

# 무선 센서 네트워크의 효율적인 에너지 사용을 위한 클러스터링 알고리즘

## Clustering Algorithm for Efficient Use of Energy in Wireless Sensor Network

김태형\* · 강근택\*\* · 이원창\*\*\*

Tae Hyoung Kim\*, Geuntaek Kang\*\* and Won Chang Lee\*\*\*

\* 부경대학교 대학원 전자공학과

\*\* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

### 요 약

무선 센서 네트워크의 효율적인 에너지 사용과 개별 노드의 수명 증대는 센서 네트워크의 효율적인 운영을 위한 매우 중요한 요소이다. 센서 네트워크에 많이 사용되는 LEACH, HEED 등과 같은 클러스터 기반의 라우팅 방식들은 클러스터 헤드들과 해당 멤버 노드들 간의 데이터 전달을 통하여 에너지의 효율성을 얻는다. 본 논문에서는 대표적인 클러스터 기반 라우팅 방식인 LEACH와 HEED의 방법을 비교분석하고 데드 노드의 최대 지연 발생 등과 같은 새로운 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 방법을 제안한다. 제안된 방법의 효율성은 MATLAB 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### Abstract

In order to operate sensor networks effectively it is very important to use the energy in the individual nodes efficiently and so increase their lifetime. Cluster-based routing algorithms such as LEACH and HEED obtain the efficiency of energy using data transfer between cluster heads and its members. In this paper we analyze the typical cluster-based routing algorithms and suggest a new energy efficient method of electing the cluster heads with the maximum delay of dead nodes occurrence. The efficiency of the proposed algorithm is verified through MATLAB simulation.

**Key Words** : Sensor Network, Cluster, Routing, LEACH, HEED

## 1. 서 론

센서 기술, MEMS 기술, 저전력 전자 공학 기술, 저전력 RF 설계 기술 등의 발달로 무선 네트워크를 통하여 연결될 수 있는 소형, 저가, 저전력의 센서 노드들이 많이 개발되어 왔다. 또한 이러한 노력의 결과로 다수의 센서 노드들이 현상의 내부나 매우 밀집한 지역에 조밀하게 배치된 무선 센서 네트워크를 형성하여 헬스, 군사, 홈 네트워크, 환경 감시, 공장 관리, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용될 수 있게 되었다[1-4]. 이러한 USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경에서 사용되는 센서 노드들은 매우 작은 크기로 구성되므로 노드에 많은 용량의 에너지를 갖는 것이 어렵다. 이와 같이 센서 노드의 수명은 각 센서 노드가 가지고 있는 에너지에 의존적이므로 가능한 소모 에너지를 최대한 절약하여 전체 네

트워크의 수명을 연장하는 것이 목표이다.

무선 센서 네트워크에서 개별 센서 노드들의 에너지 효율을 높이기 위한 많은 라우팅 기법들이 제안되었다. 그 중에서 클러스터 기반의 네트워크를 구성하는 방법이 많이 연구되고 있다[5-6]. 에너지 효율성이 중요한 무선 센서 네트워크에서 클러스터링 기술은 클러스터 헤드노드가 해당 클러스터 멤버 노드들의 데이터를 병합하고 싱크(Sink)로 전송함으로써 노드 간 통신의 양을 줄이게 하고 클러스터 안에서는 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄에 의해 클러스터 헤드가 멤버 노드들의 스케줄을 조정함으로써 개별 노드들의 슬립 타임을 연장하게 된다. 기존에 제안된 클러스터링 알고리즘들은 자신의 알고리즘을 사용하면 최적 또는 완벽한 클러스터 구성이 가능하다고 주장하고 있지만 각각의 알고리즘은 장점뿐만 아니라 단점 또한 내포하고 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크에 사용되는 기존의 대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 HEED(Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering Approach) 알고리즘의 장단점을 알아보고 각각 알고리즘의 단점을 보완한 새로운 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 제안하고자 한다.

접수일자 : 2009년 11월 30일

완료일자 : 2010년 1월 25일

+ 교신저자

※ 본 논문은 본 학회 2009년도 추계학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

감사의 글 : 본 논문은 지식경제부 지방기술혁신사업(B0009720)에서 지원하여 연구하였음.

## 2. 관련 연구

### 2.1 기존의 센서 네트워크 라우팅 기법(LEACH)

LEACH의 동작방식은 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 센서 노드들의 클러스터링 초기 설정 과정에서 클러스터 헤드를 선출하고 클러스터 헤드를 중심으로 부분적인 네트워크를 구성한다(Clustering). 두 번째 단계로 클러스터 단위로 싱크 노드의 요청이 있을 때나 각각의 센서 노드들이 정보를 수집할 때 마다 수집된 정보를 클러스터 헤드에게 전달하고, 이를 수집한 클러스터 헤드가 데이터를 종합한 다음 싱크 노드에게 2차적으로 다시 전달한다. 세 번째 단계는 클러스터 헤드를 확률에 기반을 두어 재선출하고 일반 노드들이 새롭게 선출된 클러스터 헤드에게 정보를 전달하게 된다.

이러한 LEACH에서는 클러스터 헤드로 선출된 노드의 에너지 소비량은 다른 일반 센서 노드들과 비교해 현격하게 많기 때문에 클러스터의 유지기간이 짧아진다는 문제점이 생긴다. 이를 해결하고자 클러스터 헤드를 클러스터 그룹에 속한 모든 센서 노드들에게 공평하게 라운드 단위로 재선출하도록 제안하고 있다.

즉, LEACH 알고리즘은 센서망의 에너지 효율성에 중점을 둔 프로토콜로써 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존 시간을 최대화하기 위해 분산된 환경의 클러스터 구조로 데이터 전송을 수행한다. 클러스터 헤드는 식(1)의 확률 함수에 의해 결정된다[7-8].

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

식(1)에서  $i$ 는 노드의 식별자,  $t$ 는 시간,  $N$ 은 전체 노드의 수,  $k$ 는 클러스터 헤드의 수,  $r$ 은 라운드를 나타낸다.  $C_i(t)$ 는 최근  $r \bmod (N/k)$  라운드 동안 자신이 클러스터 헤드였다면 0이고 아니면 1이다. 노드들의 잔여 에너지가 시간에 따라 큰 차이를 보이는 반응적 네트워크 환경 하에서는 식(2)의 확률함수로 클러스터 헤드가 결정된다.

$$P_i(t) = \min \left\{ \frac{E_i(t)}{E_{total}(t)} k, 1 \right\} \quad (2)$$

식(2)에서 분모는 센싱 필드 내 모든 노드의 현재 에너지의 합, 분자는 노드  $i$ 의 현재 잔여 에너지이며  $k$ 를 곱하여 클러스터 헤드가 공정하게 선출되는 확률함수를 추가로 제안하였다. 이러한 확률함수를 사용하여 에너지가 더 많은 노드는 에너지가 적은 노드보다 더 자주 클러스터로 선출이 되는 것이다.

LEACH는 네트워크에 배치된 모든 노드가 에너지를 동일하게 소비한다는 가정 하에서는 클러스터 헤드 선출 기법이 우수하나 실제 네트워크에서 노드들은 상이한 통신거리 및 기타 외부 환경요소들로 인해 다른 잔여 에너지를 유지할 수밖에 없기 때문에 클러스터 헤드를 공정하게 선정할 수가 없다. 즉, LEACH는 완전히 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 선출하므로 센서망의 모든 센서 노드들이 항상 에너지를 효율적으로 사용하도록 클러스터 형태가 만들어 진다는 보장을 하지 못한다. 그리고 공평한 에너지 소비를 보장하기 위하여 확률 기반의 클러스터 헤드 선출 방식을 사용하였지만 이를 위해 매 라운드 단위로 클러스터 헤드를

변경하는 것도 에너지 소모를 더욱 부추기는 결과를 나올 수도 있어 이것 또한 약점이 된다. 또한 LEACH는 모든 노드의 에너지를 알아야 한다는 가정 사항을 전제로 하고 있다. 그러나 모든 노드의 에너지를 알기 위해서는 추가적인 오버헤드가 필요하며 이는 더 큰 에너지 소모로 연결된다는 단점이 생긴다. 이를 개선하기 위해 LEACH-C, LEACH-EM 등 여러 파생 알고리즘이 제안되었으나 이 또한 각각의 단점을 내포하고 있다.

### 2.2 기존의 센서 네트워크 라우팅 기법(HEED)

HEED는 Purdue 대학의 Ossama Younis와 Sonia Fahmy가 노드의 남은 에너지량을 사용하여 클러스터 헤드를 선출하도록 하는 프로토콜이다[9]. HEED의 클러스터 헤드 선출 알고리즘은 모든 노드의 에너지를 알 필요 없이 오직 노드 자신의 파라미터만을 이용하여 클러스터 헤드를 선출한다. HEED의 클러스터 헤드 선출 확률 함수식은 식(3)과 같다.

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}} \quad (3)$$

식(3)에서 분모는 노드  $i$ 의 초기 에너지, 분자는 노드  $i$ 의 잔여 에너지에 전체 노드에서 클러스터 헤드가 차지하는 비율을 곱한 값을 나타낸다. 즉, 이 알고리즘은 노드 자신의 클러스터 헤드 선출 확률이 1이 될 때까지 확률 값을 2배씩 증가시켜 먼저 1이상 값에 도달한 노드가 클러스터 헤드로 선출되도록 한다. 그러나  $CH_{prob}$  값이 동일한 노드가 존재할 경우에는 식(4)를 사용하여 최소 도달 파워 값(AMRP)이 가장 작은 노드를 클러스터 헤드로 설정하게 된다.

$$AMRP = \frac{\sum_{i=0}^M MinPWR_i}{M} \quad (4)$$

식(4)에서  $M$ 은 클러스터 그룹 내의 노드 수를 의미하며,  $MinPWR_i$ 는 클러스터 헤드로 선정된 노드에서 주위 노드  $i$ 에게 데이터를 전송하기 위한 최소 소모 전력을 의미한다.

이처럼 세부적으로 2단계를 거쳐 선정된 클러스터 헤드를 선출하여 하위 클러스터 그룹들을 생성한 후, 클러스터 헤드가 직접 싱크노드에게 데이터를 전달하도록 하는 구조는 LEACH와 유사한 구조를 가진다. 이러한 HEED의 단점은 클러스터 헤드가 클러스터 그룹 내에서 골고루 분배되지 않는다는 단점과 유사한  $CH_{prob}$ 가 존재할 경우 클러스터 그룹 내의 모든 노드들에 대해서 AMRP를 구한 후 비교함으로써 발생하는 오버헤드이다. 또한 모든 노드들에 대해서 동기화하여 클러스터 헤드를 선출해야 한다는 점도 단점이다.

## 3. 제안하는 알고리즘

본 절에서는 앞 절에서 살펴본 바와 같이 기존의 대표적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH와 HEED의 단점을 수정하여 좀 더 에너지 효율적이고 전체 네트워크 생존시간을 향상시킬 수 있는 새로운 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 제안하고자 한다. 클러스터 헤드 선출은 식(5)의 확률함수로 결정된다.

$$P_i(t) = \left\{ C_{prob} \left( \frac{E_{residual}}{E_{max}} \right)^2 * \frac{C_{prob} * r}{1 + CH_{cnt} \text{mod} \frac{1}{C_{prob}}} \right\} \quad (5)$$

식(5)의 왼쪽 분수는 HEED의 클러스터 헤드 선출 확률 함수를 개량한 것인데 초기 최대 에너지에 대한 잔여 에너지의 비율을 제곱함으로써 비중 도를 늘려 초기 클러스터 헤드 설정 과정에서 발생할 수 있는 충돌 현상을 회피할 수 있도록 하였다. 그리고 시간이 지날수록 모든 노드의 에너지가 낮아져서 클러스터 헤드 선출이 보장이 되지 않는 것은 시간이 지남에 따라 라운드가 증가하는 특성을 이용하여 오른쪽 분수에서 라운드를 곱하여 보상해주었다.  $CH_{cnt}$ 는 현재 라운드까지 노드  $i$ 가 클러스터 헤드로 선출된 횟수를 나타내는 파라미터이고 클러스터 헤드가 선출되는 비율을 최대한 일정하게 해주기 위하여 오른쪽 분수의 분모를 추가하였다. mod 함수에 의해  $i$ 번째 노드가 매  $1/CH_{prob}$  라운드 마다 현재 라운드까지 클러스터 헤드로 선출된 횟수가 많으면 클러스터 헤드 선출 확률이 작아지고 선출된 횟수가 적으면 선출 확률이 높아지게 하는 작용을 한다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 및 성능분석

앞에서 제안한 알고리즘의 성능 분석은 기존에 제안된 에너지 소비모델과 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션은 각 노드들의 초기에너지가 모두 동일할 때와 다른 경우일 때로 나누어 비교분석하였다.

##### 4.1 시뮬레이션 모델

$L$ 비트의 메시지가 거리  $d$ 까지 송수신하기 위해서 소비되는 노드의 에너지는 식(6), (7)과 같다.

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2, & d < d_0 \\ L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (6)$$

$$E_{Rx} = L \cdot E_{elec} \quad (7)$$

그리고 한 라운드동안 클러스터 헤드와 비클러스터 헤드 노드에서 소모되는 에너지는 식(8), (9)와 같다.

$$E_{CH} = L \cdot E_{elec} \left( \frac{n}{k} - 1 \right) + L \cdot E_{DA} \cdot \frac{n}{k} + L \cdot \epsilon_{fs} d_{BS}^2 \quad (8)$$

$$E_{nonCH} = L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d_{CH}^2 \quad (9)$$

여기서  $d_{BS}^2$ 는 클러스터헤드와 싱크노드 간의 거리를 제곱한 것을 나타내고  $d_{CH}^2$ 는 클러스터 헤드와 해당하는 클러스터 멤버간의 거리를 제곱한 것을 나타낸다.

하나의 클러스터 내에서 클러스터 헤드에서 소모되는 에너지와 비클러스터 헤드 노드들에서 소모되는 에너지의 합은 식(10)과 같다.

$$E_{duster} = E_{CH} + \left( \frac{n}{k} - 1 \right) E_{nonCH} \quad (10)$$

위의 식들을 정리하면 전체 네트워크에서 소모되는 모든 에너지는 식(11)으로 나타낼 수 있다.

$$E_{total} = L \left\{ 2nE_{elec} + nE_{DA} + \epsilon_{fs} (kd_{BS}^2 + nd_{CH}^2) \right\} \quad (11)$$

위에서 사용한 에너지 소비 모델의 변수 설명은 표 1과 같고 본 논문에서 시뮬레이션한 변수의 설명은 표 2와 같다 [10].

표 1. 에너지 소비 모델 변수

Table 1. Variables of energy consumption model

변수	설명	변수	설명
L	비트 메시지	$E_{elec}$	회로 에너지 소모
$E_{DA}$	Aggregation	$\epsilon_{fs}$	자유공간 손실
$d_0$	거리 임계값	$\epsilon_{mp}$	다중경로 손실
k	클러스터헤드 수	n	총 노드 수

표 2. 시뮬레이션 변수

Table 2. Variables for simulation

변수	설명	변수	설명
노드수	100	$CH_{prob}$	0.05
M	100*100	$\epsilon_{fs}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
Sink	(50, 50) m	$\epsilon_{mp}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
$E_{max}$	0.5 J	$E_{elec}$	50 nJ/bit
메시지 길이	4000 bit	$E_{DA}$	50 nJ/bit

위의 수식과 변수들을 참고하여 각 노드들의 초기 에너지가 동일한 환경과 초기 에너지가 다른 환경 두 가지 경우에 대해 제안한 알고리즘의 성능을 MATLAB 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 초기 에너지 값을 다르게 주는 이유는 실제 통신 환경에서는 서로 다른 통신 거리 및 주변 장애물 등에 의해 예측하지 못한 임의의 사건 등이 발생할 수 있는데 이로 인해 실제 에너지 소비가 다르게 이루어 질 수 있기 때문이다.

##### 4.2 초기 에너지가 모두 동일한 경우

모든 노드의 초기 에너지가 동일한 경우 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 수명을 비교하였다. 그림 1은 100\*100 m 환경에서 랜덤하게 노드들이 선출된 그림이다. Sink(x)노드, 클러스터 헤드(\*), 일반 노드(o), 데드 노드(.)로 구성된다.

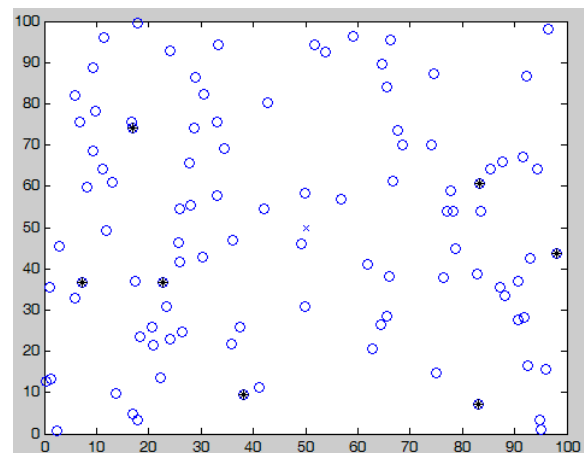


그림 1. 노드 배치 형태

fig. 1. Node allocation form

그림 2는 데드노드가 발생되었을 때 노드 배치 형태를 나타내는 그림이다. 그림에서 보듯이 클러스터 헤드나 일반 노드의 잔여에너지가 0이 되면 점으로 표시된 데드 노드로 바뀌어 표시되게 된다.

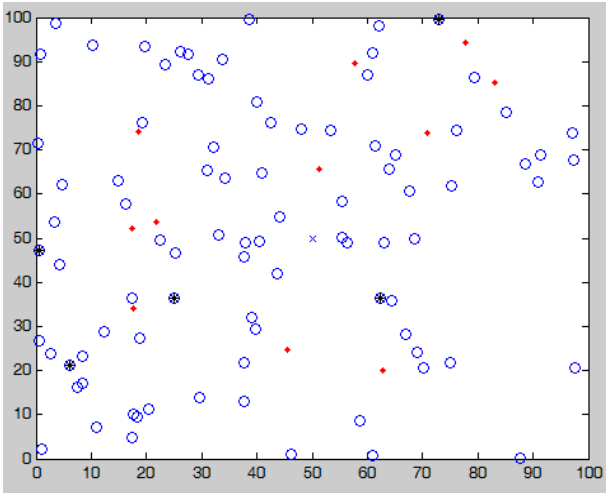


그림 2. 노드 배치 형태(데드노드 발생)  
fig. 2. Node allocation form(Dead node occurred)

그림 3은 개별 노드별 클러스터 헤드 선출 수를 LEACH와 HEED를 제안한 알고리즘과 비교해 나타낸 그림이다. 총 노드가 100개이고 클러스터 헤드의 비율을 5%로 설정하였기 때문에 한 라운드에 클러스터 헤드가 5개가 선출되어야 하고 400 라운드를 시뮬레이션 했을 시에는 이론적으로 각 노드별 누적 클러스터 헤드 선출 횟수는 20개가 되어야 한다. LEACH는 완전히 확실적인 선출 요소에 의해 노드별로 공정한 클러스터 헤드수인 20개가 매우 일정하게 나타난다. 반면에 제안한 알고리즘은 자신의 현재 잔여 에너지, 라운드, 자신이 클러스터 헤드로 선출된 횟수 등을 고려해 확률 함수가 정해지므로 다소 불규칙적인 모양을 보이고 있다.

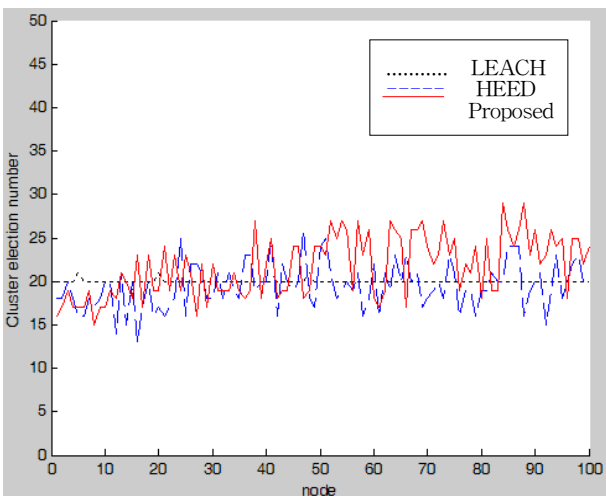


그림 3. 노드별 클러스터 헤드 선출 횟수  
fig. 3. Cluster head election number at nodes

그림 4는 모든 노드의 초기 에너지가 동일한 경우 LEACH, HEED 알고리즘과 제안한 알고리즘의 데드 노드 발생 추이를 라운드를 9999번 돌렸을 때 따라 나타낸 그림이다. 보다 자세한 데이터를 표 3에 나타내었다. 그림과 표에서 보듯이 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 전체 네트워크 수명을 훨씬 연장시킨다는 것을 알 수 있다.

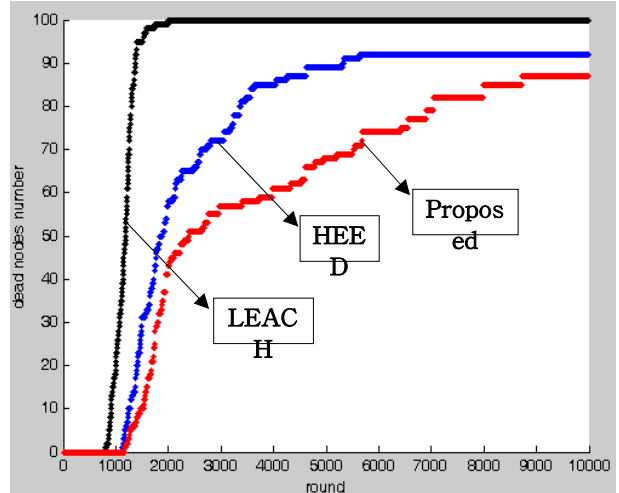


그림 4. 라운드에 따른 데드노드 수  
fig. 4. Dead node number according to round

표 3. 수명 증가 비율

Table 3. Increased lifetime rates

데드 노드 발생률	LEACH (round)	HEED (round)	Proposed (round)
첫 발생	772	1107	1172
50% 발생	1170	1710	2225
100% 발생	1951	X	X

### 4.3 초기 에너지가 다른 경우

이번에는 각 노드의 초기 에너지가 다른 경우를 가정하고 시뮬레이션 하였다. 본 논문에서는 초기 에너지가 다른 일반 노드들에 비해 높은 노드를 Advanced 노드라 정하고, 이 Advanced 노드의 초기 에너지 및 전체 네트워크에서 차지하는 비율을 바꿔가면서 시뮬레이션 하였다. 그림 5는 전체 노드 수 100개, Advanced 노드 비율을 10%로 설정하였을 때 Advanced 노드(+) 10개, 일반 노드(o) 90개가 구성되어 랜덤하게 배치된 형태를 나타낸 그림이다.

그림 6은 Advanced 노드의 초기에너지 1 J(a=1), 전체 네트워크에서 차지하는 비율 10%(m=0.1)로 설정하고 라운드를 9999번 돌렸을 때 라운드에 따른 LEACH, HEED 알고리즘과 제안한 알고리즘의 데드 노드 발생 추이를 나타낸 그래프이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 노드의 초기 에너지가 다른 환경에서도 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 월등히 높은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 표 4에 보다 자세한 데이터를 나타내었다.

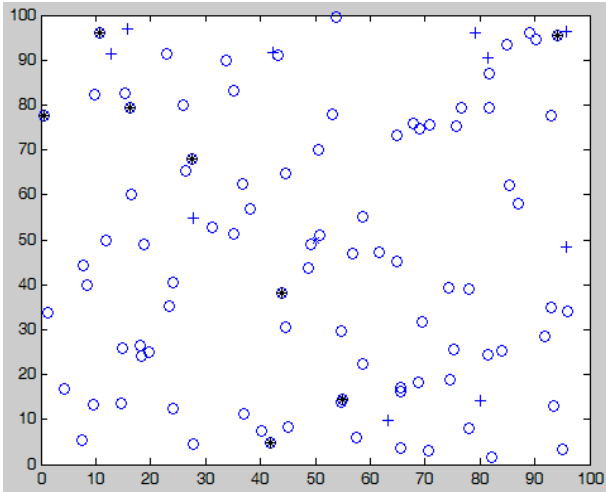


그림 5. 노드 배치 형태  
fig. 5. Node allocation form

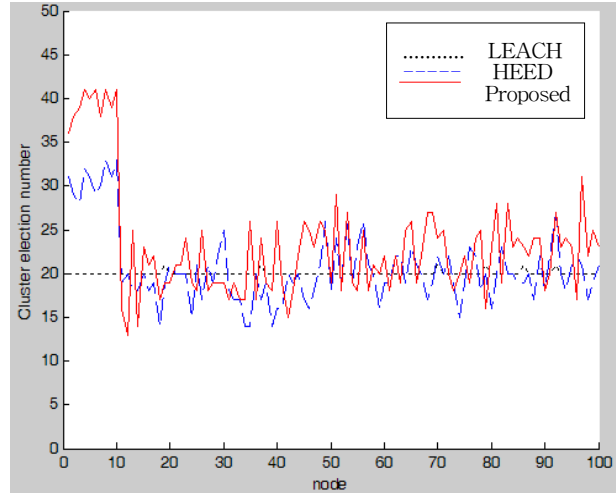


그림 7. 노드별 클러스터 헤드 선출 횟수  
fig. 7. Cluster head election number at nodes

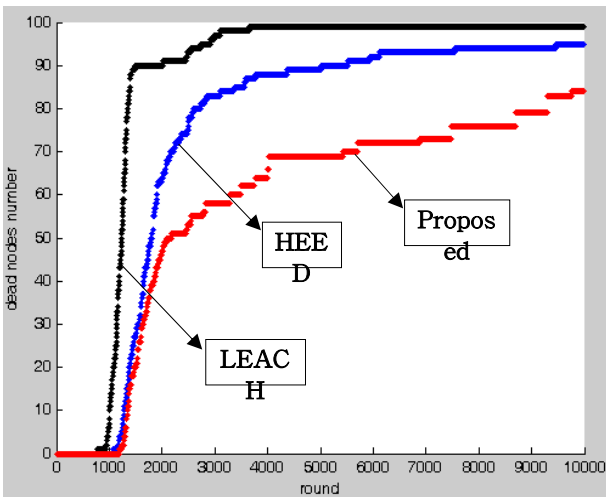


그림 6. 라운드에 따른 데드노드 수  
fig. 6. Dead node number according to round

표 4. 수명 증가 비율

Table 4. Increased lifetime rates

데드노드 발생률	LEACH (round)	HEED (round)	Proposed (round)
첫 발생	801	1124	1203
50% 발생	1219	1816	2315
100% 발생	3682	X	X

그림 7은 같은 조건에서 각 노드별 클러스터 헤드 선출 횟수를 나타낸 그래프이다. 이 시뮬레이션 또한 400라운드를 진행하였고 그림에서 보는바와 같이 초기 에너지가 일반 노드보다 2배 많은 Advanced 노드인 1~10번 노드가 다른 노드(11번~100번)들에 비해 클러스터 헤드가 더욱 많이 선출되었음을 알 수 있다. 즉, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 잔여 에너지가 많은 노드를 클러스터 헤드로 선출하였음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 클러스터 기반의 무선 센서 네트워크에서 대표적 알고리즘인 LEACH와 HEED에 대해 알아보고 이 알고리즘의 단점을 보완한 새로운 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 제안하였다. 본 논문의 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 클러스터 헤드 선출 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 월등히 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 모든 노드의 위치가 고정되어 있다고 가정하였다. 그러나 센서 네트워크는 노드의 위치가 고정되어 있는 경우도 있지만 노드의 위치가 중간에 변할 수도 있기 때문에 이런 가변 노드의 경우 클러스터 헤드 선출을 어떻게 할 것인가에 대한 연구도 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarusubramaniam, and E. Cyirci, "Wireless sensor networks : a survey", *Computer Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- [2] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power efficient gathering in sensor information system", *IEEE Aerospace Conference*, vol. 3, pp. 1125-1130, 2002.
- [3] D. Tian and N. D. Georganas, "A Coverage preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks", *WSNA*, pp. 32-41, 2002.
- [4] N. Vljic and D. Xia, "Wireless sensor networks : to Cluster or not to cluster?", *International Workshop on Wireless Mobile Multimedia Proceeding of the 2006 International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 258-268, 2006.
- [5] G. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless integrated

network sensors”, *Communication of the ACM*, vol. 43, no. 5, pp. 51-58, 2000.

- [6] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, “Routing techniques in wireless sensor networks : a survey”, *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 6, pp. 6-28, Dec. 2004
- [7] D. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks”, *In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences*, vol. 2, pp. 10, 2000.
- [8] D. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks”, *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, 2002.
- [9] O. Younis and S. Fahmy, “HEED : a Hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks”, *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 366-379, 2004.
- [10] G. Smaragdakis, I. Matta, and A. Bestavros, “SEP: A stable election protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks,” *International Workshop on SANPA*, no. 4, pp. 660-670, 2004



**강근택(Geuntaek Kang)**

1976년 : 서울대학교 공과대학 응용물리학과 (공학사)  
 1984년 : 일본 동경공업대학 시스템과학전공 (공학석사)  
 1987년 : 일본 동경공업대학 시스템과학전공 (공학박사)  
 1987년~현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

관심분야 : 퍼지 시스템  
 E-mail : gtkang@pknu.ac.kr



**이원창(Won Chang Lee)**

1983년 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)  
 1985년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
 1992년 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)  
 1993년~현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

관심분야 : 로보틱스, 임베디드 시스템  
 E-mail : wlee@pknu.ac.kr

저 자 소 개



**김태형(Tae Hyung Kim)**

2009년 : 부경대학교 전자정보통신공학과 (공학사)  
 2009년~현재 : 동 대학원 전자공학과 석사과정

관심분야 : 로보틱스, 센서 네트워크, 임베디드 시스템.  
 E-mail : thkim83@pknu.ac.kr