator	DU site fuel (Annual)	50kw*1*365*0.22		1	1,521
		100kw*1*365*0.22		-	-
Electricity Bill	Annual Bill	Per DU 800W// annual	Per 1 DU	15	8,642
Sum					25,956
CAPEX + OPEX					44,591

* Remarks: CAPEX includes service charges such as installation and S/W upgrades.
* Assumptions
- Each switch covers 32 DUs
- Each rack houses 8 DUs
- Each DU covers 6 RUs
- DU ports occupancy rate is 70%

3.4.2 현장 실사를 통해 DU 센터로 활용될 수 있는 국사를 파악: 그림 1 참조 (작은 동그라미)

3.4.3 DU 센터 최종선정

1)항에서 파악된 6개의 DU 센터위치 (이상적)와 2)항의 9개 후보지와 거리 측정 결과 이상적 위치와 최단거리에 있는 DU 센터를 최종 선정하였고 위치는 그림 2에 별표로 표시하였다. 결론적으로 실제 구축된 RAN 구성과 본 연구의 설계방법론의 결과를 종합하면 다음 표 8과 같으며 본 연구에서 제안한 설계 방법으로 구축 시 실제 구축 현황 대비 약 8%의 비용절감 (CAPEX 및 OPEX, NPV 기준)이 될 것으로 예상되는데 많은 비용과 구축에 어려움이 있는 광케이블 구축 길이를 줄일 수 있는 간단하고 직관적인 방법이라고 판단된다. 실제로는 B국의 O사의 경우 대부분의 광케이블을 정부로부터 임차하였으나 광케이블 구축 비용을 임차비용으로 바꿔서 산출하더라도 유사한 결과가 나올 것이므로 위 설계 방법론은 임차를 할 경우에도 사용할 수 있을 것이라 판단된다.

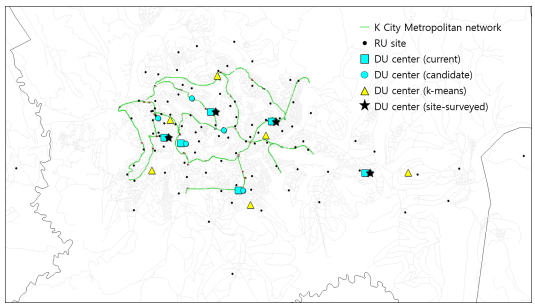


그림 2. 최종 DU 센터 선정 결과 (별표) 및 본 연구 설계 방법을 사용하지 않은 현재 구축 현황 (작은 네모)
Fig. 2. Final DU Center Selection (Stars) and Actual DU Center Locations without Using Design Methodology in This Paper (Boxes)

표 8. C-RAN 설계 결과 비교
Table 8. C-RAN Design Result Comparison

Classification	Actual (1)	K-means Method	Suggested Method (2)	Remarks
Fiber Optic Cable Length (km)	508.13	444.05	**451.04**	
Total Cost in 'Unit'	916,336	834,557	**843,375**	(2)/(1) = 0.92

Ⅳ. 외곽 지역 RAN 설계 및 사례 분석

외곽지역은 주로 농경지나 도서 산간 등의 비상공업지역을 일컫는다. 개도국의 외곽지역은 광 인프라가 절대적으로 부족할 뿐만 아니라 안정적인 전원 공급이 어려운 경우가 많기 때문에 한 곳에 다수의 DU를 모아 놓는 C-RAN 구성을 할 경우, DU 센터에 전원 장애 발생 시 자칫 외곽 전 지역의 서비스가 안 되는 상황이 발생할 수 도 있으므로 일반적으로 D-RAN으로 설계하는 것이 바람직하다. 외곽 CO (Central Office)에서 외곽지역 RU 사이트까지는 광케이블 또는 마이크로웨이브로 구성할 수 있는데, 어떤 전송 방식을 선택할 것인지 투자비용과 장단점을 비교한 후 결정하게 된다 (표 9).

표 9. 백홀 구간 구성방식 비교
Table 9. Evaluation Factors on Backhaul (between Rural CO and RU Sites) Types

Item		Fiber	Microwave
Construction Cost (according to distance)	Urban	Favorable for short distance	For long distance
	Rural	Same as the above	Same as the above
Construction Time		Long	Short
Transmission Quality		Stable	Unstable (by weather condition)
Operation		Suitable for long-term operation	Suitable for short-term operation

4.1 설계 방법 제안

외곽 CO 부터 RU 사이트 간 전송구간 (Backhaul)의 비용 효율적인 구축을 위해 표 10과 같은 기초자료 산출이 필요하며 외곽 CO와 RU 사이트간 거리에 따라 마이크로웨이브 또는 광케이블 구축 중 어느 방안이 더 비용 효율적인지 분석하여 최적 안을 선택한다.

표 10. 외곽지역 RAN 디자인을 위한 기초 자료
Table 10. Basic Data Calculation for Rural Area RAN Design

Classifications	Contents	Remarks
Microwave system CAPEX and OPEX	Material and service cost and O&M cost	LTE radio band of 20 Mbps, economic life of equipment except radio tower for 10 years, Assumption to use existing tower on rural central office and to construct or lease tower on RU site.
Rural area fiber optic cable CAPEX and OPEX	Material and service cost and O&M cost per km	Material & service cost, depreciation for 20 years, NPV based O&M cost for 10 years

4.2 사례 분석

여기서는 한국의 통신 A사가 LTE 구축에 참여했던 B국의 O사업자의 2013년 사례를 기준으로 분석 및 평가를 하였다. 여기에 나와 있는 실제 단가 및 금액은 보안상 이유로 가상단위인 'Unit'으로 환산하였다.

4.2.1 기초자료 산출

외곽지역 광케이블 구축비용은 표 5의 데이터를 기초로 산출하였으며 결과는 표 11과 같다. 마이크로웨이브의 경우 안테나 타워 (Tower)를 신규 구축할 경우와 기존 타워를 리스 (Lease) 할 경우가 나누어 질 수 있고 설비는 10년 사용 및 운용 가정하였다. 표 12는 관련 비용항목이며 표 13에 CAPEX 및 OPEX 산출 결과를 나타내었다.

표 11. 외곽지역 광케이블 구축관련 Km 당 CAPEX 및 OPEX 산출 결과
Table 11. CAPEX and OPEX Calculation Result for Rural Fiber Optic Cable

Classification		Unit Cost (Km, Unit)	NPV (Unit, 10 years, WACC 18.4%)	Remarks
CAPEX	Fiber Cost per km	682.1	682.1	
OPEX	Deprecation per year per km	34.1	192.0	For 20 years/ Straight Line
	Other O&M Cost per year per km	1.2		
Sum			874.1	

표 12. 마이크로 웨이브 구축 관련 비용 항목
Table 12. Microwave Related Cost Data

Classification			Remark
CAPEX	Material	Antenna	Frequency: 15GHz, Antenna: 1.2m, Channel Space: 56MHz, Line of Sight, 1+0 Configuration Each Path
		Radio Access Hardware Unit	
		Site Materials and Cables	
		Basic Software License	
		Capacity_200Mbps License	
		Tower Construction	
	Service	Project Management per Site	
		Packet Terminal Installation	
		Antenna Installation	
		Line of Sight Survey	
OPEX		Tower Maintenance	Annual
		Microwave Spectrum Fee	Annual

표 13. 마이크로웨이브 구축 관련 CAPEX 및 OPEX 산출 결과
Table 13. CAPEX and OPEX Calculation Result for Microwave System

Classification		New Tower (Unit)	Rental (Unit)	Remarks
CAPEX	Material	7,732	2,062	
	Service	336	336	
Sub Total		8,068	2,398	
OPEX		805	707	Annual

4.2.2 최적 안 및 결과 분석

이론적으로는 마이크로웨이브 타워를 신축해야 할 경우 광케이블 실제루트 거리 기준 16.7 km 까지, 타워를 리스 할 경우 7.9 km 까지는 광케이블 구축이 마이크로웨이브 대비 비용 측면에서 유리하며 그 이상의 거리에는 마이크로웨이브가 유리한 것으로 나타났다. B국 O사의 경우 신규사업자로 외곽지역 D-RAN 구축사례가 제한적이며 구축되어 있는 6개의 D-RAN의 경우 모두 마이크로웨이브로 구성이 되어 있는데 RU사이트에서 외곽 CO까지 마이크로웨이브 사용거리는 평균 9.9 km 로 나타났다. 한편, 이 사업자의 경우 마이크로웨이브 설비를 타 사업자에게 무상으로 제공받는 반면 다른 시설을 교차 제공하는 방식으로 구축했기 때문에 실제 구축비용을 산출하기 쉽지 않아 광케이블 대비 경제성을 평가하기 어려움이 있으나 향후 D-RAN의 신규 구축을 할 경우 위의 방법들에 대한 평가를 할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 이동통신 네트워크 구성에서 많은 CAPEX 및 OPEX를 차지하는 RAN을 개도국의 특성에 적합하게 설계하기 위해, 도심과 외곽지역을 구분하여 설계 방법론을 제시하였으며 실제 구축 사례를 통해 설계 방법론의 결과 검증을 시도 하였다. 본 연구의 방법론은 개도국에 따라 환경이 상이 하므로 지역에 특성에 적합하게 일부 산출 방법을 달리하여 적용하면 향후 개도국에서 LTE 망 RAN을 설계하는데 참고가 될 것이라고 판단된다.

References

[1] C. Jeong and H. Bae, "LTE-based macro base station platform architecture," *J. KICS,* vol. 39C, no. 9, Sept. 2014.

[2] S. H. Lim and S. W. Lee, "LTE-Advanced CA features in 3GPP REL-12 and its future," *J. KICS*, vol. 39A, no. 9, Sept. 2014.

[3] C. B. Yoon and D. H. Cho, "Optimized RRH and UE selection and beam support methodology to simultaneously use down & up links under C-RAN environment," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 1061-1062, Jeju Island, Korea, Jan. 2015.

[4] W. Erik, "4G/5G RAN architecture, how to a split can make the difference, Charting the Future of Innovation," *Ericsson Technol. Rev.*, vol. 93, no. 6, 2016.

[5] Netmanias, *LTE RAN Architecture: Cell site and LTE BS, B/F-Hauling, Coordination, Comparison and Case Study* (Aug., 2014), Retrieved Oct., 10, 2016, from http://www.netmanias.com/ko/?m=view&id=reports&no=6560.

[6] A. Checko, Henrik L. Christiansen, Y. Yan, L. Scolari, G. Kardaras, and L. Dittmann, *Cloud RAN for Mobile Networks - a Technology Overview* (2014), Retrieved Aug., 3, 2016, from http://orbit.dtu.dk.

[7] China Mobile Research Institute, *C-RAN: The Road Towards Green RAN White Paper* (Dec., 2013), Retrieved Oct., 10, 2016, from http://labs.chinamobile.com/cran/wp-content/uploads/2014/06/20140613-C-RAN-WP-3.0.pdf.

[8] J. A. Hartigan and M. A. Wong, "Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm," *J. Royal Statistical Soc.*, Series C 28, no. 1, pp. 100-108, 1979.

고 기 영 (Kiyoung Ko)

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

1999년 5월 : 미국 스탠포드 대학 기술 경영학과 석사

2017년 2월 : 연세대학교 기술정책 박사

<관심분야> 통신공학, 기술정책, 개도국지원

이 재 용 (Jaiyong Lee)

1977년 2월 : 연세대학교 전자공학과 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