

# Gen2기반 RFID시스템에서의 충돌방지 알고리즘에 관한 연구

정회원 권성호\*, 모희숙\*, 최길영\*, 표철식\*, 채종석\*

## A Study on Anti-collision Algorithm in Gen2 Protocol Based RFID Systems

Cheng-Hao Quan\*, Hee-Sook Mo\*, Gil-Young Choi\*,  
Cheol-Sig Pyo\*, Jong-Suk Chae\* *Regular Members*

### 요 약

RFID 기술은 전자태그를 이용한 비접촉식 식별기술의 하나로서 IT기술의 큰 시장으로 부상하면서 다양한 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 특히, 유통·물류 분야에서 다량의 물품을 실시간적으로 식별해야하는 경우, 다중태그 식별을 위한 충돌방지 알고리즘의 성능은 전체 시스템의 성능을 좌우한다. Gen2는 UHF대역의 단일 통합표준으로 정착 예상됨에 따라 이에 대한 활발한 연구·개발이 이루어지고 있다. 본 논문은 Gen2기반 RFID 시스템에서의 슬롯 알로하 기반 충돌방지 알고리즘과 관련하여 태그개수 추정과 슬롯개수 설정에 초점을 맞추어 기존 연구들에 대하여 살펴보았고 태그개수를 효율적으로 추정할 수 있는 새로운 기법을 제안하고 슬롯개수 설정 시 사용되는 시스템효율을 새롭게 정의하였으며 시뮬레이션을 통한 기존 기법들과의 비교·분석의 결과를 제시하였다. 제안하는 태그개수 추정기법은 구현이 쉽고 태그개수가 설정된 슬롯개수의 4배 범위이내에서 효율적으로 태그를 추정하였으며 기존 슬롯효율의 정의와 구별되게 슬롯에 가중치를 부여하여 계산한 식별효율은 시스템효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

**Key Words** : RFID, Gen2 protocol, Anti-collision algorithm

### ABSTRACT

RFID technology, as one contact-less identification technology with using electronic tag, is the field where its multiple researches have been studied. Especially, in the field of supply chain management, when it is necessary to identify a lot of objects by real-time, performance of anti-collision algorithm for multiple tag identification has an effect on performance of entire system. GEN2 is global, open, interoperability protocol for UHF RFID system, the active researches and developments are processed about it. In this paper, we introduce an anti-collision algorithm based on Slotted-ALOHA for GEN2 protocol, focus on estimating number of tags and setting number of slots and review the previous works. We propose new scheme that can estimate number of tags efficiently, and define system efficiency newly when it's used in setting number of slots. We also present result of compare and analysis with previous scheme through simulation. The proposed scheme of estimating number of tags is easy to implement, number of tags which is less than 4 times of number of slots can estimate tags efficiently, we also proved that identification efficiency based on weighted-slot distinguished with definition of previous slot efficiency can improve system efficiency.

\* 한국전자통신연구원 ({chquan, hsmo, cspyo, kychoi, jschae}@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2006-03-130, 접수일자 : 2006년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2006년 5월 29일

## I. 서론

RFID 기술은 사물에 부착된 RFID 태그를 통해 실시간으로 정보를 획득, 처리, 활용함으로써 인간 생활수준의 고도화를 실현하기 위한 유비쿼터스 IT의 기반 기술로서 바코드를 보완하여 유통·물류의 혁신 및 현실 사물과 사물정보를 동기화하여 정보화 지평을 확대시킬 수 있는 핵심기술로 부각되면서 국내외적으로 다양한 연구가 이루어지고 있는 분야이다.

RFID 시스템에서 태그식별은 리더가 사물에 부착된 태그에 질의하면 해당 태그는 그 질의에 대하여 자신의 식별자를 리더로 전송하는 응답과정을 통하여 수행된다. 이때 리더의 식별영역 내에 한 개의 태그만 존재할 경우 태그식별은 간단하게 처리될 수 있으나 다수의 태그가 존재할 경우에는 각 태그가 동시에 리더에 응답하게 되므로 충돌이 발생하게 된다. 다량의 물품을 실시간으로 식별해야 하는 유통·물류와 같은 대규모 RFID 시스템 환경에서는 다중 태그를 식별할 수 있는 효율적인 충돌방지 알고리즘(anti-collision algorithm)<sup>[1]</sup>이 필수적으로 요구된다. 이러한 충돌방지 알고리즘은 크게 트리 기반 결정적 알고리즘과 슬롯 알로하 기반 확률적 알고리즘으로 구분할 수 있다.

최근 들어 UHF 대역은 유통·물류 분야에 가장 적합한 대역으로 인식되면서 RFID 시장의 강한 요구에 부응하여 타 대역에 비해 표준화가 급속히 진척되고 있다. 이 가운데서 2004년 8월 이미 국제표준으로 제정된 ISO/IEC 18000-6 A타입<sup>[2]</sup>과 현재 18000-6 C타입으로 채택하기 위하여 개정 진행 중에 있는 EPCglobal UHF Gen2<sup>[3]</sup>도 슬롯 알로하 기반 충돌방지 알고리즘을 사용하고 있다. 이외에 433MHz 대역에서의 18000-7<sup>[4]</sup>, 13.56MHz 대역에서의 EPC C1<sup>[5]</sup>도 슬롯 알로하 기반 충돌방지 알고리즘을 사용하고 있다.

슬롯 알로하<sup>[6]</sup> 기반의 충돌방지 알고리즘은 전송요구가 있을 때마다 전송하는 알로하<sup>[7]</sup>와는 달리 전송시간을 여러 개의 타임 슬롯으로 분할하여 각각의 태그들이 슬롯을 임의로 선택하여 전송하는 방식으로 동작한다. 일반적으로 RFID 시스템에서는 리더가 슬롯개수를 파라미터로 질의명령에 포함하여 영역내의 태그로 전송하면 각각의 태그들은 임의의 랜덤한 수를 생성하여 슬롯을 선택한 후 전송할 정보를 슬롯에 적재하여 리더로 응답한다. 정확히 하나의 정보만 적재된 슬롯, 즉 식별 슬롯은 리더에 의하여 식별되지만 다수개의 정보가 적재된 슬롯,

즉 충돌이 발생한 슬롯은 적재된 정보를 인식할 수 없게 되며 이 슬롯에 정보를 적재한 태그들은 다음 라운드 혹은 프레임에 정보를 재전송해야한다. 또한, 리더로 응답된 슬롯 중 하나의 정보도 적재되지 않은 슬롯, 즉 빈 슬롯도 포함되어 있다. 효율적인 태그식별을 위하여 슬롯개수는 시스템 효율, 즉 전체 슬롯 중 식별 슬롯이 차지하는 비율이 가장 높게 나올 수 있도록 설정한다. 태그개수에 비해 지나치게 큰 슬롯개수는 슬롯의 낭비를 초래하고 지나치게 작은 슬롯개수는 태그들 사이의 충돌 발생율을 증가시킨다. 이와 같이 영역내의 태그개수와 설정된 슬롯개수는 시스템 효율을 결정한다. 하지만 RFID 시스템은 기존의 무선통신과는 달리 영역내의 태그개수를 알 수 없다. 따라서 영역내의 태그개수에 대한 추정(estimation)이 우선시 되어야하고 추정된 태그개수에 근거하여 시스템 효율을 가장 높일 수 있는 슬롯개수를 설정하는 것이 바람직하다.

본 논문은 Gen2기반 RFID 시스템에서의 슬롯 알로하 기반 충돌방지 알고리즘과 관련하여 태그개수 추정과 슬롯개수 설정에 초점을 맞추어 기존 연구들에 대하여 살펴보았고 태그개수를 효율적으로 추정할 수 있는 새로운 기법을 제안하고 슬롯개수 설정 시 사용되는 시스템효율을 새롭게 정의하였으며 시뮬레이션을 통한 기존 기법들과의 비교·분석의 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 태그개수 추정과 슬롯개수 설정과 관련된 기존의 연구들을 살펴보고 3장에서는 새로운 알고리즘을 제안하고 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 기존의 기법들과의 비교·분석 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 관련연구

RFID 시스템에서 리더와 태그사이의 무선통신 프로토콜로서 18000-6 A타입<sup>[2]</sup>, EPCglobal Gen2<sup>[3]</sup>, 18000-7<sup>[4]</sup>, EPC C1<sup>[5]</sup>등과 같은 표준 및 규격이 제시되었고 이들 모두 슬롯 알로하 기반 충돌방지 알고리즘을 사용하며 이외에도 I-Code 알고리즘<sup>[8,9]</sup>, Bit-Slot 알고리즘<sup>[10]</sup>등 충돌방지 알고리즘에 관한 연구결과도 발표되고 있다.

상기 슬롯 알로하 기반 알고리즘의 동작과정은 다음과 같다. 리더는  $p = \langle N, R, I \rangle$ 를 파라미터로 태그에 질의하면서 태그식별 과정을 시작한다. 여기서,  $N$ 는 슬롯개수,  $R$ 는 랜덤 값 생성에 필요한 종

자(seed)값,  $I$ 는 태그 식별자 범위 혹은 태그식별 참여여부 정보를 의미한다. 이때, 영역내의 선택된 태그들은  $R$ 값을 이용하여 랜덤 값을 생성하고 이 값을 기준으로 슬롯개수의 범위 내에서 임의의 슬롯을 선택하여 자신의 태그 식별자정보를 적재한 후 리더로 전송한다.

리더가 수신한 슬롯은 빈 슬롯, 식별 슬롯, 충돌 발생 슬롯 중 하나일 것이다. 한 프레임 혹은 한 라운드에서 슬롯들의 상태는 다음과 같이 표시된다.  $c = \langle c_0, c_1, c_k \rangle$  여기서,  $c_0$ 은 빈 슬롯의 개수,  $c_1$ 은 식별 슬롯의 개수,  $c_k$ 는 충돌발생 슬롯의 개수를 의미한다. 일반적으로 위의  $c$ 값을 이용하여 영역내의 태그개수를 추정하며  $c_0$ 가 대부분을 차지할 경우 슬롯개수를 감소시켜야하고  $c_k$ 가 대부분을 차지할 경우는 슬롯개수를 증가시켜야 한다. 정확한 태그개수의 추정이 가능하다면 이에 맞는 시스템 효율이 가장 높은 슬롯개수를 새로 설정하고 다음 프레임 혹은 라운드를 새로 시작한다.

우선, 태그개수 추정기법에 대하여 살펴본다. 오차 최소화 기법은 체비셰프 부등식(Cherbyshev's inequality)에 그 기반을 두고 있다. 즉, 일반적으로 모든 랜덤한 값은 대부분 평균 기댓값의 주변에 분포된다. 따라서 태그개수의 추정치는 식(1)로 계산할 수 있다<sup>[8]</sup>. 식(1)에서  $N$ 은 슬롯개수,  $n$ 은 태그개수,  $a_0^{N,n}$ 은  $c_0$ 에 대한 평균 기댓값,  $a_1^{N,n}$ 은  $c_1$ 에 대한 평균 기댓값,  $a_k^{N,n}$ 은  $c_k$ 에 대한 평균 기댓값으로서 슬롯 상태의 실측값과 기댓값의 오차를 최소화하는  $n$ 값으로 태그개수를 추정한다.

$$e_{vd}(N, c_0, c_1, c_k) = \min_n \begin{pmatrix} a_0^{N,n} \\ a_1^{N,n} \\ a_k^{N,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_k \end{pmatrix} \quad (1)$$

오차 최소화 기법의 문제점은 구현이 복잡하고 추정치의 오차는 실측값이 어느 정도 평균 기댓값에 근접하느냐에 따라 결정되며 또한 계산에서 사용된  $n$ 값의 범위와도 관계가 있다.

실제 대부분의 알고리즘에서는 오차 최소화 기법보다는 구현이 간단한 최소치 추정 기법을 많이 사용한다. 태그개수의 추정치는 식(2)로 계산할 수 있다<sup>[8]</sup>. 충돌발생 슬롯은 최소한 두 개의 태그가 동시에 할당되었기 때문에 발생함으로 식(2)에서 추정된 태그개수는 최소치를 의미한다.

$$e_{\min}(N, c_0, c_1, c_k) = c_1 + 2c_k \quad (2)$$

최소치 추정 기법은 식(3)에서와 같이 추정할 수 있는 값의 최대치가 설정된 슬롯개수의 두 배로서 태그개수가 그이상일 경우 상당히 큰 오차가 발생함으로 일반적으로 설정된 슬롯개수의 두 배 범위 이내의 태그개수를 예측할 경우 유용하다.

$$e_{\min}(N, c_0, c_1, c_k) = c_1 + 2c_k \leq 2N \quad (3)$$

실제에 이와 같은 기법이 적용된 알고리즘에서는 다단계(multi-step)에 걸쳐 태그개수를 추정한다. 또한 일반적으로  $c_0$ 나  $c_k$ 가 전체  $c$ 가운데서 차지하는 비율에 근거하여 고정 슬롯 증감 방식, 비례 슬롯 증감 방식, 로그 슬롯 증감 방식 등으로 슬롯개수를 조정하여 효율적으로 태그를 식별한다.

다음, 슬롯개수 즉,  $Q$ 값 설정에 대하여 살펴본다. 효율적으로 태그를 식별하기 위해서는 실제 개수에 근접한 태그개수 추정뿐만 아니라 시스템효율이 최대가 될 수 있도록 슬롯개수를 설정해야 한다. 여기서, 시스템효율이라 함은 전송된 전체 슬롯 중 식별된 슬롯이 차지하는 비율을 의미하며 시스템효율이 높을수록 성능이 우수하다. Gen2에서 슬롯개수는 리더가 태그로 전송하는 질의 명령의 인자인  $Q$ 값에 의하여 결정된다. 질의 명령을 수신한 태그는  $Q$ -비트의 랜덤수를 생성하여 슬롯 카운터로 사용하기 때문이다. 실제 태그개수보다 크게  $Q$ 값을 설정하면 대부분의 슬롯에서 낭비가 발생할 것이고  $Q$ 값을 작게 설정하면 대부분 슬롯에서 충돌이 발생하면서 태그의 정보를 정확히 수신할 수 없다.

기존 대부분 알고리즘에서는 각 슬롯에 할당된 시간이 고정적임으로 시스템효율을 슬롯효율로 정의하고 있으며 이는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$\rho = G \cdot e^{-G} \quad (4)$$

여기서,  $\rho$ 는 정규화 처리율,  $G$ 는 정규화 부하를 의미하며  $G=1$ 일 경우,  $\rho$ 가 36.8%의 최대처리율을 갖는다. 즉, 실제 태그개수와 동일하게 슬롯개수를 설정할 경우 전체 전송된 슬롯 중 식별된 슬롯이 최고치인 36.8%를 차지함을 의미한다.

Gen2는 이러한 기존 알고리즘에서의 time-driven 과는 달리 command-driven 형식으로 동작한다. 즉, 슬롯에 할당된 시간이 고정되어 있는 것이 아니고 재질의(QUERYREP)명령 수신시에 다음 슬롯으로 넘어간다. 따라서 식별 슬롯, 빈 슬롯, 충돌발생 슬롯이 소요하는 시간은 서로 다르며 이 경우 시스템 효율은 슬롯의 형태에 따라 가중치를 부여하여 계

산하여야 한다. 즉, 유효한 슬롯 전송에 소요한 시간이 전체 전송시간에서 최대가 될 수 있도록 적은 시간이 소요되는 빈 슬롯은 늘이고 상대적으로 많이 시간이 소요되는 충돌방성 슬롯은 줄 일수 있도록 Q값을 설정해야 한다.

### III. 제안하는 충돌방지 알고리즘

#### 3.1 알고리즘 개요

본 논문에서 제안하는 Gen2 충돌방지 알고리즘은 크게 다섯 개 부분으로 나뉜다. 첫째, 선택 명령을 이용하여 플래그를 설정하고 태그를 분할하는 과정으로서 전체 태그 중에서 필요한 태그만을 식별할 수 있다. 둘째, 슬롯의 송/수신 과정으로서 식별된 태그들은 질의, RN16, ACK, EPC의 명령과 응답을 차례대로 송/수신한다. 셋째, 슬롯의 송/수신이 완료되면 라운드 종료 검사, 조기종료 검사, 식별종료 검사를 수행하며 결과에 따라 다음 슬롯을 송/수신하거나 새로운 라운드를 시작하며 모든 태그 식별이 완료되었으면 알고리즘이 종료된다. 넷째, 새로운 라운드를 시작하기 위해서는 태그개수 추정 기법을 이용하여 태그개수를 추정하고, 다섯째, 추정된 태그개수를 이용하여 시스템효율이 최대가 되는 Q값을 설정하는 단계이다. 그림 1은 제안하는 Gen2 충돌방지 알고리즘의 흐름도이다.

태그 선택단계는 선택 명령의 인자와 태그 식별자 정보를 비교하여 매칭되는 태그의 특정 플래그를 임의로 설정함으로써 태그 식별과정에서 원하는 태그들과만 통신이 이루어질 수 있도록 한다. 매칭되지 않은 태그들은 대기(ready) 상태에 머물게 된다. 이러한 기능은 전체 태그를 서브그룹으로 나누어서 식별할 수 있음을 의미한다.

슬롯의 송/수신과정은 라운드의 시작 명령인 질의(QUERY) 명령이나 재질의(QUERYREP) 명령으로 시작하며 이에 대한 응답으로 태그는 16-비트의 랜덤한 값인 RN16을 리더로 송신한다. 성공적으로 RN16을 수신한 경우, 리더는 이를 인자로 응답(ACK) 명령을 태그로 전송하며 이를 수신한 태그 중 해당 RN16을 송신한 태그만 자신의 태그 식별자(EPC)를 리더로 송신한다. CRC에러검사를 거쳐 성공적으로 수신하였다고 판단될 경우, 한 개의 태그가 식별된 것이다. 다음 슬롯의 송/수신을 위하여 리더는 재질의 명령을 다시 태그로 전송하며 태그는 RN16으로 응답하며 상기과정을 반복한다. 상기 과정 중 RN16의 성공적인 수신은 오직 한 개의 태

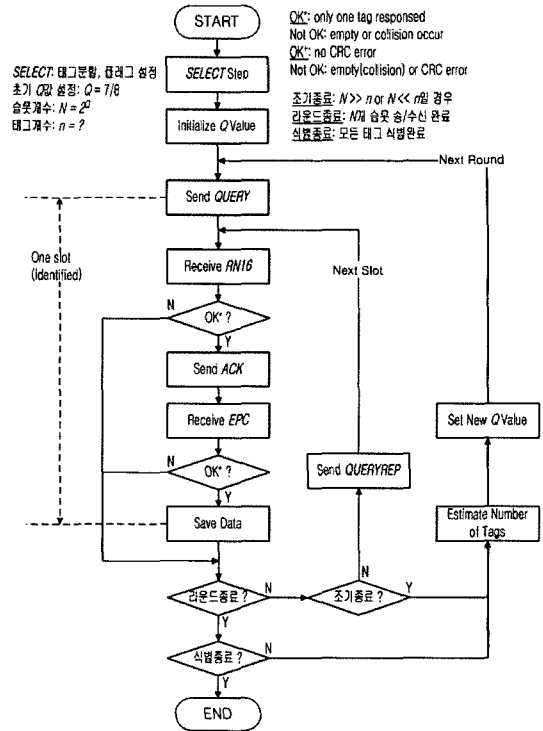


그림 1. 제안하는 Gen2 충돌방지 알고리즘 흐름도

그만 응답하였을 경우이며 응답이 없거나 다수개의 태그 응답으로 인해 충돌이 발생한 경우는 실패로 여겨진다. 단, 실제구현에 있어서 충돌감지가 어렵기 때문에 일반적으로 수신된 신호에 대해 디코딩이 가능하면 성공한 것으로 여기고 불가능하면 충돌이 발생한 것으로 간주한다. EPC의 성공적인 수신은 수신정보에서 CRC에러가 발생하지 않을 경우이며 CRC가 에러가 발행한 경우는 실패로 여겨지게 되며 구현에 따라 재전송을 요구하거나 단순히 다음 슬롯으로 넘어갈 수 있다. 만약, 응답 명령(ACK)에 대한 태그 응답이 없을 경우는 전 단계에서 디코딩한 RN16에서 에러가 발생했음을 의미하며 이는 다수개의 태그가 동시에 응답하여 발생할 가능성이 높음으로 충돌이 발생한 것으로 간주한다. 일반적으로 RN16단계에서는 충돌여부 판단이 힘들며 그 다음단계인 응답 명령의 수신여부에 따라 충돌여부를 판단하게 된다.

슬롯의 송/수신 과정이 끝나면 다음 슬롯을 시작할 지, 조기종료를 할지, 새 라운드를 시작할지 아니면 식별이 종료되었는지를 판단하는 단계이다. 라운드 시작 시에 설정된 Q값에 따라 전송해야할 슬롯개수가 결정되며 이를 모두 송/수신한 경우 라운드가 종료된다. 라운드 조기종료는 일반적으로 태

그개수가 설정된 슬롯개수보다 너무 많거나 아니면 너무 적을 경우, 라운드의 조기종료를 의미하며 일반적으로 4, 8배 이상 차이가 날 경우 라운드 조기종료가 바람직하다. 식별종료는 모든 태그의 식별이 이루어진 경우이며 구현에서는 한 라운드에서 식별 슬롯이나 충돌발생 슬롯이 없이 빈 슬롯만 있을 경우로 판단가능하다.

시스템효율에 따라 한 라운드에서 식별되는 태그개수는 제한되어 있으며 모든 태그를 식별하기 위해서는 라운드가 반복된다. 단, 새로 시작하는 라운드는 전 단계 라운드에서의 슬롯상태정보를 이용하여 태그개수를 추정할 수 있으며 이를 기준으로 이에 적절한 Q값을 설정한다. 아래 두 절은 제안하는 태그개수 추정기법과 슬롯개수(Q값) 설정기법에 대하여 자세히 다룬다.

### 3.2 태그개수 추정기법

제안하는 태그개수 추정기법의 소개에 앞서 슬롯알로하 시스템 관련 수학적 배경을 먼저 살펴본다.

n개의 태그가 N개의 슬롯을 사용하여 리더와 통신할 경우 하나의 슬롯 내에 r개의 태그가 존재할 확률은 이항분포(binomial distribution)를 따르며<sup>[8, 11]</sup> 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{n, \frac{1}{N}}(r) = \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (5)$$

그러므로 한 프레임 혹은 라운드 동안 읽을 수 있는 평균 태그개수는 식(6), 평균 빈 슬롯개수는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_1^{N,n} = N \cdot B_{n, \frac{1}{N}}(1) = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (6)$$

$$a_0^{N,n} = N \cdot B_{n, \frac{1}{N}}(0) = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (7)$$

위의 식(7)을 식(6)으로 나누면 다음의 식(8)을 얻을 수 있다.

$$a_0^{N,n} / a_1^{N,n} = n(N-1) \quad (8)$$

위의 식(8)을 다시 정리하면 식(9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$n = (N-1) / (a_0^{N,n} / a_1^{N,n}) \quad (9)$$

따라서 본 논문에서 제안하는 확률적 평균 기법은 위의 식(9)를 수학적 근거로 빈 슬롯의 평균 기댓값  $a_0^{N,n}$  대신에 실측값인  $c_0$ 을, 식별 슬롯의 평균 기댓값  $a_1^{N,n}$  대신에  $c_1$ 을 식(9)에 대입하여 태그개수를 추정한다. 즉, 식(10)을 이용하여 태그개수를 추정한다.

$$n = (N-1) / (c_0 / c_1) \quad (10)$$

제안하는 확률적 평균 기법도 오차 최소화 기법과 마찬가지로 추정치의 오차는 실측값이 어느 정도 평균 기댓값에 근접하느냐에 따라 결정되나 기존 방법에 비해 계산이 간단하며 최소치 추정 기법에 비해 적용범위가 넓다는 장점이 있다.

### 3.3 슬롯개수 설정기법

슬롯개수의 설정은 시스템효율이 최대가 되는 슬롯개수를 설정함으로써 가능하다. 본 논문에서는 우선 기존의 시스템효율에 대한 정의를 살펴보고 가중치를 부여한 새로운 시스템효율을 정의한다.

기존 대부분의 연구는 시스템효율을 다음과 같이 정의하고 있다.

$$\text{시스템효율}(se) = \frac{\text{식별된 슬롯개수}}{\text{전체 슬롯개수}} = \frac{c_1}{N} \quad (11)$$

여기서,  $c_1$ 은 식별된 슬롯의 개수이고 N은 설정된 전체 슬롯개수이다. 상기 식(11)에 따라 시스템효율은 슬롯 전송에 소요된 시간과 관계없이 모든 슬롯 전송에 동일한 가중치를 부여하여 계산하였다.

Gen2의 경우 식별 슬롯, 빈 슬롯, 충돌발생 슬롯에 소요된 전송시간이 고정되어 있는 것이 아니라 서로 다르다. 표 1에는 Gen2가 지원하는 타리(tari)와 전송율(rate)에 따라 식별 슬롯, 빈 슬롯 충돌발생 슬롯 전송에 소요되는 시간을 규격에 준하여 계산하였으며 이 값들은 이론적인 최소치이다. 실제 구현에 따라 전송시간은 이보다 높게 나타난다.

본 논문에서는 아래와 같이 가중치를 고려한 시스템효율을 정의하고 이를 슬롯효율과 구분하여 식별효율이라 정의한다.

$$\text{시스템효율}(se) = \frac{w_1 c_1}{w_0 c_0 + w_1 c_1 + w_k c_k} \quad (12)$$

여기서,  $w_0$ 는 빈 슬롯의 가중치,  $w_1$ 는 식별 슬롯의 가중치,  $w_k$ 는 충돌발생 슬롯의 가중치를 의미하고  $c_0$ 은 빈 슬롯의 개수,  $c_1$ 은 식별된 슬롯의 개수,

표 1. 슬롯 전송시간

Time		Identified (One Tag)		Empty (No Tag)		Collision			
						Query		QueryRep	
Tari	Rate	Query*	QueryRep**	Query	QueryRep	Query1	Query2	QueryRep1 <sup>+</sup>	QueryRep2 <sup>**</sup>
25us	40k	5.79ms	5.16ms	1.11ms	475us	1.59ms	2.26ms	963us	1.63ms
25us	53.3k	4.73ms	4.10ms	1.04ms	413us	1.41ms	2.08ms	782us	1.44ms
25us	64k	4.20ms	3.57ms	1.01ms	381us	1.32ms	1.98ms	690us	1.35ms
25us	80k	3.67ms	3.04ms	981us	350us	1.23ms	1.89ms	600us	1.26ms
12.5us	80k	2.92ms	2.61ms	560us	244us	809us	1.15ms	494us	831us
12.5us	160k	1.86ms	1.54ms	497us	181us	628us	966us	313us	650us
6.25us	160k	1.49ms	1.33ms	286us	128us	417us	592us	259us	434us
6.25us	320k	955us	797us	255us	969us	327us	502us	169us	344us
6.25us	640k	689us	531us	239us	813us	281us	456us	123us	298us

\*Query: Query명령으로 시작하는 슬롯 전송에 소요되는 시간

\*\*QueryRep: QueryRep명령으로 시작하는 슬롯 전송에 소요되는 시간

<sup>+</sup>Query1/QueryRep1: RN16을 수신하여 충돌방생 여부를 판단할 수 있을 경우, 슬롯 전송에 소요되는 시간

<sup>\*\*</sup>Query2/QueryRep2: ACK 송신하여 충돌방생 여부를 판단할 경우의 슬롯 전송에 소요되는 시간

$c_k$ 는 충돌이 발생한 슬롯의 개수를 의미한다.

태그개수  $n$ 이 주어졌을 때 시스템효율이 최대가 되는 슬롯개수  $N$ 은 식 (12)를  $n$ 에 대하여 미분하여 그 결과를 0으로 하는 함수를 구함으로써 얻을 수 있다. 식 (12)에서  $c_0, c_1$ 은 식 (7)과 식 (8)로 대체하여 미분하고 함수를 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.(부록A-1 참고)

$$\left(\frac{N}{N-1}\right)^n (1 - \ln \left(\frac{N}{N-1}\right)^n) = \frac{w_k - w_0}{w_k} \quad (13)$$

슬롯의 가중치와 태그개수가 주어지면 상기 식 (13)을 이용하여 최적의 슬롯개수를 대입법으로 구할 수 있다. 특히, Gen2는 슬롯개수를 슬롯개수의 로그 형태인  $Q$ 값으로 설정하게 되어있기 때문에 구체적인  $N$ 값의 계산보다는 시스템효율이 최대가 되는  $Q$ 값을 계산하면 된다.

상기 식 (13)에서 가중치를 동일하게 설정하고 테일러 급수(Taylor series) 전개를 하면  $N$ 값이  $n$ 과 근사함을 알 수 있으며 이는 식 (4)의 결론과도 동일하다.(부록A-2 참고)

따라서 본 논문에서는 식 (13)의 태그개수  $n$ 과 슬롯개수  $N$ 의 관계식에 의하여 슬롯개수를 설정한다. 즉, 슬롯개수  $N$ 은 주어진 태그개수에 식별효율이 최대가 되는 최적의 슬롯개수이다.

#### IV. 시뮬레이션

본 절에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 통한 태그개수 추정치 및 이

에 근거하여 산출된 최적의 슬롯개수를 기존의 기법들과 비교·분석한다. 태그, 리더를 C언어를 이용하여 모델링하였으며 시뮬레이션에서 설정된 파라미터들은 다음과 같다. 태그개수는 16~256개, 슬롯개수는 최대 256개로서 16, 32, 64, 128등의 값을 가진다. 즉,  $Q$ 값은 4, 5, 6, 7, 8이다.

그림 2는 태그개수가 128개 일 경우 슬롯개수를 각각 64, 128, 256으로 설정하고 이때 실측된 값들을 이용하여 추정된 태그개수를 나타내었다. 그림과 같이 대부분의 실측값들은 평균 기댓값 128의 주위에 분포하는 것을 볼 수 있으나 일부 실측값들은 상당히 큰 오차를 가지고 있다. 또한 슬롯개수를 크게 설정할수록 평균 기댓값 근처에 더 많이 분포하는 것을 볼 수 있다.

그림에서와 같이 일부 오차가 큰 실측값 중 최소치 추정 기법을 통하여 추정된 최소치보다 작은 경우 이를 최소치로 한정한다. 또한 슬롯들의 상태정보를 이용하여 실험적으로 얻어진 최대치를 이용하여 추정치의 최대값을 한정한다. 그림 3은 그림 2의 결과를 이와 같은 방법으로 평균 기댓값과의 오차를 줄여갈 수 있음을 보여주는 그림이다.

그림 4는 슬롯개수를 64로 설정한 경우 제안하는 태그개수 추정기법으로 추정된 태그개수  $N_p$ 와 최소치 추정 기법으로 추정된 태그개수  $N_{min}$  및 실제 태그개수  $N_r$ 를 태그개수의 증가에 따라 보여주고 있다. 그림과 같이 제안하는 기법은 태그개수의 증가에 따라 추정치의 오차가 다소 커지지만 최소치 추정 기법에 비하여 실제 태그개수에 근접한 결과를 산출하고 있음을 보여준다. 또한 최소치 추정 기법은 앞서서도 설명하였지만 설정된 슬롯개수의 2배,

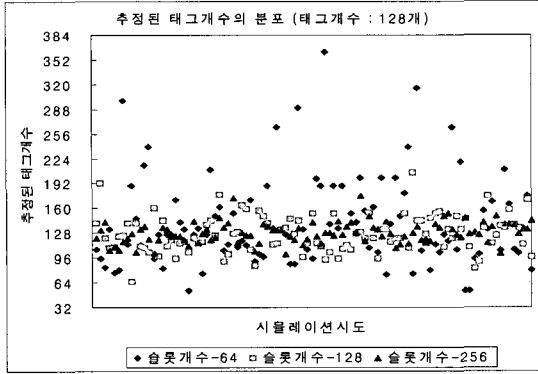


그림 4. 추정된 태그개수 분포

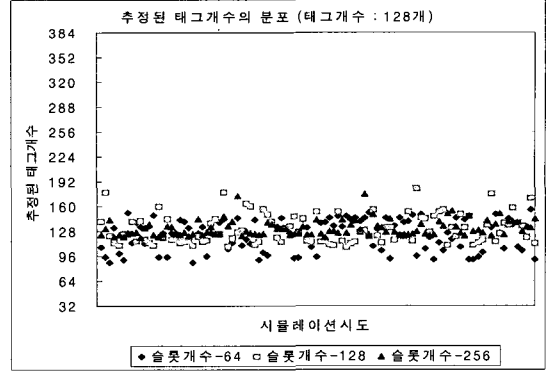


그림 5. 수정된 태그개수 분포

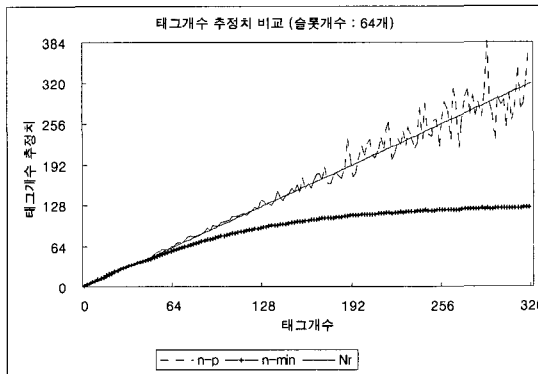


그림 6. 태그개수 추정치 비교

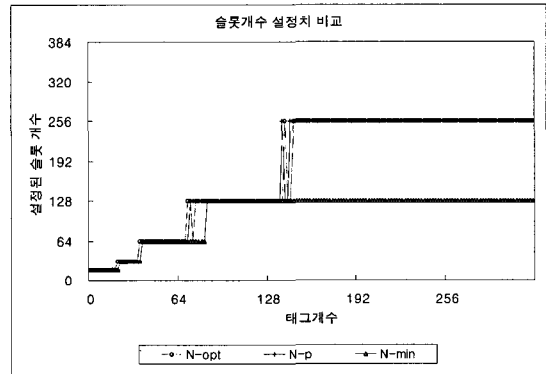


그림 7. 슬롯개수 설정치 비교

즉 128개 이상의 태그를 추정할 경우 오차가 상당히 큼을 알 수 있다.

그림 5는 앞의 그림 4에서 추정된 태그개수에 근거하여 시스템 효율을 최적화할 수 있는 슬롯개수의 설정치를 비교하여 나타내었다. 제안한 기법으로 추정된 태그개수에 의하여 산출된 슬롯개수(슬롯개수- $N_p$ )는 실제 태그개수의 의하여 산출된 슬롯개수(슬롯개수- $N_{opt}$ )에 상당히 근접함을 알 수 있다. 이와 반대로 최소치 추정 기법으로 추정된 태그개수에 의하여 산출된 슬롯개수(슬롯개수- $N_{min}$ )는 태그개수가 64~84 구간, 142이상의 구간에서 슬롯개수를 최적치(슬롯개수- $N_{opt}$ )보다 작게 설정됨을 볼 수 있다. 이와 같은 경우 전체 슬롯 중에서 충돌발생 슬롯이 상대적으로 증가하면서 성능저하가 발생한다.

위와 같이 이는 제안하는 태그개수 추정 기법을 사용할 경우 최소치 추정 기법에 비하여 실제 태그개수를 더 근접하게 추정함을 알 수 있다.

슬롯들의 트리플 상태정보  $c = \langle c_0, c_1, c_k \rangle$ 에 기반을 둔 제안하는 태그개수 추정 기법은  $c_0$ 나  $c_1$  혹은 둘 다 0에 가까워지면 추정치의 오차가 크

나 태그개수를 추정할 수 없다. 반대로 태그개수보다 슬롯개수가 엄청 많을 경우 충돌발생 슬롯  $c_k$ 가 0에 가까워지거나 이는  $c_0$ 나  $c_1$ 이 더 많은 정보를 포함하므로 추정된 태그개수가 더 정확하다. 일반적으로 태그개수가 설정된 슬롯의 개수의 4배 혹은 8배 이상일 경우  $c_0, c_1$ 은 0에 가까워지므로 위의 식(10)을 이용하여 태그개수를 추정할 수 없다. 이와 같은 경우는 설정된 슬롯개수 중에서  $c_k$ (충돌발생 슬롯)가 차지하는 비율을 계산하여 추정할 수 있다. 슬롯개수가 16, 32, 64, 128, 256일 경우, 수행한 시뮬레이션결과 태그개수가 설정된 슬롯개수의 4배인 경우 전체 슬롯 중 충돌발생 슬롯이 평균 91.28%를 차지했으며, 8배인 경우 평균 99.73%를 차지하는 것을 볼 수 있었다. 실제로 300개까지의 태그를 추정함에 있어서 초기의 슬롯개수를 128 혹은 256으로 설정하면 제안하는 기법으로 거의 모든 구간에서 태그개수를 정확하게 추정할 수 있다.

그림 6은 태그개수를 2에서부터 512개 증가시키면서 슬롯개수가 16, 32, 64, 128, 256인 경우의 시스템효율(슬롯효율)을 나타내었다. 그림에서와 같이

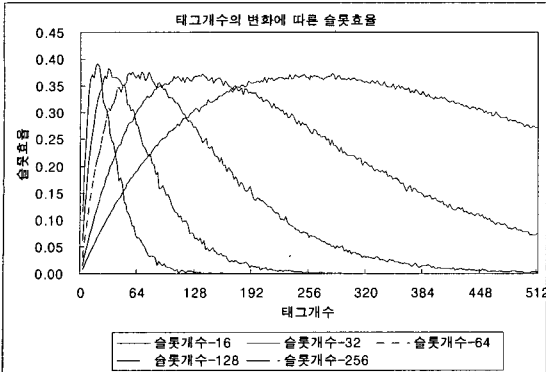


그림 8. 슬롯 효율

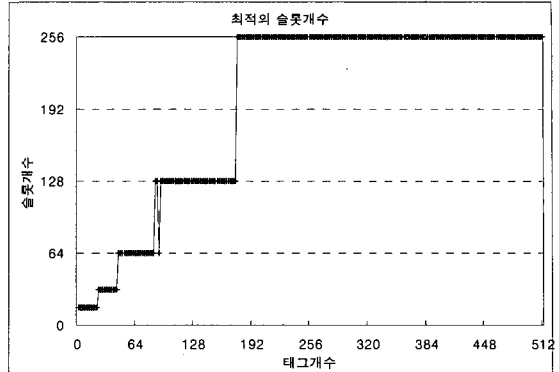


그림 9. 슬롯 효율에 따른 슬롯개수 설정

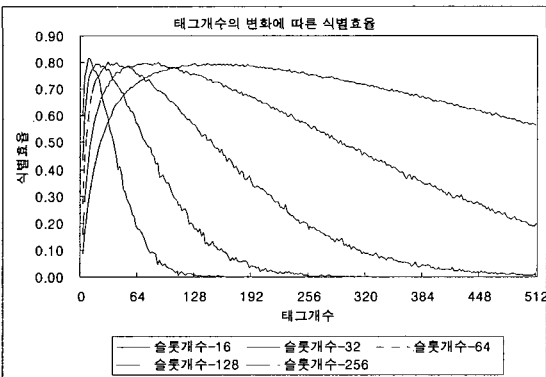


그림 10. 식별 효율

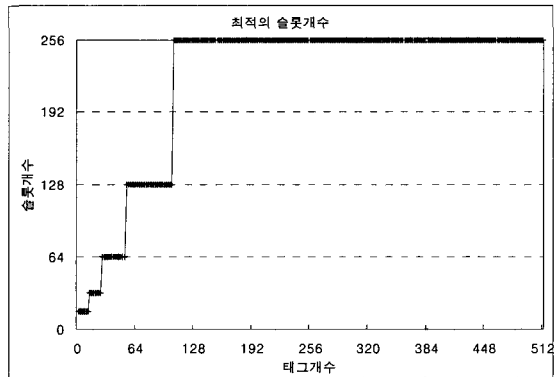


그림 11. 식별 효율에 따른 슬롯개수 설정

태그개수의 증가에 따라 슬롯개수를 크게 설정하여야 하며 특정 태그개수 구간에 대하여서는 슬롯효율이 최대가 되는 슬롯개수가 있음을 알 수 있다. 슬롯개수가 16일 경우 태그개수가 18, 슬롯개수가 32일 경우 태그개수가 30, 슬롯개수가 64일 경우 태그개수가 76, 슬롯개수가 128일 경우 태그개수가 136, 슬롯개수가 256일 경우 태그개수가 282이면 슬롯효율이 평균 37%이상으로 나타났다. 그림 7은 그림 6의 슬롯효율에 근거하여 최적의 슬롯개수를 나타내었다. 따라서 태그개수가 24개 이하이면 슬롯개수를 16으로, 태그개수가 46개 이하이면 슬롯개수를 32로, 태그개수가 86이하이면 슬롯개수를 64로, 태그개수가 176개 이하이면 128개로, 태그개수가 176개 이상일 경우는 256개로 설정하면 구간 내에서 항상 최대의 슬롯효율을 유지할 수 있다.

그림 8은 태그개수를 2에서부터 512개 증가시키면서 슬롯개수가 16, 32, 64, 128, 256인 경우의 가중치를 고려한 시스템효율(식별효율)을 나타내었다. 시뮬레이션에서 사용한 가중치는 다음과 같다. 빈 슬롯의 가중치  $w_0$ 는 0.5, 식별 슬롯의 가중치  $w_1$ 는

6, 충돌발생 슬롯의 가중치  $w_k$ 는 2이다. 즉, 빈 슬롯 전송에는 500us, 식별슬롯은 6ms, 충돌발생 슬롯은 2ms가 소요된다고 가정하였다. 슬롯효율과 같이 태그개수의 증가에 따라 슬롯개수를 크게 설정하여야 하며 특정 태그개수 구간에 대하여서는 식별효율이 최대가 되는 슬롯개수가 있음을 알 수 있다. 슬롯개수가 16일 경우 태그개수가 8, 슬롯개수가 32일 경우 태그개수가 18, 슬롯개수가 64일 경우 태그개수가 30, 슬롯개수가 128일 경우 태그개수가 86, 슬롯개수가 256일 경우 태그개수가 142이면 식별효율이 평균 80%이상으로 나타났다. 그림 9는 그림 8의 식별효율에 근거하여 최적의 슬롯개수를 나타내었다. 따라서 태그개수가 14개 이하이면 슬롯개수를 16으로, 태그개수가 28개 이하이면 슬롯개수를 32로, 태그개수가 54이하이면 슬롯개수를 64로, 태그개수가 106개 이하이면 128개로, 태그개수가 106개 이상일 경우는 256개로 설정하면 구간 내에서 항상 최대의 식별효율을 유지할 수 있다.

표 2와 표 3에는 슬롯효율과 식별효율에 근거한 슬롯개수 설정 값과 이에 따른 슬롯효율, 식별효율



을 비교하여 나타내었다. 표에서와 같이 제안하는 슬롯개수 설정 기법을 사용할 경우 시스템 효율이 기존 74%에서 77%로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 효율의 향상은 빈 슬롯과 충돌발생 슬롯의 가중치가 클수록 더 크게 나타난다.

표 2. 슬롯효율에 근거한 슬롯개수 설정

태그개수	슬롯개수	Q값	슬롯효율 (%)	식별효율 (%)
2 ~ 24	16	4	32	74
25 ~ 46	32	5	37	75
47 ~ 86	64	6	37	76
87 ~ 176	128	7	36	76
177 ~ 512	256	8	34	69
평 균				74

표 3. 식별효율에 근거한 슬롯개수 설정( $w_0:w_1:w_k=0.5:6:2$ )

태그개수	슬롯개수	Q값	식별 효율 (%)
2 ~ 14	16	4	76
15 ~ 28	32	5	79
29 ~ 54	64	6	79
55 ~ 106	128	7	79
107 ~ 512	256	8	71
평 균			77

## V. 결론

본 논문은 Gen2기반 RFID 시스템에서의 슬롯 알고리즘 기반 충돌방지 알고리즘과 관련하여 태그개수 추정과 슬롯개수 설정에 초점을 맞추어 기존 연구들에 대하여 살펴보았고 태그개수를 효율적으로 추정할 수 있는 새로운 기법을 제안하고 슬롯개수 설정 시 사용되는 시스템효율을 새롭게 정의하였으며 시뮬레이션을 통한 기존 기법들과의 비교·분석의 결과를 제시하였다. 제안하는 태그개수 추정기법은 구현이 쉽고 태그개수가 설정된 슬롯개수의 4배 범위 내에서 효율적으로 태그를 추정하였으며 기존 슬롯효율의 정의와 구별되게 슬롯에 가중치를 부여하여 계산한 식별효율은 시스템효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 이러한 연구결과들은 Gen2기반 RFID시스템 개발에 직접 적용이 가능하다.

본 논문은 Gen2기반 RFID시스템에서 다중 태그 식별에 그 주안점을 두고 있으나 이러한 충돌방지 알고리즘들은 다중 리더환경에 대한 고려가 미흡하다. 다중리더 환경에서의 리더간의 간섭, 동일태그에 대한 다수 리더의 간섭 등으로 태그개수 추정에

영향을 받을 수 있으며, 다중 리더간의 채널 접근 알고리즘, 다중 리더 운용 알고리즘 등과 연계한 다중 리더 환경에서 효율적으로 태그를 식별하기 위한 연구가 필수적으로 요구된다.

## 참고 문헌

- [1] 권성호, 김희철. "EPC 네트워크를 위한 다중 RFID 태그 식별 알고리즘의 분석," 한국인터넷정보학회지, Vol.4, No.4, pp.27-37. December 2003.
- [2] ISO/IEC. "Information Technology - Radio-Frequency Identification for Item Management - Part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860 MHz to 960 MHz," ISO/IEC. May 2004.
- [3] EPCglobal. "EPCTM Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz Version 1.0.9," EPCglobal. January 2005.
- [4] ISO/IEC "Information Technology - Radio-Frequency Identification for Item Management - Part 7: Parameters for Active Air Interface Communications at 433 MHz," ISO/IEC. May 2004.
- [5] Auto-ID Center. "13.56MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification Tag Interface Specification: Candidate Recommendation, Ver. 1.0.0," Auto-ID Center. May 2003.
- [6] Frits C. Schoute. "Dynamic Frame Length ALOHA," IEEE Transactions on Communications, COM31(4), pp.565-568. April 1983.
- [7] Frits C. Schoute. "Control of ALOHA Signalling in a Mobile Radio Trunking Systems," In International Conference on Radio Spectrum Conservation Techniques, pp 38-42. 1980.
- [8] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," Proc. Int. Confer. on Pervasive Computing, LNCS.2414, pp 98-113. Springer-Verlag. August 2002.
- [9] H. Vogt, "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags," 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and

Cybernetics, October 2002.

- [10] C. Kim, K. Park, H. Kim, S. Kim. "An Efficient Stochastic Anti-collision Algorithm using Bit-Slot Mechanism," Proc. Inter. Confer. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications(PDPTA), pp.652-656. June 2004.
- [11] Walter A Shewhart, Samuel S Wilks, "An Introduction to Probability Theory and Its Application - Second Edition," Wiley publications. 1960.

**부 록**

[A-1]: 식 (12)에서  $c_0, c_l$ 을 식 (7)과 식 (8)로 대체 하여 정리하면 다음과 같다.

$$se = \frac{w_1 c_1}{w_0 c_0 + w_1 c_1 + w_k c_k} = \frac{1}{\frac{w_0 c_0}{w_1 c_1} + 1 + \frac{w_k c_k}{w_1 c_1}}$$

$$= \frac{1}{\frac{w_0 (N-1)}{w_1 n} + 1 + \frac{w_k (N - c_0 - c_1)}{w_1 c_1}}$$

$$= \frac{1}{(1 - \frac{w_k}{w_1}) + \frac{(w_0 - w_k) (N-1)}{w_1 n} + \frac{w_k N^n}{w_1 n(N-1)^{n-1}}}$$

시스템효율이 최대가 되는 태그개수(n)와 슬롯개 수(N)관계식은 상기 수식을 미분하여 그 미분결과 를 0으로 하여 구함으로서 얻을 수 있다.

$$\frac{d(se)}{dn} = 0$$

$$d\left(\frac{1}{(1 - \frac{w_k}{w_1}) + \frac{(w_0 - w_k) (N-1)}{w_1 n} + \frac{w_k N^n}{w_1 n(N-1)^{n-1}}}\right)$$

$$= \frac{d\left(\frac{(w_0 - w_k) (N-1)}{w_1 n} + \frac{w_k N^n}{w_1 n(N-1)^{n-1}}\right)}{dn}$$

$$= -\frac{(w_0 - w_k) (N-1)n^{-2}}{w_1} + \frac{w_k (N^n \ln \frac{N}{N-1}) - \frac{N^n}{n}}{w_1 n(N-1)^{n-1}}$$

상기 수식을 정리하면

$$\frac{(w_0 - w_k) (N-1)n^{-2}}{w_1} = \frac{w_k (N^n \ln \frac{N}{N-1}) - \frac{N^n}{n}}{w_1 n(N-1)^{n-1}}$$

$$\frac{(w_0 - w_k)}{w_k} = \frac{n(N^n \ln \frac{N}{N-1}) - \frac{N^n}{n}}{(N-1)^n}$$

$$\frac{(w_0 - w_k)}{w_k} = \frac{N^n \ln \frac{N}{N-1} - N^n}{(N-1)^n}$$

$$\therefore \frac{(w_k - w_0)}{w_k} = \left(\frac{N}{N-1}\right)^n (1 - \ln \frac{N}{N-1})^n$$

[A-2]: 식 (13)에서  $w_0=w_l=w_k$ 일 경우, 식 (13)은 다음과 같이 정리된다.

$$\left(\frac{N}{N-1}\right)^n (1 - \ln \frac{N}{N-1})^n = \frac{w_k - w_0}{w_k} = 0$$

$$1 = \ln \frac{N}{N-1} = n \ln \frac{N}{N-1}$$

$$n = \frac{1}{\ln \frac{N}{N-1}}$$

$$N = \frac{1}{1 - e^{-\frac{1}{n}}}$$

상기 수식을 테일러 급수(Taylor series)를 이용하여 전개하면 다음과 같다.

$$N = \frac{1}{1 - e^{-\frac{1}{n}}} = \frac{e^{\frac{1}{n}}}{(e^{\frac{1}{n}} - 1)} \approx \frac{1 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{1}{n} - 1} \approx n$$

**권 성 호 (Cheng-Hao Quan)**

정회원

한국통신학회논문지 제30권 1B호 참조

현재 한국전자통신연구원 선임연구원

**모 희 숙 (Hee-Sook Mo)**

정회원



1989년 전남대학교 전산통계학과

졸업(이학사)

2002년 충남대학교 컴퓨터학과

졸업(이학석사)

1990년-현재: 한국전자통신연구

원 선임연구원

<관심분야> RFID, 컴퓨터 네트

워크(Ad-hoc), 위성관제, 멀티 캐스팅

