

# IPv6 Focus

IPv6 기반 Internet of Things(사물인터넷) 기술 동향

2014. 8



## IPv6 기반 Internet of Things(사물인터넷) 기술 동향

인터넷주소산업팀 | 성기훈 선임연구원

사물인터넷 환경에서 인터넷에 접속 가능한 장비들의 규모가 급증함에 따라 IP주소의 수요 역시 증가하고 있다. 하지만 기존 IPv4 주소는 사실상 고갈된 상태이기 때문에 IPv6로의 전환이 지속적으로 진행 중에 있다. 본 고에서는 사물인터넷 환경에서의 통신 방식의 특징에 대해서 분석하고, IPv6를 기반으로 다양한 사물간 통신이 가능한 네트워크 구축을 위한 기술들의 표준화 동향에 대해 살펴보고자 한다.

### I. 사물인터넷

#### 1. 정의

사물인터넷이란 용어는 '99년 Kevin Ashton이 Procter&Gamble(P&G)에서 RFID를 활용한 supply chain 관리업무 담당 시 처음 언급하여 사용하기 시작하였다[1]. 이후 그는 MIT의 RFID 연구 컨소시엄에 참여하고 Auto-ID Center 장으로 취임하여 지속적으로 사물인터넷에 대한 연구를 수행해오고 있다.

'05.11월 ITU 보고서 제목에 사물인터넷이 사용되면서 차츰 공식 용어로서 자리매김하기 시작하였으며, '12년 ITU-T Y.2060(Y.IoT-overview) 표준문서에서 사물인터넷의 정의를 기술하였다[2]. ITU는 사물인터넷이란“지능화된 사물들이 연결되어 형성되는 네트워크상에서 사람과 사물(물리 또는 가상), 사물과 사물 간에 상호 소통하고 상황인식 기반의 지식이 결합되어 지능적인 서비스를 제공하는 글로벌 인프라”로 정의하고 있다. M2M(Machine to Machine, 사물지능통신), IoE(Internet of Everything, 만물인터넷) 등의 용어도 사물인터넷과 같이 사용되고 있으나 유사한 개념으로 받아들여지고 있다.

#### 2. 사물인터넷 시장 전망

사물인터넷 시장 규모는 크게 확대될 것으로 전망되나, 예측 기관마다 상이한 상태이다. Machina Research는 '13년 현재 약 2,000억 달러 수준에서 '22년 약 1조 2,000억 달러 수준으로 시장 규모가 성장할 것으로 예측하고 있다[3]. IDC와 MarketsandMarkets는 '20년 각각 8조 8,520억 달러, 1조 4,231억 달러로 전망하였으며, Gartner는 3,000억 달러 수준으로 예측하고 있다[4][5][6]. 사물인터넷 분야에 대한 기준의 차이로 인해 아직까지 기관별 시장 전망에 차이가 존재한다.

### 3. 사물인터넷 기본 기능

사물인터넷은 다음과 같은 통신 서비스 원칙을 충족시켜야 다양한 서비스를 제공할 수 있다. 우선 서비스와 디바이스 혹은 게이트웨이 간의 통신을 지원해야 하며, 복수 통신 기술도 사용 가능해야 한다. 또한 네트워크에 연결된 객체는 다른 객체와 p2p 통신이 가능해야 하며, 네트워크 구조로부터의 서비스 독립을 위해 네트워크 추상화가 반드시 제공되어야 한다. 이러한 기본적인 기준을 위해 사물인터넷 관련 통신 규약은 다음과 같은 규칙을 지원해야 한다[7].

- 대기 모드(sleeping-mode) 환경에서 통신이 가능해야 한다.
- Anycast, unicast, multicast, broadcast를 지원해야 하며, broadcast는 부하감소를 위해 가능한 경우 multicast나 anycast로 대체할 수 있어야 한다.
- 메시지 전송 스케줄링을 지원하며 전송 지연 허용범위를 항상 인식할 수 있도록 해야 한다.
- 서비스는 최적화된 메시지 통신 경로를 선택할 수 있어야 하며, 통신이 실패할 경우 이를 알릴 수 있는 기능이 포함되어야 한다.

이와 더불어 사물인터넷 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 객체 간의 통신을 지원하기 위한 이종망(heterogeneous networks) 간 통신을 가능하게 해야 하며 이에 대한 확장성, 이동성, 무결성, 연결성 등을 보장할 수 있어야 한다.

### 4. 사물인터넷 요구 기능 : IPv6의 필요성과 제한적 환경

많은 객체 간의 통신이 필요한 사물인터넷 환경에서 식별(identification)은 중요한 문제 중 하나이다. 무선으로 인터넷에 연결되는 장비들이 '13년 현재 1인당 1개 수준에서 '18년 1.5개로 증가할 것으로 전망되고 있으며[8], 단일 네트워크(link-local) 수준을 포함하면 실제로 인터넷에 연결되는 객체의 수는 기하급수적으로 증가할 것으로 보인다. 이런 상황에서 객체의 식별정보로서 IPv6는 기존의 검증된 네트워크 통신 구조를 그대로 활용하면서 동시에 거의 무제한에 가까운 식별정보를 생성해낼 수 있기 때문에 사물인터넷의 필수조건으로 여겨지고 있다. 본 고에서 소개하는 기술들 역시 이러한 이유로 IPv6 활용을 전제로 하고 있으며, IP 프로토콜을 중심으로 하는 인터넷의 narrow-waist 구조로 인해 향후 신규 통신 기술 및 서비스 개발에 있어서 IPv6에 대한 수요는 지속될 것으로 보인다[9].

이와 더불어 사물인터넷을 통해 통신하는 객체들은 제한적(constrained) 환경에서 통신을 수행해야하기 때문에 이러한 환경적 특성에 따라 몇 가지 기능들이 필요하다[10]. 우선 저전력 무선 네트워킹 기술이 필요하다. 사물인터넷 서비스의 제한적 환경에서 객체 간 무선 통신을 위해서는 통신 범위(range), 대역폭(bandwidth), 비용(cost), 전력 소비(battery consumption)이 무엇보다 중요하다. 기존의 무선 통신 기술 중 WiFi나 Cellular같은 전통적인 방식은 단순한 통신에 사용하기에는 많은 전력을 소비한다. 넓은 범위에서 서비스를 제공하기 위해서 출력을 높이거나 객체의 개수를 늘리는 방식을 도입하는 것 역시 많은 비용을 발생시키게 된다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 저전력 무선 네트워킹 기술이 필요하다. 기존의 ZigBee, Bluetooth LE, wirelessHART 등의 기술은 특정한 서비스나 용도를 목적으로 개발되었기 때문에 보다 보편적인 활용을 위해 저전력 무선 네트워킹 기술 개발이 필요하다.

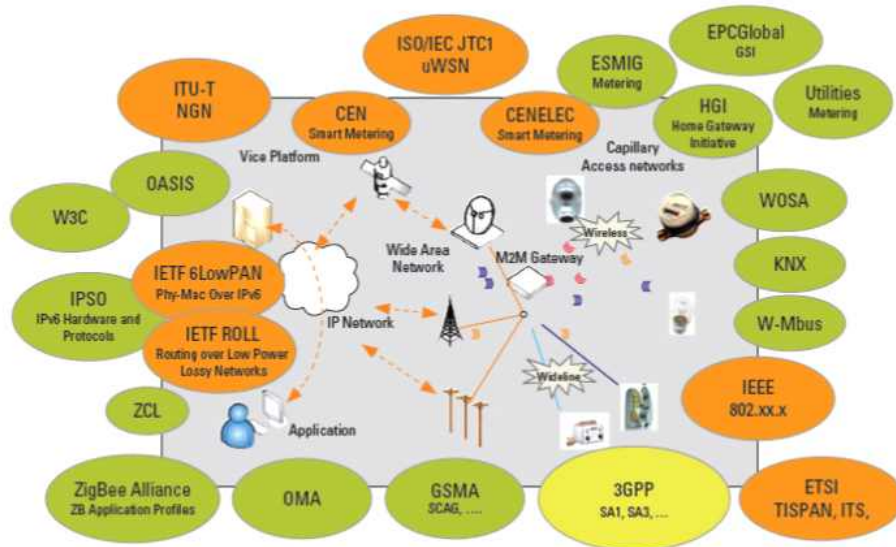
두 번째로 센서 최적화 기반 데이터 관리 기술이 필요하다. 이 역시도 비용과 전력의 문제와 연계된다. 대규모 네트워크를 구성하게 되면 질의(query)와 데이터 관리 기능을 수행하기 위해 객체 간 통신에 의한 데이터 전송이 빈번해지게 되는데, 센서 객체로 구성된 네트워크에서 이와 같은 통신 방식은 비효율적이다. 이를 해결하기 위해서 지능화된 DB관리 방법이 필요하며, TinyDB, SENFIS, AndulN, Antelope 같은 프로젝트를 통해 연구가 진행 중이다.

세 번째로 필요한 기술은 저전력 임베디드 OS이다. 앞서 전술한 효율적인 통신을 수행하기 위해 객체들은 주류의 OS를 작동시킬 수 있는 프로세서와 메모리를 탑재하기 어렵다. TinyOS, Contiki 등 저사양의 임베디드 OS들이 개발되고 있으며, ETRI에서 개발 중인 NanoQplus가 '14.3월 IPv6 Ready Phase-2(Gold) Logo 국제인증을 받기도 하였다[11].

마지막으로 새로운 전력 공급 및 저장 기술 개발이 필요하다. 필름형 배터리, 고밀도 배터리 등과 같은 전력 저장 기술과 더불어 신재생에너지를 이용한 하베스팅(harvesting) 기술, 무선 충전 기술 등의 개발이 추진되고 있으나 아직까지는 상용서비스에서 활용하기는 어려운 수준이다.

## 5. 사물인터넷 관련 표준화 단체 및 주요 활동

국내외 많은 표준화 단체에서 사물인터넷 관련 기술 및 서비스에 대한 표준화를 진행하고 있다(그림 1 참조).



〈그림 1〉 사물인터넷 관련 표준화 단체[12]

IPv6 관련 네트워크 스택의 표준화를 담당하고 있는 IETF에서는 다음과 같이 20여 년 동안 IPv6 기반 사물인터넷 기술에 대한 표준화를 진행해 왔다.

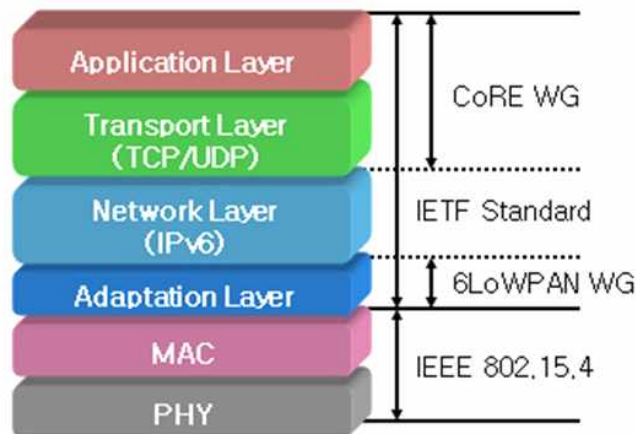
- '95년 IPng(IP next generation) 워킹그룹이 IPv6 표준인 RFC 1883을 발표
- '98년 IPv6 기본 규격 RFC 2460 표준 제정
- '05년 IPv6 전환을 위한 응용 요구사항(RFC 4038)을 IPv6 관련 국내 최초 RFC 제정
- '06년 IPv6 기본 주소 규격 RFC 4291 표준 제정, IPv6 제어 메시지 프로토콜 규격 RFC 4443 표준 제정, 국내 최초의 IETF 표준트랙 IPv6 규격으로써 링크 범주의 IPv6 멀티캐스트 주소 설정 기법(RFC4489) 표준 제정
- '07년 IPv6 기반 이웃 탐색 프로토콜 NDP 표준(RFC 4861) 제정
- '10년 IPv4 네트워크상에서의 IPv6 터널링 기법인 6rd 표준 RFC 5969 제정
- '11년 IPv4/IPv6 전환기법인 NAT64(RFC 6146), IP/ICMP 전환(RFC 6145) 및 DNS64 (RFC 6147) 표준 제정, IPv6 이동성 지원 프로토콜인 MIPv6(RFC 6275) 표준 제정
- '12년 저전력 WPAN 네트워크에서의 IPv6 설계 및 요구사항 표준 2건 제정 (RFC 6568, RFC 6606)
- '13년 IoT 환경에서의 IPv6 적용을 위한 6LoWPAN, ROLL, CoRE 작업반에서 다수의 표준 개발 진행 중이며, 개발 중인 CoAP 표준은 OMA, oneM2M 등의 다수의 표준화 기구에서 사용 중에 있음
- '13년 다양한 서비스 환경에서 최적화된 IPv6 기술 개발을 위한 LWIG, homent, 6man 작업반이 표준 개발을 진행 중이며, IPv4/IPv6 전환 및 시나리오 관련 표준 개발을 위한 behave, v6ops, softwire 작업반이 활동 중
- '13년 타임싱크에 기반한 저전력 네트워크인 IEEE 802.15.4e 상에서 IPv6 표준을 개발하는 6tisch 워킹그룹 신설
- '13년 IEEE 802.15.4 뿐만 아니라 다양한 저전력 손실 네트워크 상에서 공통으로 적용될 수 있는 IPv6 표준 개발을 위한 6lo 워킹그룹 신설

국내에서도 TTA를 중심으로 사물인터넷 기술에 대한 표준화가 진행되고 있다. '13년 사물인터넷 특별기술위원회(STC1)를 신설하여 사물인터넷 서비스 융합 PG(SPG11), 사물인터넷 네트워킹 PG(SPG12), OneM2M PG(SPG13) 등을 운영하고 있으며 TTA-IoT 분과에서는 ICT 표준화 전략맵 Ver.2015에 사물인터넷 분야를 추가하였다. 학계에서도 '14.4월 사물인터넷포럼을 창립하여 사물인터넷 기술의 표준화를 지원하고 있다. 사물인터넷포럼은 M2M/IoT포럼과 RFID/USN융합포럼을 통합하여 창립되었으며 사물인터넷 표준 적용 및 확산, 사물인터넷 기반 IT 융합 서비스 확산과 기술개발 촉진을 목표로 하고 있다.

## II. 세부 기술 개요

### 1. 사물인터넷 통신 프로토콜 스택

IETF와 IEEE는 제한적 환경에서의 개체(object) 간 통신을 위해 센서 네트워크 기반의 프로토콜 스택 표준화를 진행해 오고 있다. 사물인터넷 통신 서비스의 원칙과 이를 지원하는 규칙에 준하는 통신 프로토콜에 대해 아래와 같은 기술들이 표준화되었거나 진행 중에 있다(그림 2).



〈그림 2〉 사물인터넷 통신 프로토콜 스택 구조[13]

- 1) PHY/MAC 계층 : IEEE 802.15.4 or IEEE 802.15.4e
  - 저속도 무선 개인 통신망 표준 규격으로 '06년 개정
  - 저렴한 제조 단가 추구
- 2) Adaptation 계층 : 6LoWPAN WG
  - IEEE 802.15.4 기반의 센서 네트워크에 IPv6를 지원하기 위한 규격
  - 최소한의 기능만을 가진 TCP/IP 프로토콜 스택으로 센서 네트워크 동작 목표

## 3) Network 계층 : ROLL WG(RPL)

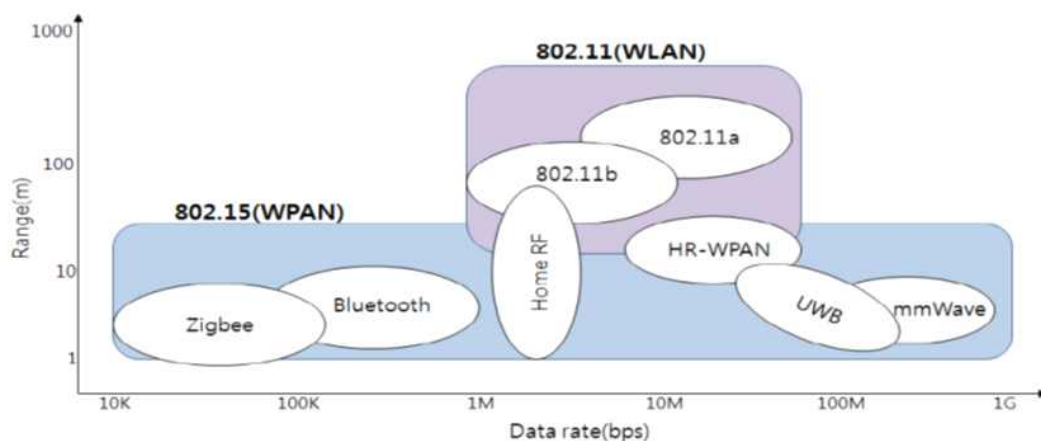
- LLN(Low power and Lossy Network) 환경 지원 라우팅 프로토콜 규격
- RPL : IPv6 Routing Protocol for LLN

## 4) Application 계층 : CORE WG(CoAP)

- IoT/M2M 제약 환경에서의 웹 기반 프로토콜 규격
- 기존 HTTP와의 연동, 전환 가능

## 2. IEEE 802.15.4

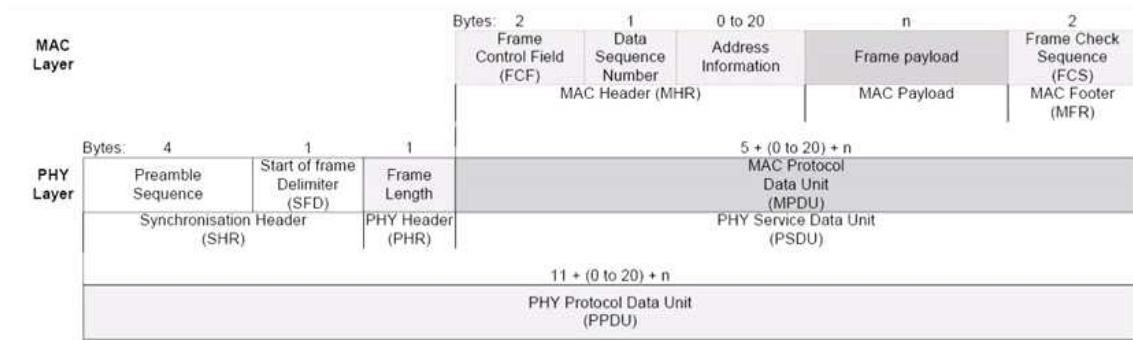
IEEE 802.15.4 LR-WPAN(Low Rate Wireless Personal Area Network)은 '99.3월 IEEE 802.11 WLAN(Wireless Local Area Network)에서 분리된 기술로서 10m 이내 좁은 영역에서 사용하는 저전력, 소형, 저가의 개인 무선 네트워크 기술이다. 낮은 전력 소모와 POS(Personal Operation Space) 영역에서 무선접속 제공을 위한 표준 필요성 제기되면서 WPAN WG이 생성되었으며 WLAN과의 차이는 아래 그림과 같다.(그림 3 참조)



〈그림 3〉 WPAN과 WLAN 범위

IEEE 802.15.4는 2.4 GHz(World, 250kbps, 16ch.), 868 MHz(EU, 20kbps, 1ch.), 915 MHz(US, 40kbps, 10ch.) 대역을 사용하며, CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식으로 통신한다. frame format은 아래 그림과 같다.(그림 4 참조)





〈그림 4〉 IEEE 802.15.4 frame format[14][15]

### 3. 6LoWPAN – IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks[16]

센서 네트워크에 IP 기반 네트워크 프로토콜을 운용하는 것은 과도한 시스템 자원을 요구하기 때문에 부적절한 선택이라는 인식이 존재하였으나 최소한의 기능만 가진 TCP/IP 프로토콜 스택을 센서 네트워크에 적용하여도 센서 네트워크가 동작할 수 있음 확인하게 됨에 따라 관련 연구가 진행되었고 '05.3월 6LoWPAN WG이 신설되었다. 6LoWPAN은 L2 layer에 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 센서 네트워크 상에 IPv6를 지원하기 위한 이슈를 다루는 그룹으로, 저전력 저속 환경의 서비스를 대상으로 필요한 기술 표준화를 목표로 하고 있다. 6LoWPAN WG에서 IP 프로토콜로써, IPv4가 아닌 IPv6를 채택한 이유는 대규모 센서 노드가 필요한 미래의 서비스, 즉 사물인터넷 환경에서의 서비스를 고려하여 대규모 주소 할당이 가능하고, 주소 자동 설정(auto configuration)이 가능하기 때문이다.

6LoWPAN WG 이전에 저전력 무선 네트워크의 핵심 기술로 높은 주목을 받고 있는 ZigBee 기술은 IEEE 802.15.4의 PHY/MAC 기술을 바탕으로 “ZigBee Alliance”에서 개발되었으나, ZigBee 기술은 공개 표준(open standard)이 아니라 “ZigBee Alliance”에 가입한 멤버에 한해서 기술사용이 가능한 제약이 존재한다. 6LoWPAN WG은 이러한 지적재산권 측면에서의 제약에서 자유로우며 기존 인터넷과 연동이 효율적이고 확장성을 가진 검증된 프로토콜 기술을 통해 다양한 인터넷 응용들을 사용할 수 있다는 장점이 있다.

RFC 4919(IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks – Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals)는 6LoWPAN의 특성과 IEEE 802.15.4에서 IPv6 사용 시 고려되는 문제점과 이를 해결하기 위한 기술적 목표에 대한 표준 문서이다. 6LoWPAN이 고려해야할 기술적 특성은 다음과 같다.



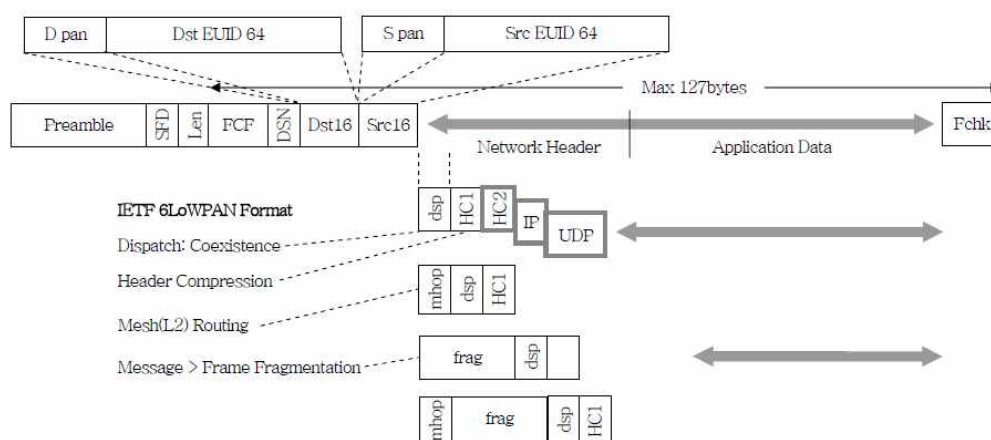
- Small packet size : 헤더를 제외한 최대 127byte, MAC 헤더 제외 시 102byte, 보안 적용 시 81byte
- 16비트 단축형, IEEE 64비트 확장형 MAC 주소 지원
- IEEE 802.15.4 주파수 대역, 데이터 전송률
- Topology : star, mesh
- 저전력, 저가, 저신뢰성, sleep mode 등

데이터 전송속도가 느리고 패킷 사이즈가 작은 IEEE 802.15.4 기술을 기반으로 헤더 사이즈가 큰 IPv6 패킷을 효율적이고 안전하게 전달하기 위해서는 결국 헤더 부분에 대한 압축과 패킷 분할 기술이 필요하다. RFC 4919에서는 아래와 같은 기술적 요구 사항, 즉 6LoWPAN에서 추구하고 있는 목표를 기술해 놓고 있다.

- Fragmentation(단편화), Reassembly(재조립)
- Header compression(헤더 압축)
- Stateless address auto configuration(비상태형 주소 자동설정)
- Mesh routing protocol(메쉬 라우팅 프로토콜)
- Network management(네트워크 관리)
- Implementation consideration(구현 시 고려사항)
- Application and higher layer consideration(응용 및 상위 계층 고려사항)
- Security consideration(보안 고려사항)

RFC 4944(Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks)는 '07.9월 IETF RFC 승인받은 6LoWPAN 유일한 표준트랙 기술문서로서, RFC 4919에서 언급한 기술적 요구 사항, 즉 IEEE 802.15.4 상에서 IPv6 패킷 전송에 필요한 단편화, 재조립, 헤더 압축 등에 대한 방법을 기술하고 있다.

IEEE 802.15.4를 PHY/MAC으로 채택한 6LoWPAN 기반의 센서 노드들은 IPv6/TCP/UDP를 탑재하기 위하여 128byte 프레임에 이들을 실어야 하지만 IPv6 패킷은 최소 MTU는 1280byte이기 때문에 adaptation 계층에서 패킷을 단축하는 과정이 필요하다. 실제로는 PHY/MAC 헤더에 사용하는 정보를 제외하면 80byte 안에 IPv6와 TCP 혹은 UDP 헤더 정보가 데이터그램과 같이 포함되어야 한다. 이를 해결하기 위해 6LoWPAN은 dispatch 코드와 헤더압축 방법을 통해 최대한 많은 데이터 저장 공간을 확보한다.(그림 5 참조)



<그림 5> 6LoWPAN 패킷 단축[16]

Dispatch 코드는 6LoWPAN의 패킷임을 표시하는 역할을 수행하며 dispatch 코드 패턴은 아래 표와 같다.(표 1 참조)

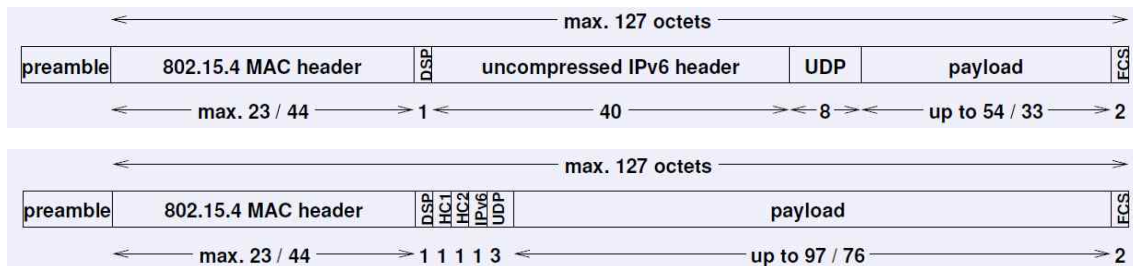
<표 1> 6LoWPAN Dispatch 코드 패턴[16]

패턴	헤더 타입	설명
00 xxxxxx	NALP	LoWPAN 프레임 아님
01 000001	IPv6	Uncompressed IPv6 주소
01 000010	LoWPAN_HC1	LoWPAN_HC1 compressed IPv6
...	Reserved	현재 미사용
01 010000	LoWPAN_BC0	LoWPAN_BC0 broadcast
...	Reserved	현재 미사용
01 111111	ESC	추가 dispatch 바이트가 따라옴

IPv6 헤더 필드에 대한 압축 전에 패킷의 단편화가 필요할 경우 dispatch 앞에 Fragment 헤더가 붙을 수 있으며, 네트워크가 mesh topology일 경우 Fragment Header앞에 Mesh Addressing가 붙을 수 있다. 이후 단축 가능한 정보를 통해 IPv6의 헤더와 TCP/UDP 헤더를 각각 HC1, HC2로 압축하여 붙인다. IPv6 헤더에 대한 압축은 다음과 같다.

- Version 필드: 모든 패킷이 IPv6이므로 생략
- Source/Destination address 필드: Link-Local이기 때문에 추정 가능 → 생략
- Payload Length 필드: FFDU의 Frame Length 필드로 추정 가능, 혹은 fragment header 존재 시 datagram-size를 통해 추정 가능 → 생략
- Traffic Class/Flow Label 필드: 0으로 설정 시 압축 가능
- Next Header 필드: TCP/UDP/ICMP 일 경우 압축 가능

전송 계층에서 UDP를 사용할 경우, 헤더가 최대로 압축된다면 데이터 패킷은 최대 97byte까지 사용할 수 있다. 하지만 IPv6와 UDP 헤더가 그대로 붙는 경우 사용가능한 패킷의 크기는 최대 54byte 정도로 줄어들게 된다.(그림 6 참조)



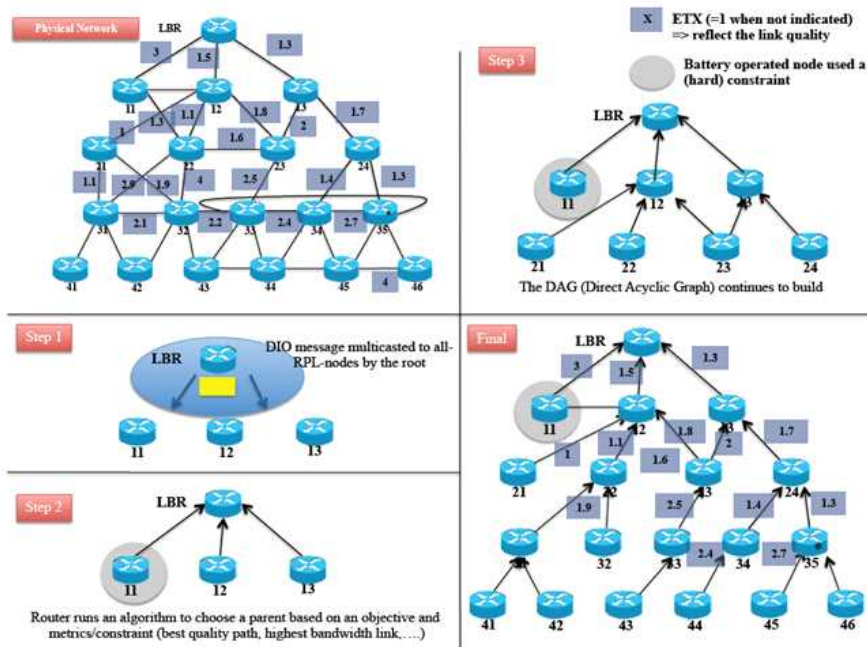
〈그림 6〉 헤더 압축 시나리오 : 비압축(상), 최대 압축(하) 경우

#### 4. ROLL – Routing Over Low power and Lossy networks[17]

IETF에서는 그동안 많은 라우팅 프로토콜을 만들었으며, 특히 MANET WG에서는 ad-hoc 환경에 적합한 AODV, DIMO, OLSR 등의 라우팅 프로토콜을 개발하였다. 하지만, ad-hoc 환경에서의 라우팅 프로토콜이 LLN (Low power and Lossy Network) 환경에서 적합하지 않다는 의견에 따라 IETF ROLL(Routing Over Low power and Lossy networks) WG에서는 LLN에 대표적인 환경에서 요구되는 사항을 분석하였고, 그 결과에 따라 다음과 같은 표준이 제정되었다.

- RFC 5548 : Routing Requirements for Urban LLN
- RFC 5673 : Industrial Routing Requirements in LLN
- RFC 5826 : Home Automation Routing Requirements in LLN
- RFC 5867 : Building Automation Routing Requirements in LLN

WG은 urban, industry, home automation, building automation 환경에서 분석된 요구사항을 만족시키는 LLN 환경에서의 라우팅 프로토콜의 개발을 수행하였고 RFC 6550(RPL: IPv6 Routing Protocol for LLN) 표준이 제정되었다. RPL은 방향성 비싸이클 그래프(Directed Acyclic Graph, DAG)를 형성하여 최적의 라우팅 경로를 설정하는 방법에 관한 표준으로, 제한적 환경에서의 링크 품질을 평가하는 알고리즘이다. 그래프 생성 방법은 아래 그림과 같다.(그림 7 참조)

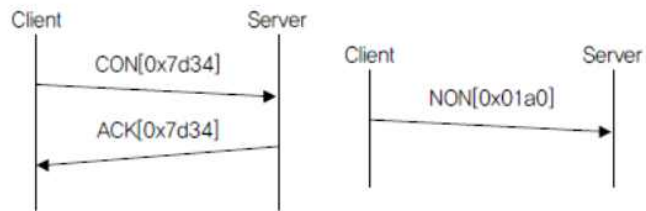


〈그림 7〉 RPL DAG-Upward routing[17]

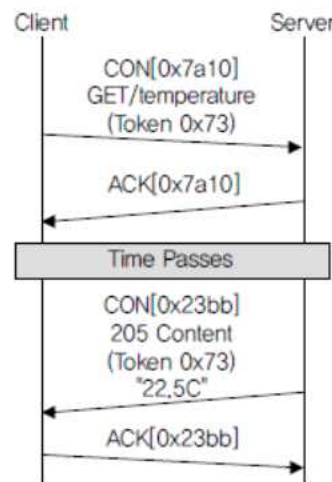
## 5. CoRE - Constrained RESTful Environments[18]

IETF에서는 메모리, 에너지, 성능 등에 제약이 있는 사물인터넷 환경에서 경량화된 방식으로 통신하기 위해서 웹 기반 프로토콜인 CoAP(Constrained Application Protocol)이라는 프로토콜을 만들고 있다. RESTful(REpresentative State Transfer)는 클라이언트의 상태를 URI 상에 드러나게 전송하는 것을 의미하며 기존의 HTTP 웹 프로토콜과 유사한 전송 형태이다. 사물인터넷 환경에서 RESTful을 사용하므로 제한된 통신 환경에서 전송 횟수를 최소화할 수 있는 장점이 있다. CoAP 프로토콜은 기본적으로 UDP와 같은 데이터그램 방식의 전송 계층 위에서 비동기적 전송을 목표로 하고 있다. 그렇기 때문에 신뢰성 보장을 위해 재전송 및 타이머 관리 옵션을 포함하고 있다.

CoAP의 메시지 유형은 확인형(Confirmable), 비확인형(non-confirmable), 승인(acknowledgement), 리셋(reset) 등 4가지로 나뉜다. 신뢰성 있는 메시지 전송을 위해 확인형 메시지를 수신할 경우 승인 혹은 리셋 메시지를 반드시 전송해야 한다. 비확인형 메시지에 대해서는 별도의 승인 메시지를 전달하지 않는다.(그림 8 참조) 간혹 요청 메시지에 대한 대답을 즉각적으로 보내지 못할 경우 지연된 별도의 응답을 보낼 수 있다.(그림 9 참조)



<그림 8> 확인형/비확인형 메시지 전송[18]



<그림 9> 지연된 별도의 응답[18]

## 〈참고문헌〉

1. Kevin Ashton, <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>, 2009.6.22.
2. ITU-T, Overview of the Internet of things, 2012.6.15.
3. Machina Research, <https://machinaresearch.com/>
4. IDC, <http://www.idc.com>
5. MarketandMarkets, <http://www.marketsandmarkets.com/>
6. Gartner, <http://www.gartner.com>
7. TTA.KO-06.0301, 2012.6.
8. Cisco, Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2013-2018, 2014.2.
9. 전우직, “인터넷 진화와 ID 기반 통신 구조의 갈라진 허리(narrow-waist)”, Future Internet Forum Newsletter, 2013.4.1.
10. Gartner, Key technologies for the internet of things, 2011.
11. 김선태, “IoT 디바이스 플랫폼 - NanoQplus”, ICT2014 Proceeding, 2014.5.21.
12. David Boswarthick, “M2M Activities in ETS”, SCS Conference, 2009.
13. 송성학, “CoAP(Constrained Application Protocol) 표준화 동향”, ICT Standard Weekly, 2010.  
[http://www.tta.or.kr/data/weekly\\_view.jsp?news\\_id=3110](http://www.tta.or.kr/data/weekly_view.jsp?news_id=3110)
14. Texas Instrument, 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver, 2014.
15. IEEE std. 802.15.4 - 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)
16. 김은숙 외, “6LoWPAN 기반의 IP-USN 기술 표준화 동향”, 전자통신동향분석, 22(6), 2007.12.
17. JP Vasseur 외, “RPL: The IP routing protocol designed for low power and lossy networks”, IPSO Alliance, 2011.4.
18. 고석갑 외, “IETF CoAP 기반 센서 접속 프로토콜 기술 동향”, 전자통신동향분석, 28(6), 2013.12.

## 〈참고 A: 주요 기관별 사물인터넷 정의〉

기 관	정 의
CASAGRAS <sup>1)</sup>	- global network infrastructure, linking physical and virtual objects through the exploitation of data capture and communication capabilities
TSB <sup>2)</sup> - IoT Special Interest Group	- the revolution already under way that is seeing a growing number of internet enabled devices that can network and communicate with each other and with other web-enabled gadgets - a state where Things (e.g. objects, environments, vehicles and clothing) will have more and more information associated with them and may have the ability to sense, communicate, network and produce new information, becoming an integral part of the Internet
CERP-IoT <sup>3)</sup>	- a dynamic global network infrastructure with self configuring capabilities based on standard and interoperable communication protocols where physical and virtual ‘things’ have identities, physical attributes, and virtual personalities and use intelligent interfaces, and are seamlessly integrated into the information network
UK Future Internet Strategy Group <sup>4)</sup>	- an evolving convergent Internet of things and services that is available anywhere, anytime as part of an all-pervasive omnipresent socio-economic fabric, made up of converged services, shared data and an advanced wireless and fixed infrastructure linking people and machines to provide advanced services to business and citizens
McKinsey <sup>5)</sup>	- the physical world itself is becoming a type of information system. In what’s called the Internet of Things, sensors and actuators embedded in physical objects—from roadways to pacemakers—are linked through wired and wireless networks, often using the same Internet Protocol (IP) that connects the Internet
IETF	- a world-wide network of interconnected objects uniquely addressable, based in standard communication protocols
EU FP7 <sup>6)</sup>	- a global network infrastructure, linking physical and virtual objects through the exploitation of data capture and communication capabilities

- 
- 1) Casagras(Coordination And Support Action for Global RFID-related Activities and Standardization), RFID and Inclusive Model for the Internet of Things, 2009.  
 2) TSB(Technology Strategy Board, 영국 기술전략위원회), Internet of Things (IoT) and Machine to Machine Communications (M2M)Challenges and opportunities, 2013.  
 3) CERP(Cluster of European Research Projects), Internet of Things: Strategic Research Roadmap, 2009.  
 4) UK Future Internet Strategy Group, Future Internet Report, 2011.  
 5) McKinsey, McKinsey Quarterly, 2010.  
 6) EU FP7 : The Seventh Framework Programme of the European Union for the funding of research and technological development in Europe



## 〈참고 B: 주요 표준화 기관별 사물인터넷 활동〉

### o ITU-T

- Y.2060, Overview of Internet of Things
- Y.2061, Requirements for support of machine oriented communication applications in the NGN environment
- Y.2065, Service and Capability requirements for e-health monitoring applications
- Y.2062, Framework of object-to-object communication for ubiquitous networking in NGN
- Y.2063, Framework of Web of Things
- Y.2064, Energy saving using smart objects in home networks
- Y.2069, Terms and definition for Internet of Things
- ITU-R M.2001, Objectives, characteristics and functional requirements of wide-area sensor and/or actuator network (WASN) systems

### o ISO/IEC

- SWG 5 (Internet of Things)
- WG 7 (Sensor Network)
- SC 31 (Automatic Identification and Data Capture)
- New SC (Internet of Things/Machine Socialization)
- ISO 18574, Internet of Things (IoT) in the supply chain - Containerized cargo (ISO TC 122)
- ISO 18575, Internet of Things (IoT) in the supply chain - Products & product packages (ISO TC 122)
- ISO 18576, Internet of Things (IoT) in the supply chain - Returnable transport items (RTIs) (ISO TC 122)
- ISO 18577, Internet of Things (IoT) in the supply chain - Transport units (ISO TC 122)
- ISO/IEC 29143, Information technology - Automatic identification and data capture techniques - Air interface specification for Mobile RFID interrogators (ISO/IEC JTC 1/SC 31)
- ISO/IEC 30128, Generic Sensor Network Application Interface

(ISO/IEC JTC 1/WG 7)

o IEEE

- IEEE P802.11af™ - Amendment: TV White Spaces Operation
- IEEE P802.11ah™ - Amendment- Sub 1 GHz License-Exempt Operation
- IEEE P802.11ai™ - Amendment- Fast Initial Link Setup
- IEEE P802.15.4j™- Amendment: Alternative Physical Layer Extension to support Medical Body Area Network (MBAN) services operating in the 2360-2400 MHz band
- IEEE P802.15.4k™ - Amendment - Physical Layer (PHY) Specifications for Low Energy, Critical Infrastructure Monitoring Networks (LECIIM)
- IEEE P802.15.4m™- Amendment: TV White Space Between 54 MHz and 862 MHz Physical Layer
- IEEE P802.15.4n™ - Amendment: Physical Layer Utilizing Dedicated Medical Bands in China
- IEEE P802.15.4p™ - Amendment: Positive Train Control (PTC) System Physical Layer
- IEEE P802.15.4q™ - Amendment - Physical Layer (PHY) Specifications for Low Energy, Critical Infrastructure Monitoring Networks (LECIIM)
- IEEE P802.15.8™ - IEEE Draft Standard for Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Peer Aware Communications (PAC)
- IEEE P802.15.9™ - IEEE Draft Recommended Practice for Transport of Key Management Protocol (KMP) Datagrams