

# 6LoWPAN에서 홉-수 기반 계층적 자동주소할당 방법<sup>†</sup>

(A Method of Hierarchical Address Autoconfiguration  
base on Hop-count in 6LoWPAN)

김 동 규\*, 김 중 규\*\*  
(Dong-Kyu Kim and Jung-Gyu Kim)

**요 약** 센서네트워크에서 센서 노드의 수가 증가하면 센서 노드에 자동으로 주소를 할당하는 방법이 필요한데, 기존에 개발된 주소할당 방법은 주소 낭비가 심하거나 코디네이터가 주소정보를 가지고 있어야 하거나, 트래픽이 많이 발생하는 등의 단점이 있다. 본 논문에서는 6LoWPAN에서 센서노드에 자동으로 효율적인 주소 할당이 가능한 홉-수 기반 계층적 주소할당 방법을 제안한다. 제안된 방법은 홉-수로 각각의 영역을 구분하여 중복되지 않는 유일한 주소의 할당이 가능하며, 주소중복검사(DAD : Duplicate Address Detection) 영역을 줄였다. 부모 노드에 1-홉으로 연결된 영역만 주소중복검사를 수행하여 트래픽을 줄이고, 패킷 전송에서 송·수신 주소에서 IP 헤더를 32bit 이상의 압축이 가능하여, 기존 방법보다 패킷 전송 횟수가 11.1% 감소하는 것을 보였다.

**핵심주제어** : 6LoWPAN, 자동주소 할당, DAD, IPv6

**Abstract** Increase in the number of sensor nodes in sensor networks and sensor node to automatically assign addresses are needed. The method developed to address existing severe wasting, coordinators have all address information, each sensor node when addressing the shortcomings are a lot of traffic. In this paper, 6LoWPAN automatically from the sensor nodes capable of efficiently addressing Hop-Count based hierarchical address allocation algorithm is proposed. How to propose a hop-count of divided areas are separated, with no overlap and can be assigned a unique address, DAD(Duplicate Address Detection) reduced area. Perform DAD to reduce traffic, packet transmission in the IP header destination address, respectively, with a minimum 32-bit compression and packet transmission over a non-compression method to reduce the number of 11.1%.

**Key Words** : 6LoWPAN, Address Autoconfiguration, DAD, IPv6

## 1. 서 론

센서 네트워크에서 센서 노드는 제한된 전력으로 무선통신과 센싱 기능을 가지는 여러 개의 작은 디바이스들로 구성된다[1]. 이러한 센서 노드들은 온도, 습도, 조도, 자기, 중력 등의 정보를 실시간으로 감지하고, 이를 이용해 환경 모니터링, 교각 모니터링, 사물

<sup>†</sup> 이 논문은 2008학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.  
\* 일심글로벌 연구원  
\*\* 대구대학교 정보통신공학부 교수 (교신저자)

의 위치 추적 등의 여러 응용분야에 사용되고 있다. 기존 센서 네트워크는 이더넷에 접속하기 위해서 미들웨어를 사용하여 데이터를 전송한다. 미들웨어를 거치면서 전송 지연 또는 미들웨어 에러로 인해 패킷 전송 실패의 확률이 직접 통신보다 높는데, 이 같은 오류를 줄이고 센서네트워크 환경에서 IPv6 패킷을 전송하고자 하는 것이 6LoWPAN 기술이다. 이 기술은 중단간 통신이 가능하며, 검증된 인프라를 사용함으로써 데이터 전송의 신뢰도를 높일 수 있다. 그러나 센서네트워크의 규모가 커지고 센서 노드의 수가 많아지면서 자동으로 IPv6 주소를 할당하는 기술이 필요하다[2][3].

6LoWPAN에서 자동주소할당방법이 고려하여야 할 가장 중요한 요소들은 주소의 유일성, 중복 검사 영역의 줄임, 그리고 IPv6 헤더 압축이다. IPv6는 128bit를 사용하므로, 주소 필드가 매우 커서 많은 장치들에 주소를 할당할 수 있다. 주소 할당시 주소 유일성이 보장되지 못하면 전송의 신뢰도가 떨어지게 된다. 따라서 주소 할당시 유일성 검사를 위해, 주소 중복 검사는 IPv6 주소가 할당되고 나면 다른 곳에서 생성된 주소에 의해 중복이 되는 것인지를 검사하는 것이다. 중복이 일어나면 주소를 재할당해야 하므로 중복 검사를 하는 영역을 줄이는 방법이 필요하다. 마지막으로 6LoWPAN은 기존의 무선센서네트워크에서 IPv6 패킷을 전송하기 위한 것이므로 데이터 전송률이 낮으며 한 번에 전송할 수 있는 데이터도 제한적이다. 그러므로 데이터를 제외한 IP 헤더의 압축으로 전송횟수를 줄이는 것이 필요하다.

자동주소할당 방법으로는 상태 보존형, 상태 비보존형과 두 가지를 모두 사용하는 방법이 있다. 상태 보존형 방법은 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) 서버를 두어 주소 요청에 대해서 중복되지 않는 주소를 할당해 주는 방법이다. 상태 비보존형은 주소할당을 위해 각 노드가 가지고 있는 정보를 이용하여 중복되지 않는 주소를 할당하는 방법이다[4-6]. 센서네트워크의 경우 메시 네트워크로 상태보존형 주소할당방법을 적용할 수 없으므로, 여기서는 상태 비보존형 자동할당 방법에 대해 살펴본다.

네트워크에서 IPv6 주소를 할당하는 방법으로는 EPC의 RFID 코드를 이용한 IPv6 주소 맵핑 방법 등이 있으며, 6LoWPAN은 주소 할당 방법으로는 3개의 고정된 코디네이터의 데이터를 수신하고 랜덤한 알파

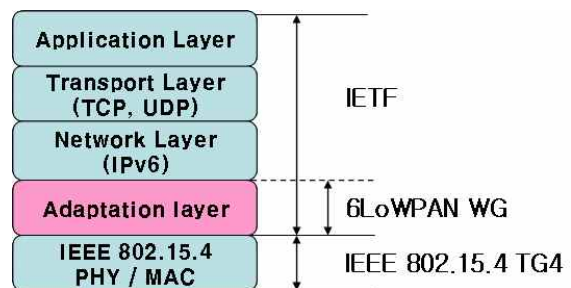
값을 생성하여 주소를 할당하는 Color Tagging Method와 상위 노드로부터 수신한 네트워크 프리픽스와 각 응용서비스 타입을 구분하고 MAC 주소를 오브젝트 ID로 맵핑하여 주소를 설정하는 Type-Based Interface Identifier 방법이 있다[7-12].

본 논문에서는 6LoWPAN에서 자동주소할당의 필요성과 상태 비보존형 주소할당 방법인 ZigBee 네트워크의 Cskip 주소할당 방법, WiBEE의 LAA 주소할당 방법, Cskip 방법, 6LoWPAN의 Color Tagging 주소할당 방법에 대해 알아보고, 기존 방법의 문제점을 해결하기 위해 홉-수를 이용하여 중복되지 않은 주소 영역을 구분하고, 유일한 주소를 할당하는 홉 수 기반 자동주소할당 방법을 제안하고 이의 성능을 분석한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 6LoWPAN

6LoWPAN(IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks)은 LoWPAN 상에서 IEEE 802.15.4 PHY/MAC 상위 계층에 적응계층을 사용하여 IPv6 패킷을 전송하고자 하는 것이다. 즉, IEEE 802.15.4 PHY/MAC의 상위 계층으로 IP 및 TCP/UDP 등의 환경을 구현하고자 하는 것이다. 6LoWPAN에서 표준화 IP 적응계층, 패킷형식, 네트워크 관리, 동적 라우팅, 보안 등 기술의 범위는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 6LoWPAN의 기술 범위

6LoWPAN 기술은 기존의 IP 인프라를 사용하기 때문에 새로운 인프라 구축을 위한 추가 비용이 들지 않고, 검증된 IP 기술을 사용할 수 있다. IPv6 주소는

128bit로 많은 주소와 자동 할당 등의 기능으로 확장성 및 이동성이 향상된다. 그러나 IEEE 802.15.4 PHY/MAC을 사용하기 때문에 패킷 전송에 있어서 제약이 따른다.

## 2.2 상태 비보존형 자동주소 할당

호스트가 IPv6에서 자신의 인터페이스를 자동으로 설정하는 방법을 결정하는 과정으로 기본적으로 링크-로컬의 주소 생성과 그 주소의 링크상의 유일성 검증 기능을 포함한다. 노드 상의 인터페이스를 위한 정보를 획득하기 위해, 상태 비보존형, 상태 보존형, 또는 두 메커니즘 모두를 이용해야 할 것인지를 결정한다.

상태 비보존형 자동주소 할당에서는 링크-로컬 주소를 생성하는 과정, 상태 비보존형 주소 자동설정을 통한 사이트-로컬 및 글로벌 주소를 생성하는 과정, 그리고 중복 주소 검출(DAD : Duplicate Address Detection) 절차를 수행한다.

상태 비보존형 자동설정에서는 호스트를 수동으로 설정할 필요가 전혀 없으며, 설정 있다 하더라도 최소한의 라우터 설정만 하면 되며, 추가적인 서버 설정이 필요하지 않다. 상태 비보존형 메커니즘에서는 호스트가 링크-로컬이나 사이트-로컬 범주에서 가용한 정보와 라우터가 알려주는 정보를 조합하여 이용함으로써, 그 자신의 주소를 자동으로 생성할 수 있도록 해준다. 다시 말해, 호스트가 서브넷 상에서 유일하게 인터페이스를 식별하는 "인터페이스 식별자"를 독자적으로 생성하고, 라우터는 링크와 연관된 서브넷을 식별하는 프리픽스를 광고해준다. 주소는 이 둘을 조합하여 형성한다.

라우터가 없는 경우에는 프리픽스를 얻지 못하기 때문에, 호스트는 이미 알려진 프리픽스를 이용하는 링크-로컬 주소만 생성할 수 있다. 그러나, 링크-로컬 주소는 동일한 링크에 붙어 있는 노드들 사이에서만 통신이 가능하다.

## 2.3 ZigBee의 Cskip 주소할당 방법

Zigbee에서는 IEEE 802.15.4 표준 MAC 계층에서 사용하는 16비트 주소를 네트워크 계층에서 할당한다. Zigbee 장치를 가진 노드가 새롭게 Zigbee 네트워크에

참여할 때 이 노드의 부모가 되는 노드가 정해진 식에 따라 16비트 주소를 부여한다. 이것을 분산 주소 할당 메커니즘이라고 부른다. Zigbee 코디네이터 혹은 Zigbee 라우터라면 자신의 자식이 될 노드에게 주소를 부여할 수 있기 때문에 네트워크 상의 트래픽을 줄일 수 있다. 이때 부여되는 주소는 하나의 Zigbee 네트워크 내에서는 유일한 값이다. 분산 주소 할당 메커니즘을 위한 식은 다음과 같다.

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + C_m \cdot (L_m - d_1), & \text{if } d = 1 \\ \frac{1 + C_m - C_m R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m} \end{cases} \quad (1)$$

- $C_m$  : 최대 자식의 개수
- $L_m$  : 네트워크 트리의 최대 깊이
- $R_m$  : 자식으로 가질 수 있는 최대 Zigbee 라우터 개수
- $d$  : 현재 노드의 깊이

각 노드에 대해 논리적인 주소를 할당하는데 아래의 식을 사용하게 된다.

$$A_n = A_{parent} + Cskip(d) \cdot R_m + n \quad (2)$$

- $Cskip(d)$  : 깊이  $d$  노드가 가질 수 있는 주소의 부분 블록 크기
- $n$  : 어떤 부모 노드를 통해 네트워크 참여한 노드의 순서
- $d$  : 현재 노드가 속한 깊이
- $A_{parent}$  : 부모노드의 주소
- $A_n$  :  $n$ 번째 자식의 주소

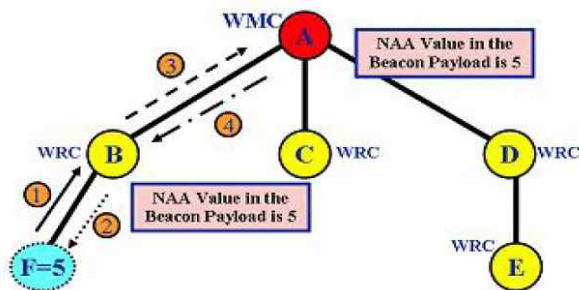
깊이가 결정되어 있고, 최대 자식의 갯수와 노드가 가질 수 있는 최대 라우터의 갯수가 정해져 있을 때 두 식을 이용하여 주소를 분산적으로 할당 할 수 있다.[12]

## 2.4 WIBEEM의 LAA 주소할당 방법

Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh Network(WiBEEM)은 mesh 네트워크 구현시 블루투스나 ZigBee 기술이 해결하지 못하는 다양한 문제점을 해결하기 위해 여러 개의 Beacon을 수용하는 새로

운 Superframe 구조를 제안하였다. 여러 개의 Beacon 이 충돌 없이 네트워크 정보를 전송할 수 있는 최적의 Beacon Scheduling 기법을 채택하였다. 주소 할당 방법으로는 최종주소할당(LAA : Last Address Assigned) 기법을 사용하여 16bit의 Short Address 낭비 없이 사용할 수 있도록 하였다.

(그림 2)는 LAA 기반 Short Address 할당의 예인데, 여기서는 먼저 기기 B, C, D는 Scan을 통해서 기기 A를 발견하고 Association Request Command를 보내게 된다. 기기 A는 WMC이므로 Association Response Command를 통해 기기 B, C, D에게 직접 Short Address를 할당한다. 그리고 기기 F는 Scan을 통해 B의 비컨을 듣고 현재 Short address가 4까지 할당되었음을 LastAddressNumber를 통해 알게 된다. 여기서 Last AddressNumber는 비컨 페이로드에 정보를 담고 있으며 기기들은 Association Response를 통해 주소를 할당 받을 때 마다 1씩 증가하게 된다. 따라서 WMC는 자신에게 Association을 요청하는 기기들에게 직접 Short Address를 할당하고 각각의 Short Address를 할당할 때마다 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 1씩 증가시켜 LastAddressAssigned 값이 4가 된다.



(그림 2) LAA 기반 Short Address 할당의 예

이제 기기 F가 Scan을 통해 기기 B의 비컨을 듣고 Association을 요청한다. 기기 A, B, C, D는 이때 같은 LastAddressAssigned 값(현재값 4)을 비컨 페이로드에 실어 전송하기 된다. 기기 B는 기기 F의 Association 요청을 받고 현재 자신의 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 참조하여 기기 F에게 Short Address를 할당하고 WMC에게 비컨 페이로드의 LastAddressAssigned 값을 증가하도록 LAA 갱신

명령을 보낸다.

F와 E 노드 하위에 동시에 노드가 생성되면 각각 상위의 LastAddressAssigned 정보를 사용하여 주소를 할당하게 되면 똑같은 주소를 할당하게 된다. 각각 갱신 메시지를 전송하여 WMC는 중복된 주소가 생성되면 하나의 다른 노드에게 주소를 수정하라는 메시지를 전송한다. 수정된 메시지에 의해 주소가 할당되면 다시 갱신 메시지를 전송하고 WMC는 LastAddressAssigned의 값을 갱신하여 네트워크의 모든 노드에게 전송한다 [13][14].

## 2.5 Type-Based Interface Identifier

Type-based interface identifier은 서비스 타입을 이용한 유일한 주소를 할당하는 상태 비보존형 방법이다. 라우터로부터 64비트의 프리픽스를 수신하고 마지막 64비트는 인터페이스 아이디와 MAC을 사용하여 주소를 할당 하는 것이다. (그림 3)은 Type-based IPv6의 메시지 형식을 나타낸 것이다.

16비트 2001::16은 IPv6의 표준 프리픽스를 나타내고, 32비트의 네트워크 어드레스는 주소를 할당받은 기관을 나타낸다. 16비트는 기관 내부에서 할당하는 subnet을 나타낸다. 초기 64비트는 라우터로부터 수신한 네트워크의 프리픽스가 된다. Local ID는 부모노드로부터 수신한 내부 ID가 된다. 서비스 타입에 따른 16비트를 설정하고, 노드의 MAC 정보를 사용하여 오브젝트 정보를 할당한다.

0	16	48	64	96	112	128
2001	Network address	Subnet prefix	Local ID	type	object	

(그림 3) Type-based IPv6 Format

Type-based 주소할당 방법은 다음 순서로 이루어진다.

- ① 네트워크 기관의 서비스 관리자는 서비스타입의 리스트를 가지고 있다.
- ② 로컬 네트워크에서는 유일한 16비트의 서비스 타입, 16비트의 오브젝트 ID를 생성한다.
- ③ 서비스 관리자에 의한 32비트의 Local ID와 16비트 서비스 타입, 16비트 오브젝트 ID를 사용하여 64비트의 인터페이스 식별자(Interface Identifier)

를 생성한다.

- ④ 라우터로부터 수신한 64비트의 네트워크 프리픽스 정보, 인터페이스 식별자 정보를 합하여 128비트의 Global Type-Based 주소를 할당한다.

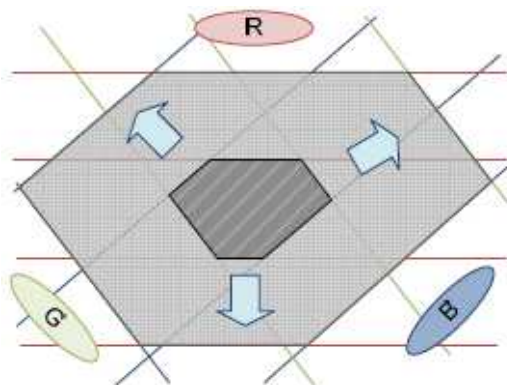
하나의 서비스 내부에서 유일한 주소를 가진 센서 노드는 다른 서비스로 이동하여도 서비스 타입이 다르므로 유일한 주소를 가지고 네트워크에 접속하여 통신이 가능하다[10].

## 2.6 Color Tagging Method

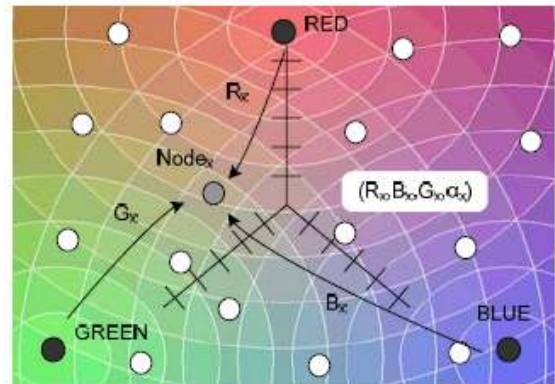
컬러 코디네이터를 사용하여 유일한 주소를 할당하는 방법으로, Red, Green, Blue색을 가지는 3개의 코디네이터를 가진다. 각 코디네이터는 고정된 위치를 가지며, 교차되는 통신 영역 내부에 센서 노드가 배치되거나 전원이 들어오는 경우, 각 코디네이터로부터의 거리를 측정하고, 랜덤 알파 값을 생성하여 센서 노드에 주소(R, G, B, alpha)를 할당한다.

(그림 4)에서는 3개의 코디네이터로부터 거리를 측정하고 랜덤 알파 값으로 주소를 할당하는 기본적인 방법을 보이고 있다.

(그림 5)의 Monochrome zone은 다수의 센서 노드를 가질 수 있는 같은 색깔의 영역이다. 컬러 코디네이터에 의해 같은 색의 영역을 가지므로 랜덤하게 생성된 알파 값에 의해 노드가 구분되는 영역이다. 그러므로 주소 중복 검사는 Monochrome zone에서 수행되면 네트워크에서 중복되는 주소를 검색할 수 있다. Monochrome zone은 코디네이터로부터 오직 한 홉 거리에 위치하므로 중복 검사 과정을 위한 DAD 트래픽을 줄일 수 있다.



(그림 4) Monochrome zone



(그림 5) Color Tagging Method

주소 중복은 Monochrome zone에서 랜덤 알파 값에 의해서 주소 중복 여부가 결정된다. 중복 검사는 네트워크의 전체 노드에서 이루어지는 것이 아니라, Monochrome zone에서만 수행되어, 네트워크의 전체 트래픽을 줄인다. 충돌 검사는 Monochrome zone의 센서 노드 밀도에 따라 트래픽이 결정된다. 주소 중복이 일어나면 알파 값을 다시 생성하고 중복검사를 다시 수행한다[11].

## 3. 홉-수 기반 자동주소할당 방법

### 3.1 제안한 방법

6LoWPAN의 무선 네트워크 환경에서는 유선통신과는 달리 공간에 대한 성분들을 고려하여야 하며, 많은 센서 노드들이 넓은 지역에서 하나의 네트워크로 구성되기 위해서는 노드가 생성되면 유일한 주소를 할당해야 한다.

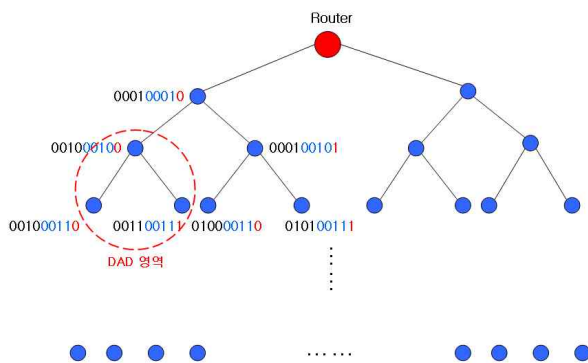
기존의 Type-based Interface Identifier 방법은 부모노드로부터 수신한 prefix, 서비스 타입, MAC 주소를 맵핑하여 주소를 할당하는 것으로 IP 헤더를 압축할 수 없다는 단점이 있다. Color Tagging Method는 3개의 고정된 코디네이터가 필요하고, 코디네이터의 통신영역이 교차되는 영역에 배치된 센서 노드에 주소를 할당하고 중복검사를 수행하는 것으로 주소할당을 위해 3개의 노드로부터 데이터를 수신해야 한다는 단점과 교차영역에 존재하는 노드의 수에 따라서 DAD 과정이 늘어나는 단점이 있다.

다음은 제안한 자동주소 할당 알고리즘에서 고려한 사항이다.

- 중복되지 않는 유일한 주소를 할당한다.
- 주소 할당 후 중복검사(DAD)로 인한 트래픽을 감소한다.
- IPv6 주소는 128bit로 송신지, 목적지 주소를 모두 사용하면 256bit를 사용하게 된다. 한 번에 전송할 수 있는 데이터가 102byte 이므로 IP 헤더 압축이 가능해야 한다.

이러한 사항을 고려하여 6LoWPAN에서 효율적으로 주소를 할당하기 위해서 센서 노드가 생성되면 부모 노드로부터 네트워크 프리픽스 정보, 현재 홉-수, 자식노드 정보를 수신하여 홉-수 기반 계층적 자동주소 할당 알고리즘을 제안한다.

(그림 6)의 주소 할당 예시를 통해 주소할당 방법에 대해 설명한다. Router는 RA(Router Advertisement) 메시지, 주소가 설정된 센서 노드는 NA(Neighbor Advertisement) 메시지에 홉-수, 트리, 자식 노드 수 정보를 사용하여 유일한 네트워크 주소 할당 할 수 있다. 9bit로 표시된 것은 주소 할당 예시를 위해 depth를 나타내는 8bit 와 code를 나타내는 1bit로 표현하였다. depth를 나타내는 8bit중 MSB로 부터의 4bit는 왼쪽에 노드가 생성될 때, LSB부터의 4bit는 오른쪽에 노드가 생성될 때 각각 1값이 증가하게 된다. code는 각 노드의 자식으로 가지는 개수가 2개이므로 1bit로 표현한다. 붉은색 둥근 원 부분은 DAD 영역으로 주소할당 후 주소의 중복을 검사하는 부분이다. 트리 정보와 홉-수를 이용하여 주소를 할당하므로 홉-수와 트리의 정보가 같은 영역만 검사를 하



(그림 6) 홉-수 기반 계층적 자동주소 할당

면 되므로 중복 검사 영역이 작아지고 DAD를 위한 트래픽을 줄일 수 있다.

### 3.2 RA, NA

IPv6 주소 할당을 위해 라우터는 RA (Router Advertisement), 노드는 NA (Neighbor Advertisement) 메시지를 전송하여 자신의 정보를 전달한다. RA, NA 메시지를 사용하여 이웃노드의 정보를 수신할 수 있으므로 홉-수 기반 자동 주소 할당을 위해 RA, NA 메시지에 Prefix, Depth, Tree info 정보를 넣어 전송하고, 이웃 노드가 자동으로 IPv6 주소를 할당 할 수 있도록 한다.

#### 3.2.1 Router Advertisement

RA 메시지는 모든 노드의 멀티캐스트 주소로 주기적으로 전송된다. 만약 링크에 라우터가 없다면, 호스트는 기타 설정 정보를 얻기 위해 상태 보존형 자동 설정을 사용하도록 해야 한다.

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
Type	Code	Checksum	
Cur Hop Limit	M0	Reserved	Router Lifetime
Reachable Time			
Retrans Timer			
Options ...			
Depth		Tree info	

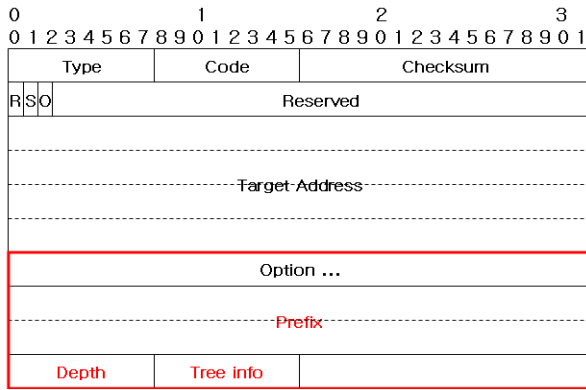
(그림 7) 수정된 RA 메시지

Options 필드의 크기는 옵션 적용에 따라 크기가 달라지며, 가질 수 있는 정보는 Source link-layer address, MTU, Prefix Information 이다. Prefix 정보는 옵션으로 가질 수 있는 정보이므로 옵션 필드의 정보를 사용하고, 추가로 라우터로 부터의 Depth Tree 정보를 추가한다.

#### 3.2.2 Neighbor Advertisement

Neighbor Discovery(ND)는 인접노드 사이의 관계를 판단하는 방법으로 NA(Neighbor Advertisement) 메시지는 인접한 주변의 노드에게 자신의 정보를 알려 주는 것이다.

(그림 8)의 Option 필드는 목적지 링크계층 주소를 추가 할 수 있다. 홑-수 기반 자동주소할당을 위해서 Option 필드에 추가하는 정보로는 상위 노드의 Prefix, Depth, Tree 정보를 추가한다[15].

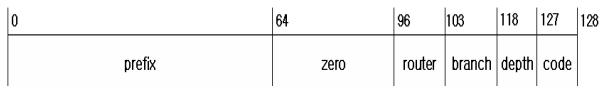


(그림 8) 수정된 NA 메시지

### 3.3 홑-수 기반 IPv6 Format

제안된 홑-수 기반 IPv6 주소의 포맷으로 Type-Based interface identifier 형식과 비슷하지만 홑-수를 기본으로 하여 주소형식을 최적화 하여 나타낸 것이다.

(그림 9)는 홑 수 기반 IPv6 형식을 나타낸 것이다.

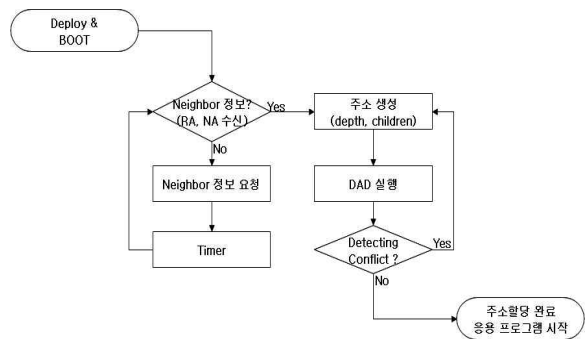


(그림 9) 홑-수 기반 IPv6 전송 형식

- prefix[64] : 부모 노드로부터 수신한 prefix 정보 영역
- zero[32] : 6LoWPAN에서 적용된 IPv6 주소의 압축을 위해 zero bit를 사용함
- router[7] : 6LoWPAN의 라우터 정보 영역
- branch[15] : 트리 정보 표시 영역
- depth[8] : router로부터 떨어진 홑-수 표시
- code[1] : 이진트리를 구성하므로 하위에는 1홑의 자식은 2개의 노드만을 가진다.

### 3.4 순서도

6LoWPAN 환경에서 센서 노드가 동작하게 되면 라우터 또는 주소가 설정된 센서 노드로부터 RA, NA 메시지를 수신한다. RA 또는 주소가 설정된 NA 메시지를 수신하지 못하면 이웃 정보 요청을 위한 메시지를 전송하고, 정해진 시간동안 기다리며 RA 또는 NA 메시지를 수신 할 때까지 반복적으로 수행한다. RA 또는 NA 메시지를 수신하면 옵션 정보에 추가된 Prefix, Depth, Tree, children 정보를 사용하여 유일한 주소를 할당한다. 주소 할당 후 중복 검사 과정을 실행하며 중복된 주소가 발생하면 중복 주소를 제거하고 다시 주소를 할당한다. 주소가 할당 중복검사 과정을 거쳐 유일한 주소를 할당하게 된다. 주소 할당 후 라우팅 프로토콜에 의해 데이터 전송이 이루어지게 된다.



(그림 10) 홑-수 기반 자동주소할당 방법

## 4. 시뮬레이션 및 성능평가

### 4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안하는 홑-수 기반 자동주소할당 알고리즘에서 유일한 주소 할당과 중복검사 영역(DAD)을 줄이는 것을 보이고자 다음과 같은 값을 사용하여 NS-2를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션에 사용되는 센서 노드의 개수는 라우터를 포함하여 100, 200, 300개로 설정한다. 실제 응용 부분에 따라 노드의 개수는 차이가 있지만 일반적으로 하나의 클러스터에 255개의 노드를 사용하므로, 실험에서는 노드의 개수를 달리하여 실험한다.

<표 1> 시뮬레이션 설정값

구 분	설 정 값
전체 노드의 개수	100, 200, 300
센서 필드의 크기	100m × 100m
시뮬레이션 시간	주소 할당 시 까지
자식 노드 수	2, 4, 8
PHY/MAC	IEEE 802.15.4
통신 거리	15m
Packet type	UDP
Bandwidth	250kbps

센서 노드가 배치되는 필드의 크기는 100 x 100으로 고정하였다. 산불감시와 같이 아주 넓은 범위에 적용되는 부분도 있지만 센서 노드의 통신 거리의 제한으로 산불감시와 같은 대규모의 응용에서는 센서 노드가 일정한 법칙으로 배치가 되어야 하므로 자동 주소 할당을 위한 응용으로 적합하지 않다. 랜덤하게 배치되는 많은 센서 노드에 대해서 자동으로 주소 할당을 시뮬레이션하기 위해 필드의 크기를 고정하였다.

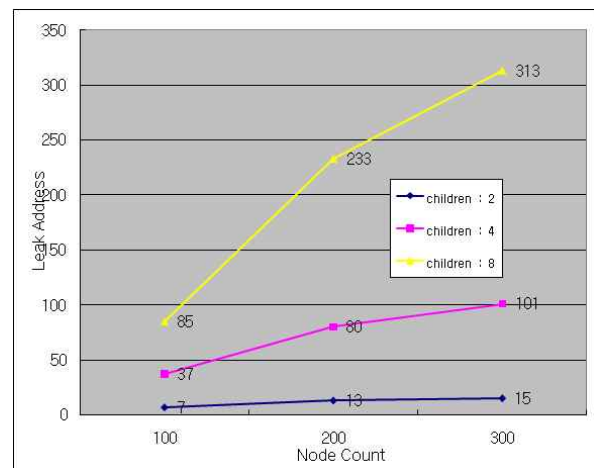
시뮬레이션 시간은 각 센서 노드가 주소를 모두 할당하게 되는 시간까지로 한다. PHY/MAC은 IEEE 802.15.4를 적용하여 송·수신 전력을 설정하여 저전력, 근거리 무선 통신망을 구성한다. IEEE 802.15.4는 근거리 무선 통신기술로서 약 15m 내외의 통신이 가능하다. 전송 패킷 타입은 UDP를 사용하며, 250 Kbps의 전송률을 가진다. 자식 노드 수를 주소 설정 비트의 증가로 2, 4, 8로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

## 4.2 실험 결과 및 분석

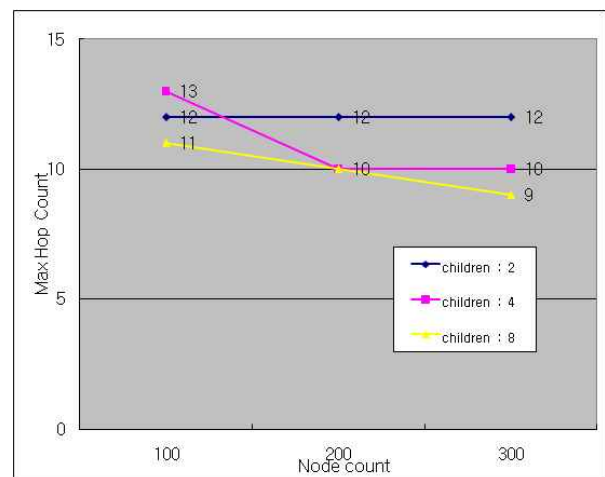
### 4.2.1 자식 노드의 수 변경에 따른 주소 낭비

(그림 11)은 자식 노드 수에 따른 주소의 낭비를 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션은 랜덤하게 생성된 노드 정보를 이용하여 노드의 생성 개수 마다 100 번씩 수행하여 낭비된 결과의 평균을 나타낸 것이다. 주소 낭비를 나타내는 숫자는 현재 상황에서 노드가 더 이상 생겨나지 않는다고 가정했을 때, 말단 노드와 라우터를 제외한 노드의 가용한 주소 공간이다. 가용 주소를 가진 노드의 통신 영역 안에 새로운 노드가 생성된다면 주소의 낭비가 아니지만 더 이상 노드가 추가되지 않는다고 할 때 낭비되는 주소공간이 된다. 100, 200,

300 개로 노드의 수가 늘어날 때 자식 노드가 2일 때는 7, 13, 15 개, 자식 노드가 4일 때는 37, 80, 101개, 자식 노드가 8일 때는 85, 233, 313개의 주소가 낭비되는 것을 볼 수 있다. 이 시뮬레이션을 통해서 노드가 자식노드로 가지는 수를 2개로 정하는 것이 가장 효율적인 것을 알 수 있다.



(그림 11) 센서노드 수와 자식 수에 따른 낭비 주소



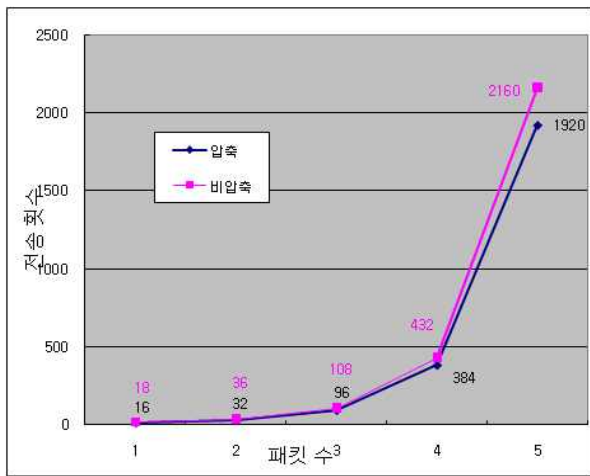
(그림 12) 센서 노드 수에 따른 최대 홉-수

(그림 12)는 센서 노드 수에 따른 최대 홉-수는 노드가 증가할수록 주소 할당에서 홉-수(Tree의 깊이)를 나타낸 것이다. 300개의 노드가 생성되더라도 자식 노드 수에 따라 홉-수의 차이가 많이 나지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 Tree의 정형화된 모양으로 생성된



것이 아니라 생성 위치가 랜덤하기 때문이다. 자식 노드의 수가 2일 때 홉-수가 늘어났지만 주소 생성 및 데이터 전송에 문제가 되지는 않는다.

(그림 13)은 패킷 수에 따른 전송횟수는 주소 압축으로 IPv6 패킷을 압축, 비압축 상황에서 전송할 때 노드의 전송 횟수를 나타낸 것이다. 헤더는 최소 32비트를 압축할 수 있고, 네트워크 프리픽스의 '0' 값에 의하여 프리픽스-n 비트 만큼 압축 비트를 늘릴 수 있다. 32비트의 압축으로 데이터 패킷을 전송할 때 송신지 주소, 목적지 주소 각각 32비트씩 압축을 수행하면 8바이트를 압축하게 되고 8바이트 만큼 데이터를 추가로 전송할 수 있게 된다.



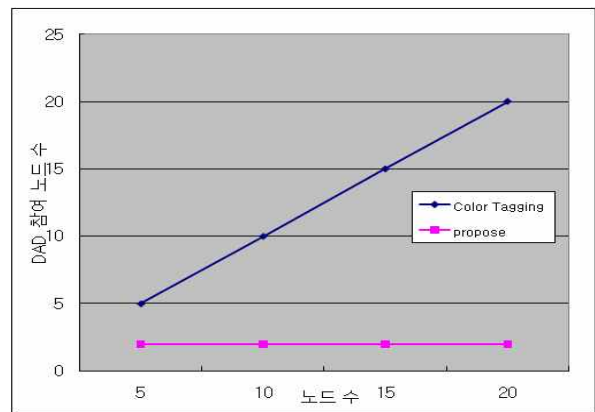
(그림 13) 패킷 수에 따른 전송 횟수

IPv6 패킷은 1280 바이트이므로 압축되지 않은 주소를 사용할 경우, 송신지 주소, 목적지 주소의 각 16 바이트를 모두 사용하게 된다. 적응계층에서 단편화 과정을 거쳐 IPv6 패킷 하나를 전송하기 위해 18번 전송을 수행하게 된다. 각 주소에 32비트가 압축된 주소를 사용할 경우 16번 전송으로 IPv6 패킷을 전송할 수 있다. 전송 횟수가 2회가 줄어든 것이다. 6LoWPAN과 같이 배터리를 사용한 저전력 무선 통신에서는 전력 소모를 줄이는 것이 중요하므로 같은 데이터 전송을 위해 전송 횟수를 줄이는 것은 센서 노드에서는 매우 중요하다.

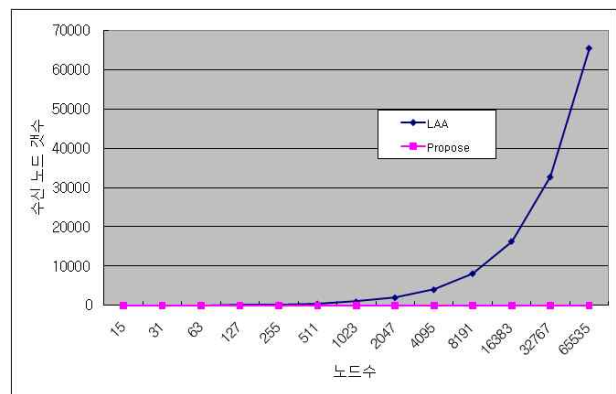
#### 4.2.2 주소 중복 검사

(그림 14)는 Color Tagging 방법과 주소 중복 검사

참여 노드 비교는 여러 네트워크 환경 중 홉 네트워크 환경으로 제한하여 정해진 영역 내부에 노드가 5, 10, 15, 20개가 배치되어 있는 환경에서 주소할당 후 주소 중복검사를 위해 송·수신이 발생하는 노드의 수를 나타낸 것이다. Color Tagging 방법은 DAD Zone 영역내부에 있는 모든 노드를 검사하게 되므로 영역 내부에 노드가 증가 할수록 송·수신이 발생하는 노드가 증가하게 된다. 그러나 제안된 방법은 홉-수 기반으로 같은 Depth에 있는 노드만 검사를 하면 되므로 노드가 증가하더라도 하나의 중복 검사에서 송·수신이 발생하는 노드의 수는 증가하지 않는다.



(그림 14) Color Tagging 방법과 주소 중복 검사 참여 노드 비교



(그림 15) 주소 중복 검사를 위한 송·수신 노드 수

(그림 15)는 중복 검사를 위한 수신 노드 수 그래프는 WiBEE의 주소할당 방법인 LAA 방법과 제안한 방법의 주소 중복 수행을 위해 메시지를 수신하는 노

드의 수를 나타낸 것이다. LAA 알고리즘은 LastAddressAssigned 변수를 Update 하기 위해서 WMC에 전송하고 WMC는 Address Pool을 수정하고 네트워크의 모든 노드의 LastAddressAssigned 변수를 Update 하는 메시지를 전송하게 된다. 그러므로 센서 노드 하나가 주소를 할당 받게 되면 네트워크의 모든 노드에 트래픽이 발생한다는 것을 말한다. 제안된 홉-수 기반 자동주소할당 알고리즘은 홉-수를 바탕으로 주소를 할당하므로 상위 노드와 상위노드에 접속된 하위 노드, 즉 자신과 같은 홉-수를 가지는 노드와 주소 중복 검사를 수행하게 되므로 주소 할당 후 검사를 위한 트래픽이 일어나는 노드는 2개에 불과하다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 6LoWPAN에서 센서 노드에 유일한 주소를 할당하기 위한 홉-수 기반 계층적 자동주소 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 복잡한 계산식을 사용하지 않고 라우터 또는 부모 노드의 네트워크 프리픽스, 홉-수, Tree, 자식 노드 정보를 이용하여 주소비트를 맵핑하여 주소를 할당 하는 방법이다. 홉-수를 사용하므로 IPv6 주소 할당 후 중복검사(DAD : Duplication Address Detection) 영역을 줄여 네트워크의 트래픽을 줄인다.

홉-수 기반 자동주소할당 방법에 의해 IPv6 주소의 최소 32비트가 압축이 가능하게 되었다. 이것은 6LoWPAN의 단편화 과정에서 전송 데이터를 분리하여 전송 할 때 송신지, 목적지 주소의 각각 4바이트씩 8바이트를 절약하여 IPv6 패킷 하나를 전송할 때 압축하지 않은 패킷보다 전송횟수를 11.1% 줄일 수 있다. 6LoWPAN과 같이 저전력 통신에서 데이터 전송에 전력소모가 많으므로 노드의 Life time에도 이득이 있다.

주소 할당 후 중복 검사 수행 과정에서의 센서 노드의 송·수신이 일어나는 비율은 Color Tagging Method는 3개의 코디네이터에 의해 교차 영역에 대해 모든 노드의 중복검사를 수행해야한다. 즉 교차영역 내에 노드의 수에 따라 중복검사 트래픽이 증가할 수 있다. 그러나 제안된 방법은 자신의 부모 노드와 부모 노드에 1홉 거리의 자식들에 대한 중복검사만 수행되므로 노드의 생성 숫자에 상관없이 트래픽 양이 증가

하지 않는다.

제안된 홉-수 기반 계층적 자동주소 할당 알고리즘은 랜덤하게 전개되는 센서 노드 토폴로지에 자동적으로 주소를 할당 할 수 있으며, 중복 검사 영역이 작아져서 다른 센서 노드의 트래픽을 발생시키지 않으므로 전력 소모를 줄일 수 있다. 자식 노드수의 제한으로 인접한 거리에 노드가 있더라도 주소 할당을 할 수 없는 경우가 생기는 단점이 있다. 향후 동적인 자식노드 정보를 사용한 홉-수 기반 자동주소 할당에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.12-114, Aug. 2002.
- [2] G. Montenegro and N. Kushalnagar, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks", *RFC 4944*, IETF, August 2007.
- [3] Chang-Yeol Yum, Young-Sung Beun, Sunmoo Kang, Young-Ro Lee, and JooSeok Song, "Methods to use 6LoWPAN in IPv4 network", *International Conference on Advanced Communication Technology*, vol.2. p.969-972, February 2007.
- [4] S. Thomson, T. Narten and T. Jinmei, "IPv6 Stateless Address Auto Configuration", *RFC 4862*, September 2007.
- [5] R. Droms, "Stateless Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) Service for IPv6", *RFC 3736*, April 2004.
- [6] 김은숙, 김용운, "6LoWPAN 기반의 IP-USN 기술 표준화 동향", 전자통신동향분석 제22권 제6호, December 2007.
- [7] Gyu Myoung Lee, Jun Kyun Choi, and Taesoo Chung, "Address Structure for supporting Ubiquitous Networking using IPv6", *the 10th International Conference on Advanced Communication Technology*, vol 2, p.1088-1090, February 2008.

- [8] Pongpaibool P., Na Ayutaya K.S., Kanchanasut K., and Tazaki H. "Rapid IPv6 address autoconfiguration for heterogeneous mobile technologies", *8th ITST*, October 2008.
- [9] Yeonkwon Jeong, Hyunjun Choi, and Joongsoo Ma, "Personal Information Based IP Autoconfiguration in Tactical Mobile AD-HOC Network", *Military Communications Conference*, October 2006.
- [10] Dongpil Kwak, Joongsoo Lee, Seoungku Kim, Younghee Lee, "A New Address Scheme for Service Discovery supporting Active Mobile sensor Objects", *2008 ICACT*, vol.1 pp.765-768, February 2008.
- [11] Hyojeong Shin, Elmurod Talipov and Hojung Cha, "IPv6 Lightweight Stateless Address Autoconfiguration for 6LoWPAN Using Color Coordinators", *PERCOM*, March 2009.
- [12] "ZigBee Specification", Version 1.0, ZigBee Alliance, December 14th, 2004.
- [13] Ho-In Jeon, "WiBEEM Addressing Scheme Based on NAA Algorithm for High-Speed Mobility of USN Devices", *Journal of Ubiquitous convergence Technology*, Vol.1, November 2007.
- [14] 전호인, "WiBEEM : U-City 핵심 서비스 구현을 위한 최적의 USN 아키텍처", *한국정보통신학회지* 제23권 제12호, p.17-36, December 2006.
- [15] T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson and H. Soliman, "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)", *RFC 4861*, September 2007.



김 동 규 (Dong-Kyu Kim)

- 2007년 2월 : 대구대학교 정보통신공과 (공학학사)
- 2010년 2월 : 대구대학교 정보통신공과 (공학석사)

• 관심분야 : WSN, 6LoWPAN



김 중 규 (Jung-Gyu Kim)

- 정회원
- 1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

• 1992년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

• 1992년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수

• 관심분야 : RFID/USN, 사물통신, 컴퓨터네트워크

논문접수일 : 2010년 02월 10일

1차수정완료일 : 2010년 06월 12일

2차수정완료일 : 2010년 09월 14일

게재확정일 : 2010년 09월 15일