

## IoT 서비스를 위한 LTE-A 랜덤 액세스 절차 성능 평가

유승수\*, 이성형\*, 신재승\*\*, 오성민\*\*, 김재현<sup>o</sup>Performance Evaluation of LTE-A Random Access Procedure  
for IoT ServiceSeung-Su Yoo\*, Sung-Hyung Lee\*, Jaesheung Shin\*\*, Sung-Min Oh\*\*, Jae-Hyun Kim<sup>o</sup>

## 요약

IoT 서비스가 새로운 통신 서비스 분야로 조명 받으면서, 통신 단말의 수가 급격히 증가하고 있다. LTE-A 시스템 기반의 네트워크를 활용한다면, 해당 시스템의 증가하는 단말들의 수용 가능성에 대한 분석이 필요하게 되었다. 기존 3GPP TR 37.868 문서의 성능 분석 결과는 단지 단말의 수가 30,000개까지 증가할 것에 대한 성능평가가 이루어졌으나, 미래의 이동통신 시스템에서는 더 많은 수의 단말에 대한 수용성이 필요하다. 본 논문에서는 5G 단말 수용의 요구사항인 셀 당 100,000개의 단말을 수용 가능한 시뮬레이터를 개발하여, 프리앰블 개수, 프리앰블 최대 전송 횟수, backoff indicator, msg2 window 사이즈 변화에 따른 랜덤 액세스의 영향을 분석한다. 이 시뮬레이터는 OPNET을 기반으로 개발되었으며, 기존 OPNET LTE 모듈의 단말 수용 한계를 극복하였다. 본 연구 결과를 기반으로, 5G 네트워크로의 전환 및 관련 표준화 활동 등에 활용 가능할 것으로 기대한다.

**Key Words** : IoT, LTE-A, Random access, 5G network, M2M

## ABSTRACT

As increase of IoT services in wireless communications, the performance evaluation is required to connects massive number of devices in LTE-A system. Existing performance analysis of 3GPP TR 37.868 is shown the limited results up to the number of devices only 30,000 in a cell. So, it is required the performance analysis according to various parameter values in the greater number of devices environment. In this paper, to evaluate the performance, we developed the new modules to simulate LTE-A random access procedures because of a limit that accommodate massive number of devices in existing LTE module. The simulator was developed by OPNET and it can support up to 100,000 devices per cell. This paper also represents the performance analysis results according to the number of preambles, the maximum number of preamble transmissions, backoff indicator and msg2 window size in the same environment with 3GPP TR 37.868. This results are expected to be utilized such as the transition to 5G network and standardization activities.

※ 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0101-16-244, 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)

• First Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, ssyoo21@ajou.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, jkim@ajou.ac.kr, 종신회원

Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, xaviersr@ajou.ac.kr, 학생회원

\*\* Electronics and Telecommunications Research Institute, sjs@etri.re.kr, smoh@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2016-04-069, Received April 27, 2016; Revised July 11, 2016; Accepted August 19, 2016

## I. 서 론

최근 이동통신이 발달함에 따라 다양한 스마트 기기의 보급으로 인해 M2M(machine to machine) 통신이 활발해 지면서, 모바일 단말과 트래픽의 양이 급격하게 증가하고 있으며, 이를 수용하기 위한 기술을 개발하기 위해 연구가 활발히 진행 중이다. 네트워크 장비 업체인 Cisco에서는 2020년의 모바일 데이터의 사용량은 현재의 1,000배까지 증가할 것으로 예상하고 있으며<sup>[1]</sup>, 국제전기통신연합에서는 IMT-2020을 위한 8대 핵심 성능 지표와 5G 관련 주요 기술 동향을 제시하였다<sup>[2]</sup>. 이를 기반으로, 차세대 이동통신 시스템인 5G 이동통신 시스템에서는 현재 사용되는 3G/4G 이동통신 시스템보다 다양한 측면에서 향상된 기술을 요구하고 있으며, 이를 위해 기존 이동통신 시스템 대비 속도, 용량, 지연시간, 연결 단말 수 등의 측면에서 1,000배의 성능 향상을 목표로 연구되고 있다.

현재의 LTE 및 시그널링 절차는 slotted ALOHA 기반이기 때문에, 급격하게 증가한 단말을 수용하기에 한계가 있을 것으로 예상된다<sup>[3]</sup>. 5G 이동통신 시스템에서 요구하는 현재 대비 1,000배 이상의 단말 수용 및 IoT의 다수의 단말 환경에 대비하기 위해서는 다양한 성능분석 결과와 기술의 개발이 필요하다. 이 중 많은 단말의 수용을 위해서는 단말의 네트워크 접속을 지원하기 위한 RA (random access) 및 시그널링 절차가 필수적이지만, 기존 시스템의 기법은 적은 수의 단말이 네트워크에 등록하는데 초점을 맞추고 있어 다수의 단말 환경에 적합하지 않다. 또한, 기존 이동통신 시스템에 대해서 현재 나와 있는 다수의 단말이 적용되는 환경에 대한 성능 분석 자료들은, 단말의 수가 30,000개까지의 결과만을 나타내고 있고, 주로 RA 기법에 대해서만 이루어진 시뮬레이션이나 사고 실험을 통한 결과만을 나타내고 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 실제 RA 과정에서는 시그널링 절차에 자원이 필요하므로 이를 반영한 성능분석이 필요하다. 그러므로 RA 및 시그널링 절차, 데이터 송수신과 같은 다수의 단말 환경에서 나타나는 주요 현상을 모두 반영하여, 다양한 파라미터 값에 따른 성능 분석 결과가 필요하다. 5G 이동통신 시스템 단말 수용의 요구사항인 1,000,000개/km<sup>2</sup><sup>[2]</sup>는 ISD(inter site distance) 500m를 기준으로 할 때 셀 당 100,000개 수준이므로, 이에 대한 성능분석 결과가 필요하고, 이 결과를 바탕으로 향후 연구의 방향 및 성능 지표를 설정할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 현재 시스템에서의 한계를 파악하고, 성능 향상 목표 중 용량에 초점을 맞춰 증가한 단

말의 수용을 위한 성능 분석 결과 및 연구 방향을 제시한다. 5G 이동통신 시스템의 목표에 대한 성능 평가가 가능한 다수의 단말을 수용 할 수 있는 시뮬레이터를 소개하고, 이를 이용하여 단말 수에 따른 성능 평가 결과를 분석한다. 개발한 시뮬레이터는 현재 사용되고 있는 LTE-A 시스템을 이용하여 다수의 단말에 대한 서비스를 수행하고자 할 경우에, RA에 의해 제한되는 성능을 확인할 수 있다. 또한 다양한 파라미터를 변경시키면서 현재 LTE-A 시스템에서의 다수의 단말 수용 능력에 대한 성능 분석을 수행할 수 있으며 앞으로 연구될 5G 이동통신 시스템을 위한 기술 성능 평가 수단으로 활용 가능하다.

## II. 최근 성능 평가 동향

현재 여러 단체에서 LTE-A 시스템의 한계를 극복하기 위해, 5G 이동통신 시스템의 전환 및 IoT의 활성화에 대하여 활발히 논의하고, 이를 위한 관련 수학적 성능 분석 및 시뮬레이터 구현을 통한 성능 분석이 논의되고 있다.

수학적 성능 분석 모델로는 [5], [6]의 분석 결과가 있다. [5]에서는 대규모로 동시에 발생하는 데이터와 시그널링 전송으로 인해 MTC(Machine Type Communication) 트래픽이 증가할 것이라고 예측하며, 이 분포는 베타 분포를 따를 것이라고 말하고 있다. G/M/1 큐 시스템 모델에 베타분포를 적용하여 분석한 Beta/M/1 큐 모델을 제시하고 있다. 이러한 수학적 분석 결과를 통해 MTC 시나리오 모델을 적절하게 구현하고, 구현한 모델의 효율성을 즉각적으로 판단할 수 있다. [6]에서는 RACH (Random Access channel) 절차의 성능평가를 위해 수학적으로 풀어낸 분석적인 모델을 제시하고 있다. 많은 MTC트래픽이 동시에 집중되는 상황을 베타 분포로 설정하여, RA 성공률 및 충돌률, 평균 프리앰블 전송 횟수, 평균 지연 시간 등을 수학적으로 분석하였다. 이러한 수학적 모델을 통해 MTC 트래픽이 집중되는 상황에서 RACH의 절차 정보를 획득할 수 있고, 베타분포 뿐만 아니라 다른 분포에서도 활용 가능하다. ACB(Access Class Baring) 기법과 같은 혼잡한 채널상황을 컨트롤할 수 있는 방향으로 활용 가능할 것이다.

시뮬레이터 구현을 통한 성능 분석의 사례로는 [4], [7]가 있다. [4]에서는 다수의 단말 적용 환경에서 기존의 LTE-A 시스템에 대한 RA 성능 평가를 수행했다. 이 성능 평가는 1,000개부터 최대 30,000개까지의 단말의 수에 대하여, RA 성공률과 충돌률, 프리앰

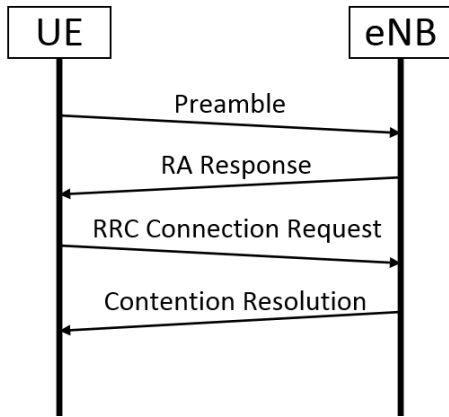


그림 1. LTE-A 랜덤 액세스 절차  
Fig. 1. LTE-A random access procedure

블 평균 전송 횟수, 평균 지연 시간의 성능을 분석하였다. 단말의 분포는 60초 내에서 uniform 분포로 초기 접속을 시작하는 경우와 10초 내에서 beta 분포로 초기 접속을 시작하는 두 가지 경우로 설정하였다. 또한, LTE-A 시스템에서 RA 성능 분석을 위한 참조망 구조와 성능 지표를 제시하고 있다. [7]에서는 3GPP TR 37.868 문서의 시뮬레이션 환경을 적용한 ns-3 시뮬레이터를 개발하였다. [7]의 성능분석에서도 단말의 도착 분포는 베타 분포로 설정하였으며, frame 당 PRACH의 수를 조정하기 위해 PRACH Configuration Index와 프리앰블 최대 전송 횟수를 변화시키면서 성능을 분석하였다.

### III. Random access 프로토콜 절차 및 분석

RA 프로토콜은 단말이 기지국에 초기 접속할 때 사용하는 충돌 기반 접속 절차이다. LTE-A 규격에서는 단말이 최소한의 무선 자원을 사용하여 기지국으로 신속하게 접속하도록 RA 절차를 정의하는 것을 목표로 설계하였다. RA는 경쟁 기반의 절차와 비경쟁 기반의 절차로 나누어진다. 경쟁기반의 RA 절차는 주로 자원할당이 어려운 초기 접속을 위한 단말들이 이용하고, 비경쟁 기반의 RA 절차는 핸드오버와 같은 특별한 액세스 자원요청을 하기 위해 해당 자원들을 미리 비워두었다가 필요시 할당할 때 이용한다. 따라서 단말의 초기접속을 위한 RA는 경쟁기반의 절차를 이용한다. 이 절차는 그림 1과 같이 4개의 메시지교환으로 이루어진다. 1단계에서 단말은 처음 네트워크에 접속하기 위해 사용가능한 프리앰블(msg1) 중 임의의 한 개를 선택하여 가장 가까운 RACH가 할당되었을

때 프리앰블을 전송한다. 2단계에서 기지국은 단말들로부터 전송된 프리앰블을 수신하고, 프리앰블을 전송한 단말에 대하여 RA response 메시지(msg2)를 전송한다. 이 응답 메시지에는 다음 메시지를 전송하기 위한 UL grant 정보를 포함하고 있으며, msg2의 전송을 위하여 common space PDCCH를 소모한다<sup>[8]</sup>. 3단계에서 단말이 msg2를 수신하면 RRC connection request 메시지(msg3)을 기지국에게 전송한다. 이때, 1단계에서 동일한 프리앰블을 선택한 단말들이 두 개 이상이면 기지국에서 msg3에 대한 충돌이 발생한다. Msg3 송신 후 일정 시간동안 msg4를 전송받지 못하면, backoff indicator 시간만큼 대기한 후 프리앰블을 재전송한다. 프리앰블 재전송 횟수는 프리앰블 최대 전송 횟수의 파라미터 값으로 지정되어있다. 4단계에서 기지국은 msg3을 수신하면 contention resolution 메시지(msg4)를 단말에게 전송한다. msg4의 송신을 위하여 UE specific PDCCH를 소모하게 된다. 이러한 절차에서 동일한 프리앰블 선택으로 인한 충돌이 나, msg2, msg4 타이머에 의해 중간 과정에서 시간 만료가 발생하는 경우에는 프리앰블 송신 과정으로 돌아가 RA를 수행한다. 그리고 프리앰블 최대 전송 횟수를 초과하게 되면, 단말은 RA를 실패한 것으로 판정하고 종료한다.

### IV. 성능 분석 시뮬레이터

4장에서는 5G 이동통신 시스템 단말 수용의 요구 사항인 셀 당 100,000개의 단말을 수용할 수 있는 시뮬레이터의 시뮬레이션 환경을 설명하고, 이미 검증된 시뮬레이터의 시뮬레이션 결과와 개발한 시뮬레이터의 시뮬레이션 결과를 비교하여 본 시뮬레이터의 성능을 검증한다.

#### 4.1 시뮬레이션 환경 분석 및 성능 지표

본 논문에서는 새로운 성능분석 시뮬레이터 개발을 위해 OPNET을 사용하였다. OPNET에는 기존의 LTE 모듈이 존재하지만, 많은 수의 단말들을 수용하기에 한계가 있기 때문에 새로운 모듈을 개발하였다<sup>[9]</sup>. 개발한 시뮬레이터는 현재 사용하고 있는 LTE-A 시스템의 RA 절차와 동일하게 구현하였다. 개발한 모듈을 이용한 시뮬레이터의 성능을 검증하기 위해 LTE 표준문서인 3GPP TR 37.868 문서의 표 1과 같은 시뮬레이션 환경을 적용하였다. 단말의 도착분포는 트래픽이 짧은 시간에 집중되는 환경을 적용하기 위해 10초 동안 베타 분포로 도착하는 상황을 설정하였으며,

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Setting
Cell bandwidth	5 MHz
PRACH Configuration Index	6
Total number of preambles	54
Maximum number of preamble transmission	10
Number of UL grants per RAR	3
Number of CCEs allocated for PDCCH	16
Number of CCEs per PDCCH	4
Ra-Response Window Size	5 ms
mac-Contention Resolution Timer	48 ms
Backoff Indicator	20 ms
HARQ retransmission probability for Msg3 and Msg4	10%
Maximum number of HARQ TX for Msg3 and Msg4	5%

단말의 수는 5,000개, 10,000개, 30,000개로 설정하였다. 본 시뮬레이션에서는 대역폭을 5MHz로 설정하였고, PRACH configuration index를 6으로 정하여 모든 frame의 1, 6번 subframe에 PRACH가 할당되는 것으로 설정하였다.

일반적으로 LTE 시스템에서는 총 64개의 프리엠블 중 10개의 프리엠블을 비경쟁 기반 RA 자원으로 남겨두는 것을 반영하여 경쟁 기반 RA에 사용하는 프리엠블 개수는 54개로 설정한다. 단말이 프리엠블을 전송할 수 있는 횟수는 최대 10회로, 전송횟수가 10회가 초과하게 되면 RA 실패로 판단된다. RA response 당 UL grant 수는 3개이고, subframe에서 PDCCH를 위해 할당되는 총 CCE 개수는 16개이며, PDCCH 하나당 CCE는 4개가 소모되어 기지국에서 한 subframe 당 4개의 PDCCH를 송신할 수 있다. 단말이 프리엠블을 송신한 후 대기하는 시간은 5ms이며, connection request 메시지를 송신한 후 대기하는 시간은 48ms이다. 단말이 해당 시간동안 RA

response 나 contention resolution 메시지를 수신하지 못하면 프리엠블을 다시 송신한다. 프리엠블 재전송을 시도하기 전 대기하는 시간은 최대 20ms 이다. HARQ의 과정에서 재전송이 발생할 확률은 10%이며, 전송은 최대 5회까지 시도할 수 있다. 시뮬레이터 개발에 필요한 메시지의 전송 및 지연시간에 대한 정보는 3GPP TR 36.912<sup>[10]</sup>의 값을 적용하였다.

본 시뮬레이션에서 성능 분석을 위한 성능 지표는 성공률, 충돌률, 평균 프리엠블 전송 횟수, 평균 지연 시간으로 설정하였다. 다음은 성능 분석에 사용한 3GPP TR 37.868 문서의 성능 지표에 대한 정의이다.

- 성공률 : 프리엠블 최대 전송 횟수 이내에 RA 절차를 성공적으로 완료한 단말 수 / 전체 단말 수
- 충돌률 : 두 개 이상의 단말이 동일한 프리엠블을 선택한 경우의 수 / 전체 프리엠블 전송 기회
- 평균 프리엠블 전송 횟수 : RA에 성공한 단말에 대하여, RA 절차를 수행하는 동안 프리엠블을 전송한 평균횟수
- 평균 지연 시간 : RA에 성공한 단말에 대하여, 처음 프리엠블을 전송한 시점부터 RA를 완료한 시점까지의 시간

#### 4.2 시뮬레이터 검증

개발한 시뮬레이터를 이용하여 다수 단말의 환경에서 기존의 LTE-A 시스템에 대한 RA의 성능 평가를 수행하였다. 시뮬레이터 검증을 위해 3GPP TR 37.868 문서의 시뮬레이션 결과와 타 논문의 ns-3 시뮬레이터<sup>[7]</sup>를 본 논문에서 개발한 OPNET 시뮬레이터의 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다. 단말의 수가 각각 5,000개, 10,000개, 30,000개일 경우에서, 성능 분석 지표는 전송 성공률, 충돌률, 평균 프리엠블 전송 횟수, 평균 지연시간으로 설정하였다.

비교결과는 표 2와 같다. 3GPP TR 37.868 문서와 비교했을 때, 단말의 수가 30,000개일 때 충돌률과 지

표 2. 시뮬레이션 성능 검증 결과  
Table 2. Performance verification result of simulator

Performance measures	Number of devices per cell								
	3GPP TR 37.868			ns-3 simulator			developed OPNET simulator		
	50c00	10000	30000	5000	10000	30000	5000	10000	30000
Success probability (%)	100	100	29.50	100	99.99	34.23	100	99.93	34.82
Collision probability (%)	0.45	1.98	47.76	-	-	-	0.35	1.62	44.09
Number of preamble transmissions	1.56	1.77	3.49	1.55	1.77	3.39	1.51	1.67	3.41
Access delay (ms)	29.06	34.65	76.81	29.67	33.95	66.43	29.12	32.53	66.52

표 3. 시뮬레이션 결과  
Table 3. Simulation result

Number of devices per cell	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000
Success probability (%)	100.00	73.17	32.62	19.34	13.00	9.73	7.57	6.15	5.13	4.35
Number of successful devices	10,000	14,634	9,786	7,736	6,500	5,838	5,299	4,920	4,617	4,350
Collision probability (%)	1.79	23.33	43.45	52.54	58.26	61.94	64.88	67.06	68.85	70.42
Number of preamble transmissions	1.75	3.15	3.26	3.18	3.19	3.14	3.17	3.15	3.15	3.17
Access delay (ms)	34.22	62.80	64.95	63.32	63.47	62.70	63.16	62.90	62.78	63.21

연시간에서 약간의 차이가 발생했지만, 그 외의 경우에서는 거의 유사한 성능을 확인할 수 있었다. 그리고 타 논문의 ns-3 시뮬레이터의 시뮬레이션 결과와 비교했을 때, 충돌률의 경우에는 측정값이 없어서 비교할 수 없었지만 그 외의 전체적인 성능은 매우 유사하게 나타나는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 비교 결과 개발한 시뮬레이터가 기존의 시뮬레이션 성능 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며 결과 수치도 큰 오차 없이 나타나므로, 개발한 시뮬레이터가 표준의 환경 및 성능 지표를 적절히 반영하였다고 판단할 수 있다.

### V. 성능 분석

검증된 시뮬레이터를 사용하여 3GPP TR 37.868 문서와 동일한 환경에서 단말의 수를 100,000개 까지 증가시켰을 때의 성능을 분석해보았다. 시뮬레이션 결과는 표 3과 같다. 성공률의 경우 단말의 수가 10,000개일 때는 100%인 것을 확인할 수 있지만, 그 이후로 급격히 감소하기 시작하여 단말의 수가 60,000이상일 경우부터는 성공률이 10%이하로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 성공한 단말 수의 경우 단말의 수가 20,000개까지는 성공한 단말 수가 증가하다가, 그 이후로는 점차 감소하는 것을 확인할 수 있다. 충돌률의 경우 성공률과 반비례하여 단말의 수가 증가할수록 충돌률은 증가하는 것을 확인할 수 있다. 단말의 수가 100,000개일 때, 충돌률은 70%이상까지 증가하였다. 프리앰블 평균 전송횟수의 경우 단말의 수가 30,000개일 때까지는 점차 증가하다가 그 이후로는 비슷하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 평균 지연 시간의 경우 평균 프리앰블 전송 횟수와 비례하여 점차 증가하다가 63ms정도로 유지되는 것을 확인할 수 있다.

표 3에서 알 수 있듯이, 현재 LTE-A 시스템의 경우 단말의 수가 30,000개 이상부터 성능이 급격히 감소하기 시작하며, 셀 당 100,000의 단말의 수용하기에 적절하지 않은 것을 확인할 수 있다. 기존 시뮬레이션

결과에서, 단말의 수가 셀 당 30,000개일 때 이미 성능이 저하되는 것을 알 수 있지만, 본 시뮬레이션 결과를 통해 셀 당 100,000개까지의 정확한 성능 분석 결과 수치를 수집할 수 있다. 또한, 다음 파라미터 변경에 따른 시뮬레이션 결과를 수행함으로써, 셀 당 100,000개의 단말 환경에서 각 파라미터 값이 끼치는 영향을 알 수 있다.

현재 LTE-A 시스템의 한계를 극복하기 위해, 다양한 파라미터 값을 변경 시키면서 파라미터 값 변경에 따른 성능을 분석해보았다. 본 논문에서는 프리앰블 개수, 프리앰블 최대 전송 횟수, backoff indicator, msg2 window 사이즈의 파라미터 값을 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 2와 그림 3은 프리앰블 개수에 따른 성공률과 평균지연시간이다. 표준 문서의 프리앰블 개수인 54 개를 기준으로 프리앰블 개수가 각각 30, 54, 80, 100 개일 경우 단말 수에 따른 영향을 확인했다. 성공률의 경우, 단말의 수가 10,000일 때 모든 경우에서 RA에 거의 성공하는 것을 확인할 수 있다. 단말의 수가 30,000개 이상일 경우부터는 프리앰블의 수가 증가할수록 성공률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 단말수가 100,000개로 증가하면 프리앰블 수를 100개

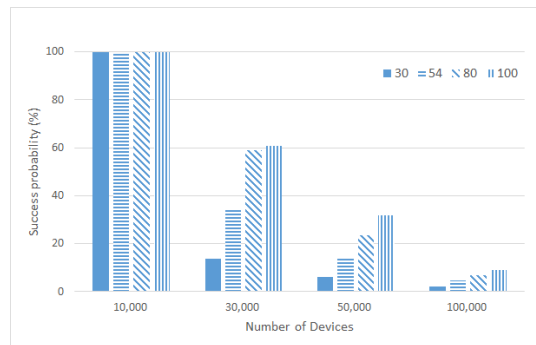


그림 2. 프리앰블 수 변화에 따른 RA 성공률  
Fig. 2. Success probability according to total number of preambles

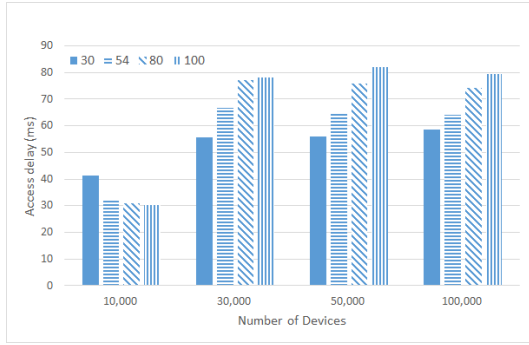


그림 3. 프리앰블 수 변화에 따른 RA 평균 지연 시간  
Fig 3. Average access delay according to total number of preambles

로 증가시켜도 성공률이 10%이하인 것을 확인할 수 있다. 단말의 수가 30,000개 일 때, 프리앰블 수가 증가해도 성공률이 60%정도로 한계가 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 subframe 당 전송할 수 있는 common PDCCH의 자원이 한정되어, 기지국이 단위 시간 당 응답 가능한 프리앰블 수의 한계가 있기 때문이다. 평균 전송 지연시간의 경우, 프리앰블의 수가 증가할수록 평균 지연시간도 증가한다. 프리앰블의 수가 증가하면 단말의 프리앰블 평균 전송횟수가 증가하기 때문에, 이에 비례하여 평균 지연시간도 증가한다.

그림 4와 그림 5는 최대전송횟수에 따른 성공률과 평균 지연시간이다. 표준문서의 최대 전송 횟수인 10 회를 기준으로 각각 5, 10, 20, 50회일 경우 단말의 수에 따른 영향을 확인하였다. 성공률의 경우, 단말의 수가 10,000개일 때 모든 경우에서 RA 성공률이 100%이지만, 그 이상의 단말의 수에서는 최대 전송 횟수가 증가할수록 성공률은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 프리앰블 최대 전송 횟수가 증가하면 프리앰

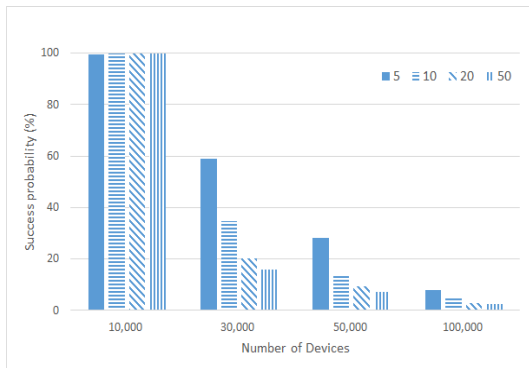


그림 4. 프리앰블 최대 전송 횟수 변화에 따른 RA 성공률  
Fig. 4. Success probability according to maximum number of preamble transmission

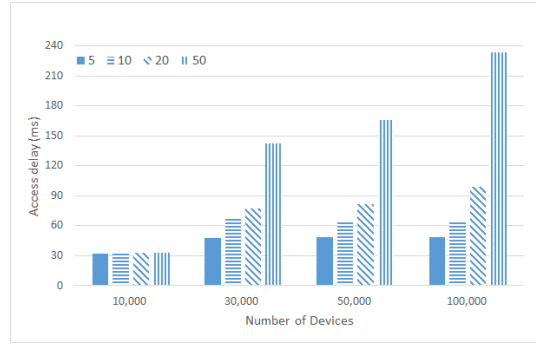


그림 5. 프리앰블 최대 전송 횟수 변화에 따른 RA 평균 지연시간  
Fig. 5. Average access delay according to maximum number of preamble transmission

블의 재전송 기회가 늘어나지만, 한 채널에서 경쟁하는 단말의 수도 증가하고, 동일 프리앰블을 선택할 확률이 증가한다. 따라서 전체적인 충돌률이 증가하여 성공률은 오히려 감소하게 된다. 평균 지연 시간의 경우, 단말의 수가 10,000개일 때는 최대 전송 횟수의 영향을 거의 받지 않지만, 30,000이상인 경우부터는 최대 전송 횟수가 증가할수록 평균 지연시간이 증가한다. 이는 최대 전송 횟수가 증가하면 프리앰블을 재전송하는 기회가 증가하여 단말의 프리앰블 평균 전송 횟수가 증가하기 때문에, 이에 비례하여 평균 지연 시간은 증가하게 된다.

그림 6과 그림 7은 backoff indicator에 따른 성공률과 평균 지연시간이다. 표준문서의 backoff indicator인 20ms를 기준으로 10, 20, 40, 80ms 일 경우 단말의 수에 따른 영향을 확인하였다. 성공률의 경우, 단말의 수가 10,000개일 때 모든 경우에서 RA 성공률이 100%이고, 그 이상의 단말의 수에서는 backoff indicator가 증가할수록 성공률이 조금씩 증가하지만 큰 차이는 볼 수 없다. 평균 지연 시간의 경

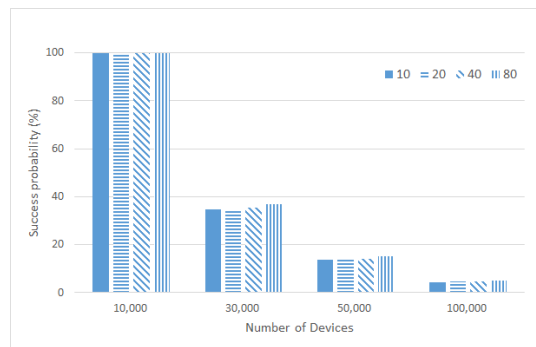


그림 6. Backoff indicator 변화에 따른 RA 성공률  
Fig. 6. Success probability according to backoff indicator

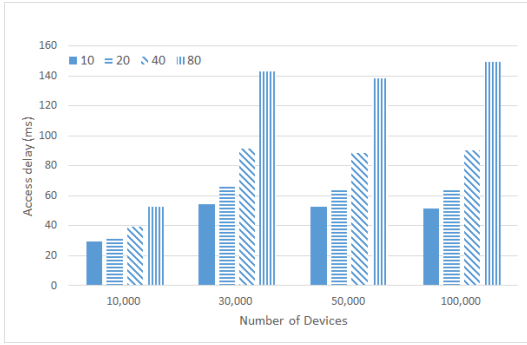


그림 7. Backoff indicator 변화에 따른 RA 평균 지연시간  
Fig. 7. Average access delay according to backoff indicator

우, 모든 단말의 수 경우에서 backoff indicator가 증가할수록 지연시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. backoff indicator는 충돌한 프리앰블에 대하여 재전송 시 다시 충돌하는 것을 줄이고자 재전송할 때까지 기다리는 최대 시간을 지정하여 분산시키는 역할을 한다. 하지만 짧은 시간에 많은 디바이스가 집중되는 상황에서는 혼잡상황에서 비 혼잡상황으로 분산되는 경우와 비 혼잡상황에서 혼잡상황으로 분산되는 경우의 분포가 비슷하여 충돌률을 크게 줄이지 못한다. Backoff indicator가 증가할수록 성공률 증가율에 비해 전송 지연 시간의 손해가 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 8과 그림 9는 msg2 window 사이즈에 따른 성공률과 평균 지연시간이다. 표준문서의 msg2 window 사이즈인 5ms를 기준으로 5, 10, 20, 40ms일 경우 단말의 수에 따른 영향을 확인하였다. 성공률의 경우, 단말수가 10,000개일 때는 모든 경우에서 RA 성공률이 100%이고, 그 이상의 단말 수에서는 window 사이즈가 증가할수록 성공률이 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있다. Msg2 window 사이즈가

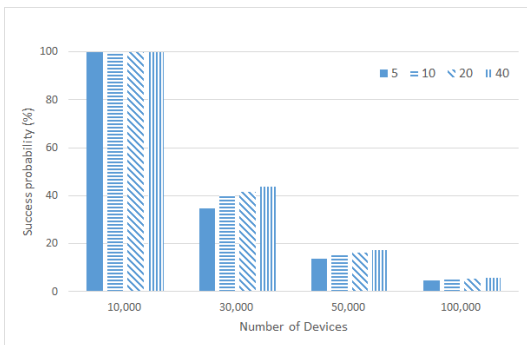


그림 8. Msg2 window 사이즈 변화에 따른 RA 성공률  
Fig. 8. Success probability according to msg2 window size

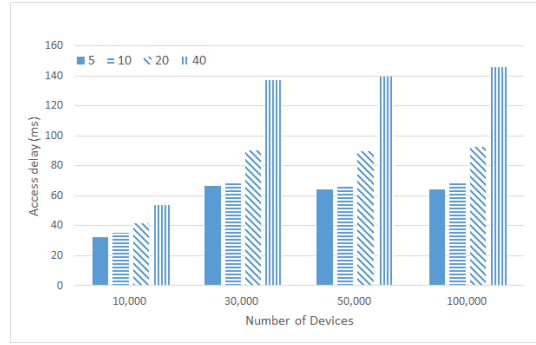


그림 9. Msg2 window 사이즈 변화에 따른 RA 평균 지연 시간  
Fig. 9. Average access delay according to msg2 window size

증가하면 프리앰블 수집 후 응답으로 송신할 수 있는 msg2의 수가 증가하기 때문에 PDCCH 자원 부족으로 인한 재전송이 줄고, 이는 충돌률을 감소시킬 수 있다. 그러나 프리앰블의 수가 한정되어있기 때문에 증가 폭에는 한계가 있다. 평균 지연 시간의 경우, window 사이즈가 증가할수록 단말이 프리앰블 송신 후 대기하는 시간이 길어지기 때문에 지연 시간은 증가한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 다수의 디바이스 환경에서 성능 평가가 가능한 시뮬레이터를 이용하여, 프리앰블 개수, 프리앰블 최대 전송 횟수, backoff indicator, msg2 window 사이즈가 RA에 끼치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 프리앰블의 개수가 증가하면 성공률과 지연 시간 모두 향상된 성능을 보이지만 common PDCCH 자원이 한정되어있어, 성공률의 증가에도 한계가 있는 것을 확인하였다. 프리앰블 최대 전송 횟수를 증가시키면, 프리앰블의 재전송 기회는 증가하지만 단말이 동일한 프리앰블을 선택할 경우도 증가하기 때문에 오히려 충돌률이 증가하는 것을 확인하였다. Backoff indicator와 msg2 window 사이즈를 증가시키면, 성공률이 조금씩 증가하지만, 성공률 증가율에 비해 평균 지연시간의 손해가 더 큰 것을 확인했다. 전체적으로 단말의 수가 100,000개일 때 성공률이 10%이하로 감소하는 것을 확인했다. LTE-A 시스템의 틀을 유지하면서 성공률을 늘이기 위해서는 프리앰블 수와 같은 RA opportunity 증가와 msg2 window size의 크기 증가, PDCCH의 수 증가 등이 필요하다.

향후 이동통신기술은 기존의 인프라 중심의 네트워크

킹 기술에서 사용자 중심의 네트워킹을 실현하는 방향으로 발전할 것으로 예상된다. 또한 스마트폰과 태블릿 등 인터넷 기기들의 증가와 함께 모바일 트래픽의 급격한 증가가 예상된다. 본 연구결과를 활용하여 증가하는 모바일 데이터와 단말들을 네트워크에서 수용하기 위한 주파수 자원의 확장, 주파수 효율 향상 등의 새로운 기법을 적용할 수 있다. 또한, 셀 당 100,000개까지 수용할 수 있는 시뮬레이터를 개발함으로써, 새로운 기술 및 다양한 알고리즘을 적용할 수 있는 틀을 마련하였다. 본 연구의 결과는 5G 네트워크에서 요구하는 목표중 하나인 현재 대비 1,000배 이상의 단말 수를 수용 가능한 환경을 구성하고, 5G 네트워크로의 전환 및 IoT의 활성화에 기여할 수 있을 것이다.

### References

[1] Cisco, *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014 - 2019 White Paper*, 2014.

[2] Recommendation ITU-R M.2083-0, *IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*, 2015.

[3] J. O. Hwang and S. G. Lee, "Study on the 3GPP international standard for M2M communication networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 6, pp. 1040-1047, 2015.

[4] 3GPP TR 37.868, *RAN Improvements for Machine-type Communications*.

[5] X. Jian, X. Zeng, Y. Jia, L. Zhang, and Y. He, "Beta/M/1 model for machine type communication," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 3, pp. 584-587, Mar. 2013.

[6] O. Arouk, "General model for RACH procedure performance analysis," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 2, Feb. 2016.

[7] A. Laya, "Massive access in the random access channel of LTE for M2M communications: An energy perspective," *IEEE ICC 2015*, pp. 1452-1457, Jun. 2015.

[8] K. K. Jun, "Maximum delay-aware admission control for machine-to-machine communications in LTE-Advanced systems," *J. KICS*, vol. 37B, no. 12, pp. 1113-1118, 2012.

[9] S. S. Yoo, S. H. Lee, J. S. Shin, S. M. Oh, and J. H. Kim, "Performance analysis of LTE random access for Massive-Device deployment in 5G networks," in *Proc. KICS Winter Conf.*, Jeju Island, Korea, Jan. 2016.

[10] 3GPP TR 36.912, *Further Advancements for E-UTRA*.

유 승 수 (Seung-Su Yoo)



2015년 : 아주대학교 전자공학과 졸업  
 2015년~현재 : 아주대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 5G 통신 시스템, LTE/LTE-A, 소형셀 등

이 성 형 (Sung-Hyung Lee)



2007년 : 아주대학교 전자공학과 졸업  
 2009년 : 아주대학교 전자공학과 석사  
 2009년~현재 : 아주대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 5G 통신 시스템, LTE/LTE-A, 소형셀, 네트워크 설계 및 관리, MAC 프로토콜 등

신 재 승 (Jaesheung Shin)



2007년 : Pennsylvania state University 공학박사  
 1993년~현재 : 한국전자통신연구원 무선전송연구부 실장  
 <관심분야> 5G 이동통신 시스템, 이동통신 프로토콜, 단말간 직접 통신 시스템, 소형셀, resource scheduling



오 성 민 (Sung-Min Oh)



2004년: 아주대학교 공학부  
2006년: 아주대학교 공학석사  
2011년: 아주대학교 공학박사  
2011년~현재: 한국전자통신연  
구원 무선전송연구부 선임연  
구원  
<관심분야> 5G 이동통신 시스  
템, 이동통신 프로토콜등

김 재 현 (Jae-Hyum Kim)



1987년~1996년: 한양대학교 전  
산과 학사 및 석/박사 졸업  
1997년~1998년: 미국 UCLA  
전기전자과 박사 후 연수  
1998년~2003년: Bell Labs,  
NJ, USA, 연구원  
2003년~현재: 아주대학교 전자  
공학부 교수  
<관심분야> QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE  
802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 전술네트워  
크, 위성시스템 등