

논문 2008-45TC-5-2

UHF대역 RFID system에서 전력상승기법을 동적으로 적용한 다중접속방법

(Multiple Access Scheme by Dynamically Applying the Power
Increasing Method in the UHF RFID System)

임 유 석*, 황 재 호*, 손 성 환*, 김 재 명**

(You Seok Yim, Jae Ho Hwang, Sung Hwan Sohn, and Jae Moun Kim)

요 약

RFID(Radio frequency identification) 기술은 어떤 사물에 부착되는 태그(Tag)의 고유정보를 리더(Reader)를 사용하여 비접촉 방식으로 식별하는 기술로, 현재 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network) 구현의 핵심기술로 고려되고 있다. 특히 유통·물류분야에 적용되는 UHF대역 RFID시스템은 리더가 인식해야 할 태그의 수가 상당히 많아 태그충돌(Tag-collision)이라는 부정적인 영향이 발생하고, UHF대역 RFID기술 표준인 EPCglobal Gen2 protocol에서는 이런 태그충돌을 해결하기 위해 Slotted Random Anti-collision algorithm을 제시하고 있다. 본 논문에서는 이런 태그충돌의 영향을 최소화하고 전체 시스템의 효율을 보다 향상시키기 위하여 주어진 환경에 유동적으로 리더의 신호 전송전력을 조절하는 전력상승기법(Power Increasing Method)을 제안하고 그것을 주어진 환경에 동적으로 적용함으로써 Gen2에서 제시한 알고리즘보다 개선된 성능을 검증하였다.

Abstract

RFID(Radio frequency identification) technology, that the reader detect the tag information attached on the objects without contact, is considered the kernel of realizing the Ubiquitous Sensor Network. Particularly, because there are lots of tags(which the reader have to detect) in the UHF RFID system(that is applied at the Logistic & Distribution industry). In the UHF RFID system the negative effects, we called the tag-collision, may occur and we should solve these effects. So, in the EPCglobal Gen2 protocol they present the Slotted Random Anti-collision algorithm to prevent the tag-collision effect. In this paper, in order to minimize the tag-collision effect and bring on the system efficiency, we propose the Power Increasing Method that controls the transmission power of the reader depending on the environment and verify the improved performance.

Keywords : RFID, Power Increasing Method(PIM), Tag Anti-collision, Frame Slotted Aloha, Interrogation Range

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)기술은 어떠한

사물의 정보를 비접촉 방식으로 인식하는 무선기술로, 크게 사물의 정보를 포함하고 있는 태그(Tag)와 그 태그의 정보를 읽어낼 수 있는 리더(Reader) 등으로 구성되어 있다. 이러한 RFID기술은 많은 정보 수용능력, 긴 인식거리 등이 장점이며 특히 UHF대역(908.5~914MHz) RFID 기술은 태그 가격하락 등의 효과와 더불어 기존의 바코드(Bar-code)기반 유통·물류분야에 혁신적인 변화를 일으키고 있다. 또한, 최근 사회 전반적으로 U-City건설 및 구축을 위해 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network, USN) 구현에 관심이 집중되고 있으며 RFID기술이 그 핵심요소로 각광받고 있다.

* 학생회원, ** 평생회원, 인하대학교 정보통신대학원
(Graduate School of Information Technology and
Telecommunication, INHA University)

※ 본 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로
한국과학재단의 국가지정연구실 사업으로 수행된
연구임(No. M10600000194-06J0000-19410).

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 지원으로
수행되었음(R01-2006-000-10266-0(2008))

접수일자: 2008년2월5일, 수정완료일: 2008년5월18일

현재 유통·물류분야에 적용되고 있는 UHF대역 RFID시스템에서는 리더가 한 번에 인식하여야 할 태그의 개수가 상당히 많은데, 이러한 경우 2개 이상의 태그가 동시에 리더의 신호에 응답하는 태그충돌(Tag-collision) 현상이 발생하게 된다. 이런 태그충돌은 리더가 인식영역내의 태그를 모두 인식하는데 시간의 지연이 있을 뿐만 아니라 시스템 전체 효율을 떨어뜨리게 되므로 충돌방지 알고리즘(Anti-collision algorithm)이 필수적이며, EPCglobal Class1 Gen2 protocol에서는 Slotted Random Anti-collision 알고리즘을 제시하고 있다.^[1~2]

본 논문에서는 Gen2 protocol에서 제시하는 충돌방지 알고리즘을 개선하여, 리더가 신호 전송전력을 변화시켜 자신의 태그 인식영역을 변경시킴으로서 태그를 보다 효율적으로 인식하는 알고리즘을 제안하고, 제안하는 알고리즘이 태그충돌에 대한 영향을 완화시키고 전체 시스템의 효율을 보다 향상시킬 수 있는 방안임을 검증하였다.

II. 충돌 방지 알고리즘

유통·물류분야에 적용되는 UHF대역 RFID시스템에는 그림. 1과 같이 리더의 인식영역 내에 태그가 다량으로 산재되어 있을 수 있다.

리더가 다수의 태그를 인식할 때 태그충돌이 발생할 수 있고, 이는 리더의 태그 인식률을 저하시키게 되어 시스템의 효율을 저하시킨다. 이러한 부정적인 영향을 해결하기 위해 EPCglobal Gen2 protocol에서는 Slotted Random Anti-collision 알고리즘을 제시한다. 이는 태그가 리더의 Query명령어를 수신하면 그 Query의 Q값을 기준으로 Q-bit의 랜덤한 수를 태그의 Slot Counter에 부여하여 태그의 응답순서를 구분한다. 그리고 태그

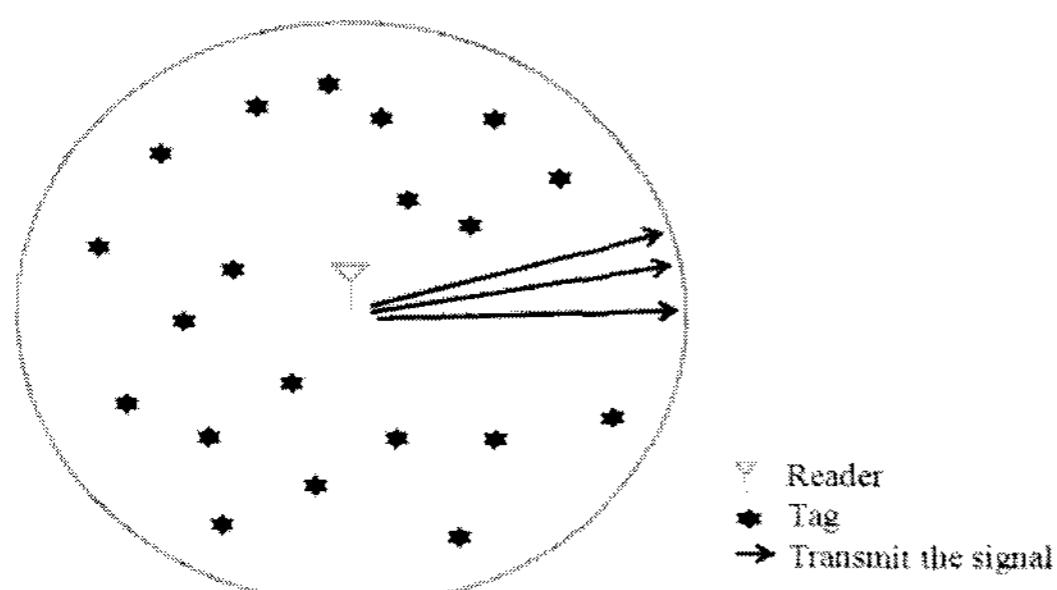


그림 1. UHF RFID시스템에서 리더와 태그 구성
Fig. 1. Structure of the reader and the tag in the UHF RFID system.

는 리더의 QueryRep명령어를 수신할 때마다 자신의 Slot Counter의 값을 하나씩 감소시키는 절차를 수행하며 태그의 Slot Counter의 값이 “zero”가 되면 자신의 정보를 리더에 전송하게 된다. 즉, Q값을 기준으로 태그의 접근 순서를 랜덤하게 정하여 인식함으로서 태그가 일시에 응답하는 것을 방지하게 된다.

1. Frame Slotted Aloha(FSA)

Slotted Random Anti-collision 알고리즘의 한 가지 예인 Frame Slotted Aloha(이하 FSA)방식이 적용된 RFID 시스템의 일부를 그림. 2에 나타내었다. 그림. 2에서 보이듯 리더가 자신의 Query를 전송하면 태그는 자신의 정보를 전송할 slot을 정하고 응답을 시도한다. 이때 한 개의 slot에 오직 1개의 태그 정보만이 삽입된 경우를 성공(Success)라 하고 한 개의 slot에 2개 이상의 태그가 응답을 시도한 경우를 충돌(Collision)이라 하며, slot에 어떠한 태그의 정보로 없는 경우를 휴지(Idle)라고 한다.^[3~4]

그림. 2의 첫 번째 Frame에서와 같이 태그 충돌이 발생하면 리더는 Query를 재전송(Frame(N2))하여 충돌이 발생하여 인식되지 못한 태그에 대하여 다시 인식을 시도하게 되고, 이러한 반복을 통해 리더는 모든 태그를 인식할 수 있게 된다.

이러한 FSA 방법을 수학적으로 전개해 볼 때, 리더가 정한 slot의 개수를 ‘S’라 하면(그림. 2에서 S=3) 한 Frame에서 태그가 전송을 시도할 확률 p 는 $1/S$ 이고, 이항분포(Binomial Distribution)의 관점으로 태그의 개수가 ‘n’일 때 1개의 태그 정보만이 한 slot에 삽입될 경우(성공)의 확률 ‘ P_S ’는 다음과 같다.^[5]

$$P_S = \binom{n}{1} \cdot p^1 (1-p)^{n-1} \quad (1)$$

또한 slot이 휴지상태가 될 확률 ‘ P_I ’ 및 충돌상태가 될 확률 ‘ P_C ’는 식 (2)와 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$P_I = \binom{n}{0} \cdot p^0 (1-p)^n = (1-p)^n \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_C &= 1 - P_S - P_I \\ &= 1 - np(1-p)^{n-1} - (1-p)^n \\ &= 1 - (1-p)^n \cdot \left(\frac{np}{1-p} \right) - (1-p)^n \\ &= 1 - (1-p)^n \left\{ \frac{1 + (n-1)p}{1-p} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

위의 3가지 식을 고려하여 ‘n’개의 태그가 ‘S’개의 slot을 통해 리더에 응답을 시도할 경우 한 frame내의

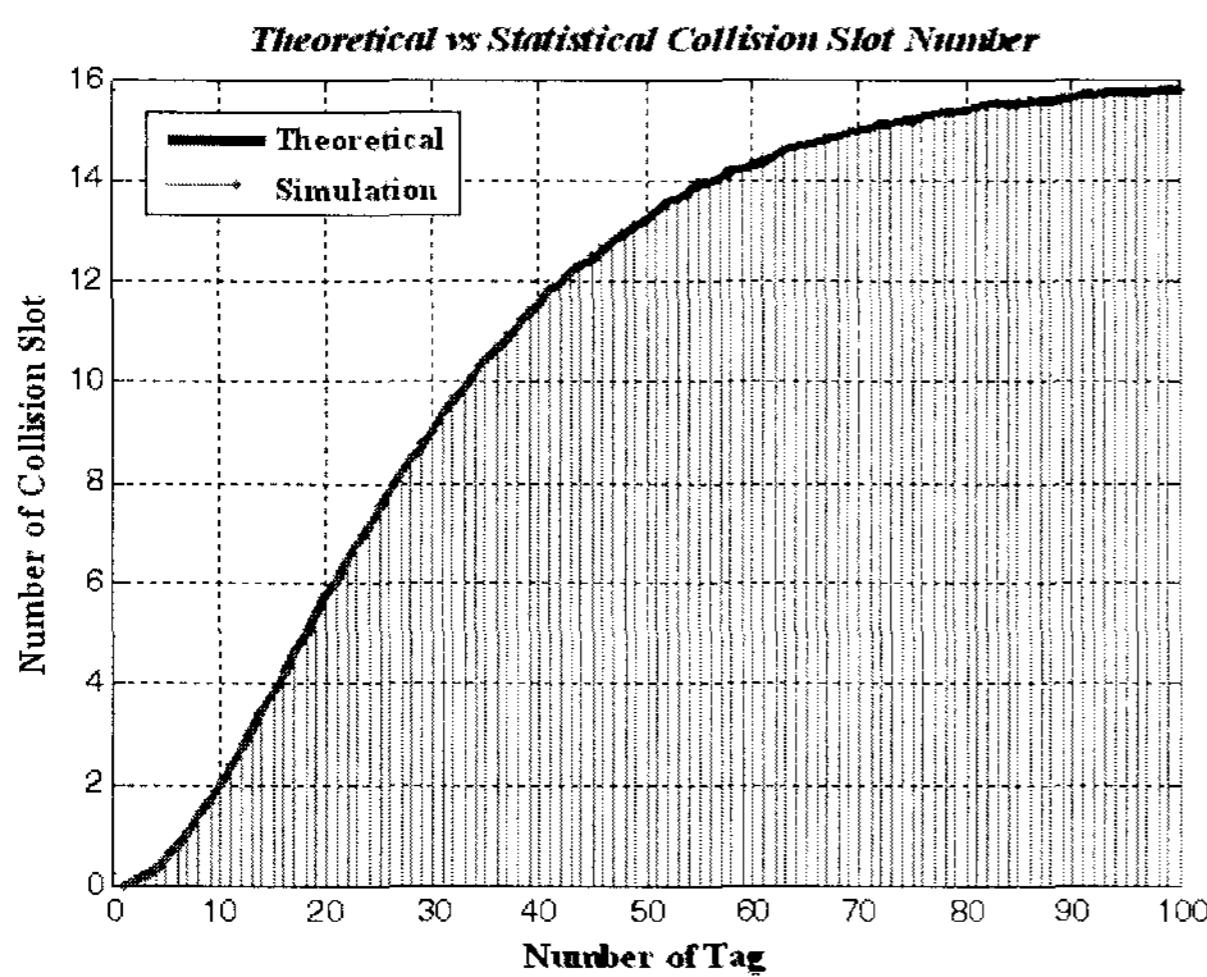


그림 3. 한 Frame 내에서 발생하는 충돌 slot수에 대한 수식 계산 값과 시뮬레이션 결과값 비교

Fig. 3. Comparison of the theoretical and simulation results about the collision slot in one frame.

충돌 slot의 수(S_c)는 다음과 같이 나타낼 수 있고, slot의 개수 ' S '가 16, 태그의 수 ' n '은 1~100개일 때, 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 식 (4)의 계산 값을 비교하여 그림. 3에 나타내었다.

$$\begin{aligned} S_c &= S \times \left\{ 1 - (1-p)^n \cdot \left[\frac{1 + (n-1)p}{1-p} \right] \right\} \\ &= S \times \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{S} \right)^n \cdot \left(1 + \frac{n}{S-1} \right) \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

그림. 3의 결과로 유추할 수 있듯이 할당된 slot 수에 비해 태그의 수가 많을 경우 충돌발생 확률이 상당히 커지므로 Query재전송의 반복 횟수가 늘고 slot사용량이 크게 늘어 시스템의 효율이 저하된다.

III. 제안하는 알고리즘

1. 전력상승기법(Power Increasing Method, PIM)

Gen2 protocol기반 충돌방지 알고리즘은 태그를 모두 인식하기 위해 재전송과정을 반복한다. 이때 리더는 자신의 최대 인식영역까지 Query명령어를 전송하게 되는데, 만약 리더가 자신의 전송전력을 조정하여 그림. 4와 같이 리더의 인식영역을 단계적으로 인식한다면 리더가 한 번에 인식하여야 할 태그의 수가 비교적 줄어들 것이고 이에 따라 태그 충돌발생 확률이 줄어들게 된다.

이러한 알고리즘을 구현하기에 앞서 고려해야 될 사항은 리더의 Query에 한번 응답한 태그는 재전송되는 Query에 일정시간 동안에 다시 응답하지 않는 시스템

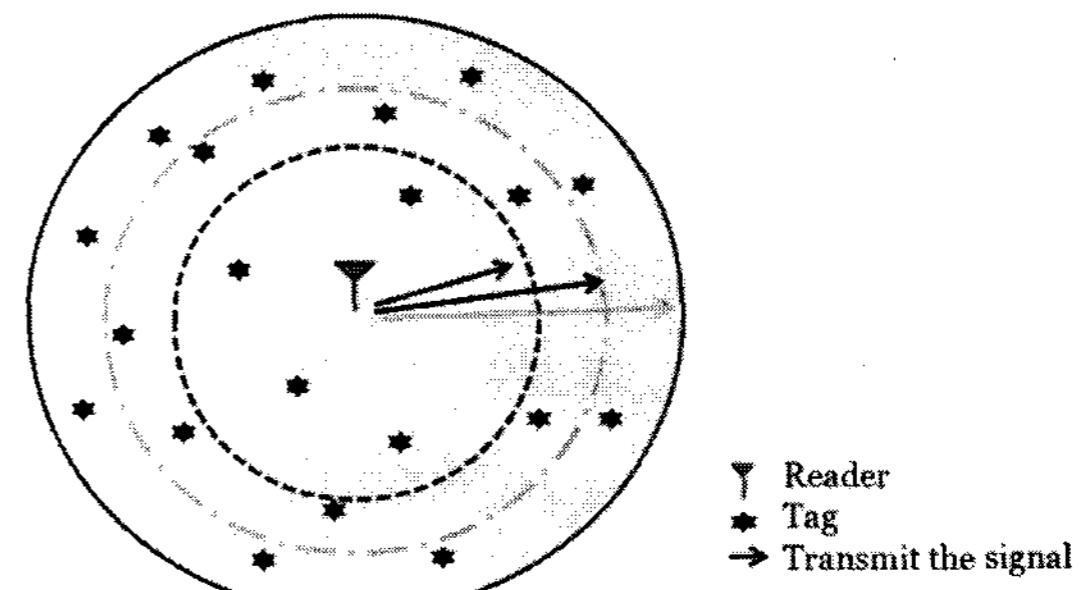


그림 4. 제안하는 알고리즘을 위한 RFID시스템 구조

Fig. 4. RFID system structure for the proposed algorithm.

을 가정하는 것이다. Gen2기반 충돌방지 알고리즘에서 성공적으로 자신의 정보를 전송한 태그의 slot counter 값은 'zero'이고 이후 QueryRep에 의해 '7FFFh'로 변경된다. 또한 리더가 명령어를 전송할 때 초기 Query와 이후의 Query를 TRext(태그 응답신호의 Preamble결정) 등을 이용해 두 종류로 구분하고 이후의 Query에 대해서 '7FFFh'값을 갖는 태그는 새로운 slot counter값을 부여받지 않는다면 다시 slot counter 값이 'zero'가 될 때까지 시간이 상당히 소요될 것이므로 위에서 고려한 가정을 충족시킬 수 있다.

FSA방식을 기본으로 제안하는 전력상승기법을 설명하면, 우선 리더는 그림. 4에 실선으로 나타낸 자신의 최대 인식거리까지 Query를 전송하여 영역내의 태그를 1차적으로 인식한다. 그리고 리더는 전송전력을 감소시켜 첫 번째 영역인 점선영역까지 Query를 재전송하여 남겨진 태그를 인식하고(이때 시스템에서 정해진 slot만큼 frame이 한정됨), 이후 자신의 전송전력을 보다 상승시켜 파선 영역까지 Query를 전송하여 태그를 인식한다. 리더는 위와 같은 방법으로 전력을 단계적으로 상승 시키다가 자신의 최대 전송전력을 사용하여 다시 실선영역까지 Query를 재전송하게 되고 이후 인식영역 내에 인식해야 할 태그가 없을 때까지 실선영역으로 Query를 재전송하는 과정을 반복한다. 전력상승기법이 적용된 시스템의 인식과정을 그림. 4의 환경을 바탕으로 그림. 5에 나타내었고, 이때 리더는 한 번에 인식하여야 할 태그의 수를 줄여 충돌확률을 낮출 수 있다. 제안하는 알고리즘에서 최초에 리더가 최대 전력으로 Query를 전송하는 이유는 리더의 인식영역에 태그의 수가 적은 경우(설정한 slot의 수보다 작은) 제안하는 알고리즘이 오히려 비효율적으로 동작하기 때문이고 그 효과는 태그가 분포되어 있는 정도를 대략적으로 알 수

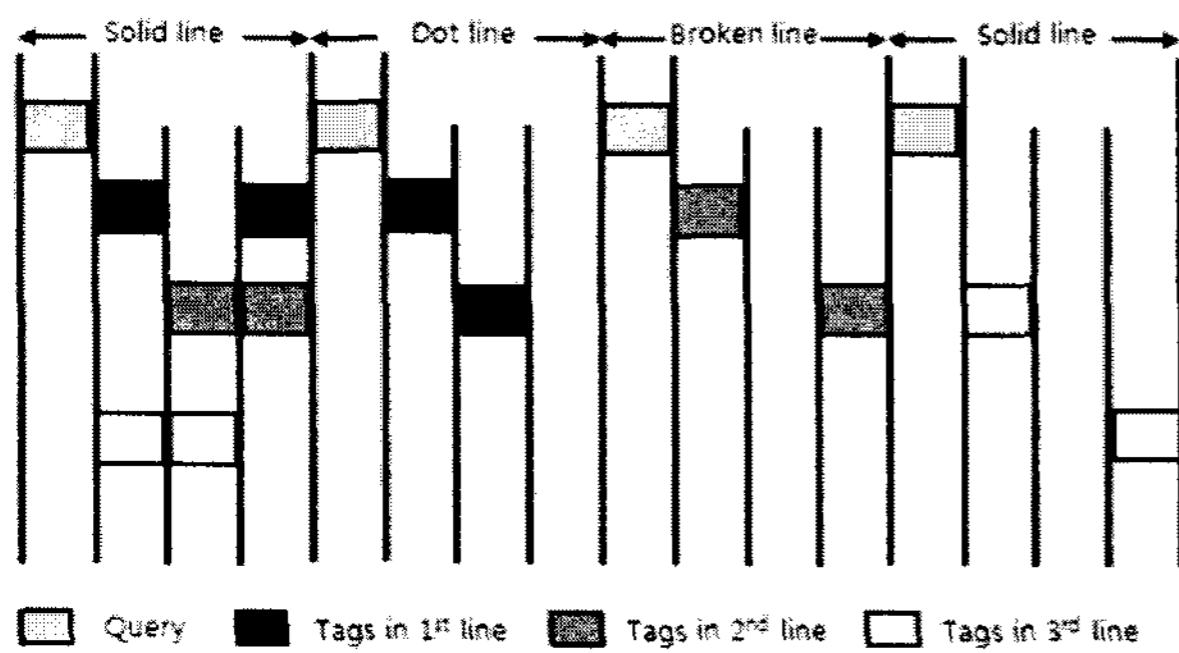


그림 5. 제안하는 알고리즘의 태그 인식과정
Fig. 5. Procedure to detect the tags for the proposed algorithm.

있기 때문이다.

위에서 설명한 알고리즘을 구현하는데 앞서, 현재 국내 UHF대역 RFID 리더는 국내규격에 따라 1W[4W EIRP]의 방사전력을 최대로 사용하며, 현재 RFID시스템은 리더와 태그사이의 인식거리가 길지 않아 주변의 다중경로 손실을 일반적으로 고려하지 않고 있다. 이러한 것을 바탕으로 리더의 태그 인식거리는 다음과 같이 나타낼 수 있다.^[6~7]

$$d_{reader} = \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \left(\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{tmin}} \right)^{1/2} \quad (5)$$

이때 P_{reader} 는 리더의 전송전력, G_{reader} 는 리더 안테나 이득, G_{tag} 는 태그 안테나 이득, P_{tmin} 는 태그 수신감도이고, λ 는 파장이다. 위의 식 (5)를 변형하면 식 (6)과 같이 어떠한 인식거리 d_{reader} 를 갖는 리더의 전송전력을 계산할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 리더의 전송전력을 변화시키는 단계를 일정한 거리에 의한 방법과 일정한 영역에 의한 방법, 2가지로 구분하였고, 각 방법에 대한 전력상승 단계를 6개로 구분하였을 때 리더가 사용해야 할 전력(P_{reader})을 식 (6)을 통해 표. 1에 나타내었다. 이때 표. 2의 조건으로 리더의 최대 인식거리는 식 (5)로 계산되어 6.6m가 되고 거리에 의한 방법은 각

표 1. 전력상승기법 적용을 위한 리더 전송전력[W]
Table 1. Reader transmission power for the PIM.

Steps	By Distance	By Area
Initial	1	1
1	0.027	0.17
2	0.109	0.333
3	0.246	0.51
4	0.438	0.672
5	0.684	0.83
6	1	1

단계를 1.1m로 구분하고, 영역에 의한 방법은 최대인식 영역의 넓이의 각 1/6의 크기를 갖는 6개의 영역으로 나누어 계산하였다.

$$P_{reader} = \left(d_{reader} \cdot \frac{4\pi}{\lambda} \right)^2 \times \left(\frac{P_{tmin}}{G_{reader} G_{tag}} \right) \quad (6)$$

앞서 설명한 기존의 FSA를 적용한 RFID 시스템과 2 가지의 전력상승기법을 적용한 시스템을 수학적으로 표현하고 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교한다. 이때 시스템에서 태그의 수는 ‘n’이고 slot의 개수는 ‘S’로 한다. 먼저 FSA가 적용된 시스템에서 리더가 최초에 Query를 전송할 때 성공적으로 인식될 것으로 기대되는 태그의 수(성공 slot의 수)는 식 (3)에 의해 계산되어 다음과 같고,

$$S_1 = S \times n \left(\frac{1}{S} \right) \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{n-1} \quad (7)$$

이때, 성공 slot에는 1개의 태그만이 삽입되었으므로 인식되지 못하고 남겨진 태그의 수는 ‘n-S₁’이 될 것이다. 이후 리더가 다시 Query를 전송하여 남은 태그를 인식할 때 성공적으로 인식된 태그는 식 (8)과 같이 계산되어 ‘S₂’가 될 것이다. 또한 이러한 과정이 반복되는 것을 식 (9)와 같이 수식으로 전개하면 리더가 자신의 인식영역내의 모든 태그를 식별하는 과정을 표현할 수 있다.

$$S_2 = S \times (n - S_1) \left(\frac{1}{S} \right) \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{(n - S_1) - 1} \quad (8)$$

$$S_3 = S \times (n - S_1 - S_2) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{(n - S_1 - S_2) - 1} \quad (9)$$

$$\vdots \\ S_m = S \times (n - S_1 - S_2 - \cdots - S_{m-1}) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{(n - S_1 - S_2 - \cdots - S_{m-1}) - 1} = 0$$

둘째로, 거리에 의한 전력상승기법을 수식으로 전개하기 위해, 리더가 구분하여 할 인식거리를 r_1, r_2, \dots, r_{max} 라 하면(r_{max} 는 리더의 최대 인식거리) 리더의 최초 Query에 의해 인식된 태그의 수는 식 (7)과 같고, 이후 리더는 전송전력을 낮춰 두 번째 재전송될 Query를 r_1 까지 전송하여 r_1 영역에 남아있는 $(n - S_1) \times (r_1^2 / r_{max}^2)$ 개의 태그를 인식하려고 시도할 것이다. 이때 리더에 의해서 식별될 것

으로 기대되는 태그의 수는 다음과 같다.

$$S_2 = S \times \left((n - S_1) \times \frac{r_1^2}{r_{\max}^2} \right) \times \left(\frac{1}{S} \right) \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ (n - S_1) \times \frac{r_1^2}{r_{\max}^2} - 1 \right\}} \quad (10)$$

또한 세 번째 Query에 의해 인식되어야 할 태그의 수는 r_1 과 r_2 사이에 남겨진 태그 및 r_1 에서 인식되지 못한 태그 수의 합이 되어 식 (11)로 표현될 수 있으며,

$$(n - S_1) \times \frac{r_1^2}{r_{\max}^2} - S_2 + \left[(n - S_1) \times \frac{(r_2^2 - r_1^2)}{r_{\max}^2} \right] = (n - S_1) \times \frac{r_2^2}{r_{\max}^2} - S_2 \quad (11)$$

$$S_3 = S \times \left((n - S_1) \times \frac{r_2^2}{r_{\max}^2} - S_2 \right) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ (n - S_1) \times \frac{r_2^2}{r_{\max}^2} - S_2 - 1 \right\}} \quad (12)$$

세 번째 Query에 의해 인식되어질 태그의 수 ' S_3 '은 확률적으로 식 (12)와 같다. 이러한 과정을 거쳐 리더는 다시 자신의 최대 전송전력을 사용하는 최대 인식거리까지 Query를 전송할 것이고 이때 리더가 인식하게 될 태그의 수는 ' S_l '로 식 (13)과 같이 나타낼 수 있고, 이때까지 리더가 모든 태그를 인식하지 못하였다면 리더는 최대 인식거리로 Query 재전송을 반복하여 최종적으로 식 (14)와 같이 모든 태그를 인식하게 된다.

$$S_l = S \times \left((n - S_1) \times \frac{r_{\max}^2}{r_{\max}^2} - S_2 - \dots - S_{l-1} \right) \times \left(\frac{1}{S} \right) \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ (n - S_1) \times \frac{r_{\max}^2}{r_{\max}^2} - S_2 - \dots - S_{l-1} - 1 \right\}} = S \times (n - S_1 - S_2 - \dots - S_{l-1}) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ (n - S_1 - S_2 - \dots - S_{l-1}) - 1 \right\}} \quad (13)$$

$$S_m = S \times (n - S_1 - S_2 - \dots - S_{m-1}) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ (n - S_1 - S_2 - \dots - S_{m-1}) - 1 \right\}} = 0 \quad (14)$$

셋째로, 리더의 인식영역을 일정한 넓이로 구분하여 전력상승기법을 적용한 시스템을 위와 같은 개념으로 전개하면(이때 P 는 전력상승단계수) 식 (15) ~ (18)로 나타낼 수 있다.

표 2. Slot 사용량 비교

Table 2. Comparison of the slot usage.

Tags	FSA	PIM(Dis)	PIM(Area)
10	48	64	48
20	64	80	80
30	96	112	96
40	144	144	144
50	208	176	192
60	320	240	288

$$S_2 = S \times \left(\frac{n - S_1}{P} \right) \left(\frac{1}{S} \right) \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ \left(\frac{n - S_1}{P} \right) - 1 \right\}} \quad (15)$$

$$\vdots \\ S_l = S \times \left(P \times \left(\frac{n - S_1}{P} \right) - S_2 - \dots - S_{l-1} \right) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ \left(P \times \left(\frac{n - S_1}{P} \right) - S_2 - \dots - S_{l-1} \right) - 1 \right\}} \quad (16)$$

$$\vdots \\ S_m = S \times (n - S_1 - S_2 - \dots - S_{m-1}) \left(\frac{1}{S} \right) \times \left(1 - \frac{1}{S} \right)^{\left\{ (n - S_1 - S_2 - \dots - S_{m-1}) - 1 \right\}} = 0 \quad (17)$$

위에서 설명한 수식을 이용하여 기존의 FSA방식과 전력상승기법이 사용하는 slot의 수를 계산하여 표. 2에 나타내었다. 표. 2에서 알 수 있듯이 태그의 수가 많을 때(약 40개 이상)는 전력상승기법이 slot을 적게 사용하지만, 그 수가 적을 때는 오히려 전력상승기법이 FSA 방식보다 slot을 더 사용함을 알 수 있는데, 그 이유는 태그가 적게 분포된 환경에서 태그가 없는 영역까지도 단계를 나누어 인식하게 되어 slot의 낭비가 발생하기 때문이다.

2. 전력상승기법의 동적 적용

본 절에서는 앞 절에서 설명한 전력상승기법이 적은 수의 태그에서 효율이 떨어지는 단점을 보완하기 위해 리더가 주어진 환경에 효율적인 전력상승기법의 형태를 동적으로 설정하는 방안을 제시한다. 기본적인 개념은 리더의 최초 Query에 대한 응답결과를 통해 인식영역의 상태를 분석하고 그 상황에 최적인 방법을 사용하는 방법이다. 리더가 설정한 slot이 16이고, 전력단계를 1~6단계로 나누었을 때(리더와 태그사이의 최소 거리를 1m로 간주해 6단계까지만 고려하였고, 전력단계가 1일 경우 FSA방식과 동일하게 동작함) 각 형태 및 전력단

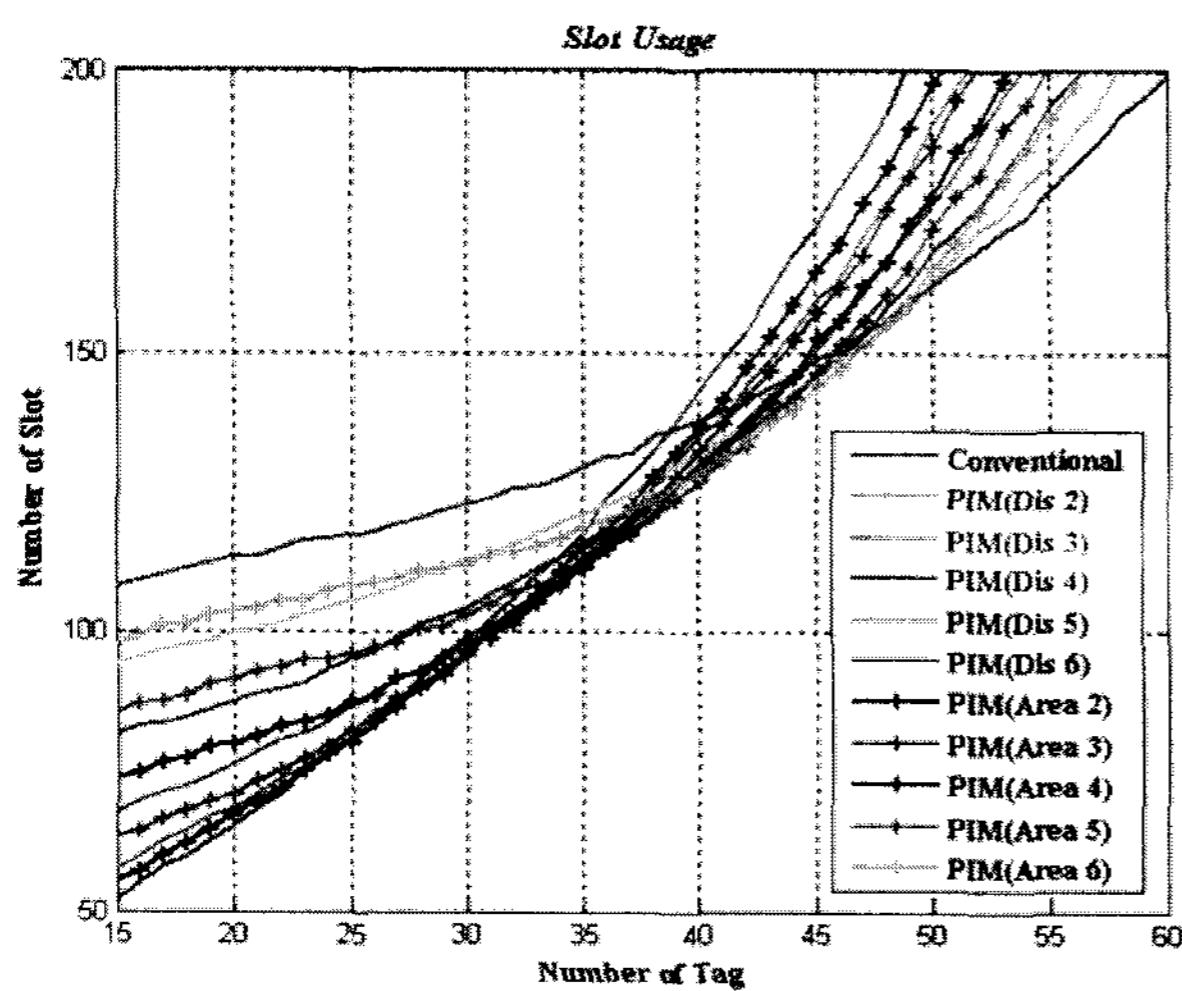


그림 6. 각 전력단계별 slot사용량 비교

Fig. 6. Comparison of slot usage about the different power steps for each methods.

표 3. 전력상승기법의 동적 적용을 위한 경계점

Table 3. Threshold for the dynamic application of the PIM.

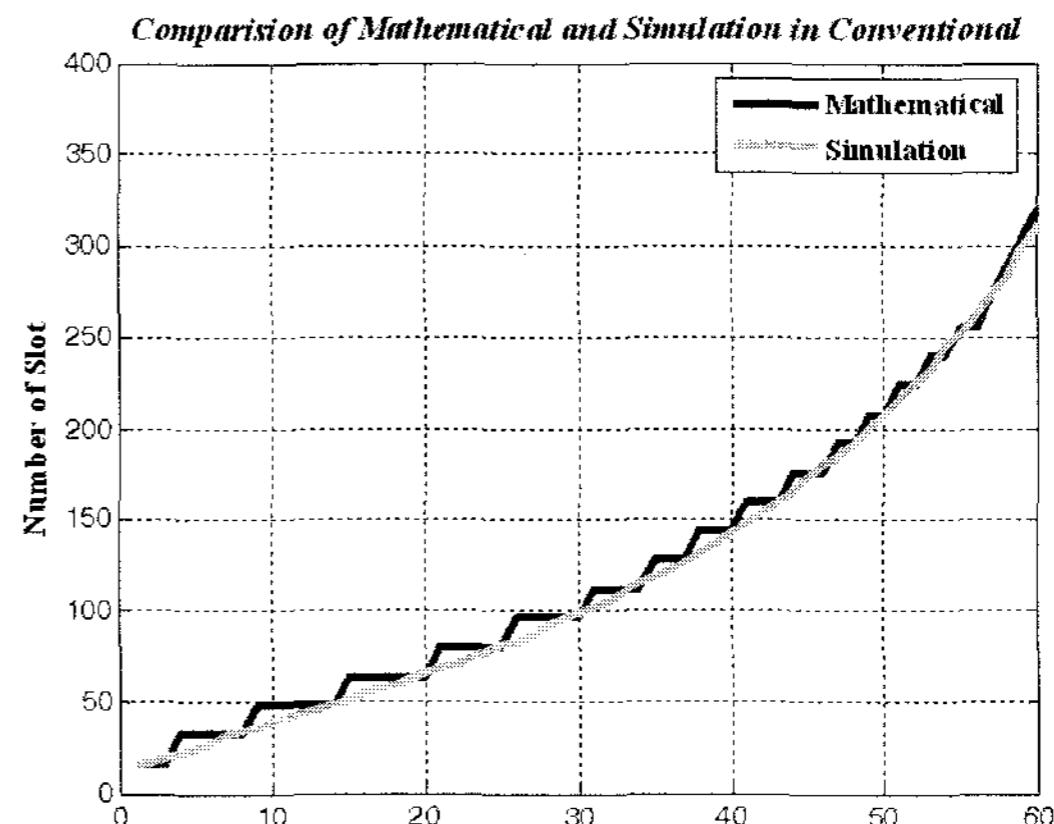
Tags	Power Steps	Collision slot	Threshold
...	1	...	≤ 7
25 ...	Area 2	7.5 ...	> 7
28 ...	Area 3	8.4 ...	> 8
31 ...	Area 4	9.4 ...	> 9
38 ...	Area 5	11.13 ...	> 11
43 ...	Area 6	12.14 ...	> 12
48 ...	Dis. 6	12.9 ...	> 13

계별 리더가 사용하는 slot의 수를 그림. 6에 나타내었고, 그림. 6의 결과를 바탕으로 리더가 전력상승기법을 주어진 환경에 동적으로 적용하기 위한 경계점을 표. 3에 나타내었다. 이때 리더는 어떤 형태의 전력상승기법을 적용할 것인지 충돌 slot수를 기준으로 결정하는데 이는 리더가 정확히 인지할 수 있는 정보가 slot의 상태이기 때문이다.

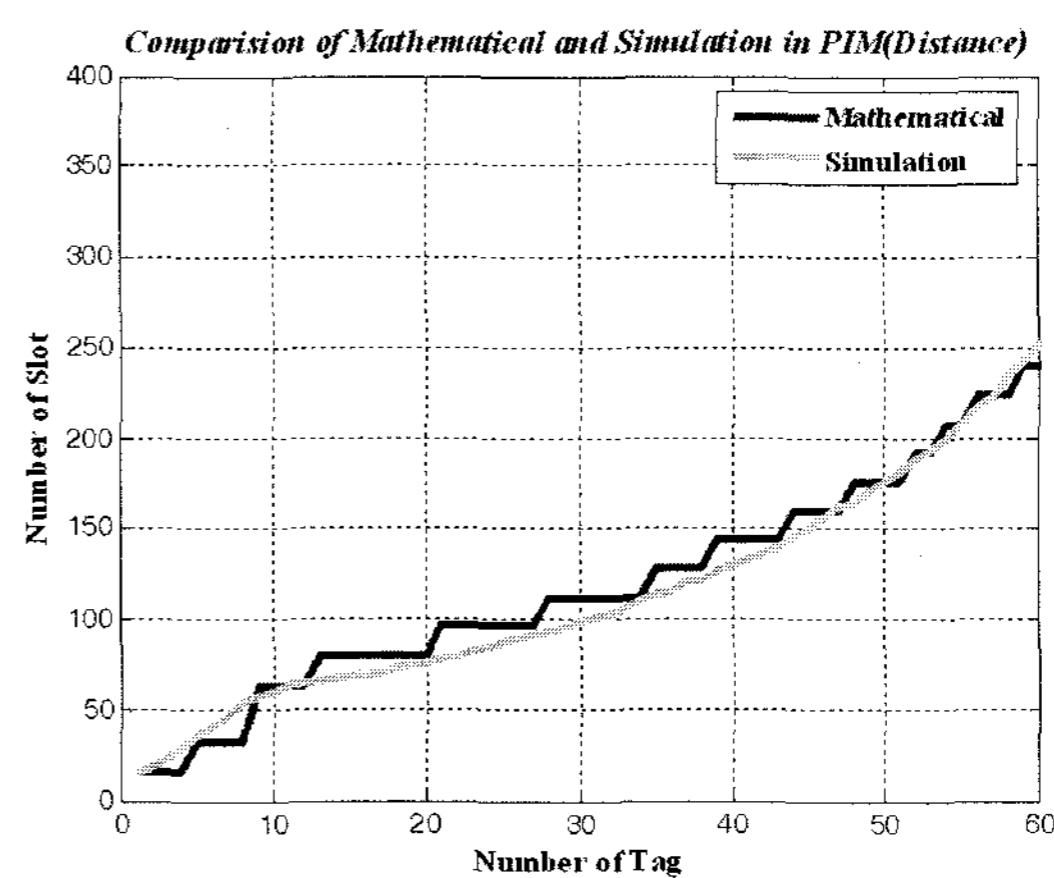
이렇게 리더가 동적으로 전력상승기법을 적용하는 방법을 예를 들어 설명하면, 리더가 초기 Query로 태그를 인식한 후 분석한 충돌 slot의 수가 10개라고 할 때 리더는 표. 3의 경계점을 기준으로 전력단계가 4인 영역에 의한 전력상승기법을 시스템에 적용하여 동작하면 된다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 분석

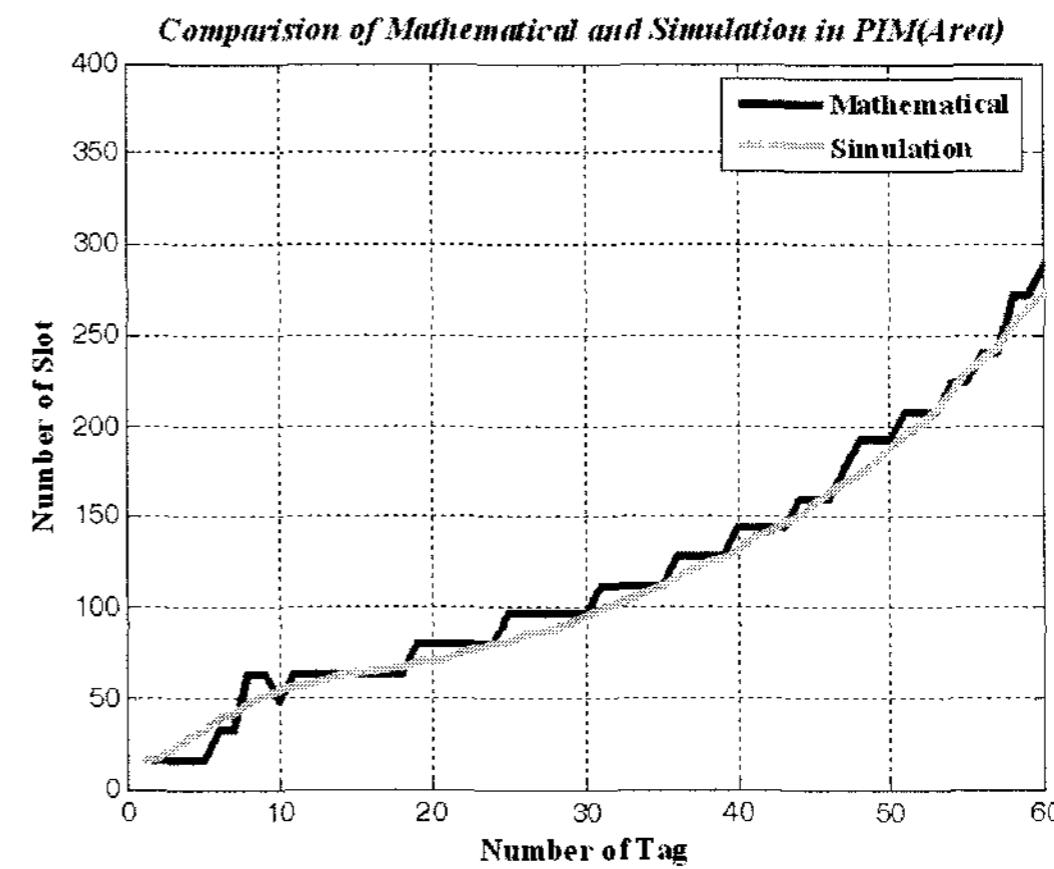
본 논문에서 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 표. 4에 제시한 파라미터들을 사용하여 컴퓨터 시뮬레



(a) 기존의 FSA만 적용된 RFID 시스템



(b) 거리에 의한 전력상승기법이 적용된 RFID 시스템



(c) 영역에 의한 전력상승기법이 적용된 RFID 시스템

그림 7. 각 알고리즘의 slot사용량에 대한 수식 전개 값과 시뮬레이션 결과 비교

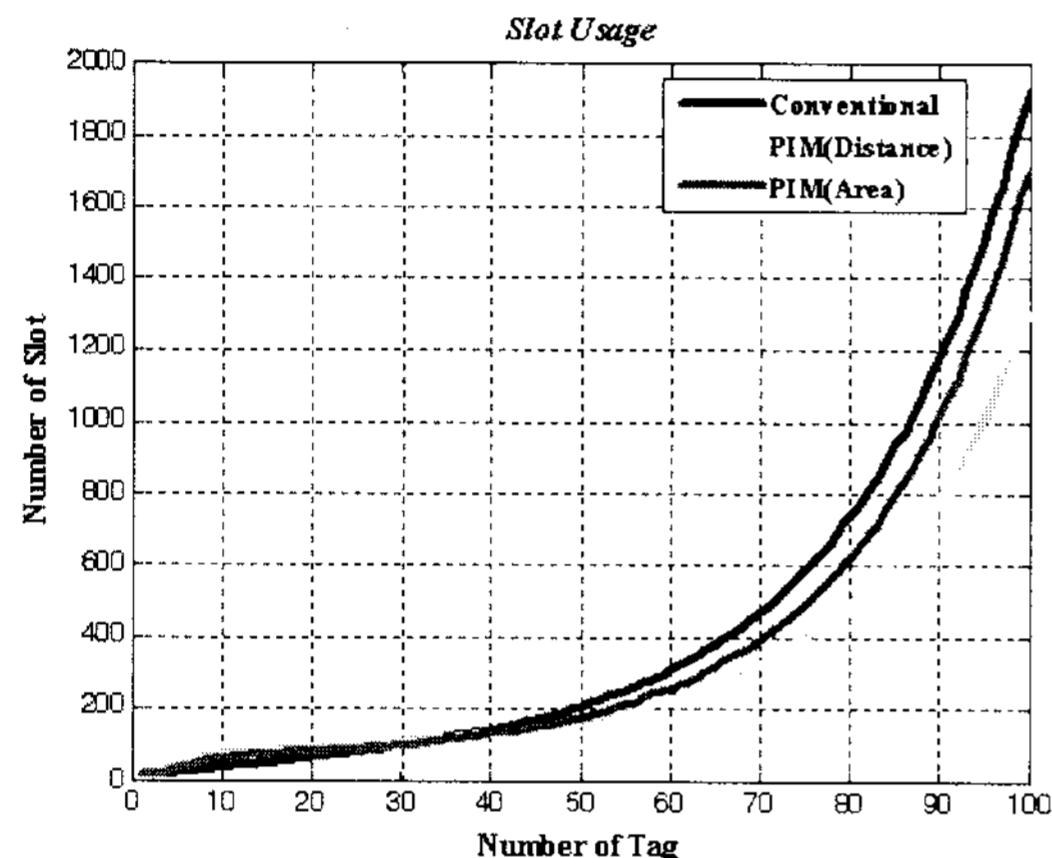
Fig. 7. Comparison of the slot usage of the mathematical calculation and the simulation about the FSA and each types of the PIM.

이션을 구현하였다. 우선 앞에서 수식으로 알고리즘을 전개한 결과 및 시뮬레이션 결과를 그림. 7에 나타내었다. 이때 두 결과 값이 차이를 갖는데 그 이유는 slot의 수는

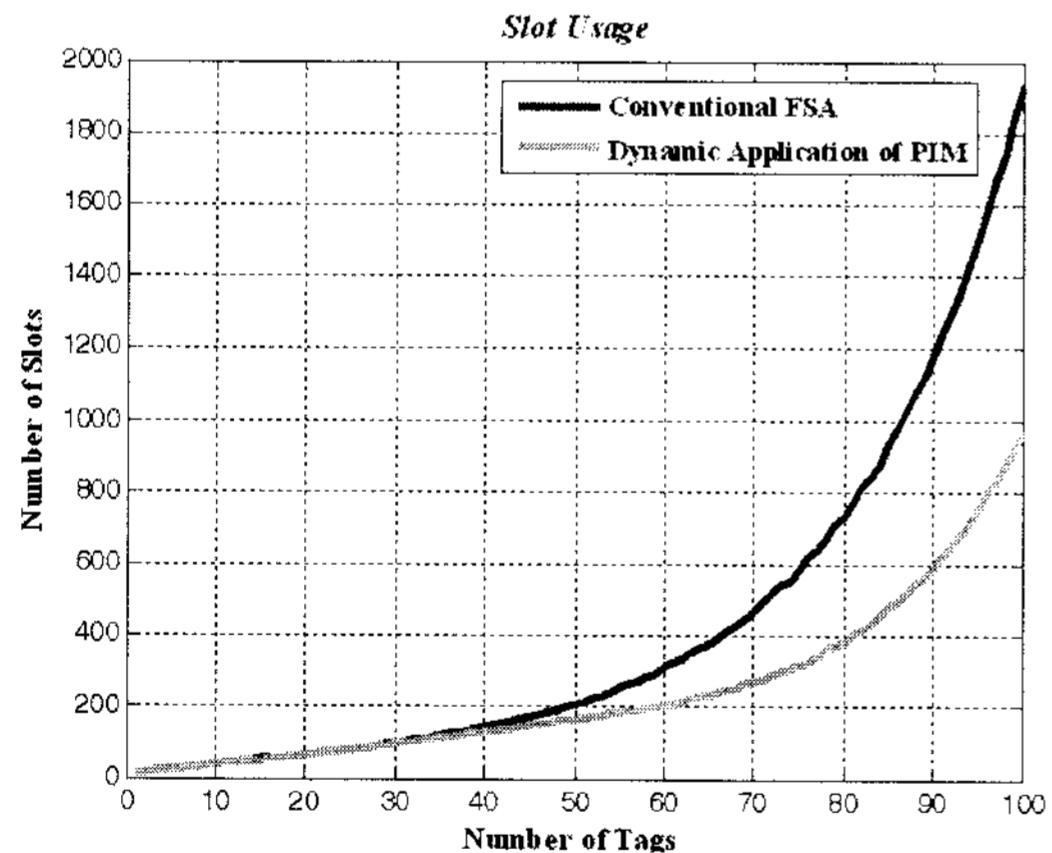
표 4. 시뮬레이션 파라미터

Table 4. Parameter for the simulation.

Parameters	Values
Frequency	910MHz
Reader Transmission Power	1W(Maximum)
Reader Antenna Gain	6 dBi
Tag Antenna Gain	2 dBi
Tag Receiving Sensitivity	0.1 mW
The number of tags	1~100
Assigned slot	16



(a) 전력상승기법이 적용된 시스템의 총 slot사용량 비교



(b) 전력상승기법을 동적 적용한 시스템의 slot사용량 비교

그림 8. 기존의 FSA와 전력상승기법의 slot사용량 비교
Fig. 8. Comparison of the slot usage about the FSA and the PIM.

자연수인데 수식결과는 확률적인 평균으로 자연수가 아닌 값으로 계산되기 때문이다.

둘째, 전력상승기법의 성능을 분석하기 위해 그림. 8(a)에 2가지 형태의 전력상승기법(전력단계 3)의 총 slot 사용량을, 그림. 8(b)에 전력상승기법을 동적으로 적용했을 때의 총 slot 사용량을 나타내었다. 앞의 III. 1 절의 표. 2를 통해 설명하였듯이 2가지 전력상승기법은

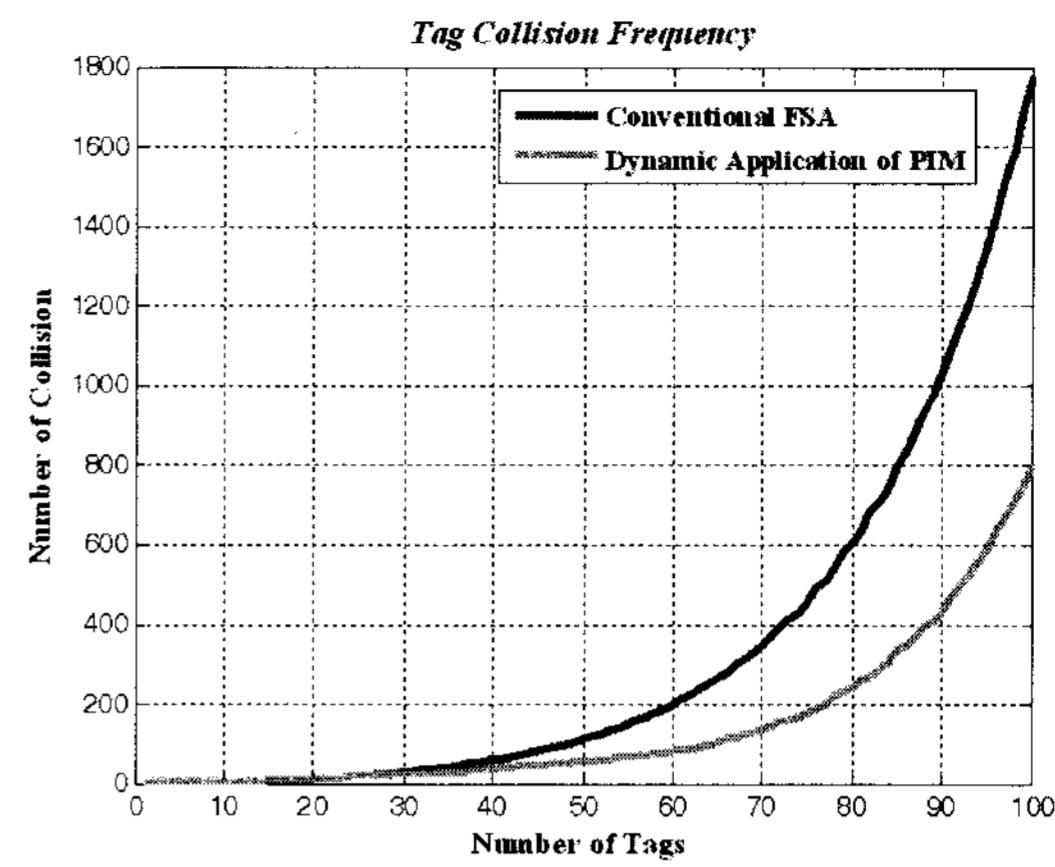


그림 9. 기존의 FSA방법과 전력상승기법을 동적 적용한 시스템의 충돌빈도 비교

Fig. 9. Comparison of collision frequency about the FSA and the dynamic application of the PIM.

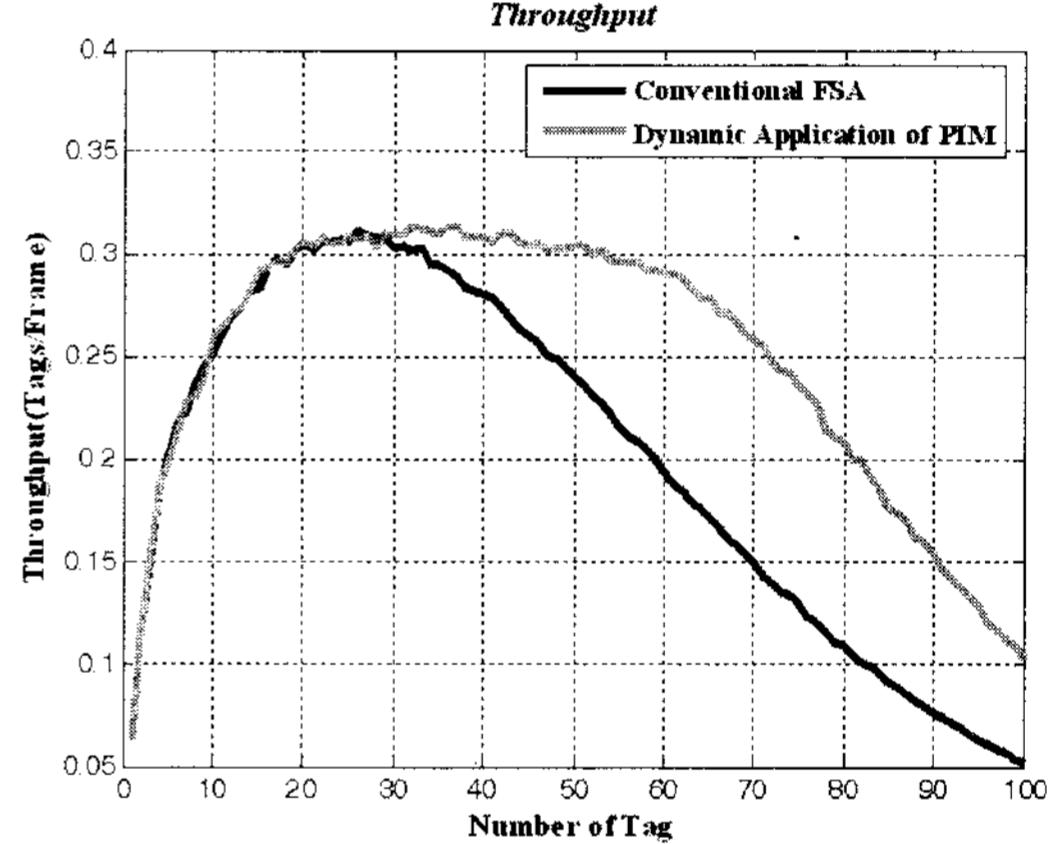


그림 10. 기존의 FSA방법과 전력상승기법을 동적 적용한 시스템의 처리율 비교

Fig. 10. Comparison of the throughput about the FSA and the dynamic application of the PIM.

태그의 수가 많은 경우(35개 이상) 기존의 FSA방식보다 효율이 좋지만, 적은 경우는 기존방식보다 slot을 많이 사용하게 됨을 그림. 8(a)를 통해 확인 할 수 있다. 하지만 그림. 8(b)의 결과와 같이 전력상승기법을 주어진 환경에 동적으로 적용한다면 기존의 FSA방식보다 총 slot 사용량을 전반적으로 줄일 수 있으며, 특히 시뮬레이션 결과에 의해 80개의 태그가 존재하는 환경에서 약 50% 이상의 slot 낭비를 막을 수 있다.

셋째, 전력상승기법을 동적으로 적용한 시스템에서 발생하는 태그충돌 빈도를 FSA방식과 비교하여 그림. 9에 나타내었다. 이때 약 90개의 태그가 산재된 환경에서 전력상승기법이 적용된 시스템은 기존의 FSA방식에 비해 약 60% 이상의 태그충돌을 방지하여 시스템 효율을 높일 수 있다.

끝으로, 처리율(Throughput)로 표현되는 전체 시스템의 효율에 대해 각각의 경우를 고려하여 그림. 10에 나타내었고, 이때 처리율은 식 (18)과 같이 정의할 수 있다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 전력상승기법이 동적으로 적용된 시스템은 태그의 개수가 약 70개일 때 FSA방법이 적용된 시스템보다 최대 약 11%까지 전체 시스템의 성능(처리율)을 향상시킬 수 있으며, 위의 시뮬레이션 결과들을 통해 전력상승기법이 RFID시스템에 효과적인 태그의 다중접속방안을 제시해 주며 시스템의 효율을 보다 향상시킬 수 있음을 검증하였다.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Number of recognized Tags}}{\text{Number of used Slots}} \quad (18)$$

V. 결 론

본 논문에서는 리더가 Query를 전송할 때 사용하는 전력을 단계적으로 변경시켜 태그 충돌확률을 낮추고 전체 시스템의 효율을 향상시킬 수 있는 전력상승기법을 제안하였다. 최종 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 방법이 RFID시스템의 Slot사용량을 줄이고 태그 충돌 확률을 낮춰 전체 시스템의 효율을 최대 11%까지 높일 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 태그의 수가 다량인 유통·물류분야에 적용되는 UHF대역 RFID시스템에 보다 효율적인 방안을 제시할 것으로 기대된다. 또한, 현재 UHF대역 RFID기술은 인식거리가 길지 않아서 다중경로 손실 등의 영향을 고려하지 않고 있는데, 리더의 인식거리가 길어짐에 따라 이러한 영향들까지 고려하는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

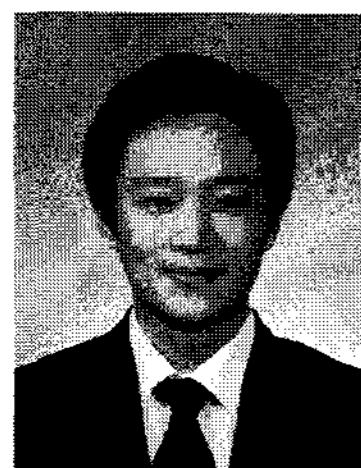
참 고 문 헌

- [1] EPCglobal : EPCTM Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860MHz to 960MHz Version 1.0.9(2005)
- [2] Giuseppe De V., Giuseppe I., "Design criteria for the RF section of UHF and microwave passive RFID Transponders", IEEE Transaction MTAT, Vol. 53, pp. 2978-2990, 2005.
- [3] Frits C. Schoute., "Control of ALOHA Signaling in a Mobile Radio Trucking Systems. In International Conference on Radio Spectrum Conservation Techniques", IEE, pp. 38-42, 1980.
- [4] Frits C. Schoute, "Dynamic Frame Length ALOHA", IEEE Transactions on Communications,

COM31(4), pp.565-568, April, 1983.

- [5] 차재룡, 김재현, "RFID 시스템에서의 태그 수를 추정하는 ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘", 한국통신학회논문지, 제 30권 9A호, pp. 814-821, September, 2005.
- [6] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook 2nd Edition.", Wiley, pp. 111-145, 2003.
- [7] 윤병태, 김영진, 이성수, 김영일, "모바일 RFID의 인식거리", 한국전자파학회 전자파기술 제 16권 3호, pp. 61-66, July, 2005.

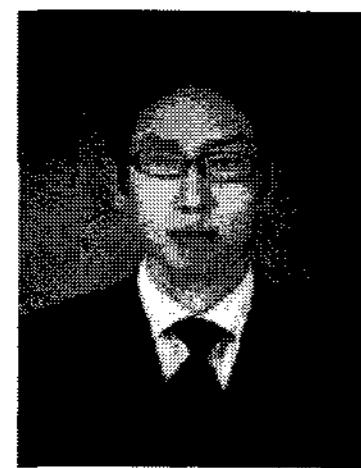
저자소개



임 유 석(학생회원)
 2004년 인하대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2007년~현재 인하대학교 정보
 통신대학원 석사 과정.
 <주관심분야 : RFID/USN, UWB
 무선인증기술>



황 재 호(학생회원)
 2006년 인하대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2008년 인하대학교 정보통신
 대학원 석사 졸업.
 2008년~현재 인하대학교 정보
 통신대학원 박사 과정.
 <주관심분야 : UWB, 무선인증기술, 통신공학>



손 성 환(학생회원)
 2004년 인하대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2006년 인하대학교 정보통신
 대학원 석사 졸업.
 2006년~현재 인하대학교 정보
 통신대학원 박사 과정.
 <주관심분야 : 무선인증기술, 이동통신, OFDM>



김 재 명(평생회원)
 1974년 한양대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1981년 미국 남가주대학교(USC)
 전기공학과 석사 졸업.
 1987년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업.
 1974년 3월~1979년 6월 한국과학기술연구소,
 한국통신기술연구소 근무.
 1982년 9월~2003년 3월 한국전자통신연구원
 위성통신연구단장,
 무선방송연구소 소장역임.
 2003년 4월~현재 인하대학교 정보통신대학원
 정교수, 통신위성우주산업연구회 회장 외
 정부·다수기업에 기술자문으로 활동 중.
 <주관심분야 : 광대역 무선전송, 이동통신 및 위
 성통신, 무선인증기술 및 UWB>