

MFAN/RFID 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템 개발

원운재*, 김영한*, 임용석**, 문연국***, 임승옥°

Development of Livestock Traceability System Based on Implantable RFID Sensor Tag with MFAN

Yun-Jae Won*, Young-Han Kim*, Yongseok Lim**, Yeon-Kug Moon***, Seung-ok Lim°

요약

최근 가축 전염병에 대한 확산과 인체 감염에 대한 위험성 증대로 말미암아 가축 질병 관리의 중요성이 커짐에 따라 가축 생체 내의 상황을 실시간 감지할 수 있는 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템에 대한 관심이 커지고 있다. 이에 가축 축사의 열악한 환경에서도 무선통신과 동시에 무선전력전송이 가능한 MFAN 기술과 배터리 없이 생체 내에 삽입된 센서 태그로부터 무선으로 데이터를 수집할 수 있는 900MHz RFID 기술을 융합하여 MFAN/RFID 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템을 개발하였다. MFAN/RFID 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템은 센서 융합 UHF 태그를 생체 내에 삽입하여 외부 환경의 영향을 받지 않고 체온 등 가축의 생체 변화를 실시간 모니터링하는 시스템으로, 태그에게 공급할 전력을 확보하기 위해서 가축의 목 부위에 설치하는 통신 및 전력전송을 위한 MFAN/RFID 중계기를 사용한다. MFAN 코디네이터는 MFAN 노드와 RFID 리더가 융합된 MFAN/RFID 중계기를 거쳐 생체 삽입된 센서 태그와 데이터 및 전력을 송수신한다. MFAN 코디네이터에 수집된 가축 데이터는 인터넷을 통해 가축 이력 관리 시스템으로 전달되어 관리된다. 본 시스템의 개발을 통해 가축 질병 관리에 대한 문제가 크게 개선될 것이라 기대된다.

Key Words : livestock traceability system, magnetic field area network, radio frequency identification, wireless power transfer, sensor tag

ABSTRACT

With the recent increased risk of livestock disease spread and human infection, livestock disease control has become very important. Consequently, there has been an increased attention on an implantable real-time monitoring and traceability system for individual cattle. Therefore, we have developed a robust monitoring and traceability system based on an implantable MFAN/RFID sensor tag. Our design combines the MFAN technology that is capable of robust wireless communication within cattle sheds and the 900MHz RFID technology that is capable of wireless communication without battery. In MFAN/RFID implantable sensor tag monitoring system, UHF sensor tag is implanted under the skin and accurately monitors the body temperature and biological changes

※ 본 연구는 지식경제부의 지원을 받는 정보통신표준화 및 인증지원사업[2012-PM10-14, 자기융합통신/전력전송 기술 표준 개발]과 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업[10041749, 비접촉식 센서태그를 이용한 가축의 종합적인 이력관리 시스템 개발]의 일환으로 수행되었습니다.

• 주저자 : 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터, yjwon@keti.re.kr, 정희원

° 교신저자 : 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터, solim@keti.re.kr, 정희원

* 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터, ekmyph@keti.re.kr, ekmyph@gmail.com

** 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터, busytom@keti.re.kr

*** 전자부품연구원 무선플랫폼연구센터, ykmoon@keti.re.kr

논문번호 : KICS2012-11-539, 접수일자 : 2012년 11월 16일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 12일

without being affected by external environment. In order to acquire power needed by the tag, we install a MFAN/RFID transceiver on the neck of cattle. The MFAN coordinator passes through the MFAN node and the RFID-reader-combined MFAN/RFID transceiver and transmits/receives the data and power for the sensor tag. The data stored in the MFAN coordinator is transmitted via the internet to the livestock history monitoring system, where it is stored and managed. By developing this system, we hope to alleviate the problems related to livestock disease control.

I. 서 론

2010년 11월 경북 안동에서 발생한 구제역은 350여 만 마리의 가축이 매몰되고, 12개 시, 도 81개 시, 군 6,238 농장이 매몰 피해를 보고, 피해 축산농사 보상을 위해 국가 예산이 약 3조원 이상이 소요되는 등 재난 수준으로 확산되어 가축 전염병에 따른 막대한 사회적 경제적 피해 비용이 발생되었다. 이러한 구제역 등 가축전염병 발생에 따른 사회·경제적 피해가 커 잘못하면 국가적인 재난의 상황으로 까지 갈 수 있으므로, 체계적이고 주기적인 축산농가 정보 수집을 하여 가축 전염병 발생 시 신속한 대응을 할 수 있는 가축의 종합적인 이력관리 시스템의 필요성이 높아지고 있다. 또한 FTA로 값싼 농수산물의 유입으로 축산농가의 점점 더 어려움이 예상되고, 1차 산업 특성상 국가주도의 산업화와 관련 법규 및 제도 개선이 필요하며, 이미 미국, 유럽 등 선진국에서 진행되고 있는 농

축산 분야의 IT 접목 기술 연구개발에 대한 시급성이 대두 되고 있다^[1]. 특히 축산산업에서는 가축의 사육에서 도축까지의 객체관리를 자동화하여 생산성의 극대화과 객체별 체온 측정으로 구제역과 같은 가축 전염병의 확산 예방이 가능하며, 점차 기업형 축산업이 증가하고 있으나, IT 기술수준에 비하여 관련 기술 개발이 부족한 실정이어서, 축산업 분야의 IT 신기술의 현장접목에 대한 요구가 증가되고 있다^[2].

현재 가축관리에 적용중인 IT 기술은 온도 센서를 내장한 귀걸이형 이표태그를 이용해서 건강을 모니터링 하는 시스템이 개발 및 서비스 되고 있다. 이는 탈착율이 높아 실효성이 떨어지고, 정확한 체온을 측정하기 힘들고, 객체식별 기능 또한 근거리에서만 가능하기 때문에 구제역과 같은 전염성이 강한 질병이 발생 시 질병 확산 방지의 효과가 없다. 그래서 가축 전염병 발생 시 질병 확산을 방지하기 위해서 실시간으로 정확한 객체 온도 이력 정보 모니터링과 객체식별

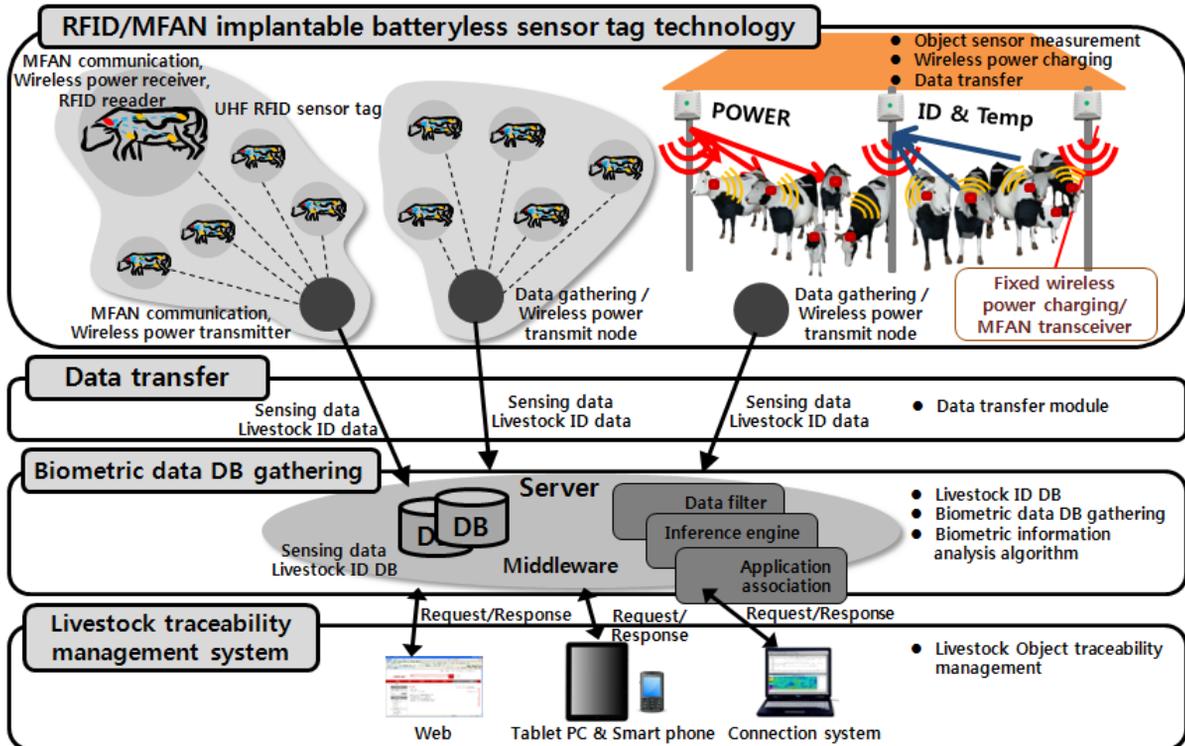


Fig. 1. Architecture of a livestock traceability management system using implantable batteryless sensor tag

이 가능한 기술 개발이 시급한 상황이다. 이에 본 논문에서는 무선 네트워크 기술을 이용한 무전지 생체 삽입형 센서 태그를 이용한 가축 종합 이력관리시스템을 제안하고 설계한다.

그림 1에서와 같이 이 시스템은 초고주파 무선 주파수 인식 기술 (UHF RFID: Ultra High Frequency Radio Frequency Identification), 자기장 통신 기술 (MFAN: Magnetic Field Area Network), 무선전력 전송 (Wireless Power Transfer) 기술을 적용하여 설계 하였다. UHF RFID 기술은 가축 생체 내에 온도 센서를 내장한 센서 태그를 삽입하여 실시간으로 가축의 온도 정보를 모니터링하기 위해서 사용되었는데, 가축 내 전원 장치 없이 삽입하여 동작할 수 있고, 10 m 정도의 거리에서도 정보 전달이 가능한 장점이 있다. MFAN 기술은 어떤 환경에서든 투과성이 높은 점, 센서 태그가 생체 내에 삽입 되었을 경우 통신 거리 손실 보완, 무선에너지 전송 기술과 연동하여 사용할 수 있기 때문에 적용 하였다. 무선전력 전송은 가축 생체 내 무전지 센서 태그에 전원을 무선으로 공급하기 위해서 개발을 하였다

전체 가축 이력관리 시스템은 생체 삽입형 센서 태그를 이용한 실시간 가축 체온 정보를 수집하기 위한 기술, 수집한 데이터를 전송, 전송된 생체 정보를 DB화하여 생체 정보를 해석하기 위한 알고리즘, 해석된 생체 정보를 이용해서 가축 이력 정보를 관리할 수 있는 시스템으로 구성된다. 본 논문에서는 RFID/MFAN 생체 삽입형 센서 태그 기술에 대해서 제안하고 있는데, 이는 MFAN 시스템, MFAN/RFID 융합 중계기, 생체 삽입형 무전지 센서 태그, 그리고 각각의 통신을 위한 프로토콜로 구성된다. 이에 2장에서는 가축 이력 관리 시스템, RFID 시스템, MFAN 시스템, 무선전력 전송 시스템 기술에 대한 관련 연구 내용을 살펴보고, 3장에서는 RFID/MFAN 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템을 제안하고, 구조를 설계한다. 그리고 4장에서는 각 시스템을 구현한 내용에 대해서 설명하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구 내용

2.1. 축산 이력 관리 시스템

최근 정부는 미국 광우병 발생 등으로 인한 소비자의 축산 식품에 대한 불안감 해소를 위해 축산물 이력 제도 및 원산지 표시 제도를 대폭 강화하기로 했다. 이에 따라 IT가 접목되어 축산물 이력 관리를 위한 생체 데이터 수집, 생체 데이터 분석 및 감시, 정보 모니

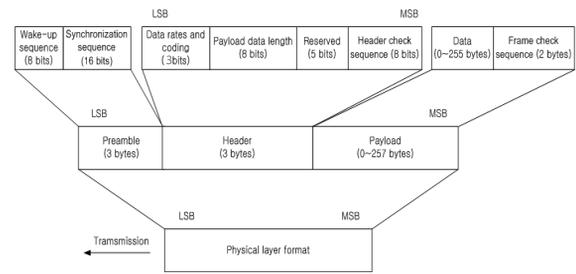


Fig. 2. MFAN physical layer structure

터링을 위한 네트워크 기술들이 개발되고 있다. 이로써 가축 개체별로 식별번호를 부여하고, 귀표를 장착하여 사육에서부터, 도축, 가공, 출하에 이르는 전 과정을 DB화하여 모니터링하고 소비자들이 쉽게 알 수 있도록 표시하는 시스템을 운영 중에 있다. RFID/USN 기술을 이용해서 개체 이력을 체크해서 각 개체에 따라 질병, 체중, 사료 섭취 등을 관리하는 시스템이 있고, 가축 체외에 센서를 장착하여 발정 징후를 효율적으로 파악하고 관리할 수 있는 시스템이 구현되어 서비스 되고 있다³⁾. 또한 생체 센싱 기술을 이용해서 체온, 맥박, pH(수소 이온 농도), 운동량을 실시간 측정하여 모니터링 하는 기술이 개발되어 가축 질병 발생에 빠른 처방이 가능하게 하고 있다. 하지만 현재 개발된 이 시스템들은 전부 체외에 설치하여 정확한 생체 정보를 얻기 힘들고, 가축들의 움직임에 의해서 설치물들이 파손될 염려도 있고, 축산업자들이 부가적인 업무해야하는 반수동 시스템이기 때문에 보다 정확한 실시간 생체 데이터 수집을 위해 새로운 이력 관리 시스템이 필요한 상황이다.

2.2. RFID 시스템

RFID 시스템은 무선으로 정보를 읽거나 쓰기 위한 반도체가 내장된 태그에 고유 ID를 부여하고 이에 대한 정보를 수집하여 관리함으로써 물류, 교통, 유통 등의 분야에서 결제 시스템, 이력 관리 시스템에 적용되어 폭 넓게 사용되어 지고 있다. 이는 LF (124~134 kHz), HF (13.56 MHz), UHF (860~960 MHz) 대역의 주파수를 이용하고, 태그, 리더, 안테나, 미들웨어, 객체이력서버, 객체정보서버, 그리고 검색 및 관리 소프트웨어 등으로 시스템이 구성되어 있다. LF, HF 대역은 10 cm 이하에서 인식이 필요한 시스템에서 사용되어지고 있고, UHF는 수 m 안에서도 인식이 가능하기 때문에 물류, 유통 등 대단위 인식이 필요한 경우에 사용이 되고 있다⁴⁾. 본 논문에서는 가축 생체 내부에 삽입되어 생체 정보를 센싱하여 모니터링 하는 시스템이기 때문에 어느 정도 거리에서 다수의 태그 정

보를 읽을 수 있고, 태그 안테나 사이즈를 보다 작게 만들 수 있는 UHF 대역 RFID 기술을 적용한다. 또한 UHF 대역의 RFID 파위에 의한 호르몬 분비, 면역 시스템, 그리고 갑상선 시스템 등의 동물 생체에 대해서 미치는 영향이 그리 크지 않다는 연구 결과도 나와 있다⁵⁾. UHF 대역 RFID는 EPCglobal Network에서 표준화를 진행하였고, 현재 EPCglobal Class 1 Generation 2에 물리적이고 논리적 요소들을 기술하고 있다⁶⁾.

2.3. MFAN 시스템

MFAN 시스템은 자기장 영역을 이용한 무선통신 시스템이다. MFAN 시스템은 에너지 전송을 기반으로 무선통신을 하는 방식이기 때문에 데이터 전송과 동시 에너지 전송이 가능하다. 현재 MFAN은 2011년도에 ISO/IEC 15149로 국제 표준이 제정되었고 MFAN 기반의 무선전력전송 제어 프로토콜에 대한 국제표준화가 진행 중에 있다.

그림 2는 MFAN의 물리계층 구조를 나타낸다. 크게 프리엠블과 헤더, 페이로드로 구성되고 프리엠블에는 웨이크업 신호와 싱크 신호를 포함하며, 헤더에는 데이터 속도와 코딩 방법, 페이로드 길이, 에러 체크 코드를 포함한다. 특히, 웨이크업 신호(Wake-up Sequence)는 코디네이터가 노드들에게 데이터를 보낼 때만 포함되는데, 노드들은 데이터 통신을 하지 않을 때 슬립(sleep) 상태에 있다가 코디네이터가 데이터 보내는 시점부터 깨어나 통신을 시작하게 된다.

이때, 웨이크업 신호는 ASK 변조 방식을 사용하고, 싱크 신호(Synchronization Sequence)는 BPSK 변조 방식을 사용하고, 헤더(Header)와 페이로드(Payload) 부분도 BPSK 변조 방식을 사용한다. 코딩 방식은 맨체스터(Manchester) 방식과 NRZ-L 및 스크램블링(Scrambling) 방식을 사용하는데 모드에 따라서 코딩 방식을 변경할 수 있다.

2.4. 무선 전력 전송 시스템

무선 전력 전송 시스템은 근거리 자기장 내에서 송수신 코일간의 주파수가 공진할 때 감쇄파 결합에 의하여 에너지가 전달되는 현상을 이용한 기술이다⁷⁾. 수십 cm에서 수 m까지 전력 전송이 가능한 자기공진 기술은 송수신 코일의 방향성 자유도가 매우 높아서 근거리 장 이내에서는 위치에 관계없이 전력을 송수신 할 수 있다. 또한 같은 주파수를 갖는 물질에만 전력을 전송하므로 충전시스템 및 충전기기 사이에 위치하는 다른 기기들에 의한 영향이 거의 없다. 공진 주

파수가 일치하는 전자기기에 동시에 전력 전송이 가능한 특징이 있어 자기유도 방식과는 달리 한 개의 송신 코일을 사용하여 다수의 충전기에 전력 전송이 가능하다. 현재 국내외 많은 연구기관 및 업체에서 연구 개발을 진행하고 있으며, 송수신 코일의 크기, 공진주파수 연구, 자기장에 의한 인체유해성 및 EMI/EMC (Electromechanical interference / electromechanical compatibility) 등의 연구 문제가 있다고 알려져 있다. 가축 생체 내에 센서 태그에 배터리와 저주파 무선충전 안테나를 넣는 것은 한계가 있고, 무선전력 전달 거리 또한 감쇠가 있기 때문에, 목걸이형 중계기에 RFID 기술에 포함된 uW급 무선 전력 전송을 적용하여 가축이 언제, 어디에 있건 센서 태그로부터의 체내 정보를 실시간으로 저장할 수 있고, MFAN 기술과 결합된 무선 전력 전송 기술을 이용해서 중계기의 전력이 부족할 시에는 밤이나 사료를 먹을시 정해진 공간 내에서 mW급의 무선 충전을 실시하도록 적용 하였다.

III. MFAN/RFID 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템

3.1. 전체 시스템 구조

무선지 생체 삽입형 태그 기반 가축 이력 관리 시스템은 센서 태그를 생체 내에 삽입하여 외부 환경의 영향을 받지 않고 체온 등 가축의 생체 변화를 모니터링 할 수 있는 가축 이력 관리 시스템이다. 특히, 생체 내에 삽입되는 태그는 초소형/저전력이어야 하므로 배터리 없이 동작하는 태그이다. 이때, 가축 당 여러 개의 태그를 삽입하여 각 부위의 생체 변화를 모니터링할 수 있고 태그에게 공급할 전력을 확보하기 위해서 통신 및 전력 중계기를 사용한다. 그림 3은 제안된 MFAN/RFID 기반 생체 삽입형 센서 태그 시스템이다. 통신 및 전력 중계기는 가축에 목 부위에 설치하므로 비교적 MFAN 코디네이터로부터 데이터 및 전력을 용이하게 수신할 수 있도록 태그 안테나의 크기 보다 큰 안테나를 사용한다. 그림 3에서와 같이 MFAN 코디네이터는 중계기에 포함된 MFAN 노드에게 전력을 공급하면 중계기에 포함된 배터리에 전력을 축적한 후에 주기적으로 데이터 수집이 필요할 때 삽입형 태그에 전력을 공급하고 동시에 센싱 데이터를 수집한다. 중계기에 수집된 가축 상태 데이터는 가축이 코디네이터 주변에 위치할 때 중계기에서 코디네이터로 전송되고 코디네이터에 전송된 가축 데이터는 각각의 코디네이터를 관리하는 서버의 데이터베이스

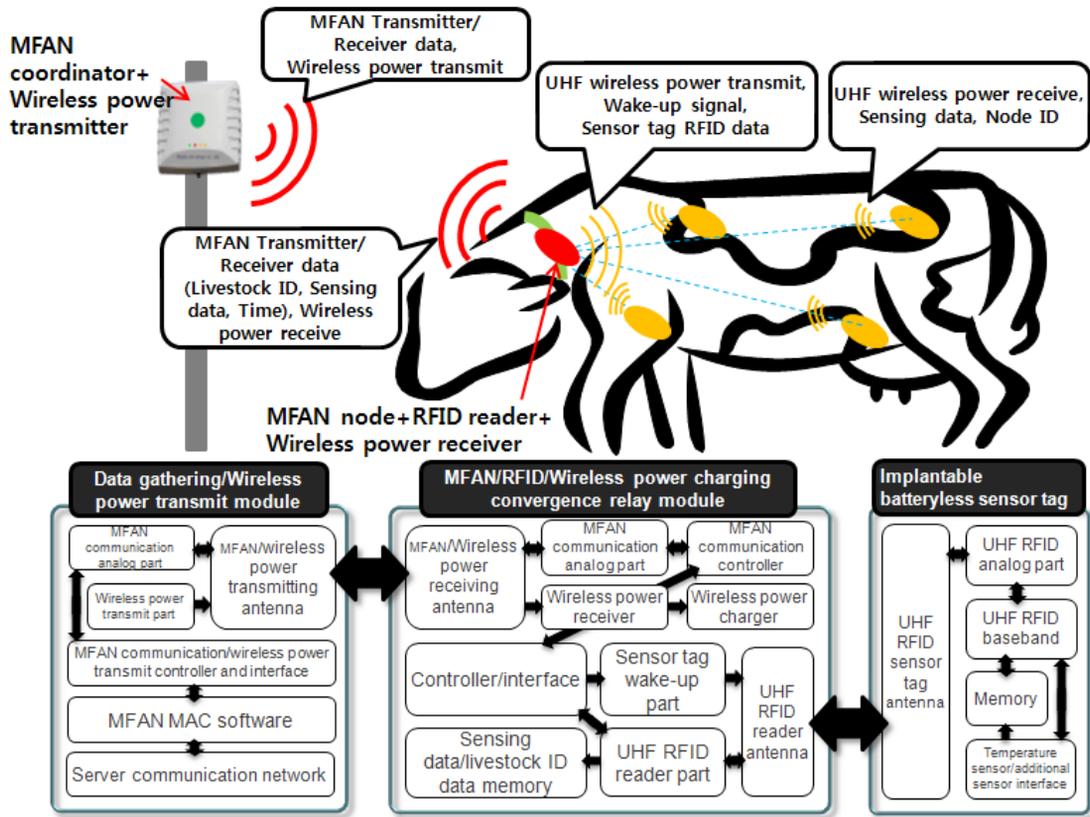


Fig. 3. The proposed an implantable sensor tag system based on MFAN/RFID

이스에 저장되어 가축 이력 관리를 위한 데이터로 활용된다.

3.2. MFAN 시스템

MFAN 시스템은 물, 흙 주변의 전파에 대한 극한 환경에서도 데이터 통신과 동시에 전력전송이 가능한 통신 방식이므로 가축에 장착된 데이터 및 전력 중계기에 전력을 전송하고 데이터를 송수신하기에 적합한 통신 및 전력전송 시스템이다. MFAN 시스템은 MFAN/무선전력전송 융합 안테나, 통신 및 전력전송 아날로그 회로, MFAN 물리계층, MFAN 매체접근 제어계층, 가축 데이터 관리 응용 SW로 구성된다. 가축 데이터 관리 응용 SW는 MFAN 통신 시스템을 거쳐 중계기 제어 응용 SW로부터 가축 데이터를 제공받는다.

그림 4는 MFAN의 매체접근제어계층의 슈퍼 프레임(Super frame) 구조를 나타낸다. 하나의 슈퍼 프레임은 요청구간과 응답구간, 자발구간으로 나누어지며 요청구간에서 코디네이터가 노드에게 요청 패킷을 전송하면 해당 노드는 응답구간에 요청된 데이터를 코디네이터에게 보낸다. 자발구간에서는 코디네이터의 요청 없이 노드가 임의로 데이터를 보낼 수 있는 구간

이다. 자발구간은 랜덤하게 데이터를 보낼 수 있다. 전력전송을 할 경우, 하나의 슈퍼프레임에서 요청구간(Request period)에 코디네이터가 전력전송 요청 패킷을 보내면 전력전송이 필요한 노드는 응답구간(Response period)에서 전송전력 응답 패킷을 코디네이터에게 보낸다. 그러면 코디네이터는 응답받은 정보를 기반으로 전력전송 스케줄을 하고 그 결과를 다음 슈퍼 프레임에서 요청구간에 요청 패킷을 통해서 전력전송 스케줄링 정보를 노드에게 보낸 후, 응답구간에 각 노드들에게 전력을 전송한다.

그림 5는 코디네이터의 상태도이고, 그림 6은 노드의 상태도이다. 코디네이터는 전원을 켜 후, 대기과 패킷분석, 패킷생성, 파워 전송의 상태를 오가며 데이터 송수신과 무선전력 전송을 수행한다. 노드는 전원을 켜 후, 수면, 활성, 대기, 패킷분석, 패킷생성, 파워 차단, 파워전송, 수면 패킷분석, 수면 패킷생성의 상태를 오가며 데이터 송수신과 무선전력 수신을 수행한다. 코디네이터는 상위 시스템에서 슈퍼 프레임의 시작을 알리는 명령을 받거나 주기적으로 슈퍼 프레임을 시작한다. 네트워크를 처음 생성할 경우, 슈퍼 프레임이 시작되면 스탠바이(Standby) 상태에서 슈퍼 프레임 시작 명령을 받으면 패킷 생성 상태에서 합류

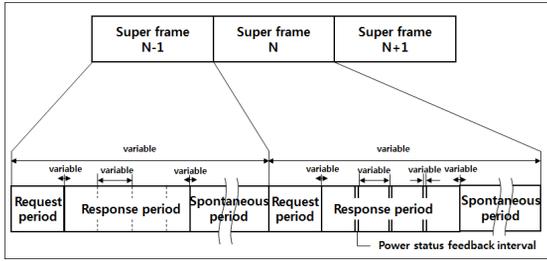


Fig. 4. MFAN media access control layer superframe

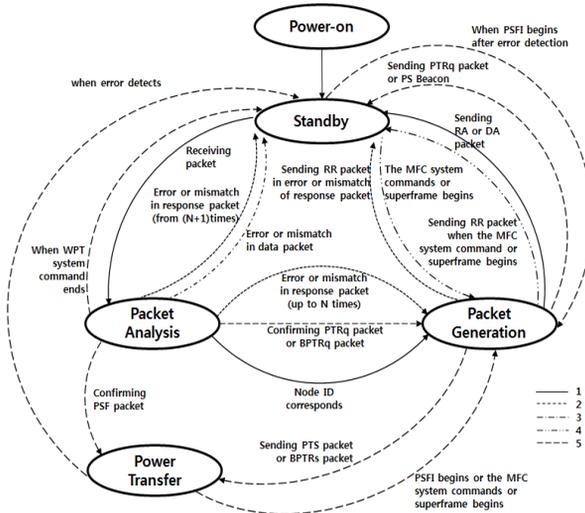


Fig. 5. Diagram of the coordinator

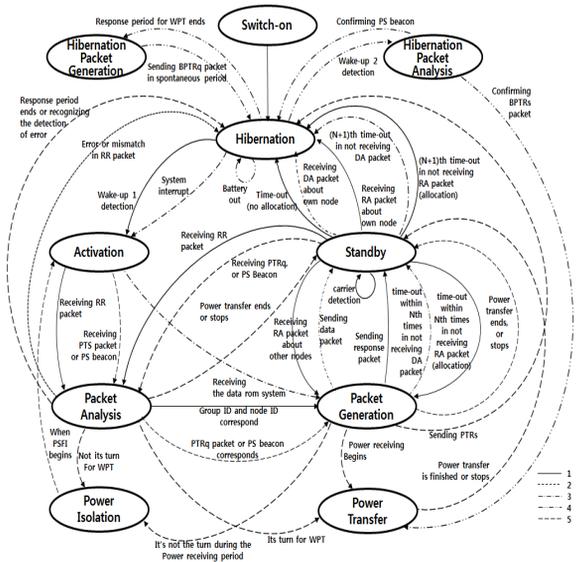


Fig. 6. Diagram of the node

요청 패킷을 노드들에게 전송하고 스탠바이 상태로 돌아온다. 스탠바이 상태에서 노드들로부터 응답 패킷을 받으면 패킷 분석 상태에서 노드의 패킷을 분석하고 해당 노드로부터 온 패킷 패킷이면 패킷 생성 상태

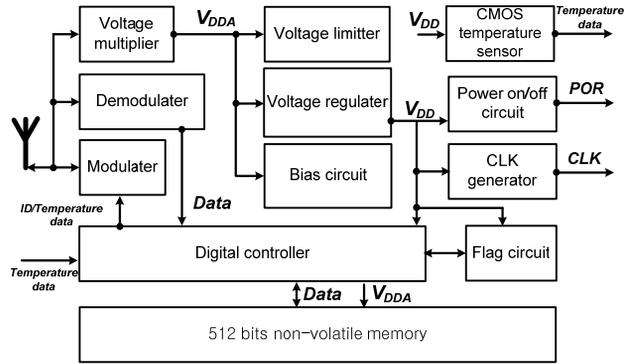


Fig. 7. Sensor tag system structure

에서 수신확인 패킷을 생성하여 전송하고 다시 스탠바이 상태로 돌아간다.

전력을 전송할 때, 전력 전송이 필요한 노드들에게 전력 요청 패킷을 전송할 때는 합류 요청 시와 같이 노드들의 전력전송 요청에 따라 스케줄링이 되면 스탠바이 상태에서 슈퍼 프레임 시작 명령을 받아 패킷 생성 상태에서 스케줄링을 포함한 전력전송 수신요청 패킷을 전송하고 전력전송(Power Transfer) 상태로 가서 스케줄링된 노드에게 전력을 전송하고 패킷 생성 상태에서 전력수신 상태요청 패킷을 전송하고 스탠바이 상태에서 수신 응답 패킷을 받으면 패킷 분석 상태에서 데이터를 분석하고 스케줄링에 따라 다시 전력전송 상태로 가서 전력을 전송하거나 스탠바이 상태로 돌아간다.

노드는 하이버네이션(Hibernation) 상태에서 코디네이터로부터 웨이크업 신호를 받아 활성 상태로 가고 활성 상태에서 요청 패킷을 수신하면 패킷 분석 상태에서 자신에게 전송된 패킷인지 판단 후, 자신에게 온 패킷이면 패킷 생성 상태에서 응답 패킷을 생성하여 전송한 후, 스탠바이 상태로 간다. 스탠바이 상태에서 코디네이터로부터 수신확인 패킷을 받으면 다시 하이버네이션 상태로 돌아간다. 전력을 수신할 때, 하이버네이션 상태에서 전력전송 수신전력 수신요청 패킷을 받으면 활성 상태를 거쳐 패킷 분석 상태에서 스케줄링되어 있지 않으면 파워 차단 상태에서 다른 노드들의 전력전송의 영향을 안 주기 위해서 안테나를 오픈하고 스케줄링이 되어 있는 슬롯에서는 파워 전송 상태에서 전력을 수신한 후, 스탠바이 상태로 가서 전력수신 상태요청 패킷을 받은 후, 패킷 분석 상태를 거쳐 패킷 생성 상태에서 수신 응답 패킷을 보내고 파워 차단 상태나 하이버네이션 상태로 간다. 하이버네이션 패킷 분석 상태와 하이버네이션 패킷 생성 상태는 노드의 배터리가 완전히 방전됐을 때 하이버네이

선에서 활성 상태로 가지 못하고 이 두 상태에서 패킷을 분석하고 생성한다.

3.3. MFAN/RFID 융합 중계기

그림 3과 같이 MFAN/RFID 융합 중계기는 가축 목에 걸 수 있게 설계하였다. 소, 돼지 등의 가축은 목 부위가 가장 접촉이 적기 때문에 이미 소 생체 모니터링 시스템이나 운동량 측정 시스템을 걸어서 사용하고 있다. 그래서 중계 모듈을 가축의 목에 걸 수 있게 만들어서 센서 태그들과 데이터 수집 모듈 사이에 데이터와 전력을 전달하는 역할을 한다. 이는 MFAN을 이용해서 가축들이 모여 있는 난환경에서 서버와 통신을 할 수 있고, 전력을 충전 받고, RFID 기술을 이용해서 센서 태그에 전력을 실시간으로 전송하고 센싱 및 ID 데이터를 받을 수 있다. MFAN/RFID 융합 중계기는 MFAN/무선전력 수신을 위한 부분, UHF RFID 통신을 위한 부분, 그리고 센싱 및 ID 데이터 정보 저장 메모리로 구성된다. MFAN/무선전력 수신을 위한 부분은 안테나, MFAN 통신 아날로그, 컨트롤러, 무선전력 수신부, 전력 관리부, 배터리를 포함한 전력 충전부, 중계기 제어 소프트웨어로 이루어져 있다. 안테나는 MFAN 통신과 무선전력수신을 최적의 상태로 할 수 있도록 높은 Q-factor를 갖도록 임피던

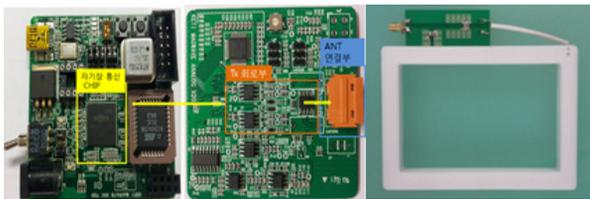


Fig. 8. MFAN coordinator board and antenna

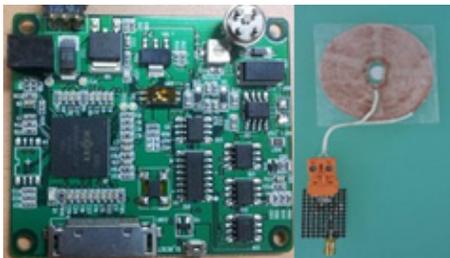


Fig. 9. MFAN node board and antenna

스 매칭을 하였다. 무선전력 수신부는 정류기, DC-DC 변환기, 정전원 레귤레이터 등으로 구성되어 있고, 충전부는 과전압, 과전류를 보호해주는 충전 모듈과 배터리로 이루어져 RF 신호를 받아 DC로 변환하고 정전원을 이용해서 배터리를 충전한다. UHF RFID 통



그림 10. MFAN system test environment

Table 1. The implemented MFAN SoC specification

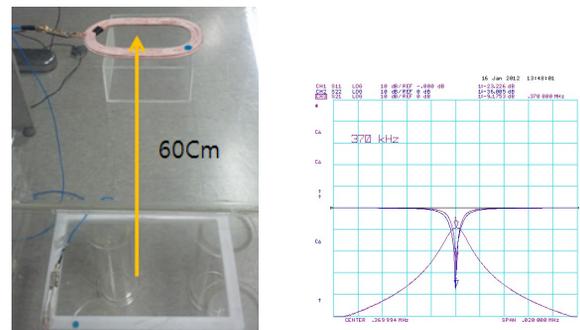
Process technology		CMOS 0.18 um
TX		2 bit digital output
RX	Internal ADC	10bit 60MHz ADC
	External ADC	Two 1ch Ext ADC
	Carrier offset	Compensation
	RSSI	Concurrent processing
	Wake up	Tx: BPSK,ASK Rx: + RF block GPIO
Center frequency		80K~128KHz (8KHz step)
Packet length		Max 255 byte
Data rate		8Kbps@80KHz frequency



(a) TX antenna

(b) RX antenna

Fig. 11. Effective charging magnetic resonance antenna



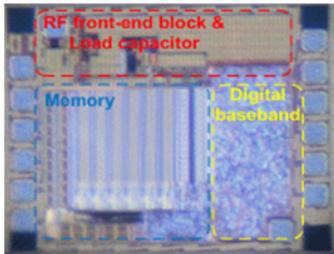
(a) Test environment

(b) S Parameter

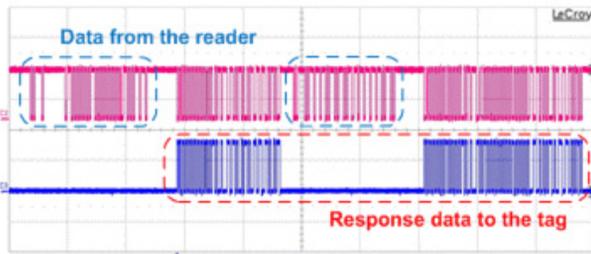
Fig. 12. Effective charging magnetic resonance antenna test and S Parameter



Fig. 13. Hardware of wireless power receiver



(a) Photograph of the designed chip



(b) Communication result of reader and sensor tag

Fig. 14. Photo of sensor tag chip/ Communication result

신을 위한 부분은 UHF RFID 리더 안테나, 센서 태그 wake-up부, 리더 시스템 등으로 구성된다. 이로부터 제안된 태그와의 통신은 한 시간에 한 번씩 센싱 및 ID 데이터를 주기적으로 전송 받고, 메모리에 저장한 후 하루에 3번 정도의 특정한 시간에 MFAN 통신을 통해서 데이터를 호스트 서버로 전송을 한다. 결국 센서 태그는 한 시간을 주기로 동작을 하고, MFAN 통신과 무선전력 전송을 특정한 시간에 이루어지기 때문에 전력 소비를 줄일 수 있고 센서 태그를 동작시키기 위한 리더가 많이 필요 없기 때문에 하드웨어 비용 또한 줄일 수 있다.

3.4. 생체 삽입형 무전지 센서 태그

제한한 생체 삽입형 무전지 센서 태그는 초소형 저전력 칩, 안테나 등으로 구성되어 있고, 가축에게 고통을 최소화하고 생체 내의 적합성을 높일 수 있는 삽입 방법으로 고안을 했다^{8,9)}. 초소형 저전력 칩은 태

그가 생체 내에서 가축에게 손상을 주지 않으면서 안정적으로 데이터를 전송하기 위한 생체 적합성 재질을 사용한 패키징 기술을 적용하였다. 센서 태그 시스템은 무선 전력을 전체 시스템 전원으로 변환해주는 전압 체배기, 전압 리미터와 안정적인 전원과 바이어스 전압 및 전류를 공급해주기 위한 전압 레귤레이터, 바이어스 회로 등이 전력 관리 부분을 구성하고 있다. 신호 복조기와 변조기는 MFAN/RFID 융합 중계기로부터 전송된 EPCglobal Class 1 Generation 2 Protocol에 의한 신호를 복조하고, 부하 변조를 이용해서 중계기로 ID 및 온도 데이터를 전송하는 역할을 한다. 파워 온/오프 회로는 전체 시스템을 Wake-up 하는 동작을 하고, 발진 회로는 디지털 컨트롤러와 메모리에 펄스 신호를 공급해 준다. 플래그 회로는 동시에 다수의 태그가 동시에 리더와 통신이 가능하도록 하는 메모리 회로이다. 512 비트 비휘발성 메모리는 EPC 코드와 유저 메모리를 이용해서 ID 와 센싱 정보를 저장하는 역할을 한다. 마지막으로 CMOS 온도 센서는 반도체 구조의 band-gap reference를 이용해서 온도 변화에 따라 변하지 않는 전압 레벨과 온도에 따라 변화하는 전압 레벨을 생성해서 온도 정보를 측정하는 동작을 한다. 그림 7은 설계한 무전지 RFID 센서 태그 시스템 구조도를 나타내고 있다.

IV. RFID/MFAN 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 이력 관리 시스템

4.1. 전체 시스템 구현

무전지 생체 삽입형 태그 기반 가축 이력 관리 시스템은 크게 MFAN 기반의 자기장통신 및 무선전력전송 시스템과 생체 삽입형 RFID 융합 센서 시스템이 융합된 시스템이다. 두 시스템을 융합하기 위해서 MFAN/RFID/무선충전 융합 중계기가 있고, MFAN/RFID 융합 중계기는 MFAN 시스템과 RFID 시스템 사이의 데이터 및 전력 전송을 중계한다.

MFAN 시스템은 자기장통신용 MAC/PHY SoC 칩을 기반으로 코디네이터용 보드와 노드용 보드를 개발하였고 RFID 시스템은 MFAN 노드와 RFID 리더가 적용된 MFAN/RFID 융합 중계기, 센서와 RFID 태그가 융합된 생체 삽입형 센서 태그를 개발했다.

4.2. MFAN 데이터 송수신기 구현

그림 8과 그림 9와 같이 MFAN 시스템은 MFAN 코디네이터와 MFAN 노드로 구성되어 있다. 그림 10에서와 같이 1.5m 거리에서 8Kbps 데이터속도로 전

송이 가능했다.

MFAN 시스템 칩의 기능 및 성능은 표 1과 같다. 공정은 0.18 um CMOS Logic SoC 공정을 사용했고, CPU는 전력 소모를 최소화하며 성능을 높이기 위해서 Two-Clock per machine cycle 기반의 고성능 8 bit 임베디드 마이크로컨트롤러(M8051EW)를 사용했다. 운영상 저전력 파워소비를 위한 Power Saving Mode 지원하고, 센서인터페이스를 위해 10bit 60MHz ADC 지원한다.

4.3. MFAN/RFID/무선충전 융합 중계기 구현

현재 MFAN/RFID 융합 중계기는 각각 MFAN 통신 모듈, RFID 리더 모듈, 무선충전 모듈을 개발해서 테스트 하였다. MFAN 통신 모듈은 위의 내용과 같고, RFID 리더 모듈은 제작 중에 있다. 무선충전 모듈은 송신기와 수신기를 제작하여 테스트 하였다. 그림 11은 MFAN 통신과 무선충전 융합 안테나이다. 가축에 장착시의 안테나 크기를 고려해서 TX, RX 안테나를 제작하여 무선전력 전송 테스트하였다. TX 안테나는 중계기 소형 단말기에 적용되는 RX 안테나에 비해 크기 확장이 자유롭기 때문에 크기를 확장해 거리 및 효율을 쉽게 향상 시킬 수 있다. 제작된 TX 안테나의 사이즈는 RX 안테나의 두 배 정도 크기이다. 제작한 안테나는 공진 주파수 370 kHz에 맞추어져 설계되었다. 그림 12(a)에서와 같이 TX 출력이 10W일 때 유효 충전 거리 60 cm까지 충전이 가능하고 효율은 대략 15 % 정도이다. 거리가 가까워질수록 충전 효율은 높아지고, 1 m까지도 10 % 이하의 효율로 전력 전송되는 것을 확인하였다. 그림 12(b)는 제작된 안테나의 입력 반사 손실을 네트워크 분석기를 이용해서 측정한 내용이다. 그림 13은 융합 중계기에 적용하기 위해 제작한 무선충전 수신 단말 하드웨어이다.

4.4. 생체 삽입형 무전지 센서 태그 구현

센서 태그는 현재 온도 센싱 부분을 제외한 통신 부분을 CMOS 공정을 이용해서 제작하고 테스트 하였다. 제작한 IC를 플립칩 본딩하여 안테나를 설계해 RFID 리더를 이용해서 테스트 하였고, 무반사 챔버에서 테스트를 하였다. 측정된 결과 데이터를 읽기 위해 필요한 최소한의 입력 파워는 -17 dBm, 전체 소모 전류는 3.3 uA, 인식 거리는 10 m 정도로 측정되었다. 그림 14는 CMOS 공정으로 집적한 IC의 사진이고, (b)는 이를 이용해서 리더와 통신한 내용을 오실로스코프를 이용해서 측정한 것이다. 이를 이용해 직접 가축의 피부에 이식을 하고 인식 거리 및 통신 상

태를 검증하고 있는 상황이다.

V. 결 론

체계적이고 자동화된 가축 관리 시스템의 도입은 가축의 상태를 정확하게 모니터링하고 예방 및 진단함으로써 가축농가의 생산성 향상에 기여할 수 있다. 이러한 요구에 의해 기존 가축 관리 시스템에 연계할 수 있도록 MFAN, RFID, 무선충전 기술을 이용함으로써 보다 자동화된 실시간 가축 생체 모니터링 시스템을 제안하였다. 현재는 MFAN 통신 모듈 제작, RFID 센서 태그 IC 개발, 무선충전 기술 개발 등 각 기술에 대한 연구를 진행 중에 있고, 최종적으로 기술들을 접목하여 무전지 생체 삽입형 센서 태그 기반 가축 종합 이력관리시스템에 대한 개발 및 연구를 진행하고자 한다.

References

- [1] S, Choi, FTA's impact on korean agriculture and counterstrategy (농업부문 FTA 파급영향과 대응전략), Korea Rural Economic Institute, 2006.
- [2] J. Kim, H. Kim, "Agricultural and stockbreeding products recommender system using RFID based traceability system (RFID 기반 이력추적 시스템을 이용한 농축산물 추천방법)," *Intellectual information research (지능정보연구)*, vol. 14, no. 2, pp. 207-222, June. 2008.
- [3] (주)야긴스텍, www.yagins.com
- [4] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, Wiley, 2003.
- [5] Y. Kim, M. Baek, N. Kim, and Y. An, "Research for biological effects of 900 MHz RFID reader (900 MHz 대역 RFID 리더기의 생체 영향에 대한 연구 -동물 실험 경과)," *Electromagnetic technology (전자과학기술)*, vol. 21, no. 5, pp. 41-54, Sep. 2010.
- [6] EPCglobal, *EPCTM radio-frequency identity protocols class-1 generation -2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz-960 MHz, v.1.1.0*, Dec, 2005.
- [7] *WPC Specification, System Description Wireless Power Transfer Volume I: Low*

Power Part 1: Interface Definition, Version 1.0.3, Sep. 2011.

- [8] J. Lee and B. Lee “A long-range UHF-band passive RFID tag IC based on high-Q design approach”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 7, pp. 2308-2316, Jul. 2009.
- [9] C. Chung, Y. Kim, T. Ki, K. Bae, and J. Kim “Fully integrated ultra-low-power passive UHF RFID transponder IC,” in *Proc. IEEE RFIT*, pp. 77-80, Dec. 2011.

원 윤 재 (Yun-Jae Won)



2002년 고려대학교 산업시스템
공학 석사 졸업
2000년~2001년 (주)비클텍 이
사
2002년~현재 전자부품연구원
무선플랫폼연구센터 선임연
구원

<관심분야> 자기장통신, 무선전력전송, 센서네트워크,
IT융합

김 영 한 (Young-Han Kim)



2007년 인하대학교 전자공학
학사 졸업
2010년 한국과학기술원 정보통
신공학 석사 졸업
2010년~2012년 LS산전 선형
기술연구소 주임연구원
2012년~현재 전자부품연구원
무선플랫폼연구센터 전임연구원

<관심분야> RFIC, SoC, RFID/USN, 무선전력전송,
WLAN/WPAN, 자기장 통신, 전력용 반도체

임 용 석 (Yongseok Lim)



2001년 고려대학교 전기전자전
파공학 학사
2003년 고려대학교 전자공학
석사
2011년~현재 고려대학교 전기
전자전파공 박사과정
2007년~현재 전자부품연구원

무선플랫폼연구센터 선임연구원
<관심분야> 무선전력전송, 자기장 통신, 통신 SoC
설계, Embedded System 설계

문 연 국 (Yeon-Kug Moon)



1998년 인하대학교 전자공학사
학사
2000년 인하대학교 전자공학
석사
2010년 고려대학교 바이오마이
크로스시스템 박사수료
1999년~2000년 (주)아라리온
대리

2001년~2004년 삼성전자(주) 선임연구원
2005년~현재 전자부품연구원 선임연구원
<관심분야> 무선충전 시스템설계 및 SoC설계

임 승 옥 (Seung-ok Lim)



1997년 건국대학교 전자공학
학사
1999년 건국대학교 전자공학
석사
2005년 건국대학교 전자정보
통신공학 박사
2001년~현재 전자부품연구원

무선플랫폼연구센터 센터장
<주관심분야> 무선전력전송, 자기장 통신, 국제표준화