

UV코로나방전 진단을 위한 임베디드 무선통신모듈개발(I)

정경열, 이후락 | 한국기계연구원

1. 서 론

우리나라는 고도의 지식기반사회 구축이 예상됨에 따라 고품질의 전기에너지를 안정적으로 공급함과 동시에 국가의 미래 전략에 부응하는 디지털기술이 접목된 지능형 전력시스템 구축이 강력히 요구되고 있으며, 이를 바탕으로 효율적이고 안정적이며 환경친화적인 에너지수급 및 산업화가 지속적으로 요구되고 있다.

한편 전력설비의 설계에 있어서 전기환경에 대한 검토 없이 전력 설비를 운용하는데 상당한 어려움이 예상되므로 전기환경에 대한 정확한 고려는 필수적이다. 최근 전기환경 즉, 전력계통의 가장 큰 관심사항인 송전전압의 격상을 중심으로 발생하는 전기환경장해이다. 우리나라의 최고 송전 전압이 345kV에서 765kV로 격상되면서 전기환경에 대한 적극적인 검토가 시작되었다. 특히, 500kV이상에서 나타나는 여러 가지 현상 중에서 가장 우려되는 것이 코로나 방전에 의한 전기환경장해가 나타나게 된다.

전력계통에 사용되는 절연재료는 크게 세라믹과 비세라믹(non-ceramic) 계열로 구분된다. 세라믹 계열은 철탑이나 가공송전선 등에 사용되고 있는 애자이고 비세라믹 계열은 하우징 재료 및 전력케이블이 주를 이루고 있다. 전력계통에서 문제가 되는 것은 케이블 등의 절연재료의 자연열화 또는 외부 요인에 의한 열화로 발생하는 절연 내력이 저하되는 것이 하나이고 다른 하나는 전력계통의 전압이 상승하면서 주변환경의 변화로 절연재료의 절연내력이 약화되면서 발생하는 코로나 방전이다.

코로나 방전에 의해 나타나는 현상은 특히 비가 오거나 습기가 많은 날씨가 초고압 전송선로나 옥외 변전소에서 소리가 나거나 야간에 전선에 청백색으로 빛을 발하게 된다. 이러한 코로나 방전은 전력손실, 전파 장애 및 통신선의 유도 장애 등을 유발하므로 되도록 코로나의 발생을 억제해야 한다.

따라서 전력계통의 절연재료의 절연특성에 대한 추이를 분석하기 위해서 운전 중인 전력계통을 진단할 수 있도록 NT기술이 접목된 고감도 지능형센서를 설계하고 제작할 수 있는 기술이 필요로 하고, 코로나 방전을 측정할 수 있는 특수 필터, 인공지능형 패턴분석기술을 이용하여 측정신호에 존재하는 잡음을 제거할 수 있는 디지털 신호처리 기술이 필요하다. 또한 전력계통의 중대한 문제가 되고 주변환경장해(통신장해, 전자유도장해 등) 코로나 방전 형태를 분석하여 전력계통에 사용되는 모든 제반 시설의 교체시기판단 기술과 케이블의 온라인 모니터링과 현장 데이터 피드백을 위한 시스템 종합화, 데이터베이스기술의 구축, 진단기술의 표준화 및 디지털 전력기기와 정보화기반의 연계할 수 있는 기술이 필요하다.

대부분의 진단장비는 현장에서 측정을 수행하고 결과데이터만을 저장하여 관리센터로 가져와서 면밀한 분석과 검토를 수행하여 그 결과를 계통관리시스템에 반영하고 있다. 이때 현장에서 감시대상 전력기기를 측정하여 신속하고 정확하게 측정된 값을 저장하고 원격지에 전송하는 것은 전력계통 관리측면에서 상당히 중요한 요인이다.

따라서 본 연구에서는 상기한 Embedded 통신네트워크 기술과 정밀광학기술을 접목하여 전력기기에서 발생할 수 있는 코로나방전의 측정/진단을 위하여 주간에도 관찰 가능한 UV대역의 코로나방전을 감시하고 근거리 혹은 원거리에서 결과를 통보받을 수 있는 Embedded 네트워크를 구축하고자 한다.

2. 관련연구동향

2.1 기술표준현황

무선센서기술은 최근 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅이라는 신조어가 생성되어 많은 주목을 받는 기술로써 우리의 생활환경이 소형 컴퓨터 및 블루투스 같은 무선통신 기능을 포함한 제품들로 더욱 지능화되어 가고 있는 것과 발맞추어 소형 컴퓨팅 장치를 일상생활환경 속에 내장하여 원활하고 투명하게 운영하는 기술을 지향하는 핵심 기술이다.

그 중심기술로는 크게 Ad-hoc 및 multi-hop 무선 접속, 무선 인터넷 시스템에 대한 Multi-hop 광대역 접속, 전송속도 및 대역폭을 개선할 새로운 무선인터페이스와 무선망 재구성 등을 들 수 있다.

이러한 패러다임으로 IEEE에서는 그림1과 같이 기본적인 스마트 트랜스듀서 인터페이스를 IEEE 1451.X로 표준화하고 이를 권고하고 있으며 IEEE 802.15.4로 Low-bit rate Wireless Personal Area Network를 표준화했다.

그림 2에서 나타난 네트워크 구성 예와 같이 표준구성방법을 기본으로 Embedded 무선센서 구성을 위한 수많

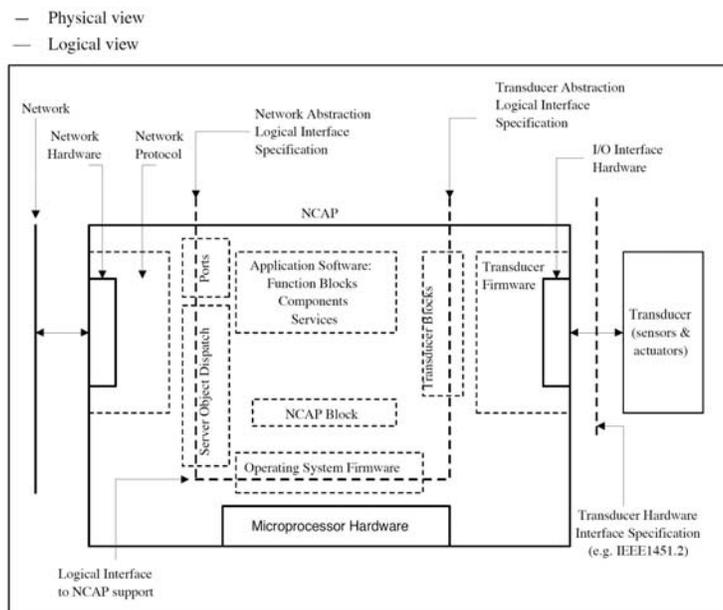


그림 1. Networked Smart Transducer model (IEEE 1451.1-1999)

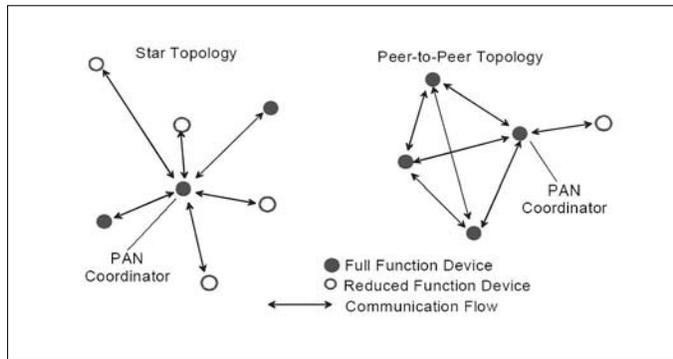


그림 2. 기본적인 센서네트워크 구성 예 (IEEE 802.15.4-2003)

은 분야의 접근과 제품화가 이루어지고 있으며, 기존의 무선통신개념의 많은 변화가 형성되고 있다. 이러한 변화는 Embedded 무선센서를 산업현장 유선통신선의 고장 등으로 인해 발생하고 있는 비용손실과 파급되는 문제를 대체할 수 있는 획기적인 차세대 아이템으로 주목받고 있다. 그러므로, 전력계통의 효율적인 관리를 위한 실시간 모니터링 시스템은 전력계통의 열화인자를 측정하는 센싱부와 수집된 아날로그 신호를 처리하여 무선으로 관리 시스템까지 전달해주는 유연성 있는 처리부를 설계하고 고효율의 처리알고리즘을 개발·제작하여 각 배전 단위 구간별 진단용 Embedded 무선센서 네트워크를 그림3과 같이 구성함으로써 저 비용으로 전력계통로를 상시 모니터링하여 신뢰성있는 전력공급망을 구축할 수 있다.

상기와 같은 망의 구축을 위해서는 단위 클러스터당 Coordinator와 각 디바이스간의 효과적인 통신 알고리즘과

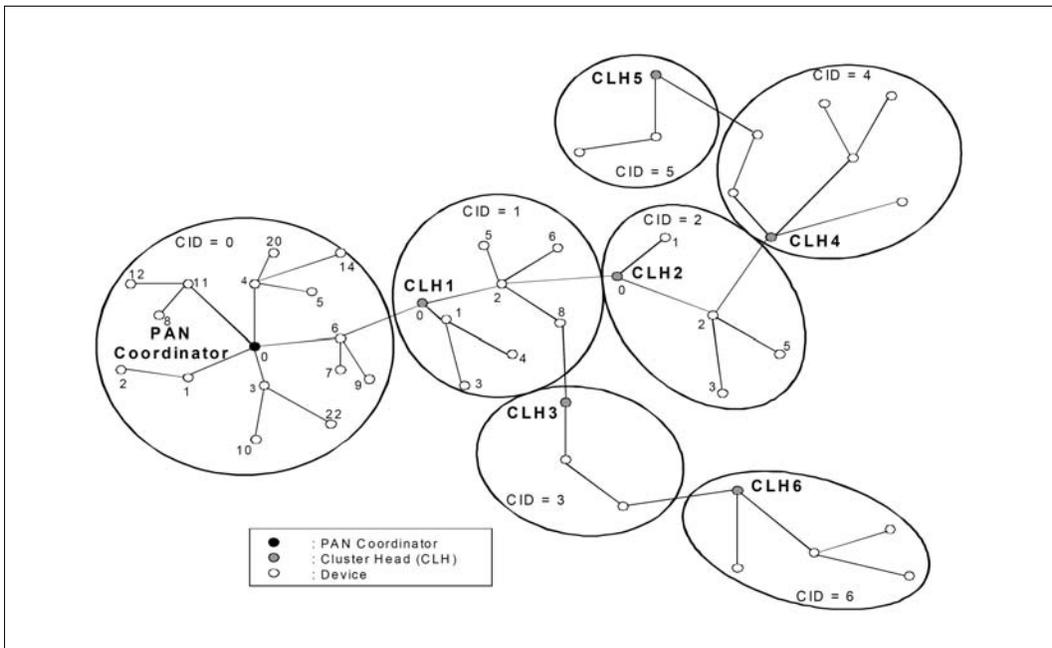


그림 3. 클러스터 단위 트리 네트워크(IEEE 802.15.4-2003)

전체 트리 네트워크의 관리 알고리즘을 개발해야한다.

여기에 사용되는 RF(Radio Frequency)기술도 도입초기에는 잡음과 신뢰성 측면에서 많은 문제를 안고 있었지만 현재는 기술개발로 전자기파간섭(EMI)의 영향에 크게 간섭받지 않고 원격지에 분산되어있는 센서로부터 안전하고 안정적으로 정보를 주고받을 수 있는 기술로 자리를 잡고 있다.

표 1. 주파수 대역과 전송률 (IEEE 802.15.4-2003)

PHY(MHz)	Frequency band (MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate (kchip/s)	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbol/s)	Symbols
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20	Binary
	902-928	600	BPSK	40	40	Binary
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

적용가능한 RF대역별 특성을 표1에 나타내었다. 이 주파수 대역 가운데 고압전선로에서 간섭을 최대한 받지 않으며 전력소모가 적고 전력계통로에 적용이 적합한 특성의 주파수를 고찰하여 적용해야 할 것으로 판단된다.

Embedded 무선센서 기술은 미국 등의 기술선진국에서 국가연구과제를 통하여 운전자에 독립적으로 제조공정을 제어하는 복합화된 계측시스템의 개발과 현장적용을 추진하고 있다. 관련 산업은 농업/알루미늄/화학/임산물/유리/금속주조/광업/석유 및 철강산업 등이고 이들의 경쟁력 향상에 주력하고 있다. 단적인 예로도 알 수 있듯이 이의 시장 수요는 폭발적으로 증가할 것으로 예상이 되고 만약 상용화 단계로 가면 기술 후진국인 우리나라의 경우는 과거의 타 기술에 의한 시장선점에서 당한 피해를 또 경험할 것이다. 하지만, 국내의 경우도 최근 관련기술의 연구가 활발히 진행되고 있으며 실질적인 시범사업도 진행되고 있으므로 선진기술과 큰 차이를 보이고 있지 않다.

2.2 산업기술현황

최근 수년내에 기술발전 속도는 과거 수십년 동안 일어난 변화를 단기간에 이룩하였다고 해도 과언이 아닐 것이다. 그 중에서도 인터넷을 기반으로 하는 다양한 콘텐츠의 개발로 민간분야에서는 불특정 다수의 활동영역을 물리적인 공간에서 가상의 공간으로 확대시켰고 개별 산업분야에서의 특정 소수들에게도 그 영향을 미치고 있다. 예를 들면 무선인터넷을 활용한 원격 재난방재 시스템 및 설비의 이상 진단 등을 들 수가 있다. 그러나 이러한 원격제어·감시를 위한 시스템을 보면 최초로 대상물의 물리량 변화유무를 감지하는 ‘센서(Sensor)’, 이러한 센서의 출력을 감시자 혹은 관리자가 볼 수 있도록 증폭하고 불필요한 잡음 등을 제거하는 ‘신호 조절부(Signal Conditioner)’와 최종적으로 신호를 원하는 형태로 바꾸어 주는 ‘후단처리부(Post Processor)’로 구성되며 이 또한 최종 사용자의 요구에 따라 시각 표시장치를 활용한 경보(Alarm)/전류출력(Current Output) 혹은 RS232C 또는 RS485를 활용한 디지털 통신출력이 존재하고 있다.

그러나 이러한 방식을 활용한 시스템은 센서를 설치하고 출력을 중앙통제실이나 다른 공간으로 전송하기 위해서는 설치를 위한 물리적 공간이 필요하고 신호전송에 소요되는 다수·다량의 하드웨어와 전선(Cable 혹은 Wire)도 필요하므로 초기의 설치, 운용도중의 유지보수 및 이후 설비 증설에 따른 감시 장치의 추가설치 등에 소

요되는 막대한 비용을 소비자에게 전가하는 단점을 내재하고 있다.

또한 제조자 측면에서도 신제품이 시장에 도입된 이후 수요의 증대, 이에 따른 관련업계의 기술수준 향상 및 경쟁업체의 출현으로 인한 제품의 질적수준 향상에 반하는 시장가격의 하락 등으로 타사와의 차별화 및 시장경쟁력 강화의 부담으로 신기술 개발과 초기 시장선점을 위한 판로개척에 박차를 가하고 있다.

이러한 기술적 경제적 환경하에서 새롭게 대두되는 기술 분야로 Embedded 무선센서를 들 수 있으며 이들의 적용시장도 모든 산업분야, 민간분야 및 방위산업으로 확대되고 있다. Embedded 무선센서는 학교·연구소 등에서 연구개발이란 관점에서 추진되고 있어서 국내의 기술수준은 아직 미미한 상태이지만, 기술에 대한 수요는 현재도 상당히 많으며 추후에도 빠른 속도로 증가할 것으로 예상된다.

그러나 선진국의 경우 '90년대 중반이후 Embedded 무선센서의 개발을 위하여 국가적인 차원의 지원과 산학연 연계를 통하여 제품의 원천기술 개발 및 상용화 제품개발에 박차를 가하고 있는 것이 현실이다.

반면 전력설비에서 전력계통선로 대부분 초기 설비는 노후화되어 교체시기가 가까우며 신규설비도 5~6년 사이에 여러 요인으로 인해 사고가 발생하고 있다. 갑작스런 사고가 발생한 경우 정전 등의 파급되는 피해는 막대하며, 복구에도 많은 시간과 비용이 소모되고 교통장애 등의 문제가 심각하여 Embedded 무선네트워크 기술을 이용한 기존 및 신규설비의 온라인 원격감시 시스템을 이용하여 이를 상시 진단하고 사고를 미연에 방지하는 것이 바람직하다.

3. Embedded 통신네트워크 기본노드 개발

3.1 기본노드의 H/W 설계 및 제작

현존하는 대부분의 ECN(Embedded Communication Network)은 크게 두 가지로 나누어 볼 때 Sink와 Source로 나누어 볼 수 있다. 이는 유·무선을 막론하고 가장 기본이 되는 구성요소이다. Sink와 Source 사이에 거리연장 및 다중통신을 지원하기 위해 Router/Repeater 등이 존재하여 중계역할을 수행한다. ECN에서 Source는 Node라고 하며 중간의 라우터가 될 수도 있다.

네트워크의 말단 역할을 수행하는 Node는 기본기능을 수행하는 요소로써 ECN에서는 목표대상이 되는 환경정보를 수집하여 Sink로 전송하는 기능을 수행한다. 그러므로 적용대상 환경에 적합한 구조와 최소기능 및 전력소모를 최소화해야 하는 목표를 안고 있다. 말단노드의 기능을 만족하는 기본사양은 상에서 조사하였던 대부분의 무선센서노드들의 기능을 만족하면 되나 가장 저전력으로 동작을 수행하면서 효율이 높은 플랫폼을 모델로 하여 기본노드를 설계·제작해야 한다.

무선센서네트워크의 기본노드개발에서 요구되는 사양은 현재 널리 사용되는 Embedded플랫폼의 개발사양과 거의 동일한 프로세스를 가지고 있는 것으로 판단하고 기존에 사용되고 있는 Embedded Co-Design 기법을 적용하여 각 H/W 및 S/W간의 기능분리와 세부사양정의를 수행하였다.

기본노드에서 고려되어야 할 사양과 기능을 정의하고 그에 따른 설계·구현이 가능한 H/W와 S/W를 분리하고 그 사이의 인터페이스를 정의하여 효율적인 동작이 가능할 수 있도록 설계하였다. 정의한 기능을 기존의 개발된 플랫폼에서 조사·분석하여 가장 적합한 플랫폼을 선정하고 기본노드 설계·제작을 수행하였다.

설계하는 H/W의 사양은 아래와 같다.

- Variable clock speeds
- Lower power mode available
- Quick Change to Sleep/Wakeup/Active modes supports
- Most efficient throughput processor at low power consumption
- Easy to apply & extensibility

이를 기반으로 고려해본 H/W 플랫폼 가운데 가장 적합한 플랫폼은 Telos 라는 제품명의 플랫폼으로 가장 저전력에서 고효율로 동작할 수 있으며 확장성과 적용성이 용이할 것으로 판단되었다. 다만, 불필요한 부품과 본 연구 내용에 부합 하도록 약간의 수정을 하였으며, 기본노드의 기능에 충실할 수 있도록 기초적인 인터페이스를 만족할 수 있게 설계하였다.

조사한 자료와 대상플랫폼을 기준으로 본 연구내용에 적합한 부품들을 조사하고 그에 따른 Schematic과 Layout을 설계하여 PCB를 제작하였다. 제작한 PCB는 보드내장안테나를 사용하지 않고 Gain이 높은 외부안테나를 이용하여 장거리 수신이 가능한 SMA단자를 이용하여 RF송수신이 가능할 수 있도록 구성하였다.

1단계 목표인 무선센서노드에 기본기능을 만족하는 수집데이터를 단순무선전송을 수행할 수 있는 노드를 제작하였다. 가능한 빠른 데이터 전송율로 짧은 시간에 지정된 작업을 마칠 수 있도록 2.4GHz에서 동작하는 노드이다. 설계한 Schematic도면은 그림 4에 MCU파트, 그림 5에 RF파트를 나타내었으며 그림 6에 USB 인터페이스 파트를 나타내었다.

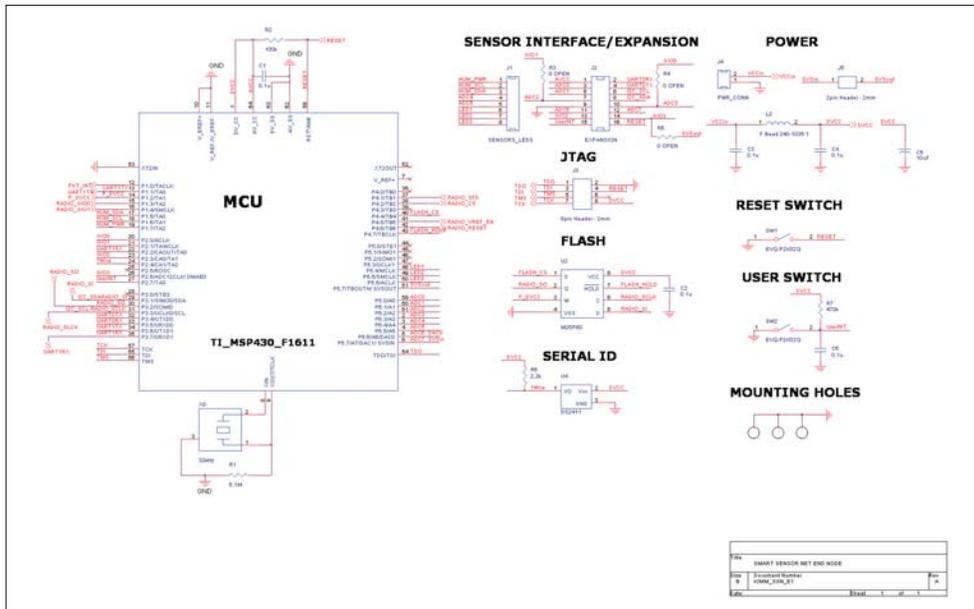


그림 4. MCU Part of ECN Basic Node

그림 7에는 4Layer로 설계한 무선센서기본노드의 레이아웃을 나타내었다. RF회로의 레이아웃이라 배선이 조

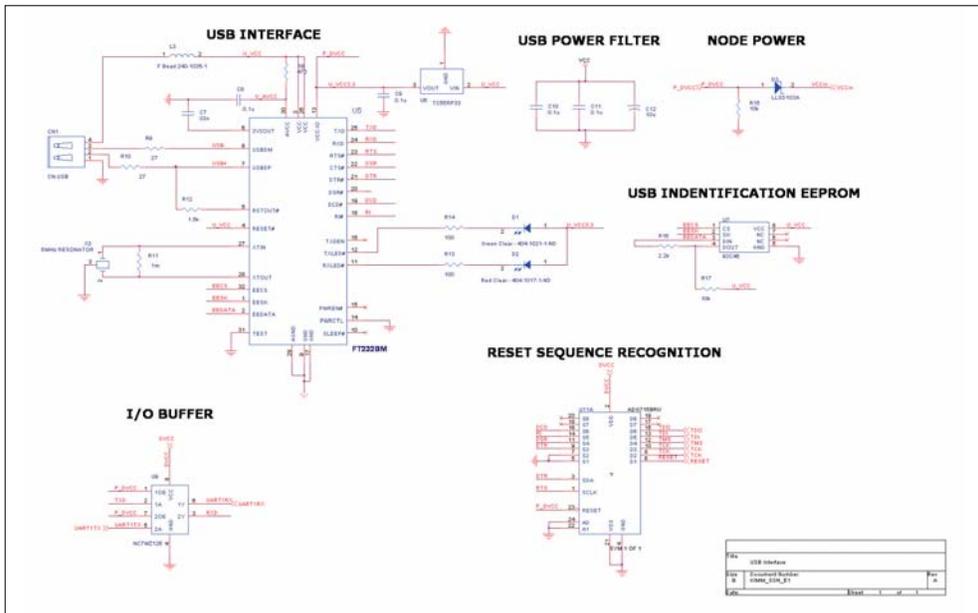


그림 5. RF Part of ECN Basic Node

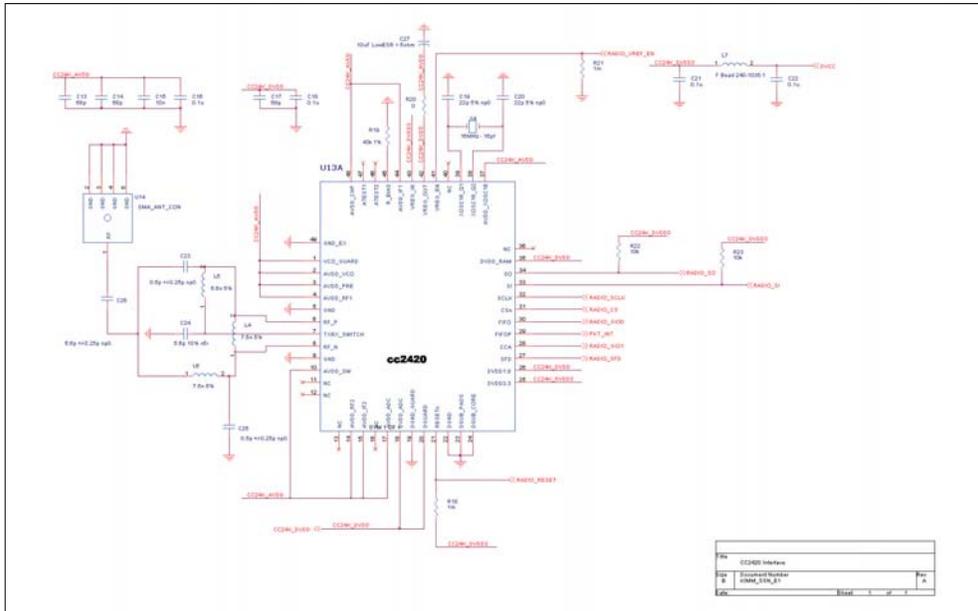


그림 6. USB Part of ECN Basic Node

금만 달라져도 성능상의 많은 차이를 보이므로 앞으로도 최적화를 해야 할 부분이 많이 있을 것으로 예상된다.

표시된 수치는 모두 밀리미터 단위이다. 크기와 기능을 최소화하여 다른 분야로의 활용이 무궁무진한 모듈이다. 다만, 저전력/고효율의 특성상 구성하는 부품들이 정밀하고 고가의 부품들로만 사용되어져 가능한 국내부품

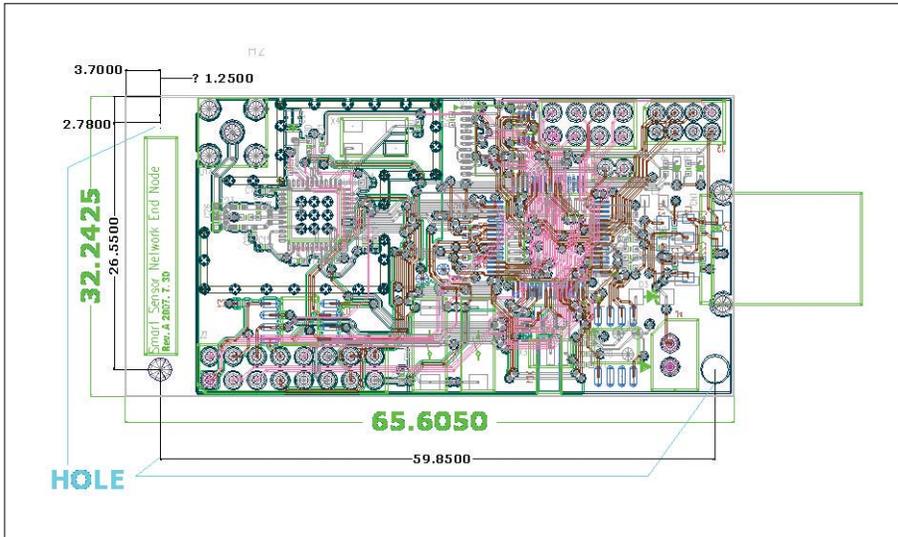


그림 7. Layout Drawing of ECN Basic Node

대처를 모색해야 하는 부분이 많다.

그림 8에는 납땀이 완료된 노드의 앞·뒷면을 나타내고 있다. 위쪽에 나타난 것이 RF와 USB 부분이고 아래쪽에 나타난 것이 MCU부분이다. 그림에서 알 수 있듯이 전원은 USB를 통해 사용하거나 MCU쪽에 배치한 3V전원 단자를 이용해서 동작할 수 있다.

3.2 ECN 기본노드의 S/W 구현

ECN 기본노드의 S/W는 기본적으로 TinyOS를 기반으로 하는 플랫폼을 이용하여 구동할 수 있도록 구현하였

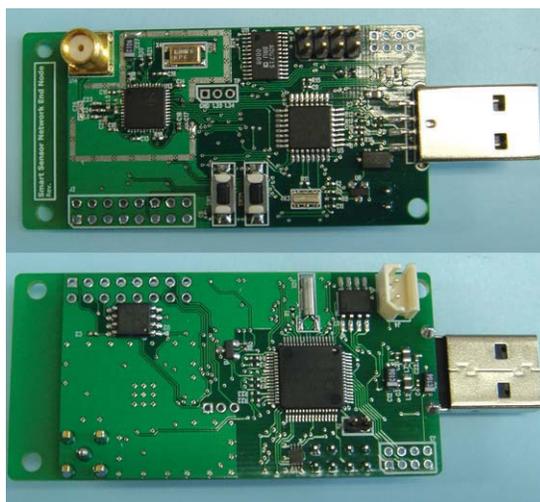


그림 8. Completed Soldering Node

다. 다만, 추가적인 H/W 변경사항이나 연구진행방향에 따라 유동적으로 설계·구현할 수 있도록 고려하였다.

TinyOS는 현재 개발된 여러 ECN OS 가운데 Open Source 기반의 플랫폼으로서 가장 널리 사용되고 있는 플랫폼이다. 그러므로 가지는 장점이 많고 수많은 예제와 연구를 통해 빠르게 진화되고 안정화되고 있는 S/W 플랫폼인 것으로 알려져 있다. 이는 nesC라는 Sensor Networked Embedded C언어로 단순하면서 강력한 기능을 제공하고 있다. 다만, 복잡한 S/W가 구동되어 많은 처리업무를 수행하기에는 Task 스케줄러가 FIFO(First In First Out)으로 단순하고 이벤트기반 처리방식이기 때문에 가지는 여러 가지 단점들이 산재해 있는 실정이다.

본 연구에서는 현재까지 만족하는 사양을 가지고 있으며 Open Source 기반의 플랫폼이므로 여러 형태로의 진화 및 변형이 가능한 것을 장점으로 생각하여 기본노드에 적용하게 되었다. 추후 여러 형태의 확장노드들에 적용하는 데에도 상당히 유용할 것이라고 판단된다.

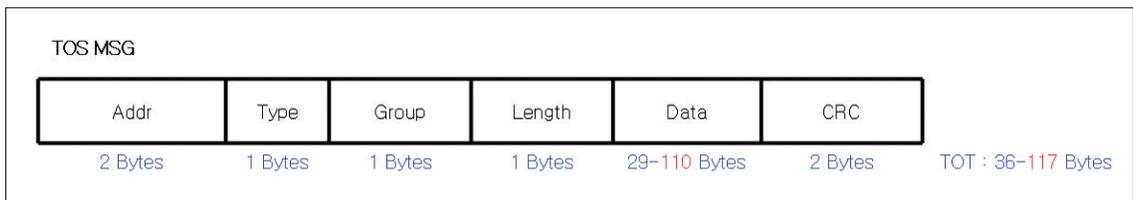


그림 9. TinyOS Basic Packet Structure

TinyOS에서 송·수신하고자하는 Packet의 기본구조는 그림 9에 나타난 것과 같이 기본적으로 36bytes를 사용하고 데이터는 29bytes까지 송수신 할 수 있게 구성되어있다. 데이터전송을 위한 물리적인 한계는 RF송·수신 인터페이스인 CC2420이 갖는 버퍼를 고려하였을 때 117bytes까지이나 116bytes까지 보내는 것이 가능하나 대량의 데이터를 송신하는 만큼 패킷이 손실되었을 때 재전송하는 것을 감안하여 수많은 실험과 계산을 통해 적합한 크기를 결정하거나 적절히 조절하면서 사용할 수 있도록 고려해야 할 것이다.

TinyOS에서 제공하는 컴포넌트를 이용하여 함수와 변수를 정의하고 목적에 부합하는 기능의 S/W를 구현하였다. 구현한 프로그램은 nesC 컴파일러가 생성해주는 컴포넌트 다이어그램을 통해 각 컴포넌트가 어떻게 연결되어지고 어떻게 사용되어지는지 확인할 수 있다. 생성한 컴포넌트 연결다이어그램은 그림 10에 나타내었다. 단순한 기능이지만 RF와 UART를 모두 사용하고 UART와 RF버퍼의 데이터 이벤트기반 핸들링을 통해 수신되는 데이터를 검사하여 시작바이트와 끝 바이트를 확인하고 신속하게 전송하는 기능을 구현하였다.

추후 이 기능을 기반으로 여러 기능이 추가·확장이 될 것으로 판단되고 요구에 따라 추가적인 복잡한 프로토콜이나 알고리즘이 구현되어야 할 것이다. 구현한 기능에서는 UART 통신속도만 가변이며 RF는 항상 같은 속도로 동작한다. 또한, 추가적인 데이터 확인프로토콜을 수행하지 않고 단순 전송만 수행 할 수 있도록 구현하였다.

데이터의 신뢰성확보 등의 QoS를 위해서는 많은 측면에서 고려하여 단순하면서도 강력한 프로토콜을 개발하여 적용해야 할 것이다. 현재 이 분야는 많은 연구단체에서 활발히 연구진행중이어서 관련 학회활동을 통해 정보를 교류하고 더 나은 방안을 모색할 수 있도록 수행해야 할 것이다.

3.3 무선센서네트워크 기본노드 실험

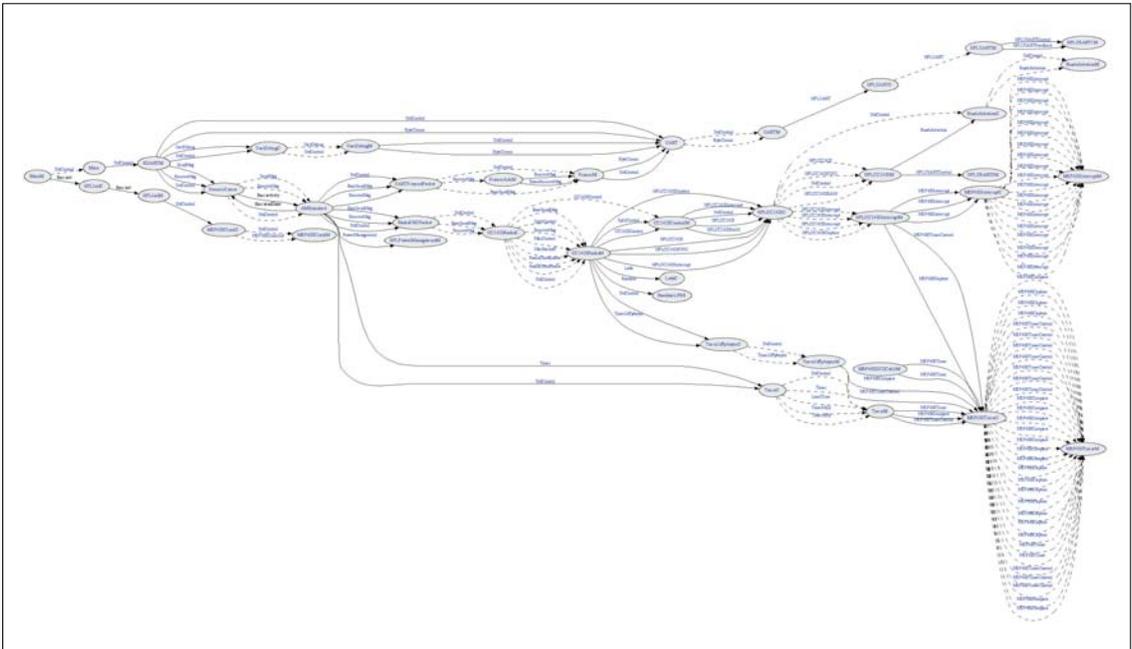


그림 10. Simple UART to RF Communication Component Wiring Diagram

무선노드에서 UART로 수신되는 데이터를 RF로 전송하는 기본시험을 수행하였다. 장애물이 없는 단거리에서 최대속도 115,200 baudrate로 데이터를 송·수신하는데 1개의 에러 없이 전송되는 것을 확인하였다. 테스트 환경은 그림 11에 기본노드 두 개가 1:1 통신을 할 수 있도록 설정한 상태를 나타내었다.



그림 11. Simple Test for UART to RF Communication

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구의 최종목표인 “코로나방전 진단을 위한 Embedded 네트워크 시스템 개발”의 1단계 목표는 “코로나방전 진단용 Embedded 통신모듈개발”이다. 이를 위해 전력기기 현황 및 환경요소 조사를 통하여 환경에 적합한 무선센서네트워크 센서노드 구조를 연구하고 가장 알맞은 기능을 갖춘 무선센서노드를 설계하였다. 또한, 개발하고자 하는 노드의 H/W와 S/W간 기능분리 정의 및 플랫폼 개발하고 효율적 지중용 주파수 대역검토 및 통신방식을 개발하여 Lab Test 및 수정·보완을 수행하였다.

향후에 진행 예정인 라우팅 프로토콜에 대한 선행연구로 기존 라우팅 알고리즘을 조사하고 그 가운데 적용 가능한 알고리즘을 선정하여 시뮬레이션 환경과 제작한 노드를 이용하여 실험을 수행하고자 한다.

현재 개발한 통신방식은 무선센서네트워크에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 방식을 적용하여 추후 현장시험을 통해 이득이 높은 안테나를 적용함으로써 저전력 고효율의 통신네트워크를 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

다만, 다양한 변수를 고려하여 실험을 수행하면서 수정·보완을 거치고 추후에는 멀티홉 및 클러스터링 방식을 통해서 단위네트워크를 구성하고 관리하는 프로토콜과 알고리즘을 개발하여 ECN(Embedded Communication Network)의 효율을 최대화할 수 있을 것이다.

❁ 참고 문헌

- [1] IEEE 1451.1-1999
- [2] IEEE 802.15.4-2003
- [3] 박승민, “센서 네트워크 노드 플랫폼 및 운영체제 기술 동향”, ETRI 전자통신동향분석 제21권 제1호, pp.14.-24, 2월 2006.
- [4] <http://www.tinyos.net/>



정 경 열

· 한국기계연구원 에너지기계연구본부
에너지변환연구팀 책임연구원
· 관심분야 : 센서네트워크, 무선에너지전송
· E-mail : kychung@kimm.re.kr



이 후 락

· 한국기계연구원 에너지기계연구본부
에너지변환연구팀 위촉연구원
· 관심분야 : Embedded Systems, 무선망 모니터링
· E-mail : lhr@kimm.re.kr