

# NB-IoT 시스템에서 가변 프리앰블을 이용한 그룹 랜덤 액세스

김남선\*

## Group-based Random Access Using Variable Preamble in NB-IoT System

Nam-Sun Kim\*

**요약** 본 연구에서는 NB-IoT 환경에서 한 셀에 H2H 단말과 대규모의 M2M 단말이 공존하는 경우, 단말들을 그룹화하여 그룹 연결과 전달을 하는 그룹 기반 랜덤 액세스 방법을 고려했다. H2H 단말들은 개별 랜덤 액세스를 하지만 M2M 단말들은 NPRACH 전송주기에 따라 그룹화 하고, 각 그룹의 리더가 그룹 기반 랜덤 액세스를 수행한다. 비 결합 할당 방식(DA)으로 프리앰블을 할당하는데, H2H 단말의 처리량을 최대로 하는 프리앰블을 우선적으로 H2H 단말에 할당해 주고, 나머지를 M2M 단말에 할당해 주는 가변 프리앰블 할당 알고리즘을 제시하였다. H2H와 M2M 단말들의 접속 분포는 각각 포아송 분포와 베타 분포로 설정하여, 처리량, 충돌확률 그리고 자원 사용률로 분석한다. 랜덤 액세스 전송 슬롯이 반복됨에 따라 제안된 프리앰블 할당 알고리즘은 M2M 그룹 수가 150인 경우, 충돌확률을 0.93에서 0.83 그리고 0.79 로 감소함을 알 수 있었으며, 자원의 사용률이 33.7[%], 44.9[%], 48.6[%]로 증가의 폭이 줄어드는 것을 알 수 있었다.

**Abstract** In this study, we consider a group-based random access method for group connection and delivery by grouping devices when H2H devices and large-scale M2M devices coexist in a cell in NB-IoT environment. H2H devices perform individual random access, but M2M devices are grouped according to a NPRACH transmission period, and a leader of each group performs random access. The preamble is allocated using the variable preamble allocation algorithm of the Disjoint Allocation(DA) method. The proposed preamble allocation algorithm is an algorithm that preferentially allocates preambles that maximizes throughput of H2H to H2H devices and allocates the rest to M2M devices. The access distribution of H2H and M2M devices was set as Poisson distribution and Beta distribution, respectively, and throughput, collision probability and resource utilization were analyzed. As the random access transmission slot is repeated, the proposed preamble allocation algorithm decreases the collision probability from 0.93 to 0.83 and 0.79 when the number M2M device groups are 150. In addition, it was found that the amount of increase decreased to 33.7[%], 44.9[%], and 48.6[%] of resource used.

**Key Words** : Collision Probability, Disjoint Allocation, MTC, NB-IoT, Random Access

### 1. 서론

3GPP의 MTC(Machine Type Communication)를 위한 표준인 협대역 사물인터넷(NB-IoT)은 대역폭이 작아 전송 속도는 낮지만 넓은 커버리지를 수용할 수 있고, 적은 전력으로 많은 단말들로

부터 정보 데이터를 수집할 수 있는 기술이다. NB-IoT는 광역화(LPWA, Low Power Wide Area)가 가능하고 낮은 복잡성으로 인해 산발적이고 작은 데이터를 갖는 제어 장비, 센서 및 미터와 같은 서비스에 알맞게 설계되었다[1]. NB-IoT는 많은 M2M(Machine to Machine) 단말을 지원할 수 있

\* Corresponding Author : Division of Electrical & Electronic Engineering, Daejin University (kimns@daejin.ac.kr)  
 Received October 05, 2020      Revised October 12, 2020      Accepted October 14, 2020

지만 향후 단말의 수가 급격하게 증가함에 따라, 기존 H2H(Human to Human) 단말들을 위해 설계된 LTE-A 네트워크에 부정적인 영향을 줄 것이다. NB-IoT 네트워크에서 H2H와 M2M 단말들이 공존하는 경우 M2M 단말의 증가에 따른 H2H 트래픽 감소, NPRACH 전송에 따른 충돌 횟수 증가, 랜덤 액세스(RA, Random Access) 접속 지연 및 오버헤드의 증가 등의 문제점들이 있으며 이를 해결하기 위한 노력이 필요하다[2].

각 단말들이 초기에 기지국과 접속하여 상향 데이터 전송을 위해 랜덤 액세스 절차를 사용하는데, 랜덤 액세스 절차는 제어 채널과 데이터 채널의 연결 설정을 완료하는 과정을 통해 RRC IDLE 모드를 RRC CONNECTED 모드로 전환한다[3]. NB-IoT에서 경쟁기반 랜덤 액세스 절차는 단말들이 NPRACH(NB-IoT Physical Random Access Channel)로 64 개의 랜덤 액세스 프리앰블(preamble) 중 하나의 프리앰블을 선택하여 기지국에 랜덤 액세스 요청하고 충돌이 발생하지 않으면 접속에 성공한다. 랜덤 액세스 요청하는 단말의 수가 많아짐으로서, 다수의 단말들이 동일한 프리앰블을 사용하여 랜덤 액세스를 시도하는 경우 충돌이 발생하는데, 충돌한 단말들 중에서 최대 재전송 수를 넘지 않은 기기들만 다음 약속된 NPRACH 시간에 재전송을 시도한다. 여기서 NPRACH 전송 주기는 랜덤 액세스의 성공률, 전송지연 시간, 채널 사용률 등에 영향을 미치는 요소이며 최소 40ms에서 최대 2560ms까지 8단계로 정의되어 있다[4][5].

대규모의 단말들이 임의의 시간에서 동시에 랜덤 액세스를 통해 동시 접속을 수행 한다면 접속 과부하(overload)로 인한 충돌과 혼잡성 등으로 시스템 성능을 감소시키는 원인이 될 것이다. 다양한 방법을 통해 이런 문제점을 완화하고 데이터를 효율적으로 전송하고자 하는 연구가 진행되었다. 문헌 [6]에서는 동일한 그룹에 속한 노드가 동시에 랜덤 액세스를 시도하는 연구를 하였지만 하나의 그룹으로 제한되었고, 문헌 [7], [8]에서도 단말들을 그룹화 하여 시그널링을 줄이기 위한 방안을 제시하였다.

본 연구에서는 한 셀에 H2H와 M2M 단말이 공

존하는 시스템을 고려한다. H2H 단말들과 달리, 대규모의 M2M 단말들은 NPRACH 전송주기가 같은 단말들로 그룹화 한다. 그러므로 모든 M2M 단말들이 아닌 각 그룹을 대표하는 그룹 리더가 랜덤 액세스를 시도하고 그룹 멤버들은 그 정보를 공유함으로써 랜덤 액세스로 인한 접속 과부하를 줄일 수 있을 것이다. NPRACH 프리앰블 자원들은 H2H와 M2M 단말들 각각을 위해 두 집합으로 분류하는 비 결합 할당방식(DA, Disjoint Allocation)을 이용한다. 각 랜덤 액세스 타임 슬롯(RA-TS)에서 최적의 프리앰블을 가변적으로 할당하기 위해서, H2H의 처리량(throughput)이 최대가 되는 프리앰블을 구해서 우선적으로 H2H 단말을 위해 할당하고, 나머지를 M2M 단말에게 할당 하는 것으로 한다. 여기서 M2M의 접속 분포는 베타 분포로 설정하였으며, H2H 단말의 도착 분포는 포아송 분포로 가정하여, 충돌확률과 자원 사용률 측면으로 분석한다.

## 2. 그룹 페이징과 그룹 랜덤 액세스

NB-IoT에서 H2H 단말들은 기존의 LTE의 랜덤 액세스 방법을 통해 기지국(eNB)에 접속하는데, 이것은 NB-IoT는 독립적인 표준이지만 기존의 LTE의 랜덤 액세스 방법을 사용할 수 있기 때문이다. [그림 1]의 'RA Procedure' 부분은 기존의 랜덤 액세스를 표시하는데, NB-IoT 상향링크에서 기지국은 휴지 상태(RRC IDLE Mode)의 H2H 단말들에게 시스템 정보 블록(SIB)을 통해 페이징(paging) 정보 및 랜덤 액세스 채널에 필요한 매개변수들을 전송한다. 휴지 상태의 H2H 단말들이 총 4가지의 메시지를 주고받는 과정을 통해 기지국과의 연결을 설정하기 위한 RRC CONNECTED Mode 상태로 전환한다. 이것은 단말 측에서 NPRACH를 통한 프리앰블 전송 단계, 랜덤 액세스 응답 (RAR, Random Access Response) 수신 단계, RRC Connection Request 전송 단계, 경쟁 해결 (Contention Resolution) 단계를 말한다. NB-IoT 상향링크에서 랜덤 액세스 절차는 단말이 임의의 RA-TS에서 NPRACH로 랜덤 액세스 프리앰블을 전송하면서 시작되며, 프리앰블

전송을 성공한 단말은 NPUSCH를 통해 데이터를 전송하게 된다.

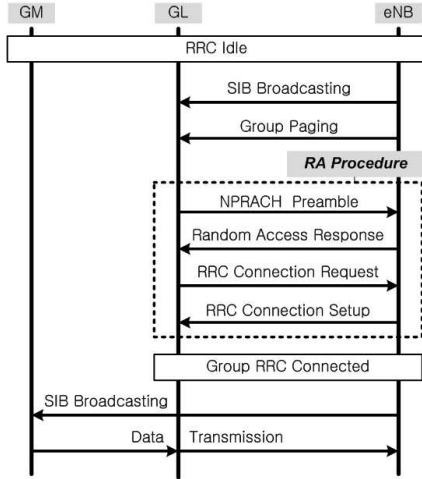


그림 1. 그룹 RA 절차  
Fig. 1. Group RA procedure

반면 전송 주기로 그룹화된 M2M 단말들은 [그림 1]의 그룹기반 랜덤 액세스 절차를 수행한다[7][8]. 모든 그룹 멤버(GM)들이 아닌 그룹화를 통해 선출되어 그 그룹을 대표하는 그룹리더(GL)가 해당 RA-TS에서 기지국과의 접속을 시도하게 된다. 동일 그룹의 모든 단말은 동일한 ID를 가지므로 그룹 리더는 그룹 내 그룹 멤버들에 대한 정보를 모두 알고 있다고 한다. 만약 그룹이 RRC IDLE Mode라면, 기지국은 그 상태를 알리기 위해 그룹 리더에게 그룹 페이징 등의 정보를 SIB를 통해 전송한다. 그룹 리더(GL)가 그룹 RRC 연결 절차 과정을 위해 기지국에 접속하여 랜덤 액세스 절차를 수행한다. 그룹 RRC 연결 설정 완료 후, 기지국은 SIB 내용을 수정하고, 페이징 메시지를 통해 RRC의 연결 상태에 대해 그룹 멤버에게 공지한다. 이로서 접속을 시도하는 그룹 멤버들은 그룹 RRC 통신과 그룹 데이터 전송에 필요한 그룹 RRC 정보들을 수신한다. 그룹 연결과 전송이 활성화되고 있다면 연결과 전송을 위한 더 이상의 설정 신호 교환은 없다.

### 3. 기존 랜덤 액세스 시스템의 충돌확률

기존의 많은 연구를 통해서  $K$ 개의 단말들이 존재하는 경우의 성공확률, 유희확률 및 충돌확률이 분석되었다[4][6][8]. 임의의 RA-TS에서 단말들이 프리앰블을 이용하여 랜덤 액세스를 시도하는 경우, 특성이 다른 단말들이 NPRACH에 액세스하는 단말 분포를 포아송 분포(Poisson Distribution)와 베타 분포(Beta Distribution)로 모델화 할 수 있다[9].

각 NPRACH에 접속하는 단말들의 접속 분포는 포아송 분포를 따른다고 하면, 임의의 RA-TS,  $t_i$ 에서 하나의 프리앰블에  $k(0 \leq k \leq K)$  단말이 접속할 확률은 식 (1)과 같다.

$$p(k_1) = \frac{(\lambda/N)^{k_1}}{k_1!} \exp\left(-\frac{\lambda}{N}\right) \quad (1)$$

여기서  $N$ 은 프리앰블의 개수를 나타내며,  $\lambda$ 는 랜덤 액세스 시도에 따른 평균 도착률(average arrival rate)이다. 식 (1)에서  $k=0$ ,  $k=1$ 인 경우로 하여 각 RS-TS에서 단말들의 유희확률( $p_i$ )과 성공확률( $p_s$ )을 각각 구하고 이것을 이용하여 충돌확률을 구할 수 있다[10].

$$\begin{aligned} p_c(\lambda) &= 1 - p_i - p_s \\ &= 1 - \exp\left(-\frac{\lambda}{N}\right) - \frac{\lambda}{N} \exp\left(-\frac{\lambda}{N}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

또한 NPRACH에 접속하는 단말의 접속 분포가 베타 분포를 따른다고 하며, 각 RA-TS에서  $N$ 개의 프리앰블이 있고 단말들이 동일한 확률( $1/N$ )로 프리앰블을 선택할 수 있다고 가정한다. 전체  $K$ 개의 단말 중  $k$  단말이 하나의 프리앰블을 선택할 확률은 식 (3)과 같다.

$$p(k) = \binom{K}{k} \left(\frac{1}{N}\right)^k \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{(K-k)} \quad (3)$$

식 (3)에서  $k=0$ ,  $k=1$ 인 경우로 유희확률( $p_i$ )과 성공확률( $p_s$ )을 각각 구하고 이것을 이용하여 충돌확률을 구할 수 있다.

$$p_c(k) = 1 - p_i - p_s$$

$$= 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^K - \frac{K}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{(K-1)} \quad (4)$$

충돌이 발생하는 경우, 기지국은 RAR 메시지를 보내지 않고 기기들은 다음 지정된 RA-TS에서 프리앰블을 재전송한다. 단말은 전체  $N$  개의 프리앰블 중 하나를 랜덤하게 선택하여 최대  $R$  번 반복 전송하는데, 단말이  $r$  ( $1 \leq r \leq R$ ) 번 충돌 후 성공적으로 접속할 확률은  $(P_c)^r (1 - P_c)$ 로 계산된다[3][4].

#### 4. 가변 프리앰블 할당 알고리즘

한 셀에  $K_H$ 개의 H2H 단말과  $K_M$ 개의 M2M 단말이 동시에 존재하고 있다. H2H 단말들은 개별적으로 임의접속을 하지만, M2M 단말들은 전송주기가 같은 단말들이 그룹화 되어 그룹단위로 기지국과의 접속을 수행한다[7][8]. 향후 많은 단말들이 동시에 집중되는 상황이 예상되는 M2M 단말들의 접속 분포는 베타 분포로 설정하였으며, H2H 단말의 접속 분포는 포아송 분포로 가정하여 분석한다. 랜덤 액세스를 위해 기지국이 NPRACH를 할당하고 H2H와 M2M이 NPRACH 프리앰블 자원을 공유할 때, 이들은 동일한 충돌확률을 얻으므로, 프리앰블을 각각 분할하거나, H2H와 M2M의 RA-TS를 다르게 할당하는 것이 필요하다[9].

본 연구에서는, 분리할당(DA, Disjoint Allocation)방식을 사용하며 이용 가능한 NPRACH 프리앰블 자원들을 H2H와 M2M의 두 부분으로 분류하는 것을 기반으로 한다. 경쟁기반 랜덤 액세스에서 프리앰블의 개수가 총  $N$ 인 경우,  $N_H$ 개의 랜덤 액세스 프리앰블은 H2H 단말을 위해 독점적으로 할당되고, 나머지  $N - N_H$ 개의 프리앰블은 M2M 단말에게 할당하는 것으로 한다. 기존 분리할당 방식에서는 H2H와 M2M 단말들을 위해 프리앰블을 두 부분으로 구분하여 매 RA-TS에서 각각 고정적으로 할당하지만 본 연구에서는 할당하는 프리앰블을 가변시키고자 한다[10]. 또한 랜덤 액세스에서 처리량(throughput)은 임의의 NPRACH RA-TS에서 랜덤

액세스에 성공한 단말, 즉 한 개의 단말이 한 개의 프리앰블을 선택한 평균 프리앰블의 수를 의미한다. H2H 단말의 처리량과 충돌확률은 각각 식 (5)와 식 (6)과 같으며, DA 방식을 적용한 M2M 단말의 처리량과 충돌확률은 각각 식 (7)과 식 (8)과 같다.

$$TH^{H2H} = \left(\frac{K_H}{I_{at}}\right) \exp\left(-\frac{K_H}{(I_{at} \cdot N_H)}\right) \quad (5)$$

$$p_c^{H2H} = 1 - \exp\left(-\frac{K_H}{(I_{at} \cdot N_H)}\right) - \left(\frac{K_H}{I_{at}}\right) \exp\left(-\frac{K_H}{(I_{at} \cdot N_H)}\right) \quad (6)$$

$$TH^{M2M} = K_M \left(1 - \frac{1}{N - N_H}\right)^{K_M - 1} \quad (7)$$

$$p_c^{M2M} = 1 - \left(1 - \frac{1}{(N - N_H)}\right)^{K_M} - \frac{K_M}{(N - N_H)} \left(1 - \frac{1}{(N - N_H)}\right)^{(K_M - 1)} \quad (8)$$

여기서  $I_{at}$ 는 랜덤 액세스 도착간격(inter-arrival time)이다. 식 (5)와 (7)을 통해 H2H 단말의 처리량은  $K_H = N_H \times I_{at}$ 일 때 최댓값을 가지며, M2M 단말은  $K_M = -1/\ln(1 - 1/(N - N_H))$ 일 때 최댓값을 갖는다. 본 연구 제안한 가변 프리앰블 할당 알고리즘의 순서도를 [그림 2]에 표시하였다. 초기의 프리앰블을 설정하기 위해, 동일한 프리앰블과 동일한 사용자수가 주어진 동일한 환경에서 구한 처리량을 구하고, 전체 할당한 프리앰블에서 H2H의 처리량이 최대가 되는 프리앰블을 H2H 단말에 할당하고 나머지는 H2H 단말을 위한 프리앰블로 할당하는 것으로 하였다. 랜덤 액세스에 성공한 단말들을 제외시키고 처리량을 계산하여 처리량이 최대가 되는 프리앰블을 계산하여 마찬가지로 방법으로 할당한다. 그 다음의 약속된 NPRACH 전송 슬롯에서 재전송이 필요한 단말에도 마찬가지로 H2H 처리량을 근거로 프리앰블을 재할당 하였다.

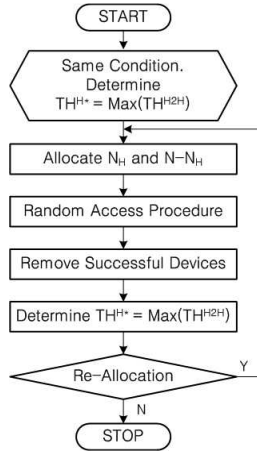


그림 2. 가변 프리앰블 할당 알고리즘  
Fig. 2. Variable preamble allocation algorithm

### 5. 성능 분석

한 셀에 H2H 단말과 대규모의 M2M 단말이 동시에 존재한다고 하며, M2M 단말들은 NPRACH 전송주기에 따라 그룹화 되어 있다. 최소 40ms에서 최대 2560ms까지 8단계로 정의되어 있는 NPRACH 전송주기에 따라 최대 재전송 횟수(M)가 결정되지만 본 연구에서는 M=3인 경우를 고려한다. 이 경우 연속된 NPRACH 전송시간을  $t_i, t_{i+1}, t_{i+2}$ 라 한다. 총 64개의 프리앰블 중에서 비경쟁 기반 랜덤 액세스 자원을 제외한 54개의 프리앰블을 경쟁 기반 랜덤 액세스에 사용하는 것으로 한다. 시뮬레이션을 위한 파라미터는 [표 1]과 같다.

표 1. 시뮬레이션 변수 및 값  
Table 1. Simulation parameter and value

변수	값
Number of H2H devices	500
Number of M2M devices	30000
Number of M2M groups ( $K_g$ )	300
Number of preambles (N)	54, 64
$I_{at}$	5 min
M	3

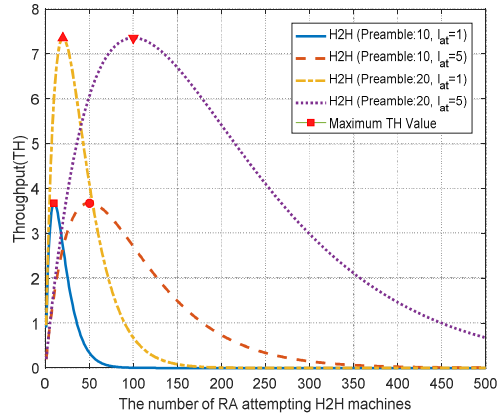


그림 3. H2H 단말들의 처리량  
Fig. 3. Throughput of H2H devices

[그림 3]은 H2H 단말에 대해, 프리앰블의 수와  $I_{at}$ 가 처리량에 미치는 영향을 분석하였다. 여기서  $I_{at}$ 는 1[min] 또는 5[min]으로 설정하였으며 [7] 식 (5)를 통해 H2H 단말의 처리량은  $K_H = N_H \times I_{at}$ 일 때 최대값을 갖는다. 최대값을 초과할 경우 성공 프리앰블 수가 감소하므로 최대값을 초과하는 영역은 고려하지 않는 것으로 한다.  $I_{at}$ 는 주어진 처리량을 만족하는 H2H 단말들의 수를 결정하고 있다. 식 (5)과 식 (7)에서 보듯이 랜덤 액세스를 위해 사용할 수 있는 프리앰블이 많을수록 처리량이 좋아짐을 알 수 있다. 또한 프리앰블이 같은 경우 랜덤 액세스 시간간격이 클수록 주어진 처리량을 만족하기 위해 시도하는 단말의 수가 적어짐을 알 수 있다.

[그림 4]는 약속된 NPRACH 시간 슬롯에서 [표 1]의 파라미터를 가지고 [그림 2]의 프리앰블 할당 알고리즘으로 할당된 프리앰블을 이용하여 분석한 충돌확률을 표시하였다. [표 2]의 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 임의의 RA-TS인  $t_i$ 에서 동일한 조건 ( $K_H = K_M = 300$ 과  $N_H = N_M = 54$ (또는 64))으로 제안된 알고리즘에 따라, H2H 단말들에게  $N_H = 19$ 개의 프리앰블이 할당 되었으며, M2M 단말에게는  $N - N_H$ 의 프리앰블 자원이 할당되어 랜덤 액세스를 수행한다는 것을 보여주고 있다. 다음 약속된 RA-TS에서도 프리앰블 할당 알고리즘을 통해  $N_H = 16$ 개의 프리앰블이 할당되었음을 보여주고 있

다. 그러나 문헌 [10]의 기존 시스템에서는 H2H와 M2M 단말들에게 가변되지 않은 고정된 프리앰블이 각 RA-TA에서도 할당되는 것이므로, 분석 결과를 비교하기 위하여  $N_H = 19$ 로 같게 놓은 것이다. 이것은 제안된 시스템은 전송 횟수가 커질수록 더 낮은 충돌확률을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

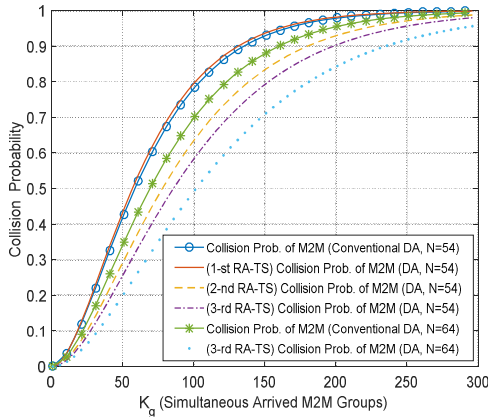


그림 4. M2M 그룹들의 충돌확률  
Fig. 4. Collision probability of M2M groups

표 2. 프리앰블에 따른 충돌확률  
Table 2. Collision probability according to preamble

$N$	시스템	$N_H$	충돌 확률 ( $K_q = 150$ )	
54	기존 시스템	19	0.9307	
	제안 시스템	$t_i$	19	0.9361
		$t_{i+1}$	16	0.8335
		$t_{i+2}$	15	0.7920
64	기존 시스템	23	0.8792	
	제안 시스템	$t_i$	23	0.8876
		$t_{i+1}$	18	0.7561
		$t_{i+2}$	14	0.7083

[그림 5]는 제안된 시스템을 자원 사용률 측면에서 분석하였다[11]. 제안된 시스템이 기존 시스템에 비해 낮은 자원 사용률을 보이고 있으며, 제안된 시스템에서 동시에 도착하는 M2M 그룹이 150 정도

까지는 자원의 사용률이 급격히 증가하고 있지만, 그 이후는 큰 변화가 없음을 알 수 있다.  $K_q = 150$ 인 경우  $M$ 이 증가함에 따라 각각 33.7%, 44.9%, 48.6%로 자원 사용률증가의 폭이 줄어드는 것을 알 수 있다.

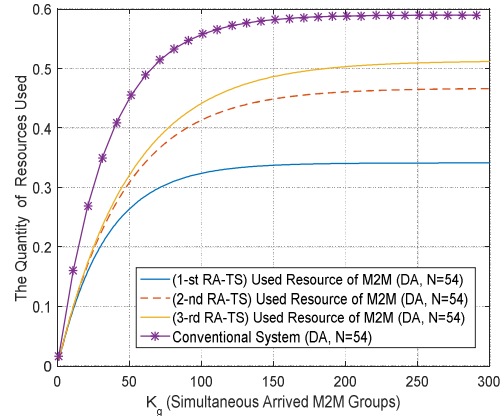


그림 5. M2M 그룹들의 자원 사용률  
Fig. 5. The amount of resources of M2M groups

### 6. 결 론

본 연구에서는 한 셀에 H2H와 M2M 단말이 공존하는 경우, M2M 단말들을 그룹화하여 그룹 연결과 전달을 하는 그룹 기반 랜덤 액세스 방법을 제안하였다. 그룹화된 멤버 중에서 선출된 그룹 리더가 가장 먼저 접속을 하면 나머지 그룹 멤버들의 접속은 이전에 설정된 그룹 연결과 전송을 이용한다. 그러므로 액세스를 시도하는 M2M 단말의 수를 그룹 기반으로 줄여서 시간상 제어함으로써 랜덤 액세스 접속 지연 및 오버헤드의 증가의 문제점을 해결할 수 있다.

사용 가능한 NPRACH 프리앰블 자원들을 H2H와 M2M 단말들 각각을 위해 두 그룹으로 분류하는 비 결합 할당방식(DA)을 이용하였다. H2H 단말의 처리량을 최대로 하는 프리앰블을 우선적으로 H2H 단말에 할당해 주고, 나머지를 M2M 단말에 할당해주는 알고리즘을 제안했다. 프리앰블 할당 알고리즘에 의한 충돌확률을 분석해 본 결과 충돌확률이 현저히 감소됨을 알 수 있었으며, 자원의 사용률의 증

가가 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이것은 단말들의 경쟁으로 인한 충돌을 줄이는 것은 시스템을 안정적으로 운영할 수 있는 이점이 될 것이다.

### REFERENCES

[1] "Connection' is power. New Narrowband Internet of Things Era," ETRI Webzine Vol. 80, 2017

[2] K. Junghyun, J. Soonbae, and Y. Cheolwoo, "Efficient Congestion Control Technique of Random Access and Grouping for M2M according to User Type on 3GPP LTE-A systems," Journal of IEIE, Vol.52, No.3, March 2015

[3] C. Eunmi and B. Chul Jung, "Analysis of Radio Resource Utilization for a Massive M2M Communication in LTE Systems," The Journal of KICS, Vol. 42 No. 3, pp. 562-565, 2017

[4] J. Soyi, K. Jinki, C. Hyerim, and K. Jaehyun, "Random Access Resource Allocation Algorithm using Unmanned Vehicle in massive Machine Type Communications," in Proc. KICS, Vol. 68, No. 1, pp. 494~495, 2019

[5] "Radio Resource Control (RRC) protocol specification (Release 13)," 3GPP TS 36.331, Vol. 13, June, 2016.

[6] H. Seungjang and B. Chuljung, "Dynamic Group Paging Mechanism for Massive IoT Networks," in Proc. KICS, Jan. 2018

[7] L. Byunghyun, M. Seokjae, and L. Jangwon, "Group-based access for Signaling overhead reduction of IoT devices," in Proc. JCCI, 2018

[8] J. Younghwan, Group-based communications for scalable machine-to-machine communications in LTE-advanced networks, Ph. D. Dissertation, Korea University, June 2016.

[9] 3GPP TR 37.868, "3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Radio Access Network: Study on RAN Improvements for Machine Type Communications: MAC layer; Measurements(Release 11)," 2012.

[10] A. Pourmoghadass and P. G. Poonacha, "Performance analysis of a machine-to-machine

friendly MAC algorithm in LTE-advanced," 2014 Int. Conf. on ICACCI, pp. 99-105, 2014

[11] G. M. Bouba, J. J. Mbainibeye, K. T. James, and L. Claude, "Advanced Random Access Channel Congestion Detection Model for Internet of Thing Based on Long Term Evolution and Mathematical Analysis," Int. Journal of MCTR, Vol. 6, pp. 1~7, 2018

---

### 저자약력

---

김 남 선 (Nam-Sun Kim)

[정회원]



<관심분야>

- 1991년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학 석사)
- 1995년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학 박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전기전자공학부 교수

디지털통신, 차세대 이동통신