

# 무선 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 소비를 위한 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜

정성민

한국원자력연구원 선임연구원

## Multi-Chain based Routing Protocol for Efficient Energy Consumption in Wireless Sensor Networks

Sung-Min Jung

Senior Researcher, Korea Atomic Energy Research Institute

### [요 약]

무선 센서 네트워크는 다수의 센서 노드로 구성된 애드혹 네트워크이다. 각각의 센서 노드는 특정 데이터를 수집하기 위해 자신의 주변을 감시하고 수집된 데이터를 이웃 노드나 센서 네트워크 외부의 싱크 노드에 전달한다. 일반적으로 센서 노드는 물리적으로 작은 크기로 인해 제한된 계산 능력, 메모리 그리고 배터리를 가지고 있고 라우팅 프로토콜은 이런 제약사항을 고려해야 한다. 계층 기반 라우팅 프로토콜에서 일반적으로 센서 노드는 싱크 노드까지의 거리와 상관없이 싱크 노드와 원홉으로 통신해야 하고, 싱크 노드의 위치를 고려하지 않은 네트워크 라우팅 때문에 불필요한 에너지 소모를 가져온다. 계층 기반 라우팅 프로토콜의 에너지 소모 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 다중 체인을 이용한 개선된 라우팅 방법을 제안한다. 시뮬레이션의 결과를 통해 제안된 기법이 계층 기반 라우팅 기법인 PEGASIS보다 에너지 소비를 줄여 네트워크 수명을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

### [Abstract]

A wireless sensor network is an ad-hoc network composed of many sensor nodes. Each sensor node monitors its surroundings to collect specific data and delivers the collected data to neighboring nodes or sink nodes outside the sensor network. In general, sensor nodes have limited computational power, memory, and battery due to their small size. Routing protocols should take these constraints into account. In the hierarchical based routing protocol, the sensor node generally needs to communicate with the sink node in one hop regardless of the distance to the sink node. Also, it occurs unnecessary energy consumption due to network routing that does not consider the location of the sink node. This research proposes an improved routing scheme using multiple chains to solve the hierarchical based protocol's energy consumption problem. The simulation results show that the proposed scheme increases the network life by reducing energy consumption than the PEGASIS protocol.

**색인어** : 무선 센서 네트워크, 계층 기반 라우팅 프로토콜, 에너지 소비, 다중 체인 기반 라우팅

**Key word** : Wireless Sensor Network, Hierarchical based routing protocol, Energy consumption, Multi-chain based routing

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.6.1181>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 05 May 2020; Revised 15 June 2020

Accepted 25 June 2020

\*Corresponding Author; Sung-Min Jung

Tel: +82-42-866-6136

E-mail: smjung@kaeri.re.kr

## I. 서론

무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)는 다수의 센서 노드들로 구성된 일종의 애드혹 네트워크이다[1]. 최근 센서 기술의 발전에 따라 무선 센서 네트워크는 건물 자동화, 스마트 그리드, 드론, IoT와 같은 다양한 분야에 이용되고 있다 [2][3]. (그림 1)은 자신 주변의 물리적인 현상을 감지하는 센서 노드들과 외부와의 연결을 위한 싱크 노드(Sink node)로 구성된 무선 센서 네트워크를 보여준다. 센서 노드는 무선 센서 네트워크 내에서 실시간으로 주변의 상황이나 물리적인 변화 및 환경 정보를 감지하여 정보를 수집한다. 특정 이벤트가 발생하는 경우 정해진 라우팅 프로토콜에 따라서 이웃 노드 간 협력을 통한 멀티홉 방식으로 무선 센서 네트워크 외부의 싱크 노드로 데이터를 전달한다[4][5].

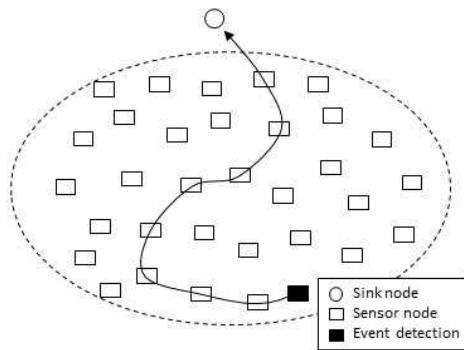


그림 1. 무선 센서 네트워크  
Fig. 1. Wireless Sensor Network

무선 센서 네트워크는 다수의 센서 노드를 이용하여 네트워크를 구축하기 때문에 데이터 수집에 대한 신뢰성과 정확성을 높일 수 있다. 따라서 센서 노드 간의 협업은 매우 중요하며, 이는 라우팅 프로토콜에 따라 달라진다.

무선 센서 네트워크 내에 액세스 포인트와 같은 특정 중계지가 없더라도 애드혹 통신을 사용하기 때문에 데이터의 송수신을 위해 애드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜을 사용할 수 있다. 하지만, 무선 센서 네트워크는 센서 노드 수가 일반적으로 애드혹 네트워크의 노드 수보다 많고, 네트워크 토폴로지가 주기적으로 변한다. 그리고 애드혹 네트워크와 달리 브로드캐스트 방식으로 통신하고 초소형, 저전력, 저비용과 같은 센서 노드의 물리적인 한계 때문에 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 연구는 중요하다[6][7]. 특히 라우팅 프로토콜에서 배터리는 무선 센서 네트워크의 수명을 결정하는 중요한 요소이기 때문에 에너지의 효율적인 사용을 최우선으로 고려하여야 한다. 센서 노드의 특성상 배터리를 교체하는 것은 불가능하므로 배터리의 고갈은 센서 노드의 수명이 다하는 것을 의미하며, 네트워크 통신 경로에 있는 센서 노드가 수명을 다하면 특정 경로에 대한 데이터를 수집할 수 없다.

따라서 무선 센서 네트워크에서는 일부의 센서 노드만 배터

리가 소모되는 것을 방지하여 네트워크에 속한 센서 노드의 에너지가 분산되어 균등하게 소모되도록 적절한 라우팅 프로토콜을 구현해야 한다. 무선 센서 네트워크의 전체적인 에너지 소비를 줄이기 위해서 MAC 프로토콜에서 데이터 전송을 위한 대기시간이나 센서 노드의 잔여 에너지를 바탕으로 듀티 사이클(Duty cycle)을 조절과 관련된 방법들이 제안되었다. 그리고 계층 기반(Hierarchical based) 라우팅 프로토콜로 외부의 싱크 노드로 데이터를 전달하는 역할을 전체 센서 노드에 적절하게 분배되도록 클러스터나 체인 기법을 이용하는 방법이 있다. 계층 기반 라우팅 프로토콜은 센서 노드 전체가 싱크 노드와 통신할 필요 없이 클러스터 내의 하나의 노드만 싱크 노드에 데이터를 전송하기 때문에 평면 기반 라우팅 기법보다 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다. 하지만 네트워크의 크기가 확장되면 싱크 노드와의 거리에 따라 특정 노드의 에너지 소모가 커지고, 싱크 노드의 위치를 고려하지 않아서 불필요한 경로에 따른 에너지 소모를 유발한다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 다중 체인 방식을 이용하는 계층 기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 2장에서는 에너지 소비를 줄이기 위한 MAC 프로토콜과 계층 기반 라우팅 프로토콜을 알아보고, 3장에서는 계층 기반 라우팅 프로토콜의 문제점을 설명하고 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 제안된 기법에 대해 주어진 조건을 바탕으로 실험을 통해 에너지 소비량을 비교한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구 방향에 대해 정리하였다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜에서 센서 노드의 수면(sleep)과 동작(active) 모드를 반복하는 듀티 사이클 방식에서 발생하는 전송 지연에 따른 에너지 소모를 줄이는 방법이 제안되었다. 이를 위해 듀티 사이클에 의한 최소 대기시간을 나타내는 EDW(Estimated duty-cycled wait) 메트릭을 적용하였다. 제안된 방법은 경로상 발생하는 대기시간의 합계를 계산하여 계산된 EDW 메트릭을 바탕으로 다중 경로 라우팅을 이용한다. EDW 메트릭과 여러 경로 중 목적지까지의 최단 비용에 의한 라우팅의 계산은 싱크 노드에 의해 수행되며 두 가지 결과를 바탕으로 전달 노드를 선정한다[8].

Wake-up 제어 기법은 센서 노드의 잔여 에너지를 바탕으로 센서 노드가 갖는 듀티 사이클의 Wake-up 주기를 조절하여 불필요한 에너지 소모를 줄였다. 송신 노드뿐만 아니라 수신 노드의 에너지 소비를 줄이기 위해 수신 노드의 잔여 에너지를 상, 중, 하의 세 개의 상태로 나누고 해당하는 상태에 따라 기반으로 데이터 전송에 Wake-up 주기를 나누어 잔여 에너지가 많은 수신 노드가 데이터 전송에 참여할 확률을 증가시켰다[9].

무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 기법은 크게 평면 기반

(Flat based) 라우팅 프로토콜과 계층 기반(Hierarchical based) 라우팅 프로토콜로 나눌 수 있다. 평면 기반 라우팅 프로토콜인 Flooding에서 센서 노드는 수집된 데이터를 보낸 노드를 제외한 나머지 이웃 노드에 데이터를 전달한다. 네트워크 토폴로지 유지를 위한 추가 비용이 들지 않고 복잡한 알고리즘이 필요 없어 구현이 간단하지만, 중복(Impllosion), 중첩(Overlap) 그리고 자원 단절(Resource blindness)의 문제가 있다. Gossiping은 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 랜덤하게 하나의 이웃 노드를 선택하여 데이터를 전달한다. 하나의 복사본만 만들기 때문에 중복을 방지하지만, 중첩의 문제는 해결하지 못하였다[10]. SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)에서 센서 노드는 데이터를 전송하기 전에 협상을 통해 메타 데이터를 사용하여 서로에게 필요한 정보를 교환하고 중복되는 데이터는 전달하지 않아 중복과 중첩을 해결하였다. 그리고 센서 노드의 에너지가 설정값보다 적으면 데이터 처리 과정에서 제외하여 배터리 소모를 줄여 네트워크 수명을 증가시킨다[10].

평면 기반 라우팅 프로토콜에서 데이터 전송의 부하를 분산 시켜서 에너지 소모를 줄이기 위해 클러스터나 체인 기법을 사용한 계층 기반 라우팅 프로토콜이 제안되었다. 일반적으로 계층 기반 라우팅 기법이 평면 기반 라우팅 기법보다 에너지 효율이 높다. LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 클러스터에 기반한 계층 기반 라우팅 프로토콜이다. 각 센서 노드는 특정한 비율로 싱크 노드와 통신하는 클러스터 헤드를 선출한다. 클러스터 헤드와 클러스터의 구성원을 알리는 메시지를 교환하면 클러스터 헤드는 전송 스케줄을 작성하여 클러스터 내의 센서 노드로 전달하고 각 노드는 정해진 스케줄에 따라 데이터를 클러스터 헤드로 보낸다. 일정 시간마다 모든 노드가 클러스터 헤드의 역할을 번갈아 수행하여 전체적으로 센서 노드들이 균등하게 에너지를 소비한다[11].

PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information System)는 LEACH의 클러스터 구성과 데이터의 전송 방법을 개선한 체인 기법을 사용하여 에너지 소모를 줄인다. 그리디(Greedy) 알고리즘을 이용하여 싱크 노드로부터 거리가 가장 먼 센서 노드가 체인의 시작점이 되고 이 노드와 가장 거리가 가까운 센서 노드를 체인의 다음 노드로 선택한다. 이 과정은 모든 노드가 체인에 속할 때까지 반복된다. 이때 각 센서 노드는 신호의 세기를 이웃 노드와의 거리 측정을 위해 이용하고 하나의 이웃 노드만 정보를 받을 수 있도록 신호의 세기를 조정한다. 체인이 구성된 후에 데이터 전송은 헤드 노드가 토큰(Token)을 체인의 양 끝에 있는 센서 노드들에 전달하고 토큰을 수신한 센서 노드는 체인을 따라서 헤드 노드의 방향으로 데이터를 전달한다. 데이터를 수신받은 체인의 각 노드는 수신받은 데이터와 자신의 데이터를 병합하여 다음 노드에 전달하고 최종적으로 헤드 노드가 데이터를 외부의 싱크 노드로 전달한다. 라운드마다 각 노드가 헤드 노드의 역할을 차례로 수행하여 전체적인 에너지 소모를 줄인다[12].

### III. 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜

#### 3-1 계층 기반 라우팅 프로토콜 문제점

이번 장에서는 체인 및 클러스터를 이용하는 계층 기반 라우팅 프로토콜의 문제점을 알아보고, 개선된 라우팅 프로토콜을 제안한다.

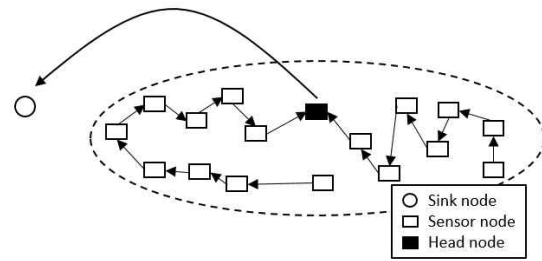


그림 2. 체인 기반 프로토콜 데이터 이동  
Fig. 2. The data transmission of chain-based protocol

PEGASIS와 같이 체인을 기반으로 하는 라우팅 프로토콜은 (그림 2)와 같이 모든 노드가 하나의 체인을 구성하고 라운드마다 하나의 노드가 헤드 노드의 역할을 하여 싱크 노드로 수집된 데이터를 전송한다. 하지만, 센서 노드의 배터리의 한계를 고려할 때 에너지 소모와 관련하여 두 가지 문제가 있다[13].

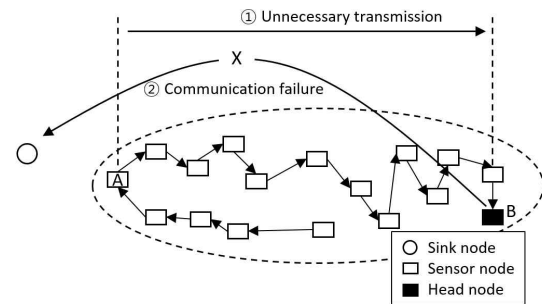
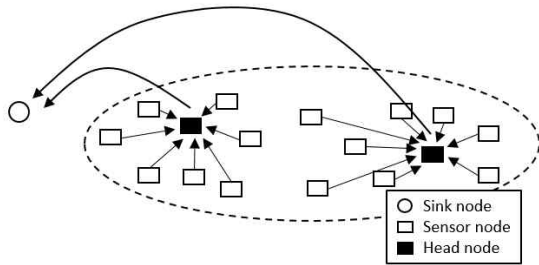


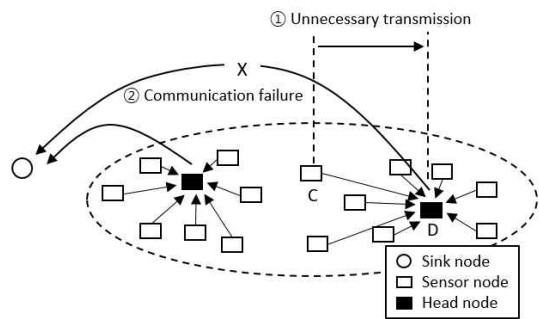
그림 3. 체인 기반 프로토콜 문제점  
Fig. 3. The problems of chain-based protocol

(그림 3)은 체인 기반 프로토콜의 두 가지 문제점을 보여준다. 첫째, 헤드 노드의 역할을 차례로 수행하는데 만약 무선 센서 네트워크의 가장자리에 있는 노드 B가 헤드 노드로 선택된다면 데이터 수집 단계에서 노드 A부터 헤드 노드 B까지 싱크 노드의 반대쪽으로 데이터를 전송하게 된다. 따라서 불필요한 전송으로 인한 에너지 소모를 가져온다. 둘째, 무선 센서 네트워크의 크기가 커지면 헤드 노드 B와 같이 싱크 노드와 거리에 따른 에너지 손실이 상당하고 노드 B의 잔여 에너지가 부족하면 최악의 경우 싱크 노드와 원홉으로 통신할 수 없는 경우가 발생할 수 있다.



**그림 4.** 클러스터 기반 프로토콜 데이터 이동  
**Fig. 4.** The data transmission of cluster-based protocol

그리고, LEACH와 같이 클러스터를 기반으로 하는 라우팅 프로토콜은 일반적으로 (그림 4)와 같이 일정한 비율로 헤드 노드를 선택하고 헤드 노드를 중심으로 클러스터를 구성하여 클러스터에 속한 센서 노드들의 데이터를 수집하여 외부의 싱크 노드로 데이터를 전송한다.



**그림 5.** 클러스터 기반 프로토콜 문제점  
**Fig. 5.** The problems of cluster-based protocol

하지만 클러스터를 기반한 방법에서도 불필요한 경로에 의한 에너지 소비와 대규모 무선 센서 네트워크 지원에 대한 문제가 있다. (그림 5)와 같이 클러스터를 기반으로 하는 라우팅 프로토콜에서도 마찬가지로 노드 C부터 노드 D까지 불필요한 전송이 발생하고 무선 센서 네트워크의 크기가 커지면 헤드 노드 D의 에너지 소비가 클 뿐만 아니라 잔여 에너지에 따라 통신할 수 없는 경우가 발생할 수도 있다.

무선 센서 네트워크에서 각 센서 노드의 에너지 소모는 네트워크의 수명에 직접적인 영향을 주기 때문에 불필요한 전송에 의한 에너지 소모에 대한 문제와 체인의 헤드 노드나 클러스터 헤드 노드가 싱크 노드와 거리가 먼 경우에 에너지 소모에 대한 문제는 해결되어야 한다. 다음은 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 다중 체인 기법을 이용한 개선된 라우팅 기법을 제안한다. 다중 체인을 이용하면 무선 센서 네트워크의 크기에 상관없이 데이터 전송이 가능하고, 싱크 노드의 위치를 고려하여 체인이 구성되기 때문에 데이터 흐름에 방향성을 주게 되어 불필요한

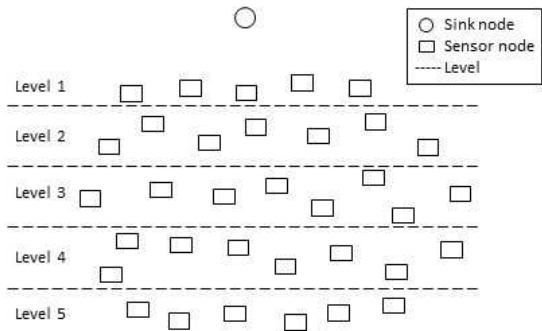
데이터 이동을 방지한다. 이런 장점 때문에 제안하는 라우팅 기법은 일반적인 계층 기반 기법보다 센서 노드의 에너지 소비를 줄여 무선 센서 네트워크의 수명을 증가시킬 수 있다.

**3-2 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜**

본 논문에서 제안하는 기법은 에너지 소비를 최소화하기 위해 다중 체인 기법을 사용한다. 제안하는 라우팅 기법은 다음과 같이 레벨 할당, 다중 체인 구성, 헤드 노드 선정, 그리고 데이터 전송의 4단계로 이루어진다.

**1) 레벨 할당**

센서 노드의 위치정보를 바탕으로 무선 센서 네트워크 안의 각각의 센서 노드는 싱크 노드로부터 각자의 레벨을 할당받게 된다. (그림 4)와 같이 레벨은 싱크 노드 위치에 따라 정해질 수 있다. 에너지의 균등한 소모를 위해 각 레벨 안의 센서 노드의 수는 비슷하게 정해져야 한다. 무선 센서 네트워크를 나누는 레벨의 수에 따라 각 레벨 안에 센서 노드의 수가 달라지는데 이에 대한 분산값이 가장 작은 값을 선택하여 레벨의 수로 정한다. 레벨의 간격은 일정하다고 가정하고 센서 노드들은 자신이 속한 레벨을 정하게 된다. (그림 6)에서는 총 5개의 레벨로 무선 센서 네트워크가 나누어졌다.



**그림 6.** 레벨 나누기  
**Fig. 6.** Level division

**2) 다중 체인 구성**

같은 레벨의 센서 노드들은 서로 체인을 구성하게 된다. 체인의 시작점은 각 레벨에서 가장 가장자리에 있는 센서 노드가 된다. (그림 7)에서 레벨에 따라 체인을 구성한 것을 볼 수가 있다. 무선 센서 네트워크 내에서 노드는 랜덤하게 배치되지만, 각 레벨의 센서 노드 수에 대한 최소 분산값이 적용되었기 때문에 하나의 레벨의 센서 노드의 수는 비슷한 값을 갖게 되어 에너지 소모를 최소화 할 수 있다.



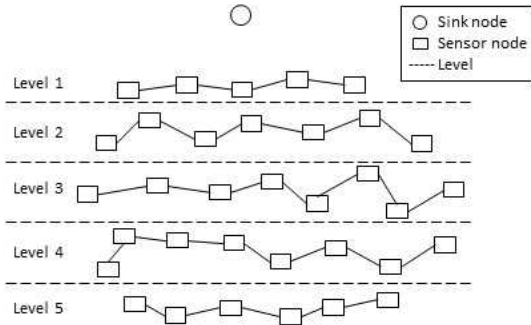


그림 7. 다중 체인 구성  
Fig. 7. Multi-chain construction

3) 헤드 노드 선정

각 레벨의 체인에서  $N$ 을 센서 노드의 개수라고 할 때  $i$  라운드에서는  $i \bmod N$  번째 노드를 헤드 노드로 정한다. (그림 8)에서는 첫 번째 라운드에서 A, B, C, D, E 노드가 헤드 노드로 선택되었다. 각 레벨의 헤드 노드는 자기의 레벨 안에 속해 있는 센서 노드로부터의 데이터를 수집하여 병합하고 다음 레벨의 헤드 노드로 전송하는 책임을 맡는다. 각각의 헤드 노드는 같은 역할을 하고 최종적으로 첫 번째 레벨의 헤드 노드가 싱크 노드로 데이터를 전송한다.

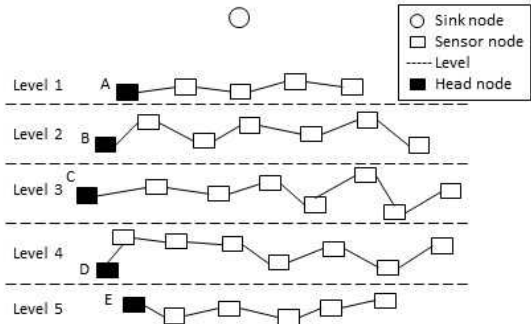


그림 8. 헤드 노드 선정  
Fig. 8. Head node selection

4) 데이터 전송

각 레벨의 체인 구성이 끝나고 헤드 노드가 정해진 뒤에 센서 노드는 자신의 데이터를 헤드 노드의 방향으로 체인 위의 이웃 노드로 전달한다. (그림 9)는 각 레벨에서 데이터 전송을 보여주고 있다. 일반적인 체인 기법과 같이 토큰을 사용하고 모든 레벨에서 각 센서 노드는 체인을 따라 헤드 노드로 데이터를 전송하는데, 이때 이웃 노드로부터 받은 데이터를 자신의 데이터와 병합하여 다음 이웃 노드에 전달한다. 각 레벨의 헤드 노드는 데이터 수집이 끝나게 되면 이전 레벨에서 받은 데이터와 병합하여 바로 다음 레벨의 헤드 노드로 데이터를 전송한다. (그림 9)와 같이 헤드 노드 A가 최종적으로 데이터를 싱크 노드로 전달하면 한 라운드가 종료된다.

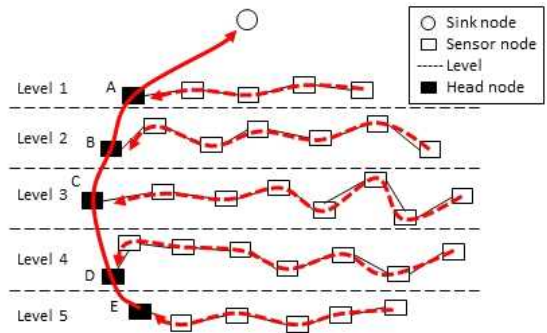


그림 9. 데이터 전송  
Fig. 9. Data transmission

제안된 라우팅 기법은 싱크 노드의 위치를 고려하여 레벨을 구성하였기 때문에 불필요한 경로를 최소화할 수 있고, 무선 센서 네트워크의 규모가 큰 경우에도 각 레벨의 헤드 노드는 싱크 노드로 바로 전달하지 않고 다음 레벨의 헤드 노드로만 데이터를 보내면 되므로 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있다.

IV. 성능 평가

4.1 성능 평가를 위한 체인 구성

일반적으로 체인을 기반으로 하는 PEGASIS가 클러스터를 기반으로 하는 LEACH보다 에너지 효율이 높다[12]. 따라서, 본 연구에서 성능을 평가하기 위해 무선 센서 네트워크의 크기는  $100m \times 100m$  이고 센서 노드가 100개와 200개인 경우에 체인 기법인 PEGASIS와 제안된 다중 체인 기법의 센서 노드 구성을 확인한다. 센서 노드는 네트워크 안에 무작위로 배치되고 싱크 노드의 위치는 (50, 150)으로 가정한다.

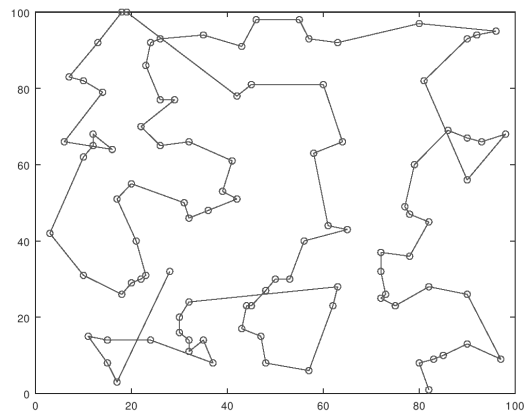


그림 10. PEGASIS 체인 설정 (100 노드)  
Fig. 10. The chain construction in PEGASIS (100 nodes)

(그림 10)은 PEGASIS의 체인 구성을 보여준다. 알고리즘에 따라 싱크 노드와 가장 먼 거리에 있는 센서 노드부터 체인을 구성하고 자신과 가장 가까운 이웃 노드를 체인의 다음 노드로 선택한다.

제안된 기법의 체인 구성에서는 센서 노드의 위치정보를 바탕으로 무선 센서 네트워크를 동일하게 나누었을 때 레벨의 개수를 2에서 10까지 가정하고 각각의 레벨의 개수에 따라 체인을 구성하는 경우에 레벨에 속하게 되는 센서 노드의 수에 대한 분산값을 계산한다.

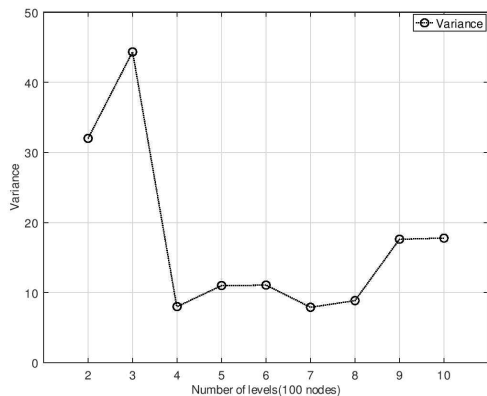


그림 11. 레벨의 개수에 따른 분산값 (100 노드)  
 Fig. 11. Variance according to the number of levels (100 nodes)

(그림11)과 같이 무선 센서 네트워크를 2개에서 10개까지 레벨로 구성하는 경우를 비교하면 7개의 레벨의 경우에 최소 분산값을 가지게 되므로 레벨의 개수는 7이 된다. (그림 12)는 무선 센서 네트워크가 7개의 레벨로 나뉘고 각 레벨에서 체인을 구성한 모습을 보여준다.

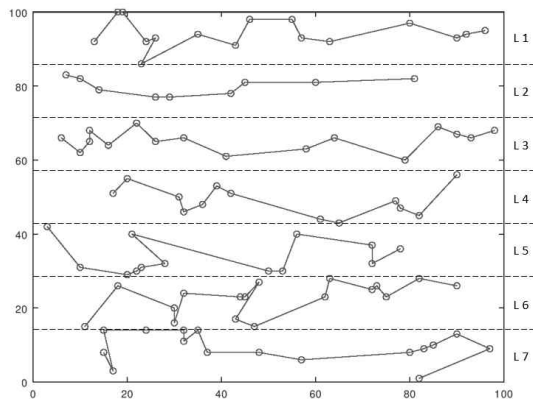


그림 12. 제안된 프로토콜 다중 체인 설정 (7레벨)  
 Fig. 12. The multi-chain construction in proposed scheme (7 Levels)

200개의 센서 노드가 무작위로 배치되는 경우에 PEGASIS의 체인 구성은 (그림 13)과 같다. 싱크 노드와 가장 먼 거리에 있는 노드부터 체인이 형성되고 자신과 가장 가까이 있는 이웃 노드로 연결되고 모든 노드가 하나의 체인을 구성한다.

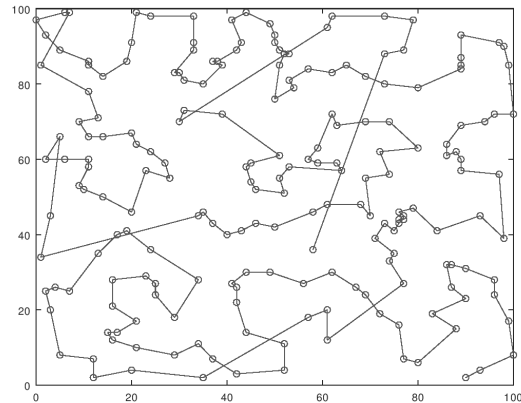


그림 13. PEGASIS 체인 설정 (200노드)  
 Fig. 13. The chain construction in PEGASIS (200 nodes)

(그림 14)는 200개의 센서 노드가 무작위로 배치되고 2개에서 10개까지의 레벨을 가지는 경우 하나의 레벨에 속하는 센서 노드의 개수에 대한 분산값을 나타낸다. 100개의 노드가 배치된 경우와 마찬가지로 방법으로 최소 분산값을 갖는 8개의 레벨로 네트워크를 나눈다.

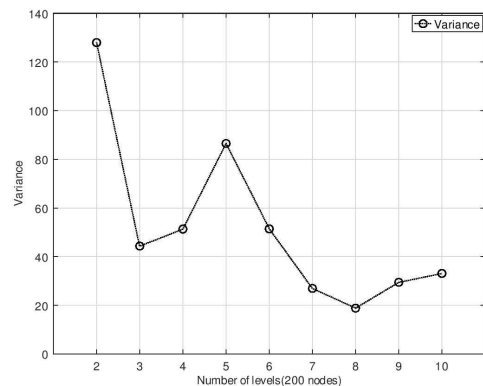


그림 14. 레벨의 개수에 따른 분산값 (200 노드)  
 Fig. 14. Variance according to the number of levels (200 nodes)

(그림 15)는 8개의 레벨로 나뉘고 8개의 체인을 구성한 것을 보여준다. 센서 노드의 신호가 도달하는 범위는 제약적이지만, 제안된 라우팅 기법은 모든 센서 노드가 싱크 노드와 원홉으로 통신하지 않아도 되고 다중 체인 기법을 통해 각 레벨의 헤드 노드는 자신과 이웃하는 레벨의 헤드 노드와 통신하면 되므로 계층 기반 라우팅 기법인 PEGASIS보다 규모가 큰 무선 센서

네트워크에 적합하고 불필요한 경로에 의한 에너지 손실을 방지할 수 있다. 다음으로 PEGASIS와 제안된 라우팅 기법의 실제 에너지 소비량을 비교한다.

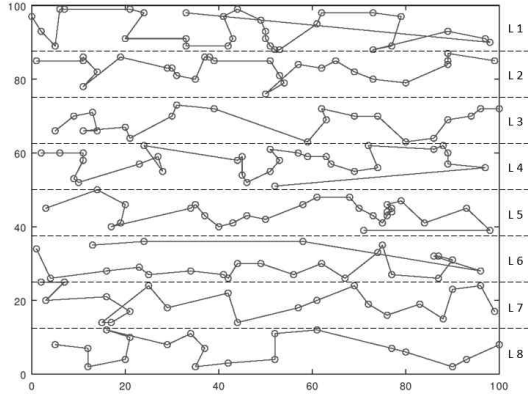


그림 15. 제안된 프로토콜 다중 체인 설정 (8레벨)  
 Fig. 15. The multi-chain construction in proposed scheme (8 Levels)

4.2 에너지 소비량 비교

PEGASIS와 제안된 라우팅 기법의 에너지 소비를 비교하기 위해 관련 모델을 이용한다[14]. <표 1>과 같이 시뮬레이션을 위한 파라미터를 설정한다. 한 비트의 데이터를 수신하거나 전달할 때 드는 비용 ( $E_{elec}$ )은 50 nJ/bit로 정의한다. 한 비트의 데이터를 송신할 때 드는 비용( $E_{amp}$ )은 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리 ( $d$ )와 주변 환경에 따른 거리 상수 ( $d_0$ )에 따라서 달라진다. 노드 사이의 거리 ( $d$ )가 거리 상수 ( $d_0$ ) 보다 작을 때 송신 비용은 자유 공간 모델 ( $\epsilon_{fs}$ )을 따르게 되고 노드 사이의 거리 ( $d$ )가 거리 상수 ( $d_0$ )보다 크거나 같다면 송신 비용은 다중 경로 모델 ( $\epsilon_{mp}$ )을 따르게 된다. 자유공간 및 다중 경로 모델에서의 송신비용은 각각 10 pJ/bit 과 0.0015 pJ/bit의 값을 갖는다. 또한, 한 비트의 데이터를 병합할 때 소모되는 에너지 비용 ( $E_{ag}$ )은 5 nJ/bit 로 정의한다. 따라서  $k$  비트를 노드 사이의 거리 ( $d$ ) 만큼 전달하는데 소요되는 비용( $E_{Tx}$ )은 다음 수식 (1), (2)와 같다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Telec}(k) + E_{Tamp}(k, d) \tag{1}$$

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} E_{elec} \times k + \epsilon_{fs} \times k \times d^2 & (d < d_0) \\ E_{elec} \times k + \epsilon_{mp} \times k \times d^4 & (d \geq d_0) \end{cases} \tag{2}$$

마찬가지로  $k$  비트 송신에 소모되는 비용( $E_{Rx}$ )과 병합할 때 소모되는 비용( $E_{AG}$ )은 각각 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \times k \tag{3}$$

$$E_{AG}(k) = E_{ag} \times k \tag{4}$$

무선 센서 네트워크의 크기는 각각  $100m \times 100m$ 로 가정하고 각각 100개와 200개의 센서 노드 개수에 대해 전체 네트워크의 에너지 소비량을 비교한다. 싱크 노드의 위치는 (50, 150)으로 가정한다. 센서 노드는 무선 센서 네트워크상에 무작위로 배치되고 센서 노드의 초기 에너지는 1 joule 이라고 가정한다. 네트워크의 송수신 데이터는 3,000 bits 라고 가정한다. 레벨은 알고리즘에 따라 값이 정해진다. 본 연구에서는 100개의 노드가 배치되는 경우는 7개의 레벨이 선정되고 200개의 노드가 배치되는 경우는 8개의 레벨이 선정된다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
 Table 1. Simulation parameters

Parameter	Description	Value
$E_{mit}$	Initial energy of sensor node	1 J
$E_{elec}$	Data transmission, reception energy	50 nJ/bit
$\epsilon_{fs}$	Data transmission energy ( $d < d_0$ )	10 pJ/bit
$\epsilon_{mp}$	Data transmission energy ( $d \geq d_0$ )	0.0015 pJ/bit
$E_{ag}$	Data aggregation energy	5 nJ/bit
$d_0$	Threshold distance	75 m
$k$	Message length	3,000 bits

본 논문에서는 PEGASIS와 제안된 라우팅 기법의 에너지 소비량을 비교한다.  $100m \times 100m$  크기의 무선 센서 네트워크에서 100개의 노드가 배치된 경우 1,000라운드까지의 각 라운드 에너지 소비량의 누적값은 (그림 16)과 같다.

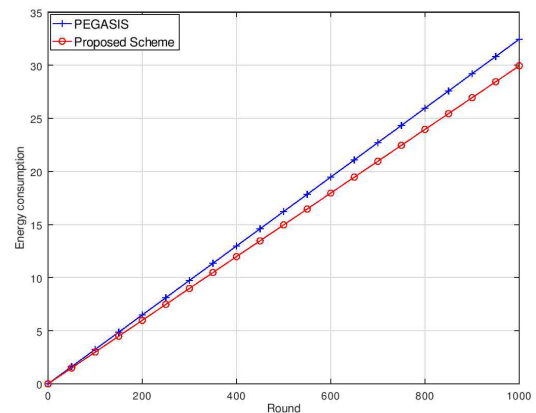


그림 16. PEGASIS와 제안된 기법의 에너지 소비량 (100 노드)  
 Fig. 16. The energy consumption of PEGASIS protocol and proposed scheme (100 node)

마찬가지로 (그림 17)은 100m×100m 크기의 무선 센서 네트워크에서 200개의 노드가 배치된 경우 1,000라운드까지의 PEGASIS와 제안된 라우팅 기법의 각 라운드에서 에너지 소비량의 누적값을 보여준다.

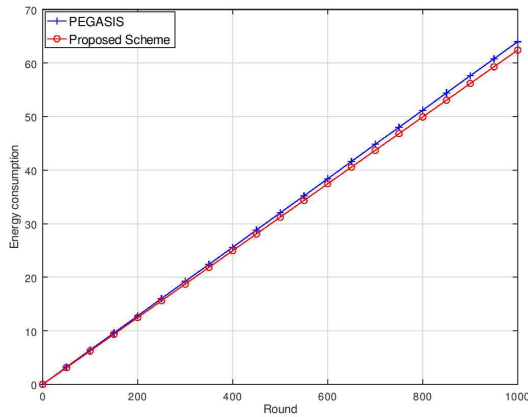


그림 17. PEGASIS와 제안된 기법의 에너지 소비량 (200 노드)

Fig. 17. The energy consumption of PEGASIS protocol and proposed scheme (200 node)

<표 2>는 라운드 별 각각 PEGASIS와 제안된 기법의 에너지 소비량의 누적값을 보여준다. 제안된 기법을 사용하는 경우 PEGASIS보다 최대 8.5% 정도 네트워크 전체 에너지 소비가 향상된 것을 보여준다.

표 2. 에너지 소비량  
Table 2. Energy consumption

Round	Case 1 (100 nodes)		Case 2 (200 nodes)	
	PEGASIS protocol	Proposed scheme	PEGASIS protocol	Proposed scheme
100	3.24583	2.98438	6.43944	6.24091
200	6.49166	5.98348	12.79754	12.48442
300	9.73749	8.98260	19.23698	18.72777
400	12.98331	11.98181	25.59509	24.96851
500	16.22914	14.96619	32.03453	31.21212
600	19.47497	17.96529	38.39263	37.45559
700	22.72080	20.96442	44.83207	43.69893
800	25.96663	23.96363	51.19017	49.93973
900	29.21246	26.94800	57.62961	56.18334
1000	32.45829	29.94711	63.98771	62.42675

V. 결 론

무선 센서 네트워크는 상황 인지를 위한 센싱 기능과 정보 처리 능력, 그리고 통신 능력을 갖춘 많은 센서 노드를 이용하여 특정한 요청에 원하는 정보를 수집하고 전달하는 일종의 애드혹(Ad-hoc) 네트워크로 IoT와 드론 등 많은 분야에서 적용되고 있다. 일반적으로 센서 노드는 물리적인 크기에 따라 상용 컴퓨터 장비보다 제한된 계산 능력, 메모리 용량, 그리고 배터리를 갖는다. 그러므로, 라우팅 프로토콜을 적용할 때 이런 제약사항에 대한 고려는 중요하다. 클러스터나 체인을 이용하는 계층 기반 라우팅 프로토콜에서 센서 노드는 거리와 상관없이 네트워크 외부의 싱크 노드와 원홉으로 통신할 수 있다는 가정을 하고 있고, 클러스터나 체인을 구성할 때 싱크 노드의 위치는 고려하지 않기 때문에 불필요한 경로에 따른 에너지 소모가 발생한다.

본 논문에서 제안한 라우팅 기법은 분산에 기반한 레벨의 결정과 싱크 노드 위치를 고려한 다중 체인 기법을 사용함으로써 싱크 노드와 원홉으로 통신해야 할 필요가 없고 싱크 노드의 방향을 고려하여 체인을 구성하기 때문에 기존의 계층 기반 라우팅 프로토콜보다 에너지 소모가 적다. 특히 규모가 큰 무선 센서 네트워크에 적합한 기법이 될 수 있고 시뮬레이션의 결과에 따르면 대표적인 계층 기반 라우팅 프로토콜인 PEGASIS보다 향상된 성능을 보인다.

향후 연구는 무선 센서 네트워크에 해당 프로토콜을 구현하여 시뮬레이션 결과와 실제 에너지 소비에 관한 비교분석을 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," in IEEE Wireless Communications, Vol. 11, No. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [2] P. C. Shahare and N. A. Chavhan, "An Approach to Secure Sink Node's Location Privacy in Wireless Sensor Networks," Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies, Bhopal, pp. 748-751, 2014.
- [3] J. Huang, Q. Duan, C. Xing and H. Wang, "Topology Control for Building a Large-Scale and Energy-Efficient Internet of Things," in IEEE Wireless Communications, Vol. 24, No. 1, pp. 67-73, Feb. 2017.
- [4] M. E. Migabo, K. Djouani, T. O. Olwal, and A. M. Kurien, "A survey on energy efficient network coding for multi-hop routing in wireless sensor networks," Procedia Computer Science, Vol. 94, pp. 288-294, 2016.
- [5] S. Park, "An Efficient Key management for Wireless Sensor Network," Journal of Digital Contents Society, Vol. 13,



No. 1, pp. 129-139, Mar. 2012.

- [6] D. Lee, K. Cho, C. Kang, C. Oh, "Link Cost based Routing Protocol for Improving Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks," J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng., Vol. 23, No. 5, pp. 574-580, May. 2019.
- [7] J. Won, H. Park, "Residual Power based Routing Protocol to Extend Network Lifetime in Wireless Sensor Networks," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 21, No. 5, pp.592-598, May. 2018.
- [8] H. Lee, "Design of a multipath routing protocol for energy-efficiency and low-delay in duty-cycled wireless sensor networks," j.inst.korean.electr.electron.eng., Vol. 24, No. 1, pp. 326-332, Mar. 2020.
- [9] J. Jeon, S. Kim, "A Sensor nodes' Residual Energy based Wake-up Control Mechanism in Wireless Sensor Networks," J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng., Vol. 21, No. 1, pp. 187-192, Jan. 2017.
- [10] J. Kulik and W. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," Wireless Networks, Vol. 8, pp. 169-185, 2002.
- [11] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [12] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems," Proceedings IEEE Aerospace Conference, Mont, USA, pp. 1125-1130, 2002.
- [13] S. Jung, Y. Han and T. Chung, "The Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy Consumption in the PEGASIS," The 9th International Conference on Advanced Communication Technology, Okamoto, Kobe, pp. 260-265, 2007.
- [14] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," in IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 3, No. 4, pp. 366-379, Dec. 2004.



**정성민(Sung-Min Jung)**

2005년 : 성균관대학교 정보통신공학부  
(공학사)

2008년 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터  
공학과(공학석사)

2014년 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터  
공학과(공학박사)

2014년~현재 : 한국원자력연구원 선임연구원

※ 관심분야 : 산업시설보안, 제어시스템보안, 센서네트워크