

# 사물인터넷과 마이크로 에너지 하베스팅

이봉주<남서울대학교 교수> · 신백균<인하대학교 교수>

## 1. 사물인터넷 시대의 도래

19세기말 토마스 에디슨에 의해 개척된 전기공학 기반 현대과학기술 문명은 21세기에 유비쿼터스 통신 기반 인프라를 거쳐 사물인터넷(Internet of Things : IoT)의 물결로 발전하고 있다.

전기기와 전력전송 설비의 결합으로 출발하여 완성된 송배전 인프라가 ICT(Information & Communication Technology)와 융합되어 발전하고 스마트 그리드로 완결되는 것이 10년 전의 전망이었다. 스마트 그리드는 현대문명의 지속가능한 발전(Sustainable Development)을 지향하는 친환경 에너지 공급 인프라 체계에 부응하기 위한 신개념 전력망을 구축을 목표로 ICT 기반 유무선 통신·제어 시스템과 신·재생에너지(New & Renewable Energy) 원천을 유기적으로 결합한 차세대 국가간 인프라로서 전세계적으로 치열한 연구·개발과 실용화가 시도되고 있다[1].

무선 센서네트워크(Wireless Sensor Network : WSN)로 시작되어 유비쿼터스 센서네트워크(Ubiquitous Sensor Network : USN)로 실용화 연구가 진행되는 ICT 기반 사회간 인프라 제어·관리 체계는 최근 사물인터넷 기반 체계를 지향하고 있다. 이전의 유·무선 통신이 단순히 언제·어디서나 접근 가능한 정보의 공유를 주목적으로 하고

있어서 가상공간에 제한되고 있었던 것에 비해, RFID/USN을 기반으로 하는 체계는 인간이 삶을 영유하고 있는 물리공간에 인지(Sensing)·관측(Measurement) 및 제어(Control)·관리(Management) 기능을 부여하기 위해 가상공간의 확장개념으로 제안되었던 것이다. 사물인터넷은 그 보다 진일보하여 초연결사회(Hyper Connected Society) 구현을 위한 마지막 관점인 사물을 무엇이든지(Anything) 접근·관리(Access & Management)할 수 있도록 하는 것이다. ICT 및 유·무선 통신망의 구축이 전제될 때, 사물인터넷의 실현은 기본적으로 기존 센서 시스템의 유비쿼터스 통신과의 호환성이 해결되어야 하고, 특히 무선통신으로 접근 가능한 상태를 위해서는 개별 센서의 전력공급 문제가 해결되어야 한다. 현재 다양한 응용분야에 적용하기 위한 근·원거리 무선폭력전송기술이 그 한 대안이 될 수도 있겠지만, 말단 센서에서 자체적으로 전력을 조달할 수 있는 자가발전(Self-Generating) 기능을 지향하는 에너지 하베스팅(Energy Harvesting) 기술이 보다 현실적인 접근이 될 수 있을 것이다.

본 총설에서는 먼저 WSN으로 출발하여 USN으로 확장되었고, 최근 IoT로 제안되고 있는 관련 기술 트렌드를 개괄적으로 소개하고, IoT의 구현을 위한 마이크로 에너지 하베스팅 기술의 면면을 제시하고자 한다.

## 2. 원격감지기술과 사물인터넷

### 2.1 원격감지기술의 패러다임 변화

인간의 감지기능을 인공적인 시스템으로 구현 가능하도록 제안되고 개발된 감지소자인 센서(Sensor)는 오래 전부터 원격감지(Remote Sensing) 또는 원격감시(Remote Monitoring) 기능을 지향하고 있으며, 더 나아가 원격제어(Remote Control)의 기능으로까지 응용되어 왔다. 원격이라 함은 기본적으로 감지·감시·제어의 대상이 되는 센서 등이 그 결과 정보를 처리하는 관제센터 등의 장소와 일정 이상의 거리를 두고 떨어져 있는 것을 의미한다. 센서는 넓은 의미에서 생체모방(Biomimetic)에 기초하고 있으며 실제 센서 소자 중에는 그 동작원리가 생체모방에 보다 직접적으로 기초한 경우도 있다.

초기의 원격감지 시스템은 센서 등을 유선으로 결선하여 시작되었지만, 원격감지의 구현은 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network : WSN)를 통해 구체화되었다. WSN의 출발은 센서의 감지결과를 무선통신 기술이나 무선통신 네트워크를 통해 가능해졌지만, 관제센터로부터 원거리에 설치되고 무선으로 통신 가능해야 하는 특성상, 개별 센서의 정상적·상시적인 동작을 위한 전력공급이 항상 걸림돌이었다.

전 세계적인 연구·개발 및 실용화 시도의 결실에 힘입어 상용화가 상당 부분 달성된 WSN은 그림 1에서 보는 바와 같이 에너지 관리시스템, 스마트 빌딩, 의료계측 및 사회기반관리 시스템에서 원격으로 계측 가능한 무선센서(Wireless Sensor)를 기반으로 하고 있다. WSN은 GSM 및 CDMA 등 휴대폰 통신망 구축을 위해 발전된 무선 정보통신 기술을 활용하여 감지정보를 외부로 전송하는 통신 기능을 가진 센서 소자와 원격감지·감시·관리를 위한 무선 통신망을 연결하여 완성된 기술이다[2].

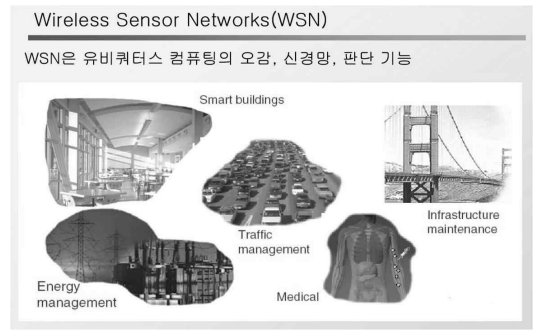


그림 1. WSN의 적용 가능 분야

[출처 : IEEE MTT-S Workshop 2002]

유무선 통신 인프라에 기반을 둔 인터넷으로 꽃피운 정보통신기술은 제4차 공간혁명으로 명명된 “유비쿼터스 혁명”으로 전이되었으며, 인터넷으로 연결된 전자공간이 인간의 삶의 영위 및 산업 활동 공간인 물리공간과 결합하여 인공물, 자연물, 신변용품에 U-chip(센서 및 태그)을 장착하여 사물들의 지능화를 추구하게 되었다.

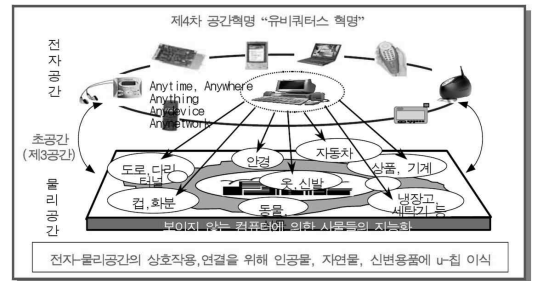


그림 2. 제4차 공간혁명; 유비쿼터스 혁명

[출처 : 한국전산원]

상기와 같은 유비쿼터스 혁명은 현대기술문명의 패러다임을 전방위적으로 혁신시켰으며, 원격감지기술에서는 RFID(Radio Frequency Identification)/USN(Ubiquitous Sensor Network)으로 확대·발전되었다. RFID는 기존의 바코드를 대신하여 다양한 물품에 부착되는 RFID-Tag를 활용

하여 근거리 RF 통신기술을 적용한 무선인식기능을 의미한다. USN은 전술한 WSN의 확장개념으로 이해될 수 있으며, WSN이 초기 단계의 무선감지를 위한 시도였다면 USN은 인터넷 등으로 성숙된 H/W 및 통신망을 적용한 본격적인 응용단계라 정의할 수 있다.

RFID와 USN의 기능을 활용한 원격감지·감시·관리 체계는 센서 고유의 기능에 초점을 둔 원격감지의 기능뿐만 아니라 다양한 인지 및 인식 대상으로 채워진 복잡한 물리공간을 통합적으로 인지·인식·관리하는 통합적 관리체계 인프라를 지향하며, 다음 그림에서 보는 바와 같이 스마트 시티(Smart City) 또는 U-City(Ubiquitous City)로 그 응용영역을 확대하였다[3].

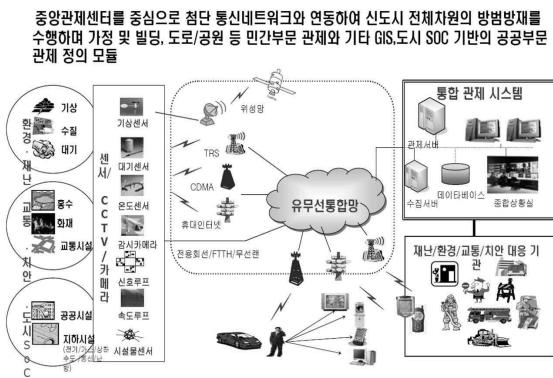


그림 3. USN기반 Smart-City의 개념[출처 : KT]



그림 4. RFID/USN 기반 U-City의 개념[출처 : KT]

RFID/USN 기반 초사회(Hyper Society) 인프라의 구현을 위해서는 휴대전화/유무선 인터넷 등 정보통신 서비스의 지원을 주목적으로 하는 기존 통신 인프라의 범위를 초월하여 양적·질적으로 확대된 유·무선통신 인프라의 구축이 필수적이며, IEEE 802.15.4 표준 및 ZigBee Alliance 등을 기반으로 하는 센서 네트워크와의 접목 등 매우 복잡다단한 초국가적인 인프라 구축을 요구하고 있다[4].

WSN 및 RFID/USN 기술 플랫폼에 기초한 원격감지·인식의 단말 기능을 수행할 센서는 개별 센서 또는 센서노드의 형식으로 연구·개발되어 왔다. 개별 센서는 그 자체가 자가발전을 통한 동작전력의 생산·소비 기능은 물론 감지결과 및 제어신호를 원격으로 송·수신할 수 있는 기능을 내장함을 전제로 하고 있으므로, 기술적으로 많은 한계가 있어 실용화 단계에 도달한 사례가 미미한 수준이다. 따라서 RF 리더기에서 전송되는 RF 신호 자체가 그 전력 공급원이 될 수 있는 RFID-Tag를 제외하고, WSN 및 RFID/USN 플랫폼에 적용되는 단말 센서는 대부분 별도의 전원공급 장치에 의해 전력을 공급받는 센서 노드에 머무르고 있는 실정이다. 결론적으로 WSN 및 RFID/USN 기술체계의 실용화의 최종적 관건은 개별 센서의 동작전력 공급가능 여부에 달려있으며, 에너지 하베스팅 기술의 개발이 시급하다. 에너지 하베스팅 기술은 압전·초전·열전 및 태양전지 등의 원리에 기반을 둔 자가발전(Self Generation) 기능을 응용하는 것이며[5], 무선센서의 동작전력 공급뿐만 아니라 유비쿼터스 혁명의 구현에 필요한 다양한 이동형 기기의 전력공급에도 적용될 것이다[6].

## 2.2 스마트 그리드와 원격감지·감시·관리

스마트 그리드(Smart Grid)는 20세기말에 눈부신 발전과 응용 분야의 확대를 도모해 온 ICT기반 전력망 인프라에 신·재생에너지 기술 및 친환경 에너지



선 통신망에 기반을 둔 정보공유 기능을 부여하고, 각각의 개체인 사물과 통신하는 것으로 구체화될 전망이다. 또한 최근 본격적인 상용화가 시작된 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing)은 기존 ICT 통신망에서 교류되는 정보들과 더불어 사물인터넷에서 추가로 발생할 정보의 저장 및 활용에도 사용될 수 있다.

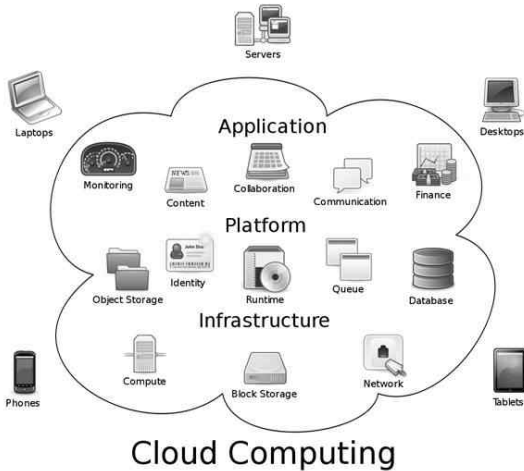


그림 7. 클라우드 컴퓨팅 모식도 (WIKIPEDIA)[출처 : en.wikipedia.org/wiki/Cloud\_computing]

사물인터넷의 응용분야와 그 영향력은 기존 유비쿼터스 통신망의 공유 범위에 따라 제한되거나 확장될 수 있으며, 국가 사회기반시스템(Infrastructure)은 물론 개인의 일상생활에서도 전방위적인 과급효과를 가질 수 있기 때문에 다양한 사회적 및 상업적 기대효과가 예상된다. 상용화 관점에서의 사물인터넷은 이미 기업 대 기업(B2B : Business to Business) 범위의 사물통신(M2M : Machine to Machine)으로 실현되어 왔으며, 최근 일반소비자를 대상으로 하는 서비스(B2C : Business to Consumer)로 확대·발전을 모색하고 있다. 일반 소비자를 위한 사물인터넷 서비스의 초기 단계는 RFID 방식의 교통카드, 택배 배송추적, ATM기기 및 내비게이션 등을 예로 들 수 있다[9]. 사물인터넷의 본격적인 실용화 서

비스는 최근 보급화가 성숙단계에 접어든 스마트폰 등의 지능형 모바일 단말기와의 연동을 시도하여 기존 센서의 정보를 활용하는 것으로 시작될 전망이다 [10]. 사물인터넷이 추구하는 가치는 기본적으로 WSN에서 출발하여 RFID/USN으로 시작된 스마트 시티와 스마트 그리드의 유기적인 결합으로 완결될 수 있다. 유비쿼터스 혁명이 유·무선 정보통신망에 의한 인터넷 가상공간과 인류의 삶의 터전인 물리공간과의 결합이었다면, 사물인터넷의 트렌드는 유비쿼터스 혁명으로 확장된 제4의 공간(가상공간+물리공간)에서 인간-인간, 인간-사물, 사물-사물 등의 연결이 가능하도록 하는 것이며, 진실보한 개념에서 스마트 그리드와 스마트 시티를 구현하는 것이라 할 수 있다. 이러한 정보교류 영역의 확장은 ICT 플랫폼의 관점에서 그림 8로 설명되며, 만물인터넷(Internet of Everything : IoE)의 개념을 사물인터넷의 확장으로 보기도 한다.



그림 8. 정보교류영역의 확장으로 본 사물인터넷 [출처 : 산업연구원]

유·무선통신망을 활용하여 원격감지·감시·관리를 추구하는 USN의 관점에서의 사물인터넷은 단순히 센서 정보의 통합적 관리에 국한되지 않고, 개별적으로 감지·감시·관리되던 센서들 간의 정보교류를 기반으로 빅데이터(Bic Data)의 개념을 도입한 정보공유와 분석을 시도하고, 보다 신뢰성 있는 감지·

감시·관리정보를 제공하는 서비스를 기대할 수 있다. 따라서 H/W적인 접근 공간 및 정보량의 확대와 더불어 S/W적인 정보 가공의 질적 향상의 가치를 원격감지·감시·관리 시스템에 제공하는 것이라 할 수 있다. ETRI가 제안한 SVM(Sensor Visualization Machine)은 그러한 단계로의 진입에 관한 하나의 시도로 볼 수 있다.

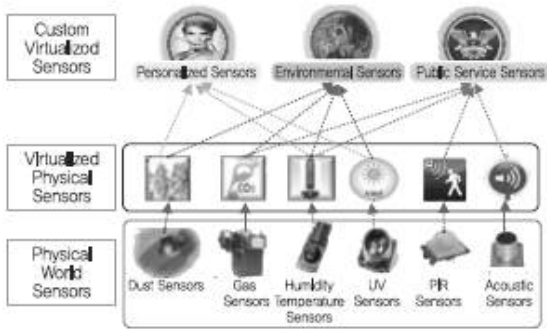


그림 9. SVM의 구성도(출처 : ETRI)

사물인터넷의 구체적인 실현은 다양한 기준센서를 활용하거나 감시·제어·관리 대상이 되는 사물에 감지(Sensing) 기능을 부여하는 것으로 시작될 수 있으며, 그 영역이 궁극적으로 확대되고 완성되는 것이 스마트 시티 혹은 U-시티라 할 수 있다. 현재 다양한 사물인터넷 응용사례가 제안되고 있으며, 그 중 몇 가지를 살펴보기로 한다. 그림 10은 LG전자에서 출시한 스마트 냉장고이며, 보관 중인 식품 내역을 내장된 카메라로 인식하고 스마트폰에 전송한다. 인터넷이 연결된 냉장고는 이미 수년전부터 출시되고 있으며, 다양한 센서 및 인식 태그의 기능이 추가로 구현되면, 필요한 식품을 ‘스스로 알아서 주문’하는 냉장고의 실현이 멀지 않다. 그림 10은 내장된 센서로 교체시기를 감지하고 무선인터넷 연결을 통해 스마트폰 등으로 부모에게 알려주는 스마트 기저귀이며, 신생업체인 ‘24eight’에서 출시한 것이다.



그림 10. LG전자의 스마트 냉장고(출처 : LG전자)



그림 11. 교체시기를 알리는 기저귀(출처 : 24eight)

‘U-healthcare’는 RFID/USN 플랫폼의 응용분야에서 가장 주목 받던 기술이며, 그림 12는 그 대표적인 사례이다. Corventis에서 개발하여 2010년 미국 FDA의 승인을 획득한 ‘스마트패치(Smart Patch)’이며, 환자의 심장에 붙여주면 심장 운동을 감시해 알려주는 ‘심장 감시기’ 기능이 있어, 부정맥 또는 심부전 환자의 원격진단에 응용될 수 있다. 조명분야 역시 사물인터넷이 적용되기에 가장 적합하다 할 수 있으며, 감성조명 등 다양한 고품위 조명이 사물인터넷 기술과 융합되어 첨단화 되고 있다[11]. 그림 13은 사물인터넷 개념이 조명에 응용된 초보적

인 응용사례라 할 수 있다. 인터넷이 연결된 크리스마스 트리는 이메일 또는 SNS 정보가 수신될 때 점등되는 것으로 'The Lonely Christmas Tree'라는 이름으로 출시되었다.

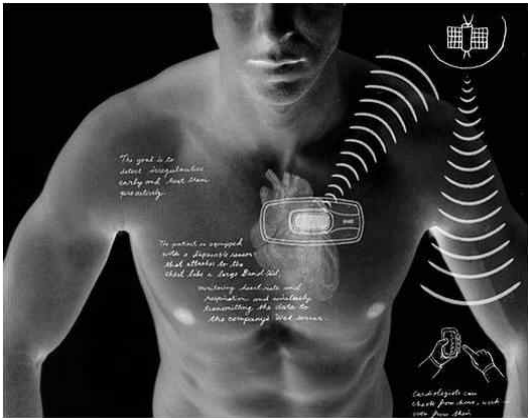


그림 12. 심장 상태감시 밴드[출처 : Conventis]



그림 13. 사물인터넷 크리스마스 트리  
[출처 : Make Magazine]

## 2.4 사물인터넷을 위한 에너지 하베스팅 기술

사물인터넷의 대표적 서비스 유형은 산업연구원에서 제시한 바가 있다[9] : (1) 위치추적; (2) 자동차; (3) 원격관리 제어; (4) 물류/유통/금융; (5) 보안/공공안전; (6) 의료; (7) 자산관리; (8) 가전; (9) 원격유지보수; (10) 환경감시; (11) 기상청; (12) 보호관찰소. 다음 그림은 사물인터넷이 다양한

사회분야와 산업영역에서 상용화 가능성을 타진하고 있음을 보여 준다.



그림 14. 사물인터넷의 다양한 사업영역  
[출처 : TEXAS CEO MAGAZINE]

다양한 센서의 감지정보를 무선통신망을 이용한 원격 감지·감시·관리에 활용하는 점에서 사물인터넷은 RFID/USN의 차세대 플랫폼으로 인식될 수 있으며, 다음 그림은 ETRI에서 제시한 IoT/USN 융합 서비스 기술에 관한 개략도이다. RFID/USN 플랫폼에서 구현된 원격감지 무선 센서네트워크는 센서 구동을 위한 전력공급의 문제를 해결하지 못하여 외부 전원을 통해 전력을 공급하는 센서노드를 활용하였다. 현재 관련 기술의 성숙도로 볼 때, IoT 플랫폼에서도 유사한 상황이 재현될 것으로 예상된다.

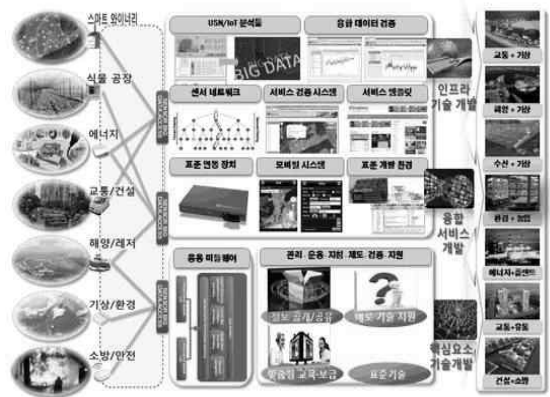


그림 15. IoT/USN 융합서비스 기술[출처 : ETRI]

센서를 활용한 원격 감지·감시·관리 기술의 관점에서 볼 때, WSN - RFID/USN - IoT의 전개는 통신기능의 발달 내지는 응용 플랫폼의 변화만 있었을 뿐, 센서 소자 자체의 구동/정보생산/정보전달 기능의 면에서는 별다른 진전이 없었음을 알 수 있다. 현재 전방위적으로 확산되는 IoT 활용 원격 감지·감시·관리 기술도 기존 센서노드의 새로운 응용의 면에 그칠 것으로 예상되며, 결과적으로 IoT 플랫폼 호환기술의 응용분야와 범위를 제한하는 걸림돌이 될 것이다. 그림 12에서 제시한 심장 상태감시 패치 역시 센서의 구동과 정보전달 기능을 수행하기 위한 전력에너지를 내장 배터리에 의존하는 사례이며, 이는 마이크로 에너지 하베스팅 기술이 향후 IoT 플랫폼 호환기술의 응용영역을 전폭적으로 확대할 수 있는 요소기술이 될 수밖에 없음을 강력히 시사한다.



그림 16. 압전변환 원리에 의한 전기에너지 생산  
[출처 : 미국 Princeton University]

다양한 에너지원으로부터 변환되어 생산될 수 있는 전기에너지는 IoT 패러다임 시대의 원격 센서에 자체 전력공급 기능을 부여할 수 있다. 마이크로 에너지 하베스팅 기술은 그러한 '자가발전 기능'을 총칭하는 것이며, 이는 센서 뿐만 아니라 다양한 전자/반도체 소자의 자체전력 공급에 활용될 수 있다. 마이크로 에너지 하베스팅 기술의 대표적인 원리는 다음과 같다 :

(1) 압전변환 원리; (2) 열전변환 원리; (3) 초전변환 원리; (4) 광전변환 원리. 원격 센서가 장착 또는 부착되는 외부환경에 따라 상기 원리의 한 가지가 이용될 수 있으며, 그에 따라 생산되는 전력의 크기가 미세할 경우 두 가지 원리를 동시에 응용하기도 한다. 예를 들어 원격 센서의 부착부에 기계적 진동이나 충격이 지배적이라면 압전변환 원리가 이용될 수 있다. 그림 16은 압전변환 원리를 이용한 전형적인 마이크로 에너지 하베스팅 기술의 한 예이다. 압전특성이 우수한 PZT를 실리콘 고무에 샌드위치 구조로 삽입하여 자유자재로 휘어질 수 있도록 하였으며, 기계적인 충격으로 발생하는 전기에너지를 다양한 응용분야에 이용될 수 있도록 한 것이다.

### 3. 맺음말

최근 국내의 IT 기술에서 가장 주목 받는 화두인 사물인터넷의 개념과 그 기대가치를 개략적으로 살펴 보았다. 사물인터넷은 기존 유·무선통신망의 응용가능성과 영역을 극대화한 첨단 ICT 인프라 플랫폼이 일 뿐만 아니라, 광범위하게 상용화가 전개되고 있는 RFID/USN의 확대 개념이며, 국가사회의 기반 인프라 뿐만 아니라 산업의 전영역에서 대단히 큰 파급효과가 기대되는 가치사슬을 제시하고 있다. 전기조명 및 전기설비 분야에서도 사물인터넷의 영향력은 향후 지대할 것으로 예상되며, 관련 분야의 신산업 개척 및 창조경제의 실현에서 최우선으로 고려되어야 할 기대 가치를 보유하고 있다.

사물인터넷의 실용화 가능성과 파급력은 기본적으로 유·무선통신망의 지원기술과 H/W 및 S/W의 조화로운 융합기술에 따라 지배될 것이지만, 진정한 의미의 초연결사회의 구현은 세부 말단부에 배치되어 있는 사물의 지능화, 즉 원격 감지·감시·관리 기능의 신뢰성 있는 구현 여부에 의해 결정적일 것이다. 마이크로 에너지 하베스팅 기술은 그러한 관점에서



사물인터넷의 구현에서 필수적인 요소기술로 인식되고 있다. 다양한 변환원리를 응용한 ‘자가발전’ 기능을 ‘사물’에 부여하여 배터리 등 외부 전원에 의존하지 않고도 상시적으로 ‘연결 상태’에 있으면서 ‘상태인식’ 기능과 ‘통신 가능한’ 구동이 연동되도록 할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- (1) 손종천, “스마트 그리드 소개(1)”, 조명·전기설비 제28권 제2호, 2014.
- (2) 김석우, “센서 네트워크 연구개발 및 상용화 사례”, 주간기술동향 통권 1325호, 2007.
- (3) 김선진 외, “USN 응용서비스 동향”, 전자통신동향분석 제22권 제3호, 2007.
- (4) 김지은 외, “USN 센서노드 기술 동향”, 전자통신동향분석 제22권 제3호, 2007.
- (5) 이수진 외, “암전에너지 하베스팅 기술동향 및 전망”, 한국과학기술정보연구원 정보분석연구소, 2013.
- (6) 송중철 외, “Flexible Piezoelectric Energy Harvesting”, 세라미스트 제15권 제2호, 2012.
- (7) 고동수 “복생성장을 위한 지능형 전력망(Smart Grid) 도입”, 산업연구원 ISSUE Paper 2009-244, 2009.
- (8) 전성태, “사물인터넷 시장 및 산업 전망”, 기술과 경영 2014년 4월호, 2014.
- (9) 주대영, 김종기, “초연결시대 사물인터넷(IoT)의 창조적 융합 활성화 방안”, 산업연구원 ISSUE Paper 2014-342, 2014.
- (10) 고정길 외, “스마트 디바이스와 사물인터넷(IoT) 융합기술 동향”, 전자통신동향분석 제28권 제4호, 2013.
- (11) 김희민 외, “사물인터넷 기반 LED스마트조명 기술 동향”, 조명·전기설비학회지 제28권 제1호, 2014.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



이봉주(李鵬周)

1973년 4월 16일생. 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1998년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2004년 6월~2007년 8월 LG 전자 디스플레이 연구소 선임연구원. 2007년 9월~현재 남서울대학교 전자공학과 교수.

주요관심분야 : 차세대 신광원, OLED, LED, 조명공학, 조명등기구, 디스플레이, OTFT, ONVMT, OSC, 신재생에너지 등

E-mail : bjlee@nsu.ac.kr



신백균(申白均)

1967년 1월 16일생. 1990년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1992년 2월 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 12월 독일 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1992년 12월~2000년 11월 독일 Fraunhofer Inst. of Integrated Systems & Device Tech. (FhG-IISB) 객원연구원. 2002년 12월~2004년 2월 일본 Kumamoto Univ. 외국인방문연구원. 2004년 3월~현재 인하대학교 전기공학과 교수. 2008년 9월~2010년 8월 인하대학교 IT공과대학 부학장. 2008년 1월~2011년 12월 한국조명전기설비학회 평의원. 2012년 1월~2013년 12월 한국조명전기설비학회 이사.

주요관심분야 : OLED, OTFT, 유기박막태양전지, 유 기메모리, 에너지 하베스팅 소자, 화학/바이오센서 등

E-mail : shinsensor@inha.ac.kr