



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工学碩士學位論文

USN (Ubiquitous Sensor Network) 응용을 위한  
수동형 RFID 기반의 효율적인  
태그 충돌방지 알고리즘 및  
능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템

*Passive RFID-based Enhanced Tag Anti-collision Algorithm  
and Active RFID-based Multi-hop Relay System  
for USN (Ubiquitous Sensor Network) Application*

2009 년 2 월

仁荷大學校 情報通信大學院

情報通信工學科 情報通信工學專攻

宋 仁 燦

工學碩士學位論文

USN (Ubiquitous Sensor Network) 응용을 위한  
수동형 RFID 기반의 효율적인  
태그 충돌방지 알고리즘 및  
능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템

*Passive RFID-based Enhanced Tag Anti-collision Algorithm  
and Active RFID-based Multi-hop Relay System  
for USN (Ubiquitous Sensor Network) Application*

2009년 2 월

指導教授 張慶熙

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

仁荷大學校 情報通信大學院

情報通信工學科 情報通信工學專攻

宋仁燦

이 論文을 宋仁燦의 碩士學位 論文으로 認定함

2009 년 2 월



主審: 高 逸 錫

副審: 張 慶 熙

委員: 朴 大 榮

---

# 요 약

RFID (Radio Frequency Identification) 시스템은 Interrogator 로 알려진 리더와 Label 로 알려진 태그로 구성된 비 접촉 자동 인식 시스템이다. 최근 이 RFID 시스템은 유통 및 물류 산업에서 바코드의 대안으로 주목 받고 있다. 그 이유는 RFID 시스템은 비 접촉 기술을 사용함으로써 먼 거리에서 태그의 인식이 가능하고, 바코드 보다 더 많은 데이터를 RFID 태그에 저장 할 수 있기 때문이다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고, RFID 시스템은 데이터의 명확성 및 느린 RFID 표준화 진행이라는 문제점을 안고 있다. 또한 RFID 시스템에서 가장 큰 단점은 태그 주위의 많은 방해물과 태그간의 태그 충돌로 인해 발생하는 낮은 태그 인식 효율을 들 수 있다.

본 논문에서는 이러한 낮은 태그 인식 효율 문제를 해결하기 위하여 수동형 RFID 기반의 태그 충돌방지 알고리즘과 능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템에 대하여 살펴보고, 태그 충돌방지 알고리즘의 태그인식시간, 충돌 비율을 감소시키고,

---

데이터 처리량 및 시스템 효율을 증가 시키기 위하여 Chebyshev' s Inequality 를 이용한 CHI 알고리즘과 QueryAdjust 명령어를 사용한 FAFQ (Fixed Adjustable Framed Q) 알고리즘 및 AAFQ (Adaptive Adjustable Framed Q) 알고리즘을 제안한다. 또한, 태그 인식률과 태그 인식거리를 증가 시키기 위하여 Multi-hop Relay 시스템의 Frame Structure 를 제안한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘 적용 시, 기존 알고리즘에 비하여 수동형 RFID 기반의 태그 충돌방지 알고리즘의 효율 및 능동형 RFID 기반의 태그 인식거리 향상을 모의실험을 통하여 확인한다.

---

# Abstract

RFID (Radio frequency identification) system is a contactless automatic identification system, which comprises readers, also known as interrogators, and tags, also known as labels.

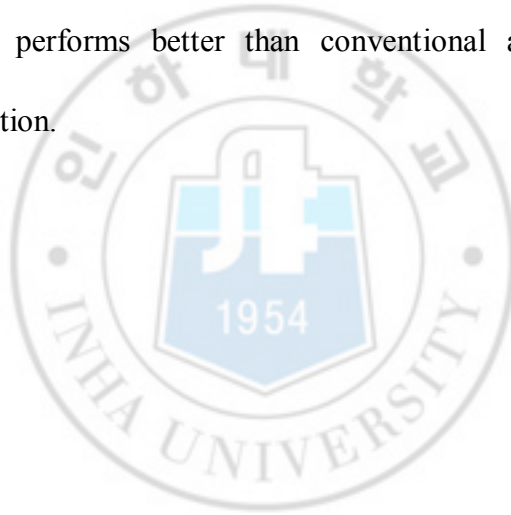
Recently RFID attracts attention as an alternative to the bar code in the distribution industry, supply chain and banking sector. This is because RFID system that has advantages of contact-less type and can hold more data than the bar code. Nevertheless, RFID has disadvantages about the problem of identified data clearness, the slow progress of RFID standardization and so on. One of the largest disadvantages in RFID system is its low tag identification efficiency by tag collision and by many obstacles around tags.

In this thesis, we analyze the passive RFID-based tag anti-collision algorithm and active RFID-based multi-hop relay system to solve low tag identification efficiency. To increase throughput and system efficiency, and to decrease tag identification time and collision ratio of tag anti-collision algorithm, we propose enhanced tag anti-collision algorithms, which are

---

CHI (Chebyshev's Inequality) algorithm, by using Chebyshev's Inequality, FAFQ (fixed adjustable framed Q) algorithm and AAFQ (adaptive adjustable framed Q) algorithm, by using QueryAdjust command. We also propose frame structure for multi-hop relay system to improve the tag identification rate and the tag coverage area.

When a proposed algorithm is applied to RFID system in this thesis, we confirm that it performs better than conventional algorithms through computer simulation.





---

# 목 차

요 약.....	I
ABSTRACT.....	III
목 차.....	V
그림 목차.....	IX
표 목차.....	XII
제 1 장 서 론.....	1
제 2 장 수동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격.....	5
2.1 리더에서 태그로의 통신.....	6
2.1.1 부호화.....	7
2.1.2 변조.....	8
2.1.2.1 DSB-ASK 변조.....	9
2.1.2.2 PR-ASK 변조.....	12
2.1.2.3 SSB-ASK 변조.....	13
2.2 태그에서 리더로의 통신.....	14
2.2.1 부호화.....	15
2.2.1.1 FM0 부호화.....	15
2.2.1.2 Miller Sub-carrier Tones 부호화.....	15
2.2.2 Backscatter 변조.....	17
2.3 하향 링크 동기화.....	21

---

2.3.1 주파수 동기 .....	21
2.3.2 시간 동기 .....	22
2.3.3 리더 Preamble 과 Frame 동기 .....	28
2.4 상향 링크 동기화 .....	30
2.4.1 주파수 동기 .....	30
2.4.2 시간 동기 .....	30
제 3 장 수동형 RFID 시스템의 태그 충돌방지 알고리즘 .....	31
3.1 RFID 태그 충돌 .....	31
3.2 기존 수동형 RFID 태그 충돌방지 알고리즘 .....	33
3.2.1 Framed Slotted ALOHA 알고리즘 .....	33
3.2.2 Deterministic Binary Tree 알고리즘 .....	35
3.2.3 Gen-2 기반 Probabilistic Slotted 알고리즘 .....	36
3.3 제안하는 CHI 및 AFQ 태그 충돌방지 알고리즘 .....	42
3.3.1 CHI (Chebyshev's Inequality) 알고리즘 .....	42
3.3.2 AFQ (Adjustable Framed Q) 알고리즘 .....	45
3.3.2.1 FAFQ (Fixed Adjustable Framed Q) 알고리즘 .....	46
3.3.2.2 AAFQ (Adaptive Adjustable Framed Q) 알고리즘 .....	47
3.4 모의실험을 통한 성능 비교 및 분석 .....	49
3.4.1 모의실험 환경 및 파라미터 .....	49
3.4.2 모의실험 성능분석항목 .....	51
3.4.2.1 태그인식시간 (Identification Time) .....	51

---

---

3.4.2.2 데이터 처리량 (Throughput) . . . . .	52
3.4.2.3 시스템 효율 (System Efficiency) . . . . .	52
3.4.2.4 충돌 비율 (Collision Ratio) . . . . .	54
3.4.3 Q 알고리즘 이론적 성능 분석 . . . . .	55
3.4.4 CHI 및 AFQ 태그 충돌방지 알고리즘 모의실험 결과 . .	60
제 4 장 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템 . . . . .	65
4.1 능동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격 . . . . .	66
4.1.1 리더에서 태그로의 Message Format . . . . .	67
4.1.2 태그에서 리더로의 Message Format . . . . .	70
4.1.2.1 Broadcast Response Message Format . . . . .	70
4.1.2.2 Point-to-Point Response Message Format . . . . .	71
4.1.2.3 Tag Status . . . . .	72
4.2 능동형 RFID 시스템의 태그 충돌방지 알고리즘 . . . . .	74
4.3 제안하는 능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템 . . . . .	78
4.3.1 기존 능동형 RFID 시스템의 Frame Structure . . . . .	80
4.3.2 제안하는 능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템을 위한 Frame Structure . . . . .	82
4.3.2.1 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay Scenario . . . . .	83
4.3.2.2 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 2 Hop Frame	

---

---

Structure .....	84
4.3.2.3 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 3 Hop Frame	
Structure .....	87
4.4 MCL (Minimum Coupling Loss) 분석을 통한 성능 비교 및	
분석 .....	90
4.4.1 MCL 분석 환경 및 파라미터 .....	91
4.4.2 MCL 분석 결과 .....	93
제 5 장 결 론 .....	106
참 고 문 헌 .....	108



---

## 그림 목차

그림 2.1. 리더에서 태그로의 통신 .....	6
그림 2.2. PIE 심볼 .....	7
그림 2.3. 리더에서 태그로의 통신 RF 포락선 .....	8
그림 2.4. 변조된 반송파 (그림 2.1 ①) .....	10
그림 2.5. 검출된 포락선 (그림 2.1 ②) .....	11
그림 2.6. 변조된 반송파 (PR-ASK) (그림 2.1 ①) .....	12
그림 2.7. 검출된 포락선 (PR-ASK) (그림 2.1 ②) .....	13
그림 2.8. 태그에서 리더로의 통신 .....	14
그림 2.9. Backscatter 변조 .....	17
그림 2.10. 단순화된 리더 수신기 구조 .....	19
그림 2.11. FM0 로 부호화된 데이터 (기저대역) (그림 2.8 ①) .....	20
그림 2.12. Backscatter 된 신호 .....	20
그림 2.13. 혼합기 출력 신호 (그림 2.10 ②) .....	21
그림 2.14. 태그 복조기의 Functional Block Diagram .....	22
그림 2.15. 태그 안테나에서의 수신 신호 (그림 2.14 ①) .....	25
그림 2.16. 검출된 신호 (그림 2.14 ②) .....	25
그림 2.17. Trigger 출력 (그림 2.14 ③) .....	26
그림 2.18. 추출된 Clock 신호 (그림 2.14 ⑤) .....	26
그림 2.19. 클럭 신호의 Falling and Rising Edges 검출 .....	27

---

그림 2.20. 리더에서 태그로의 통신 Preamble .....	28
그림 2.21. 리더에서 태그로의 Frame 동기를 위한 Signaling .....	29
그림 3.1. 태그 충돌 .....	32
그림 3.2. Framed Slotted ALOHA 알고리즘 .....	34
그림 3.3. Deterministic Binary Tee 알고리즘 .....	35
그림 3.4. Probabilistic Slotted 알고리즘 .....	37
그림 3.5. (a) 하나의 태그만 리더에 응답한 경우 .....	38
그림 3.5. (b) 태그로부터 응답이 없거나 충돌이 발생한 경우 .....	38
그림 3.6. Q 알고리즘 .....	39
그림 3.7. Probabilistic Slotted 알고리즘의 흐름도 .....	41
그림 3.8. CHI 알고리즘의 흐름도 .....	45
그림 3.9. FAFQ 알고리즘 .....	46
그림 3.10. AAFQ 알고리즘 .....	48
그림 3.11. Gen-2 에서 사용된 전체 슬롯개수 (기댓값 vs. 실측값) ....	56
그림 3.12. Gen-2 에서의 시스템 효율 (기댓값 vs. 실측값) .....	58
그림 3.13. Gen-2 에서의 충돌 비율 (기댓값 vs. 실측값) .....	59
그림 3.14. Threshold 값에 따른 FAFQ 알고리즘의 성능 비교 .....	60
그림 3.15. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 태그인식시간 비교 ....	61
그림 3.16. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 데이터 처리량 비교 ...	62
그림 3.17. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 시스템 효율 비교 .....	63
그림 3.18. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 충돌 비율 비교 .....	64

---

---

그림 4.1. 데이터 통신 타이밍 .....	66
그림 4.2. 리더에서 태그로의 Message Format .....	68
그림 4.3. 명령어 형태 .....	69
그림 4.4. 명령어 코드 .....	69
그림 4.5. Broadcast Response Message Format .....	71
그림 4.6. Point-to-Point Response Message Format .....	71
그림 4.7. Tag Status Format .....	73
그림 4.8. Tag Status Field Format .....	73
그림 4.9. 태그 수집 알고리즘 동작 과정 및 타이밍 .....	75
그림 4.10. 센서노드 구성 요소 .....	80
그림 4.11. 능동형 RFID 시스템의 Frame Structure .....	81
그림 4.12. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay Scenario .....	83
그림 4.13. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 2 Hop Frame Structure .....	84
그림 4.14. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Collision Arbitration Mode .....	86
그림 4.15. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 3 Hop Frame Structure .....	88
그림 4.16. FSK Modulation의 BER 성능곡선 .....	98

---

---

## 표 목차

표 2.1. 모의실험 파라미터 (DSB-ASK) .....	9
표 2.2. 모의실험 파라미터 (Backscatter 변조) .....	18
표 2.3. 하향 링크 시간 동기를 위한 모의실험 파라미터 .....	24
표 3.1. AAFQ 알고리즘의 Threshold 선택 방법 .....	47
표 4.1. MCL 분석을 위한 파라미터 .....	92
표 4.2. 이론 값에 의한 MCL 분석 결과 (동작범위) .....	93
표 4.3. 이론 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 동작범위 .....	96
표 4.4. 이론 값에 의한 MCL 분석 결과 (인식거리) .....	97
표 4.5. 이론 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 인식거리 .....	100
표 4.6. 실제 값에 의한 MCL 분석 결과 (인식거리) .....	101
표 4.7. 실제 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 인식거리 .....	102
표 4.8. Sensitivity 값에 의한 MCL 분석 결과 (인식거리) .....	103
표 4.9. Sensitivity 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 인식거리 .....	104
표 4.10. Relay Hop 수에 따른 Relay-based RFID 시스템의 전송시간 및 시스템 효율 .....	105



# 제 1 장

## 서 론

RFID (Radio Frequency Identification)란 사물에 부착된 전자태그로부터 무선 주파수를 이용하여 정보를 송수신하고 이와 관련된 서비스를 제공하는 기술을 일컫는다 [1]. RFID 시스템에서는 전자 태그에 극소형 칩을 부착해 많은 정보를 저장할 수 있으며, 상품에 태그의 부착이 용이하고 바코드에 비해 장거리 정보 송수신이 가능하다 [2].

RFID 전자 태그는 전원공급을 위한 배터리 장착 유무에 따라 크게 수동형 RFID 태그와 능동형 RFID 태그로 구분된다 [3]. 수동형 태그는 내부나 외부로부터 직접적인 배터리의 전원 없이 리더의 전자기장에 의해 작동하며, 능동형 태그에 비해 매우 가볍고 가격도 저렴하면서 반영구적인 반면, 인식거리가 짧고 리더가 더 많은 전력을 소모한다. 특히 수동형 RFID 태그는 유통 및 물류 분야에 사용될 900 MHz 대역을 사용함으로써 각종 물품에 전자 태그를 부착해 자동으로 물품 명세와 가격, 유통경로 및 기한 등을 파악할 수 있어 유통 및 물류에 혁신을 가져올 기술로 각광받고 있다. 능동형 RFID 태그는 자체적으로 배터리를 구비하여서 수동형 RFID 태그에 비해 인식거리가 길고, 금속 물체에 적용이 용이하며, 태그에 센싱 기능

---

추가가 용이한 장점을 가지고 있다. 그러므로 능동형 RFID 태그를 사용하는 능동형 RFID 시스템은 넓은 지역에서 대량의 금속 컨테이너들을 대상으로 하는 항만 물류 관리 시스템에 적합하다. 그러나, 능동형 태그는 배터리를 필요로 하는 타입으로 배터리 사용으로 작동시간의 제한을 받고 수동형에 비해 고가이다. 경제적인 여건에 의해서 초기에는 수동형 태그가 주로 상용화 되며, 능동형 태그의 가격이 떨어지면서 기능이 나은 능동형으로 이동하리라 기대된다.

RFID 시스템에서 중요한 이슈는 태그 충돌과 태그 인식을 및 인식거리 문제이다. 일반적으로 RFID 시스템에서 리더는 무선 채널을 통하여 각각의 태그들과 통신을 하는데, 모든 태그들이 리더가 보낸 신호를 동시에 받게 되고 리더의 전송요구에 응답을 한다. 이 때 하나의 리더가 동시에 응답한 여러 개의 태그를 인식해야 하는 문제가 발생하는데 이를 태그 충돌이라 한다 [4]. 여러 개의 태그를 충돌 없이 인식하기 위해서는 이러한 태그 충돌 문제를 해결하는 충돌방지 (Anti-collision) 알고리즘이 필요하며, 이는 RFID 시스템에서 가장 핵심 기술로서 인식되고 있다. 기존의 ID 획득만 가능한 태그에 외부 환경 정보를 습득할 수 있는 센서와 자체 전원 공급을 위한 박형 전지 (Film Battery)가 추가된 RFID 태그를 ‘센서 태그 (Smart Active Label 혹은 RFID Sensor Tag)’ 라고 부르며, 통신 방식에 따라 크게 반능동형 방식 (Semi-passive 혹은 Semi-active)과 능동형 방식

(Active)으로 구분할 수 있다. 반능동형 방식은 기존 수동형 RFID 태그에 자체 전원 공급을 위한 전지를 부가하여, 수동형 태그의 최대 문제점인 인식률을 개선하고 부착물체의 영향을 보완하여 인식거리를 두 배 이상 향상시킬 수 있다. 능동형 방식은 RF Transceiver를 가져서 자체적으로 신호를 리더로 보낼 수 있으며, 인식거리가 50 ~ 100 m까지 확대될 수 있다 [5].

본 논문에서는 ISO/IEC 18000-6을 준수하는 수동형 RFID 시스템에서 대량의 태그를 대상으로 하는 태그 충돌방지 알고리즘의 성능 향상에 초점을 맞추고, 또한 ISO/IEC 18000-7을 준수하는 능동형 RFID 시스템에서 태그의 인식 율과 인식거리를 증가시키기 위한 Relay-based RTT (Radio Transmission Technology)에 초점을 맞춘다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 수동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격인 리더에서 태그로의 통신 및 태그에서 리더로의 통신 방식을 분석하고, 3 장에서는 수동형 RFID 시스템에서 태그 충돌방지를 위하여 사용되고 있는 기존 태그 충돌방지 알고리즘을 분석하고, 태그인식시간, 데이터 처리량, 시스템 효율 및 충돌비율과 같은 성능을 개선하기 위한 효율적인 태그 충돌방지 알고리즘을 제안한 후, 모의실험을 통하여 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 성능을 비교 및 분석하여 제안한 알고리즘의 우수성을 검증한다. 4 장에서는 태그의 인식률 및 인식 거리를 증가시키는 USN (Ubiquitous

Sensor Network)을 위한 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 제안한다. 그리고 5 장에서 결론을 맺는다.



## 제 2 장

### 수동형 RFID 시스템의

### 물리계층 전송규격

RFID 무선접속 규격의 국제 표준화를 담당하고 있는 대표적인 표준화 그룹인 ISO/IEC JTC1/SC 31/WG 4/SG 3 (이하 SG 3)에서는 지난 2004년에 각 주파수 대역 별로 RFID 태그와 리더의 통신을 위한 물리계층 특성과 데이터링크 계층 명령어 포맷을 규정하였으며, 현재는 각 주파수 별 표준 (ISO/IEC 18000-1, 2, 3, 4, 6, 7)에 센서 기능과 배터리 지원 기능을 포함시킨 규격으로 업그레이드를 추구하고 있는 상황이다. 특히, 900 MHz 수동형 RFID 규격의 제정과 상용화 추진에 앞장서고 있는 산업체 단체인 EPCglobal은 2004년에 작성한 Class1 Generation-2 (Gen-2) Version 1.0.7 규격을 ISO 국제표준 문서로 진출시키면서 SG 3 그룹이 표준화 추진중인 ISO/IEC 18000-6의 Amendment 문서에 포함시켰으며, SG 3 그룹에 의해서 ISO/IEC 18000-6 Type C로 인정받았다.

본 장에서는 이러한 EPCglobal Class-1 Gen-2 표준을 이용하여 수동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격을 분석한다

## 2.1 리더에서 태그로의 통신

EPCglobal Class-1 Gen-2 표준은 태그를 활성화시키기 위해서 CW (Continuous Wave)를 전송하는 리더로부터 태그가 전력을 얻는 수동형 RFID 시스템이다. 이것은 태그가 Energy Source를 갖고 있지 않다는 것을 의미하며, 리더는 태그가 리더에 보낸 신호에 응답을 하면서 통신을 시작한다.

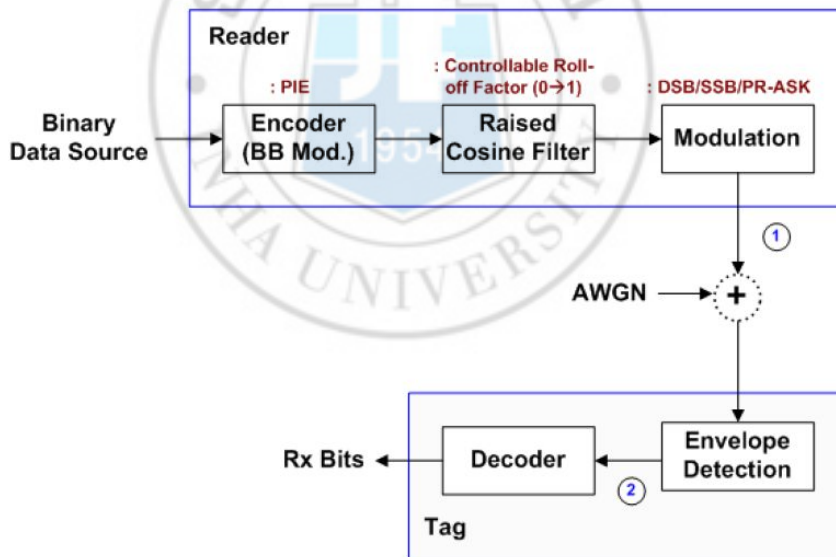


그림 2.1. 리더에서 태그로의 통신.

Fig. 2.1. Reader to Tag Communication.

그림 2.1은 리더 송신기에서 태그 수신기로의 통신을 위한 블록 다이어그램을 나타내며, 채널로는 일단 AWGN 채널만을 고려한다.

### 2.1.1 부호화

리더는 데이터를 부호화 하기 위하여 PIE (Pulse Interval Encoding) Encoding을 사용한다. Data-0의 길이는 1 Tari이고, 여기서 Tari는 Signaling의 시간 기준 단위이며, 식 (2-1)과 같은 값을 가진다.

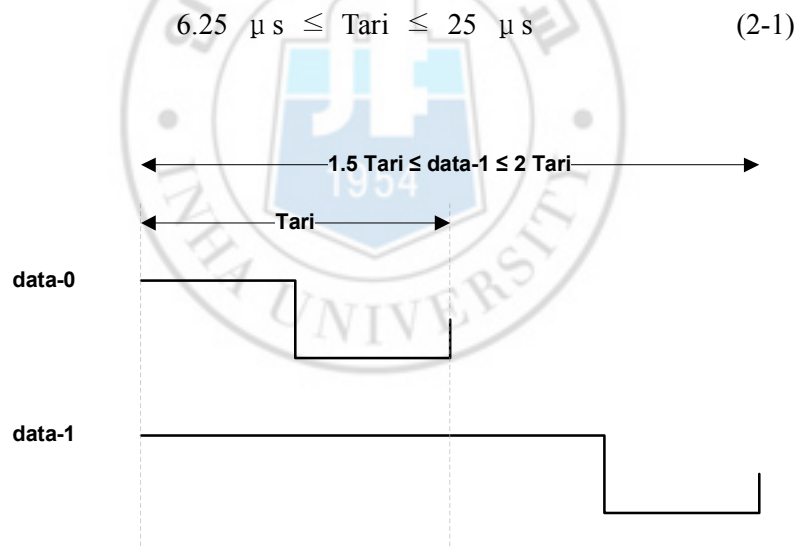


그림 2.2. PIE 심볼.

Fig. 2.2. PIE Symbols.

Data-1의 길이는 1.5와 2 Tari 사이에서 변화하며, 그림 2.2는 PIE Encoding에 사용되는 심볼을 나타낸다.

### 2.1.2 변조

리더는 DSB-ASK (Double Side Band-amplitude Shift Keying), PR-ASK (Phase Reversal ASK) 또는 SSB-ASK (Single Side Band ASK)의 변조 방식을 사용할 수 있다. 이 절에서는 이러한 변조 방식과 표준 RF 파형을 얻는 방법을 소개한다.

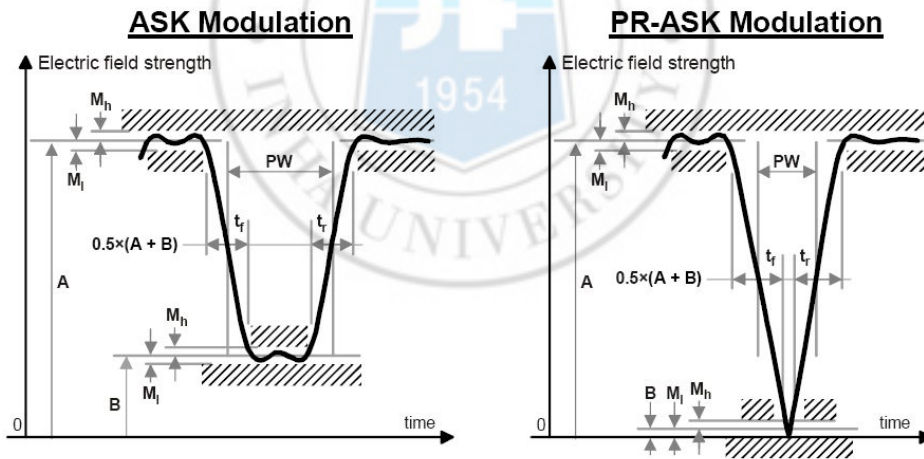


그림 2.3. 리더에서 태그로의 통신 RF 포락선.

Fig. 2.3. Reader to Tag RF Envelope.



그림 2.3은 ASK와 PR-ASK 변조 방식의 표준파형을 나타내며, 리더에서 태그로의 통신에서 Modulation Depth는 최소 80 %, 보통 90 %를 갖는다. 여기에서 Modulation Depth는  $(A - B)/A$ 로 정의된다 [6].

#### 2.1.2.1 DSB-ASK 변조

DSB-ASK 변조는 데이터를 부호화하면서 얻어진 파형을 변조하는 통상적인 ASK 변조 방식이다. 표 2.1은 DSB-ASK 경우, 그림 2.4의 변조된 반송파와 그림 2.5의 포락선 검출을 위하여 사용되는 모의실험 파라미터들이다.

표 2.1. 모의실험 파라미터 (DSB-ASK).

Table 2.1. Simulation Parameters (DSB-ASK).

Parameter	Value
Data	[0 1 0 1 1 0]
Filter	Raised Cosine
Alpha (Roll-off Factor)	0.99
Envelope Detection	Hilbert Transform

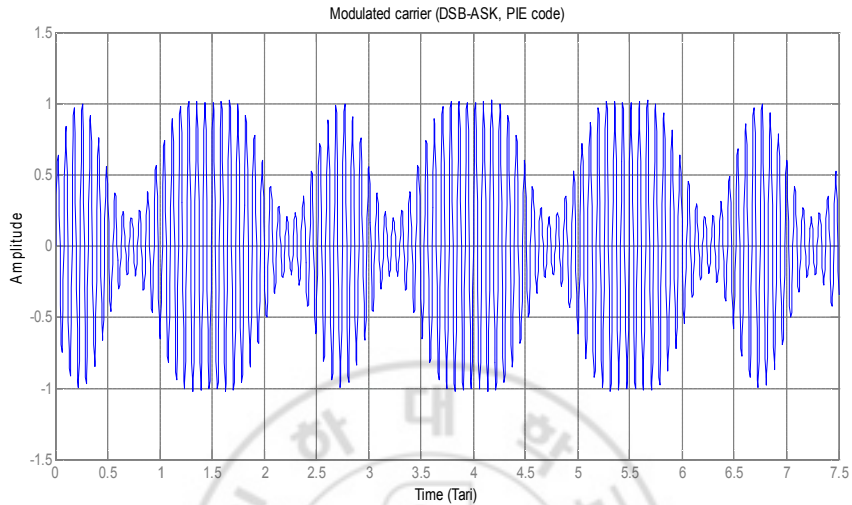


그림 2.4. 변조된 반송파 (그림 2.1 ①).

Fig. 2.4. Modulated Carrier (Fig. 2.1 ①).

그림 2.4는 [0 1 0 1 1 0]이라는 일련의 데이터를 EPC Gen-2 표준의 PIE Encoding에 따라 부호화하고, 이를 Raised Cosine 필터를 통과시켜 DSB-ASK 방식으로 변조한 그림 2.1의 ①에서의 반송파를 나타낸다.

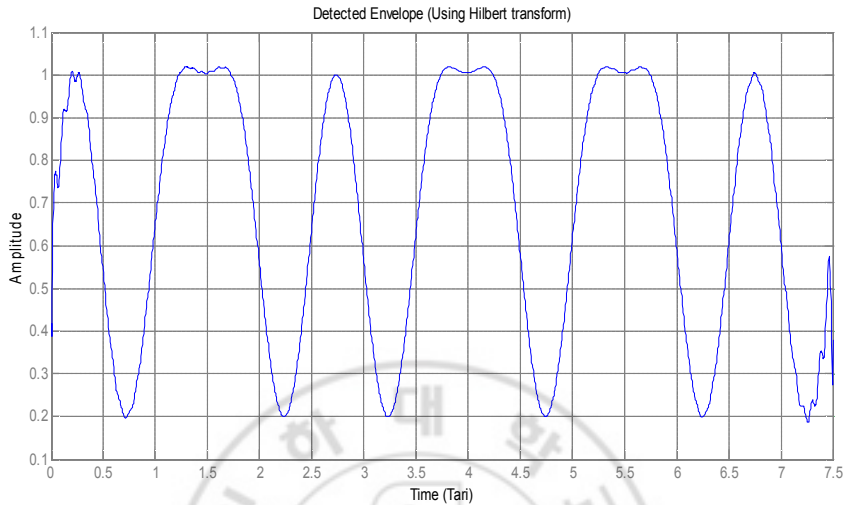


그림 2.5. 검출된 포락선 (그림 2.1 ②).

Fig. 2.5. Detected Envelope (Fig. 2.1 ②).

그림 2.5는 수신기에서 수신된 신호를 Hilbert 변환을 이용, 원 신호를 복원하기 위하여 검출된 그림 2.1의 ②에서의 포락선 (Envelope)을 나타낸다.

## 2.1.2.2 PR-ASK 변조

PR-ASK는 Symbol (Bit)들 사이 경계 지역에서 기저 대역 위상을 반전시켜 얻어진다. PR-ASK 변조 방식에 쓰인 데이터 시퀀스는 [0 1 0]이고, Roll-off Factor 가 0.99인 Raised Cosine 필터를 사용하였으며, Hilbert 변환을 사용하여 포락선 검출을 하였다.

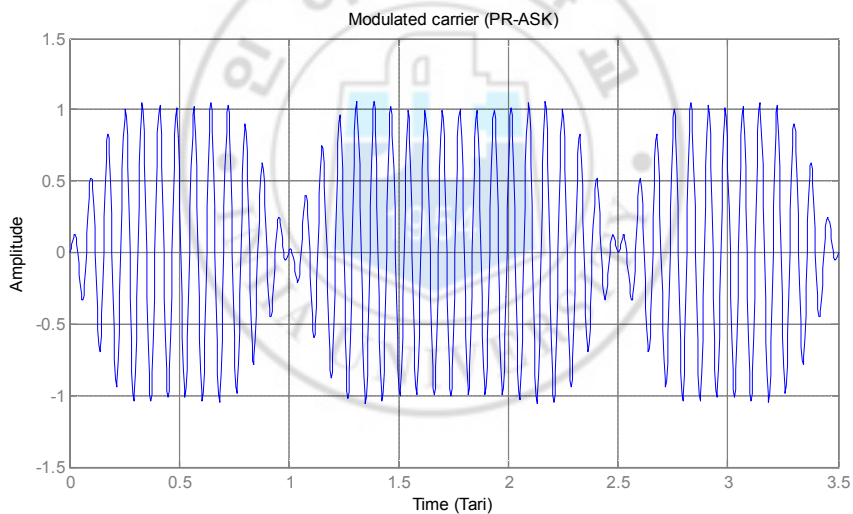


그림 2.6. 변조된 반송파 (PR-ASK) (그림 2.1 ①).

Fig. 2.6. Modulated Carrier (PR-ASK) (Fig. 2.1 ①).

그림 2.6은 데이터 [0 1 0]이 부호화되어 Raised Cosine 필터를 거쳐 PR-ASK 방식으로 변조된 그림 2.1의 ①에서의 반송파를 나타낸다.

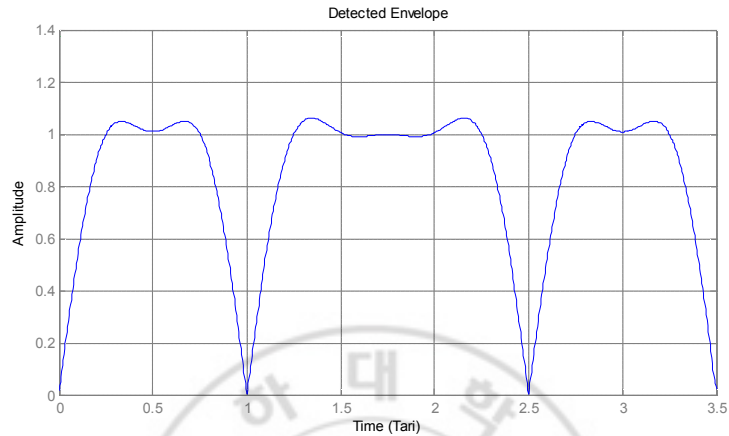


그림 2.7. 검출된 포락선 (그림 2.1 ②).

Fig. 2.7. Detected Envelope (Fig. 2.1 ②).

그림 2.7은 Hilbert 변환에 의해 검출된 그림 2.1의 ②에서의 포락선을 나타낸다.

### 2.1.2.3 SSB-ASK 변조

SSB-ASK 변조 방식은 Hilbert 변환을 사용하여 Signal PSD Two Sides의 한 부분을 제거하여 얻어진 다 [7].

## 2.2 태그에서 리더로의 통신

그림 2.8은 태그 송신기에서 리더 수신기로의 통신을 위한 블록 다이어그램을 나타내며, AWGN 채널만을 고려한다.

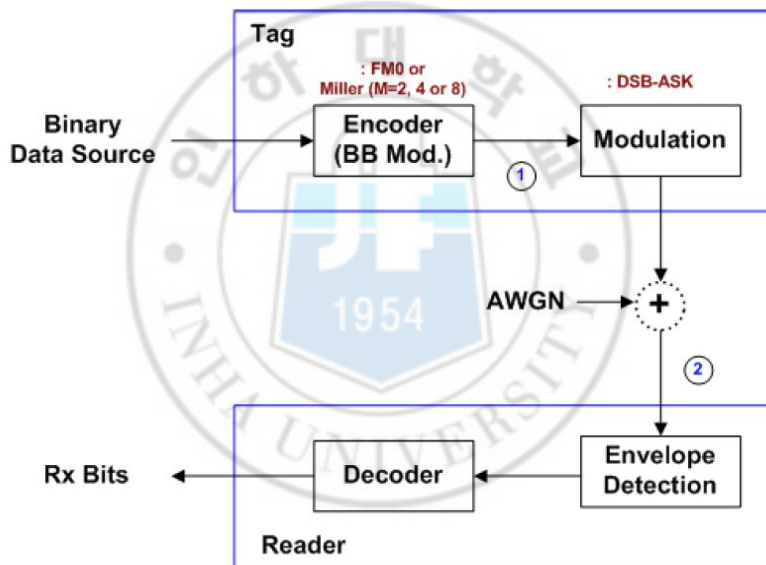


그림 2.8. 태그에서 리더로의 통신.

Fig. 2.8. Tag to Reader Communications.

### 2.2.1 부호화

태그에서 리더로의 통신 Encoding을 위해 FM0 또는 Miller Sub-carrier Tones의 부호화 방법을 사용한다. 태그의 메모리에 저장된 정보 또는 데이터를 바로 변조할 경우 넓은 주파수 스펙트럼이 요구되어 리더에서 높은 인식률을 보장하기 어려우므로, 두 개의 주파수 스펙트럼이 발생될 수 있는 Bi-phase 형태의 Manchester 코드 또는 FM0 코드로 부호화를 한다.

#### 2.2.1.1 FM0 부호화

위상 반전은 심볼들간 경계에서 발생하나, Data-0는 심볼 중간에 위상 반전이 생긴다.

#### 2.2.1.2 Miller Sub-carrier Tones 부호화

Miller code는 'Miller Subcarrier Sequences'라 불리는 Sequence를 사용할 수 있다. 레벨 M 값이 커지면, 하나의 비트 안에 같은 주기가 2, 4 또는 8 개가 포함되며, 이렇게 되면 전송 주기가 길어져 전송률이 떨어지게 된다. 전송률 (또는 Link Frequency (LF))은 리더에 의해 태그로 보낸

파라미터와 사용된 부호화 형식에 의해 결정된다. 식 (2-2)는 LF의 범위를 나타낸다.

$$5 \text{ kbps} \leq LF \leq 640 \text{ kbps} \quad (2-2)$$

가장 낮은 전송률 5 kbps의 데이터는  $M = 8$ ,  $TRcal = 200 \text{ } \mu\text{s}$ 과  $DR = 8$ 의 Miller Code를 사용시, 전송되며 (여기서,  $M = 2k$ 은 심볼 크기,  $k$ 는 비트 개수,  $DR$ 은 *Divide Ratio*이며, 64/3와 8 중에서 하나의 값을 갖는다.), 최대 전송률 640 kbps는 FM0 부호화, 파라미터  $TRcal = 33.3 \text{ } \mu\text{s}$ 와  $DR = 64/3$ 을 사용하여 얻을 수 있다. 식 (2-3)과 식 (2-4)는 각각 전송률 (*Data Rate*)과  $TRcal$ 의 범위를 나타낸다.

$$\text{Data Rate} = LF = \frac{DR}{TRcal \times M} \quad (2-3)$$

$$1.1 \times RTcal \leq TRcal \leq 3 \times RTcal \quad (2-4)$$



## 2.2.2 Backscatter 변조

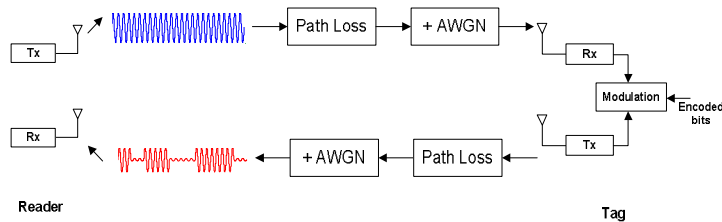


그림 2.9. Backscatter 변조.

Fig. 2.9. Backscatter Modulation.

그림 2.9의 Backscatter 변조 방식은 수동형 태그의 데이터 전송 방식으로 사용하며, 동작 원리는 리더에서 방사된 RF 신호로부터 태그의 칩을 구동시킬 수 있는 직류 전류를 정류하여 자체 칩을 구동시켜서 리더가 원하는 응답을 하는 방식이다 [8]-[10]. 이 때 태그의 안테나와 칩이 정합되었을 경우, 칩으로 공급되는 전력은 반사되는 전력과 동일하게 수신 전력의 절반이 되고, 태그의 안테나부가 단락되었을 경우, 입사 전력과 반사 전력이 같은 위상이 되어 수신 전력의 2배가 반사된다. 이와 같은 형태로 ASK 변조를 구현할 수 있고, 부하 변조 회로를 구현하여 FSK와 같은 데이터 변조도 가능하다. EPC Class-1 Gen-2에서는 진폭을 변화시키는 ASK와 위상을 변화시키는 PSK 방식으로 부호화된 비트를 전송한다 [11]. 또한, 그림 2.9는 FM0 부호화

와 ASK 변조를 이용한 Backscatter 변조를 나타내고 있으며, 리더와 태그간의 통신을 단순화시킨 그림이다. 태그에서 Backscatter 되어, 태그의 변조기에서 RF 반송파로 사용될 정현 신호를 리더는 전송한다. 부호화된 데이터는 반송파를 변조하고, 변조된 반송파는 태그 안테나로부터 전송된다.

표 2.2. 모의실험 파라미터 (Backscatter 변조).

Table 2.2. Simulation Parameters (Backscatter Modulation).

Parameter	Value
Reader Tx	CW (Sine Wave)
CW Frequency	896 MHz
Rx Lowpass Filter (LPF)	Butterworth 1st Order
Sampling Frequency	5 * 896 MHz
Tag Coding	FM0
Tag Modulation	ASK (100 %)
Tag Data Rate	320 Kbps
Tx Bits	8 Random Bits
Path Loss	Not considered
AWGN	Not considered

표 2.2는 Backscatter 변조를 위한 모의실험 파라미터를 나타낸다.

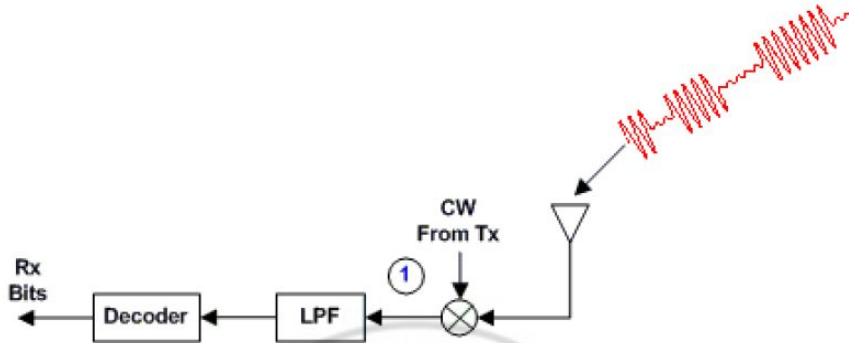


그림 2.10. 단순화된 리더 수신기 구조.

Fig. 2.10. Simplified Reader Receiver Structure.

그림 2.10은 단순화된 리더 수신기 구조이다. 태그로부터 Backscatter 된 수신 신호는 송신기에서 사용되는 정현 신호와 합쳐지고, 혼합기 출력 신호는 LPF (Low Pass Filter)에서 고주파 성분이 제거된 후, 낮은 주파수 대역 성분만이 통과된다. 발생한 신호는 태그 송신기에서 사용된 부호화의 역 과정에 의하여 디코딩된다.

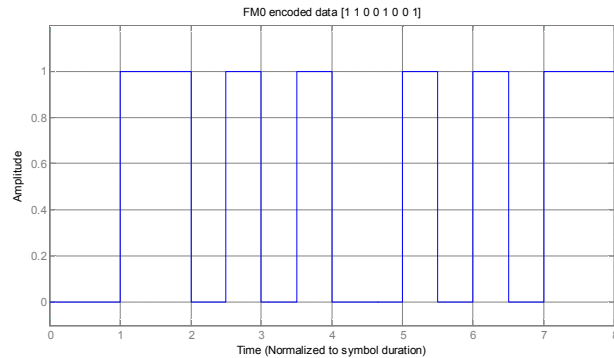


그림 2.11. FM0 부호화된 데이터 (기저대역) (그림 2.8 ①).

Fig. 2.11. FM0 Encoded Data (BB) (Fig. 2.8 ①).

그림 2.11은 기저 대역에서 [1 1 0 0 1 0 0 1]의 순서로 생성된 데이터의 그림 2.8의 ①에서 부호화된 펄스이다.

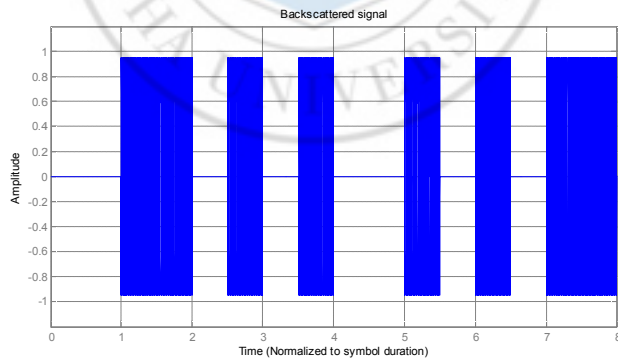


그림 2.12. Backscatter된 신호 (그림 2.8 ②).

Fig. 2.12. Backscattered Signal (Fig. 2.8 ②).

그림 2.12는 태그에서 반사된 Backscatter된 그림 2.8의 ②에서의 신호이다.

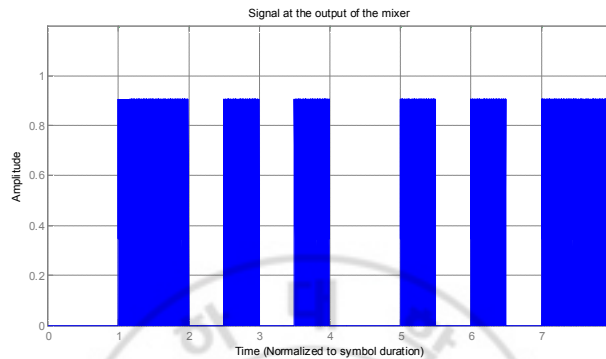


그림 2.13. 혼합기 출력 신호 (그림 2.10 ①).

Fig. 2.13. Signal at the Output of the Mixer (Fig. 2.10 ①).

그림 2.13은 그림 2.10의 ①에서의 혼합기를 거친 출력 신호이다.

## 2.3 하향 링크 동기화

### 2.3.1 주파수 동기

RFID 시스템에서 태그는 Backscattering 변조 방법을 이용한다. 이는 Local Carrier를 생성하기 위한 Local VCO (Voltage Controlled Oscillator)를

갖지 않음을 의미한다. 수신된 정현 신호는 부호화된 비트에 의해 변조된 후 리더로 Backscatter 되어 재전송된다. 하향 링크에서 첫 번째 복조 과정은 포락선을 검출하여 반송파를 억제하므로, 주파수 동기화를 하향 링크 (리더→태그)에서는 필요로 하지 않는다.

### 2.3.2 시간 동기

하향 링크에서 EPCglobal 표준은 PIE 부호화를 사용하여 데이터를 전송한다. PIE 부호화를 사용하는 이유는 클럭을 포함하고 있기 때문에, 태그에서 비트 (또는 심볼) 경계를 검출하기가 용이하다. 클럭은 태그의 아날로그 부분 (예, AFE, 변조기 등)과 디지털 부분 (예, EPROM과 제어기)간에 상호 작용을 가능하게 해준다.

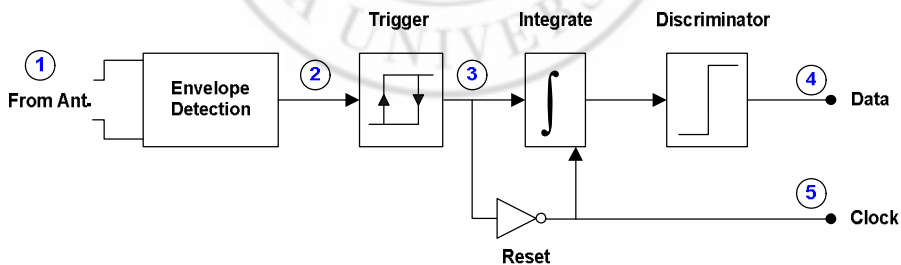


그림 2.14. 태그 복조기의 Functional Block Diagram.

Fig. 2.14. Functional Block Diagram of Tag's Demodulator.

그림 2.14는 태그 복조기의 Functional Block Diagram 이다 [12]. 부호화된 심볼인 수신 신호의 포락선 (기저대역 신호)을 검출함으로써 반송파를 제거한다. 포락선은 Trigger를 통과하며, 여기서 Trigger는 포락선의 상승/하강하는 Edge를 검출하여 잡음으로부터 기저 신호를 복구한다. Trigger의 출력은 반전이 되어 태그의 디지털 부분에서 사용되는 클럭을 생성하고, Trigger의 출력을 적분하는 적분기를 리셋한다. '1' 또는 '0'의 전송 비트를 결정하는 Discriminator를 통해 적분기의 출력이 결정되며, 데이터는 후에 처리 될 클럭과 함께 디지털 부분으로 입력된다.

그림 2.15에서 그림 2.18까지는 그림 2.14의 각각의 Functional Block 출력에서의 파형 분석을 통하여, 그 적합성 여부를 판단한다. 하향 링크 시간 동기를 위한 모의실험 파라미터는 표 2.3과 같이 주어진다.

표 2.3. 하향 링크 시간 동기를 위한 모의실험 파라미터.

Table 2.3. Simulation Parameters (DL Timing Synch).

Parameter	Value
Carrier Frequency	910 MHz
Reader Encoding	PIE
Reader Modulation	ASK
Transmitted Bits	1 0 0 1 1 0
'1' Duration	1.5 Tari
'0' Duration	1 Tari
Envelope Detection	Using the Hilbert Transform

태그는 Pivot 값을 이용하여 비트 사이를 구분한다. High Level Duration이 Pivot보다 작은 비트가 수신되면 '0'으로 간주하고, 그렇지 않으면 '1'로 간주한다.

$$Pivot = \frac{RT_{cal}}{2} \quad (2-5)$$



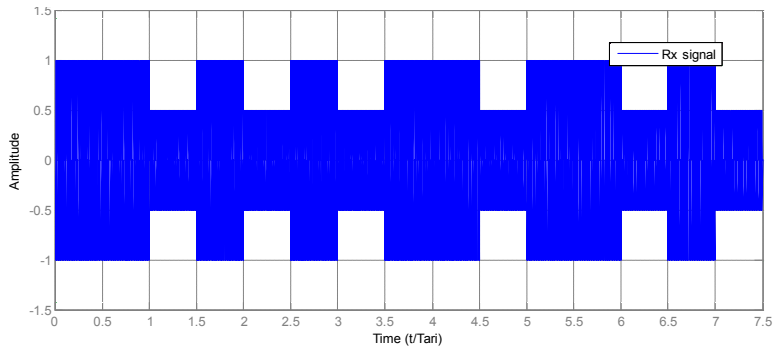


그림 2.15. 태그 안테나에서의 수신 신호 (그림 2.14 ①).

Fig. 2.15. Received Signal at the Tag Antenna (Fig 2.14 ①).

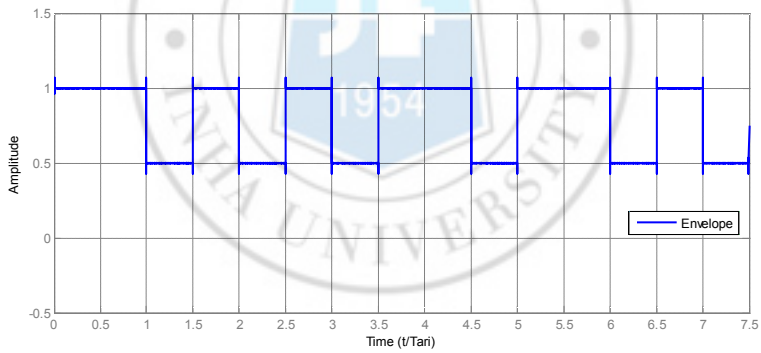


그림 2.16. 검출된 포락선 (그림 2.14 ②).

Fig. 2.16. Detected Envelope (Fig 2.14 ②).

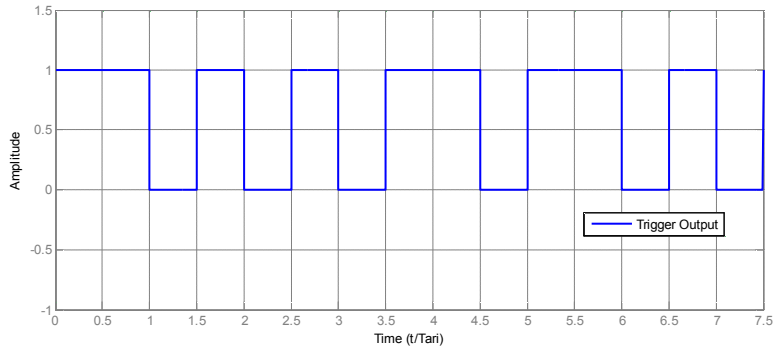


그림 2.17. Trigger 출력 (그림 2.14 ③).

Fig. 2.17. Output of the Trigger (Fig 2.14 ③).

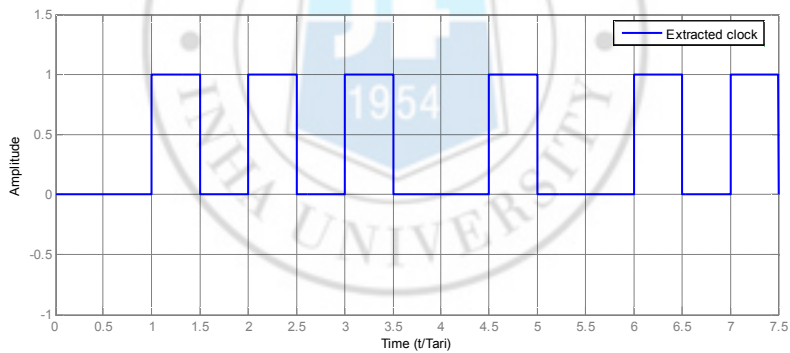


그림 2.18. 추출된 Clock 신호 (그림 2.14 ⑤).

Fig. 2.18. Extracted Clock (Fig 2.14 ⑤).

그림 2.15에서 그림 2.18까지와 같이 수신된 신호의 포락선을 검출하며, 클럭은 데이터 심볼로 보내져, 적분기를 설정하고 메모리를

구동시키며, 제어부에 의하여 검출된 비트를 수신하는데 사용된다. 상승하거나 하강하는 Edge는 Trigger 출력이나 클럭에서 검출할 수 있으며, 그림 2.18의 클럭 신호를 미분하여 그림 2.19과 같이 검출할 수 있다. 양의 값은 같은 심볼 내에서 High Level에서 Low Level로의 변화를 의미하는 Trigger 출력의 하강 Edge이며, 음의 값은 두 심볼 (비트)간의 경계를 표현하는 Trigger 출력의 상승 Edge를 나타낸다.

상승 Edge Index를 사용하여 적분기를 리셋하고, 적분기 출력은 Discriminator로 입력되어 Discriminator에 의하여 '1' 또는 '0' 이 결정된다.

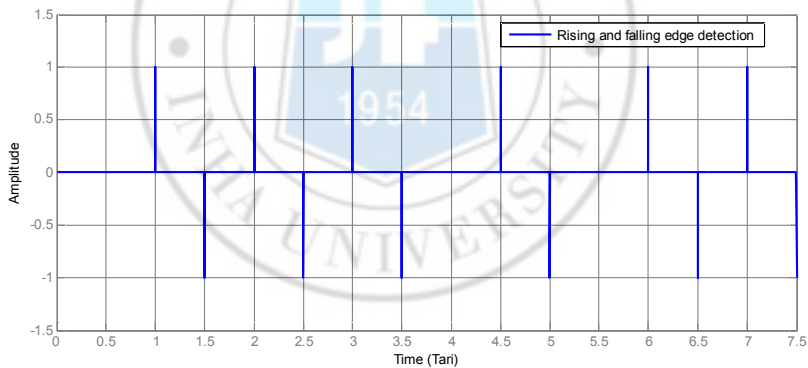


그림 2.19. 클럭 신호의 Falling and Rising Edges 검출.

Fig. 2.19. Falling and Rising Edges Detection from the Clock Signal.

### 2.3.3 리더 Preamble과 Frame 동기

모든 리더의 Signaling은 Preamble 또는 Frame 동기가 우선되어야 한다. Query 명령어는 태그 Inventory의 시작을 알리는 Preamble로 시작되나, 다른 명령어는 Frame 동기로 시작된다.

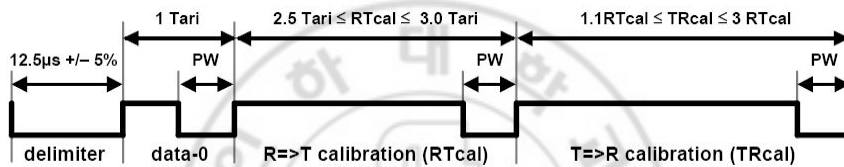


그림 2.20. 리더에서 태그로의 통신 Preamble.

Fig. 2.20. Reader to Tag Preamble.

다음 그림 2.20은 PIE 부호화를 사용하는 Preamble을 나타낸다.

Preamble은 Data-0 앞의 구획문자 (Delimiter)로 시작되며, Data-0 후에 Data-0와 Data-1을 구분하기 위한 RTcal (Reader to Tag Calibration)이 위치하고, 비교 시 기준이 되는 문턱 값 Pivot은 식 (2-5)와 같이 주어진다. 여기에서, 심볼이 Pivot보다 짧다면 Data-0로 간주되고, 그렇지 않다면 Data-1으로 간주되며, TRcal (Tag to Reader Calibration)은 Link Frequency (LF)을 계산하기 위하여 식 (2-3)과 같이 주어진다. 여기에서 DR (Divide Ratio)은 64/3 또는 8의 값을 취하고, 하나의 비트를 사용하는

Query 명령어를 사용하여 리더에서 태그로 보내진다. 즉, 만약 비트 값 '0'이 보내지면, DR은 값 '8'을 취하고, 그렇지 않다면 값 '64/3'을 취한다. Pivot 값은 Query 명령어 전송만을 이용하여 변경할 수 있고, 연속적인 Query 명령어 사이의 최소 시간은 8 TRcal이다.

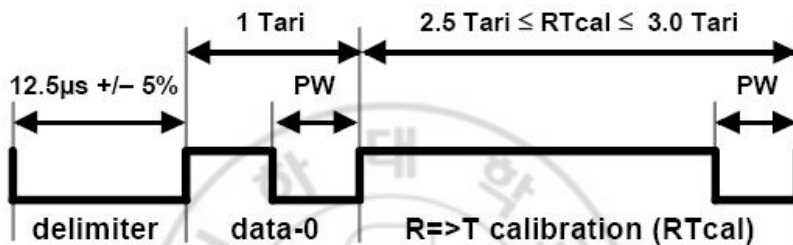


그림 2.21. 리더에서 태그로의 Frame 동기를 위한 Signaling.

Fig. 2.21. Reader to Tag Frame Synchronization.

그림 2.20은 리더에서 태그로의 Frame 동기를 위한 Signaling을 나타낸다. Frame 동기는 Preamble 동기와 TRcal이 없다는 것을 제외하고는 같은 구조를 가지고 있다.

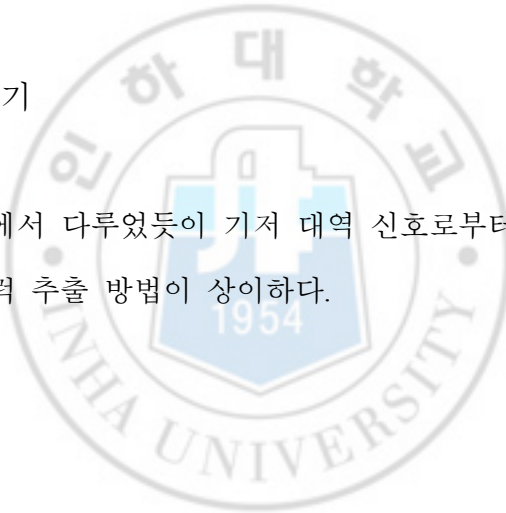
## 2.4 상향 링크 동기화

### 2.4.1 주파수 동기

RFID 시스템은 주파수 동기화를 고려하지 않는다. 반송파를 억제하고 포락선을 검출하기 때문이다.

### 2.4.2 시간 동기

클럭은 전 절에서 다루었듯이 기저 대역 신호로부터 생성되며, 부호화 방법에 따라 클럭 추출 방법이 상이하다.



## 제 3 장

# 수동형 RFID 시스템의 태그 충돌방지 알고리즘

국제 표준으로 권고되고 있는 RFID 사용 주파수는 13.56MHz, 400MHz, 900MHz, 2.4GHz 등이 있으며 이 가운데 900MHz가 비교적 특성이 우수해서 국내외적으로 특히 주목을 받고 있다 [1]. 그러나 RFID 리더 사이의 충돌 또는 태그들의 충돌로 인하여 인식 효율이 떨어지는 등의 문제를 가지고 있다 [13]. 특히 RFID 태그들의 충돌은 태그의 인식효율 및 인식속도의 감소를 가져오므로, RFID 시스템이 산업화되기 어려운 요인이 되고 있다.

### 3.1 RFID 태그 충돌

일반적으로 RFID 시스템에서 리더는 무선 채널을 통하여 각각의 태그들과 통신을 하는데, 모든 태그들이 리더가 보낸 신호를 동시에 받게 되고 리더의 전송요구에 응답을 한다. 이 때 하나의 리더가 동시에 응답한 여러 개의 태그를 인식해야 하는 문제가 발생하는데

이를 태그 충돌이라고 한다 [1]. 여러 개의 태그를 충돌 없이 인식하기 위해서는 이러한 태그 충돌 문제를 해결하는 충돌방지 알고리즘이 필요하며, 이는 900 MHz RFID 시스템에서 가장 핵심 기술로서 인식되고 있다 [4].

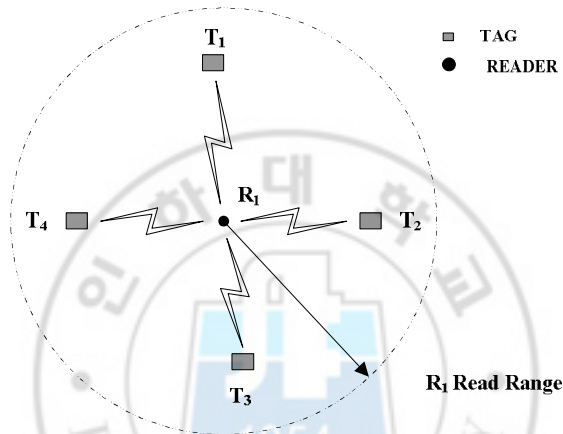


그림 3.1. 태그 충돌.

Fig. 3.1. Tag Collision.

그림 3.1은 하나의 리더에 4 개의 태그가 동시에 응답하여 태그 충돌이 발생한 것을 나타내고 있다.



### 3.2 기존 수동형 RFID 태그 충돌방지 알고리즘

태그 충돌 방지를 위해 Slotted ALOHA, Binary Tree 등 다양한 방법들이 제시되었고 국제표준 안으로 발표되었다 [4]. Slotted Aloha 알고리즘은 지정된  $N$  개의 슬롯으로 구성된 프레임을 리더기와 태그 간 통신에 사용하여 리더기 식별영역 내의 각 태그는 태그의 정보를 전송할 슬롯을 임의로 선택하여 해당 식별자를 적재하는 방식을 사용한다. Binary Tree 알고리즘은 이진비트로 표현되는 태그 식별자의 비트들을 사용하여 이진트리를 구성한 후 그 트리의 노드를 순회하며 태그 식별을 수행하는 방법으로서 태그 식별과정이 예측 가능하다는 특징을 갖고 있다 [14].

#### 3.2.1 Framed Slotted ALOHA 알고리즘

ISO 18000-6 Type A에서 정의된 Framed Slotted ALOHA (FS-ALOHA) 알고리즘은 리더와 태그 사이의 통신에 크기가 고정된 프레임을 사용하는 알고리즘이다. 리더가 요청 명령 (Request Command)을 전송할 때, 태그들에게 프레임 크기와 임의의 번호 (Random Number)를 보내주어 태그가 이 정보를 이용하여 프레임 내에서 자신이 사용할 슬롯을 선택할 수 있게 한다. 태그는 선택한 슬롯에 자신의 태그 ID를

리더에게 전송한다. 이 때 태그의 응답 사이에서 충돌이 발생하면 리더는 다른 임의의 번호를 태그에게 전송하여 다시 인식을 시도한다.

READER	1 <sup>st</sup> REQ	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4
STATE		1011	IDLE	COLL	0100
TAG1(1011)		→ 1011			
TAG2(1010)				→ 1010	
TAG3(0011)				→ 0011	
TAG4(0101)	↓				→ 0101

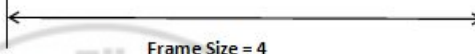

  
Frame Size = 4

그림 3.2. Framed Slotted ALOHA 알고리즘.

Fig. 3.2. Framed Slotted ALOHA Algorithm.

그림 3.2는 FS-ALOHA 알고리즘의 동작과정을 나타내고 있다.

리더의 명령과 다음 명령 사이의 간격으로 1 회의 태그 인식 과정을 읽기 주기 (Read Cycle)라 하며 첫 번째 읽기 주기에서 태그 2와 태그 3는 3번 슬롯에 자신의 태그 ID를 전송함으로써 태그 충돌이 발생하였다. 그 결과 태그 2와 3은 인식되지 않았으므로 리더의 두 번째 요청 명령에 다시 응답하였다. 이 때 각 읽기 주기에서 사용된 프레임의 크기는 4으로 일정하게 유지된다. 또한 처음 읽기 주기에서 인식된 태그 1과 태그 4는 리더와의 통신을 통해 이후의 읽기 명령에 대해 응답하지 않도록 설정된다.

FS-ALOHA 알고리즘은 프레임의 크기가 고정되어 있기 때문에 태그의 수가 많을 경우, 각 슬롯마다 할당된 태그가 많아 여러 번 반복되더라도 하나의 태그도 인식하지 못할 수 있다. 또한 태그 수가 적을 경우에는 슬롯의 낭비가 발생한다.

### 3.2.2 Deterministic Binary Tree 알고리즘

ISO 18000-6 Type B에서 정의된 Deterministic Binary Tree 알고리즘은 태그 내의 난수 발생기 (Random Generator)와 8-bit 카운터 (Counter)를 이용한다.

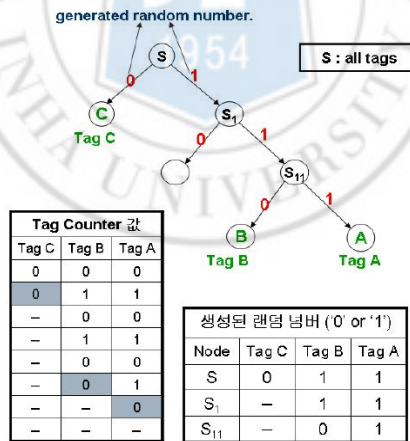


그림 3.3. Deterministic Binary Tree 알고리즘.

Fig. 3.3. Deterministic Binary Tree Algorithm.

그림 3.3은 리더의 인식 영역 내 존재하는 3 개의 태그 (A, B, C)를 인식하기 위한 Deterministic Binary Tree 알고리즘의 동작 과정을 나타낸다.

각각의 노드 S, S1, S11에서 태그가 2 개 이상 존재하고 있으며 이들 태그들은 랜덤 넘버 ‘0’ 또는 ‘1’ 을 발생하게 된다. 먼저 A, B, C 태그가 S 노드에서 충돌을 일으킨다. 충돌을 일으킨 태그들을 분리하기 위해서 ‘0’ 또는 ‘1’ 을 발생시킨다. 태그 A, B는 ‘1’ 을 생성하고 태그 C는 ‘0’ 을 생성한다. 태그 C는 인식이 되고 태그 A, B는 S1 노드에서 충돌을 일으킨다. S1 노드에서 태그 A, B 모두 ‘1’ 을 생성하여 S11 노드에서 다시 충돌을 일으키게 된다. S11 노드에서 태그 A는 ‘1’ 을, 태그 B는 ‘0’ 을 생성하여 3 개의 태그 모두 인식이 완료된다.

### 3.2.3 Gen-2 기반 Probabilistic Slotted 알고리즘

Probabilistic Slotted 알고리즘은 EPCglobal에서 EPC Class1 Gen-2를 ISO에 상정하여 채택된 표준인 ISO 18000-6 Type C에서 사용하는 충돌방지 알고리즘으로 ISO 18000-6 Type A에서 사용되는 Slotted ALOHA 방식을 기반으로 하는 Q 알고리즘이다. Probabilistic Slotted 알고리즘의 기본 동작 과정은 다음과 같다.

슬롯의 송수신과정은 라운드의 시작명령인 질의 (Query) 명령이나 재질의 (QueryRep) 명령으로 시작하며 이에 대한 응답으로 태그는 16-bit의 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. CRC 에러검사를 거쳐 성공적으로 수신하였다고 판단될 경우, 한 개의 태그가 식별된 것이다. 다음 슬롯의 송수신을 위하여 리더는 재질의 명령을 다시 태그로 전송하며 태그는 RN16으로 응답하며 상기 과정을 반복한다 [15].

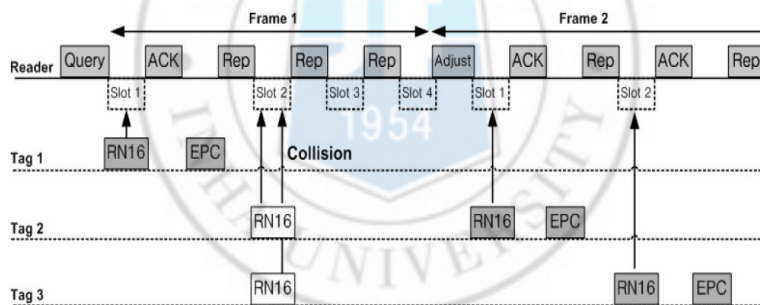


그림 3.4. Probabilistic Slotted 알고리즘.

Fig. 3.4. Probabilistic Slotted Algorithm.

그림 3.4는 Probabilistic Slotted 알고리즘의 기본 동작 과정을 나타내고 있다.

상기 과정 중 RN16의 성공적인 수신은 오직 하나의 태그만 응답하였을 경우이며, 응답이 없거나 다수 개의 태그 응답으로 인해 충돌이 발생한 경우는 실패로 여겨진다.

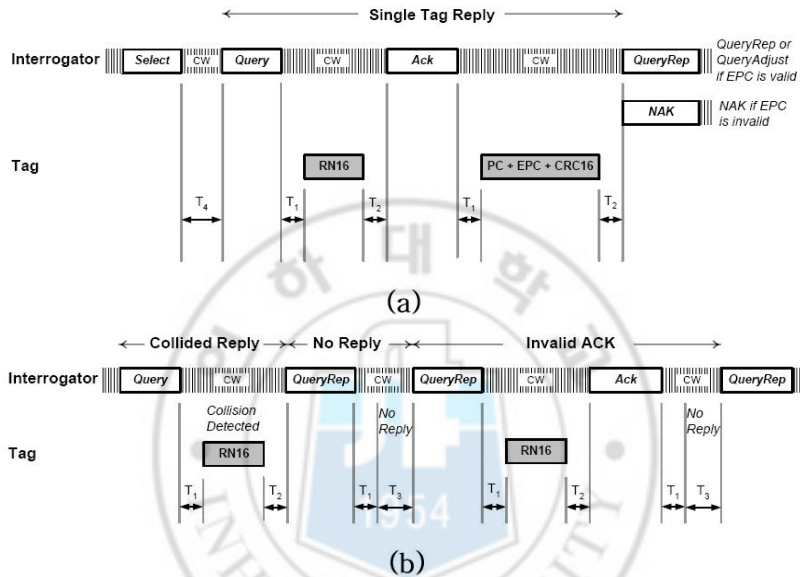


그림 3.5. (a) 하나의 태그만 리더에 응답한 경우.

(b) 태그로부터 응답이 없거나 충돌이 발생한 경우.

Fig. 3.5. (a) The Case of Single Tag Replies.

(b) The Case of No Tag or Multiple Tag Replies.

그림 3.5 [6]에서 (a)는 RN16의 성공적인 수신에 오직 하나의 태그만 응답하였을 경우이며, (b)는 하나의 리더에 다수 개의 태그 응답으로 인해 충돌이 발생한 경우와 태그로부터 응답이 없는 경우이다.

라운드 시작 시에 설정된  $Q$  값에 따라 전송해야 할 슬롯 개수가 결정되며 이를 모두 송수신한 경우 라운드가 종료된다.

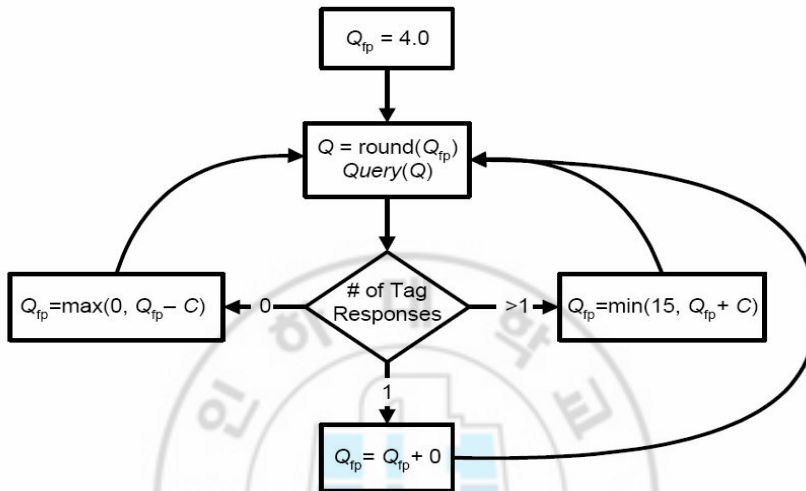


그림 3.6. Q 알고리즘.

Fig. 3.6. Q Algorithm.

그림 3.6 [6]은 ISO 18000-6 Type C에서 제시하는 Q 알고리즘을 나타낸 것이다. Q 알고리즘은  $Q$  파라미터를 이용해서 시간을  $2^Q$  개의 슬롯으로 나누고 각각의 시간 슬롯에 태그들이 랜덤하게 응답하게 함으로써 태그의 충돌을 줄이는 방법이다. 따라서  $Q$ 에 따라 충돌방지 알고리즘의 성능이 결정된다.  $Q$ 는 0 ~ 15까지의 정수로 이에 따라 생성될 수 있는 슬롯의 개수는  $2^0 \sim 2^{15}$  개다.  $Q$  값은  $Q_{fp}$  값에 따라 변하게 되는데  $Q_{fp}$ 는 유리수 값을 가지는 파라미터이며,  $Q$  값은 정수

값을 가지는 파라미터이다. Q 알고리즘은  $Q_{fp}$ 의 초기 값을 4로 두고 태그 인식 과정을 시작한다. 리더의 질의 (Query)에 대해  $2^4$  개의 슬롯에서 태그들이 랜덤하게 응답할 경우, 다음과 같은 3가지 경우가 발생한다 [14].

**Case 1.** 슬롯에 하나의 태그만이 응답하는 경우

$$Q_{fp} = Q_{fp}$$

**Case 2.** 슬롯에 태그의 응답이 없는 경우

$$Q_{fp} = Q_{fp} - C$$

**Case 3.** 슬롯에 다수의 태그가 응답하는 경우

$$Q_{fp} = Q_{fp} + C$$

여기서, C는  $Q_{fp}$ 에 더해지거나 빼지는 가중치로  $0.1 < C < 0.5$ 의 범위를 가진다 [6].



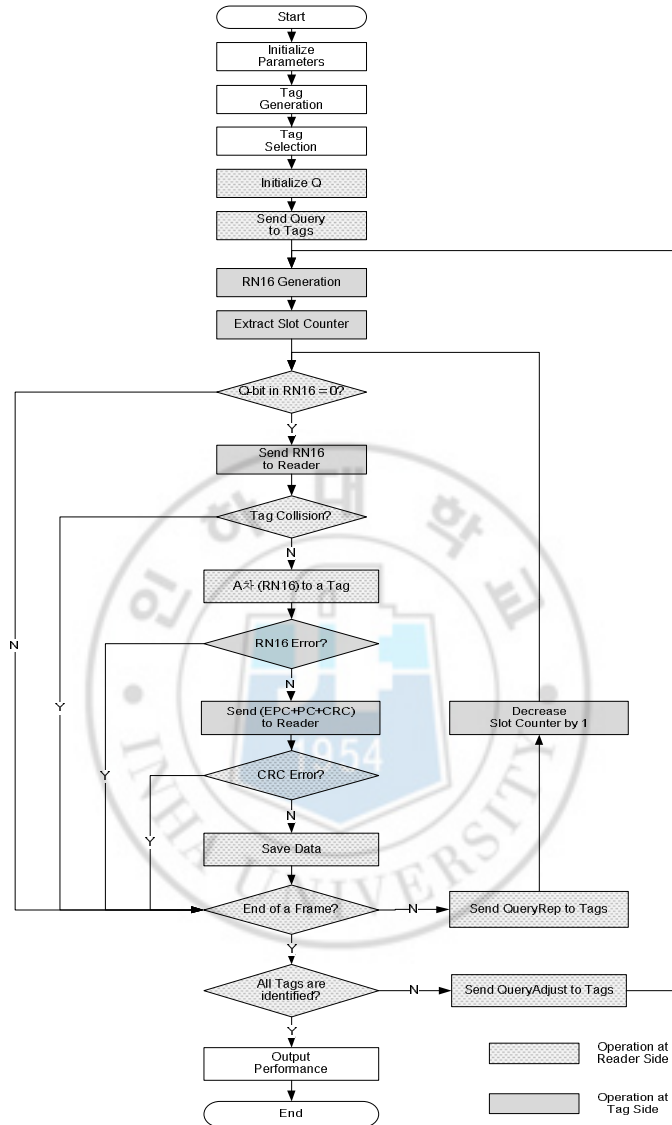


그림 3.7. Probabilistic Slotted 알고리즘의 흐름도.

Fig. 3.7. Flowchart of Probabilistic Slotted Algorithm.

### 3.3 제안하는 CHI 및 AFQ 태그 충돌방지 알고리즘

#### 3.3.1 CHI (Chebyshev's Inequality) 알고리즘

$n$  개의 태그가  $N$  개의 슬롯을 사용하여 리더와 통신한 경우 하나의 슬롯 내에  $r$  개의 태그가 존재할 확률은 이항분포 (Binomial Distribution)를 따르며 다음의 식 (3-1)로 나타낼 수 있다 [16].

$$B_{n, \frac{1}{N}}(r) = \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (3-1)$$

하나의 슬롯 내에 태그가 존재하지 않을 빈 슬롯 개수의 평균 기댓값,  $a_0^{N,n}$ 은 다음과 같이 식 (3-2)로 나타낼 수 있다.

$$a_0^{N,n} = NB_{n, \frac{1}{N}}(0) = N \binom{n}{0} \left(\frac{1}{N}\right)^0 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (3-2)$$

하나의 슬롯 내에 하나의 태그만 존재할 식별슬롯 개수의 평균 기댓값,  $a_1^{N,n}$ 는 다음과 같이 식 (3-3)으로 나타낼 수 있다.

$$a_1^{N,n} = NB_{n, \frac{1}{N}}(1) = N \binom{n}{1} \left( \frac{1}{N} \right)^1 \left( 1 - \frac{1}{N} \right)^{n-1} = n \left( 1 - \frac{1}{N} \right)^{n-1} \quad (3-3)$$

식 (3-2)과 식 (3-3)으로부터 충돌슬롯 개수의 평균 기댓값,  $a_k^{N,n}$ 을 식 (3-4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_k^{N,n} = NB_{n, \frac{1}{N}}(k) = N - a_0^{N,n} - a_1^{N,n}, \quad k \geq 2 \quad (3-4)$$

최적의 슬롯 개수를 추정하는 두 가지 방법이 있다. 인식시간을 최소화하는 방법과 시스템의 데이터 처리량을 최대화하는 방법이다. 두 가지 방법 모두 식 (3-5)와 같이 최적의 프레임 크기가 태그의 수와 같은 결론을 얻을 수 있다 [4].

$$N_{optimal} = n \quad (3-5)$$

리더 인식범위 안의 태그 수를 추정하는 방법은 Lower Bound, 최대 데이터 처리량, 충돌 비율, Chebyshev' s 부등식을 이용한 방법이 있다. 그 중 Chebyshev' s 부등식을 이용한 방법은 한 라운드 후의 Read Results (프레임 크기  $N$ , 충돌이 발생한 슬롯 수  $c_k$ , IDLE 슬롯 수  $c_0$ ,

성공적으로 전송된 슬롯 수  $c_1$ )와 Expected Value Vector 값과의 Distance가 최소가 되는  $n$  값을 택함으로써 태그의 수 ( $n$ )를 추정한다 [16]. 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\zeta(N, c_0, c_1, c_k) \geq \min_n \left\| \begin{pmatrix} a_0^{N,n} \\ a_1^{N,n} \\ a_k^{N,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_k \end{pmatrix} \right\| \quad (3-6)$$

여기서,  $a_0^{N,n}$ ,  $a_1^{N,n}$ , 그리고  $a_{\geq 2}^{N,n}$ 은 식 (3-2)에서 식 (3-4)까지 이용한다.

CHI 알고리즘은 Q 알고리즘 대신하여 Chebyshev' s 부등식을 이용하여 리더 인식범위 안의 태그 수를 추정하여 다음 프레임의 최적의 슬롯크기를 추정하는 알고리즘이다. 그림 3.7를 보면 Probabilistic Slotted 알고리즘은 프레임이 종료된 후 QueryAdjust 명령어로 프레임 크기를 조절한다. 그러나, CHI 알고리즘에서는 QueryAdjust 명령어 대신에 Chebyshev' s 부등식을 이용하여 다음 프레임의 크기를 결정하게 된다. 그림 3.8은 CHI 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 음영 처리된 부분은 기존 Probabilistic Slotted 알고리즘에서 새롭게 제안하는 부분을 나타내고 있다. CHI 알고리즘은 태그의 수를 정확하게 추정할 수 있고 최적의 프레임 크기를 구할 수 있으므로, Q 알고리즘보다 태그 인식 성능을 향상할 수 있다 [17].

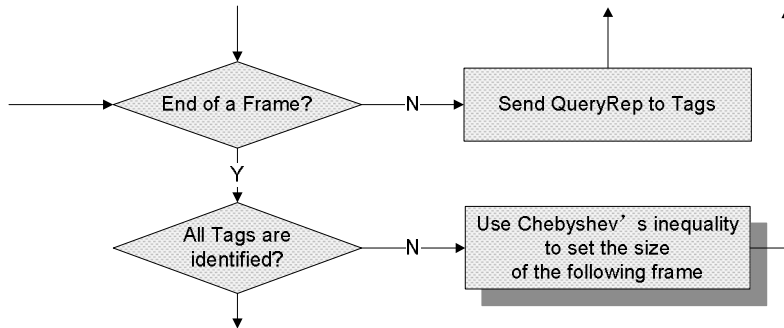


그림 3.8. CHI 알고리즘의 흐름도.

Fig. 3.8. Flowchart of CHI Algorithm.

### 3.3.2 AFQ (Adjustable Framed Q) 알고리즘

AFQ 알고리즘은 현재의 라운드 종료 전 연속적인 충돌 슬롯이 발생하거나 연속적인 빈 슬롯이 발생할 경우, 현재 라운드 내에서 QueryAdjust 명령어를 사용하여 라운드를 종료한 후, 다음 라운드의 슬롯 개수를 조절하는 방법이다. 연속적인 충돌 슬롯이 발생한다는 것은 현재 시스템 내에 슬롯 개수보다 태그 개수가 많다는 것을 의미한다. 따라서 슬롯 개수를 증가시켜 새로운 라운드를 시작함으로써 시스템 효율을 증가시켜야 한다 [18].

## 3.3.2.1 FAFQ (Fixed Adjustable Framed Q) 알고리즘

FAFQ 알고리즘은 현재 라운드 내에서 연속적인 충돌 슬롯이 Threshold 값 이상 발생할 경우 QueryAdjust 명령어를 사용하여 다음 라운드 슬롯 개수를 증가시키고, 연속적인 빈 슬롯이 Threshold 값 이상 발생할 경우 QueryAdjust 명령어를 사용하여 다음 라운드 슬롯 개수를 감소시킨다.

```

If number of continuous collided slots > Thcoll
    Reader sends QueryAdjust.
    Q = Q + 1
else if number of continuous empty slots > Themp
    Reader sends QueryAdjust.
    Q = Q - 1
else
    Reader sends QueryRep.
end
  
```

그림 3.9. FAFQ 알고리즘.

Fig. 3.9. FAFQ Algorithm.

### 3.3.2.2 AAFQ (Adaptive Adjustable Framed Q) 알고리즘

AAFQ 알고리즘은 Threshold 값을 표 3.1과 같이 Q 값에 따라 Threshold 값을 적절하게 조절하여, 다음 라운드의 슬롯 개수를 동적으로 조절한다.

표 3.1. AAFQ 알고리즘의 Threshold 선택 방법.

Table 3.1. Threshold Selection Method of AAFQ Algorithm.

Q	0	1	2	3	...	14	15
Continuous Collided Slots / Empty Slots Threshold	0	1	2	3	...	14	15
Total Nr. of Slots	$2^0$	$2^1$	$2^2$	$2^3$	...	$2^{14}$	$2^{15}$

```
Reader sends QueryAdjust.  
If Q == Q + 1  
    Themp = Themp + 1  
    Thcoll = Thcoll + 1  
else if Q == Q - 1  
    Themp = Themp - 1  
    Thcoll = Thcoll - 1  
end
```

그림 3.10. AAFQ 알고리즘.

Fig. 3.10. AAFQ Algorithm.

그림 3.10은 AAFQ 알고리즘을 구현하기 위한 의사코드이다.

AAFQ 알고리즘은 QueryAdjust 명령어의 사용 빈도수를 줄여 태그 인식시간, 충돌 비율을 최소화할 수 있고, 데이터 처리량, 시스템 효율을 최대화할 수 있다.



### 3.4 모의실험을 통한 성능 비교 및 분석

본 절에서는 EPCglobal Class1 Gen-2 기반 Probabilistic Slotted 충돌방지 알고리즘과 제안하는 CHI 및 AFQ 태그 충돌방지 알고리즘의 성능을 비교 및 분석한다.

#### 3.4.1 모의실험 환경 및 파라미터

태그, 리더를 MatLab를 이용 하여 모델링 하였으며 모의실험에서 설정된 파라미터들은 표 3.2 [19]-[21]와 같다. 태그의 개수는 0 개에서 무한 개까지 설정할 수 있으나 본 논문에서는 현실적인 상황을 고려하여 1000 개까지 한정하였다.

표 3.2. Gen-2 알고리즘의 모의실험 파라미터.

Table 3.2. Simulation Parameters of Gen-2 Algorithm.

Parameters	Descriptions	Values in Specification	Values in Simulation
Tari	Reference time interval for a data-0 in Interrogator-to-Tag signaling	6.25 $\mu$ s, 12.5 $\mu$ s, or 25 $\mu$ s	12.5 $\mu$ s
DR	Divide Ratio	64/3 or 8	8
RTcal	Interrogator-to-Tag calibration	$2.5 \text{ Tari} \leq \text{RTcal} \leq 3.0 \text{ Tari}$	$3 \text{ Tari} = 37.5 \mu\text{s}$
TRcal	Tag-to-Interrogator calibration $\text{RTcal} \leq \text{TRcal} \leq 3 \text{ RTcal}$	$17.2 \mu\text{s} \leq \text{TRcal} \leq 200 \mu\text{s}$ , if DR = 8	$2 \text{ RTcal} = 75 \mu\text{s}$
LF	Link frequency	$\text{LF} = \text{DR}/\text{TRcal}$	107 kHz
T <sub>pri</sub>	Link pulse-repetition interval	$\text{T}_{\text{pri}} = 1/\text{LF}$	9.375 $\mu$ s
T <sub>1</sub>	Time from Interrogator transmission to Tag response	MAX (RTcal, 10T <sub>pri</sub> )	$10 \text{ T}_{\text{pri}} = 93.75 \mu\text{s}$
T <sub>2</sub>	Time from Tag response to Interrogator transmission	$3.0 \text{ T}_{\text{pri}} \leq \text{T}_2 \leq 20.0 \text{ T}_{\text{pri}}$	$10 \text{ T}_{\text{pri}} = 93.75 \mu\text{s}$
T <sub>3</sub>	Time an Interrogator waits, after T <sub>1</sub> , before it issues another command	0.0 T <sub>pri</sub>	0 $\mu$ s
T <sub>4</sub>	Minimum time between Interrogator commands	2.0 RTcal	75 $\mu$ s
T=>R Data Rate	Tag-to-Interrogator link data rate	LF, if FM0 modulation	LF = 107 kbps

### 3.4.2 모의실험 성능분석항목

#### 3.4.2.1 태그인식시간 (Identification Time)

기존의 연구에선 태그인식시간을 모든 태그들이 리더에 인식될 때까지 시간으로 정의하였다.

$$N_{Total} = \sum_i L_i \quad (3-7)$$

여기서,  $L_i$ 는  $i$  번째 라운드의 슬롯 개수를 의미한다.

식 (3-7)은 태그를 인식하기 위해 소요된 슬롯 개수를 의미한다. 상기의 식 (3-7)에 따라 태그인식시간은 슬롯 전송에 소요된 시간과 관계없이 모든 슬롯 전송에 동일한 시간을 부여하여 계산하였다. 하지만, Gen-2 알고리즘의 경우 그림 3.5에서 확인 할 수 있는 것처럼 식별 슬롯, 빈 슬롯, 충돌발생 슬롯에 소요된 전송시간이 고정되어 있는 것이 아니라 리더와 태그 통신 중 명령어 전송 횟수,  $T_{ari}$  (데이터 전송시간)에 따라 슬롯에 소요된 전송시간은 서로 다르다. 따라서 본 논문에서는 태그인식시간을 식 (3-8) [20]-[21]과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \text{Identification Time} = & T_{\text{Select}} + T_4 + T_{\text{Query}} + T_1 + T_{\text{RN16}} \\ & + T_2 + T_{\text{ACK}} + T_1 + T_{\text{EPC}} + T_2 + \dots \end{aligned} \quad (3-8)$$

#### 3.4.2.2 데이터 처리량 (Throughput)

본 논문에서는 Gen-2의 데이터 처리량을 다음 식 (3-9) [20]-[21]와 같이 정의 한다.

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= \frac{\text{Total Transmission Bits}}{\text{Identification Time}} \text{ (bps)} \\ &= \frac{\sum_i (\text{Transmission Bits in the } i^{\text{th}} \text{ Successful Slot})}{\text{Identification Time}} \\ &= \frac{\text{Data Rate} \times \sum_i (\text{Successful Slot Time})}{\text{Identification Time}} \\ &= \text{Data Rate} \times \frac{\text{Total Successful Slot Time (only considering Traffic)}}{\text{Identification Time}} \end{aligned} \quad (3-9)$$

#### 3.4.2.3 시스템 효율 (System Efficiency)

본 논문에서는 기존 연구들에서 제시된 시스템 효율에 대해 살펴보고, 슬롯전송에 소요된 시간 개념을 부여한 새로운 시스템 효율을 정의한다.

기존 대부분의 연구에선 식 (3-7)을 이용하여 식 (3-10)과 같이 나타내었다.

$$\text{System Efficiency} = \frac{\sum_i c_{i,i}}{N_{\text{Total}}} \quad (3-10)$$

여기서,  $c_{i,i}$ 은  $i$  번째 라운드의 식별 슬롯 개수이다.

기존 논문에서는 식 (3-7)과 식 (3-10)을 이용하여 시스템 효율을 다음과 같이 정의 하였다.

$$\text{System Efficiency} = \frac{\text{Number of Successful Slots}}{\text{Total Number of Slots}} \quad (3-11)$$

식 (3-11)은 슬롯 전송에 소요된 시간과 관계없이 식별슬롯의 개수만 판별하여 시스템 효율을 정의 하였다. 하지만 앞서 언급했던 바와 같이 Gen-2 알고리즘에선 식별 슬롯, 빈 슬롯, 충돌발생 슬롯에 소요된 전송시간이 고정되어 있는 것이 아니라 서로 다르기 때문에 식별슬롯의 개수를 판별 하는 것보다 식별 슬롯에 소요된 전송시간을 판별 하는 것이 더 바람직하다 [15]. 따라서 본 논문에서는 식 (3-8)과 식 (3-11)을 이용하여 시스템 효율을 다음 식 (3-12) [20]-[21]와 같이 정의한다.

$$\text{System Efficiency} = \frac{\text{Total Successful Slot Time}}{\text{Identification Time}} \quad (3-12)$$

#### 3.4.2.4 충돌 비율 (Collision Ratio)

충돌 발생 비, 충돌 비율을 식 (3-8)과 식 (3-10)을 이용하여 식 (3-13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{\text{ratio}} = \frac{\sum_i c_{k,i}}{N_{\text{Total}}} \quad (3-13)$$

여기서,  $c_{k,i}$ 은  $i$  번째 라운드의 충돌 슬롯 개수이다.

따라서 본 논문에서는 충돌 비율을 식 (3-14) [20]-[21]와 같이 정의한다.

$$C_{\text{ratio}} = \frac{\text{Total Number of Collided Slots}}{\text{Total Number of Slots}} \quad (3-14)$$

### 3.4.3 Q 알고리즘 이론적 성능 분석

Gen-2 알고리즘의  $i$  번째 라운드 슬롯 개수,  $L_i$ 는 Q 알고리즘의 QueryAdjust 명령어에 의해 식 (3-15)와 같이  $2 \times L_i$ ,  $L_i/2$ ,  $L_{i-1}$ 과 같이 증가, 감소, 또는 유지된다.

$$L_i = \begin{cases} 2 \cdot L_{i-1} & \text{if } I \geq 1 \\ L_{i-1} & \text{if } I = 0 \\ L_{i-1} / 2 & \text{if } I \leq -1 \end{cases} \quad (3-15)$$

라운드 슬롯 개수 증가 감소, 유지를 결정하기 위한 변수  $I$ 는 충돌슬롯 개수의 평균 기댓값과 빈 슬롯 개수의 평균 기댓값, 식 (3-2)와 식 (3-4)를 이용해 다음 식 (3-16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I = \text{round}[(a_k^{N,n} - a_0^{N,n}) \times C] \quad (3-16)$$

식 (3-15)와 식 (3-16)을 이용하여 식 (3-7)의 시스템에서 사용되는 전체 슬롯 개수의 평균 기댓값을 구할 수 있다.

상기의 식 (3-16)에 실제 슬롯 상태정보인  $c_{k,i}$ 와  $c_{0,i}$ 를 대입하여 시스템에서 사용되는 변수  $I$ 의 실측값을 구할 수 있다.

$$I = \text{round}[(c_{k,i} - c_{0,i}) \times C] \quad (3-17)$$

또한, 식 (3-15)와 식 (3-17)을 이용하여 식 (3-7)의 시스템에서 사용되는 전체 슬롯 개수의 실측값을 구할 수 있다.

본 논문에서는 기댓값 식 (3-16)과 실측값 식 (3-17)을 통해 Gen-2 알고리즘에서 사용된 전체 슬롯 개수의 기댓값과 실측값을 비교해본다.

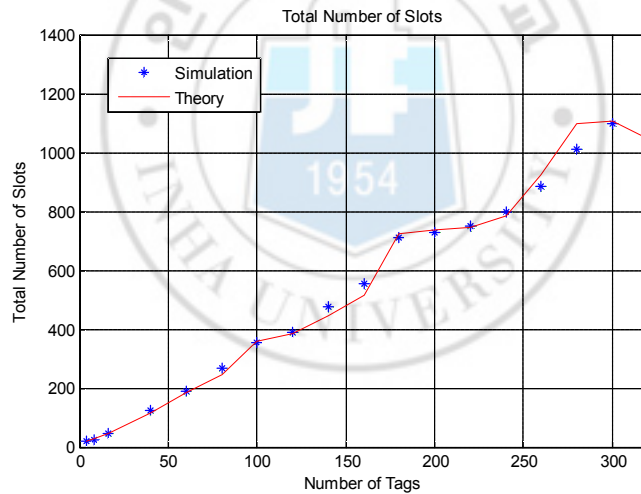


그림 3.11. Gen-2에서 사용된 전체 슬롯개수  
(기댓값 vs. 실측값).

Fig. 3.11. Total Number of Slots for Tag Identification  
in Gen-2 (Theory vs. Simulation).



그림 3.11은 Gen-2에서 사용된 전체 슬롯 개수의 기댓값과 실측값을 비교한 그림으로 태그 개수가 증가함에 따라 사용된 슬롯 개수가 증가함을 볼 수 있다.

식 (3-13)을 이용하여 시스템 효율의 실측값과 식 (3-18)의 시스템 효율의 기댓값을 비교 할 수 있다.

$$\text{System Efficiency} = \frac{\sum_i a_{1,i}}{N_{\text{Total}}} . \quad (3-18)$$

여기서,  $a_{1,i}$ 는 식 (3-3)으로부터 구할 수 있다.

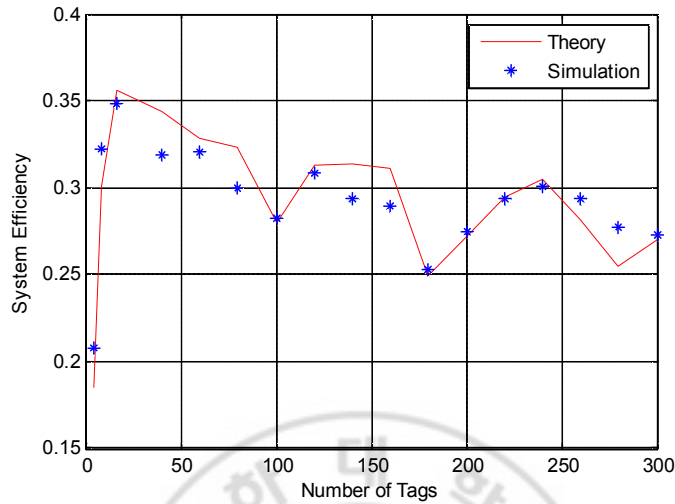


그림 3.12. Gen-2에서의 시스템 효율 (기댓값 vs. 실측값).

Fig. 3.12. System Efficiency in Gen-2 (Theory vs. Simulation).

그림 3.12는 시스템 효율의 기댓값과 실측값을 비교한 그림이다.

또한, 식 (3-13)을 이용해 충돌 비율의 실측값과 식 (3-19)의 충돌 비율의 기댓값을 비교 할 수 있다.

$$C_{\text{ratio}} = \frac{\sum_i a_{k,i}}{N_{\text{Total}}}. \quad (3-19)$$

여기서,  $a_{k,i}$ 는 식 (3-4)로부터 구할 수 있다.

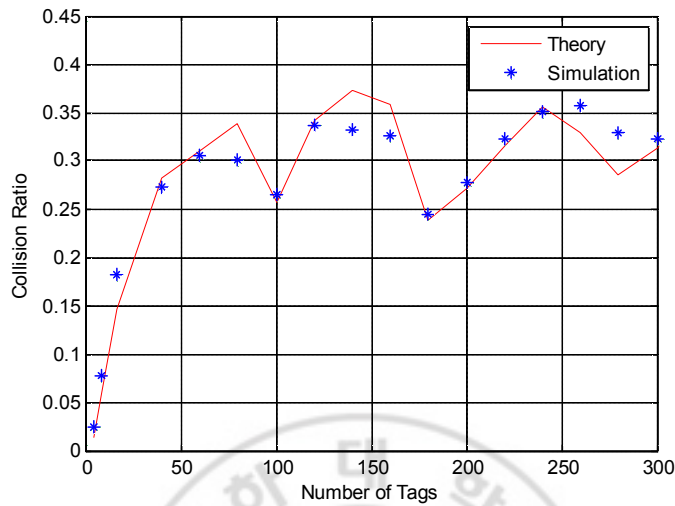


그림 3.13. Gen-2에서의 충돌 비율 (기댓값 vs. 실측값).

Fig. 3.13. Collision Ratio in Gen-2 (Theory vs. Simulation).

그림 3.13은 충돌 비율의 기댓값과 실측값을 비교한 그림이다.

그림 3.11에서 그림 3.13으로부터 수학적 근거로 계산된 기댓값과 실제 슬롯 상태정보로 계산된 실측값은 상당히 일치함을 볼 수 있다.

## 3.4.4 CHI 및 AFQ 태그 충돌방지 알고리즘 모의실험 결과

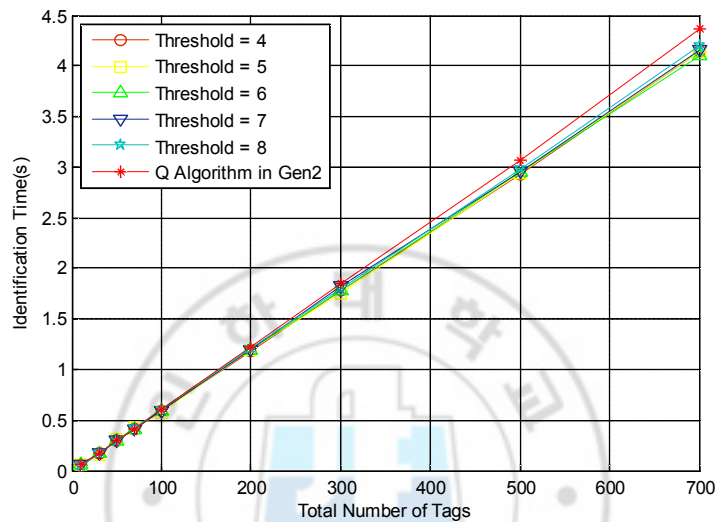


그림 3.14. Threshold 값에 따른 FAFQ 알고리즘의 성능 비교.

Fig. 3.14. Identification Time among FAFQ Algorithm according to Threshold.

그림 3.14는 FAFQ 알고리즘을 사용하지 않는 경우와 FAFQ 알고리즘의 Threshold 값을 서로 다르게 설정하여 사용하는 경우의 성능을 비교한 결과이다. 이 중 FAFQ 알고리즘의 Threshold 값이 5인 경우, 가장 높은 성능 향상을 보인다.

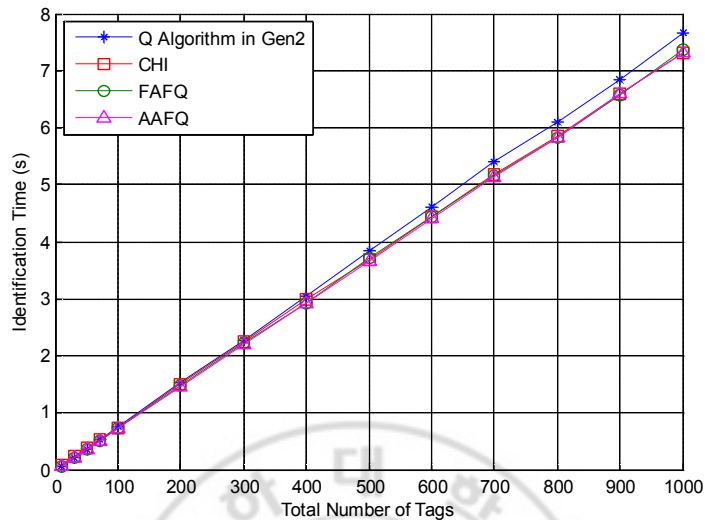


그림 3.15. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 태그인식시간 비교.

Fig. 3.15. Identification Time of Q Algorithm and the Proposed Algorithms.

그림 3.15는 태그 개수를 0 개에서부터 1000 개까지 증가 시킬 경우, 이 때 측정된 각각의 태그인식시간을 보여주고 있다. 그림 3.15와 같이 태그의 개수가 증가함에 따라 태그인식시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안한 알고리즘을 사용 했을 경우, 태그 개수가 800 개 일 때, 기존의 충돌방지 Q 알고리즘 보다 약 0.2초의 태그인식시간이 향상되는 것을 볼 수 있다. 제안한 알고리즘들의 경우 태그인식시간의 성능차이는 비슷한 것을 볼 수 있다.

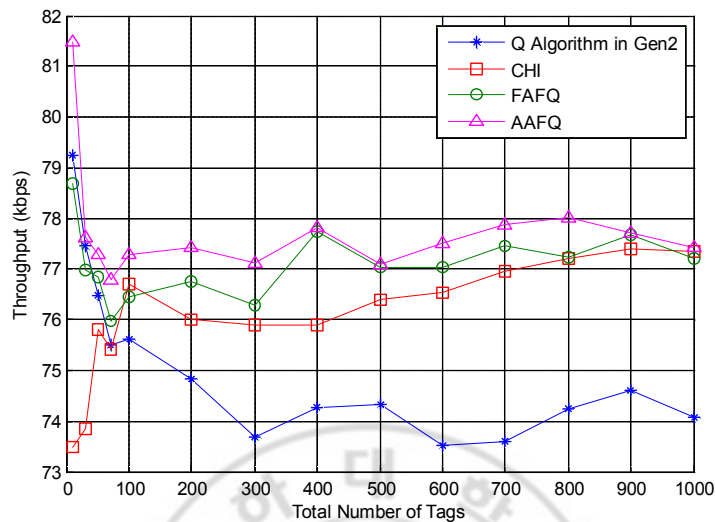


그림 3.16. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 데이터 처리량 비교.

Fig. 3.16. Throughput of Q Algorithm and the Proposed Algorithms.

그림 3.16은 태그 개수를 0 개에서부터 1000 개까지 증가 시킬 경우, 이 때 측정된 각각의 데이터 처리량을 보여주고 있다. 그림 3.16과 같이 기존의 충돌방지 Q 알고리즘을 사용했을 경우, 데이터 처리량이 74kbps를 기준으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 제안한 알고리즘을 사용 했을 경우, 기존의 충돌방지 Q 알고리즘보다 3kbps ~ 4kbps가량 데이터 처리량이 향상되는 것을 볼 수 있다. CHI, FAFQ, AAFQ 알고리즘 중 AAFQ 알고리즘이 가장 큰 성능 향상을 보인다.

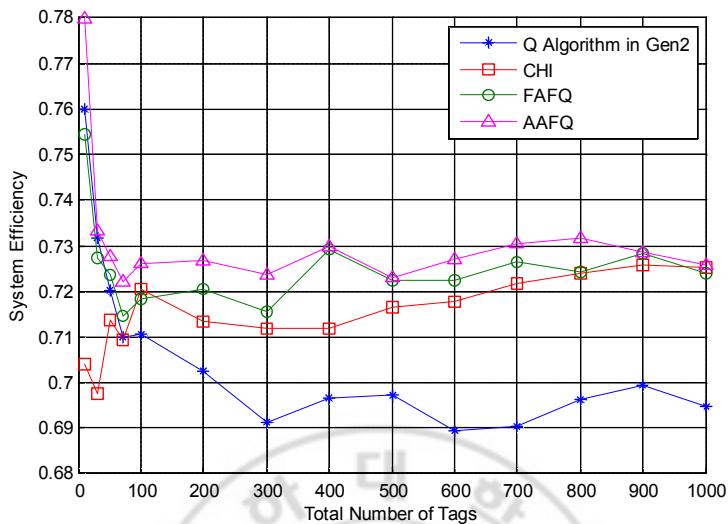


그림 3.17. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 시스템 효율 비교.

Fig. 3.17. System Efficiency of Q Algorithm and the Proposed Algorithms.

그림 3.17은 태그 개수를 0 개에서부터 1000 개까지 증가 시킬 경우, 이 때 측정된 각각의 시스템 효율을 보여주고 있다. 그림 3.17과 같이 기존의 충돌방지 Q 알고리즘을 사용했을 경우, 시스템 효율이 69.5%를 기준으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 제안한 알고리즘을 사용했을 경우, 기존의 충돌방지 Q 알고리즘보다 5%가량 시스템 효율이 향상되는 것을 볼 수 있다. CHI, FAFQ, AAFQ 알고리즘 중 AAFQ 알고리즘이 가장 큰 성능 향상을 보인다.

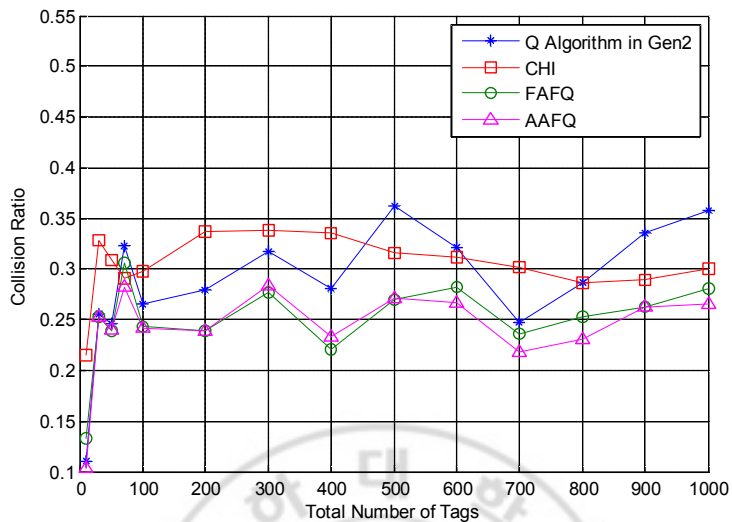


그림 3.18. Q 알고리즘과 제안한 알고리즘의 충돌 비율 비교.

Fig. 3.18. Collision Ratio of Q Algorithm and the Proposed Algorithms.

그림 3.18은 태그 개수를 0 개에서부터 1000 개까지 증가시킬 경우, 이 때 측정된 각각의 충돌 비율을 보여주고 있다. 그림 3.18과 같이 기존의 충돌방지 Q 알고리즘을 사용했을 경우, 충돌 비율이 30%를 기준으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 제안한 알고리즘을 사용 했을 경우, 기존의 충돌방지 Q 알고리즘보다 4% ~ 5%가량 충돌 비율이 감소하는 것을 볼 수 있다. CHI, FAFQ, AAFQ 알고리즘 중 AAFQ 알고리즘이 가장 큰 성능 향상을 보인다.



## 제 4 장

### 능동형 RFID 시스템 기반

### Multi-hop Relay 시스템

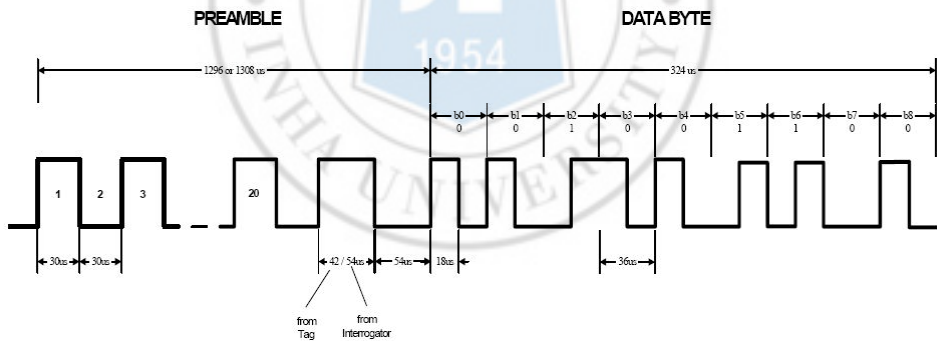
능동형 RFID 태그는 수동형 RFID 태그와는 달리 자체적으로 내부 배터리 및 송신 장치도 내장하고 있어 스스로 송신할 수 있는 RF 단말 장치이다.

공항이나 항만의 Pallet, 컨테이너 관리, 공장의 부품 관리 등과 같이 긴 인식거리가 필요한 다양한 분야에 능동형 RFID 기술이 선택적으로 적용되고 있다. 능동형 RFID는 ISO/IEC JTC 1/SC31에서 ISO 18000-7을 통하여 UHF (433 MHz) 대역을 사용하는 것으로 규정하였으며, 컨테이너에 부착되는 eSeal의 주파수도 UHF (433 MHz)로 결정되었으나 2006년 6월 eSeal의 국제 표준을 다루는 ISO TC104에서 UHF (433 MHz)와 M/W (2.45 GHz) 대역을 동시에 사용하도록 표준을 수정함에 따라 이에 따른 수정이 불가피하게 되었다. UHF 대역의 경우 ISO 18000-7의 무선인터페이스를 기본적으로 따르며, M/W 대역은 ISO/IEC SC31/WG5의 RTLS 표준인 ISO 24730-2의 무선인터페이스 규정을 준수하도록 하고 있다 [24].

본 장에서는 능동형 RFID 무선 프로토콜인 ISO/IEC 18000-7에 대하여 알아보고, 태그 인식률과 태그 인식거리를 증가 시키기 위하여 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 제안한다.

#### 4.1 능동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격

UHF (433MHz) 대역의 능동형 RFID Interrogator와 태그는 단일 주파수 대역 FSK 신호를 이용하며, Half-duplexing 방식으로 상호 통신한다. 변조속도는 27.7 kHz이며, Wake up 신호는 30 kHz의 부반송파로 2.5 ~ 2.7 초 동안 지속되어야 한다 [23].



Pulse width in microseconds. Data byte transmitted significant bit first. Byte shown is code 0x64.

그림 4.1. 데이터 통신 타이밍.

Fig. 4.1. Data Communication Timing.

Interrogator와 태그 사이의 통신은 패킷 형태로 전송된다. 패킷은 Preamble, 데이터 바이트, 그리고 패킷 마지막에 36 us동안의 Low 구간으로 구성된다. 그림 4.1 [23]에서 보듯이 Preamble의 끝과 데이터 바이트의 시작은 Preamble의 마지막 2 펄스로 알 수가 있다. 마지막 2펄스가 42 us High와 54 us Low일 경우에는 태그에서 Interrogator로, 2펄스 모두 54 us일 경우는 Interrogator에서 태그로의 통신을 나타내고 있다. Preamble은 30 us High와 30 us Low가 20번 반복된 뒤 마지막 2펄스가 따라온다. 데이터 바이트는 Manchester 코드 형식으로 전송된다. 데이터 바이트의 전송순서는 MSB (Most Significant Byte)가 우선이지만, 바이트 내의 비트 전송순서는 LSB (Least Significant Bit)가 우선이다. 데이터 바이트는 8 개의 데이터 비트와 1 개의 Stop 비트 ( '0' )로 구성된다.

#### 4.1.1 리더에서 태그로의 Message Format

Interrogator와 태그 간 메시지 형식은 Interrogator에서 전송할 때와 태그에서 전송할 때가 다르다.

Interrogator에서 태그로 전송하는 메시지 형식은 그림 4.2 [23]와 같다. Command Prefix는 1 바이트로 '31' 값으로 정해져 있고, Command Type은 1 바이트로 내용은 그림 4.3 [23]과 같다. Owner ID는 같은 Owner ID를 가지는 태그들과 통신을 하도록 해주고, 태그 ID는 태그

자체의 ID로서 태그를 구분하도록 하는 32 비트의 숫자로 나타내어진다. Interrogator ID는 Interrogator의 비 휘발성 메모리에 프로그래밍되는 16 비트 숫자로 변경이 가능하고 Interrogator 네트워크를 통해 태그 응답을 효과적으로 전송하도록 한다. Command Code의 8번째 비트(MSB)가 ‘0’ 일 때는 Read, ‘1’ 일 때는 Write, 남은 7비트는 수행할 명령을 나타낸다. 2 바이트의 CRC를 사용하여 데이터에 에러가 있는지를 체크한다. 그림 4.4 [23]는 Command Code의 값에 따른 Command를 보여주고 있다.

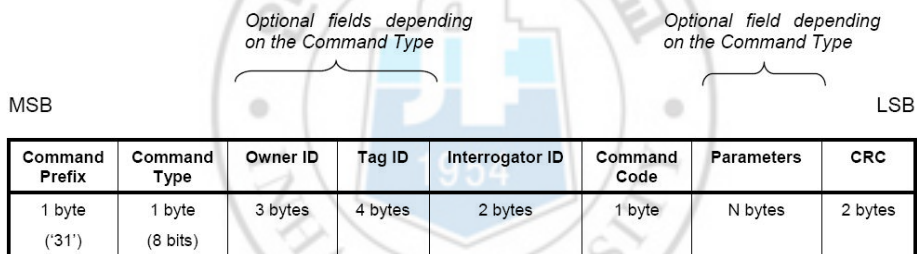


그림 4.2. 리더에서 태그로의 Message Format.

Fig. 4.2. Interrogator to Tag Message Format.

Bit							
7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	1	0= Broadcast (Tag Id not present) 1= Point to Point (Tag ID present)	0= Owner ID not present 1= Owner ID present

그림 4.3. 명령어 형태.

Fig. 4.3. Command Type.

Command code (R / W)	Command name	Command type	Description
'10' / NA	Collection	Broadcast	Collect all Tag IDs within interrogator RF communication range
'11' / NA	Collection with Data	Broadcast	Collect all Tag IDs including specified data from tag's non-volatile memory
'14' / NA	Collection with User ID	Broadcast	Collect all Tag IDs including tag's User ID
NA / '15'	Sleep	Point to Point	Put Tag to sleep
'01' / NA	Status	Point to Point	Retrieve Tag status
'07' / '87'	User ID length	Point to Point	Sets length of the User ID (in bytes, 1 – 16)
'13' / '93'	User ID	Point to Point	Sets User assigned ID (1 – 16 bytes)
'09' / '89'	Owner ID	Point to Point	Set Owner ID (3 bytes)
'0C' / NA	Firmware revision	Point to Point	Set by manufacturer
'0E' / NA	Model Number	Point to Point	Set by manufacturer
'60' / 'E0'	Read/Write Memory	Point to Point	Memory data
NA / '95'	Set Password	Point to Point	Sets Tag Password (4 bytes long)
'17' / '97'	Set Password Protect	Point to Point	Sets and Clears Tag Secure bit which enables or disables password protected access to the tag
NA/'96'	Unlock	Point to Point	Unlocks password protected tag

그림 4.4. 명령어 코드.

Fig. 4.4. Command Code.

#### 4.1.2 태그에서 리더로의 Message Format

태그에서 Interrogator에 전송되는 메시지는 Interrogator에서 전송된 메시지 타입에 의해 Broadcast Response Message Format과 Point-to-Point Response Message Format 두 가지 형태로 나뉜다.

##### 4.1.2.1 Broadcast Response Message Format

Interrogator의 통신범위 내 Interrogator Broadcast Command를 받은 태그들은 Broadcast Response Message Format을 사용하여 응답한다. Broadcast Command는 태그들 (모든 태그, 특정 태그타입 등)로부터 태그 ID, User ID 또는 데이터를 수집할 때 사용된다. Broadcast Response Message Format은 그림 4.5 [23]와 같다. 태그 Status는 Response Format, 태그 타입과 같은 정보를 알려주고, Int ID는 Interrogator ID로 1부터 65535 사이의 값을 갖는다. User ID는 User에 의해 설정될 수 있다.

Tag Status	Message Length	Int ID	Tag ID	Owner ID	User ID	Data	CRC
2 bytes	1 byte	2 bytes	4 bytes	3 bytes	0-16 bytes	0 – N bytes	2 bytes

그림 4.5. Broadcast Response Message Format.

Fig. 4.5. Broadcast Response Message Format.

#### 4.1.2.2 Point-to-Point Response Message Format

태그 ID를 사용하여 Interrogator로부터 Point-to-Point Command를 받은 특정 태그가 Interrogator에 응답을 할 때 Point-to-Point Response Message Format를 사용한다. Point-to-Point Response Message Format은 그림 4.6과 같다. Command Code와 Parameters는 Interrogator로부터 받은 Command에 따라 그에 맞는 값을 가진다.

Tag Status	Message Length	Int ID	Tag ID	Command Code	Parameters	CRC
2 bytes	1 byte	2 bytes	4 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

그림 4.6. Point-to-Point Response Message Format.

Fig. 4.6. Point-to-Point Response Message Format.

#### 4.1.2.3. Tag Status

태그에서 Interrogator에 전송되는 모든 메시지들은 Tag Status를 포함하고 있다. 그 형식은 그림 4.7과 같다. Reserved로 표시된 부분은 0 값을 가진다. 15 - 12 비트의 Mode Field는 그림 4.8에서 보듯이 Broadcast Command 에 대한 응답인지 Point-to-Point Command 에 대한 응답인지를 알려준다. 8번째 비트인 Acknowledge 비트는 Interrogator로부터 메시지를 받았다는 것을 알려준다. 5-3 비트인 Tag Type 은 태그의 성능이나 특별한 기능 (메모리 크기, 센서 입력 등)을 알 수 있게 해준다. ISO/IEC 18000-7 Active Air Interface를 사용하는 태그들은 '010' 값을 가진다. User ID는 태그에서 Interrogator로 전송되는 메시지에만 있는 부분으로 '1' 일 때는 Broadcast Command Response Message에서 User ID를 사용한다는 것을 나타낸다. Battery Status는 태그 배터리를 80% 사용한 이후부터는 '1' 값으로 나타내어진다.





그림 4.7. Tag Status Format.

Fig. 4.7. Tag Status Format.

Mode field	Mode format code (bit15 – 12)
Broadcast Command	0000
Point to Point Command	0010

그림 4.8. Tag Status Field Format.

Fig. 4.8. Tag Status Field Format.

## 4.2 능동형 RFID 시스템의 태그 충돌방지 알고리즘

본 절에서는 ISO/IEC 18000-7을 준수하는 능동형 RFID 시스템에서 대량의 태그를 대상으로 하는 태그 수집 알고리즘에 초점을 맞춘다.

ISO/IEC 18000-7 표준에 정의된 태그 수집 알고리즘은 태그 충돌 문제를 해결하기 위해 프레임 슬롯 알고리즘 기반의 충돌방지 알고리즘을 이용한다. 그림 4.9 [23]는 표준에서 정의하는 태그 수집 알고리즘의 동작 과정과 타이밍을 보여준다.

태그 수집을 시작하기에 앞서 리더는 슬립 (Sleep) 상태에 있는 능동형 RFID 태그들을 리더의 태그 수집 명령을 받아들이기 위한 준비 (Ready) 상태로 전환시키기 위해 최소 2.5초의 Wake-up 신호를 전송한다. 그 이후에 리더는 여러 번의 수집 라운드를 통해, RF 통신 범위 내에 있는 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 각 수집 라운드 (Collection Round)는 리더가 태그들에게 태그 수집 명령어를 보내는 것으로 시작한다. 태그 수집 명령어에는 리더가 다중 태그들로부터 응답을 기다리기 위한 전체 시간을 지정하는 2 바이트의 윈도우 크기 (Window Size) 값이 포함되어 있다. 태그 수집 명령어를 받은 태그는 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이

응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 하나의 슬롯 크기는 리더가 하나의 태그 응답을 수신하기에 충분한 시간이다 [3].

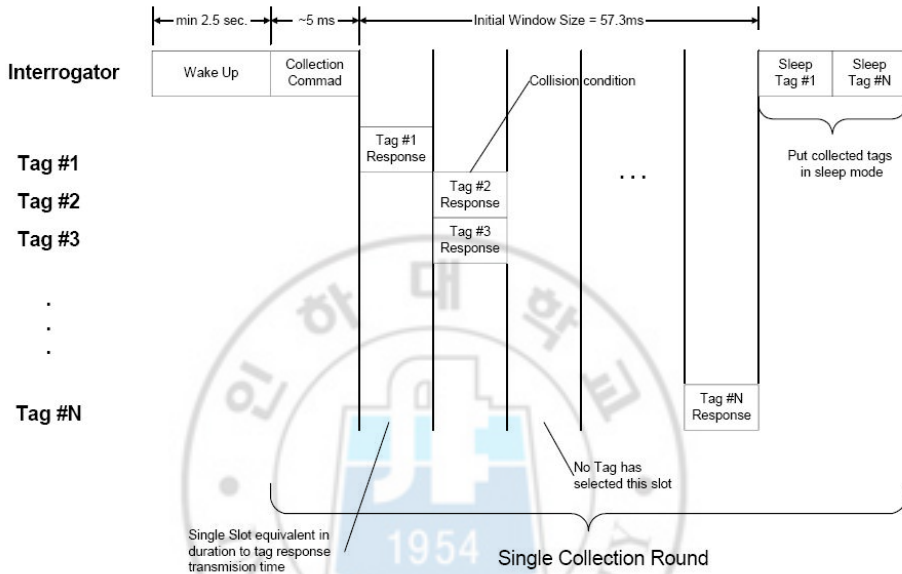


그림 4.9. 태그 수집 알고리즘 동작 과정 및 타이밍.

Fig. 4.9. Tag Collection Sequence and Timing.

리더가 전송하는 윈도우 크기는 식 (4-1)을 통해 계산된다. 윈도우 인자 (Window Factor)는 윈도우 크기를 변화시키는데 사용되는 값으로 정수 값을 가지며, 태그 수집 과정의 시작 단계에서 1로 설정되어 초기 윈도우 크기는 57.3ms로 설정된다. 리더는 윈도우 시간 동안 다중 태그로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 그림

4.9에서와 같이 둘 이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다. 윈도우 시간이 완료되면, 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일 (Point-to-Point)로 슬립 명령어를 전송하고 하나의 수집 라운드를 종료한다. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다 [3]. 태그 수집 과정이 진행되는 동안 리더는 현재 수집 라운드에서 검출된 충돌 횟수를 기반으로 아직 수집되지 않은 태그 개수를 예측하고, 식 (4-1)의 윈도우 인자 값을 변화시켜서 다음 수집 라운드를 위한 최적의 윈도우 크기를 결정한다.

$$\text{Window Size} = \text{Window Factor} * 57.3 \text{ ms} \quad (4-1)$$

ISO/IEC 18000-7에서는 하나의 슬롯 크기 (Slot Size)를 식 (4-2)와 같이 정의한다. 응답 전송 시간 (Response Transmission Time)은 태그가 응답 패킷을 리더에게 전송하는데 소요되는 시간으로 응답 패킷의 길이는 태그 수집 명령어 타입에 의해 결정된다. 슬롯 가드 시간 (Slot Guard Time)은 리더가 현재 슬롯에서 태그로부터 받은 응답 데이터를 처리하고 다음 태그 응답 수신을 준비하기 위한 시간이다. 표준에서 슬롯 가드 시간은 2ms로 고정되어 있으며, 슬롯 크기 값은 ms 단위로

올림 된다. 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수 (Number of Slots)는 슬롯 크기가 계산된 후에 식 (4-3)을 통해 계산할 수 있다.

$$\text{Slot Size} = \text{Response Transmission Time} + \text{Slot Guard Time} \quad (4-2)$$

$$\text{Number of Slots} = \text{Window Size} / \text{Slot Size} \quad (4-3)$$

수집 라운드가 종료되면, 리더는 즉시 태그 수집 명령어를 전송함으로써 다음 수집 라운드를 시작한다. 이러한 태그 수집 과정이 계속 반복되다가 연속되는 세 번의 수집 라운드 동안 더 이상의 태그가 발견되지 않으면 태그 수집 과정이 완료된다.

### 4.3 제안하는 능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템

최근 IT 패러다임은 인터넷 중심에서 인간과 사물, 컴퓨터가 융합되는 기술로 급속히 전환 중에 있다. 이를 위해 인간과 사물간, 사물과 사물간 네트워크화를 위해서 USN 분야가 핵심 IT 산업 군으로 형성할 것으로 전망되고 있다. USN은 어느 곳에나 부착된 태그와 센서로부터 사물 및 환경 정보를 감지, 저장, 가공하여 인터넷을 통해 전달하는 기술로 거의 모든 인간 생활에 활용하는 것을 목적으로 한다. USN 서비스의 경우, 현재는 건물의 안전과 같은 공공의 목적, 적지 경찰과 같은 군용 목적, 생태계나 환경오염의 관측과 같은 과학적인 목적에 주로 응용 서비스 기술이 개발되고 있으나, 점차택내 안전, 편리성, 나아가서는 인간의 생체에 응용될 수 있는 상황인지의 지능형 서비스로 발전할 전망이다. 또한 농업, 광업, 어업, 상업, 건설 등 산업 전반의 생산공정에 USN을 활용함에 따라 원자재 관리, 생산 자동화 및 상품이력 관리로 생산성 및 효율성 증대에 기여하고 환경, 기상, 생태계, 재해 예측 및 방재, 시설제어, 교통정보 및 제어, 물류, 가정/사무자동화, 의료, 복지, 교육, 방범, 보안 등 광범위한 분야에 USN의 적용으로 국민의 복지 수준이 향상 될 것으로 기대되고 있다. 현재 WSN이라는 이름으로도 불리는 USN은

미국 UCB, UCLA, USC, MIT, 카네기 멜론, 유럽 IST, 네덜란드 필립스, 일본 동경대 등의 주요 기관 및 학교를 중심으로 활발하게 연구되고 있으며, 특히 우리나라는 IT839 전략의 3대 인프라 중의 하나로 선정하여 다양한 기술 개발을 추진하고 있다 [24].

센서노드는 USN을 구성하는 가장 기본적인 요소로 가장 큰 장점은 센서로부터 주위 환경을 모니터링 하면서 최적의 네트워크를 구성 및 기존의 유무선 통신 기술을 이용하여 사용자가 원하는 네트워크 구성이 가능하다는 것이다. 센서노드의 구성은 주로 제어부 (MCU), 무선통신부, 센서부 및 전원부로 구성되며, 현재 선보여지고 있는 응용 서비스에서의 센서노드는 다수의 노드를 광범위한 환경에서 분산 배치하여 이용되므로 노드의 전원을 자주 교환하는 것이 어렵기에 저전력 센서노드 개발이 요구된다. 또한 응용 서비스에 따라 노드의 설치 용이성이 고려되므로 센서노드의 소형화와 경량화가 필수적이다.

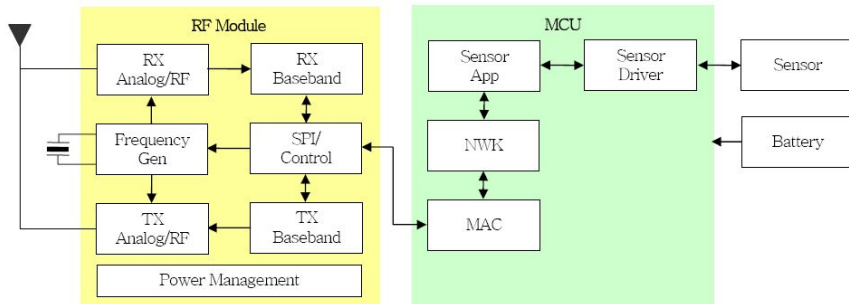


그림 4.10. 센서노드 구성 요소.

Fig. 4.10. Sensor Node Component.

그림 4.10은 센서노드 구성 요소를 나타내고 있다.

본 절에서는 이러한 센서노드들을 능동형 RFID로 구성함으로써, 센서노드의 소형화 및 경량화를 구현하고, 또한 Multi-hop Relay Frame Structure를 제안함으로써, 시스템의 인식거리 향상과 시스템의 성능을 향상 시킨다.

#### 4.3.1 기존 능동형 RFID 시스템의 Frame Structure

기존 ISO/IEC 18000-7 Active RFID Protocol에서 사용되고 있는 Frame Structure는 다음과 그림 4.11과 같다.



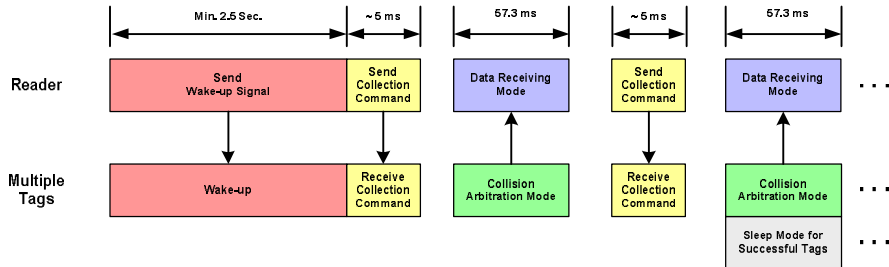


그림 4.11. 능동형 RFID 시스템의 Frame Structure.

Fig. 4.11. Frame Structure of Active RFID System.

태그 수집을 시작하기에 앞서 리더는 슬립 (Sleep) 상태에 있는 능동형 RFID 태그들을 리더의 태그 수집 명령을 받아들이기 위한 준비 (Ready) 상태로 전환시키기 위해 최소 2.5초의 Wake-up 신호를 전송한다. 그 이후에 리더는 여러 번의 수집 라운드를 통해, RF 통신 범위 내에 있는 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 각 수집 라운드 (Collection Round)는 리더가 태그들에게 태그 수집 명령어를 보내는 것으로 시작한다. 태그 수집 명령어를 받은 태그는 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이 응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 태그 수집 과정의 시작 단계에서 1로 설정되어 초기 윈도우 크기는 57.3ms로 설정된다. 리더는 윈도우 시간 동안 다중 태그로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 둘 이상의 태그가

동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다. 윈도우 시간이 완료되면, 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일 (Point-to-Point)로 슬립 명령어를 전송하고 하나의 수집 라운드를 종료한다. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다.

#### 4.3.2 제안하는 능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템을 위한 Frame Structure

본 절에서는 1 Hop, 2 Hop 또는 3 Hop, 최대 3 Hop의 경우를 고려하여 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 위한 Frame Structure를 제안한다.

#### 4.3.2.1 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay Scenario

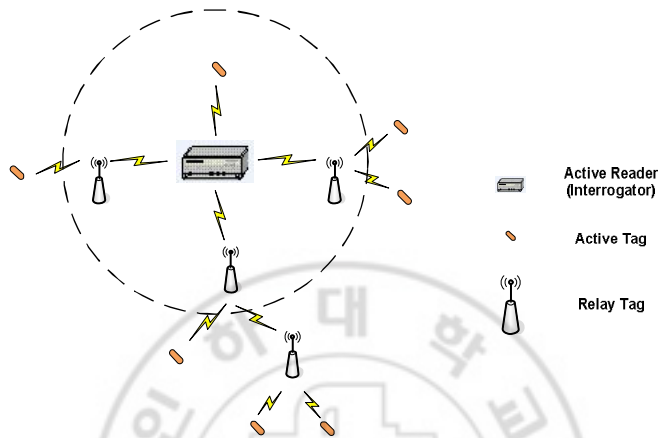


그림 4.12. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay Scenario.

Fig. 4.12. Proposed Active RFID System-based Multi-hop Relay Scenario.

그림 4.12는 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay Scenario를 나타내고 있다. 그림 4.12의 Scenario는 리더, 능동형 Relay 태그 및 능동형 태그로 구성되어 있다. Single 리더 - Single Relay 태그 - Single 태그, Single 리더 - Single Relay 태그 - Multiple 태그, Single 리더 - Multiple Relay 태그 - Multiple 태그, 및 Multiple 리더 - Multiple Relay 태그 - Multiple 태그의 4 가지의 경우를 고려 하여 Frame Structure를 제안하였다. Multiple 리더 - Multiple Relay 태그 - Multiple 태그의 경우, Pulse Protocol 알고리즘과 같은 또 다른 제어 채널을

사용하는 Scheduling 방식에 의하여 리더 충돌 및 Relay 태그 충돌을 해결 할 수 있다.

#### 4.3.2.2 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 2 Hop Frame Structure

제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 2 Hop Frame Structure는 그림 4.12에서 나타난 4 가지의 Scenario를 고려하여 2 Hop Frame Structure를 제안하였고, TDMA / TDD - Half Duplexing 기반으로 하여 리더에서 태그로 태그에서 리더로 통신을 한다.

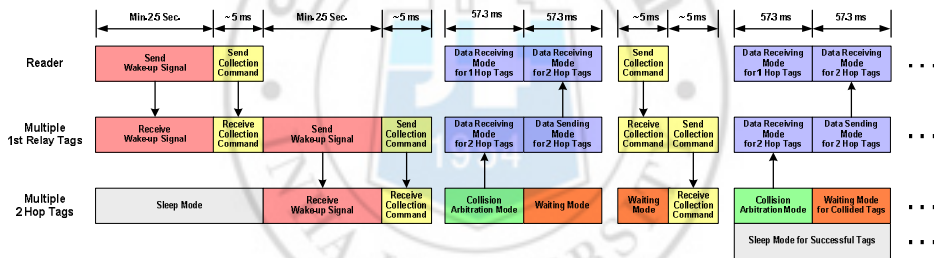


그림 4.13. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 2 Hop Frame Structure.

Fig. 4.13. Proposed Active RFID System-based 2 Hop Frame Structure.

그림 4.13은 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 2 Hop Frame Structure를 나타내고 있다.

제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템의 동작과정은 다음과 같다. 리더는 능동형 RFID Relay 태그들을 리더의

태그 수집 명령을 받아들이기 위한 준비 상태로 전환시키기 위해 최소 2.5초의 Wake-up 신호를 전송한다. Wake-up 신호를 받은 능동형 RFID Relay 태그들은 다음 구간 동안에 Wake-up 신호를 능동형 RFID 2 Hop 태그들을 준비 상태로 전환시키기 위해 Wake-up 신호를 능동형 RFID 2 Hop 태그들에게 재전송한다. 능동형 RFID Relay 태그는 수집 라운드를 통해, RF 통신 범위 내에 있는 모든 2 Hop 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 태그 수집 명령어를 받은 2 Hop 태그는 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이 응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 능동형 RFID Relay 태그는 윈도우 시간 동안 다중 2 Hop 태그로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 다음 구간 동안 기록된 태그 정보들을 리더에게 전송한다. 능동형 RFID Relay 태그로부터 전송된 2 Hop 태그 정보들을 이용하여 둘 이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다.

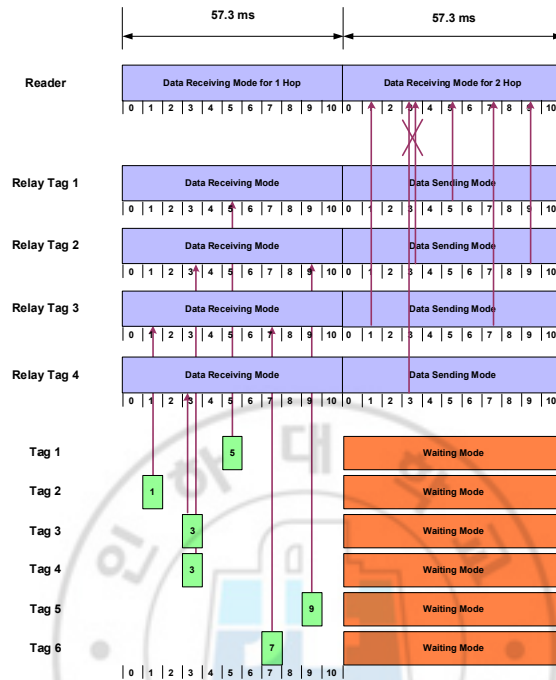


그림 4.14. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Collision Arbitration Mode.

Fig. 4.14. Proposed Active RFID System-based Collision Arbitration Mode.

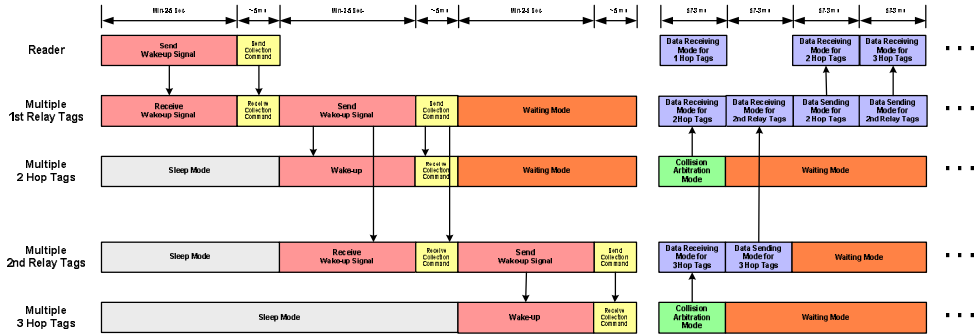
그림 4.14는 리더가 능동형 RFID Relay 태그로부터 전송된 태그 정보들을 이용하여 둘 이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록하는 과정을 나타내고 있다. 리더가 충돌의 횟수를 기록하는 동안 2 Hop 태그들은 Waiting Mode로 동작하여 리더로부터 슬립 명령어를 받기 위하여 대기한다. 수집

라운드 가 완료되면, 기존 능동형 RFID 시스템과 마찬가지로 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일 (Point-to-Point)로 슬립 명령어를 전송하고, 하나의 수집 라운드를 종료한다. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다.

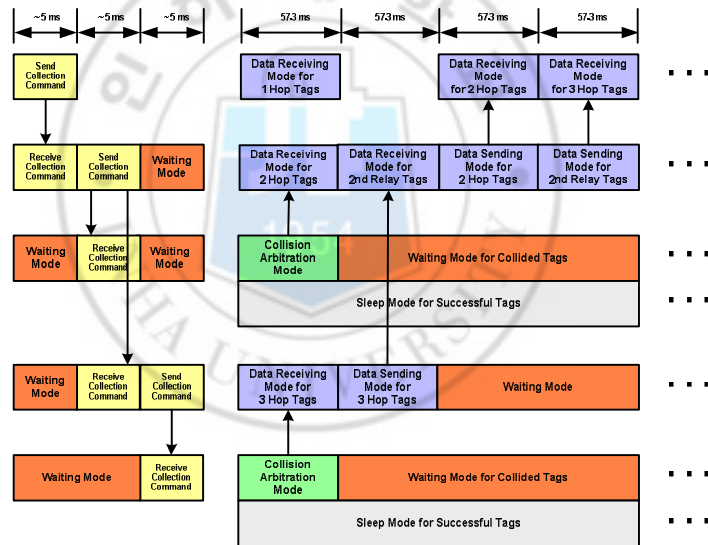
#### 4.3.2.3 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 3 Hop Frame Structure

제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 3 Hop Frame Structure는 2 Hop Frame Structure와 마찬가지로 TDMA / TDD - Half Duplexing 기반으로 하여 리더에서 태그로 태그에서 리더로 통신을 한다. 또한 그림 4.12에서 나타난 4 가지의 Scenario를 고려하였다.

## 제 4 장 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템



(a)



(b)

그림 4.15. 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 3 Hop Frame Structure.

Fig. 4.15. Proposed Active RFID System-based 3 Hop Frame Structure.



그림 4.15는 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 3 Hop Frame Structure를 나타내고 있다.

하향링크의 경우, 3 Hop Frame Structure는 2 Hop Frame Structure에 비하여 한번의 Hopping을 더 거치기 때문에 한번의 Relay 과정이 추가되었다.

상향링크의 경우, 첫 번째 Relay 태그들은 2 Hop 태그 및 두 번째 Relay 태그들로부터 데이터를 전송 받기 위하여 두 번째 Relay 태그가 3 Hop 태그들을 준비 상태로 전환시키는 동안에 Waiting Mode로 대기하고 있어야 한다.

그림 4.15의 (a)는 2 Hop 및 3 Hop 태그들의 데이터를 수집하는 과정을 나타내고 있고, (b)는 태그들의 데이터를 수집하는 과정에서 생긴 데이터 충돌을 해결하기 위하여 다시 한번 수집 명령어를 전송하여 2 Hop 및 3 Hop 태그들의 데이터를 다시 한번 수집하는 과정을 나타내고 있다. 이 과정 중 데이터 충돌이 발생하지 않는 2 Hop 및 3 Hop 태그들은 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다.

#### 4.4 MCL (Minimum Coupling Loss) 분석을 통한 성능 비교 및 분석

보호대역 할당을 위한 접근 방식은 크게 MCL (Minimum Coupling Loss) 방식과 시스템 레벨 시뮬레이션을 이용한 방식으로 구분할 수 있다. MCL 방식이란 한 사업자에 속한 사용자 신호가 인접 사업자 기지국에 미칠 수 있는 간섭이 가장 클 때 즉 결합 손실 (Coupling Loss)이 가장 적을 때를 고려하여 최악의 가정 하에서도 시스템이 안정적으로 동작할 수 있을 만큼 충분한 보호대역을 할당하는 방식이다. MCL방식은 단순한 경로 손실 값만을 계산하면 되므로 보호대역을 간단히 설정할 수 있다는 장점이 있으나, 최악의 상황을 가정하기 때문에 간섭원과 간섭을 받는 기기간의 거리를 얼마로 가정하는가에 따라 그 값이 매우 크게 변할 수 있다는 점과 최악의 상황을 고려하므로 주파수를 효과적으로 사용하지 못할 수 있다는 단점이 있다 [25].

이러한 MCL 분석을 통하여 기존의 능동형 RFID 시스템의 성능과 제안하는 능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템의 성능을 비교 및 분석한다.

#### 4.4.1 MCL 분석 환경 및 파라미터

MCL 분석을 위한 파라미터들은 표 4.1 [26]-[30]과 같다. Free Space Pass Loss 모델을 고려하여 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 동작할 수 있는 동작범위 또는 Sensitivity 값을 만족하는 인식거리를 구한다.



표 4.1. MCL 분석을 위한 파라미터.

Table 4.1. Parameters for MCL Analysis.

Item	Parameter	Value
Freq. Band	Operating Freq.	433.92 MHz
	Bandwidth	500 kHz (Forward Link) 200 kHz (Reverse Link)
Reader -to- Relay Tag Side	Transmit Power Max. EIRP	5.6 dBm
	Tx Power	-20 dBm
	Total Ant. Tx & Rx Gain	6 dBi
	Rx Power Threshold (Activation)	-103 dBm
	Nr. of Ant. Elements	4
	Switched Beam Array Gain	6.57 dB (Forward Link) 12.59 dB (Reverse Link)
	Rx Power Threshold for $10^{-4}$ BER (Coverage)	-105.6103 dBm (Forward Link) -109.5897 dBm (Reverse Link)
	Sensitivity	-80 dBm
Relay Tag -to- Tag Side	Transmit Power Max. EIRP	5.6 dBm
	Tx Power	-27.447 dBm
	Total Ant. Tx & Rx Gain	6 dBi
	Rx Power Threshold (Activation)	-42 dBm
	Rx Power Threshold for $10^{-4}$ BER (Coverage)	-105.6103 dBm (Forward Link) -109.5897 dBm (Reverse Link)
	Sensitivity	-80 dBm
Channel Model	Path Loss Model	Free Space Loss $= 20\log_{10}(4\pi d/\lambda)$ dB
	Shadowing Std. Dev.	$\sigma = 3.7$ dB
Coverage Metric	Coverage Target SNR	11.4 dB for $10^{-4}$ BER

## 4.4.2 MCL 분석 결과

표 4.2. 이론 값에 의한 MCL 분석 결과 (동작범위).

Table 4.2. MCL Analysis Results based on Theoretical Value (Activation Range).

Reader -to- Relay Tag	Transmit Power Max. EIRP (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Rx Power Threshold (Activation) (dBm)	Activation Range (m)
Reverse Link	5.6	6.0	12.59	-103.0	125893
Forward Link	5.6	6.0	6.57	-42.0	56.105
Relay Tag -to- Tag	Transmit Power Max. EIRP (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Rx Power Threshold (Activation) (dBm)	Activation Range (m)
Reverse Link	5.6	6.0	-	-42.0	26.333
Forward Link	5.6	6.0	-	-42.0	26.333

표 4.2는 전송 전력, 안테나 이득, Switched Beamforming 안테나 이득에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 Free Space Path Loss에 의하여 동작할 수 있는 동작범위를 구한 결과이다.

표 4.2의 Array Gain의 정의는 다음과 같다. 일반적인 MIMO 시스템의 경우, Array Gain은 송신단 또는 수신단에서 Multiple Antenna를 사용함으로써 얻을수 있는 전송된 신호의 전력이득으로 정의된다.

따라서 일반적인 Beamforming을 고려하였을 경우, TxBF의 Array Gain은 Normalized Tx Power, 즉 TxBF Weight에 의한 Antennar Direction의 변화로부터 얻어지는 전력이득만을 고려한 Directivity Gain과 같고, RxBF의 Array Gain은 전송된 신호의 수신된 Multiple Replicas뿐만 아니라 RxBF Weight에 의한 Antennar Direction의 변화로부터 얻어지는 전력이득과 같다.

Switched Beam Array Gain은 식 (4-4)와 식 (4-5)로 나타낼 수 있다.

$$UL = \text{Array Gain} = 10\log_{10}(M) + \text{Directivity Gain} \quad (4-4)$$

$$DL = \text{Array Gain} = \text{Directivity Gain} \quad (4-5)$$

여기서,  $M$ 은 안테나의 개수를 나타낸다.

식 (4-4)의 Directivity Gain은 식 (4-6)과 같이 나타낼 수 있으며, 16개의 Relay 태그, Beamwidth가  $22.5^\circ$  일 경우, 6.57 dB 값을 갖는다.

$$\text{Directivity Gain} = 10 \log_{10} \left( 2M \frac{d}{\lambda} \right) \text{ dB} \quad (4-6)$$

여기서,  $d/\lambda$  값은 식 (4-7)로부터 얻을 수 있다.

$$\theta = \cos^{-1} \left[ \cos \theta_0 - 0.443 \frac{\lambda}{Md} \right] - \cos^{-1} \left[ \cos \theta_0 + 0.443 \frac{\lambda}{Md} \right] \quad (4-7)$$

여기서  $\theta_0$ 는 Maximum Radiation의 Direction을 나타내는 값으로, Broadside의  $90^\circ$  값을 대입하면, 0.58의  $d/\lambda$  값을 얻을 수 있다.

따라서, 상향링크의 Switched Beam Array Gain은 4개의 안테나 요소를 가질 경우, 12.59 dB이고 하향링크의 Switched Beam Array Gain은 6.57 dB이다.

표 4.3. 이론 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 동작범위.

Table 4.3. Activation Range according to the Number of Relay Hops on Theoretical Value.

Nr. of Relay Hops	Activation Range (m)
1 Hop	56.105
2 Hop	82.438
3 Hop	108.771

표 4.3은 Relay Hop 수에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 동작할 수 동작범위를 나타낸다.

기존의 능동형 RFID 시스템의 동작범위는 56.105m이지만 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 사용했을 경우, 기존의 능동형 RFID 시스템보다 2 Hop은 26.333m가 증가된 82.438m, 3 Hop은 52.666m 가 증가된 108.771m 동작범위를 갖는다.



표 4.4. 이론 값에 의한 MCL 분석 결과 (인식거리).

Table 4.4. MCL Analysis Results on Theoretical Value (Coverage).

Reader -to- Relay Tag	Transmit Power Max. EIRP (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Rx Power Threshold for $10^{-4}$ BER (Coverage) (dBm)	Coverage (m)
Reverse Link	5.6	6.0	12.59	-109.5897	268835.565
Forward Link	5.6	6.0	6.57	-105.6103	85019.143
Relay Tag -to- Tag	Transmit Power Max. EIRP (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Rx Power Threshold for $10^{-4}$ BER (Coverage) (dBm)	Coverage (m)
Reverse Link	5.6	6.0	-	-109.5669	63093.806
Forward Link	5.6	6.0	-	-105.5875	39904.027

표 4.4는 전송 전력의 최대값, 안테나 이득, Switched Beamforming 안테나 이득에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 BER  $10^{-4}$ 에서 11.4 dB의 Target SNR 값을 만족하는 인식거리를 구한 결과이다. 여기서 FSK의  $10^{-4}$ 에서의 Target SNR 값은 식 (4-8)로부터 구해질 수 있다.

$$P_B = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{E_b/N_0}}^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (4-8)$$

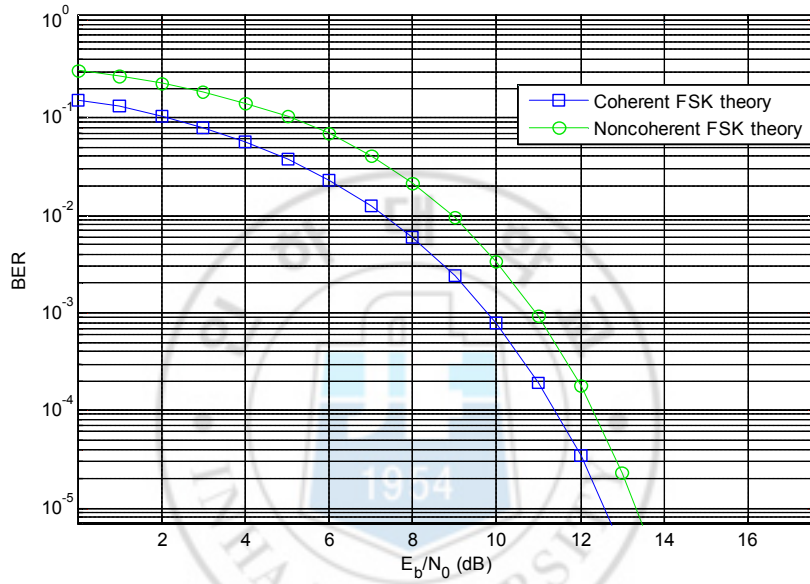


그림 4.16. FSK Modulation의 BER성능곡선.

Fig. 4.16. BER Curve of FSK Modulation.

그림 4.16의 FSK Modulation의 BER 성능곡선을 나타내고 있다.

표 4.4의  $10^{-4}$  BER에서 11.4 dB의 Target SNR 만족하는 Rx Power Threshold (dBm)는 식 (4-9)로부터 구할 수 있다.

$$S_{\min} = (S/N)_{\min} kT_o B(NF) \text{ (W)} \quad (4-9)$$

여기서,  $S_{\min}$  는 Sensitivity로써, 신호를 인식하기 위하여 특정 S/N값을 만족하는 최소 입력 전력 값을 나타내며, 단위는 와트 (W) 이다.  $k$ 는 Boltzmann's constant,  $1.381 \times 10^{-23}$  Joules/Kelvin 이고,  $T_o$ 는 안테나에서의 Noise temperature, 290 K (Kelvin) 이며,  $B$ 는 Bandwidth, 500kHz (DL), 200kHz (UL)를,  $S/N_{\min}$ 은 Required SNR, 1.1395 (13dB)을 나타낸다.

각각의 변수를 대입하고  $S_{\min}$  값을 dBm 으로 변환하면, 하향링크의 Rx Power Threshold (dBm) 값은 -105.6103 dBm, 상향링크의 Rx Power Threshold (dBm) 값은 -109.5897 dBm의 값을 구할 수 있다.

표 4.5. 이론 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 인식거리.

Table 4.5. Coverage according to the Number of Relay Hops on Theoretical Value.

Nr. of Relay Hops	Coverage (m)
1 Hop	85019.143
2 Hop	124923.170
3 Hop	164827.196

표 4.5은 Relay Hop 수에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 BER  $10^{-4}$ 에서 11.4 dB의 Target SNR 값을 만족하는 인식거리를 나타낸다.

기존의 능동형 RFID 시스템의 인식거리는 85019.143m이지만 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 사용했을 경우, 기존의 능동형 RFID 시스템보다 2 Hop은 39904.027m가 증가된 124923.170m, 3 Hop은 79808.053m 가 증가된 164827.196m 인식거리를 갖는다.

하지만 표 4.4의 증가된 인식거리는 비 이상적인 값으로 전송 전력의 최대값과  $10^{-4}$  BER에서 11.4 dB의 Target SNR 만족하는 Rx Power Threshold 값에 의해 얻을 수 있는 인식거리이다.

표 4.6. 실제 값에 의한 MCL 분석 결과 (인식거리).

Table 4.6. MCL Analysis Results on Practical Value (Coverage).

Reader -to- Relay Tag	Transmit Power (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Rx Power Threshold for $10^{-4}$ BER (Coverage) (dBm)	Coverage (m)
Reverse Link	-27.447	6.0	12.59	-109.5897	5986.000
Forward Link	-20	6.0	6.57	-105.6103	4461.868
Relay Tag -to- Tag	Transmit Power (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Rx Power Threshold for $10^{-4}$ BER (Coverage) (dBm)	Coverage (m)
Reverse Link	-27.447	6.0	-	-109.5897	1404.872
Forward Link	-27.447	6.0	-	-105.6103	888.519

표 4.6 [31]-[32]는 전송 전력, 안테나 이득, Switched Beamforming 안테나 이득에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 실제 값에 의한 BER  $10^{-4}$ 에서 11.4 dB의 Target SNR 값을 만족하는 인식거리를 구한 결과이다.

표 4.7. 실제 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 인식거리.

Table 4.7. Coverage according to the Number of Relay Hops on Practical Value.

Nr. of Relay Hops	Coverage (m)
1 Hop	4461.868
2 Hop	5350.387
3 Hop	6238.906

표 4.7은 Relay Hop 수에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 실제 값에 의한 BER  $10^{-4}$ 에서 11.4 dB의 Target SNR 값을 만족하는 인식거리를 나타낸다.

기존의 능동형 RFID 시스템의 인식거리는 4461.868m이지만 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 사용했을 경우, 기존의 능동형 RFID 시스템보다 2 Hop은 888.519m가 증가된 5350.387m, 3 Hop은 1777.038m 가 증가된 6238.906m 인식거리를 갖는다.

하지만 표 4.7의 증가된 인식거리 또한 비 이상적인 값으로 전송 전력의 최대값에 의해 얻을 수 있는 인식거리이다.

표 4.8. Sensitivity 값에 의한 MCL 분석 결과 (인식거리).

Table 4.8. MCL Analysis Results on Sensitivity Value (Coverage).

Reader -to- Relay Tag	Transmit Power (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Sensitivity (dBm)	Coverage (m)
Reverse Link	-27.447	6.0	12.59	-80	198.450
Forward Link	-20	6.0	6.57	-80	233.885
Relay Tag -to- Tag	Transmit Power (dBm)	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)	Switched BF Array Gain (dB)	Sensitivity (dBm)	Coverage (m)
Reverse Link	-27.447	6.0	-	-80	46.575
Forward Link	-27.447	6.0	-	-80	46.575

표 4.8 [31]-[32]는 전송 전력, 안테나 이득, Switched Beamforming 안테나 이득에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 실제 값에 의한 Sensitivity 값을 만족하는 인식거리를 구한 결과이다.

표 4.9. Sensitivity 값에 의한 Relay Hop 수에 따른 인식거리.

Table 4.9. Coverage according to the Number of Relay Hops on Sensitivity Value.

Nr. of Relay Hops	Coverage (m)
1 Hop	198.450
2 Hop	245.025
3 Hop	291.600

표 4.9은 Relay Hop 수에 따라 능동형 RFID 리더, Relay 태그 및 태그가 실제 값에 의한 Sensitivity 값을 만족하는 인식거리를 나타낸다.

기존의 능동형 RFID 시스템의 인식거리는 198.450m이지만 제안하는 능동형 RFID 시스템 기반 Multi-hop Relay 시스템을 사용했을 경우, 기존의 능동형 RFID 시스템보다 2 Hop은 46.575m가 증가된 245.025m, 3 Hop은 93.150m 가 증가된 291.600m 인식거리를 갖는다.



능동형 RFID 기반의 Multi-hop Relay 시스템의 시스템 효율은 식 (4-10)과 같이 정의 할 수 있다.

$$\text{System Efficiency} = \frac{1 \text{ Hop Transmission Time}}{N \text{ Hop Transmission Time}} \times 100 (\%) \quad (4-10)$$

표 4.10. Relay Hop 수에 따른 Relay-based RFID 시스템의 전송시간 및 시스템 효율.

Table 4.10. Transmission Time & System Efficiency for relay-based RFID system according to the Nr of Hops.

	1 Hop	2 Hop	3 Hop		1 Hop	2 Hop	3 Hop
Transmission Time w.o. collision (s)	2.5623	5.1246	7.7442	Transmission Time w. collision (s)	2.6246	5.2492	7.9884
System Efficiency (%)	100	50	33.09	System Efficiency (%)	100	50	32.86

표 4.10은 Relay Hop 수에 따라 데이터 전송시간과 시스템 효율을 나타내고 있다. 표 4.10으로부터 Relay Hop 수가 증가함에 따라 27.7 kbps의 똑같은 데이터 전송율을 유지하기 위하여 데이터 전송시간을 증가하고, 또한 시스템 효율이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

## 제 5 장

## 결 론

본 논문에서는 수동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격 및 태그 충돌방지를 위하여 사용되고 있는 기존 태그 충돌방지 알고리즘을 분석하였고, 능동형 RFID 시스템의 물리계층 전송규격 및 태그 충돌방지를 위하여 사용되고 있는 기존 태그 충돌방지 알고리즘을 소개하였다.

그리고 수동형 RFID 시스템 기반으로 태그인식시간, 데이터 처리량, 시스템 효율 및 충돌비율과 같은 성능을 개선하기 위하여 현재 라운드 내에서 QueryAdjust 명령어를 사용하는 두 개의 충돌방지 알고리즘과 Chebyshev's Inequality을 이용하여 현재 라운드에 정확한 태그의 개수를 추정하는 충돌방지 알고리즘을 제안한 후, 모의실험을 통하여 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 성능을 비교 및 분석하여 제안한 알고리즘의 우수성을 검증하였다. 또한, 능동형 RFID 시스템 기반으로 태그의 인식률 및 인식 거리를 증가시키는 Ubiquitous Sensor Network을 위한 Multi-hop Relay 시스템을 제안하였다.

수동형 RFID 시스템 기반 제안한 알고리즘 모두 Q 알고리즘의 성능 향상을 보이며, 제안하는 방법 중 AAFQ 알고리즘이 가장 높은 성능 향상을 나타낸다. 즉, AAFQ 알고리즘에 의하여 5% 정도의 시스템 효율 성능 향상과 4.5% 정도의 충돌 비율 감소를 얻을 수 있다.

능동형 RFID 시스템 기반 제안한 Multi-hop Relay 시스템은 기존의 능동형 RFID 시스템보다 2 Hop은 46.575m가 증가된 245.025m, 3 Hop은 93.150m 가 증가된 291.600m 인식거리를 얻을 수 있다. 하지만 Relay Hop 수가 증가함에 따라 데이터 전송시간이 증가하여 RFID 시스템 효율이 떨어지는 것을 확인 할 수 있다.


---

## [ 참 고 문 헌 ]

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook ; Fundamentals and applications in contactless Smart Cards and Identification*. 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons Ltd, pp.195-219, 2003.
- [2] S. Sarma, D. Brock, and D. Engels, "Radio frequency identification and electronic product code," *IEEE MICRO*, 2001.
- [3] 윤원주, 정상화, 문영식, "능동형 RFID 시스템을 위한 태그 수집 성능 개선," *한국통신학회논문지*, vol.33, no.7, pp.518-527, 2008, 7.
- [4] 차재룡, 김재현, "RFID 시스템에서의 태그수를 추정하는 ALOHA방식 Anti-collision 알고리즘," *한국통신학회논문지*, vol.30, no.9, pp.814-821, 2005, 9.
- [5] 정재영, 여준호, 이형섭, 표철식, "센서 태그 기술 동향," *전자통신동향분석* 제22권, 제3호, pp.38-45, 2007, 6.
- [6] EPCglobal, *EPC radio frequency identity protocols classe-1 generation-2 UHF RFID, protocol for communications at 860 MHz 960 MHz*. version 1.0.9, 2004.
- [7] F. Hussien et al., *Design considerations and tradeoffs for passive RFID tags*. Texas A&M University presentation, May, 2005.
- [8] U. Karthaus, M. Fischer, "Fully integrated passive UHF RFID transponder IC with 16.7-uW minimum RF input power," *IEEE Journal for Solid-state Circuits*, vol.38, no.10, pp.1602-1608, Oct., 2003.

- 
- [9] D. Dobkin, "The RF in RFID," *Available online at* [http://www.enigmatic-consulting.com/Communications\\_articles/RFID/RF\\_in\\_RFID\\_index.html](http://www.enigmatic-consulting.com/Communications_articles/RFID/RF_in_RFID_index.html).
- [10] Atmel Corporation, "U2270B, read/write base station," *Available online at* <http://media.digikey.com/PDF/Data%20Sheets/Atmel%20PDFs/U2270B.pdf>, 2003.
- [11] 유승화, *유비쿼터스 사회의 RFID*. 전자신문사, 2005, 3.
- [12] Atmel Corporation, "E5551, Standard R/W Identifications IC with Anti-collision," *Online at: http://www.rfcard.com.cn/information/jszl/E5551\_IN/ E5551\_IN.pdf, p. 15, Rev. A3, Oct. 2004.*
- [13] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내외 동향분석," *전자부품연구원 전자정보처리센터*, 2003, 8.
- [14] 김정곤, 이제경, "UHF 대역 RFID 시스템의 충돌방지 기술 동향," *한국통신학회지*, vol.23, no.12, pp.93-106, 2006, 12.
- [15] 권성호, 모희숙, 최길영, 표철식, 채종석, "Gen2기반 RFID 시스템에서의 충돌방지 알고리즘에 대한 연구," *한국통신학회논문지*, vol.31, no.6, pp. 561-571, 2006, 06.
- [16] Harald Vogt, "Efficient object identification with passive RFID tags," in *Proc. Conf. on Pervasive Computing*, vol. 2414, 2002, pp 98-113.
- [17] 범효, 송인찬, 장경희, 이형섭, 신동범, "수동형/반능동형 RFID 시스템의 태그 충돌 방지 알고리즘 Part II : Chebyshev' s Inequality를 이용한 CHI 알고리즘과 Hybrid Q 알고리즘," *한국통신학회논문지*, vol.33, no.8, 2008. 08,
- [18] 송인찬, 범효, 장경희, 이형섭, 신동범, "수동형/반능동형 RFID 시스템의
-

- 태그 충돌 방지 알고리즘 Part I : QueryAdjust 명령어를 이용한 AFQ 알고리즘과 Grouping에 의한 성능개선,” *한국통신학회논문지*, vol.33, no.8, 2008. 08.
- [19] X. Fan, I.C. Song, K.H. Chang, D.B. Shin, H.S. Lee, C.S. Pyo, and J.S. Chae “Novel Gen2-based tag anti-collision algorithms by using Chebyshev’s inequality and adjustable frame size,” *ETRI J.*, vol.30, no.5, pp.653-662, Oct. 2008.
- [20] 장경희, 송인찬, 범효, “900 메가 헤르츠 대역의 다중 알에프아이디 태그 환경 하에서의 태그 충돌방지 방법,” *인하대학교 산학협력단*, 10-2008-0052743, 2008.06.04. (출원)
- [21] 신동범, 이형섭, 조광수, 표철식, 장경희, 송인찬, 범효, “대규모 RFID 시스템에서 Query Adjust 명령어를 이용한 효율적인 충돌방지 방법,” *한국전자통신연구원 / 인하대학교 산학협력단*, 10-2008-0020508, 2008.03.05 (출원)
- [22] 최길영, 성낙선, 모희숙, 박찬원, 권성호, “RFID 기술 및 표준화 동향,” *전자통신동향 분석*, 제22권, 제3호, pp.29-37, 2007, 6.
- [23] ISO/IEC JTC 1, *Information technology — Radio-frequency identification for item management — Part 7: Parameters for air interface communications at 433 MHz*, ISO/IEC FDIS 18000-7: 2004(E), 2004. 05. 31.
- [24] 정재영, 여준호, 이형섭, 표철식, “USN 센서노드 기술 동향,” *전자통신동향 분석*, 제22권, 제3호, pp.90-103, 2007, 6.
- [25] 홍인기, 김정근, “휴대인터넷 시스템 용량 분석 및 보호대역 설정에 관한

- 
- 연구,” *SK Telecommunication review*, 제14권 3호, pp.536-546, 2004, 6.
- [26] ISO/IEC JTC 1, "Information technology — Radio-frequency identification for item management — Part 4: Parameters for air interface communications at 2.45 GHz," *ISO/IEC FDIS 18000-4: 2004(E)*, 2004. 05. 31.
- [27] <http://www.GAORFID.com>
- [28] Intellex confidential, Passive, battery-assisted passive and active tags: A technical comparison, [www.intelleflex.com/pages/Technical.pdf](http://www.intelleflex.com/pages/Technical.pdf).
- [29] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2005.
- [30] Ahmed El Zooghby, *Smart Antenna Engineering*. Artech House, 2005.
- [31] Shenzhen Hac Technology Co.,Ltd, <http://www.globalsources.com/gsol/I/RFID-reader/p/sm/1006412936.htm>.
- [32] SCIEL technology.Co.,Ltd, <http://www.ela.fr/document.php?project=ela&locale=en&level1=&level2=&doc=accueil&page=5>.
- 





## 감사의 글

먼저, 언제나 저를 지켜주시는 하나님께 영광과 감사를 드립니다.

2년 동안의 대학원 생활은 저에게 ‘배우는 것에는 끝이 없으며, 한번 시작한 일은 끝을 맺고, 도전을 즐기자’라는 인생의 신념을 만들어 주었고, 좋은 사람들과의 인연을 맺을 수 있었던 매우 소중한 시간이었습니다. 그 동안 공부와 프로젝트를 겸하면서 힘들고 고된 일도 많았지만, 지도 교수님과 선배님들의 노고, 그리고 동기들이 있었기에 견뎌낼 수 있었으며, 이제는 잊지 못할 좋은 추억 거리가 되었습니다.

2년 전 인하대학교 출신이 아님에도 불구하고 저를 아무 말씀 없이 받아주시고, RFID 엔지니어로 거듭날 수 있게 수준 높은 지도와 편달로 이끌어 주신 장경희교수님께 감사의 뜻을 전합니다.

그리고, 많은 시간을 함께 보냈던 이동통신 연구실원들에게 감사드립니다. 자신의 목표를 이루기 위해서 타국에 와서도 열심히 연구하는 마나르와 우봉, 앞으로 이동통신 연구실을 이끌어가게 될 탕린, 먼저 졸업한 영원한 선배 희석이형과 Suchitra, 좀 더 함께 시간을 보내고, 졸업을 같이 하고 싶었던 너무 아쉬움이 남는 파트너 Fan과 준석이형, 1년 동안 방장으로써 고생이 많았던 종훈이형, 짧지 않은 시간을 함께 보냈지만 많은 신경 써주지 못했던 후배들 회빙, 성현, 영범, 홍선, 장홍,

칭양 모두들 도와줘서 너무 고맙고, 어느 곳에 있건, 앞으로 무엇을 하건 항상 건강하고, 행복하길 기원합니다.

8년이란 기간 동안 함께 웃음과 울음을 나누었던 F.F.Family 동생이지만 형 같은 기욱, 센스쟁이 순신, 섹시한 현정, 가수 비를 닮은 영재, 친 동생 같은 미나, 힘들 때마다 곁에 있어주고, 아낌없는 충고로 나를 바로잡아주었던 나의 여자친구이자 정신적인 지주 지원이 (지원이 언니 보다 어른스러운 동생 지예, 너무 귀여운 늦둥이 지수) 지금도 너무 보고 싶고, 앞으로도 F.F.Family란 말 그래도 많은 시간을 같이 보냈으면 좋겠습니다.

마지막으로, 마음이 여린 막내 아들을 믿고, 응원 해주시고, 기도해주시는 든든한 버팀목이신 부모님, 하나 밖에 없는 소중한 누나, 완고하시지만 속 깊으신 할아버지께도 감사 드리고, 사랑합니다.