

# PS-LTE 환경에서 최적기지국 위치 선정

김 현 우\*, 이 상 훈\*, 윤 현 구\*\*, 최 용 훈<sup>o</sup>

## Optimal Positioning of the Base Stations in PS-LTE Systems

Hyun-Woo Kim\*, Sang-Hoon Lee\*, Hyun-Goo Yoon\*\*, Yong-Hoon Choi<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 PS-LTE(Public Safety-Long Term Evolution) 환경에서 단독기지국의 설치에 있어서 전체 사용자의 데이터 처리량을 최대화하는 PSO(Particle Swarm Optimization)기반의 최적기지국 위치 선정 방법을 제안한다. 또한 전체 재난 지역을 탐색하여 최적의 위치를 찾는 완전탐색(Exhaustive Search) 방법, 임의보행(Random Walk) 이동모형을 적용하여 위치를 선정하는 방법, 기지국 균일 배치방법과의 성능을 비교하였다. 제안하는 방법의 경우 모든 지역을 탐색하여 최적위치를 찾는 완전탐색 방법과 유사한 최적위치 및 전체 사용자의 데이터 처리량(Throughput)을 갖지만, 최적해 수렴시간에 있어서 완전탐색의 경우 재난지역의 크기가 커질수록 증가하지만, 제안하는 방법 경우 빠른 수렴 시간 및 거의 일정한 수렴시간을 갖는 것을 알 수 있다.

**Key Words** : public safety, PS-LTE, NeNB, positioning, base station

### ABSTRACT

In this paper, we try to find the optimal locations of NeNB(Nomadic evolved NodeB)s for maximizing the overall throughput of the PS-LTE networks. Since finding optimal locations of all NeNBs in a given area is NP-hard(Non-deterministic Polynomial time-hard) problem, we proposed a PSO-based heuristic approach. In order to evaluate the performance, we conducted two experiments. We compared performance with other schemes such as Exhaustive Search, Random Walk Search, and locating neighboring NeNBs with the same NeNB-to-NeNB distance. The proposed method showed the similar results to the exhaustive search method in terms of locating optimal position and user's data throughput. The proposed method, however, has the fast and consistent convergence time.

### I. 서 론

지난 2014년 세월호 사태 이후 국민들의 안전에 대한 요구 수준이 높아지고 있다. 이에 따라 국내에서는 PS-LTE(Public Safety-Long Term Evolution)기반의 공공재난안전통신망 구축사업을 진행 중에 있으며,

3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 Release-13 에서 PS-LTE 표준을 진행하고 있다.

PS-LTE 에서는 재난안전통신을 위해 크게 그룹통신(GCSE, Group Communication System Enabler), 근접단말 간 통신(ProSe, Proximity Based Service), 단독기지국 운용모드(IOPS, Isolated E-UTRAN

※ 본 연구는 미래창조과학부 “차세대 공공재난안전통신을 위한 한국형 PS-LTE 표준개발 (1400100019-140010200)” 과제와 2016년도 광운대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행되었음.

• First Author : Kwang woon University, kurenai0106@naver.com, 학생회원

o Corresponding Author : Kwang woon University, yhchoi@kw.ac.kr, 중신회원

\* Kwang woon University, igng@naver.com, 학생회원

\*\* Myongji College, hgyoon@mjc.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-01-003, Received January 6, 2016; Revised April 1, 2016; Accepted April 1, 2016

Operation for Public Safety), MCPTT(Mission Critical Push To Talk over LTE) 기술을 추가하여 정의하고 있다.

1.1 단독기지국 운용모드(IOPS)

단독기지국 운용모드는 3GPP Release 13에서 SA2 및 SA3에서 관련 내용을 표준화 진행 중이다.<sup>[1-4]</sup>

단독기지국은 그림 1과 같이 EPC(Evolved Packet Core)와 연결이 단절되어, 백홀연결에 제약이 있는 기지국 또는 네트워크(E-UTRAN)를 말한다.

또한 단독기지국 상황에서 그룹통신이나 MCPTT와 같은 재난안전통신 서비스의 제공이 가능해야 한다. 이러한 단독기지국의 실제 기지국이라 할 수 있는 eNB(evolved Node B)는 고정형 타입과 이동형 타입인 NeNB(Nomadic evolved Node B)가 존재한다.

그림 2와 같이 공공재난안전통신망 구축에 있어 비용이나 지리적 측면의 이유로 기존 상용 LTE(Long Term Evolution)망과 혼용하여 공공재난안전통신망을 구성할 수 있는데, 이러한 경우에 재난특성상 서비스 음영지역이 발생할 수 있다. 이러한 경우에도 단독기지국 운용모드를 이용하여, 음영지역에 추가적인 단독기지국을 설치함으로써, 음영지역에 대한 재난 통신 서비스 보장을 가능케 해줄 수 있다.

또한 재난해결에 있어서 재난 대응과 복구 단계<sup>[5,6]</sup>

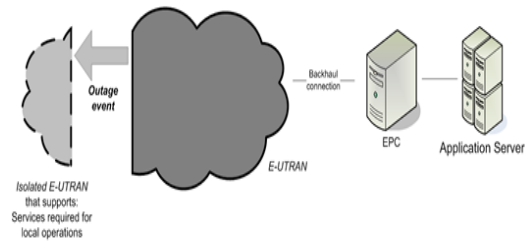


그림 1. 단독기지국의 모습<sup>[2]</sup>  
Fig. 1. Figure of Isolated E-UTRAN<sup>[2]</sup>

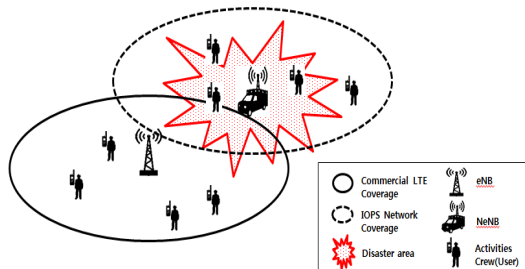


그림 2. 단독기지국 사용 예  
Fig. 2. Isolated E-UTRAN Operation for Public Safety use case

에서는 재난망의 주 사용자인 활동대원들의 위치가 빈번하게 변하게 된다.

본 논문에서는 이러한 단독기지국의 설치에 있어서 재난 활동대원의 통신 서비스 품질을 높여 재난 발생 시 원활한 구조 활동 및 복구 작업을 가능케 할 수 있도록, 전 사용자의 평균 데이터 처리량을 최대화 하는 기지국 위치를 선정한다. 또한 시시각각 변화하는 활동대원의 분포에 대응하여, 최적위치 선정 수렴 시간을 빠르게 하기 위해 PSO(Particle Swarm Optimization)기반의 최적기지국 위치 선정방법을 제안한다.

II. 본 론

2.1 관련 연구

본 절에서는 기지국의 위치를 선정하는 셀 배치기법을 설명한다.

일반적인 셀 배치기법은 해당 지역의 가입자 수와 사용채널의 수를 통계적 데이터 또는 예측방법을 통해 기지국의 출력크기를 조절함으로써 기지국의 서비스권역을 조절하는 것을 의미한다.

이러한 기지국의 위치선정을 위한 연구로 You-Chium Wang<sup>[7]</sup>이 있다.

이는 그림 3의 (a)와 같이 해당지역의 가입자가 존재할 때, 가입자간의 거리를 바탕으로 한 클러스터링 기법으로 그룹화하여(b) 다수의 셀을 임의로 결정한 후, 이러한 셀의 중심에 기지국을 배치한다(c). 또한 기지국 배치 후 각 기지국의 송신전력은 주변 기지국들의 간섭을 고려하여 결정한다.

하지만 이러한 방법은 일반적인 LTE 통신망에서의 고정기지국 위치 선정에 대한 연구로써, 재난안전통신망과 같이 주 가입자인 활동대원의 위치가 수시로 변하여 그 분포가 다양하게 바뀌는 경우, 신속하게 기지국의 위치를 변경하기가 힘들다.

최적위치 선정에 있어서 빠른 수렴시간을 갖는 다른 관련 연구로 Aida Al-Samawi<sup>[8]</sup>이 있다. 이는 유전

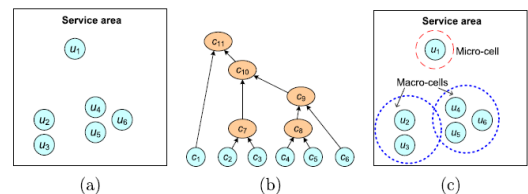


그림 3. You-Chium Wang<sup>[7]</sup>의 기지국 위치 선정 방법  
Fig. 3. You-Chium Wang's<sup>[7]</sup> base station positioning

알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하여 기지국의 송신전력을 최소화하는 위치선정을 목적으로 한다. 이러한 방법은 앞의 You-Chiun Wang<sup>[7]</sup>방법에 비해 가입자의 이동에 따른 분포변화에 있어서 빠른 대처가 가능하다.

하지만 재난안전을 위한 통신서비스 제공에 있어서, 기지국의 전력 소모는 크게 중요하지 않으며, 해양이나 산간에 재난망이 구축되어있지 않는 지역에 일시적으로 망을 구축하여 사용하는 경우, 기지국의 생존시간 보다 내부 가입자들의 통신 효율을 높여 재난통신 서비스의 품질을 높이는 것이 재난 해결에 도움을 줄 수 있다.

따라서 본 논문에서는 재난망 특성을 고려하여, PS-LTE 네트워크의 단독기지국 운용모드 환경에서 PSO(Particle Swarm Optimization)기반의 최적 기지국 위치 선정방법을 제안한다.

2.2 PSO(Particle Swarm Optimization)알고리즘

PSO알고리즘<sup>[9]</sup>은 1995년 Kennedy와 Eberhart에 의해 제안된 알고리즘으로 새와 물고기들이 먹이를 찾아 무리 지어 이동하는 모양으로부터 착안되었다. 이는 군집 내의 리더가 갖고 있는 정보와 각 개체의 정보를 이용하여 최적해 위치를 탐색한다.

그림 4는 PSO 알고리즘의 순서도이다. gBest는 군집 내 리더의 최적해로 전역 최적해(Global Best)를

의미하고, pBest는 각 개체의 최적해로 개체 최적해(Particle Best)를 의미한다.

PSO 알고리즘은 처음 n개의 랜덤 한 위치의 개체 ( $x_k^0$ )를 생성하고, 목적함수를 만족하는 초기 pBest와 gBest를 설정한다.

$$v_k^{(i+1)} = \omega v_k^i + c_1 r_1 (x_k^{pBest} - x_k^i) + c_2 r_2 (x_k^{gBest} - x_k^i) \quad (1)$$

$$x_k^{(i+1)} = x_k^i + v_k^{(i+1)}, k = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

또한 i 는 반복횟수를 의미하며, i = 0 일 때,  $v_k^0 = 0$  으로 초기화 한다.

이후 k번째 개체의 속도 벡터  $v_k^{(i+1)}$  을 식 (3.1)로부터 계산하고, 이를 이용하여 식 (3.2) 와 같이 k번째 개체의 위치벡터  $x_k^{(i+1)}$  를 계산한다.

또한 식 (3.1)에서 사용한  $\omega$ 는 현재 속도벡터의 관성 가중치이며,  $c_1, c_2$  는 pBest와 gBest의 학습요인에 대한 가중치,  $r_1, r_2$  는 pBest와 gBest에 부여되는 값으로  $c_1, c_2$  에 의해 과도한 경향성이 생기는 것을 피하기 위해 도입된 무작위 성분으로, 보통 0과 1사이의 난수값을 그때그때 생성하여 사용한다.

PSO알고리즘은 진화를 위해 집단을 운용한다는 점에서 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)과 유사하나 유전 알고리즘과 같이 교차나 변이 연산은 사용하지 않는다. 따라서 PSO 알고리즘은 유전 알고리즘에 비해 구현이 용이하고, 튜닝해야 하는 변수( $\omega, c_1, c_2$ )가 훨씬 적다.<sup>[10]</sup>

또한 일반적으로 PSO 알고리즘은 이론의 간결성, 구현의 용이성, 연산의 효율성과 같은 장점을 지니며, 최적해 수렴시간이 짧다. 또한 다른 확률적인 방법보다 안정적인 수렴 특성을 갖는다.<sup>[11,12]</sup>

재난이 발생하여 새로운 이동형 단독기지국을 설치하거나, 재난 해결을 위한 현장 활동대원의 위치가 수시로 변하는 상황에서 기지국의 위치선정을 빠르게 하기 위해 본 논문에서는 최적해 수렴시간이 짧고, 안정적인 수렴 특성을 지니는 PSO 알고리즘을 사용하여 이동형 기지국의 위치선정을 하고자 한다.

2.3 제안하는 기지국 위치 선정 방법

제안하는 방법의 최적화 식은 식 (3)-(5)과 같으며, 사용된 용어는 표 1과 같다.

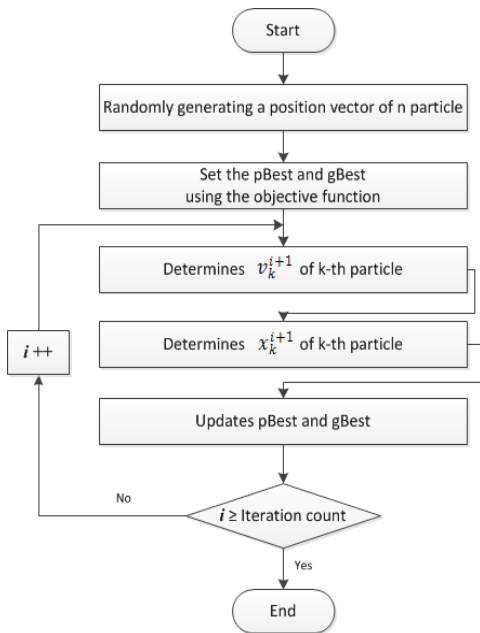


그림 4. PSO 알고리즘  
Fig. 4. PSO algorithm

표 1. 용어설명  
Table 1. Explanation of terms

Parameter	Description
B	Channel Bandwidth[hertz]
$T_{i,j}$	Throughput of user i at serving BS(base station) j [bps]
$T_{Min}$	Minimum Throughput [bps]
$SINR_{i,j}$	SINR of user i at BS j
$g_{i,j}$	Transmission gain of BS j at user i
$P_j$	Transmit power of BS j [dB]
$P_{Noise}$	Noise Power [dB]
$\alpha$	Path loss attenuation coefficient
$C_d$	Path loss coefficient

$$Maximize \frac{\sum_{(i \in N)} T_{i,j}}{N} \quad (3)$$

$$subject \ to \ 0 < P_j \leq P_{max}, j = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$T_{i,j} \geq T_{Min} \\ i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, K \\ K = \text{전체 기지국}, N = \text{전체 사용자} \quad (5)$$

제안하는 방법은 식 (3)과 같이 전체 사용자의 데이터 처리량의 평균을 최대화시키는 것을 목적으로 한다. 식(4)는 각 기지국 상향링크에서 최대 송신 전력 ( $P_{max}$ )을 넘지 않는 것을 제약조건으로 하는 것을 의미하며, 식 (5)와 같이 전체 사용자의 데이터처리량이 최소 데이터처리량 ( $T_{Min}$ )보다 크도록 하여, 모든 사용자에 대해서, 재난 통신을 위한 최소 데이터 처리량을 만족할 수 있도록 하였다.

최소 데이터처리량은 음성 및 영상 데이터가 끊임 없이 통화되기 위한 값으로 실시간 방송을 제공하는 국내 M사의 평균 트래픽 패킷<sup>[13]</sup>을 참고하여 실험에서는 사용자에게 보장되는 최소 데이터처리량( $T_{Min}$ )을 3Mbps로 가정하고 진행하였다.

$$T_{i,j} = B \cdot \log_2 (1 + SINR_{i,j}) \quad (6)$$

$$SINR_{i,j} = \frac{g_{i,j} \cdot P_j}{\sum_{k \neq j} (g_{i,k} \cdot P_k) + P_{Noise}} \quad (7)$$

$$g_{i,j} = [\alpha \cdot \log_{10} (\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}) + C_d]^{-1} \quad (8)$$

$$PL(d) = \alpha \cdot \log_{10} d + C_d \quad (9)$$

식 (6)-(9)는 앞서 설명한 최적화 식에서 사용한 세부 식 및 용어 설명이다.

식 (6)은 기지국 j가 serving BS일 때, 사용자 i의 데이터 처리량이며, Shannon - Hartley theorem<sup>[14]</sup>을 사용하였다.

식 (7)은 SINR 계산식이며, 기지국 j에서의 사용자 i의 SINR을 의미한다.<sup>[15]</sup>

또한 식 (8)은 SINR을 계산하기 위한 사용자 i에서의 기지국 j의 전송이득을 의미하며 이는 식 (9)의 path loss의 역수로 나타낼 수 있다.<sup>[15]</sup>

( $x_i, y_i$ )는 사용자 i의 위치좌표, ( $x_j, y_j$ )는 기지국 j의 위치좌표이며, 식 (9)의 거리(d)를 계산하기 위해 사용하였다.

식 (9)의 path loss는 line-of-sight(LOS)에서의 path loss이며, d는 기지국과 사용자의 거리이다.

또한  $\alpha$ 는 감쇠계수로 LOS의 경우 26을 사용한다.  $C_d$ 는 반송주파수가 1.8GHz일 때, 약 107.7로 가정한다.<sup>[12]</sup>

또한 앞의 최적화 식에서 데이터처리량 ( $T_{i,j}$ )을 계산하기 위해서는 사용자 i에 대한 Serving 기지국이 필요하다. 이를 위한 알고리즘으로 이는 그림 5와 같다.

각 사용자는 전체 기지국 중에서 SINR 이 제일 큰 기지국을 Serving 기지국으로 결정하며, 이는 이후 제안하는 알고리즘에서 전체 단말에 대한 Serving 기지국 리스트를 생성하는데 사용하게 된다.

PSO 알고리즘은 최적해 수렴을 위해 목적함수를

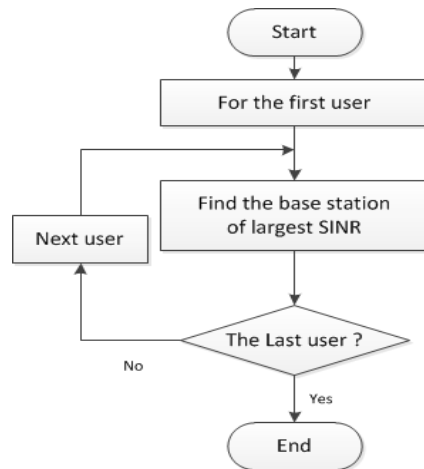


그림 5. Serving 기지국 선택 알고리즘 순서도  
Fig. 5. Serving Base Station selection algorithm block diagram

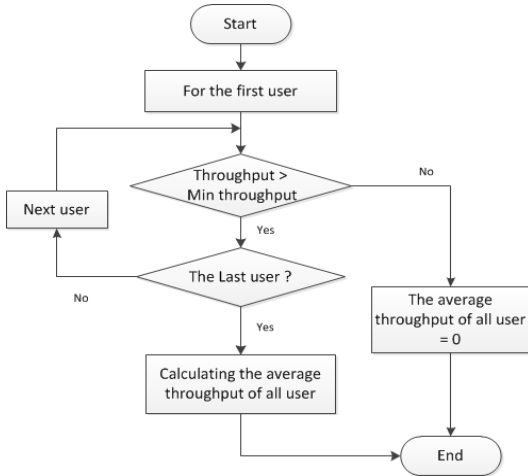


그림 6. 목적함수 순서도  
Fig. 6. Objective function block diagram

필요로 하는데, 제안하는 기지국 위치선정 방법의 목적함수는 다음 그림 6과 같다.

목적함수는 식 (5)의 제약조건을 만족하며, 전체 사용자의 평균 데이터 처리량을 계산한다. 전체 사용자 중 한 명의 사용자라도 표 1의 최소 데이터 처리량 ( $T_{Min}$ )보다 작으면, 그 즉시 목적함수를 종료하며, 이때는 전체 사용자의 평균 데이터 처리량을 0으로 저장한다.

목적함수에서 저장한 전체 사용자의 평균 데이터 처리량은 제안하는 알고리즘에서 개체 최적해(pBest) 및 전역 최적해(gBest)를 갱신하기 위해 사용된다.

그림 7은 제안하는 전체 알고리즘이다. 전체 알고리즘은 그림 5의 Serving 기지국 선택 알고리즘과, 그림 6의 목적함수를 사용하여 수행한다.

제안하는 알고리즘은 PSO를 위해 임의위치에 개체를 생성한다. 개체는 추가할 기지국 당 n개를 생성하며, 이때 생성한 임의위치는 각 개체 최적해(pBest)로 설정하여 초기화 한다.

이후 재난망이 이미 구축되어있거나, 상용기지국과 혼용하여 재난망을 운용하는 경우에는 그림 5의 방법을 사용하여 기존 설치되어있는 기지국 중에서 Serving 기지국을 선택하여 초기화하게 되며, 재난망이 구축 지역에 단독기지국을 처음 설치하는 경우라면, 첫 번째 설치할 단독기지국을 Serving 기지국으로 선택한다.

Serving 기지국이 결정되면, 각 개체 최적해 중에서 목적함수를 최대로 하는 군집 최적해(gBest)를 설정한다.

이후 첫 번째 기지국에 대한 개체의 이동을 시작한

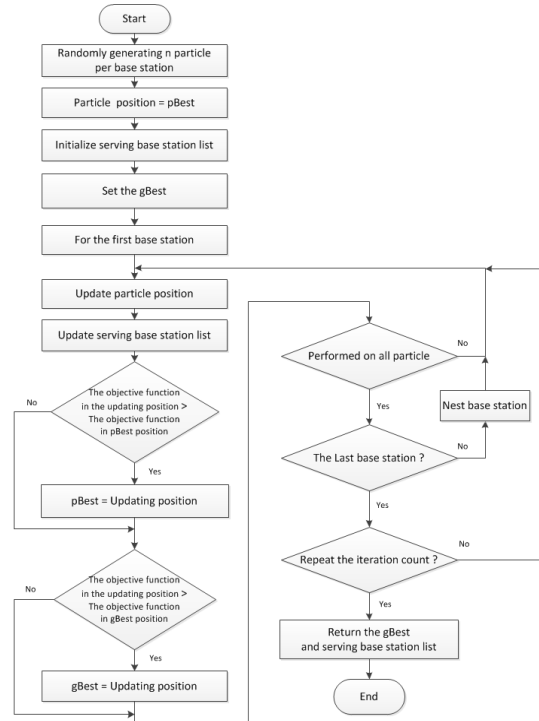


그림 7. 제안하는 알고리즘 순서도  
Fig. 7. Proposed algorithm block diagram

다. 개체 이동에는 식 (1), (2)를 사용하며, 개체 이동 후의 좌표에 대한 serving 기지국 정보를 그림 5의 방법을 이용하여 갱신한다.

이동한 위치에서의 목적함수를 각 개체 최적해 위치에서 구한 목적함수와 비교하여, 이보다 클 경우 개체 최적해를 이동한 위치로 갱신한다. 또한 군집 최적해 역시 이동한 위치에서의 목적함수와 비교하여, 클 경우 군집 최적해도 갱신한다.

목적함수는 그림 6의 방법을 사용하며, 목적함수의 결과는 전체 사용자의 평균 데이터 처리량이다.

첫 번째 기지국에 대한 모든 개체의 이동이 완료되면, 다음 기지국에 대해서 앞의 방법과 동일하게 모든 개체의 이동을 수행한다. 이후 모든 기지국에 대해 이동이 완료되면, 정해진 반복횟수만큼 앞의 절차를 반복하여 각 기지국에 대한 군집 최적해를 찾고 알고리즘을 종료한다.

제안하는 알고리즘은 최종적으로 각 기지국의 최적 위치인 군집 최적해와 Serving 기지국 정보를 리턴 하는데, Serving 기지국 정보로부터 추가할 단독기지국의 사용유무를 판단하고, 이를 통해 최종 설치할 단독 기지국의 수를 알 수 있다.

2.4 제안하는 방법의 PSO 파라미터 선정

제안 하는 방법을 적용하기 위해선 PSO 파라미터 인 식 (1), (2)의  $\omega$  와  $c_1, c_2$  의 값이 필요하다.

$\omega$ 는 보통 1과 근사한 값을,  $c_1, c_2$  는 2와 근사한 값을 보편적으로 사용한다.<sup>[10,16-18]</sup>

본 논문에서는 PSO 파라미터를 결정하기 위해,  $0.01 \leq \omega \leq 1$  에서 0.01 씩 증가시키며,  $0.01 \leq c_1 = c_2 \leq 2$  에서 0.01 씩 증가시키며 전체 사용자의 데이터 처리량이 가장 큰 값을 갖는 파라미터를 사용하였다.

III. 실험 결과

3.1 실험 환경

본 논문에서는 실험을 위해 표 2와 같은 파라미터를 사용하였다.

표 2. 실험 파라미터  
Table 2. Experimental parameters

Parameter	value
The number of particle	100
The number of iteration	1000
Channel Bandwidth(B)	20MHz
Transmit power of BS $j(P_j)$	43dB
Minimum Throughput( $T_{Min}$ )	3Mbps

3.2 제안하는 방법과 완전탐색(Exhaustive Search) 방법의 비교

완전탐색방법은 모든 조합의 경우를 탐색하는 방법으로, 설치할 단독기지국이 재난 지역 내에서 1m 간격으로 위치 할 수 있는 모든 경우에 대해서 사용자의 평균 데이터 처리량이 계산하고, 이중 가장 큰 위치를 단독기지국의 위치로 결정하였다.

3.2.1 재난망 미구축 지역에 단독기지국 1개 설치

다음은 재난망이 미구축 되어있는 지역에 일시적으로 단독기지국을 추가하는 경우를 가정하여 실험한 결과이다.

재난 지역범위는 1x1 km로 가정하였으며, 20명의 활동대원을 랜덤하게 배치하여 사용자로 가정하였다.

그림 8은 제안하는 방법과 완전탐색방법의 단독기지국의 최적 위치결과이다.

제안하는 방법의 최적 기지국 위치 좌표(605.34, 589.58) 와 완전탐색방법의 최적 기지국 위치 좌표

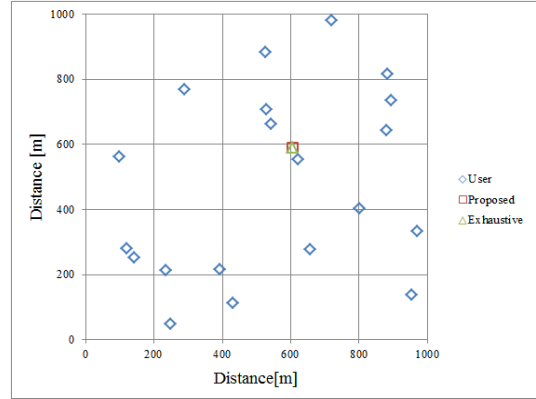


그림 8. 사용자 및 단독기지국 위치  
Fig. 8. User and isolated E-UTRAN location

(606.00, 590.00)는 약 1m 이내의 차이로 거의 유사한 최적위치를 갖는 것을 알 수 있다.

그림 9는 제안하는 방법과 완전탐색방법의 사용자 데이터 처리량으로 그림 8의 단독기지국의 위치가 유사한 만큼 데이터 처리량도 거의 같다.

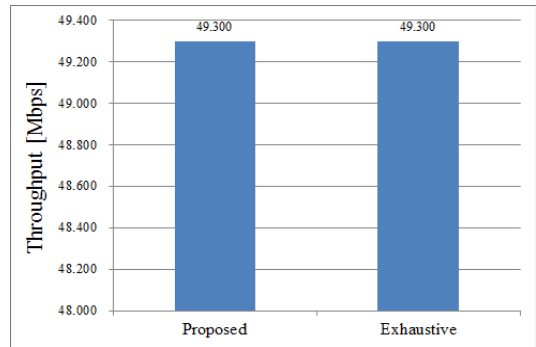


그림 9. 전체 사용자의 데이터 처리량  
Fig. 9. The data throughput of all user

3.2.2 재난망 구축 지역에 단독기지국 1개 설치

다음은 재난망이 이미 구축되어있는 지역에 추가로 단독기지국을 설치하여야 할 경우를 가정한 실험이다. 국내의 공공재난안전통신망의 사업진행에 따르면, 재난망을 단독으로 사용하기 보다는 상용 LTE망에 PS-LTE 기능을 추가하여, 사용할 경우를 고려하고 있다.

실험에서는 3개의 기존 기지국이 있는 경우를 가정하였으며, 재난 지역 범위는 1x1 km, 활동대원의 수는 20명으로 하였다.

그림 10, 11은 이미 3개의 기존 기지국이 설치되어 있는 상황에서 1개의 단독기지국을 설치한 결과이다.

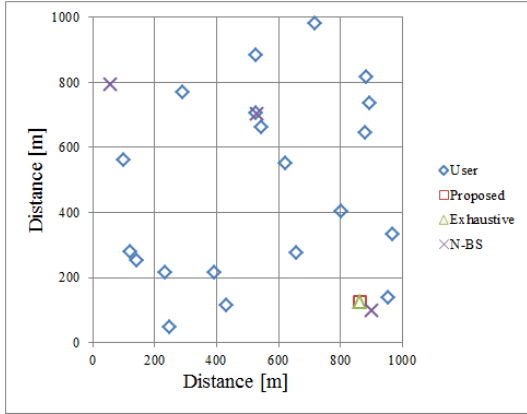


그림 10. 사용자 및 단독기지국 위치  
Fig. 10. User and isolated E-UTRAN location

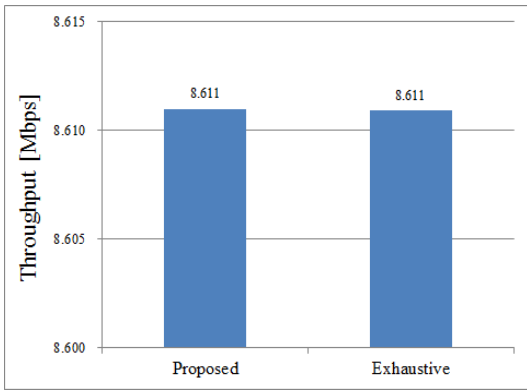


그림 11. 전체 사용자의 데이터 처리량  
Fig. 11. The data throughput of all user

그림 10은 사용자 및 단독기지국의 위치에 대한 그림으로 N-BS는 이미 설치 되어있는 기존 기지국을 의미한다.

3.2.1 절의 실험과 유사하게 제안하는 방법과 완전 탐색방법의 최적 기지국 위치 좌표는 각 (862.15, 125.21), (862.00, 125.00) 로 거의 유사하다.

또한 전체 사용자의 평균 데이터 처리량도 각 (8.611 Mbps), (8.611 Mbps) 으로 제안하는 방법과 완전탐색방법의 결과가 거의 유사하다.

### 3.2.3 제안하는 방법과 완전 탐색 방법의 수렴시간

앞의 결과에서 보면 제안하는 방법과 재난지역 내에서 1m 간격으로 모든 지역을 탐색하여 최적해를 찾은 완전탐색방법의 결과는 거의 유사함을 알 수 있다. 하지만 완전탐색방법의 경우, 모든 지역을 탐색해서 최적해를 찾기 때문에 재난 지역의 크기가 커질수록 최적해 수렴시간이 증가한다.

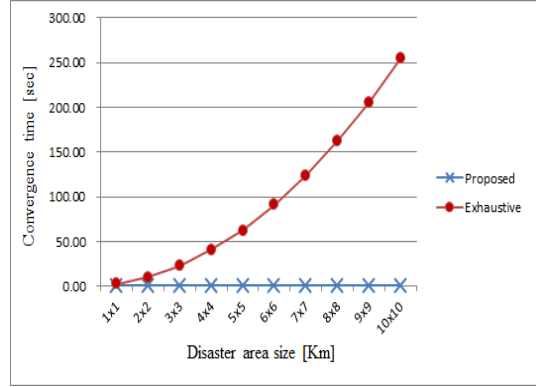


그림 12. 재난지역 크기에 따른 최적해 수렴시간  
Fig. 12. Following disaster area size, optimal solution convergence time

그림 12는 재난지역 크기 변화에 따른 제안하는 방법과 완전탐색방법의 최적해 수렴시간의 그래프이며, 각 방법의 최적해 수렴시간은 PC에서 JAVA 프로그램으로 제안하는 방법 및 완전탐색 방법을 구현하여 최적해 수렴까지의 시뮬레이션 타임을 측정된 결과이다.

재난 지역크기는 1x1 km에서 10x10 km 까지 순차적으로 증가했을 때의 결과이며, 제안하는 방법은 재난 지역크기에 거의 영향을 받지 않지만, 완전탐색방법은 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

### 3.3 복수의 단독기지국 설치 시

3.3 절은 복수의 단독기지국 설치를 가정하고 실험하였다.

재난 지역 1x1 km를 한 개의 재난 셀로 지정하고, 이러한 재난 셀에는 한 개의 단독기지국만 설치하는 것을 가정하였다. 또한 재난 셀 내 활동대원의 수는 셀 당 20명으로 하였다.

또한 복수의 단독기지국을 설치 할 경우 완전탐색 방법은 가능한 조합의 수가 단독기지국의 지수 승으로 증가하므로, 적용할 수 없다. 따라서 비교대상으로 임의보행(Random Walk) 이동모형을 적용하여 기지국의 위치를 선정하는 방법과, 기지국을 각 재난 셀 중심에 배치하는 균일 배치방법(Equal disposition)과의 성능을 비교하였다.

임의보행 이동모형은 탐색횟수마다 각도와 이동거리가 랜덤하게 정해져 이동하는 모형이다. 본 논문에서는 설치할 단독기지국의 위치를 임의보행 이동모형으로 이동시켜, 매 탐색횟수마다 전체 사용자의 데이터처리량을 계산하고, 그 중 데이터처리량이 가장 큰 위치를 단독 기지국의 최적위치로 결정하였다. 매 탐색횟수마다 변경할 각도는  $[0, 2\pi]$  의 범위를 가지며,



이동거리는  $[0, \max]$  의 범위를 갖도록 하고 실험하였다. 이때,  $\max$ 는 1회 이동시 최대 이동 가능한 거리를 의미하는데, 이 값이 너무 작으면 국지적으로 이동하고, 너무 크면 이동 간격이 너무 넓어지기 때문에,  $\max = \text{재난지역의 } 1/10$  로 하여 진행하였다. 또한 탐색횟수는 제안하는 방법과 동일한 1000번으로 지정하였다.

### 3.3.1 재난 셀 변화에 따른 성능분석

그림 13은 제안하는 방법과 각 방법의 사용자 데이터처리량의 차이이다.

재난 셀이 1, 2개의 경우 균일 배치방법(Equal disposition)의 사용자 데이터처리량이 가장 낮는데, 고정된 위치의 균일 배치방법에 비해 제안하는 방법과 임의보행 이동모형 적용방법(Random walk)은 사용자 분포에 맞는 최적의 기지국 위치를 탐색했기에 나타나는 결과로 보인다.

하지만 재난 셀이 증가 할수록, 균일 배치방법과 제안하는 방법의 데이터처리량 차가 줄어들어 가는 것은 설치할 단독기지국 수가 늘어남에 따라 복잡도가 증가하여 제안하는 방법의 최적해가 실제 최적해와 일치할 가능성이 점점 낮아져 나타나는 결과로 보인다. 또한 임의보행 이동모형을 적용방법의 경우 실제 최적

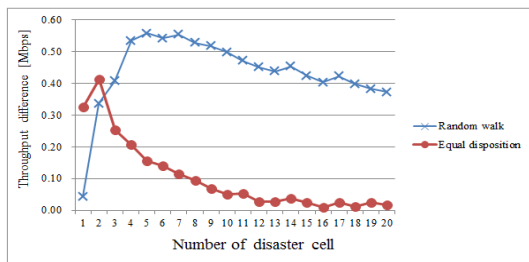


그림 13. 제안하는 방법과 각 방법의 데이터처리량 차  
Fig. 13. Throughput differences of each method

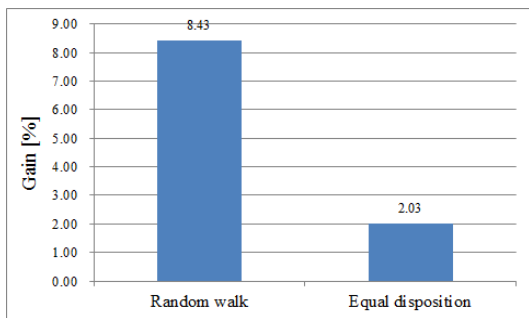


그림 14. 제안하는 방법의 데이터처리량 이득  
Fig. 14. Throughput gain of the proposed method

해를 찾는 것이 점점 어려운 것으로 보인다.

그림 14는 앞의 재난 셀 1개에서 10개까지의 제안하는 방법의 데이터처리량 이득의 평균을 [%]로 나타낸 것이다.

임의보행 이동모형 적용방법의 경우 약 8.43 %, 균일 배치방법의 경우 약 2.03% 제안하는 방법이 더 높은 데이터 처리량을 갖는다.

### 3.3.2 사용자 수 변화에 따른 성능분석

그림 15는 재난 지역 범위를 2x2 km, 설치할 단독 기지국의 수를 3개로 고정하고 사용자의 수를 10명에서 5명씩 증가하여 실험한 결과이다.

제안하는 방법(Proposed)과 임의보행 이동모형 적용방법(Random walk), 균일 배치방법(Equal disposition)의 경우 사용자 수에 변화에 따라 데이터 처리량의 차이가 거의 없다.

또한 그림 16은 그림 15의 데이터처리량의 평균을 나타낸 그래프이다.

제안하는 방법과 임의보행 이동모형 적용방법은 약 0.38Mbps의 데이터 처리량 차이를 보이며, 제안하는 방법과 균일 배치방법의 경우 약 0.27Mbps의 차이를 갖는다. 이는 임의보행 이동모형 적용방법보다는 약

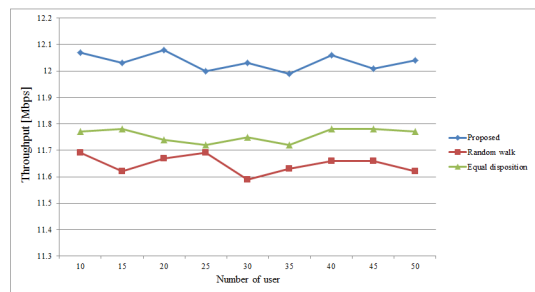


그림 15. 사용자 수 변화에 따른 데이터 처리량  
Fig. 15. Throughput according to the User variation

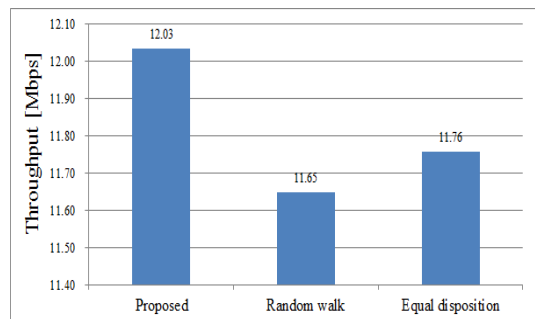


그림 16. 사용자 수 변화에 따른 데이터 처리량 평균  
Fig. 16. Average Throughput according to the User variation



3.2%, 균일 배치방법보다는 약 2.3%의 사용자 데이터 처리량 이득이 있음을 알 수 있다.

### 3.4 재난 시나리오에 따른 성능 분석

3.4절은 가상의 재난 상황을 가정하고, 실험을 진행하였다.

재난이 발생하여 대응 및 복구 과정을 거치다 보면 현장대원들의 이동이 불가피 하다. 이 경우 고정형의 기지국 배치는 음영지역을 야기 시키거나, 장시간 작업에 따라 통신효율을 저하시킬 수 있다.

본 절에서는 이와 같은 상황을 가정하여 음영지역이 발생했을 때, 제안하는 방법을 통해 이동형 단독기 지국을 설치한 경우와 장시간 현장 대원의 이동을 고려한 실험을 진행하였다.

#### 3.4.1 음영지역 발생 시나리오

그림 17은 기존의 고정형 기지국(Static BS)이 설치되어 재난망이 구축되어있는 상태에서, 재난으로 인해 음영지역에서 활동대원(사용자)의 작업이 이루어졌을 때, 제안하는 방법을 사용하여 추가로 이동형 단독기 지국을 설치한 결과이다.

2x2 km 지역에 1km 간격의 고정형 기지국이 설치 되어있고, 80명의 활동대원이 작업을 하는 상황을 가정하였다.

또한 그림 18은 이러한 상황에서 사용자의 데이터 처리량을 나타낸 그래프이다. Static은 단독기 지국의 추가 없이 고정형 기지국 만 존재했을 때 각 사용자의 데이터처리량이며, Proposed는 제안하는 방법을 사용하여 이동형 단독기 지국을 추가하였을 때 사용자의 데이터처리량을 의미한다. 제안하는 방법을 사용하여 단독기 지국을 추가한 경우, 평균 7.35Mbps 의 데이터

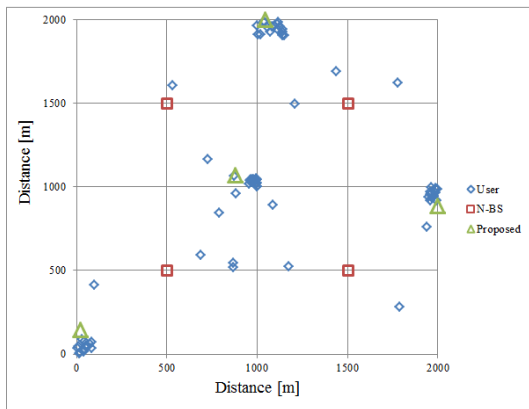


그림 17. 사용자 및 단독기지국 위치  
Fig. 17. User and isolated E-UTRAN location

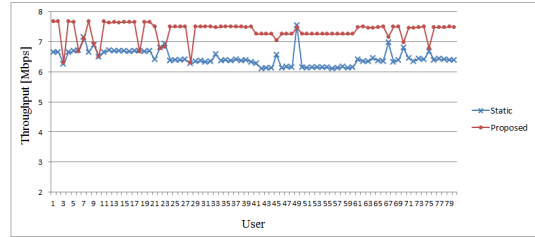


그림 18. 전체 사용자의 데이터 처리량  
Fig. 18. The data throughput of all user

처리량을 가지며, 이는 단독기 지국을 추가하지 않은 상태의 평균 데이터처리량(6.45Mbps)에 비해 약 12%의 성능향상이 되는 것을 알 수 있다.

#### 3.4.2 재난지역에서의 장시간 대응 및 복구 시나리오

그림 19는 전체 재난 지역을 1.5x1.5km 로 가정하고 주요 재난작업지역을 표현한 그래프이다. 전체 활동 대원은 30명으로 가정하였으며, 이들이 1시간 단위로 각 재난작업지역을 이동하며 재난대응 및 복구 작업을 하는 것을 가정하였다. 재난작업지역은 반경 100m 로 가정하였으며, 이 지역에서의 작업은 전체 활동 대원의 70%만 작업을 하는 것으로 가정하였다. 또한 재난지역에서의 작업시간은 10시간으로 가정하여 실험을 진행하였다.

그림 20은 위와 같이 가정한 상황에서 시간에 따른 전체 활동대원의 평균데이터처리량 그래프이다.

Static은 그림 19에서 Static BS의 고정형 기지국만을 설치하고 운용했을 때의 결과이며, Proposed는 고정형의 기지국이 아닌 이동형 단독기 지국을 제안하는 방법을 이용하여, 활동대원의 위치변화에 따라 최적 위치를 선정한 결과이다.

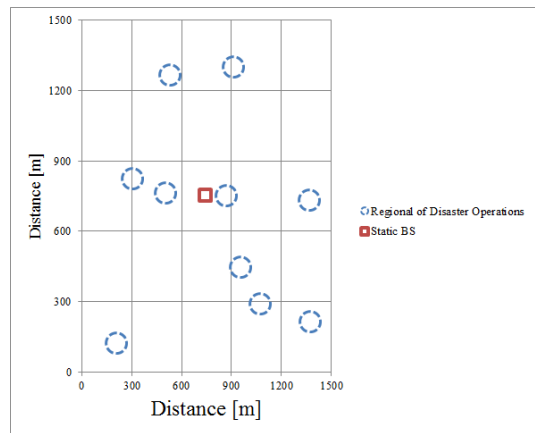


그림 19. 재난작업지역  
Fig. 19. Regional of Disaster Operations

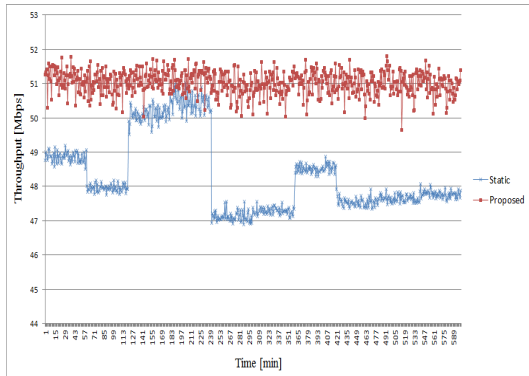


그림 20. 시간 변화에 따른 데이터 처리량  
Fig. 20. Throughput according to the Time variation

고정형 기지국을 운용했을 때 보다 제안하는 방법을 사용하여 활동대원의 이동을 고려하여 위치선정을 한 결과 특정 음영 지역이 발생하지 않고, 데이터처리량이 일정한 것을 알 수 있다. 또한 평균 데이터처리량은 제안하는 방법은 51.1Mbps, 고정형(Static) 기지국 운용 방법은 48.3Mbps 이며 제안하는 방법이 약 5.58% 성능향상이 되었다.

#### IV. 결 론

PS-LTE 네트워크의 단독기지국 운용모드 환경에서 공공재난안전통신망 미 구축 지역에 일시적으로 단독기지국을 추가하여 재난통신 서비스를 제공해야 되거나, 기존의 공공재난안전통신망이 구축되어 있는 상황에 음영지역에 단독기지국을 추가하여 재난통신 서비스 품질을 향상시켜야 할 경우, 전체 사용자의 데이터처리량을 최대화하는 PSO 기반의 최적기지국 위치선정 방법을 제안하였다.

추가할 단독기지국이 1개인 경우, 재난지역 전체를 탐색하여 최적위치를 찾는 방법인 완전탐색방법과 유사한 최적위치 및 데이터처리량을 갖는다. 하지만 최적해 수렴시간에 있어서, 완전탐색방법의 경우 재난지역이 넓어짐에 따라 큰 폭으로 증가하지만, 제안하는 방법은 거의 일정하며, 제안하는 방법이 빠른 수렴시간을 갖는다. 이는 제안하는 방법이 완전탐색방법에 비해 시시각각 변화하는 활동대원의 이동에 신속하게 대응할 수 있다.

복수의 단독기지국을 추가하여 설치할 경우, 임의 보행 이동모형 방법을 적용하여 기지국 위치를 결정하는 방법과, 균일하게 기지국을 배치하는 방법과 비교하였다.

일정한 크기의 재난지역을 하나의 재난 셀로 가정하고, 이러한 재난 셀이 다수 존재할 때, 제안하는 방법이 임의보행 방법보다 약 8.43% 성능 향상이 이루어졌으며, 균일 배치방법에 비해 약 2% 성능향상이 발생했다.

또한 사용자 수 변화에 따라 성능을 측정하였을 때, 각 방법은 사용자 수 변화에 데이터 처리량의 변화가 거의 없음을 알 수 있으며, 이 경우 제안하는 방법과 임의보행 방법, 균일 배치방법의 성능차이는 약 3.2%, 2.3%로 제안하는 방법이 약간 더 향상하였다.

균일 배치방법에 비해 제안하는 방법의 성능향상이 미미하다 할 수 있지만, 기지국의 위치를 고정하는 균일 배치방법의 경우, 공공재난안전통신망의 주 사용자인 활동대원의 위치가 재난 발생에 의해 한곳으로 몰리는 등, 재난 상황에 대한 활동대원의 위치 변화에 대응이 힘들며, 이 경우 제안하는 방법과의 성능차이가 더 크게 발생할 것으로 여겨진다.

또한 재난상황을 가정하여 실험을 진행한 결과, 음영지역에 이동형 단독기지국을 추가한 경우 약 12%의 성능향상이, 장시간 작업에 따른 활동대원의 이동을 고려한 시나리오에서는 약 5.58%의 성능향상이 있었으며, 이는 재난상황에 제안하는 방법을 적용하여 활동대원의 데이터처리량을 향상시킴으로써 재난해결에 도움을 줄 수 있다고 생각된다.

또한 사용자의 데이터 처리량을 최적화시키는 것과 함께, 기지국의 소모전력과 같은 요소를 추가하여 최적화 복잡도를 높이고 그에 따른 최적 위치를 계산하는 등의 연구와 GA와 같은 다른 최적화 알고리즘을 적용한 사례와의 비교 연구가 필요하다.

#### References

- [1] 3GPP TS 22.346 V13.0.0, *Isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) operation for public safety; Stage 1* (Release 13), 2014.9.
- [2] 3GPP TR 22.897 V13.0.0, *Study on Isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Operation for Public Safety* (Release 13), 2014.6.
- [3] 3GPP TR 23.797 V13.0.0, *Study on architecture enhancements to support isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) operation for public safety*(Release 13), 2015.6.

- [4] 3GPP TR 33.897 V2.0.0, *Study on Isolated Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Operation for Public Safety; Security aspects* (Release 13), 2015.12.
- [5] I. J. Ko, T. H. Ko, and Y. H. Kang, "A study on the priority of disaster management system - With emphasis on jeju special self-governing province," *Korean Rev. Crisis & Emergency Management*, vol. 7, no. 4, pp. 1-22, Aug. 2011.
- [6] Jeollanam-do, *Response activities standard manual*, 2012.
- [7] Y.-C. Wang and C.-A. Chuang, "Efficient eNB deployment strategy for heterogeneous cells in 4G LTE systems," *Elsevier Computer Netw.*, vol. 79, pp. 297-312, 2015.
- [8] A. Al-Samawi, A. Sali, N. K. Noordin, M. Othman, and F. Hashim, "Base station location optimisation in LTE using genetic algorithm," *IEEE ICT Convergence*, pp. 336-341, Jeju, Korea, Oct. 2013.
- [9] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm Optimization," in *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw.*, vol. 4, Perth, Australia, 1995.
- [10] B.-R. Moon, *Easy learning Genetic Algorithm*, Hanbit Academy Inc. 2014.
- [11] M. Kim, B. Park, and H. Seong, "A study on design of mobile communication microstrip patch antenna using PSO algorithm," *JKIICE*, vol. 17, no. 8, pp. 1796-1803, Aug. 2013.
- [12] P. S. Shelokara, P. Siarryb, V. K. Jayaramana, and B. D. Kulkarnia, "Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 188, no. 1, pp. 129-142, May 2007.
- [13] TTA.KO-06.0318, *Traffic transit rules between fixed and mobile network in consideration of mobile environment*, 2012.12.
- [14] *Shannon -Hartley theorem*, Retrieved Mar. 30, 2016, [http://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley\\_theorem](http://en.wikipedia.org/wiki/Shannon%E2%80%93Hartley_theorem).
- [15] Y.-H. Choi, J. Lee, J. Back, S. Park, Y. Chung, and H. Lee, "Energy efficient operation of cellular network using on/off base stations," *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 2015, Jan. 2015.
- [16] P. J. Park and C. J. Lee, "Study of multi floor plant layout optimization based on particle swarm optimization," *Korean Chemical Eng. Res.*, vol. 52, no. 4, pp. 475-480, 2014.
- [17] J. H. Yun, D. V. Chien, T. T. Tin, and J.-W. Kim, "Posture optimization for a humanoid robot using particle swarm optimization," *J. KIIS*, vol. 24, no. 4, pp. 450-456, Aug. 2014.
- [18] M. Schwab, E. C. Biscaia, J. L. Monteiro, and J. C. Pinto, "Nonlinear parameter estimation through particle swarm optimization," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 63, no. 6, pp. 1542-1552, Mar. 2008.

김 현 우 (Hyun-Woo Kim)



2006년 2월 : 광운대학교 정보 제어공학과 졸업  
 2009년 2월 : 광운대학교 제어 계측공학 석사  
 2011년 8월 : 광운대학교 제어 계측공학 박사 수료  
 2011년 10월~2014년 10월 : (주) 세인시스템 연구원  
 2016년 2월 : 광운대학교 제어 계측공학 박사  
 <관심분야> 통신네트워크, Cell-Planning

이 상 훈 (Sang-Hoon Lee)



2014년 2월 : 광운대학교 정보 제어공학과 졸업  
 2016년 2월 : 광운대학교 제어 계측공학과 석사  
 <관심분야> 무선네트워크, 대역폭 관리

윤현구 (Hyun-Goo Yoon)



1995년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 (공학사)  
1997년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 (공학석사)  
2002년 8월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 (공학박사)  
2002년~2004년 : (주)현대시스템  
선임연구원

2004년~현재 : 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수  
<관심분야> 무선네트워크, 이동통신망

최용훈 (Yong-Hoon Choi)



1995년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 공학사  
1997년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 공학석사  
2001년 2월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 공학박사

2001년 4월~2002년 3월 : (미)매릴랜드 주립대  
Postdoctoral Research Associate  
2002년 6월~2005년 8월 : LG전자 정보통신사업부  
네트워크 연구소 책임연구원  
2005년 9월~현재 : 광운대학교 전자정보공과대학 로  
봇학부 교수  
<관심분야> 통신네트워크, 핸드오버