

13.56MHz RFID 시스템의 모드별 인식속도 비교

준회원 제 영 대*, 종신회원 양 훈 기**, 정회원 양 성 현***, 권 성 호****, 최 길 영****

Reading Speed Comparison between Operating Modes of a 13.56 MHz RFID System

Young-Dai Je* Associate Member,

Hoon-Gee Yang** Lifelong Member,

Sunghyun Yang***, Cheng-Hao Quan****, Gil-Young Choi**** Regular Members

요 약

본 논문은 13.56MHz 대역 RFID 시스템의 국제표준으로 되어 있는 ISO 18000-3의 전송 모드인 ASK 모드와 PJM 모드의 인식속도를 분석하고 시뮬레이션에 의해 검증한다. 이를 위해 태그 개수에 연동하여 Q값을 설정하는 최적의 Q-알고리즘을 적용시키며 이에 근거한 리더 태그 간 통신을 통해서 주워진 태그 개수에 따라서 이들을 읽는데 소요되는 슬롯 개수를 수학적으로 유도한다. 특히 유도된 이론적 수식을 적용시켜 멀티채널을 사용하는 PJM 모드와 ASK 모드의 속도를 비교하며 각각의 모드 동작을 시뮬레이션 하여 이론적인 비교 결과의 타당성을 검증한다.

Key Words : RFID, ISO-18000-3, PJM-Mode, ASK-Mode, Q-Algorithm

ABSTRACT

This paper presents the theoretical tag-reading speed in the ASK and the PJM mode of a 13.56MHz RFID system which have been adopted in the international standard ISO 18000-3, along with simulation results to support the mathematical analysis. Through the analysis using the number of tag-dependent Q-algorithm, which was known to give relatively fast reading speed, we not only derive the number of slots to read out given tags, but compare the reading speeds of the ASK with that of the PJM mode. Moreover, we present the numerical comparison of two modes which bring the equivalent results as in the theoretical one.

I. 서 론

RFID(radio frequency identification) 기술은 유비쿼터스 환경 구현에 있어 핵심기술로 부각되고 있다. 지난 몇 년간 요소기술에서 시스템기술, 실증 실험을 통한 다양한 실 환경 적용기술로 개발되어지면서 여러 산업분야에 도입되고 있다. 태그의 크

기가 더 작아지고 가격이 더 싸지고 다량의 개별물품 인식까지 가능해지면 유통, 물류뿐 만 아니라 의료, 교통, 환경, 국방 등 다양한 산업과 일상생활에서 일대 혁명을 가져다 줄 것으로 전망된다.

RFID 기술은 라디오 주파수 신호를 사용하여 물품에 부착된 태그를 식별하는 비접촉식 기술로서 응용분야가 무궁무진하다. 응용에 따라 RFID 시스

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과(IITA-2009-C1090-0902-0038) 및 2008년 연구년 결과로 수행되었음”

* 광운대학교 전파공학과 석사과정 (shine702@nate.com), ** 광운대학교 전파공학과 교수 (hgyang@kw.ac.kr),

*** 광운대학교 정보과학교육원 교수 (shyang@kw.ac.kr), ****한국전자통신연구원(chquan, cspyo}@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2008-10-478, 접수일자 : 2008년 10월 29일, 최종논문접수일자 : 2009년 6월 15일

템에 대한 요구사항은 차이가 있으나 리더 당 수백 개 태그를 식별해야하고, 수백 개 리더가 동작하기를 원한다. 또한 이러한 기술은 적용대상이 팔레트, 케이스를 넘어 개별물품 단위(Item Level)로 확장되면서 고속, 다량 태그 인식을 필요로 한다.

RFID 시스템에서 인식률 및 인식속도 향상을 위해서는 리더 충돌(reader collision) 및 태그 충돌(tag collision)을 회피하는 기술이 반드시 요구된다^[1]. 리더 충돌에는 리더들이 서로 동일한 주파수를 이용하여 태그를 인식할 때 발생하는 주파수 간섭과 두 개 이상의 리더가 태그를 동시에 읽으려는 시도에 의해 발생하는 태그 간섭이 있다^{[2][3]}. 주파수 간섭을 완화하기 위해 LBT(listen before talk) 나 Gen2 Dense 모드 방식이 제안되었으며 태그 간섭을 회피하기 위해 DCS와 colorwave 방법 등이 제안되었다^{[4]-[6]}.

태그 충돌이란 다수의 태그가 리더의 명령에 동시에 응답함으로써 태그가 전송한 신호 간에 충돌이 발생하는 것을 말하며, 태그 충돌을 회피하기 위한 방법으로는 트리 기반의 결정적(deterministic) 알고리즘과 슬롯 알로하 기반의 확률적(probability) 알고리즘으로 구분할 수 있으며, 전자의 대표적인 알고리즘으로 분할 트리(splitting tree) 알고리즘^[3], 비트-중재(bit-arbitration) 알고리즘^[4], 트리-워킹(tree-walking) 알고리즘^[5], 쿼리 트리(query tree) 알고리즘^[6]과 메모리래스형 충돌 추적 트리(collision tracking tree) 알고리즘^[7]을 들 수 있다. 후자의 대표적인 알고리즘은 I-Code 알고리즘^[8], STAC(slotted terminating adaptive collection) 알고리즘^[9], Bit-Slot 메커니즘을 사용하는 충돌방지 알고리즘^[10] 등이 있다. 또한 이들 기법을 기반으로 해서 태그 충돌 회피를 위한 다양한 프로토콜이 국제 표준으로 지정되었다^{[2][7][9]}.

개별물품 단위 적용을 위한 ILT(item level tagging) RFID 기술 개발이 이루어짐에 따라 HF 대역 RFID 기술이 다시 주목을 받고 있으며 UHF 대역 Gen2 프로토콜의 장점을 수용하는 새로운 HF Gen2 프로토콜에 대한 작업이 이루어지고 있다. 특히 다량, 다품종의 태그를 충돌 없이 고속으로 인식하기 위해 8채널을 사용하는 PJM(phase jitter modulation) 모드가 추가되었다. 현재 ISO/IEC 18000-3 모드 1, 모드 2 표준화가 완료 되었으며, 유통물류 분야에서 진행 중이다^[11].

본 논문은 HF 대역 국제표준으로 진행되고 있는 ISO/IEC 18000-3의 기존 ASK(amplitude shift

keying) 모드와 새로운 PJM 모드의 인식속도를 비교, 분석하고 시뮬레이션을 통해 이를 검증한다. 우선, 태그개수에 연동하여 Q 값을 설정하는 최적의 Q 알고리즘을 적용시켜 태그 인식에 소요되는 전체 슬롯개수를 수학적으로 유도하고 프로토콜에 따른 각 슬롯의 시간을 계산하여, 전체 태그 인식에 소요되는 시간을 산출한다^[12]. 유도된 수식을 이용하여 멀티채널을 사용하는 PJM 모드와 기존 ASK 모드의 인식속도를 비교, 분석하고 시뮬레이션을 통해 이를 검증한다.

II장에서는 ASK 모드 및 PJM 모드의 통신 흐름과 프레임 구성을 설명하고, III장에서는 이론적 분석을 위해서 RFID에서의 슬롯을 정의하였다. IV장에서는 주어진 태그를 읽는데 요구되는 슬롯 개수를 이론적으로 유도하였고 V장에서는 시뮬레이션을 통해서 이론적 결과에 대한 검증을 하며 VI장에서 결론을 맺는다.

II. ASK 및 PJM 모드

ASK 모드에서 리더와 태그 간 통신 프로토콜에 근거한 동작과정은 아래의 그림 1과 같다. 그림 1 a)는 RFID 필드에서 리더 명령에 대해 하나의 태그가 응답 하여 태그의 EPC 코드 값을 리더가 읽는 과정이다. 리더는 Select 명령을 방사하여 읽고자 하는 범위의 태그들을 인식 준비 상태로 만들며 T4초 이내에 Q 값이 포함된 Query 명령을 방사한다. 인식 준비가 된 태그는 Query명령에 대한 응답으로 $0 \sim 2^Q - 1$ 의 범위 안의 슬롯카운터 값을 설정하게 된다. QueryRep 명령을 받을 때마다 태그는 슬롯 카운터 값을 계속 감소시키며 슬롯 카운터 값이 '0'으로 된 태그는 T1초 이내에 리더에게 RN16 값을 백스캐터링(backscattering)하여 응답한 후 T2

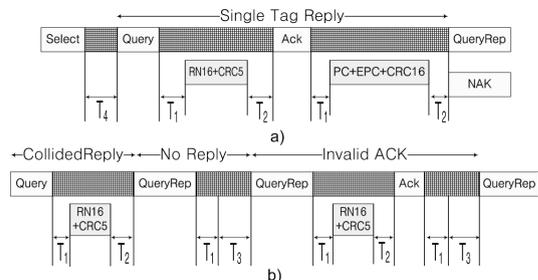


그림 1. ASK 모드 타이밍도, a)단일 태그 응답 동작과정 b) 충돌과 무응답 동작이 포함된 동작과정
Fig 1. ASK-mode timing diagram, a)single tag reply process b)collision and no-reply process

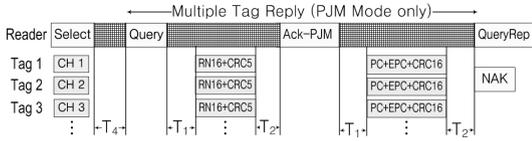


그림 2. PJM 모드 타이밍도
Fig 2. PJM-mode timing diagram

초 안에 리더에게 ACK 명령을 받는다. 그러면 태그는 다시 T1초 안에 PC, EPC, CRC-16을 리더에게 백스캐터링한다. 만약 태그에게 받은 신호가 정확하면 인식 범위 내의 태그들의 슬롯 카운터 값을 줄이기 위해, 다시 말해 다른 태그들을 인식하기 위해 T2초 이내에 QueryRep 명령을 방사하지만 정확하지 않은 신호라면 NAK 명령을 방사함으로 써 태그를 재인식 하게 된다. 다른 상황으로 그림 1의 b)에서는 QueryRep 명령어 전송 후, T1초 이내에 리더에게 응답하는 태그가 없으면 리더는 무응답 상황이라 인지하고 T3초가 지나기 전에 QueryRep 명령어를 이용하여 태그의 슬롯 카운터 값을 1씩 감소시켜 태그의 응답을 기다린다. 슬롯카운터 값이 '0'이 되는 태그가 발생하면 그림 a)에서 설명한 것과 동일하게 태그는 RN16 값을 백스캐터링 한다. 이후 동작은 그림 1 (a)의 하나의 태그 응답의 경우와 동일하다.

그림 2는 PJM 모드에서 리더와 태그 간 통신 프로토콜에 근거한 동작과정을 나타낸 것이다. 기본적인 인벤토리 라운드(inventory round) 과정에서는 ASK 모드와 크게 다른 점이 없으며, 리더 명령어들의 기능 및 태그의 응답 역시 동일하다. PJM 모드는 8개의 다중 채널을 이용하여 병렬적으로 8개의 태그를 동시에 인식 할 수 있다는 점이 ASK모드와의 가장 큰 차이점이다. 즉 R=>T(reader to tag) 통신에서는 리더가 하나의 주파수를 이용하여 명령어를 태그들에게 방사하고, T=>R(tag to reader) 통신에서는 태그가 8개의 응답 주파수 중 하나를 랜덤하게 선택하여 리더에게 병렬적으로 동시에 응답하는 것이다. 그러므로 T=>R 응답 프레임 구조 자체가 달라야 한다. 즉, 태그들이 동시에 여러 채널에서 리더의 명령어에 응답하는 경우 하나 이상의 태그 응답에 ACK를 보내야 하므로 ACK 구간의 길이가 고정되어 있지 않다.

III. 슬롯의 정의

다중접속(multiple access) 방법으로 기존의 네트

워크 프로토콜인 FSA(frame slotted aloha) 방식을 생각해 보자. FSA에서는 각각의 송신기가 프레임내 자신의 슬롯을 정해서 매 프레임마다 자신에게 할당된 슬롯에서만 전송을 하도록 되어 있으며 FSA에서는 송신기 상호간에는 동기가 맞추어져 있고 슬롯의 크기는 일정하다. 그림 1과 2에 제시된 리더와 태그 간 통신과정을 FSA 방식과 연관 지어 보자.

리더와 태그 간 통신과정은 리더 명령에 의해서 여러 태그가 응답하는 과정으로 되어 있다. 여기서 리더는 하나이고 태그는 다수이므로 리더가 태그에게 송신하는 구간은 다중접속 과정이 아니지만 태그가 리더에게 응답하는 구간은 다중 접속 과정이 된다. 리더가 각각의 태그 들을 제어할 수 없으므로 태그는 채널에 대해 랜덤 액세스를 시도하게 된다. 더욱이 리더 명령의 유도에 의해 각 태그가 응답하게 되므로 채널 액세스 시도 시 태그 시간 동기가 저절로 이루어져 태그는 FSA 방식에서의 랜덤 액세스와 동일하다. 리더가 태그에게 주는 명령 시간이 태그가 리더에게 응답하는 시간에 포함되어 있다고 생각하면 RFID 리더 태그 간 통신 과정은 FSA와 동일해진다. 리더 태그 간 통신 과정을 기존의 FSA 방식으로 생각할 때 슬롯의 크기가 어떻게 정해지는지 생각해 보자.

태그가 리더 명령에 응답하는 경우의 수는 리더 명령에 대해 태그가 RN16을 보내는 경우, 슬롯카운터 값이 '0'이 된 태그가 없어 무응답인 경우, 두 개 이상의 태그가 슬롯 카운터 값이 0이 되어 RN16을 보내다 충돌이 난 경우, 리더의 ACK에 대한 응답으로 태그가 EPC 코드를 보내는 경우, 총 4 가지 경우가 있을 수 있다. 리더가 태그에게 보내는 명령은 동기 맞추는 역할만 하고 다중 액세스 과정도 아니지만 시간은 소모되므로 태그가 리더에게 보내는 통신 과정에 포함시켜서 한 슬롯으로 정의할 수 있다. 리더 명령에 대해 RN16을 보낸 태그응답은 리더로 부터 ACK를 받은 후 이에 대한 응답으로 EPC를 보낸 태그 응답과 합쳐져야 한다. 왜냐하면 FSA 방식에서 송신기는 랜덤하게 슬롯을 액세스하게 되어 있는데 RN16을 보낸 슬롯 다음에는 반드시 EPC를 보내는 슬롯이 따라오므로 랜덤 액세스 규칙에 위배된다. 다른 관점으로 보면 RN16을 리더로 송신하는 슬롯 바로 다음에는 어떤 태그도 슬롯을 점유할 시도를 할 수 없고 RN16을 보낸 태그만 다음 슬롯을 차지하게 되기 때문에 랜덤 액세스 과정 원칙에 위배된다. 그러므로 ASK 모드의 경우는 그림 3과 같이 세 종류의 슬롯이 존재하며

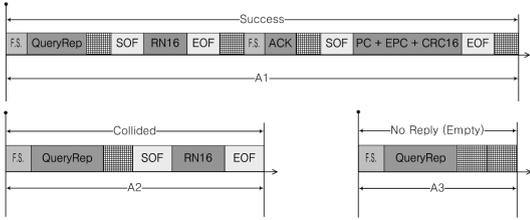


그림 3. ASK 모드에서의 슬롯 구조
Fig 3. Slot structure of ASK-mode

각 슬롯의 크기는 동일하지 않다.

그림 3에 제시된 각 슬롯의 크기는 각 명령어 비트수, 프리앰블 비트수, 데이터 비트율 및 linking time에서 정의한 타이밍 규정에 따라 변하며 그림 3의 슬롯길이 A1, A2, A3 값은 VI절 시물레이션에서 구체적으로 제시한다.

PJM 모드의 경우도 그림 4와 같이 3 종류의 슬롯이 존재하며 각 슬롯의 크기는 동일하지 않다. PJM 모드의 경우 슬롯은 ASK 모드에서 프리앰블이나 프레임싱크 대신에 MFM 플래그를 사용하는 점 외에도 PJM 모드의 경우 다른 채널을 사용하면서 RN16을 보낸 태그가 두 개 이상일 수 있으며 이때는 각 태그에 ACK를 모두 보내야 하므로 성공인 경우의 슬롯 크기가 ACK 개수에 따라 변하므로 그림 4의 B1 값은 고정되어 있지 않다.

이상과 같이 슬롯을 정의하면 리더 태그 통신 과정은 ASK 모드나 PJM 모드 모두 그림 5와 같이 슬롯 크기는 일정하지 않은 FSA 구조를 가지게 된다.

그림 5는 리더와 n 개의 태그가 통신하는 한 예로서 태그 1의 성공(success)은 리더가 Query나 QueryRep를 보내고 태그가 리더에게 RN16을 보내고 리더는 ACK를 보내고 이에 대해 태그가 EPC를 리더에게 보낸 전 과정을 나타낸다. 태그 1은 리더에 읽혀진 이후에는 더 이상 응답이 없다.

2 번째 슬롯에서는 어느 태그도 슬롯 카운터가 0

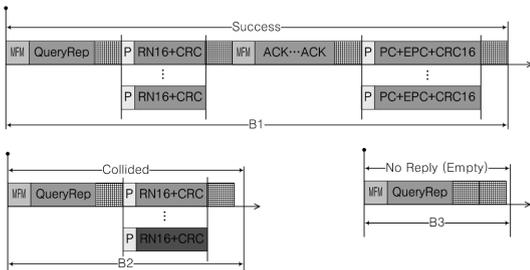


그림 4. PJM 모드에서의 슬롯 구조
Fig 4. Slot structure of PJM-mode

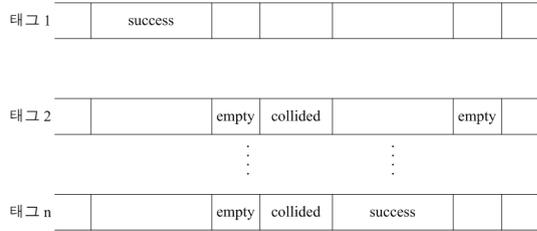


그림 5. 슬롯 크기가 일정치 않은 FSA
Fig 5. FSA of variable slot size

이 되지 않아 무응답(empty) 상태가 된다. 3번째 슬롯에서는 태그 2와 태그 n이 슬롯 카운터가 '0'이 되어 RN16을 동시에 보내게 되어 충돌(collided)이 난 것을 나타낸다. 프레임은 리더가 Query 명령으로 시작한 한 번의 인벤토리 라운드(inventory round)에 대응되며 프레임내의 슬롯 개수는 2^Q 값과 동일하다. 왜냐하면 인벤토리 명령에 의해 태그는 '0'부터 2^{Q-1} 사이의 슬롯 카운터 값을 가지게 되므로 리더는 모든 태그에게 응답기회를 주기 위해 슬롯 카운터를 2^Q 만큼 감소시킬 것이며 앞 절에서 정의한 슬롯을 보면 슬롯이 끝날 때마다 슬롯카운터 값이 하나씩 줄어들기 때문이다. 앞에서 RN16을 보내는 슬롯과 EPC를 보내는 슬롯을 합쳐야 하는 이유도 RN16을 보내고 난 후에도 슬롯 카운터는 줄지 않으며 EPC 값을 보낸 후에 리더의 QueryRep에 의해 슬롯 카운터가 하나 줄어들게 되기 때문이다. 무응답인 경우와 충돌인 경우는 QueryRep이 뒤이어 오게 되어 마찬가지로 슬롯 카운터가 하나 줄어든다.

IV. 이론적 분석

ASK 및 PJM 모드에서 슬롯카운터 설정을 위한 Q 알고리즘으로 슬롯카운터 최대 값을 인벤토리 라운드 시작 시점에 남아있는 태그의 개수와 동일하게 설정 하는 것은 FSA에서 입력되는 부하의 도착률(arrival rate) G를 1로 설정하는 것과 동일하다. 왜냐하면 태그는 '0'부터 슬롯 카운터 최대 값 사이의 임의의 값을 랜덤하게 택해서 슬롯카운터 값으로 초기화하므로 평균적으로 한 슬롯에 하나의 태그가 액세스를 시도한다고 할 수 있다. 즉 인벤토리가 진행됨에 따라 평균적으로 한 슬롯에 하나의 태그가 슬롯카운터 값이 '0'이 되어 RN16 값을 보낸다고 할 수 있다. FSA 알고리즘에 의하면 $G=1$ 일 때, 최대 throughput을 얻으며 그 값은 약 36.8%

로 알려져 있으므로 남은 태그에 연동한 Q 알고리즘을 적용하면 한 인벤토리에서 성공하는 슬롯 개수가 대략 36.8% 임을 예측할 수 있다¹²⁾.

j 번째 인벤토리 시작 시점에서 남은 태그 개수를 N_j 라고 가정하고 j 번째 인벤토리 동안에 성공, 충돌, 무응답 슬롯이 발생한 개수를 조사해 보자. 이를 위해 우선 임의의 한 슬롯, i 슬롯이 성공 슬롯이 될 확률을 유도해 보자. 하나의 태그가 i 슬롯에서 슬롯카운터가 '0'이 될 확률은 $1/N_i$ 이고 그 외의 슬롯에서 슬롯카운터가 '0'이 될 확률은 $(N_j - 1)/N_j$ 이므로 i 슬롯을 액세스하려는 태그가 하나일 확률 $P_{s,j}$ 은 다음과 같은 binomial 확률을 따른다.

$$P_{s,j} = N_j C_1 \left(\frac{1}{N_j} \right) \left(\frac{N_j - 1}{N_j} \right)^{N_j - 1} \quad (1)$$

i 슬롯이 충돌 슬롯이 될 확률 $P_{c,j}$ 은 2개 이상의 태그가 액세스를 시도하는 경우이며 무응답이 될 확률 $P_{n,j}$ 은 어느 태그도 액세스를 시도하지 않는 경우로서 모두 binomial 확률을 따르므로 각각의 확률은 다음과 같다.

$$P_{c,j} = \sum_{m=2}^{N_j} N_j C_m \left(\frac{1}{N_j} \right)^m \left(\frac{N_j - 1}{N_j} \right)^{N_j - m} \quad (2)$$

$$P_{n,j} = N_j C_0 \left(\frac{1}{N_j} \right)^0 \left(\frac{N_j - 1}{N_j} \right)^{N_j} \quad (3)$$

그러므로 남은 태그 개수가 N_j 인 j 번째 인벤토리에서 성공 슬롯, 충돌 슬롯, 무응답 슬롯의 개수는 각각 $N_j \times P_{s,j}$, $N_j \times P_{c,j}$, $N_j \times P_{n,j}$ 이 된다. 만약 전체 슬롯에 대해서 성공슬롯의 비를 효율로 정의하면 효율은 다음과 같다.

$$\sum_j N_j \cdot P_{s,j} / N \approx \rho \cdot \sum_j N_j / N = \rho \quad (4)$$

여기서 N 은 RFID 리더 필드에 있는 최초 태그의 개수이며 ρ 는 최대 throughput 0.368을 나타낸다. 즉 식 (4)에 의하면 매 인벤토리 라운드 마다 효율이 ρ 가 되어 전체 효율은 ρ 가 된다.

최초에 주어진 태그를 $x\%$ 읽는데 소요되는 태그수를 계산해 보자. 초기 태그의 개수가 N 개라면

첫 번째 인벤토리 라운드 동안에 성공적으로 읽혀질 태그의 개수는 근사적으로 $N\rho$ 가 되고 충돌 및 무응답으로 남겨질 태그 수는 대략 $N(1-\rho)$ 가 된다. 같은 이유로 두 번째 인벤토리 라운드 동안에 읽혀질 태그 수는 $N(1-\rho) \times \rho$ 이고 남은 태그 수는 $N(1-\rho)(1-\rho)$ 가 된다. 두 번째 인벤토리 시작 시점에서 Query 명령의 Q 값을 Q_2 라 하자. Q_2 는 $2^{Q_2} = N(1-\rho)$ 를 만족하는 Q_2 값을 사용해야 하나 $N(1-\rho)$ 은 2의 정수승 배가 일반적으로 될 수 없으므로 실제로는 오차를 최소화하기 위해 올림을 사용하여 태그의 개수보다 많은 Slot을 확보하게 하는 Q 값을 선택해야 한다.

이 과정을 반복하면 l 번째 인벤토리 라운드를 마쳤을 때 읽혀진 태그 수는 근사적으로 다음과 같다.

$$N\rho \{1 + (1-\rho) + (1-\rho)^2 + \dots + (1-\rho)^{l-1}\} \quad (5)$$

l 번째 인벤토리 라운드 까지 읽혀진 태그가 $x\%$ 이상이 라면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{N\rho \{1 + (1-\rho) + (1-\rho)^2 + \dots + (1-\rho)^{l-1}\}}{N} \times 100 > x\%$$

위의 식을 l 에 관해서 정리하면 다음 부등식이 성립한다.

$$l > \frac{\log(1-y)}{\log(1-\rho)} \quad (6)$$

여기서 y 는 $y = x/100$ 을 나타낸다. $x\%$ 이상 읽는데 소요된 총 슬롯 수는 매 인벤토리 라운드에서 남은 태그 수들의 총합과 같으므로 다음과 같이 유도 할 수 있다.

$$\begin{aligned} N + N(1-\rho) + N(1-\rho)^2 + \dots + N(1-\rho)^{l-1} & (7) \\ = N \left\{ \frac{1 - (1-\rho)^l}{1 - (1-\rho)} \right\} & = \frac{N}{\rho} \{1 - (1-\rho)^l\} \end{aligned}$$

예를 들어 95% 이상의 태그를 인식하는데 소요되는 슬롯개수는 식 (6)에서 부등식을 만족하는 최소 l 값을 구한 후 그 값을 식 (7)에 대입해서 전체 필요 슬롯을 구할 수 있다. 식 (6)와 식 (7)은 PJM 모드에도 그대로 적용할 수 있다. 즉 PJM 모드에서 사용할 수 있는 채널 개수가 n_c 라면 태그가 랜덤하게 채널을 선택하는 경우 각 채널을 선택

한 태그 수는 평균 $N_{ch} = N/n_c$ 가 되어 식 (6)과 식 (7)의 N 대신 N_{ch} 을 대입하면 된다. 즉 PJM 모드를 사용할 때 소요되는 슬롯 수는 $\frac{N_{ch}}{\rho} \{1 - (1 - \rho)^N\}$ 이 된다. 결국 PJM 모드를 사용하는 경우 소요되는 슬롯 수는 ASK 모드에 비해서 $\frac{N_{ch}}{N}$ 배 만큼 줄어들며 이는 PJM 모드가 n_c 배 만큼 인식속도를 높일 수 있음을 의미한다. 하지만 이와 같은 결론은 두 모드의 슬롯 크기 및 표준에서 정의한 각종 타이밍 인자가 같은 경우에 적용되며 실제 각 모드의 규격은 서로 달라서 PJM모드가 n_c 배 만큼 빠르지는 않다. V절에서는 IV절에서 제시한 이론적 분석의 타당성을 검증하고 또한 표준에서 정한 규격을 적용하는 경우 얼마나 속도 차이가 있는지 보인다.

V. 시뮬레이션

그림 1과 그림 2에서 사용한 T1, T2, T3, T4 값은 ISO/IEC 18000-3 표준 문서에 따라 표 1과 같은 값을 사용하였다. ASK 모드는 R=>T 통신에서 PIE(pulse interval encoding) 방식을 사용하며, 이 방식은 기본단위로 Tari를 사용한다. 또한 Data-0은 1×Tari, Data-1은 2×Tari로 정의한다. 표준에서 1 Tari의 값은 8μs ~ 25μs 사이의 값을 갖도록 규정되어 있는데, 본 시뮬레이션에서는 10μs로 가정하였다. 그리고 T=>R 통신에서는 FM0, Miller, 그리고 Manchester 부호화 방식이 표준에 정의 되어 있는데, 본 시뮬레이션에서는 이 세 가지 방식 중 가장 빠른 FM0 부호화 방식과 가장 느린 Miller 부호화 방식을 통하여 전송하는 두 가지 방법을 가정하였고, 각각의 경우 비트율은 표준에 따라 424Kbit/s, 53Kbit/s로 설정하였다.

표 2는 그림 3의 A1(Success), A2(Collision), A3(No-Reply) 프레임 시간을 표준 문서에 근거하여 각 프레임의 비트 수를 세고 각 부호화 방식에 대응되는 데이터 비트율에 맞추어 각 슬롯의 총 소요 시간을 산출하여 나타낸 표이다.

표 3은 그림 4에 나타난 명령어 프레임의 시간을

표 1. 링크 타이밍 인자
Table 1. Link timing factor

Parameter	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Value	73.1μs	151μs	26.9μs	100μs

표 2. ASK 모드에서의 슬롯구간
Table 2. Slot interval in ASK-mode

	Encoding	
	FM0 (μs)	Miller (μs)
그림 3의 A1	1209.84	3537.75
그림 3의 A2	411.42	956.25
그림 3의 A3	209.44	209.44

표 3. PJM 모드에서의 슬롯구간
Table 3. Slot interval in PJM-mode

	MFM
그림 4의 B1	2359.8μs
그림 4의 B2	667.78μs
그림 4의 B3	194.4μs

계산한 값이다. 표 2를 작성할 때와 마찬가지로 표준 문서에 근거하여 R=>T 전송 할 때는 212Kbit/s, T=>R 전송 할 때에는 106Kbit/s의 데이터 비트율을 사용하였다.

표 4는 식(1), 식(2), 식(3)을 사용해서 태그 개수가 늘어남에 따라 성공, 충돌, 그리고 무응답 슬롯이 될 확률의 이론적 수치를 나타낸 것이다. 태그의 총 개수와 슬롯의 총 개수의 비를 나타내는 offered load G가 1일 때 FSA의 최대 throughput이 36.8%이며 표에서도 알 수 있듯이 태그 수가 증가함에 따라 성공슬롯 확률이 이 값과 같아짐을 알 수 있다.

표 5에서는 태그의 개수가 1024개 및 2048개인 경우에 대해서 하나의 슬롯이 성공슬롯이 될 확률에 대해서 시뮬레이션 결과와 이론적 수치를 비교하였다. 시뮬레이션 결과 및 이론치 모두 G가 1일

표 4. 성공, 충돌, 무응답 슬롯 확률
Table 4. Probability of success, collision and no-reply slots

N	1	2	16	128	512
성공확률	100.0%	50.0%	38.0%	36.9%	36.8%
충돌확률	0.0%	25.0%	26.4%	26.4%	26.4%
무응답확률	0.0%	25.0%	35.6%	36.6%	36.8%

표 5. 성공슬롯 확률에 대한 이론값 및 시뮬레이션 값
Table 5. Theoretical and numerical probability of success slot

N	1024		2048	
	이론치	실험치	이론치	실험치
성공확률	36.81%	37.42%	36.80%	36.66%
충돌확률	26.42%	26.31%	26.42%	26.48%
무응답확률	36.77%	36.27%	36.78%	36.86%

표 6. 한 번의 인벤토리 라운드에서 각 슬롯 발생 횟수
Table 6. Number of occurrences of each slot for one inventory

N	Mode		Success	Collided	Empty	Acked Tag	Slot usage	Throughput
4096	ASK	이론치	1507	1081	1508	1507	4096	36.8%
		실험결과	1507	1081	1508	1507	4096	36.8%
	PJM	이론치	499	12.8	0.2	1507	512	97.5%
		실험결과	499	12.6	0.2	1501	512	97.5%

표 7. 95%의 태그 인식했을 때의 각 슬롯 발생 횟수
Table 7. Number of occurrences of each slot for 95% reading

# of Tag	Mode		Success	Collided	Empty	Acked Tag	Slot Usage	Throughput
4096	ASK	이론치	3931.3	2822.4	3929.3	3931.3	10683	36.8%
		실험결과	3941	2988.5	3950.5	3941	10880	36.2%
	PJM	이론치	1302	33.5	0.5	1302	1336	97.5%
		실험결과	1305.3	33.2	0.7	3893.1	1339.5	97.4%

때, throughput $\rho=0.368$ 에 근접하였다.

표 6과 7은 최초로 주어진 태그 개수가 4096개 일 때 이론적 계산 및 시뮬레이션에 의해 성공, 충돌, 무응답 슬롯 개수를 ASK 및 PJM 모드 각각의 경우에 대해서 집계하였다. 시뮬레이션의 결과는 4096개의 태그를 10번 시뮬레이션 하여 그 평균을 낸 값이다.

표 6은 모드별로 한 번의 인벤토리 라운드과정에서의 각각의 슬롯 발생 횟수를 나타낸 표이고, 표 7은 모드별로 모든 태그를 95%이상 인식할 때까지의 각 슬롯발생 횟수를 나타낸 표이다. PJM 모드에서 슬롯의 발생 횟수를 집계할 때는 시간 축 방향으로만 합산하였다. 즉, PJM 모드의 태그는 병렬적으로 응답하므로 성공 슬롯이란 8개의 채널 중 최소 1개의 채널이라도 RN16 및 EPC 값을 성공적으로 전송하면 성공슬롯이 된다. 충돌슬롯은 응답 채널 모두에서 충돌이 발생한 경우이며 무응답 슬롯은 8개의 채널 모두 무응답인 경우이다.

표 6의 시뮬레이션 결과와 이론치 결과는 한 번의 인벤토리 라운드의 결과이므로 ASK 모드의 경우 동일하게 나왔고, PJM 모드의 경우 다중 채널이라는 특성 때문에 거의 무시할 수 있을 정도의 차이가 보인다. 하지만 인벤토리 라운드를 거듭할수록 매 인벤토리 마다 태그가 인식되는 수가 2의 정수승만큼씩 인식되지 않기 때문에 태그 수 추정 Q 알고리즘을 사용한다 하더라도 \log_2 (남은태그수)의 율

림으로 다음 인벤토리 라운드의 Q 값을 설정하기 때문에 낭비되는 슬롯들이 나오게 되므로 표 7에서도 알 수 있듯이 이상적으로 계산한 이론치와 시뮬레이션 결과는 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

표 6과 7에서 PJM 모드의 경우 8 채널 중 한 채널만이라도 성공하면 전체적으로 성공 슬롯으로 정의 하였으며, throughput 관점으로 보면 PJM 모드가 ASK 모드 보다 2.7배 우수했다.

표 8은 모드에 따른 각 슬롯의 소요시간을 정리해 놓은 표이며, ASK 모드의 경우는 FM0 및 Miller 부호화 방식에 따라 슬롯 소요 시간의 차이가 있다.

표 9는 표 7의 결과와 표 8의 값을 이용해서 각 모드에 따른 총소요시간을 나타낸 것이다. 초기 태그의 개수가 4096인 경우 8개의 채널을 사용하는 PJM 모드의 인식속도가 가장 빨랐다. 이는 ASK 모드 중 전송 속도가 가장 빠른 FM0 부호화 방식의 인식 속도보다는 2.34배, ASK 모드 중 전송 속도가

표 8. 각 슬롯 소요 시간
Table 8. Each slot interval

	ASK (FM0)	ASK (Miller)	PJM
Success	1209.84	3537.75	2359.8
Collided	411.42	956.25	667.78
Empty	209.44	209.44	194.4

표 9. 총 소요 시간
Table 9. Total elapsed time

# of Tag	Mode		Success	Collided	Empty	Total Time
4096	ASK (FM0)	이론치	4.76s	1.16s	0.82s	6.74s
		실험치	4.77s	1.23s	0.83s	6.83s
	ASK (Miller)	이론치	13.91s	2.70s	0.82s	17.43s
		실험치	13.94s	2.86s	0.83s	17.63s
	PJM	이론치	3.07s	0.02s	0s	3.09s
		실험치	3.08s	0.02s	0s	3.10s

가장 느린 Miller 부호화 방식의 인식 속도보다는 5.64배 빠른 결과임을 확인 할 수 있다.

그림 6은 태그의 수를 200개~500개 까지 20개 씩 증가 하여 모든 태그를 인식 하는데 걸린 시간을 측정 한 시뮬레이션 결과이다.

충돌 방지 알고리즘은 남은 태그 수에 연동하는 Q알고리즘을 이용하였으며^[13], T=>R로 백스캐터링 할 때 ASK 모드 의 경우는 FM0와 Miller 부호화 방식을 가정하였다. PJM 모드 의 경우는 MFM 부호화 방식으로 가정하였고, 채널수에 따른 비교를 하기 위해 채널의 수를 4개와 8개로 구분 지어 시뮬레이션을 하였다. ASK 모드에서는 Miller 부호화 방식과 FM0 부호화 방식을 비교 하였을 때 FM0 부호화 방식이 Miller 부호화 방식보다 2.6배 정도 인식 속도가 빠른 것을 알 수 있고, PJM 모드 의 경우는 8개의 채널을 이용하는 것이 4개의 채널을 이용하는 것 보다 1.7배 정도 빠름을 알 수 있다. 또한 8채널을 이용한 PJM 방식, 즉 실제 PJM 모드가 ASK모드 중 가장 빠른 FM0 부호화 방식을

이용한 시스템 보다 2.34배, ASK 모드 중 전송 속도가 가장 느린 Miller 부호화 방식을 이용한 시스템 보다는 5.64배 빠름을 확인 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문은 13.56MHz 대역 RFID 시스템의 국제 표준으로 되어 있는 ISO 18000-3의 전송 모드인 ASK 모드와 PJM 모드 의 인식속도를 분석하고 시뮬레이션에 의해 이를 검증하였다. 이론적 분석을 위해 각 모드에서의 슬롯 개념을 정의하고 이에 근거해서 RFID 프로토콜이 기존의 FSA와 동일하게 취급될 수 있음을 보였다. 분석 및 시뮬레이션을 위해 태그 개수에 연동하여 Q 값을 설정하는 최적의 Q 알고리즘을 적용시켰으며 이에 근거해서 태그가 주위졌을 때 태그를 임의의 % 읽는데 소요되는 슬롯 개수를 수학적으로 유도하였다. 특히 유도된 이론적 수식을 적용시켜 PJM 모드와 ASK 모드 의 속도를 비교하였으며 각각의 모드 동작을 시뮬레이션 해서 이론적인 비교 결과의 타당성을 검증하였다. 결론적으로 8개의 채널을 사용하는 PJM 모드 의 태그 인식속도는 ASK 모드 중 전송 속도가 가장 빠른 FM0 부호화 방식의 인식 속도 보다는 2.34배, 4개의 채널사용을 가정한 PJM 모드 보다는 1.7배가 빠르므로 채널이 증가하면 인식 속도 역시 빨라짐을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook 2nd edition," Wiley, 2003
- [2] EPCglobal, "Item-Level Tagging(ILT) Protocol Requirements Document Version 1.2.3", EPCglobal, May, 2007.
- [3] H. R. Hush and C. Wood, "Analysis of tree

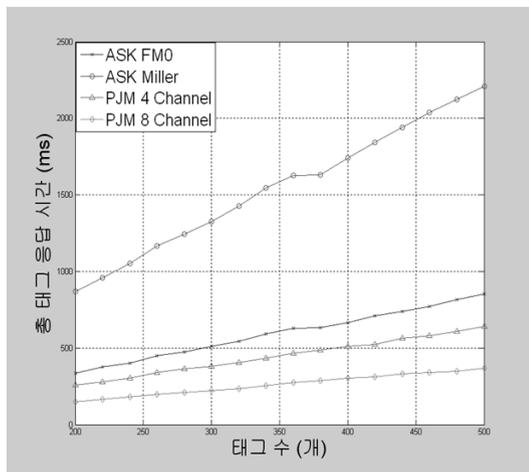


그림 6. 각 시스템의 응답시간 비교
Fig 6. Comparison of time response for each system

algorithms for RFID arbitration,” In Proceedings of IEEE Symposium on Information Theory (ISIT), pp.107-114. 1998.

[4] M. Jacomet, A. Ehsam, U. Gehrig, “Contactless identification device with anti-collision algorithm,” IEEE Computer Society, CSCC’99, Conference on Circuits, Systems, Computers and Communications, Athens. pp.4-8 July, 1999.

[5] A. Juels, R. Rivest, and M. Szydlo, “The Blocker Tag: Selective Blocking of RFID Tags for Consumer Privacy,” Proceedings of the 10th ACM conference on Computer and communications security, 103-111, 2003

[6] C. Law, K. Lee, K. Y. Siu, (2000), “Efficient memoryless protocol for tag identification,” Proceedings of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pages 75-84. August 2000.

[7] 권성호, 홍원기, 이용두, 김희철, RFID 시스템에서의 트리 기반 메모리리스 충돌방지 알고리즘에 관한 연구, *한국정보처리학회논문지*, Vol. 11-C, No. 6. pp. 851-862, December.2004.

[8] H. Vogt, “Efficient Object Identification with Passive RFID tags,” International Conference on Pervasive Computing, pages 98-113, 2002.

[9] Auto-ID Center. “13.56MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification Tag Interface Specification,” Candidate Recommendation, Version 1.0.0. Auto-ID Center. May, 2003.

[10] C. S. Kim, K. L. Park, H. C. Kim, and S. D. Kim, “An Efficient Stochastic Anti-collision Algorithm using Bit-Slot Mechanism,” PDP ’2004, July, 2004.

[11] EPCglobal Inc., “EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 HF RFID Protocol for Communications at 13.56MHz Version 1.0.1”, EPCglobal Inc., February, 2008.

[12] W. Feller, “An Introduction to Probability Theory and its Applications,” Vol.1, (Third Edition), John Wiley, 1968

[13] 권성호, 모희숙, 최길영, 표철식, 채종석, “Gen2 기반 RFID 시스템에서의 충돌방지 알고리즘에 관한 연구”, *한국통신학회논문지*, 제31권, 제6B호, pp.561-571, June, 2006.

제 영 대 (Young-dai Je)

준회원



2007년 8월 광운대학교 전파공학
학과
2007년 9월~현재 광운대학교 전
파 공학과 석사
<관심분야> RFID 시스템, 무선
통신 시스템

양 훈 기 (Hoon Gee Yang)

종신회원



1985년 연세대학교 전자공학과
(학사)
1987년 SUNY at Buffalo ECE
(석사)
1992년 SUNY at Buffalo ECE
(박사)
1993년 3월~현재 광운대학교

전파공학과 교수

<관심분야> 무선통신시스템, UWB, RFID, 스펙트
럼 공학

양 성 현 (Seonghyeon Yang)

정회원

한국통신학회논문지 제33권 제9호 참조
현재 광운대학교 정보과학교육원 교수

권 성 호 (Cheng-Hao Quan)

정회원

한국통신학회논문지 제30권 1B호 참조
현재 한국전자통신연구원 선임연구원

최 길 영 (Gil-Young Choi)

정회원

한국통신학회논문지 제29권 4B호 참조
현재 한국전자통신연구원 팀장