

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.3.879

JCCT 2024-5-100

WSN 환경에서 에너지 효율을 중심으로 한 적응형 체인 기반 EEACP 프로토콜 개선

Advanced Adaptive Chain-Based EEACP Protocol Improvement Centered on Energy Efficiency in WSN Environment

조대균*, 김영완**, 박건우***

DaeKyun Cho*, YeongWan Kim**, GunWoo Park***

요약 무선 센서 네트워크 기술은 4차 산업혁명의 발전과 함께 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이에 따라 LEACH, PEGASIS, 그리고 EEACP와 같은 다양한 프로토콜이 개발되어 에너지 효율을 높이는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 EEACP 프로토콜은 여전히 전송 간 에너지 소모 측면에서 개선의 여지가 남아있다. 특히 데이터 수신 각 설정과 관련된 비효율적인 경로로 인해 네트워크의 생존성이 저하될 수 있다. 제안하는 A-EEACP 프로토콜은 이러한 문제를 해결하기 위해 싱크 노드를 중심으로 데이터 전송 방향을 최적화하여 에너지 소모를 줄이고 네트워크의 생존성을 향상시켰다.

주요어 : 무선 센서 네트워크, 라우팅 프로토콜, 에너지 효율성, 체이닝 기법, 멀티 홉 전송

Abstract Wireless sensor network technology is becoming increasingly important with the advancement of the Fourth Industrial Revolution. Consequently, various protocols such as LEACH, PEGASIS, and EEACP have been developed in an attempt to increase energy efficiency. However, the EEACP protocol still has room for improvement in terms of energy consumption during transmission. Particularly, inefficient paths associated with data reception settings may compromise the network's survivability. The proposed A-EEACP protocol optimizes data transmission direction around the sink node to reduce energy consumption and enhance the network's survivability.

Keywords : Wireless Sensor Network, Routing Protocol, Energy Efficiency, Chaining Techniques, Multi-hop Transmission

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, 이하 WSN)[1]는 컴퓨팅 능력과 무선 통신 기술을 갖춘 센서 노드를 특정 환경에 배치하여 자율적으로 네트워크를 형성하고, 센서 노드에서 수집한 정보를 무선으로 전송하여 감시 및 제어 등 다양한 용도로 활용하는 기술이다.

4차 산업혁명으로 인해 스마트한 기술들이 우리 일상에 통합되면서 우리의 삶이 더욱 편리해졌다. 이는 센서의 발전으로 인해 정확하고 신속하게 다양한 데이터를 측정할 수 있게 되었기 때문이다. WSN[1, 2]의 활

용은 주기적인 데이터 수집이 필요한 상황을 모니터링하거나 예외적인 상황을 감지하는 데 그치지 않고, 상태 모니터링, 생산 성능 모니터링, 안전 모니터링 등 다양한 목적으로 확대되고 있다.

수백 또는 수천의 작은 센서 노드들이 하나의 네트워크로 연결되기 때문에 영역의 확장이 용이하며 어떠한 사전 구성 없이도 임의의 관심지역에 배치할 수 있다. 그러나 센서 노드들은 주어진 환경에 배치될 때 상시 전원이 연결되어 있지 않기 때문에 센서 노드들에게 공급되는 배터리의 수명은 한정되어 있다. 이러한 센서의 특성으로 전체 네트워크의 수명은 주로 배터리의 수

*정회원, 국군방첩사령부 국방보안연구소 (제1저자)

**정회원, 해군 제2함대사령부 (공동저자)

***정회원, 대전대학교 컴퓨터공학과 교수 (교신저자)

접수일: 2024년 3월 13일, 수정완료일: 2024년 4월 10일

게재확정일: 2024년 4월 20일

Received: March 13, 2024 / Revised: April 10, 2024

Accepted: April 20, 2024

***Corresponding Author: chodaekyun@naver.com

명에 의해 결정되므로 제한된 에너지원인 배터리를 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다.

센서의 에너지 소모[2, 5]는 센서들 사이 거리의 제공에 비례하며, 데이터 송수신 시에 가장 많이 발생하게 된다. 따라서 센서들 사이의 전송거리를 줄이는 것이 전체 네트워크의 수명을 증가시키는 방법[6-11]으로 알려져 있다.

본 연구에서는 WSN의 여러 프로토콜 중 계층 기반 클러스터링 프로토콜에 주목하여, 그중 대표적인 LEACH 프로토콜과 PEGASIS 프로토콜, 그리고 이들의 장점을 결합하여 발전시킨 EEACP 프로토콜에 대해 조사하고, 에너지 효율성 측면에서 더 발전된 라우팅 프로토콜(A-EEACP)을 제안한다.

본 연구는 II장에서 LEACH와 PEGASIS 프로토콜 및 이들의 장점을 결합하여 발전시킨 EEACP 프로토콜에 대해 논의하며, III장에서는 제안하는 프로토콜을 소개하고, IV장에서는 해당 프로토콜의 성능을 분석하며, V장에서는 결론을 도출한다.

II. 관련연구

1. LEACH 프로토콜

LEACH(Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜[2]은 WSN 라우팅의 주요 목표 중 하나인 네트워크 수명을 연장하기 위해 클러스터링과 랜덤 클러스터 헤드 선택을 사용하여 에너지 소모를 최소화하는 프로토콜이다.

LEACH 프로토콜은 무작위로 선택된 몇 개의 센서 노드를 클러스터 헤드로 지정하고, 클러스터 멤버들 사이에서 역할을 순환하여 에너지를 고르게 분산시킨다. 클러스터 헤드는 데이터 수집과 전송을 조정하고 중복 데이터를 제거하여 전송 효율을 높이며, TDMA(Time Division Multiple Access) 및 CDMA(Code Division Multiple Access)와 같은 다중 접속 제어 방식을 사용하여 클러스터 내부 및 클러스터 간 충돌을 방지한다.

LEACH 프로토콜은 클러스터 형성 및 클러스터 헤드의 데이터 융합을 통해 네트워크 수명을 증가시킬 수 있지만, 여전히 다수의 문제점[3]이 있다. 예를 들어, 기결정된 클러스터 헤드의 수를 전체 네트워크에 균등하게 분배하는 방법이 명확하지 않다. 따라서 어떤 노드는 클러스터 헤드를 찾지 못할 수 있고, 어떤 클러스터

헤드는 가깝게 위치한 클러스터 헤드보다 더 많은 에너지를 소모하여 불균형한 에너지 소모가 발생할 수 있다.

2. PEGASIS 프로토콜

PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) 프로토콜[4]은 LEACH 프로토콜을 개선한 것으로, 네트워크 수명을 연장하기 위해 센서 노드들 간에 단일 체인을 형성하여 통신한다. 리더 노드라고 불리는 노드들은 싱크 노드와 통신하며, 라운드마다 리더 노드를 선발하여 역할을 순환한다. PEGASIS 프로토콜의 핵심은 근접한 노드들 사이에서의 전송을 통해 에너지 소모를 줄이고, 각 노드의 수명 주기를 증가시키는 것에 있다.

PEGASIS 프로토콜과 관련된 연구 결과[4]에 따르면, PEGASIS가 LEACH 프로토콜에 비해 네트워크 수명이 2배로 늘어난다는 결과가 있다. 그러나 모든 노드를 단일 체인으로 연결하여 데이터를 전송하는 것은 대규모 네트워크에는 적합하지 않을 수 있다. 또한, 데이터를 싱크 노드로 전송하기 위해서는 전체 체인을 거쳐야 하기 때문에 실시간 데이터 필요한 모니터링 분야에는 적합하지 않을 수 있는 제한사항들이 있다.

3. EEACP 프로토콜

EEACP(Energy Efficient Adaptive Chaining routing Protocol) 프로토콜[9]은 LEACH 프로토콜의 한계를 개선하기 위해 기존 LEACH 프로토콜과 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합한 알고리즘이다.

LEACH 프로토콜은 클러스터링을 통해 네트워크 수명을 연장할 수 있지만, 데이터 송신 시에는 전송 거리의 제공만큼의 에너지가 소모되어 거리가 먼 싱크 노드까지 데이터를 전송할 때 클러스터 헤드가 많은 에너지를 소비한다는 제한이 있다.

이러한 한계를 개선하기 위해 EEACP 프로토콜은 각 라운드마다 클러스터 헤드들이 싱크 노드와의 상대적 거리를 고려하여 자신보다 싱크 노드에 더 가까운 클러스터 헤드들을 경유하여 데이터를 전송하는 개선된 체이닝 기법을 사용한다. 또한, 센서 노드의 데이터 수신 각을 설정하여 전파를 특정 방향으로 제한함으로써 클러스터 헤드들 간에 멀티 홉 전송을 가능하게 한다. 이로써 클러스터 헤드는 싱크 노드로 직접 데이터를 전송하는 것이 아니라 더 가까운 클러스터 헤드를 경유

하여 데이터를 전송함으로써 전송 거리를 단축시키고, 제곱 에너지 소모량을 감소시키며 그 목적이 있다.

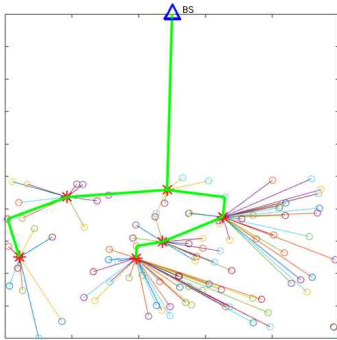


그림 1. EEACP 프로토콜의 네트워크 구조
 Figure 1. Network structure of the EEACP protocol

EEACP 프로토콜은 주로 LEACH 프로토콜의 작동 방식과 구조를 기반으로 한다. 이는 LEACH 프로토콜과 동일하게 설정 단계와 지속 상태 단계의 두 가지 단계로 구성된다. 설정 단계에서는 스케줄을 생성한 다음, 그 후에 체이닝 형성 과정을 추가하여 작동한다.

각 노드는 라운드가 시작될 때 자신이 클러스터 헤드로 선출될 확률을 자체적으로 계산한다. 이 계산은 특정 임계값 기반의 공식을 사용한다. 선출된 클러스터 헤드 노드들은 그들이 헤드라는 사실을 주변 노드들에게 알리기 위해 메시지를 브로드캐스트하며, 선택된 클러스터 헤드들 사이에서는 모든 중요 정보가 공유된다.

이 과정에서, 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송 강도로 메시지를 발신하며, 클러스터 헤드로부터 메시지를 수신한 주변 노드들은 메시지의 신호 강도를 계산하여 자신과 가장 가까운 클러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정하고 클러스터 헤드에게 클러스터에 참여하겠다는 연결 허락 메시지를 발신한다. 마찬가지로 네트워크상에 클러스터 헤드들의 위치를 모르기 때문에 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송 강도로 메시지를 발신한다. 각 클러스터 헤드들은 주변 노드들이 보낸 연결 허락 메시지를 수신하여 클러스터를 완성한다. 이벤트가 감지되면 멤버 노드는 수집된 정보를 자신이 속한 클러스터 헤드 노드에게 전송하고, 클러스터 헤드는 수집된 정보를 융합하여 최종 값을 전송한다. 이때, 자신보다 싱크 노드에 더 가깝게 위치한 인접한 클러스터 헤드를 다음 클러스터 헤드로 결정한다.

이로 인해 싱크 노드와 먼 거리에 있는 클러스터 헤

드부터 가까운 클러스터 헤드까지 체이닝이 형성된다. 이러한 체이닝 과정에서는 데이터 수신 각을 설정하여 다음 클러스터 헤드까지의 전송 경로 상 데이터 수신 각으로 들어오는 노드 중 거리가 가장 가까운 노드들을 경유하여 멀티 홉 전송을 한다. 이때 데이터 수신 각에 들어오는 노드가 없으면 다음 클러스터 헤드로 직접 체이닝이 형성된다. 마지막으로 싱크 노드와 가장 가까운 클러스터 헤드가 각 클러스터 헤드로부터 전달 받은 최종 값을 융합하여 싱크 노드에 전송한다. 싱크 노드까지의 전송이 완료되면 한 라운드가 종료되고, 클러스터 헤드 선정부터의 위 과정을 반복하여 수행한다.

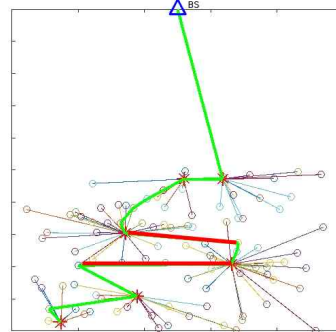


그림 2. EEACP 프로토콜의 비효율적인 전송 사례
 Figure 2. A case of inefficient transmission in the EEACP protocol

EEACP 프로토콜은 LEACH와 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합하여 LEACH 프로토콜의 한계를 극복하려는 시도이지만, 여전히 전송 간 에너지 소모 측면에서 개선할 여지가 있다. EEACP 프로토콜은 체이닝 형성 과정에서 센서 노드의 데이터 수신 각을 설정하여 멀티 홉 전송을 하게 된다. 하지만 이 과정에서 설정된 데이터 수신 각에 들어오는 노드가 없을 경우 비효율적인 경로로 전송될 수 있다. 이로 인해 불필요한 데이터 소모가 발생하고 전체 네트워크의 생존성이 저하될 수 있다. 특히 네트워크 규모가 커질수록 이러한 문제가 더 크게 나타날 수 있다. 게다가, EEACP 프로토콜은 매 라운드 클러스터 헤드가 선정된 위치에 따라 단일 체인과 멀티체인을 혼합하여 형성된다. 이는 PEGASIS의 단일 체인 형성의 문제점을 개선할 수 있지만, 여전히 체인형성 기법의 한계로 인해 에너지 효율이 낮아지는 요인으로 작용한다.

III. 제안한 방법

EEACP 프로토콜은 LEACH 프로토콜 기반에 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합하여 전송 거리를 단축시키고, 제곱 에너지 소모량을 감소시켜 에너지 효율을 높였지만, 여전히 전송 간 에너지 소모 측면에서 개선할 필요성이 나타났다. 그래서 제안하는 A-EEACP 프로토콜은 체이닝 형성 과정에서 비효율적인 경로의 발생 가능성을 줄이고, 데이터 수신 각 설정 외에 싱크 노드를 중심으로 좌우 섹터를 구분하여 전송 방향성을 최적화하여 불필요한 에너지 손실을 줄이고, 노드의 생존성을 향상시켰다.

제안하는 A-EEACP 프로토콜은 클러스터 형성과 클러스터 헤드 선정 단계까지는 기존 EEACP 프로토콜과 동일하다. 그러나 그 이후에는 싱크 노드를 중심으로 좌우 섹터를 구분하여 클러스터 헤드들이 각자 속한 섹터를 구분하고, 섹터별 개선된 체이닝 형성 과정이 이루어진다. 클러스터 형성과 클러스터 헤드 선정 단계까지는 기존 EEACP 프로토콜과 동일하기 때문에 그 이후 과정부터 세부 동작 과정을 설명한다.

이전 클러스터 헤드 선정 단계에서 클러스터 헤드로 결정된 노드들은 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 있게 헤드임을 알리는 메시지를 브로드캐스트한다. 이로 인해 매 라운드마다 클러스터 헤드 노드의 정보가 전체 네트워크에 공유된다. 이 과정에서, 싱크 노드는 공유된 정보를 바탕으로 좌우 섹터를 구분하고 클러스터 헤드들이 각자 속한 섹터를 구분하여 네트워크의 모든 노드들에게 메시지를 브로드캐스트한다.

각자 속한 섹터에서 클러스터 헤드는 싱크 노드와의 상대적 거리를 고려하여 자신보다 싱크 노드에 더 가까운 클러스터 헤드들을 경유하는 체이닝 과정에서 데이터 수신 각을 설정하여 전송 경로 상 데이터 수신 각으로 들어오는 가장 가까운 노드들을 경유하는 멀티 홉 전송을 한다. 이 과정에서, 데이터 수신 각에 들어오는 노드가 없을 경우 다음 클러스터 헤드로 직접 체이닝이 형성되는 비효율적인 경로로 전송될 수 있기 때문에 데이터 수신 각에 들어오는 노드가 없으면 이전 클러스터 헤드 선정 단계에서 공유된 클러스터 헤드 정보를 활용하여, 싱크 노드 기준으로 자신보다 싱크 노드에 더 가까운 인접 클러스터 헤드 노드를 재지정하여 경로를 최적화하고 불필요한 경로를 줄인 후, 이를 새로운 멀티

홉 전송 경로로 설정하여 전송한다. 마지막으로, 각 클러스터 헤드로부터 전달된 최종 값을 싱크 노드와 가장 가까운 클러스터 헤드에서 융합한 후, 이를 싱크 노드에 전송한다. 이렇게 하면 싱크 노드까지의 전송이 완료되고 한 라운드가 종료된다. 그리고 이후에는 클러스터 헤드 선정부터의 위 과정을 반복하여 수행한다.

제안하는 A-EEACP 프로토콜은 EEACP 프로토콜의 한계를 극복하려는 노력으로, 체이닝 과정에서 비효율적인 경로를 줄이고 데이터 수신 각 설정 외에 싱크 노드를 중심으로 좌우 섹터를 구분하여 전송 방향성을 최적화하여 에너지 손실을 줄이고, 노드의 생존성을 향상시켰다.

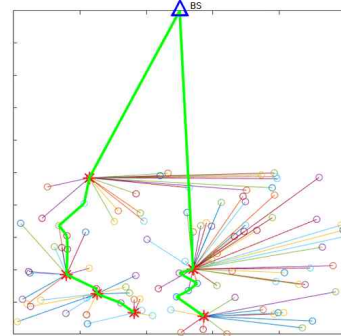


그림 3. A-EEACP 프로토콜의 네트워크 구조
Figure 3. Network structure of the A-EEACP protocol

IV. 실험 및 성능분석

1. 실험환경

LEACH 프로토콜과 EEACP, A-EEACP 프로토콜의 성능 분석에 사용된 라디오 모델은 First order radio model로 LEACH와 PEGASIS 프로토콜에서 동일하게 사용된 모델을 적용했다. 실험 환경은 CPU Intel(R) Core(TM) i5-5200 @2.20GHz, OS Windows 10, RAM 8GB이며, 시뮬레이터로는 Matlab을 활용했다. 실험을 위한 전체 네트워크 배치는 100×100(m)이며, 노드의 수는 100개이고 싱크 노드의 위치는 (x=50, y=200)로 배치했다. 초기 에너지는 0.25(J)이고 전송 데이터 크기는 2,000 (bit)로 설정했다. 실험 시나리오는 프로토콜을 제외한 모든 조건이 동일한 네트워크에서 각각의 프로토콜을 동작하여 모든 노드가 에너지를 다 소모하여 전체 네트워크가 사망할 때까지 라운드를 진

행했다. 라운드별 운영 노드를 비교하기 위해 최초로 죽은 노드가 발생한 라운드, 전체 네트워크의 30% 죽은 노드가 발생한 라운드, 그리고 마지막으로 죽은 노드가 발생한 라운드를 측정했다. 그리고 라운드별 전체 네트워크의 에너지 소모를 측정하여 각각의 프로토콜의 에너지 효율을 비교하는 실험을 진행했다.

2. 라운드별 운영 노드 비교 결과

라운드별 운영 노드 수에 관한 실험 결과는 그림 4와 같다. 여기서 X축은 라운드를, Y축은 운영 노드의 수를 나타낸다. LEACH 프로토콜은 파랑 실선으로, EEACP 프로토콜은 주황 실선으로, 그리고 제안하는 A-EEACP 프로토콜은 녹색 실선으로 표시한 시뮬레이션 결과이다.

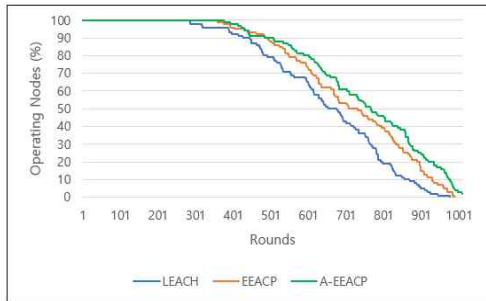


그림 4. 라운드별 운영 노드 수
 Figure 4. Operational nodes per rounds

각 그래프를 살펴보면, 최초로 노드가 죽은 라운드, 전체 네트워크의 30%가 죽은 라운드, 마지막으로 노드가 죽은 라운드는 LEACH 프로토콜의 경우 287, 554, 978 라운드이고, EEACP 프로토콜은 360, 610, 990 라운드이며 제안하는 A-EEACP 프로토콜은 378, 646, 1019 라운드로 이 결과는 표 1과 같다.

표 1. 프로토콜별 운영 노드 비교
 Table 1. Operational node comparison by protocol

Round	Protocol		
	LEACH	EEACP	A-EEACP
First Dead Node	287	360	378
30% Dead Node	554	610	646
Last Dead Node	978	990	1019

실험 결과에 따르면, A-EEACP 프로토콜은 LEACH 프로토콜 대비 최초 노드가 죽은 라운드에서 32%, 전체 네트워크의 30% 노드가 죽은 라운드에서는 17%, 마지막으로

로 노드가 죽은 라운드에서는 4%의 성능 향상을 보였다. EEACP 프로토콜에 비해서는 각각 5%, 6%, 3%의 성능 향상을 나타냄으로써, 전반적으로 LEACH 및 EEACP 프로토콜보다 효율적임을 입증되었다.

3. 라운드별 에너지 소모 비교 결과

라운드별 에너지 소모에 관한 실험 결과는 그림 5와 같다. 여기서 X축은 라운드, Y축은 에너지 소모를 나타낸다. LEACH 프로토콜은 파랑 실선으로, EEACP 프로토콜은 주황 실선으로, 그리고 제안하는 A-EEACP 프로토콜은 녹색 실선으로 표시한 시뮬레이션 결과이다.

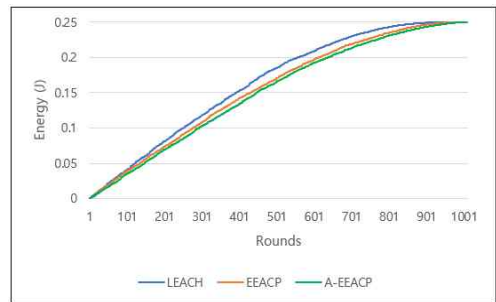


그림 5. 라운드별 에너지 소모
 Figure 5. Energy consumption by rounds

각 그래프를 살펴보면 전체 에너지 소모 평균값은 LEACH 프로토콜의 경우 0.162J이고, EEACP 프로토콜은 0.155J이며 제안하는 A-EEACP 프로토콜은 0.153J로 이 결과는 표 2와 같다.

표 2. 프로토콜별 전체 에너지 소모 평균값
 Table 2. Average total energy consumption by protocol

	Protocol		
	LEACH	EEACP	A-EEACP
Average energy consumption (J)	0.162	0.155	0.153

실험 결과를 통해, A-EEACP 프로토콜이 LEACH 및 EEACP 프로토콜과 비교하여 각각 약 5.56%, 1.29% 에너지를 적게 사용하는 것을 확인하였다. 이는 A-EEACP 프로토콜이 LEACH 및 EEACP 프로토콜보다 에너지 소모 면에서 더 효율적임을 나타낸다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 데이터 전송 시 발생하는 에너지 소모를 줄이기 위해 LEACH 프로토콜과 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합한 EEACP 프로토콜을 소개하였고, 이를 더 발전시킨 A-EEACP 프로토콜을 제안하였다. EEACP 프로토콜은 클러스터 헤드들이 싱크 노드와의 상대적 거리를 고려하여 데이터 전송 경로를 최적화하고, 데이터 수신 각을 설정하여 멀티 홉 전송을 가능하게 한다. 그러나 이 프로토콜은 여전히 비효율적인 경로가 발생할 수 있는 한계가 있어, A-EEACP 프로토콜에서는 좌우 섹터를 구분하여 전송 방향성을 최적화하는 방법을 도입하여 에너지 효율을 향상시켰다.

성능 분석 결과, 제안하는 A-EEACP 프로토콜이 기존의 EEACP 프로토콜보다 더 뛰어난 결과를 보였다. 이를 통해 A-EEACP 프로토콜이 더 높은 에너지 효율성을 갖고 있으며, 노드의 생존성을 향상시키는 데 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

실험 결과는 제안한 A-EEACP 프로토콜이 기존 방법보다 더 효과적으로 에너지를 관리하고 네트워크를 유지하는 데 도움이 되는 것으로 해석할 수 있다.

향후 연구 방향으로는 네트워크 규모의 변화에 따른 에너지 효율을 비교하고, 최적의 데이터 수신 각을 찾는 연구를 진행할 것이다.

References

- [1] D. Cha, C. Paik, and Y. Jung, U-Network Technology: Mobile and Optical Communications, Korea: Hongleung Science Publishing, 2011.
- [2] C. M. Cordeiro and D. P. Agrawal, "AD HOC & SENSOR NETWORKS," World Scientific, Singapore, Singapore, 2006.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, HI, USA, 2000.
- [4] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," Proc of IEEE Aerospace Conference,

Montana, USA, 2002.

- [5] A. Diop, Y. Qi, Q. Wang, and S. Hussain, "An Advanced Survey on Secure Energy-Efficient Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," International Journal of Computer Science Issues, vol. 10, no. 1, 2013, pp. 490-500.
- [6] W. Yoo and T. Kwon, "LECEEP : LEACH based Chaining Energy Efficient Protocol," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 35, no. 5, 2010, pp. 801-808.
- [7] C. Kim and T. Kwon, "Improvement of LECEEP Protocol through Dual Chain Configuration in WSN Environment(A-LECEEP, Advanced LEACH based Chaining Energy Efficient Protocol)," Journal of Korea Multimedia Society, vol. 24, no. 8, 2021, pp. 1068-1075.
- [8] J. Chae and T. Kwon, "An Energy Efficient Multi-Chaining Routing Protocol using Angle of Arrival for WSN," Journal of Korea Multimedia Society, vol. 25, no. 11, 2022, pp. 1564-1571.
- [9] D. Cho and T. Kwon, "Energy Efficient Routing Protocols based on LEACH in WSN Environment," Korea Institute of Electronic Communication Science, vol. 18, no. 4, 2023, pp. 609-616.
- [10] TaeHyeon Kim, Sea Young Park, Oh Seok Kwon, Jong-Yong Lee, Kye-Dong Jung. (2022). An improved LEACH-C routing protocol considering the distance between the cluster head and the base station. The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), 8(2), 373-377.
- [11] Kim, Youngkyun. (2018). Boundary Node Detection in Wireless Sensor Network. The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), 4(4), 367 - 372. DOI : 10.17703/JCCT.2018.4.4.367